

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) CON FINES DE APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL Y ARTESANAL, EN BARLOVENTO, ESTADO MIRANDA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Hernández A., Reinaldo M.
Rojas O., Priscilla K.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) CON FINES DE APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL Y ARTESANAL, EN BARLOVENTO, ESTADO MIRANDA

TUTOR ACADÉMICO: Profa. Alejandra Meza

TUTORES INDUSTRIALES: Dr. Clímaco Álvarez

Dra. Mary Lares

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Hernández A., Reinaldo M.
Rojas O., Priscilla K.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a la Ilustre Universidad Central de Venezuela, la casa que vence las sombras, nuestro segundo hogar en el cual nos formamos como profesionales y aprendimos no sólo lecciones en sus aulas, sino muchas humanas en sus pasillos.

En segundo lugar nuestro agradecimiento va para nuestro excelente grupo tutorial, la Profesora Alejandra Meza, el Doctor Clímaco Álvarez y la Doctora Mary Lares quienes nos guiaron en todo momento, sin descanso, mil gracias por ayudarnos a vencer cualquier obstáculo, por caminar e incluso correr junto a nosotros durante la realización de este Trabajo Especial de Grado. Sin ustedes, este trabajo habría resultado imposible. Nuestros Jurados, Luis García, Alí Lara y Francisco Yáñez por su incondicional ayuda y consejos, siempre dispuestos a ayudarnos.

Al personal del INIA-Miranda, Aldonis siempre a la orden, El Profesor Pedro, pendiente en todo momento de nosotros. A Maryluz Villamizar de Cacao Oderí, por su valiosa colaboración.

Priscilla:

Yo quisiera agradecerle a la vida haberme regalado la oportunidad de convertirme en madre antes de lograr esta meta, pues ha sido mi bebé, María Daniela el motor, el impulso, el reloj despertador, las ganas y el aguante, gracias pechochura por escogerme, todo esto es para ti, TE AMO. A mis padres, quienes no me permitieron decaer bajo ninguna circunstancia, con todo el amor y la paciencia, con abrazos o regaños, son mis principales colaboradores y llegan hoy junto a mí a alcanzar este gran logro, LOS AMO. Mi hermana favorita Gaby, otra bella personita que aunque chiquita y antipática ha sido mi hermana de sangre y mi amiga del alma, hermana bella gracias por ser y por estar, TE AMO. Al resto de mi familia: mis abuelitas, mi abuelito que ya no está, tía Marbellita, tías, tíos, las/los primas(os), apoyándome siempre, al fin les respondo la pregunta! YA TERMINÉ. Jesús, quien me ha acompañado en los momentos más felices y ha sido mi muleta y una de las manos que no me han dejado caer NUNCA! Gracias por todo su apoyo y querencia.

A mis amiguitos chichichí: el dúo de astusidas Paty e Ybeth, Caro, Rei, Oma, Andre, Blanca, Nathy. Ustedes hicieron que el camino por la escuela se volviera divertido y riquísimo! Gracias por el apoyo, las porras, los regaños, los trasnochos, las comidas, los cafés, las “dos y nos vamos”, los abrazos, los consuelos, las risas, las lágrimas, la vida. Los quiero gigantísimo.

A mi GRAN amigo desde hace 25 años, Randolf, hijo mío, gracias por seguir en mi vida, te adoro como a nadie. Mis otros machos alfa: Carlitos “La flacura”, al que más amo en el mundo, quien además ha sido siempre mi mejor amiga, Pablito-Clavó-Un-Clavito, siempre ahí conmigo sin titubeos, te readoro mi Palo, Mario, Gabriel, gracias por brindarme todo el apoyo en mi regreso a la uni, recuerdos hermosos de los azules y sus cafés, todos con ustedes.

A mis Profes favoritos: Kum, quien siempre además de guía y tutor, siempre se ha portado como un padre para mí. Mi querido Johnny, de quien puedo decir que, además de haber sido un excelente Profesor, hoy lo tengo en mi corazón como un gran amigo, no pueden faltar Luis García y Trino Romero, que siempre tienen alguna

palabra motivadora o jocosa que le alegra el día a cualquiera. Al Profe Alí, a quien le tengo mucho cariño a pesar de que él mismo diga que tengo la brújula enchumbada.

También quiero agradecer a esos panas que compartieron conmigo grandes momentos y me hicieron reír un montón: Albita, toda ella junto a su salsa casino, Bárbara con su fuerza, Daniel con su ingenio, Gio con su “Uuuuuuh”, Mariellys una excelente compañera y amiga, Fer, Hussi, Moniquí, Rubén, Miguel, Johnny, Yirvis, Daniela astusida, María, Amyerling, Simón, Chris, Kharlys con sus tweets, Benjamín, Oswe pidiendo marquesa en donde me viera, Francys, pendientes de mí y mis cosas, gracias por todos los recuerdos.

En fin, 3 millones de gracias a cada uno de ustedes por haberse cruzado en mi vida para llenarla de pura buena vibra. Un abrazo enorme, para todos.

Pris

Hernández A., Reinaldo M., Rojas O., Priscilla K.

ESTUDIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) CON FINES DE APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL Y ARTESANAL, EN BARLOVENTO, ESTADO MIRANDA

Tutor Académico: Profa. Alejandra Meza. Tutores Industriales: Dr. Clímaco Álvarez, Dra. Mary Lares. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería Química. 2011, n° pág. 82

Palabras Claves: Cacao, Extracción de mucílago, Estabilidad del mucílago, Caracterización del grano de cacao

Resumen

Dentro de la producción de cacao se encuentra el beneficio, el cual abarca: cosecha, prefermentación, fermentación y secado. Durante la fermentación se pierde por desbabe natural y por degradación el mucílago que recubre a la semilla fresca de cacao. Debido a la utilidad del mucílago en la elaboración de diversos productos artesanales, se estudió la posibilidad de recuperar parte de la pulpa a niveles artesanal e industrial, evaluando la calidad final de las almendras sometidas a desbabe mediante métodos de caracterización fisicoquímica y adicionalmente estudiando la estabilidad microbiológica y fisicoquímica del mucílago almacenado bajo refrigeración a -1°C hasta por 14 días y bajo congelación a -20°C hasta por 28 días. Los resultados en cuanto a la estabilidad microbiológica del mucílago refrigerado indicaron que el crecimiento de mohos y levaduras estuvo más favorecido que el de aerobios mesófilos. Además, se calculó que aproximadamente para el día 6 del almacenamiento por refrigeración, el mucílago había alcanzado el nivel máximo de mohos y levaduras. No se observaron variaciones significativas en su composición fisicoquímica en ninguna de las dos condiciones de almacenamiento a bajas temperaturas que permitieran determinar el tiempo aproximado de caducidad del mucílago congelado. En cuanto a la extracción del mucílago se determinó que artesanalmente se puede obtener un rendimiento promedio de 17,6 % de kg de mucílago por kg de granos frescos sometidos a desbabe, y en cuanto a la extracción de manera industrial, este rendimiento es de 36,02%. Estos rendimientos se calcularon dividiendo el peso de mucílago obtenido entre el peso de las almendras a desbabar. El mayor de los porcentajes en peso de extracción del mucílago que no sacrificó la calidad final de los granos de cacao y que además ofreció un margen de ganancia aceptable tanto a nivel artesanal como industrial fue del 30 % en peso.

Caracas, Mayo de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres, titulado:

“Estudio del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) con fines de aprovechamiento industrial y artesanal, en Barlovento, estado Miranda”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Luis García
Jurado



Prof. Francisco Yáñez
Jurado

Profa. Alejandra Meza
Tutora Académica

Dr. Climaco Álvarez
Tutor Industrial

Dra. Mary Lares
Tutora Industrial

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo I	
I. Fundamentos de la investigación	
I.1. Planteamiento del problema	3
I.2. Antecedentes	4
I.2.1. Caracterización fisicoquímica del cacao	4
I.2.2. Extracción del mucílago	5
I.2.3. Uso del mucílago como producto	6
I.2.4. Estabilidad del mucílago	7
I.3. Objetivos	
I.3.1. Objetivo general	8
I.3.2. Objetivos específicos	8
Capítulo II	
II. Marco teórico	
II.1. Cacao	9
II.2. Proceso de producción de cacao. Beneficio	9
II.2.1. Cosecha	10
II.2.2. Prefermentación	10
II.2.3. Fermentación	10
II.2.4. Secado	11
II.3. Mucílago de cacao	12
II.4. Características fisicoquímicas del cacao	12
II.4.1. Almendras frescas	12
II.4.2. Mucílago	13
II.4.3. Almendras beneficiadas	13
II.5. Tecnologías de separación sólido-líquido	14
II.6. Almacenamiento de alimentos	16

II.6.1. Conservación de alimentos	16
II.7. Determinación de la caducidad de los alimentos	18
Capítulo III	
III. Marco metodológico	
III.1. Beneficio de las muestras de cacao	23
III.1.1. Cosecha y preparación a la fermentación	24
III.1.2. Proporciones de almendras de cacao a desbabar	24
III.1.3. Extracción del mucílago	25
III.1.4. Almacenamiento del mucílago extraído	29
III.1.5. Análisis microbiológico y fisicoquímico del mucílago almacenado	29
III.1.6. Tiempo de caducidad del mucílago almacenado	31
III.1.7. Fermentación de las muestras de almendras de cacao	32
III.1.8. Secado de las muestras de almendras de cacao	33
III.2. Calidad final de las almendras de cacao beneficiadas	33
III.3. Cantidad máxima extraíble de mucílago antes del beneficio	34
III.4. Estudio de pre-factibilidad económica	34
III.4.1. Costo de equipos	35
III.4.2. Costos de operación	35
III.4.3. Costo total	36
III.5. Análisis estadístico	37
Capítulo IV	
IV. Resultados y discusión de resultados	
IV.1. Técnicas de extracción	38
IV.1.1. Selección del tipo de tamiz	38
IV.1.2. Extracción empleando centrifugadora	39
IV.2. Muestras de almendras frescas a beneficiar	41
IV.2.1. Materia prima	41
IV.2.2. Extracción del mucílago de las almendras frescas	42

IV.3. Mucílago almacenado	44
IV.4. Tiempo de caducidad del mucílago	50
IV.5. Calidad de las almendras de cacao beneficiadas	52
IV.5.1. Características organolépticas	52
IV.5.2. Características físicas	53
IV.5.3. Características químicas	57
IV.5.4. Macronutrientes	59
IV.6. Cantidad máxima extraíble de mucílago	64
IV.7. Estudio de pre-factibilidad económica	66
IV.7.1. Costo de equipos	67
IV.7.2. Costos de operación	68
IV.7.3. Costo y ganancia total	69
Capítulo V	
V. Conclusiones y recomendaciones	
V.1. Conclusiones	73
V.2. Recomendaciones	75
Referencias bibliográficas	77
Anexos	83

LISTA DE TABLAS Y GRÁFICOS

Lista de figuras

Figura N° 01. Ley de Arrhenius	18
Figura N° 02. Crecimiento de la población de microorganismos	20
Figura N° 03. Diagrama de flujo de la metodología	22
Figura N° 04. Distribución en porcentaje (m/m) de los componentes de las mazorcas de cacao	42
Figura N° 05. Rendimiento de mucílago por kg de almendras frescas	43
Figura N° 06. Modelo de crecimiento de microorganismos en el mucílago refrigerado	52
Figura N° 07. Resultados de la prueba de corte de las muestras 1,2,3 y 4	56
Figura N° 08. Variación de los macronutrientes en las muestras 1,2 3 y 4	64

Lista de tablas

Tabla N° 01. Composición química de las almendras comerciales de cacao	14
Tabla N° 02. Tecnologías de separación Sólido-Líquido	15
Tabla N° 03. Técnicas disponibles para la conservación de alimentos	16
Tabla N° 04. Comparación entre refrigeración y congelación	17
Tabla N° 05. Porcentajes en peso de almendras frescas desbabadas	25
Tabla N° 06. Identificación de las muestras para el tamizado artesanal	26
Tabla N° 07. Identificación de las muestras para el acondicionamiento antes del centrifugado	27
Tabla N° 08. Identificación de las muestras para el centrifugado	28
Tabla N° 09. Muestras de mucílago	30
Tabla N° 10. Métodos de análisis microbiológicos y fisicoquímicos de las muestras de mucílago	31
Tabla N° 11. Métodos de análisis fisicoquímicos de las almendras de cacao beneficiadas	34

Tabla N° 12. Rendimiento de la extracción artesanal de mucílago	39
Tabla N° 13. Rendimiento de la extracción de mucílago para diferentes condiciones de centrifugado	39
Tabla N° 14. Rendimiento de la extracción de mucílago mediante centrifugación	40
Tabla N° 15. Distribución en peso de los componentes de las mazorcas de cacao	41
Tabla N° 16. Peso de las almendras frescas, almendras desbabadas y mucílago	43
Tabla N° 17. Rendimiento de g de mucílago por mazorca cosechada	44
Tabla N° 18. Características microbiológicas del mucílago refrigerado	45
Tabla N° 19. Características fisicoquímicas del mucílago refrigerado	46
Tabla N° 20. Características fisicoquímicas del mucílago congelado	48
Tabla N° 21. Constantes de proporcionalidad para aerobios mesófilos	50
Tabla N° 22. Constantes de proporcionalidad para mohos y levaduras	51
Tabla N° 23. Peso de 100 granos de cacao beneficiados	53
Tabla N° 24. Porcentaje de testa de los granos de cacao beneficiados	54
Tabla N° 25. Prueba de corte de las almendras de cacao beneficiadas	55
Tabla N° 26. Algunas de las características químicas de las almendras de cacao beneficiadas	57
Tabla N° 27. Macronutrientes presentes en las almendras de cacao	59
Tabla N° 28. Resumen de la calidad y cambios resaltantes de las muestras 1, 2, 3 y 4	65
Tabla N° 29. Diversas ofertas comerciales del mucílago en el mercado	66
Tabla N° 30. Instrumentos necesarios para la extracción artesanal del mucílago	67
Tabla N° 31. Instrumentos necesarios para la extracción industrial del mucílago	68

Tabla N° 32. Consumo eléctrico de equipos asociados al proceso de extracción industrial	69
Tabla N° 33. Ganancia bruta de la extracción del mucílago artesanal	70
Tabla N° 34. Ganancia bruta y costos asociados a la extracción de mucílago artesanal	70
Tabla N° 35. Ganancia bruta de la extracción del mucílago industrial	71
Tabla N° 36. Ganancia bruta y costos asociados a la extracción de mucílago industrial	72

INTRODUCCIÓN

El contenido del presente Trabajo Especial de Grado quedó estructurado de la siguiente manera:

En el Capítulo I se describen los fundamentos de esta investigación. El mucílago de cacao es la pulpa que rodea las almendras de cacao frescas y ayuda en el proceso de fermentación de las mismas, en esta etapa gran parte de él se pierde por desbabe natural. Debido a su utilidad y alto valor nutricional, se planteó la recuperación parcial de esta pulpa mucilaginoso, antes del proceso de beneficio, a fin de utilizarlo como un subproducto. Además, se describen los antecedentes sobre trabajos previos sobre la caracterización del cacao, la extracción del mucílago en la industria, el uso que se le ha dado en el pasado al mucílago de cacao y los análisis sobre la estabilidad del mucílago del cacao en el tiempo. Se planteó como objetivo principal estudiar la pre-factibilidad tecno-económica de un proceso para la separación del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) cosechado en el estado Miranda. Para lograrlo se llevaron a cabo los siguientes objetivos específicos: Se extrajo el mucílago a escala artesanal e industrial, mediante métodos hallados en la bibliografía, se determinaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del mucílago bajo distintas condiciones de almacenamiento, se determinó la estabilidad microbiológica del mucílago con respecto al tiempo, se evaluó el efecto que tiene la cantidad de mucílago extraído sobre el proceso de beneficio, mediante la evaluación de la calidad final de las almendras de cacao, se determinó el volumen máximo extraíble de mucílago considerando la calidad final de la almendra de cacao y del mucílago extraído en el proceso y finalmente, se estimaron los costos, ingresos brutos y ganancia bruta de la extracción del mucílago como materia prima para elaborar diferentes productos artesanales.

En el Capítulo II se muestran los conceptos y definiciones más relevantes en los que se basó el presente Trabajo Especial de Grado, entre los que se encuentran: el cacao, el proceso de producción del mismo, así como su caracterización fisicoquímica, los

métodos que la industria tiene disponible para la separación de sistemas sólido-líquido, además de las bases de la conservación de los alimentos y el tiempo de caducidad de los mismos.

El Capítulo III está conformado por la metodología aplicada para la realización del presente Trabajo Especial de Grado, estructurada según los objetivos específicos planteados en el Capítulo I.

En el Capítulo IV se presentan los resultados obtenidos una vez realizada la metodología descrita en el Capítulo III, así como los análisis de estos resultados.

El Capítulo V muestra las conclusiones obtenidas a partir de los análisis del Capítulo IV y las recomendaciones sugeridas, a fin de lograr delimitar de forma más específica la aplicabilidad de la inclusión de la recuperación del mucílago de cacao en la zona.

Finalmente, además de las referencias bibliográficas consultadas durante la realización del presente Trabajo Especial de grado, se presenta la sección de Anexos que respalda los resultados de los diferentes análisis realizados.

CAPÍTULO I

I. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1. Planteamiento del problema

Las áreas tradicionales más importantes en el país por sus elevados niveles de producción de cacao son los estados Miranda y Sucre, los cuales representan el 78% del total de producción nacional (MPPAT, 2009). En el estado Miranda, Venezuela, el cacao es uno de los principales productos agrícolas. La región de Barlovento representa la mayor zona de cultivo del cacao en el estado Miranda (45,74%) con una superficie sembrada de 30000 ha y una producción anual comprendida entre 7500-7900 Tm/año (Liendo y Marín, 2006)

En el procesamiento de esta materia prima están involucradas diferentes etapas. Entre ellas se encuentra la etapa del beneficio, la cual abarca todo el tratamiento post-cosecha (fermentación, secado, selección y almacenamiento) y constituye parte fundamental y decisiva para la obtención de la buena calidad del grano, lo cual permite su correcta comercialización en el mercado nacional e internacional (INFO COMM, s.f.). Esta etapa representa aproximadamente del 15 al 20% de los costos directos de producción. Durante la etapa de beneficio se lleva a cabo la fase de fermentación, la cual comprende la degradación de la baba o mucílago del cacao y la formación, dentro de la almendra, de las sustancias precursoras del sabor y aroma del chocolate, influenciados por la temperatura, microflora natural, la cantidad de masa a fermentar y la técnica de fermentación.

Durante la fermentación, no todo el mucílago presente en la mazorca de cacao es necesario para que el proceso de transformación de la almendra alcance niveles óptimos de calidad, razón por la cual gran cantidad del mucílago es drenada formando parte de una corriente de sustancias de desecho (El Khouri, 2007).

Muchos de los productores no fermentan el cacao, para abaratar costos y esfuerzos en el proceso. Existe la posibilidad que durante esta actividad, se emplee un proceso

extractivo del mucílago para ser aprovechado en la elaboración de otros subproductos sin perturbar el proceso de fermentación propio del proceso de producción de cacao. Entre los productos artesanales que pueden producirse a partir del mucílago se encuentran: jaleas, mermeladas, jugos, vinos, vinagre, entre otros (Freire, Mororó y Schaw, 1996) (Kalvatchev, Garzaro y Cedezo, 1998). Por lo que la recuperación de ese efluente, que no es necesario en la fermentación, puede conllevar a un mejor aprovechamiento económico y una reducción de los desechos generados del proceso. La extracción de la pulpa mucilaginoso debe realizarse controladamente, debido a su influencia en la calidad final de la almendra de cacao, es por esto que este estudio pretende cuantificar la cantidad máxima extraíble de la pulpa sin que la calidad del cacao final se vea perjudicada y simultáneamente analizar la estabilidad (físicoquímica y microbiológica) del mucílago recolectado como subproducto.

Los costos asociados a este proceso extractivo son importantes para artesanos e industrias, ya que, como se mencionó anteriormente, el aprovechamiento del mucílago no suele formar parte del procedimiento usual en la producción de cacao y eventualmente podría resultar atractiva la nueva disposición de lo que en la actualidad es, en su mayor parte, un desecho como un producto adicional traducido en un incremento en los ingresos de los productores de la zona.

I.2. Antecedentes

A continuación se presenta una exploración de estudios previos sobre el proceso de producción de cacao, el uso del mucílago de cacao y otros aspectos que permitieron desarrollar el presente trabajo de grado.

I.2.1. Caracterización físicoquímica del cacao

Leal, Serra y Valderrama (2000) realizaron un trabajo investigativo con fin descriptivo sobre el cacao Copoasú, o cacao blanco, y el contenido nutricional de la pulpa. En lo que se refiere al mucílago, ellos concluyeron que el contenido nutricional de la pulpa es variable para el mismo genotipo, además de ser pobre en proteínas y grasas, pero con una acidez baja que facilita la conservación del néctar por mayor

tiempo y un nivel alto de pectinas que favorece la fabricación de néctares, gelatinas y dulces.

En Venezuela, Álvarez, Pérez y Lares (2002) compararon las características morfológicas de los frutos y algunos índices de calidad del mucílago fresco del cacao provenientes de las plantaciones de Chuao, Cuyagua y Cumboto. Con respecto al mucílago, ellos compararon el pH y el porcentaje de sólidos solubles (SS) de muestras de mucílago fresco que se extrajeron al abrir las mazorcas en el campo a temperatura ambiente. Se obtuvo como resultado la existencia de diferencias significativas en relación al contenido de SS entre las muestras de cada genotipo estudiado en la plantación. En relación al pH, a excepción de los genotipos provenientes de la zona de Chuao, estos valores mostraron diferencias significativas entre genotipos y entre las tres zonas evaluadas. Ellos sugirieron que el proceso de fermentación debe variar de acuerdo con el sitio de origen del cacao debido a que el contenido de SS es de relevante importancia en la predicción del proceso de fermentación, ya que indirectamente refleja la cantidad de azúcares presentes en el mucílago, y el valor de pH como índice de calidad pudo estar asociado con los niveles de ácido cítrico de los frutos maduros recién cosechados. Estos autores también aseveraron que para el momento de realizar este trabajo no existían referencias bibliográficas que relacionaran la cantidad de SS con el proceso de fermentación.

I.2.2. Extracción del mucílago

En cuanto a la extracción del mucílago se encuentra el trabajo de Adomako y Takrama (1996), el cual se basó en encontrar un método extractivo en la etapa de sudado o desbabe, con el fin de lograr un rendimiento mayor de mucílago. Ellos aplicaron presión por medio de pesas a la masa de mucílago en fermentación y además colocaron tubos de PVC verticalmente para incrementar el flujo libre del mucílago hasta el fondo, donde existía un tanque de poliéster que recolectaba el sudado. Estos resultados fueron comparados con la recolección del mucílago producido por el desbabe natural. Su trabajo concluyó que el método de extracción

estudiado es mucho más eficiente que el proceso de desbabe natural de la masa en fermentación.

I.2.3. Uso del mucílago como producto

Con respecto a las investigaciones realizadas sobre la utilización del mucílago como producto, Ramírez (1992) estudió el efecto biológico y económico de la utilización del mucílago de cacao en la alimentación de pollos en la fase de acabado, mediante la alimentación de lotes de pollo con diferentes cantidades de mucílago dentro de su dieta normal, obteniendo como resultado que económicamente era favorable la alimentación de los pollos con 5% (m/m) de mucílago dentro de la ración normal de comida ya que representó la mayor retribución económica tomando en cuenta el incremento de peso en las gallinas debido al aumento de la ingesta proteica que aportó el mucílago.

En Brasil, Freire, Mororó y Schaw (1996) describieron en su trabajo los progresos alcanzados en la última década sobre el uso de la pulpa de cacao en Bahía. Los autores relatan el comienzo de la actividad industrial del uso de la pulpa como subproducto para la fabricación de mermeladas a nivel casero debido al alto contenido de pectinas de la pulpa, así como las dificultades que se encontraron, ya que el costo de inversión inicial de esta industria es alto y esto desanima a los productores. Asimismo, ellos realizaron un contraste de los inicios de esta industria y las ya existentes para el momento en el cual ellos realizaron el trabajo, describiendo que para ese momento el uso del mucílago de cacao se encontraba en un estado avanzado de industrialización, con una existencia de 300 plantas de extracción de pulpa con un promedio de capacidad de producción de 200 kg de pulpa por día, que, al precio de US\$ 1,50/kg, suponía unos ingresos alrededor de los 20 millones de dólares anuales. Ellos lograron concluir que el uso de otros productos primarios, como lo es en este caso el mucílago, es de gran importancia ya que hace viable la diversificación de las actividades en la industria y el aumento de productos manufacturados en el mercado, además, ellos opinan que se deben integrar

actividades *in situ* para reducir los desperdicios generados a partir de la agroindustrialización y utilizarlos de forma sistemática.

Echeverry (2004) trabajó en el planteamiento de una pauta de investigación en el área de los floculantes que permita elaborar mucílago pulverizado a partir de la cáscara de cacao para el uso en la industria panelera. En este trabajo se utilizó el mucílago de cacao como coagulante en el proceso de clarificación de jugos de panelas, debido al alto contenido de pectinas del mismo, permitiendo la aglutinación de las impurezas causantes del color y se compararon estos resultados con el uso como coagulante de mucílago de bolso y mucílago de cadillo. Al evaluar los resultados obtenidos se encontró que el mucílago de cacao fue más eficiente en muchos aspectos en comparación al mucílago de bolso y el de cadillo, en lo que se refiere a la clarificación del jugo de panela.

I.2.4. Estabilidad del mucílago

Los trabajos realizados sobre el estudio del mucílago de cacao y su estabilidad son escasos en Venezuela, y más aún si se trata sobre la utilización de éste como materia prima para la fabricación de diversos productos alimenticios.

Sobre las propiedades del mucílago, Das Mercês y Martines (1998) caracterizaron, de forma fisicoquímica y microbiológica, pulpa de cacao comercial al sureste de Bahía con la intención de mejorar la calidad de la misma. Ellos extrajeron la pulpa después de varios tratamientos de limpieza (aspersión de una solución clorada comparada con la inmersión en una solución clorada, ambas con la misma concentración y aplicadas a las mazorcas de cacao) y encontraron que estos tratamientos no tienen influencia en la calidad microbiológica final de las muestras. Ellos finalizaron con éxito la caracterización de la muestra y obtuvieron como resultado que las variables fisicoquímicas y microbiológicas no se vieron afectadas por los métodos de limpieza aplicados antes de la caracterización.

I.3. Objetivos

I.3.1. Objetivo general

Estudiar la pre-factibilidad tecno-económica de un proceso para la separación del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) cosechado en el estado Miranda

I.3.2. Objetivos específicos

- (a) Extraer el mucílago de la semilla, a escala artesanal e industrial, mediante los métodos hallados en la bibliografía
- (b) Determinar las características fisicoquímicas del mucílago de cacao bajo distintas condiciones de almacenamiento.
- (c) Determinar la estabilidad biológica del mucílago con respecto al tiempo.
- (d) Evaluar el efecto que tiene la cantidad de mucílago extraído de la semilla sobre el proceso de beneficio, mediante la evaluación de la calidad final de las almendras de cacao.
- (e) Determinar el volumen máximo extraíble de mucílago considerando la calidad final de la almendra de cacao y del mucílago extraído en el proceso.
- (f) Estimar los costos operacionales de la extracción del mucílago como materia prima para elaborar diferentes productos artesanales.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describirán los conceptos y definiciones más importantes en los que se basa el presente trabajo especial de grado.

II.1. Cacao

El árbol de cacao es una planta tropical que crece en climas cálidos y húmedos (INFO COMM, s.f.). Según Álvarez (2008) existen tres tipos de árboles de cacao: el Criollo, Forastero y el Trinitario, la más conocida es la variedad Forastero, que representa el 90% del cacao producido en el mundo. Se encuentra en África Occidental y Brasil. El segundo grupo es el Criollo, que actualmente se conoce como el tipo de cacao fino y de aroma, cultivado principalmente en el Caribe (Grenada, Jamaica, San Tomé y Príncipe, Santa Lucía y Trinidad y Tobago), Venezuela, Ecuador, Colombia, Indonesia (Java), Malasia, Nueva Guinea (Papoasia), las Antillas, Sri Lanka y Timor Oriental. Por último, existe la variedad Trinitario, que es un cruce entre el Criollo y el Forastero (INFO COMM , s.f.).

El fruto es una baya de 15 a 20 cm de longitud, de forma alargada, de superficie rugosa o lisa, con pesos que fluctúan entre 0,4 y 4 kg y cuyo interior está compuesto por 30-40 almendras redondas cubiertas de una pulpa azucarada que se origina del tegumento de la misma semilla y recibe el nombre de mucílago, (Molina, 1989; Leal et al., 2000).

II.2. Proceso de producción de cacao. Beneficio

La producción agrícola del cacao se realiza mayoritariamente por parte de pequeños productores (Álvarez, Tovar, García, Morillo, Sánchez, Girón y De Farias, 2010). El procesamiento del cacao comprende una serie de prácticas dependientes e interrelacionadas entre sí denominadas “Beneficio”, en la cual la almendra de cacao

se transforma biológicamente luego de la cosecha, dando paso así a la obtención de un producto de mejor calidad. Este conjunto de prácticas abarca las siguientes etapas: Cosecha, prefermentación, fermentación y secado. Una vez aplicado el beneficio al cacao se procede a clasificar y almacenar con lo que culmina el procesamiento del mismo (Reyes, Torres, Navas y Salazar, 2000; Sánchez, 1995).

Los objetivos del beneficio del cacao son descomponer el mucílago azucarado que rodea al grano fresco, permitir y facilitar las transformaciones bioquímicas que sufre la almendra de cacao para desarrollar el aroma y sabor característico del chocolate y por último disminuir la humedad del grano y con esto mejorar el almacenaje del mismo (Álvarez, 2008; El Khouri, 2007; Schwan, 1996; Reyes y Reyes, 2000).

II.2.1. Cosecha

Se realiza en el momento en el que el fruto o mazorca alcanza la maduración y se distingue por la coloración externa de los mismos (Sánchez, 1995).

II.2.2. Prefermentación

Conocida también como aguante, esta etapa consiste en el almacenaje bajo techo de los frutos cosechados por un período máximo 5 días. En esta etapa ocurren ciertos procesos bioquímicos en el interior de la semilla que mejoran la calidad obtenida en la fermentación posterior (Reyes y Reyes, 2000).

II.2.3 Fermentación

Es la etapa clave de la formación del aroma del cacao, según Cros (2000) y El Khouri (2007). Es el proceso físico, bioquímico y mecánico en el cual se logran fermentar las sustancias componentes del chocolate (Guacarán, 1993).

La fermentación ocurre en dos fases:

- (a) Una fase anaeróbica de fermentación alcohólica o hidrólisis en la que participan levaduras que convierten el azúcar de la pulpa en alcohol y anhídrido carbónico (Guacarán, 1993; El Khouri, 2007).

(b) Una fase de fermentación acética que consiste básicamente en oxidación y condensación de polifenoles en complejos, aminoácidos volátiles solubles e insolubles. La fermentación se lleva a cabo almacenando los granos recién cosechados bien sea en recipientes adecuados o en pilas cubiertas a fin de mantenerlos en un ambiente semi-cerrado, con un sistema de drenaje, debido a que el mucílago azucarado se descompone en sustancias líquidas (El Khouri, 2007; Reyes y Reyes, 2000).

El proceso de fermentación es una reacción exotérmica, en la que se requiere que la masa alcance una temperatura de 70 °C. Esto se logra con una cantidad adecuada de almendras prefermentadas, la cantidad mínima necesaria es 20 kg de almendras de cacao. Una vez finalizada esta etapa, las almendras tienen un contenido de humedad aproximada de 55% (Enríquez, 1985). Además de estas dos fases de la fermentación, la pulpa luego de la cosecha continúa teniendo respiración metabólica y es atacada por microorganismos, los cuales la descomponen, volviéndola inadecuada para el consumo humano (Barreiro y Sandoval, 2002; Geankopolis, 1998; Instituto Nacional del Frío, 1990).

En Barlovento, la mayoría de los productores fermentan de distintas maneras, siendo el empleo de cajas plásticas o madera el más utilizado para pequeñas cantidades de granos de cacao. Esta práctica depende básicamente de la experiencia que tiene el productor (saberes ancestrales) y del conocimiento que tienen sobre la post-cosecha del cacao, con variaciones entre los productores y las zonas. (Álvarez et al., 2010)

II.2.4. Secado

El secado tiene como fin primordial, completar el proceso oxidativo iniciado durante la fermentación, reduciendo la astringencia, amargor y acidez de las almendras. En esta etapa los granos de cacao adquieren un color marrón, producto del pardeamiento enzimático de los polifenoles y del pardeamiento no enzimático conocido como reacción de Maillard en el que las quinonas y las proteínas reaccionan por el aumento en la temperatura, (Voigt y Biehl, 1993; Forsythe y Hayes, 2002).

Al igual que en otras zonas del país, el secado natural por exposición al sol, es muy usado por los productores de Barlovento, debido al bajo costo y a la simplicidad del método al tratarse de pequeños volúmenes de producción. (Álvarez et al., 2010)

II.3. Mucílago de cacao

La pulpa mucilaginoso la describieron Kalvatchev, Garzaro y Cedezo (1998) como de color blanco de sabor azucarado y acidulado. El mucílago es el componente principal que favorece la bioquímica del proceso de transformación del cacao (Álvarez, 2008; El Khouri, 2007; Schwan, 1996). La extracción y conservación de la pulpa congelada requiere una inversión de capital importante y cuidados higiénicos especiales durante su preparación (Freire et al., 1996). Entre sus otros posibles usos se encuentran: la obtención de alcohol con una fermentación controlada y destilación, con un 43% de etanol; vinagre preparado a partir del alcohol; la preparación de nata, la cual es similar al agar (postre asiático) y puede ser consumida fresca en forma de batidos o jugos. La pulpa procesada (congelada) puede ser empleada como saborizante de yogures y helados (Freire et al, 1996; Kalvatchev et al, 1998). En la actualidad el mucílago de cacao sólo se emplea en la fertilización orgánica del cacao y además por encontrarse en exceso es tratado como un subproducto que se desecha (El Khouri, 2007).

II.4. Características fisicoquímicas del cacao

Las características fisicoquímicas y alimenticias del cacao han sido analizadas anteriormente, en esta sección se mostrarán algunas de sus características.

II.4.1. Semillas frescas

Las semillas frescas de cacao presentan un alto contenido de compuesto polifenólicos y, de manera similar a los tejidos vivos, son una compleja organización de proteínas, grasas, carbohidratos y de otros compuestos.

La semilla fresca no contiene prácticamente azúcares reductores pero si sacarosa (1-1,2%), los contenidos de aminoácidos libres se encuentran en el orden de 0,2%, así

como de compuestos fenólicos, los cuales son constituidos principalmente por flavan-3-oles (epicatequina y procianidinas B2, C1 y B5) y sus contenidos son variables dependiendo de los tipos de cacao. Los contenidos de teobromina están en el orden del 1%, mientras que los de cafeína alcanzan el 0,3%, los alcoholes (2-metilpropanol, 2-metilbutanol, 3-metilbutanol, feniletanol) y los ésteres (acetato de etilo, acetato de 2-metilpropan-1-ilo) son los que se encuentran mayoritariamente representados, en promedio el 57% y el 23% respectivamente. Se encuentran dos derivados con carbonilo (3-metilbutanal, acetofenona), algunos hidrocarburos como metilo- y propilbenceno, 1,4-dimetilbenceno, mirceno y uno de sus isómeros (Kalvathev et al., 1998).

II.4.2. Mucílago

La pulpa de cacao está compuesta por células esponjosas parenquimatosas, que contienen células de savia rica en azúcares (10-13%), pentosas (2-3%), ácidos acético y cítrico (1-2%), sales (8-10%), pectina (1%), (Kalvathev et al., 1998).

II.4.3. Almendras beneficiadas

Luego de la fermentación, las semillas de cacao contienen esencialmente materia grasa, compuestos polifenólicos y proteínas (Álvarez, 2008). La composición específica se muestra en la tabla N° 01 a continuación.

Tabla N° 01. Composición química de las almendras comerciales de cacao (Álvarez, 2008)

Compuesto	Porcentaje [%]
Agua	5,0-7,0
Cenizas	2,6-4,2
Materia grasa	48,0-57,0
Teobromina	1,3-2,0
Cafeína	0,1-0,7
Proteínas	9,0
Aminoácidos libres	0,8
Glucosa	0,1
Fructosa	0,4-0,6
Almidón	4,5-7,0
Pectinas	4,1
Celulosa	9,0
Ácidos orgánicos	0,05 a 0,5 por cada ácido
Compuestos fenólicos	8,0-20,0
Taninos	10,0
Minerales	2,6-4,2

II.5. Tecnologías de separación sólido-líquido

Actualmente en la industria se cuenta con varias formas de separar una mezcla sólido-líquido, entre las que se encuentran: lixiviación, filtración, las cuales pueden realizarse en este caso: por decantación directa, con el uso de solventes y posteriormente filtración por sedimentación, por centrifugación, etc. La tabla N° 02 presentada a continuación muestra algunas características de dichas tecnologías que son importantes y que deben considerarse a la hora de evaluar su uso para separar la pulpa mucilaginosa de la almendra fresca.

Tabla N° 02. Tecnologías de separación Sólido – Líquido (McCabe, Smith y Harriot, 1991; Treybal, 2004)

Tecnología	Artisanal	Industrial
Lixiviación	Supone la modificación en la forma de la almendras con el fin de separar mediante un líquido con el cual sus componentes (de la almendra) tienen mayor afinidad	
Uso de solventes	Modifica la composición fisicoquímica del mucílago lo que repercute en la calidad del mucílago antes del almacenaje	
Filtración por gravedad	La descomposición del mucílago ocurre rápidamente en el tiempo en el que ocurre el desbabe por gravedad	
Filtración por colado	<ul style="list-style-type: none"> • Es económico • Para el nivel de producción artesanal el tiempo de aplicación es adecuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Para grandes cantidades de almendras frescas el tiempo de aplicación es muy grande
Filtración por centrifugación	<ul style="list-style-type: none"> • El equipo separador es muy costoso 	<ul style="list-style-type: none"> • Resulta adecuado para reducir el tiempo de separación

La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de un medio filtrante o pared separadora sobre el que se depositan los sólidos. El fluido circula a través del medio filtrante en virtud de una diferencia de presión a través del medio, por lo que se clasifican en función de esa variable: filtros que operan a presión del fluido superior mayor, menor o igual a la atmosférica. Otra variable que distingue a los filtros es la continuidad del proceso de descarga de sólidos, pudiendo ser continua o intermitente (McCabe et al., 1991).

El medio filtrante de cualquier filtro debe cumplir los siguientes requerimientos:

- (a) Retener los sólidos a filtrar, dando lugar a un filtrado razonablemente claro.
- (b) No obstruirse o cegarse
- (c) Ser químicamente resistente y tener suficiente resistencia física para soportar las condiciones del proceso
- (d) Permitir que la torta formada se desprenda de una forma limpia y completa
- (e) No ser excesivamente caro

II.6. Almacenamiento de alimentos

Conocer los límites de viabilidad de los microorganismos ha ayudado a establecer diferentes sistemas y condiciones que aplicados al alimento, aseguran razonablemente su conservación (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002).

II.6.1. Conservación de alimentos

Existen ciertos tratamientos físicos de los alimentos, los cuales se describen a continuación en la tabla N° 03:

Tabla N° 03. Técnicas disponibles para la conservación de alimentos (Ordoñez, Cambero, Fernández, García, de la Hoz y Selgas, 1998)

Tratamiento	Característica
Térmico	Persigue la destrucción parcial, o total de microorganismos y enzimas que contienen los alimentos mediante altas temperaturas (80°-115°C)
Control de Agua Libre	Reduce la cantidad de agua útil para el crecimiento microbiano mediante la concentración o desecación
Control de Presión Osmótica	Al salar o confitar (según requiera el caso) se reducen la presión osmótica y el agua libre disminuyendo el crecimiento en la población de microorganismos
Disminución de Temperatura	Con bajas temperaturas disminuye las velocidades de reacción de las enzimas y del crecimiento microbiano

De los tratamientos físicos nombrados anteriormente, el almacenamiento a bajas temperaturas ofrece un efecto conservador basado en la inhibición parcial o total de los principales agentes responsables de la alteración de los alimentos: el crecimiento y la actividad de microorganismos, las actividades metabólicas de los tejidos vegetales tras la recolección, las enzimas y las reacciones químicas. La disminución de la temperatura en sus dos vertientes más importantes (refrigeración y congelación) permite prolongar el tiempo de vida útil de los alimentos, bien sean frescos o procesados, durante períodos de tiempo relativamente largos con una mínima repercusión en sus características nutritivas y organolépticas (Barreiro et al., 2002; Ordoñez et al., 1998).

La reducción de la temperatura se fundamenta en una de las operaciones unitarias más empleadas en la industria alimentaria, la cual es la transferencia de calor, siendo el alimento el foco caliente, cuyo calor pasa a un medio exterior frío. Tanto la refrigeración como la congelación se basan en el descenso de la temperatura de los alimentos para prolongar su período de conservación, sin embargo existen grandes diferencias entre ambas técnicas (Ordóñez et al., 1998). La tabla N° 04 muestra dichas diferencias.

Tabla N° 04. Comparación entre refrigeración y congelación (Barreiro y Sandoval, 2002)

	Refrigeración	Congelación
Temperatura de operación	Entre -1° y 5°C	Aprox. -18°C
Calor latente y sensible	Cambio sólo en el calor sensible	Eliminación de los calores sensible y latente
Agua del medio	Disminuye la pérdida de humedad	Formación de cristales de hielo. No hay agua disponible ni como medio ni como solvente
Actividades metabólicas y enzimáticas	Se ralentizan. Se mantiene cierta actividad	Se reducen notablemente
Reproducción microbiana	Se ralentiza, sin detenerse por completo	Se considera despreciable

La influencia de las bajas temperaturas en la ralentización de las diversas reacciones de degradación de los alimentos se debe a la dependencia directa del valor de la constante cinética con la temperatura. Dicha dependencia se basa en la Ley de Arrhenius cuya ecuación es:

$$k = A_0 e^{\frac{-E_a}{R.T}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

k: Constante cinética de reacción ((masa/volumen)¹⁻ⁿ.tiempo⁻¹)

A₀: Factor preexponencial ((masa/volumen)¹⁻ⁿ.tiempo⁻¹)

E_a: Energía de activación (energía)

R: Constante universal de los gases (presión.volumen/(masa.K))

T: Temperatura (K)

La linealización de la ecuación 1 da como resultado la gráfica mostrada en la figura N° 01

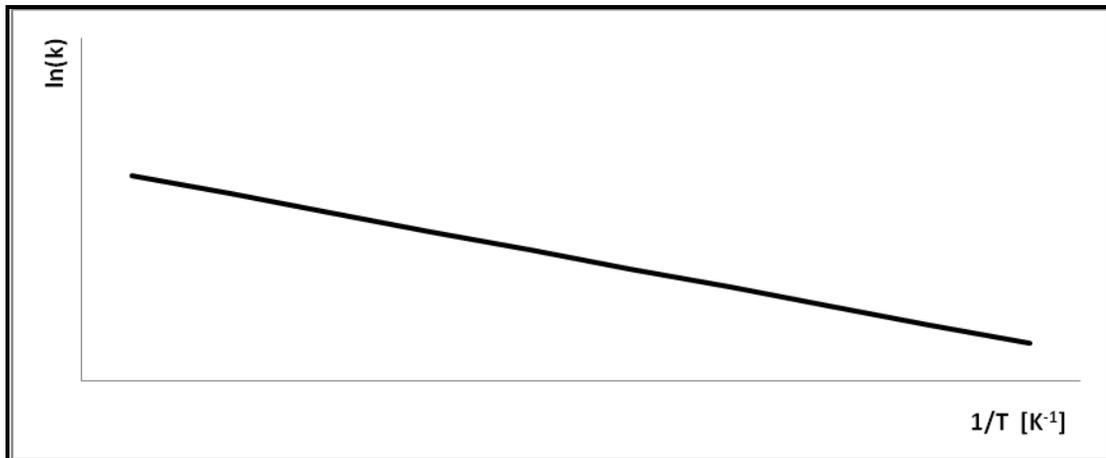


Figura N° 01. Ley de Arrhenius

Para describir el efecto de la temperatura en la velocidad de los procesos químicos a menudo se emplea el coeficiente de temperatura o “valor Q_{10} ”, que se define como el cambio que experimenta la velocidad de una reacción al variar $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ la temperatura a la que se lleva a cabo. (Ordoñez et al., 1998)

$$Q_{10} = \frac{V_T}{V_{T-10^{\circ}\text{C}}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Q_{10} : Cociente de temperatura (Adim.)

V_T : Velocidad de la reacción a la temperatura T (masa/tiempo)

$V_{T-10^{\circ}\text{C}}$: Velocidad de la reacción a la temperatura T- $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (masa/tiempo)

Para la mayoría de los procesos químicos, el valor Q_{10} oscila entre 2 y 3. (Ordoñez et al, 1998)

II.7. Determinación de la caducidad de los alimentos

Para estimar el tiempo de vida útil de los alimentos existen diversos métodos de medición entre los que se encuentran las siguientes características: sensoriales, químicas, físicas, microbiológicas, propiedades funcionales y cumplimiento de la información nutricional (García y Molina, 2008).

La determinación de la caducidad de un alimento puede realizarse por pruebas aceleradas o pruebas de almacenamiento (García y Molina, 2008).

La prueba acelerada, es una determinación rápida (Accelerated Shelf Life Determination, ASLD) en la que se estima el tiempo de vida útil de un alimento en un período de tiempo corto. La reducción del tiempo se logra almacenando los alimentos a temperaturas elevadas con el fin de acelerar las reacciones químicas que tienen ocurrencia en los mismos. Se estima entonces, la caducidad en condiciones normales de almacenamiento por interpolación de los datos obtenidos en la determinación rápida. Como ventaja se tiene que resulta útil cuando los modelos de cambios son casi idénticos en el almacenamiento normal y acelerado. Sin embargo, tiene como limitaciones que la temperatura como factor acelerador puede generar cambios diferentes, y por consiguiente no esperados, por la complejidad de composición de los alimentos (desarrollo de microflora diferente, cambios en licuefacción y cristalinidad en grasas) (García y Molina, 2008).

La prueba de almacenamiento consiste en la escogencia de las características del almacenamiento entre fijas o variables, pudiendo ser: óptimas, medias o típicas y peores condiciones posibles. Se realizan análisis de la composición de la muestra de acuerdo al tipo de alimento siguiendo un calendario de muestreos, cuya frecuencia depende del tipo de alimento a analizar.

Existen una serie de factores que influyen en el desarrollo de una alteración microbiana y fisicoquímica de los alimentos, como: tiempo, temperatura, pH, potencial redox, presión osmótica y contenido de agua libre (Ordoñez et al., 1998).

Los mecanismos de deterioro de un alimento se miden en función de los cambios en un producto alimenticio de estas características mencionadas. Estos cambios pueden ser: disminución o aumento del contenido de humedad, transferencia física de sustancias diferentes de la humedad o vapor de agua (O_2 , aromas, metales pesados, compuestos químicos, etc.), cambios inducidos por exposición luminosa (natural o artificial), cambios químicos o bioquímicos, cambios microbiológicos (Morales, 2009).

En cualquier sistema biológico, el crecimiento puede ser definido como el aumento ordenado de todos los componentes químicos (Stanier, Ingraham y Wheelis, 1992).

En biología se ha observado que la rapidez de crecimiento de poblaciones de microorganismos es proporcional a la población presente en un tiempo t , de acuerdo con la ecuación mostrada a continuación:

$$\frac{dx}{dt} = px, \quad x(t_0) = x_0 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

x : Cantidad de microorganismos

t : Tiempo (tiempo)

p : Constante de proporcionalidad (tiempo^{-1})

Al conocer una población en cierto tiempo inicial t_0 , la solución de la Ecuación 2 es útil para predecir la población en el futuro. La ecuación 3 es utilizada para modelar fenómenos en los que intervienen crecimiento poblacional, decaimiento o desintegraciones de sustancias radioactivas. (Zill y Cullen, 2004).

La curva representativa de la ecuación 3 se muestra en la figura N° 02 a continuación:



Figura N° 02. Crecimiento de la población de microorganismos

Las características propias del alimento permiten la ocurrencia de mucha actividad dentro del mismo, hay movimiento, transformación de energía, síntesis química de nuevos compuestos, descomposición química y transferencia de materiales. La suma total de estas reacciones en la célula microbiana se conoce como metabolismo microbiano. A las reacciones de síntesis de compuestos, formación de nuevo protoplasma, se conoce como anabolismo, y a las reacciones de descomposición o degradación, las cuales involucran la producción de energía se conoce como catabolismo. La energía utilizada por los microorganismos para subsistir proviene de

la energía almacenada en los enlaces químicos de los compuestos. Es por esto que la actividad microbiana altera la composición química de los alimentos. (Arango, s.f.)

La importancia del presente trabajo de grado, aparte de ser un estudio de viabilidad de la obtención del mucílago como subproducto dentro del proceso de elaboración del cacao, es que alimenta de información a la exigua base de datos relativos al mucílago dentro del campo de investigación del país.

CAPÍTULO III

III. MARCO METODOLÓGICO

A continuación se presenta el marco metodológico utilizado para la realización de este trabajo de grado.

La figura N° 03 muestra mediante un diagrama de flujo la metodología del proceso completo, desde la cosecha hasta los análisis que midieron por una parte la calidad final de la almendra de cacao y por otro lado la estabilidad del mucílago de cacao.

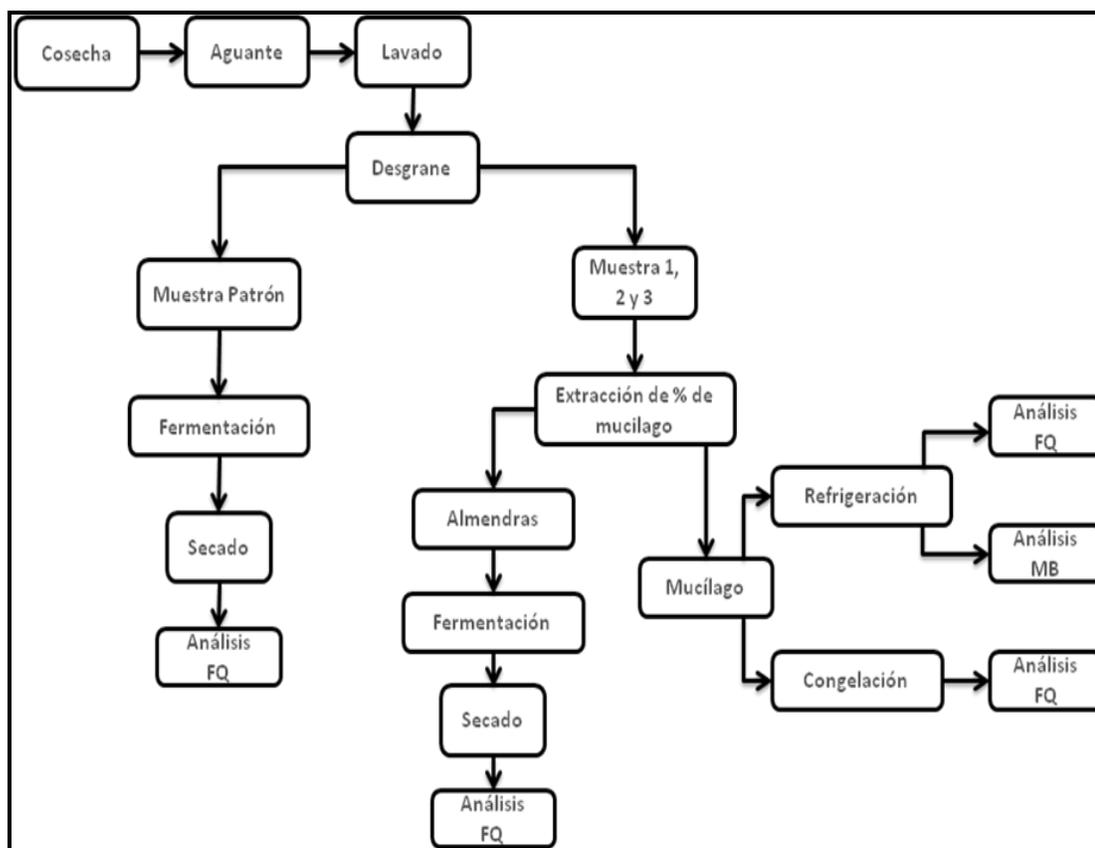


Figura N° 03. Diagrama de flujo de la metodología

La metodología aplicada se dividió en dos etapas realizadas a la par, la primera consistió en extraer parte del mucílago presente en las almendras de cacao frescas con la finalidad de analizar su estabilidad biológica y fisicoquímica a lo largo del tiempo

y definir su posible uso comercial y la segunda en aplicar el proceso de beneficio de acuerdo con la metodología de la zona, la cual será descrita más adelante, a muestras de cacao con diferentes grados de extracción y medir la calidad final de dichas muestras determinando así el porcentaje óptimo de extracción. A continuación se describe de manera detallada cómo se llevaron a cabo estas etapas.

III.1. Beneficio de las muestras de cacao

En el Capítulo II, específicamente en la sección II.2 se definió el beneficio del cacao. En la presente sección se describirá la metodología seguida en la Estación Experimental de INIA-Miranda, para este proceso.

Se cosecharon sólo mazorcas sanas y maduras, la madurez de los frutos se apreció por la coloración de los mismos. La recolecta de los frutos se realizó en la plantación ubicada en el Campo experimental de Padrón de INIA-MIRANDA. Estas mazorcas fueron desgranadas cerca del cuarto de fermentación. El desgrane permitió el descarte del material que se encontraba enfermo, tierno o sobremaduro para evitar una composición fisicoquímica o biológica inadecuada de la masa a fermentar, lo que afectaría directamente en la calidad final de las almendras beneficiadas. También se procedió a pesar los residuos de cáscara y placenta para la determinación de los porcentajes de rendimiento en función del peso promedio del fruto de cacao.

Una vez desgranadas y seleccionadas, las almendras frescas fueron colocadas en cajones de madera. Cada cajón se cubrió con hojas de plátano y con sacos de yute, para garantizar las condiciones anaerobias de la fermentación. Transcurridas 24 horas se realizó el primer volteo, removiendo la masa fermentante, volviendo a colocar los sacos sobre el cajón. A las 72 horas se realizó la segunda remoción de la masa hasta los 5 días de fermentación, al final de este tiempo se había completado la degradación del mucílago en su totalidad.

Se pasó a la etapa de secado de las almendras fermentadas. Las almendras fueron sacadas de los cajones de madera y colocadas en el patio de cemento ubicado junto al cuarto de fermentación para que se secaran entre 5 y 6 días. La disposición de las almendras fue sin amontonamiento para permitir un secado uniforme de las mismas,

para ello, además de no apilar las almendras, a éstas se les realizaron movimientos periódicos con una pala de madera disponible para este fin.

A continuación se describe el procedimiento experimental de cada una de las etapas del proceso de beneficio de las almendras de cacao.

III.1.1. Cosecha y preparación a la fermentación

Se recolectó un total de 560 frutos sanos y maduros de clones promisorios y cultivados en el Campo experimental de Padrón de INIA-MIRANDA ubicado en Caucagua, Municipio Acevedo del estado Miranda (Cosecha). Una vez cosechados, se lavaron y pesaron los frutos, con una balanza. Finalizado el pesaje se procedió al desgrane de las mazorcas el mismo día de la cosecha de las mismas, por lo que no hubo prefermentación o aguante de los frutos. Se pesaron las almendras cubiertas con mucílago. Esta masa de granos con baba mucilaginosa se distribuyó en cuatro porciones de aproximadamente 20 kg cada una. Cada una de estas muestras se diferenció de acuerdo a la cantidad de granos a los que se le aplicó el desbabe. Las cantidades de granos a los que se les realizó el método de separación mecánica serán especificadas en la sección III.1.2.

La preparación de las almendras frescas consistió en la colocación de las mismas cajones cuadrados hechos a partir de madera de roble con orificios en el fondo de la misma para facilitar el drenaje de mucílago en exceso que se encuentra adherido a la almendra.

III.1.2. Proporciones de almendras de cacao a desbabar

La primera muestra, identificada como Muestra 1, se sometió al proceso de beneficio de acuerdo a la metodología de Álvarez et al., 2010, descrita en la sección anterior, sin ningún tipo de variación. Sirvió como la muestra control con la que se compararon los resultados obtenidos con el resto de las muestras. Del resto de las porciones de granos prefermentados se tomaron porcentajes en peso de almendras cubiertas con mucílago y fueron sometidas al proceso de desbabe, obteniendo así la separación de la fase sólida (grano) de la líquida (mucílago). Los porcentajes se

escogieron de modo que la masa de mucílago extraído fuese incrementándose equitativamente entre una muestra y otra sin llegar a sobrepasar el 50 % de la masa total de mucílago de modo que no se perjudicara la calidad de la almendra debido a la importancia del papel de la pulpa en el proceso de fermentación. La tabla N° 05 presenta los códigos con los que se identificó cada muestra y el porcentaje de masa de almendras a desbabar por masa de almendras frescas totales.

Tabla N° 05. Porcentajes en peso de almendras frescas desbabadas

Nombre de la muestra	% (m/m) de almendras desbabada [%]
Muestra 1	0,0
Muestra 2	15,0
Muestra 3	30,0
Muestra 4	45,0

III.1.3. Extracción del mucílago

La extracción del mucílago se realizó empleando diferentes métodos que pudieran adecuarse a las condiciones a las que trabaja el productor de cacao tanto a nivel artesanal como industrial y a modo de recomendación. Para ello se debieron definir algunas variables en las técnicas extractivas, mediante unos análisis preliminares que se describen a continuación.

Para la separación de la pulpa mucilaginososa de la almendra de cacao se realizaron unas pruebas que permitieron conocer el rendimiento de kg de mucílago extraíble por kg de grano de cacao prefermentado con tecnologías de separación aplicables al proceso.

Se realizó una extracción a nivel artesanal, en la cual las almendras frescas se sometieron al proceso de tamizado, para el cual se emplearon tres tipos diferentes de tamices: Saco de muselina, malla plástica, colador rígido plástico. Se realizaron tres réplicas de tamizado para cada uno con la finalidad de realizar un estudio estadístico del muestreo.

La metodología utilizada para estas pruebas preliminares consistió en seleccionar mazorcas de cacao sanas, 3 en total; se lavaron y desgranaron, y los granos cubiertos con mucílago se distribuyeron en nueve porciones. Se pesaron cada una de estas

porciones. La identificación de estas porciones se muestra seguidamente en la tabla N° 06.

Tabla N° 06. Identificación de las muestras para el tamizado artesanal

Tipo de tamiz	Nombre de la muestra		
Muselina	Muselina-1	Muselina-2	Muselina-3
Malla plástica	Malla-1	Malla-2	Malla-3
Colador plástico rígido	Colador-1	Colador-2	Colador-3

Una vez pesadas e identificadas, fueron colocadas en cada uno de los tamices. Con la finalidad de ayudar al desbabe de los granos de cacao sin provocar ningún daño a las almendras, éstos se masajearon cuidadosamente durante la extracción, para ayudar a la separación del fluido. El proceso de separación tuvo duración variable para cada caso (entre 5 y 20 minutos aproximadamente) y concluyó cuando se observó que ya no fluía mucílago a través del tamiz. Conforme se fue separando la pulpa mucilaginosa del grano, ésta se depositó en recipientes limpios, los cuales fueron pesados antes y después de la extracción. La diferencia de pesos permitió obtener la cantidad de mucílago separado. Se pesaron las almendras una vez desbabadas. Con estos datos se realizó un balance de masa que determinó el rendimiento de separación para cada tamiz, la cual permitió la escogencia del mismo. Dicho rendimiento fue calculado según la ecuación 4.

$$Rendimiento = \frac{m_M}{m_{A.F.}} \times 100\% \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Rendimiento: Rendimiento en porcentaje de kg de mucílago extraído por kg de almendras frescas a desbabar (%)

m_M : Masa de mucílago extraído (kg)

$m_{A.F.}$: Masa de almendras frescas a desbabar (kg)

Para conocer el rendimiento de kg de mucílago por kg de cacao fresco mediante el uso de la centrifugadora se realizó una prueba preliminar con la finalidad de conocer las condiciones más favorables que deben tener las almendras frescas antes de extraerles el mucílago que contenían. Se analizaron 3 condiciones diferentes:

almendras frescas sin ninguna modificación, almendras frescas con masaje previo y almendras frescas sumergidas en agua y con aplicación de masaje previo.

Se seleccionaron 5 mazorcas de cacao sanas, éstas fueron lavadas y desgranadas. Se pesaron las almendras frescas y se distribuyeron en 12 porciones equitativas. Cada una de estas porciones se prepararon de acuerdo con las condiciones ya descritas y su identificación se muestra a continuación en la tabla N° 07.

Tabla N° 07. Identificación de las muestras para el acondicionamiento antes del centrifugado

Condición de almendra fresca	Nombre de la muestra			
Sin modificación	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4
Masaje previo	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4
Masaje previo e inmersión en agua	AG-1	AG-2	AG-3	AG-4

SM: Sin masaje previo; MP: Con masaje previo; AG: Sumergidas en agua con masaje previo

La separación se realizó mediante una máquina centrifugadora que opera por carga, empleando la misma potencia y el mismo tiempo de centrifugado para todas las muestras. Se escogió el método que mostró mayor rendimiento de kg de mucílago por kg de almendra fresca. Este rendimiento se calculó de acuerdo con la ecuación 4 mostrada anteriormente, pesando las almendras desbabadas y el mucílago extraído; en el caso de las almendras a las que se les adicionó agua, se pesó el agua antes de agregarle las almendras frescas y finalmente se pesó el líquido obtenido luego de la centrifugación y por diferencia de pesos se calculó la cantidad en peso de mucílago extraído. Se compararon los métodos de extracción entre sí, permitiendo definir cuál de ellos ofreció un mayor rendimiento en la separación.

Una vez definido el acondicionamiento previo de las almendras se realizó la extracción del mucílago adherido a las mismas variando la potencia y el tiempo del centrifugado para conocer las condiciones de operación más favorables para el proceso extractivo. Se escogieron 9 mazorcas de cacao sanas, las cuales fueron lavadas y desgranadas. Las almendras frescas se distribuyeron en 36 porciones de aproximadamente el mismo peso para realizar la extracción para cada caso por triplicado. La identificación de estas muestras se presenta en la tabla N° 08.

Tabla N° 08. Identificación de las muestras para el centrifugado

Nombre de la muestra	Tiempo	Potencia
T1P1-1	5 min.	2000 rpm
T1P1-2		
T1P1-3		
T1P1-4		
T2P1-1	10 min.	
T2P1-2		
T2P1-3		
T2P1-4		
T3P1-1	15 min.	
T3P1-2		
T3P1-3		
T3P1-4		
T1P2-1	5 min.	2500 rpm
T1P2-2		
T1P2-3		
T1P2-4		
T2P2-1	10 min.	
T2P2-2		
T2P2-3		
T1P2-4		
T3P2-1	15 min.	
T3P2-1		
T3P2-3		
T3P2-4		
T1P3-1	5 min.	3000 rpm
T1P3-2		
T1P3-3		
T1P3-4		
T2P3-1	10 min.	
T2P3-2		
T2P3-3		
T2P3-4		
T3P3-1	15 min.	
T3P3-2		
T3P3-3		
T3P3-4		

La extracción del mucílago de las muestras 1, 2, 3 y 4 se hizo de manera artesanal únicamente, debido a que en la estación INIA-MIRANDA no se cuenta con centrifugadora, lo que implicaba que el desgrane debía realizarse muy lejos del cuarto

de fermentación, no cumpliendo con el procedimiento experimental que se detallará más adelante en la sección III.1.7. La extracción artesanal se hizo con el método de separación que resultó más favorable para el proceso de desbabe en las pruebas preliminares realizadas con los diferentes tipos de tamices.

La extracción del mucílago se realizó de manera higiénica, por lo tanto, los contenedores del mucílago estaban estériles antes de iniciar el proceso extractivo y la manipulación se realizó con el uso de máscaras de protección para nariz y boca, además de guantes de látex que impidieron la contaminación de las muestras por parte de los operarios.

III.1.4. Almacenamiento del mucílago extraído

Debido a los procesos fermentativos que sufre el mucílago una vez desgranada la mazorca de cacao, fue necesario aplicar métodos de conservación basados en la reducción de la velocidad de estas reacciones. Para ello, se almacenaron las muestras de mucílago a temperaturas de refrigeración (-1°C), en un refrigerador disponible en el laboratorio del ICTA y congelación (-20°C), en un congelador disponible en el laboratorio del ICTA, dispuestas en bolsas plásticas con cierre hermético (ocho en total), previamente esterilizadas a fin de evitar la contaminación de las muestras. Se escogieron equipos de refrigeración y congelación similares a los que podrían emplear los artesanos al realizar el almacenamiento del mucílago extraído, debido a que estos equipos han sido diseñados para operar dentro del rango de temperatura de seguridad, inhibiendo el crecimiento de microorganismos patógenos.

III.1.5. Análisis microbiológico y fisicoquímico del mucílago almacenado

El análisis microbiológico permitió determinar la curva de crecimiento poblacional de los microbios en función del tiempo. El análisis fisicoquímico mostró los cambios fisicoquímicos del mucílago por la ocurrencia de reacciones químicas de sus componentes. Los análisis microbiológicos se realizaron únicamente a las muestras refrigeradas, debido a la actividad despreciable de microorganismos a la temperatura de congelación.

En la tabla N° 09 se muestra el cronograma de los análisis, así como el tipo de prueba, la condición de almacenamiento de la muestra y el nombre que la identificó.

Tabla N° 09. Muestras de mucílago

Tiempo (días)	Tipo de análisis	Condiciones de almacenamiento	Nombre de la muestra
0	Microbiológico	N/A	M-0
	Fisicoquímico	N/A	FQ-0
7	Microbiológico	Refrigeración	M-7
	Fisicoquímico	Refrigeración	FQ-R-7
14	Microbiológico	Refrigeración	M-14
	Fisicoquímico	Refrigeración	FQ-R-14
		Congelación	FQ-C-14
28	Fisicoquímico	Congelación	FQ-C-28

Para las muestras M-0 y FQ-0 no aplica la descripción de las condiciones de almacenamiento debido a que no fueron almacenadas, sino que inmediatamente después de la extracción del mucílago las mismas fueron sometidas a los análisis descritos en la tabla anterior.

Los métodos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos para alimentos se encuentran estandarizados por las autoridades sanitarias competentes. Dichos análisis se muestran en la tabla N° 10 a continuación.

Tabla N° 10. Métodos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de mucílago

Análisis	Método
Aerobios mesófilos*	COVENIN 902-87
Mohos y Levaduras*	COVENIN 1337-78
Coliformes totales*	COVENIN 1104-96
pH	AOAC Official Method 945.27
Acidez Total Titulable	AOAC Official Method 942.15
Grados Brix	AOAC Official Method 932.14
Porcentaje de Humedad Relativa	COVENIN 374:1995
Porcentaje de Proteína Cruda**	AOAC Official Method 955.04
Porcentaje de Grasa Cruda**	AOAC Official Method 922.06
Porcentaje de Cenizas**	AOAC Official Method 920.181
Porcentaje de fibra cruda**	AOAC Official Method 930.20
Porcentaje de azúcares totales**	Por diferencia

* Sólo a muestras refrigeradas

** En base seca

Los resultados de los análisis microbiológicos (Aerobios mesófilos, Mohos y Levaduras y Coliformes totales) permitieron conocer la cantidad de microorganismos presentes en el mucílago de cacao durante los 2 diferentes tiempos de almacenamiento. El resto de las propiedades analizadas dieron la información necesaria para conocer las características del medio (pH y acidez total titulable) y la proporción en la que los componentes del mucílago aumentaban o disminuían su cantidad producto de la degradación del mismo.

III.1.6. Tiempo de caducidad del mucílago almacenado

Para la estimación de tiempo de caducidad del mucílago almacenado se empleó el método para pruebas de almacenamiento descrito en la sección II.7 con características de almacenamiento fijas. La peor condición posible, por razones económicas fue la refrigeración, debido a la rapidez con la que se degrada el mucílago a temperatura ambiental (en el proceso de fermentación), el muestreo debía tener una frecuencia diaria lo que acarrea un gasto excesivo. La condición media o típica fue la congelación, pues es la condición con la que se pretende almacenar el mucílago para su uso comercial.

A medida que transcurrió el tiempo, ocurrieron cambios en la composición fisicoquímica del mucílago de cacao, los cuales fueron medidos a la par de los análisis microbiológicos. Como ya se mencionó en la sección II.6.1, existe una dependencia directamente proporcional de la velocidad de reacción con la temperatura, al disminuir esta última, la primera lo hace también logarítmicamente. Los cambios ocurridos en el mucílago refrigerado, se dieron en el mucílago congelado, sólo que a una velocidad menor.

Se hicieron modelos matemáticos que representaron el crecimiento poblacional microbiológico de las muestras: M-7 y M-14 y se calculó el factor de proporcionalidad p para cada uno de esos muestreos y con el promedio de estos valores se realizaron las curvas de crecimiento poblacional mediante la ecuación 3 de la sección II.7, esto se realizó para cada tipo de microorganismo analizado. Finalmente, se comparó con las especificaciones a nivel comercial de presencia de

microorganismos en alimentos se pudo estimar por interpolación el tiempo de caducidad aproximado por contaminación microbiana del mucílago refrigerado. Se verificó que el modelo matemático del crecimiento en la población de microbios cumpliera con la tendencia mostrada en la figura N° 02, mostrada en la sección II.7. Las muestras FQ-R-7 y FQ-R-14 fueron analizadas midiendo los cambios en la composición del mucílago refrigerado, permitiendo definir la razón con la que los macronutrientes y demás compuestos variaron con diferentes tiempos de almacenamiento. En el caso de tener variaciones significativas en el tiempo, debieron compararse con los cambios a nivel microbiológico para determinar así la caducidad del mucílago refrigerado. En el caso de las muestras FQ-C14 y FQ-C-28 se definió, mediante el análisis fisicoquímico, si las mismas tuvieron cambios significativos en su composición, para estimar el tiempo aproximado de caducidad del mucílago congelado, empleando para ello los resultados obtenidos en los análisis de las muestras FQ-R-7 y FQ-R-14 en conjunto con el valor Q_{10} , descrito mediante la ecuación 2 en la sección II.6.1.

III.1.7. Fermentación de las muestras de almendras de cacao

La fermentación de las muestras de cacao se realizó según la metodología de Álvarez et al., 2011, con el fin de obtener resultados ajustables y aplicables a la realidad del sector.

Las muestras 1, 2, 3 y 4 fueron colocadas en cuatro fermentadores de madera con 25 kg de capacidad cada una. Estos cajones se cubrieron con mantas plásticas y hojas de plátano, con el fin de aislar las almendras del aire y permitir el ataque anaeróbico de las bacterias. En esta etapa se realizaron dos remociones de la masa de granos en fermentación, uno a las 24 horas y otro a las 72 horas de iniciada la fermentación, a esto se le conoce como volteo. Después, se destaparon los cajones y se dejaron fermentar en condiciones aerobias hasta completar los 5 días.

La muestra 1 de almendras con mucílago no tuvo ninguna modificación a la que se describió anteriormente. En el caso de las muestras 2, 3 y 4 se les aplicó la técnica de microfermentación en mallas, cada una de las porciones de las almendras desbabadas

de las muestras, se colocaron en mallas diferentes, cada malla contuvo aproximadamente 1 kg de almendras sin mucílago. La colocación de las almendras desbadas dentro de mallas permitió diferenciarlas luego del proceso fermentativo para el análisis posterior de calidad de las mismas. Estas mallas fueron dispuestas dentro de la masa de fermentación de manera alternada (almendras sin desbabe-almendras desbadas) con la finalidad de aprovechar el mucílago presente en las almendras a las que no se les extrajo el mucílago.

III.1.8. Secado de las muestras de almendras de cacao

El secado de los granos de cacao fermentados se realizó según la metodología de la zona y se describe a continuación.

El secado se realizó en el INIA empleando patios de secado, específicamente para cacao en un tiempo de entre 5 y 8 días aproximadamente, dependiendo de las condiciones climáticas. Se colocaron las almendras distribuidas uniformemente (sin apilamiento) en los patios de secado, sobre mantas plásticas. El contenido de humedad se redujo hasta valores entre 6% y 8%, para evitar la reproducción de hongos en las almendras, sin disminuirlo por debajo de este valor debido a que la almendra se tornaría quebradiza disminuyendo su calidad.

III.2. Calidad final de las almendras de cacao beneficiadas

Se analizaron las muestras de cacao secas en las proporciones extraídas de mucílago ya descritas anteriormente y con ello se pudo analizar el efecto que tiene la cantidad de mucílago extraído. La tabla N° 11 muestra la metodología empleada para los análisis fisicoquímicos de los granos de cacao.

Tabla N° 11. Métodos de análisis fisicoquímicos de las almendras de cacao beneficiadas

Análisis	Método
Peso de 100 granos de cacao seco	COVENIN 50-95
Porcentaje de testa	COVENIN 50-95
Prueba de corte ponderada	COVENIN 442:1995
pH	AOAC Official Method 945.27
Acidez total titulable	AOAC Official Method 942.15
Contenido de Polifenoides totales	Metodología de Price y Buttler, 1977
Porcentaje de humedad	COVENIN 374:1995
Porcentaje de proteína cruda	AOAC Official Method 955.04
Porcentaje de grasa cruda	AOAC Official Method 922.06
Porcentaje de cenizas	AOAC Official Method 920.181
Porcentaje de fibra cruda	AOAC Official Method 930.20
Porcentaje de azúcares totales	Por diferencia

Las características físicas (peso de 100 granos de cacao seco, porcentaje de testa, prueba de corte ponderada) fueron los parámetros que permitieron medir la calidad final del cacao y como su nombre lo indica, pudiendo catalogar las muestras analizadas de acuerdo con la clasificación de calidad. Las características químicas y la medición de macronutrientes brindaron de manera detallada la calidad del cacao beneficiado de acuerdo con los parámetros investigados en la bibliografía.

III.3. Cantidad máxima extraíble de mucílago antes del beneficio

La cantidad máxima extraíble estuvo determinada por la calidad final del cacao, debido a que la cantidad de producto final (mucílago congelado) no debe sacrificar la calidad del grano ya que perjudicaría a nivel económico a la industria cacaotera. El mayor porcentaje de mucílago extraído sin disminuir en gran magnitud la calidad del cacao aunado a los resultados del estudio económico para cada caso fue el que se definió como más favorable para su aplicación por los procesadores de cacao de la zona.

III.4. Estudio de pre-factibilidad económica

Se realizó un estudio de pre-factibilidad económica con el fin de solamente indicar que tan rentable podría ser la implementación de la extracción del mucílago. Se calculó la ingresos bruto tomando en cuenta la producción anual para el caso

artesanal e industrial y se contrastó con el costo de los equipos necesarios para tal empresa, el costo de los insumos a utilizar, la mano de obra necesaria, el mantenimiento de equipos importantes y el costo de los servicios.

III.4.1. Costo de equipos

Para el caso artesanal no se tienen equipos para extracción, ya que se realizaría de forma manual, sin embargo se deben contar con algunos equipos tales como un refrigerador o un congelador, una balanza y una selladora al vacío para sellar las bolsas de mucílago. Se debió tener en cuenta los gastos relacionados a la adquisición del medio filtrante.

En el caso de la extracción industrial, el equipo necesario para realizar la extracción sería la centrifugadora. El costo de una centrifugadora varía dependiendo del fabricante y de la cantidad de cacao cosechada por cada productor. Es por esto que se consultó el costo de este equipo con varios proveedores a nivel nacional e internacional y se seleccionó la que más se adecuó a las necesidades dadas por el volumen de producción y los precios encontrados. De igual forma, se consultaron los costos de equipos de empaquetado automático y de cavas industriales para almacenar el mucílago después del empaquetado.

III.4.2. Costos de operación

Los costos de operación dependen más que todo de los insumos que se consumirán en el proceso y el costo de la mano de obra y los servicios básicos. En el caso de la extracción artesanal, durante el proceso se estarán consumiendo en artículos de limpieza para acondicionar el sitio en donde se realizara la extracción, o después de utilizado, con el fin de evitar que ocurra contaminación, bolsas de plástico para almacenar el mucílago después de extraído, ente otros. Otro factor que hay que tomar en cuenta es la mano de obra, para determinó de la siguiente forma:

$$M.O. = S.M. \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ h}} \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

M.O: Mano de obra por obrero en base a una hora a destajo (BsF/hora)

S.M.: Sueldo mínimo (BsF/mes)

En este caso, se estaría pagando la mano de obra a destajo en caso del que volumen de producción sea bajo, como ocurre con el caso artesanal. Dependiendo de la producción del mucílago, se calcularía cuántos obreros y por cuánto tiempo al día se necesitarían.

En el caso de la extracción artesanal, si es necesario emplear la mano de obra a tiempo completo dentro del proceso (8 horas hábiles/día), por lo tanto, se calculó de la siguiente manera:

$$M.O. = S.M. \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \quad \text{Ec.7}$$

Con respecto al servicio de electricidad, las tarifas actuales de la empresa CORPOELEC para industrias pequeñas (cuya demanda no es mayor a 10 kVA) dependen del tipo de cargo que se realice. Cargo por demanda 2872,39 Bs / kWh y cargo por energía 76,25 Bs / kWh.

III.4.3. Costo y ganancia total

La ecuación 8 muestra el cálculo de los ingresos brutos anuales para el caso artesanal

$$I.B._{Art} = P.A. \times H.P. \times Rel \times P.E. \times R \times P.M. \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

I.B._{Art}: Ingresos brutos a nivel artesanal (BsF/año)

P.A.: Producción promedio de cacao seco de un artesano de la zona por cada hectárea (kg cacao seco/ha.año)

H.P.: Número de hectáreas que posee en promedio un artesano de la zona (ha)

Rel: Relación (kg_{cacao fresco}/kg_{cacao seco})

P.E: Porcentaje de extracción de mucílago (kg de mucílago/kg de cacao fresco)

R: Rendimiento de extracción (Adimensional)

P.M: Precio de venta al público del kg de mucílago (BsF/kg mucílago)

Para el caso industrial, los ingresos brutos se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$I.B._{Ind} = P.A \times Rel \times P.E. \times R \times P.M \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

I.B. _{Ind}: Ingresos brutos a nivel industrial (BsF/año)

Para calcular la ganancia bruta. Para ambos casos, esto se hace tomando en cuenta todos los costos asociados a la producción del mucílago según la siguiente ecuación:

$$G.B. = I.B. - C.I. - C.E. - M.O. - Serv - Mant \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

G.B.: Ganancia bruta (BsF/año)

C.I: Costo de insumos (BsF/año)

C.E: Costo de equipos (BsF/año)

Serv: Costo de los servicios (BsF/año)

Mant: Costo relacionado al mantenimiento de equipos (BsF/año)

III.5. Análisis estadístico

Los análisis realizados a las muestras tanto de mucílago como de las almendras de cacao fermentadas secas se realizaron por triplicado a los resultados se les aplicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey con el programa estadístico Infostat-Professional versión 1.1 (2002).

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos durante la realización del presente trabajo especial de grado.

IV.1. Técnicas de extracción

Debido a que para este proceso, tanto el fluido como los sólidos son productos valiosos, se descartó la lixiviación o el uso de solventes, antes del filtrado, como mecanismos de separación. Adicionalmente, tomando en consideración los recursos (artesanales o de pequeña escala) con los que cuenta la pequeña y mediana industria de la zona se realizó la extracción mediante filtración con ayuda manual, filtración por centrifugación, disponible en el Módulo V de la Escuela de Ingeniería Química de la UCV.

En base a las definiciones presentadas en la sección II.5, se realizaron las pruebas preliminares que ayudaron en la selección de las condiciones de la extracción del mucílago de cacao apropiadas para cada escala.

IV.1.1. Selección del tipo de tamiz

Se realizó la extracción de mucílago de forma preliminar de acuerdo con la metodología señalada en el capítulo anterior con la finalidad de conocer el tipo de material con el que se realizaría primero la extracción artesanal de las muestras de estudio. Las almendras de cacao fueron preparadas para la extracción manual del mucílago que contenían de la forma descrita en la metodología. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla N° 12.

Tabla N° 12. Rendimiento de la extracción artesanal de mucílago

Material	Rendimiento (%)	Tiempo (min)
Muselina	9,58 ± 4,9	19
Colador plástico	15,14 ± 3,5	14
Malla plástica	11,25 ± 1,8	6

Según los resultados presentados en la tabla N° 12 el colador plástico representó el material más adecuado para la extracción del mucílago de cacao a nivel artesanal para las muestras de almendras frescas. Sin embargo, durante las pruebas de extracción de las muestras 2, 3 y 4 resultó muy engorrosa dicha extracción debido a la cantidad de almendras a desbabar, por lo que se empleó una malla plástica, la cual hacía que la extracción de mucílago se realizara de manera más cómoda y además el tiempo del proceso se redujera.

IV.1.2. Extracción empleando la centrifugadora

Los resultados de las pruebas preliminares que permitieron definir las condiciones más favorables en la carga de alimentación se muestran a continuación en la tabla N° 13:

Tabla N° 13. Rendimiento para diferentes condiciones de la carga de alimentación a la centrifugadora.

Muestra	Rendimiento [%]
SM	16,24 ± 2,60
MP	32,96 ± 4,91
AG	23,23 ± 7,36

SM: Sin masaje previo MP: Con masaje previo AG: Sumergidas en agua con masaje previo

El equipo de centrifugación operó a 2500 rpm por un período de tiempo de 15 minutos. La condición más favorable obtenida fue aplicando un masaje previo a las almendras dentro de las celdas de la centrifugadora. Se esperaba que el masaje previo de las almendras frescas ofreciera un mejor resultado en cuanto a rendimiento debido a que este masaje brindó un desprendimiento de mayor cantidad de mucílago antes de aplicar el centrifugado. En cuanto a la inclusión de agua como solvente del mucílago antes de la separación no resultó tan eficiente como la aplicación de masaje, debido a que la fuerza de fricción entre las almendras fue menor al incluir el agua.

Una vez determinada la mejor de las condiciones previas al centrifugado analizadas se calculó el rendimiento de g de mucílago por g de almendras frescas de alimentación variando la potencia y tiempo de centrifugación. Los resultados de este análisis se muestran en la tabla N° 14 en seguida:

Tabla N° 14. Rendimiento de la extracción de mucílago mediante centrifugación

Potencia Tiempo	P1	P2	P3
T1	11,18 ± 5,56 %	21,74 ± 0,87 %	23,17 ± 7,10 %
T2	19,69 ± 3,33 %	23,05 ± 5,88 %	27,23 ± 2,36 %
T3	22,38 ± 3,62 %	32,96 ± 4,91 %	36,02 ± 6,23 %

T1: 5 min. T2: 10 min. T3: 15 min. P1: 2000 rpm P2: 2500 rpm P3: 3000 rpm

Se verificó con los resultados obtenidos al realizar estos análisis, que el rendimiento de extracción aumenta directamente tanto con el tiempo como la potencia del centrifugado. Este resultado es el esperado debido a que la centrifugación se basa en la separación gracias a la presión que resulta de la acción centrífuga, la cual obliga al líquido a pasar a través del medio filtrante, dejando los sólidos retenidos (McCabe et al., 2007), esto quiere decir que al haber mayor potencia, mayor será la magnitud de dicha aceleración. En cuanto al tiempo de centrifugado, se sabe que el medio filtrante durante la centrifugación se encuentra impregnado del líquido, el flujo de éste es laminar y la resistencia del medio filtrante es constante (Perry, 1999) por lo que el líquido se mantiene fluyendo constantemente a través de él. La mayor potencia durante el mayor tiempo de centrifugado fue la condición de operación que favoreció el rendimiento del proceso extractivo.

Debido a que la masa de almendras frescas sometidas al desbabe artesanal fue similar en peso a la alimentada a la centrifugadora, se pueden analizar el rendimiento de mucílago extraído y el tiempo empleado en la separación del mismo.

En la tabla N° 14 se observa que para la condición de operación de baja potencia y el menor tiempo de centrifugado analizado (T1P1) el rendimiento fue más alto que el obtenido para las muestras tamizadas con muselina y colador plástico y 0,07 % más bajo que el tamizado mediante malla plástica, en este último caso en particular, se puede decir que el proceso de extracción empleando un equipo de centrifugación

resulta tan eficiente en cuanto a tiempo empleado para alcanzar aproximadamente el mismo porcentaje rendimiento de mucílago que el método artesanal. Para el resto de los tiempos y potencias de centrifugación, el rendimiento superó al obtenido artesanalmente.

IV.2. Muestras de almendras frescas a beneficiar

Del proceso de beneficio aplicado a las almendras de cacao obtenidas en la estación experimental se obtuvieron los resultados mostrados a continuación.

IV.2.1. Materia prima

En Venezuela se extinguió el tipo de cacao conocido como criollo, encontrándose una especie híbrida en el occidente del país. En la zona de Barlovento sólo se cultivan algunos tipos con predominio de Forastero, este dato se pudo conocer al realizar la cosecha por parte de los productores del Campo Experimental de Padrón de INIA-Miranda.

Luego de la cosecha de las mazorcas se pudo obtener una relación entre la cantidad en peso de almendras frescas por mazorcas. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos a partir de 560 mazorcas de frutos maduros y sanos.

Tabla N° 15. Distribución en peso de los componentes de las mazorcas de cacao

	Peso ($\pm 0,0001$ kg)
Mazorcas de cacao	333,8025
Placenta	7,7444
Cáscaras	244,2458
Almendras	82,3142

La información mostrada en la tabla anterior ayudó a conocer las proporciones de cada uno de los componentes principales de las mazorcas de cacao. Dicha composición en porcentaje (m/m) de la población analizada de mazorcas de cacao se muestra a continuación en la figura N° 04

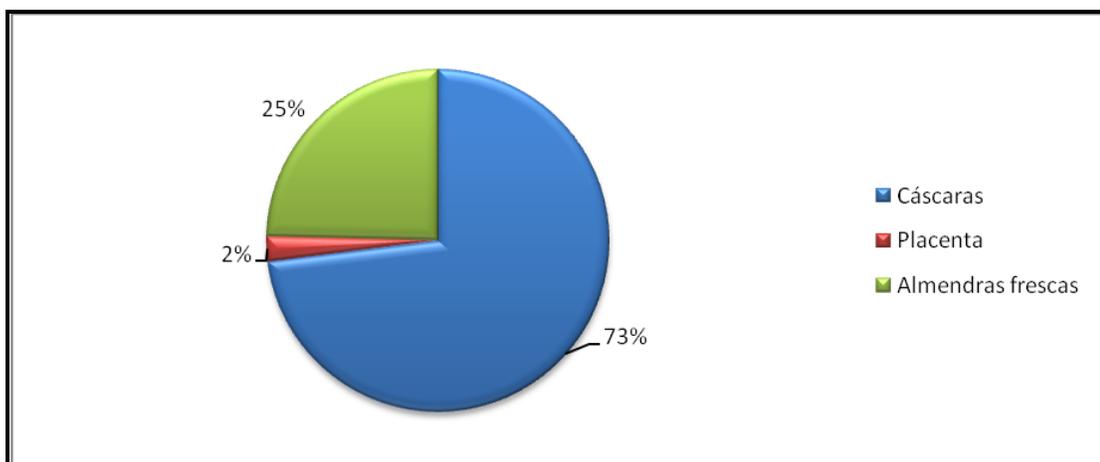


Figura N° 04. Distribución en porcentaje (m/m) de los componentes de las mazorcas de cacao

La información presentada en la figura N° 04 resulta de utilidad para brindar la información al productor de cacao sobre la cantidad aproximada de mucílago que podría extraer por mazorca cosechada de acuerdo con su propia capacidad de producción. Cada mazorca tuvo un peso de 0,60 kg, del cual el 25% es de almendras frescas de cacao, este porcentaje fue calculado con los valores de los pesos mostrados en la tabla N° 15. Por lo tanto, se puede decir que una de esas mazorcas cosechadas y desgranadas contuvo aproximadamente 0,15 kg de almendras frescas.

IV.2.2. Extracción del mucílago de las muestras de almendras frescas

Una vez definido el proceso a utilizar para la extracción (en este caso se trabajó con el artesanal por las razones mencionadas en la sección III.1.7), se procedió a la extracción del mucílago en las proporciones señaladas en la tabla N° 06 de la sección III.1.2, para identificar la influencia de la calidad final de la almendra a través del proceso de fermentación. Entonces, una vez pesadas las almendras frescas se calculó en el laboratorio el peso correspondiente al porcentaje de extracción y adicionalmente se pesó el mucílago extraído de cada muestra. Los resultados de esta actividad se presentan en la tabla N° 16:

Tabla N° 16. Peso de las almendras frescas, almendras desbadas y mucílago

Muestra	Peso almendras frescas (± 0,0001 kg)	Peso de almendras a desbabar (± 0,0001 kg)	Peso almendras desbadas (± 0,0001 kg)	Peso mucílago (± 0,0001 kg)
1	20,5908	0,0000	0,0000	0,0000
2	20,8619	3,1296	2,4741	0,5236
3	20,8615	6,2579	5,0703	1,0743
4	20,0000	9,0000	6,9050	1,7000

Los datos observados en la tabla N° 16 permitieron conocer el rendimiento de kg de mucílago extraído por kg de almendra fresca para cada una de las proporciones de extracción. Dicho rendimiento se muestra en la figura N° 05

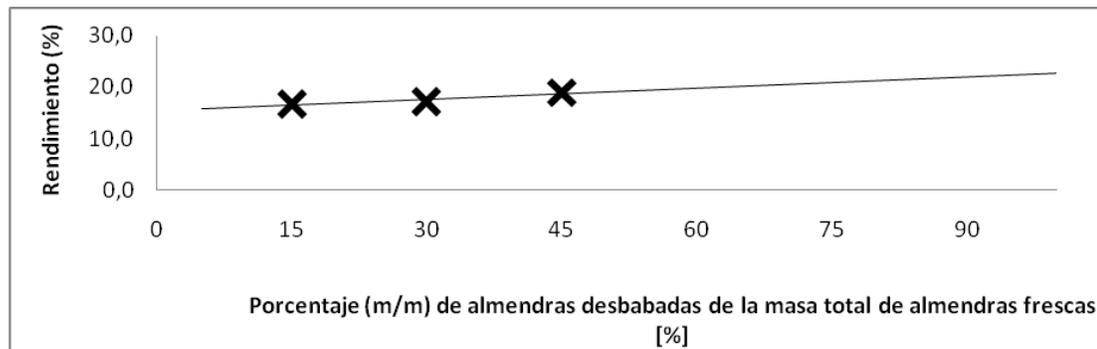


Figura N° 05. Rendimiento de kg mucílago por kg de almendras frescas

En la figura N° 05 se aprecia que conforme aumenta la masa a desbabar mayor es la masa de mucílago extraído por masa de almendra a desbabar, este resultado es el esperado debido a que, al existir mayor cantidad de almendras, la fricción que ejercen entre sí hace que el mucílago tienda a liberarse con mayor facilidad de la almendra.

Los valores del rendimiento fueron ajustados linealmente, obteniéndose una correlación de 0,9 para la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = 1,08 \times \% \text{ A.D} + 15,44 \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

% Rendimiento: Porcentaje de rendimiento de g de mucílago extraído por g de almendras frescas (%)

% A.D.: Porcentaje de almendras desbadas (%)

La correlación mayor a 0,9 del ajuste de los valores obtenidos para el rendimiento de g de mucílago por g de almendras frescas indica que el rendimiento tiene una relación

directa con la cantidad de almendras frescas sometidas a desbabe, por lo que se puede decir que no se aprecian factores adicionales a dicha cantidad que influyan en el porcentaje de rendimiento de la extracción.

Se pudo obtener entonces, la cantidad de mucílago que podría separar aproximadamente por mazorca empleada, considerando que, como se señaló en la sección anterior, cada mazorca tiene un peso aproximado de 150 g de almendras frescas, entonces multiplicando el rendimiento del mucílago en gramos extraído en cada caso. La tabla N° 17 muestra estos resultados:

Tabla N° 17. Rendimiento de g de mucílago por mazorca cosechada

Muestra	Rendimiento por mazorca (g de mucílago/mazorca cosechada)
2	25,10
3	25,75
4	28,33

Como se mencionó en la sección anterior la información mostrada en la tabla N° 17 brinda un estimado de la cantidad de mucílago que puede obtenerse al realizar la extracción de manera artesanal por mazorca cosechada.

IV.3. Mucílago almacenado

Para el almacenamiento del mucílago, la selección partió de evaluar las características de los procesos disponibles para tal fin. Los procesos de tratamientos térmicos y desecación involucran la adición de energía en forma de calor a la muestra, este calor por la naturaleza biológica de la misma puede conllevar a la desnaturalización de las proteínas presentes en ella, por lo que no se consideró apropiado para este caso. Los tratamientos de confitado y concentración involucran el cambio en la composición presente dentro de la muestra bien sea por añadidura o retiro de algún componente, debido a que no es de interés modificar las condiciones iniciales de la misma se descartó el uso de estas tecnologías. Por lo tanto, quedaron como alternativas los procesos de reducción de temperatura (refrigeración y congelación) los cuales traen como beneficio adicional la reducción de la actividad microbiana en las muestras estudiadas.

Con el fin de estudiar los cambios que se pueden presentar en la actividad microbiana de las muestras, se realizaron análisis microbiológicos para el mucílago para diferentes períodos de tiempo de almacenamiento según la metodología descrita en el capítulo anterior. Los resultados de dichos análisis se muestran en la tabla N° 18:

Tabla N° 18. Características microbiológicas del mucílago de cacao refrigerado

Muestra	Aerobios mesófilos (ufc/g)	Mohos y Levaduras (ufc/g)	Coliformes totales presuntivos (NMP/g)
M-0	3×10^2	2×10^2	< 3
M-7	3×10^2	4×10^2	< 3
M-14	$8,8 \times 10^2$	$7,6 \times 10^2$	< 3

Los análisis microbiológicos realizados a las muestras refrigeradas de mucílago permitieron conocer la tasa de crecimiento poblacional de microorganismos aerobios mesófilos, hongos, levaduras y Coliformes totales durante el período de tiempo especificado en el capítulo anterior.

Antes de abrirse, toda mazorca sana y por ende cada uno de sus componentes internos, se encuentran libre de microorganismos. La extracción del mucílago de cacao de las mazorcas de manera aséptica minimiza la contaminación microbiana. Sin embargo, en el medio ambiente existe la presencia de los microbios, los cuales utilizan a los alimentos como medio eficiente para su reproducción y aunque la disminución de la temperatura ralentiza este proceso, no se detiene por completo como ya se mencionó en la sección II.6.1. Es por esto que se observa en la tabla N° 18 un aumento en la cantidad de todos los microorganismos analizados conforme transcurrió el tiempo, con excepción de los Coliformes totales, los cuales en ninguno de los muestreos realizados tuvo una presencia significativa, esto último indica que las condiciones asépticas durante la extracción del mucílago se cumplieron.

Ya se ha definido que la degradación de alimentos se debe a diversos factores, por lo que no sólo la temperatura afecta este proceso. La facilidad con la que cada tipo de microorganismo se reproduce depende de las condiciones que el medio le brinda.

Resultó importante realizar además el análisis fisicoquímico de las muestras refrigeradas de mucílago con la finalidad de describir la composición de las mismas y así comprobar que el comportamiento de la degradación ocurrió de acuerdo con lo

descrito anteriormente. La tabla N° 19 muestra los cambios fisicoquímicos de las muestras de mucílago refrigeradas durante diferentes períodos de tiempo.

Tabla N° 19. Características fisicoquímicas del mucílago de cacao refrigerado

Análisis	FQ-0	FQ-R-7	FQ-R-14
pH	3,19 ± 0,01 a	3,22 ± 0,01 a	3,28 ± 0,01 a
Acidez Total Titulable	1,73 ± 0,02 b	2,68 ± 0,14 a	2,66 ± 0,18 a
Grados Brix	16,60 ± 0,20 a	16,33 ± 0,31 a	16,47 ± 0,12 a
Humedad Relativa (%)	78,52 ± 0,03 a	78,65 ± 0,01 a	78,55 ± 0,04 a
Pectinas*	0,91 ± 0,01 a	0,93 ± 0,01 a	0,94 ± 0,02 a
Proteína Cruda*	0,71 ± 0,01 b	0,71 ± 0,00 b	0,79 ± 0,01 a
Grasa Cruda*	1,47 ± 0,02 b	1,49 ± 0,01 a	1,54 ± 0,02 a
Cenizas*	7,69 ± 0,02 a	7,74 ± 0,04 a	7,80 ± 0,01 a
Fibra Cruda*	2,63 ± 0,04 a	2,71 ± 0,32 a	2,90 ± 0,06 a
Azúcares Totales*	8,98 c	8,70 c	8,42 c

Promedio seguido de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes

* Porcentaje (%) en base seca

Como se describió anteriormente, los cambios en la composición química del alimento están relacionados con la velocidad de deterioro del mismo. Los valores reportados en la tabla N° 19 indican que la calidad del mucílago no disminuye significativamente durante el almacenamiento de las muestras en condiciones de refrigeración, aunque existieron diferencias puntuales de algunos de los compuestos analizados.

Es importante acotar que las muestras almacenadas provienen del mismo proceso extractivo, pero fueron almacenadas independientemente entre sí, es posible que la composición no haya sido homogénea durante el embolsado.

Los datos reportados en la tabla N° 19 permiten describir las condiciones del medio que influyeron sobre el comportamiento de la actividad microbiana. Los valores del pH de las muestras refrigeradas corresponden con un compuesto ácido. A partir de estos valores de pH se puede decir que es muy probable que los aerobios mesófilos que se reprodujeron en el mucílago se traten de bacterias acéticas, debido a que la mayoría de las bacterias crecen óptimamente a pH próximos a la neutralidad, por debajo de este valor su crecimiento se inhibe de manera importante y por debajo de 4,5 difícilmente se multiplican, con excepción de las bacterias acéticas cuyo mínimo

es 2,8 (Ordoñez et al., 1998). En cambio, los hongos y levaduras pueden reproducirse de forma general a pH bajos, algunas especies incluso a un pH de 1,5-2,0 y a temperaturas psicrófilas (refrigeración). (Ordoñez et al., 1998). Es por estas razones que se puede decir que se verificó que el nivel bajo de pH favoreció en mayor medida al crecimiento de los mohos y levaduras comparado con el observado en aerobios mesófilos.

La diferencia observada en los valores de acidez no corresponde con lo esperado, se observa un aumento de los valores de pH, lo que implica que la acidez debería disminuir, lo que no se aprecia en los valores reportados. Esto puede deberse como ya se ha mencionado anteriormente a la composición inicial de las muestras antes del almacenamiento.

La variación en el contenido de proteínas para las muestras FQ-0 y FQ-R-7 podría explicarse de acuerdo con lo mencionado en párrafos anteriores sobre la homogeneidad composicional de las muestras, debido a que durante la degradación de los alimentos las proteínas disminuyen debido a la descomposición de estas macromoléculas por parte de microorganismos, quienes las consumen para su propia supervivencia en el medio (Arango, s.f.) y no es lo que se observa en los valores reportados en la tabla N° 19.

Se observa en la tabla N° 19 que el contenido de grasa cruda es significativamente menor en la muestra FQ-0 que el resto de las muestras analizadas, lo que contradice el hecho de que durante el almacenamiento de alimento las grasas tienden a oxidarse dando paso al proceso de enranciamiento de las mismas (Ordoñez et al., 1998), por lo tanto, lo más probable es que esta diferencia sea producto del azar, es decir, la falta de homogeneidad de las muestras inicialmente.

El porcentaje de azúcares totales no presentó diferencias estadísticas significativas entre las muestras. La relativa disminución puede explicarse en este caso debido a la relación que existe entre los microorganismos y estos compuestos. En los alimentos de origen vegetal ocurre lo que se conoce respiración aeróbica, en el cual los microorganismos transforman los carbohidratos (azúcares) en dióxido de carbono, agua, calor, compuestos volátiles y otras sustancias, éste proceso no se detiene

durante el descenso de la temperatura de almacenamiento (Ordóñez et al., 1998). En base a lo descrito anteriormente, el consumo de los azúcares por parte de la microflora presente en el mucílago es un resultado que se esperaba, esto pudo evidenciarse en ambas muestras refrigeradas, sin embargo se puede apreciar que el nivel de significancia para las tres muestras es bastante elevado, lo que implica que no se puede comprobar el efecto de los microorganismos en la tendencia que se observa en el contenido de azúcares totales.

Debido a que los cambios antes descritos no se dieron en igual proporción para todos los componentes analizados, se puede decir que no se evidenció de manera contundente el efecto que tienen los microbios sobre la degradación del mucílago a nivel composicional.

A continuación se muestran los análisis fisicoquímicos de las muestras de mucílago almacenadas en condiciones de congelación

Tabla N° 20. Características fisicoquímicas del mucílago de cacao congelado

Análisis	FQ-0	FQ-C-14	FQ-C-28
pH	3,19 ± 0,01 a	3,10 ± 0,00 a	3,18 ± 0,01 a
Acidez Total Titulable	1,73 ± 0,02 b	2,62 ± 0,05 a	2,27 ± 0,10 a
Grados Brix	16,60 ± 0,20 a	16,67 ± 0,31 a	13,47 ± 0,12 b
Humedad Relativa (%)	78,52 ± 0,03 a	77,04 ± 0,01 b	78,22 ± 0,18 a
Pectinas* (%)	0,91 ± 0,01 a	0,94 ± 0,02 a	0,92 ± 0,02 a
Proteína Cruda* (%)	0,71 ± 0,01 b	0,79 ± 0,00 a	0,70 ± 0,00 b
Grasa Cruda* (%)	1,47 ± 0,02 b	1,52 ± 0,01 a	1,56 ± 0,01 a
Cenizas* (%)	7,69 ± 0,02 a	7,78 ± 0,02 a	7,84 ± 0,06 a
Fibra Cruda* (%)	2,63 ± 0,04 a	1,98 ± 0,01 b	1,79 ± 0,21 b
Azúcares Totales* (%)	8,98 c	10,89 a	9,89 b

Promedio seguido de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes

* Porcentaje en base seca

Se observa en la tabla n° 20 que la diferencia entre los valores de pH de las muestras no presenta variaciones significativas, era de esperarse, debido a que el aumento de este valor, visto en las muestras refrigeradas se debió a la actividad microbiana y se ha mencionado anteriormente que durante la congelación dicha actividad se minimiza de tal manera que puede considerarse despreciable. Esto contradice lo observado en la acidez total titulable, cuyos valores si presentan una diferencia entre la muestra FQ-0

y las dos muestras congeladas, posiblemente la composición inicial sea la raíz de este comportamiento.

En la tabla N° 20 se observa que la muestra FQ-C-28 presenta una diferencia en los grados Brix (sólidos solubles) comparada con el resto de las muestras analizadas. Esto permite decir que dicha variación se puede considerar al azar por el nivel de significancia de su valor. Es importante acotar que las muestras almacenadas provienen del mismo proceso extractivo, pero fueron almacenadas independientemente entre sí, es posible que la composición no haya sido homogénea durante el empaclado. Otra posibilidad es que durante la descongelación previa a los análisis en el laboratorio haya ocurrido migración de estos sólidos solubles en el exudado. Se ha mencionado además que las reacciones entre los distintos componentes de un alimento disminuyen su velocidad de reacción pero no se detienen completamente. Es posible que la fermentación o consumo por parte de microorganismos de estos sólidos solubles haya sucedido en cierta medida, lo que provoca que por la hidrólisis o descomposición de éstos, su contenido haya disminuido, este fenómeno se ha observado en caracterizaciones de frutas anteriormente, aunque no influye de manera significativa en la calidad sensorial del producto de forma inmediata. (Mejía, Narváez y Restrepo, 2006)

La muestra FQ-C-14 presentó un porcentaje de humedad relativa significativamente menor que el resto de los análisis, se sabe que durante los procesos de refrigeración y congelación ocurre una pérdida de humedad por parte de los alimentos cuyo porcentaje de humedad relativa es alto, debido a que la humedad del medio es menor a la del alimento y éste tiende a cedérsela al primero (Ordoñez et al., 1998), Sin embargo, el almacenamiento en bolsas plásticas cerradas minimizó este efecto, al ofrecer una protección al mucílago, prueba de ello es que el resto de las muestras no mostraron grandes cambios en sus valores comparadas entre sí. En este caso, la diferencia observada en la muestra FQ-C-14 se puede explicar por la posible falta de homogeneidad en el momento del almacenamiento de las muestras.

Se aprecia sólo en las muestras FQ-0 y FQ-C-28 una diferencia importante comparada con el resto de las muestras, sin poder distinguir alguna tendencia en los

valores. Se esperaba una disminución del contenido de proteínas por la desnaturalización de las mismas en el transcurso del tiempo, sin embargo, no se puede evidenciar debido a lo mencionado anteriormente.

En cuanto al bajo contenido de fibra cruda de las muestras FQ-C-14 y FQ-C-28, se aprecia que su valor es significativamente más bajo que el medido en condiciones de refrigeración. Estos valores no son los esperados, debido a que la hidrólisis de las fibras se desfavorece a bajas temperaturas. Se podría esperar, en cambio que la disminución de estos compuestos ocurra en mayor grado en las muestras FQ-R-7 y FQ-R-14, sin embargo esto no es lo observado.

En los valores del contenido de azúcares totales resulta imposible describir alguna tendencia en los resultados debido a la gran variación de los valores calculados. Se esperaba una disminución en el contenido de estos compuestos y esto no se puede apreciar con los resultados presentados en la tabla N° 20.

IV.4. Tiempo de caducidad del mucílago

A partir de los datos de la tabla N° 19, se puede decir entonces que luego de 14 días de almacenamiento a la temperatura de refrigeración el mucílago no mantiene su estabilidad microbiológica pero si la fisicoquímica. Debido a las variaciones significativas sólo en compuestos puntuales, durante el período de tiempo en el que se realizó el muestreo, sin presentar ninguna tendencia apreciable, resultó imposible estimar el tiempo de caducidad bajo las dos condiciones de almacenamiento por interpolación. Sin embargo, mediante la definición de la ecuación 3 mostrada en la sección II.7, se pudieron calcular dos valores de la constante de proporcionalidad del crecimiento de la población de aerobios mesófilos para dos tiempos diferentes. Estos valores se muestran a continuación en la tabla N° 21:

Tabla N° 21. Constantes de proporcionalidad para aerobios mesófilos

Tiempo	P.A.M.
7	0,81
14	0,65
Promedio	0,73

Con el promedio de estos valores se pudo obtener la ecuación que representa de manera aproximada la actividad de estas bacterias, dicha ecuación se muestra a continuación:

$$X = e^{0,73t} \quad \text{Ec. 10}$$

De igual forma, las constantes de proporcionalidad del crecimiento de la población de mohos y levaduras, obtenidas de la misma manera descrita para los aerobios mesófilos, se presenta a continuación en la tabla N° 22:

Tabla N° 22. Constantes de proporcionalidad para mohos y levaduras

Tiempo	P.M.L.
7	0,86
14	0,64
Promedio	0,75

La ecuación que representa el crecimiento de la población de mohos y levaduras se muestra a continuación

$$X = e^{0,75t} \quad \text{Ec. 11}$$

Comparando los valores promedios de las constantes de proporcionalidad para cada tipo de microorganismo, como se puede observar en las tablas N° 21 y N° 22 resulto mayor en el caso de los mohos y levaduras, este valor resulta lógico en base al valor del pH medido en el mucílago y su relación con estos microbios. Por estas razones, se puede decir que son los mohos y levaduras tienen mayor influencia en la degradación del mucílago comparados con los aerobios mesófilos.

Conociendo las especificaciones a nivel comercial tanto de aerobios mesófilos como mohos y levaduras en alimentos sustituidas correspondientemente en las ecuaciones 10 y 11, se pudieron determinar los tiempos (para cada tipo de microorganismo por separado) en los que esos niveles máximos son alcanzados. Los valores de niveles máximos de aerobios mesófilos y mohos y levaduras son 100000 ufc/g y 100 ufc/g respectivamente. El menor de los tiempos calculados es el tiempo aproximado de caducidad del mucílago refrigerado por contaminación microbiana. Los resultados de este cálculo se muestran en la figura N° 06 en seguida:

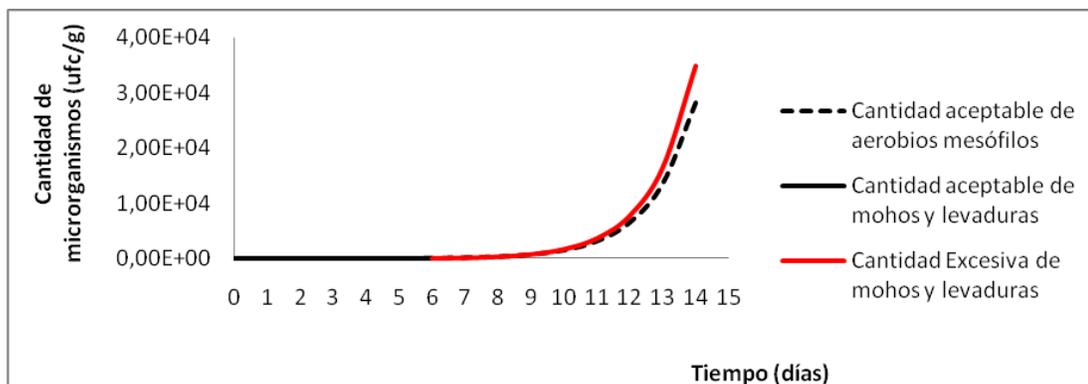


Figura N° 06. Modelos de crecimiento poblacional de microorganismos en el mucílago refrigerado

En la figura N° 06 se aprecia que durante el almacenamiento en refrigeración el mucílago pierde su caducidad en promedio para el día 6. Analizando la curva de crecimiento poblacional para aerobios mesófilos se observa que para los 14 días de almacenamiento el contenido de estos microorganismos no había alcanzado el nivel máximo reportado por las autoridades sanitarias. Sin embargo, los análisis fisicoquímicos no se observaron cambios significativos en la composición fisicoquímica del mucílago. Por lo tanto, se puede decir que aproximadamente a los 6 días de almacenamiento de refrigeración, el mucílago comienza a tener la actividad microbiana mínima que puede influir en su degradación en los días posteriores y es posible que para tiempos mayores a los 14 días se puedan evidenciar los cambios en su composición que corroboren la acción de descomposición de los microorganismos sobre el mucílago.

IV.5. Calidad de las almendras de cacao beneficiadas

La calidad de las almendras de cacao fermentadas secas se describe de acuerdo con sus características organolépticas, físicas y químicas. Los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado que permiten conocer la calidad final de los granos de cacao y se presentan a continuación.

IV.5.1. Características organolépticas de las almendras de cacao beneficiadas

Este tipo de calidad está determinada por la herencia genética de los cultivares o tipos de cacao y para determinarla intervienen los sentidos del gusto y olfato. Debido al

alcance del presente trabajo de grado no se realizaron pruebas sensoriales de algún producto de cacao.

IV.5.2. Características físicas de las almendras de cacao beneficiadas

A continuación se presentan los resultados de los diferentes análisis de las propiedades físicas realizados a las almendras de cacao con la finalidad de definir la calidad obtenida del producto. Las propiedades físicas de las muestras de cacao son peso de las almendras, porcentaje de testa y defectos, éstos últimos son descritos de acuerdo con la prueba de corte. Estas propiedades fueron estudiadas en el caso de las muestras 2, 3 y 4 tanto en las almendras que se fermentaron dentro de las mallas como en las que se fermentaron como masa externa por separado.

- **Peso de las almendras de cacao beneficiadas**

Se tomó una muestra representativa de cada una de las muestras 1, 2, 3 y 4 con la finalidad de conocer el peso de 100 de sus granos. En la tabla N° 22 se presentan los resultados de este análisis.

Tabla N° 23. Peso de 100 granos de cacao beneficiados

Muestra	Peso de 100 granos de cacao (g)
1	130,78 ± 3,15 a
2	120,56 ± 7,58 c
3	128,15 ± 4,01 b
4	128,33 ± 1,23 b

Promedio seguido de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes

Según la norma COVENIN 50-95 para la clasificación del cacao según el peso de 100 granos, los valores mínimos para la clasificación del cacao extrafino, fino de primera y fino de segunda son: 115 g, 108 g y 100 g respectivamente. En base a esto, todas las muestras analizadas están catalogadas como cacao extrafino. El peso de las almendras de cacao es un factor que permite definir la calidad del cacao. Se puede decir que la cantidad de mucílago extraído no influyó de manera significativa en la calidad comercial del peso de las almendras de cacao cosechadas en la zona.

La importancia del peso de las almendras de cacao radica en que, como se verá en la siguiente sección, existe una correspondencia inversa entre el tamaño o peso del

cotiledón y la cantidad de cáscara presente en la almendra, lo que influye en la economía del proceso de venta del cacao. A continuación se explica de manera más detallada esta influencia.

- Porcentaje de testa o cáscara de las almendras de cacao beneficiadas

El porcentaje de testa se calculó tomando una cantidad de 100 granos de cacao fermentados secos, los mismos presentados en la tabla N° 23 y se les aplicó la metodología descrita en la norma correspondiente. Con este análisis se determinó el porcentaje en peso de la cantidad de cáscara que tiene una muestra representativa de los granos de cacao seco como factor de calidad de los mismos. Estos valores se exponen en seguida en la tabla N° 24:

Tabla N° 24. Porcentaje de testa de los granos de cacao beneficiados

Muestra	Porcentaje de testa (%)
1	15,46 ± 0,83 a
2	13,65 ± 0,23 c
3	14,13 ± 0,33 b
4	14,57 ± 0,25 b

Promedio seguido de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes

El porcentaje de testa varía de acuerdo con el genotipo de cacao, desde 6 hasta 16% (Reyes et al., 1999) (Amores, Palacios, Jiménez y Zhang, 2009). Es usual que el porcentaje de testa tenga una relación inversamente proporcional al tamaño de la almendra, por lo tanto almendras pequeñas tienen mayor porcentaje de cáscara que las más grandes (Amores et al., 2009). Tomando en cuenta que la testa del cacao actualmente no es utilizada de manera significativa en la industria y es tratada como desecho del proceso, el costo del transporte del producto se eleva conforme el rendimiento de la parte útil de la almendra sea menor. Por estas razones se considera que el grano de cacao es de calidad alta cuando el porcentaje de testa es bajo. Conforme lo nombrado anteriormente, los resultados mostrados en la tabla N° 24 muestran un porcentaje de testa propio de granos de alta calidad (cacao extra fino) para todas las muestras, este resultado es el esperado, debido a los valores obtenidos del peso de 100 granos de cacao seco mostrados en la tabla N° 23, se comprueba la

relación inversamente proporcional entre el peso del grano seco y el porcentaje de cacao con estos resultados.

- Prueba de corte

La prueba de corte es un análisis que se realiza a una muestra representativa, en la que se obtiene de manera cualitativa la calidad del grano de cacao. Verificando mediante la observación del interior de los cotiledones el nivel de fermentación según las características observadas en los mismos Esta prueba se realizó de acuerdo con la norma COVENIN nro. 442:1995. La siguiente tabla representa los resultados obtenidos al realizar las pruebas de corte a las muestras 1, 2, 3 y 4 después del proceso de fermentación y secado.

Tabla N° 25. Prueba de corte de las almendras de cacao beneficiadas

Características	Muestra			
	1	2	3	4
Mohosos (%)	0	0	0	0
Partidos y planos (%)	8,0 ± 2,0 d	10,0 ± 0,6 c	18,0 ± 1,0 b	37,0 ± 7,5 a
Germinados (%)	0	0	0	0
Dañados por insectos (%)	0	0	0	0
Pizarrosos (%)	0	0	0	1
Insuficientemente fermentados (%)	1,0 ± 0,0 d	4,0 ± 2,0 b	3,0 ± 1,0 c	29,0 ± 1,0 a
Múltiples (%)	1	0	1	0
En buen estado (%)	90,0 ± 1,5 a	86,0 ± 2,5 b	78,0 ± 1,0 c	34,0 ± 7,0 d
Clasificación	F1	F1	F1	F2

Promedio seguido de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes

F1: Fino de primera F2: Fino de segunda

En la tabla anterior se puede apreciar que la muestra a la cual no se le hizo extracción de mucílago previa al proceso de fermentación tiene una cantidad mayor de granos fermentados, y a medida que se aumentó la proporción de mucílago extraído disminuyó también esta cantidad de granos, esto hace que la calidad del cacao disminuya según la clasificación dada por las normas COVENIN 50:1995 (1995) para las pruebas de corte, la cual será especificada en la sección 3.1.4 en la sección de

Anexos. En la siguiente gráfica se puede observar la distribución de los planos de las 4 muestras.

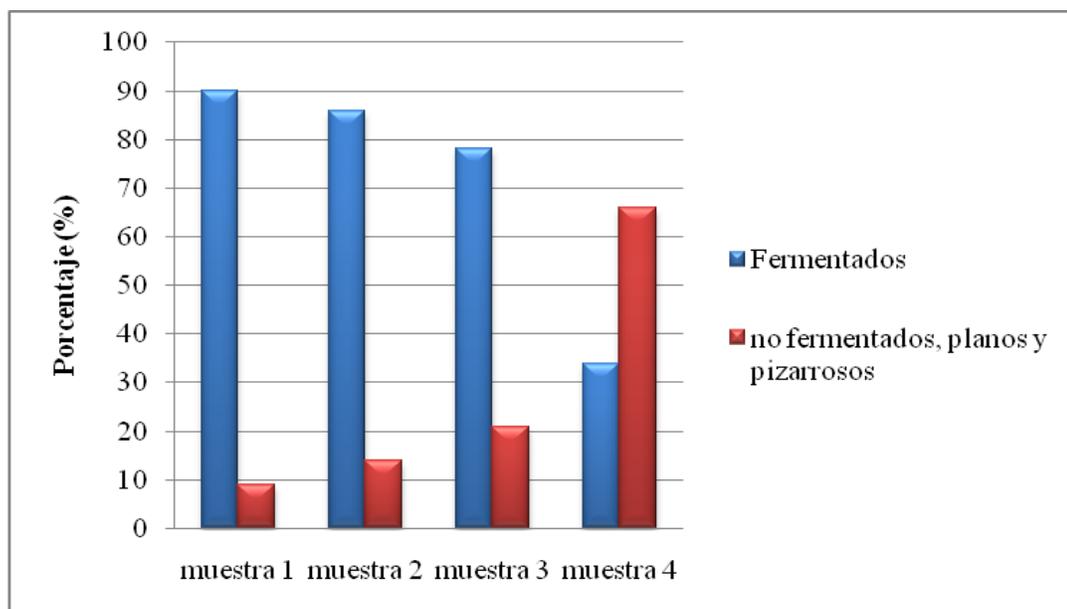


Figura N° 07. Resultado de la prueba de corte a las muestras 1, 2, 3 y 4

La disminución de las almendras completamente fermentadas, a medida que se aumentaba el porcentaje de extracción del mucílago, se debe a que existe menos mucílago alrededor de la semilla desbabada impidiendo que ocurra una fermentación completa, formando una mayor cantidad de granos violetas y pizarrosos, indicadores de una fermentación incompleta (Vargas, Soto y Enríquez, 1989). Por otro lado, la ausencia de mucílago disminuye el índice de hinchamiento de las semillas, dando origen a las almendras planas o tipo pasilla, como se observa en el gráfico anterior, las cuales disminuyen la calidad del lote. También se puede observar en la tabla anterior la ausencia de granos mohosos, siendo esto un indicativo de que se aplicó un proceso de secado correcto.

Con respecto a la clasificación, se puede observar que las muestras 1, 2 y 3 entran en la clasificación comercial de cacao fino según la norma COVENIN 50:1995 (1995), que es el cacao que se produce tradicionalmente en la zona, la muestra 4 entra en la clasificación de cacao corriente, demostrando que la cantidad de mucílago extraído antes del proceso de fermentación si tiene importancia y que, para evitar obtener un

cacao corriente como consecuencia de esta práctica, se debe realizar la extracción de mucílago hasta un máximo de 30% en peso de la masa a fermentar.

IV.5.3. Características químicas de las almendras de cacao beneficiadas

Las características químicas del cacao dependen como su nombre lo indica de los compuestos químicos presenten en la almendra que indican la calidad del producto y por ende su valor nutricional.

En la tabla N° 26 se observa el valor del pH, el grado de acidez y la cantidad de polifenoles presentes en las muestras de cacao fermentadas y secas a continuación.

Tabla N° 26. Algunas de las características químicas de las almendras de cacao beneficiadas

	Muestra			
	1	2	3	4
pH	5,66 ± 0,03 b	5,77 ± 0,03 b	5,38 ± 0,01 c	6,02 ± 0,01 a
Acidez (%)*	0,78 ± 0,11 b	0,73 ± 0,02 c	1,27 ± 0,08 a	0,73 ± 0,08 c
Polifenoles (%)**	0,93 ± 0,006 c	0,82 ± 0,009 c	1,21 ± 0,003 b	1,37 ± 0,009 a

Promedio seguido de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes

*Expresado como porcentaje de ácido acético

**Expresado como porcentaje de ácido tánico en base seca

- pH y acidez

El valor del pH y de la acidez total titulable en los granos de cacao es un factor determinante en la calidad de los mismos. El exceso de ácido acético producido por una fermentación deficiente influye de manera perjudicial en el sabor final de cualquiera de los productos derivados del cacao.

En la tabla anterior se puede observar que existe un aumento de pH y una disminución de la acidez a medida que se aumenta la cantidad de mucílago extraído, a excepción de la muestra 3, siendo este un resultado esperado teóricamente debido a que en primer lugar el valor de pH es inversamente proporcional al valor de la acidez por definición, y en segundo lugar, el pH alto de la muestra 4 demuestra que sufrió sobrefermentación debido a que durante la fermentación se producen ácidos (ácido acético en mayor proporción) por la degradación microbiana del mucílago y por difusión pasan al interior del cotiledón, los ácidos producidos durante la fermentación

se hidrolizan conforme pasa el tiempo, con lo que el contenido de ácido presente en el cotiledón va disminuyendo, esta reducción continúa durante el proceso de secado (Álvarez et al., 2011), por evaporación de los mismos. (Tagro, Kouadio y Soumaïla, 2010) esto quiere decir que el tiempo al que se sometió a fermentar fue mayor al que necesitaba, esto resulta lógico debido a que en la masa fermentativa al contener menos cantidad de mucílago, la degradación del mismo se dio en menos tiempo.

Amores et al. (2009) indicó que un pH entre 5 y 5,5 es el ideal para que el grano de cacao explote al máximo su naturaleza aromática, además indica también que un valor de pH mayor a 6 es un indicativo de sobrefermentación. De Fariñas y otros (2002) indicaron que un pH final de 5,0 es considerado como indicativo de buena calidad del grano fermentado, por estas razones se puede decir que las muestras 1, 2 y 3 tuvieron una buena fermentación, cosa que no sucedió con la muestra 4.

Con respecto a la muestra 3, Nogales, Fariñas y Bertorelli (2006) afirmaron que un descenso de acidez de los granos en el secado está relacionado con el descenso de humedad de los mismos, específicamente los ácidos volátiles y libres. La muestra 3, como se indica en la tabla N° 27 ubicada más adelante, se almacenó con un contenido de humedad mayor al de las otras muestras, esto quiere decir que una cierta cantidad de ácidos volátiles y libres no se volatilizaron aumentando la acidez de los granos secos y por lo tanto disminuyendo el pH, como se observa en la tabla N° 26.

- Contenido de polifenoles

La tabla N° 26 demuestra que el contenido de polifenoles en la muestra aumenta a medida que se incrementa la masa de mucílago extraída, esto es un resultado lógico ya que la ausencia del mucílago evita la degradación del azúcar en alcohol en la etapa anaeróbica de la fermentación, a su vez, la ausencia de alcohol impide la formación de ácido acético en la etapa aeróbica de esta reacción, el cual es componente clave en la descomposición de los polifenoles en los compuestos aromáticos. La disminución de estos compuestos fenólicos contribuye a la reducción de astringencia en el grano, aumentando la calidad aromática del mismo (De la Cruz et al., s.f.). Los polifenoles presentes en el cacao son los responsables de la astringencia y contribuye en el

amargor del mismo. La interacción entre el polifenol y la proteína rica en prolina, causa astringencia y reduce la acción lubricante de la saliva, causando la formación de precipitados o agregados. Además del sabor amargo, tiene un efecto de fruncimiento y causa una sensación de poca viscosidad en la lengua, por lo que se requiere que el contenido de polifenoles no sea muy elevado. La cantidad de polifenoles influye en el contenido de aminoácidos. Éstos últimos disminuyen al haber una mayor proporción de los primeros, ocurriendo lo mismo en el caso de la influencia sobre la cantidad de azúcares. (Noor-Soffalina et al., 2009)

Altas concentraciones de polifenoles reducen el sabor del cacao, ya que al detectarse un descenso en los aminoácidos libres y los azúcares reductores, se incrementa el contenido de polifenoles, esto desfavorece además la ocurrencia de la reacción de Maillard, la cual es la que causa el pardeamiento del cacao. (Noor-Soffalina et al., 2009)

La cantidad de polifenoles medidos en la totalidad de las muestras se encuentra dentro del rango de aceptación para muestras de cacao comercial según lo reportado por Álvarez, Pérez y Lares en 2007.

IV.5.4. Macronutrientes

Los análisis del contenido de macronutrientes de las muestras de cacao dieron los resultados presentados en la tabla N° 27 a continuación:

Tabla N° 27. Macronutrientes presentes en las almendras de cacao beneficiadas

Macronutrientes	Muestra			
	1	2	3	4
Humedad relativa (%)	5,57 ± 0,04 c	6,74 ± 0,50 b	8,16 ± 0,22 a	6,87 ± 0,17 b
Proteína Cruda(%)*	12,68±0,16 c	12,88±0,10 b	12,88±0,10 b	13,00±0,11 a
Grasa Cruda(%)*	49,74±0,83 a	47,37±1,01 b	42,15±0,73 c	41,04±0,05 d
Cenizas(%)*	3,19 ± 0,24 c	3,23 ± 0,05 c	3,39 ± 0,02 b	3,48 ± 0,01 a
Fibra Cruda(%)*	12,89±0,31 d	13,61±0,35 c	17,80±0,05 b	23,63±0,25 a
Azúcares Totales(%)*	15,92±1,03 b	16,17±0,96 a	15,61±0,41 b	11,98±0,40 c

Promedio seguido de letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes

* Porcentaje en base seca

- Porcentaje de humedad

Los resultados de la tabla N° 27 muestran que las muestras 1, 2 y 4 cumplen con el valor recomendable de porcentaje de humedad relativa según la norma COVENIN 374-1995, el cual es 8%. En el caso de la muestra 1 se puede decir que el hecho de que se le aplicó el proceso de secado por un período de tiempo mayor al necesario repercutió en el valor del porcentaje de humedad relativa final. Con respecto a la muestra 3, debido a las condiciones climáticas en el momento en el que se realizó el secado no fueron las más adecuadas, éste no se pudo llevar a cabo hasta el punto óptimo, ya que la lluvia, temperatura ambiente, humedad relativa del aire, velocidad del viento y el número de horas de exposición diaria al sol son factores que afectan la velocidad del secado de los granos de cacao, de forma que la insolación insuficiente, las lluvias repentinas y la disminución en los otros factores causan inconvenientes y retrasos en el proceso (Nogales et al., 2006).

El grano de cacao es altamente higroscópico. El Manual de Cultivo de Cacao (2004) indica que las almendras de cacao con un porcentaje de humedad menor al 8% pueden conservarse durante un período de 5 meses en medios en los que la humedad del ambiente sea de 75% o menor; y que para ambientes con 95% de humedad relativa en 10 días, la humedad relativa de los granos de cacao pudieran llegar al 15%. Según Álvarez y colaboradores (2011), las plantaciones de cacao de la región de Barlovento se encuentran localizadas en la zona de vida del Bosque Húmedo Tropical, caracterizados por la presencia de dos meses secos y un promedio anual de precipitación de 2450 mm, con dos períodos de abundante precipitación (julio y noviembre) y dos épocas de mayor cosecha del cultivo. Destacando además, que el promedio anual de la humedad relativa es 85%. Así mismo, indican que debido a las condiciones agresivas del clima del sector, el secado al sol muestra significativas limitaciones.

Según lo descrito anteriormente, el porcentaje de humedad relativa de las almendras de cacao es tomado en cuenta como indicador de calidad únicamente para el almacenamiento. En los casos en los que el mismo alcanza un valor mayor al 8%, las almendras de cacao deben someterse al proceso de secado las veces necesarias para

no sobrepasar este valor. Debido a que las muestras 1, 2, 3 y 4 fueron sometidas al proceso de beneficio con fines netamente investigativos y no comerciales, no se considera relevante el hecho de que la muestra 3 no tenga un porcentaje de humedad relativa especificado dentro de la norma COVENIN, puesto que, como se describió anteriormente, la alta higroscopicidad del cacao, aunada a las condiciones climáticas de la zona, influyen en este resultado, el cual puede revertirse eficientemente aplicando un mayor tiempo de secado, sin afectar en gran medida el resto de los macronutrientes y otros compuestos químicos del grano seco.

- Proteína cruda

La proteína cruda aumenta a medida que se aumenta la cantidad de mucílago extraída, esto se puede explicar de la siguiente forma, la acidificación de los granos de cacao y la alta temperatura de la masa en fermentación causan difusión e hidrólisis de las proteínas del cotiledón, lo cual es ocasionado por el metabolismo de las bacterias acéticas. Los aminoácidos y péptidos formados se pierden por difusión, sin embargo, como la degradación de las proteínas es más rápida que la velocidad de difusión, resulta una acumulación de los compuestos nitrogenados solubles en el cotiledón, cuya proporción será tanto menor cuanto más completo sea el proceso fermentativo (De Fariñas et al, 2002). En otras palabras, la ausencia de mucílago impidió las reacciones naturales del proceso de fermentación, evitando la formación de ácido acético, lo que repercute en la inhibición de la difusión e hidrólisis de la proteína, es por esto que se observa el aumento de contenido de la proteína a medida que disminuyó la cantidad de mucílago disponible para la fermentación. Las normas venezolanas sobre calidad de cacao no indican en que rango se debe encontrar este parámetro, sin embargo, las muestras 1, 2 y 3 se encuentran dentro del rango de aceptación para una muestra comercial según varios autores, mientras que la muestra 4 se aleja del mismo (Leal et al., 2000; Fariñas et al., 2003; Pérez et al., 2002; Álvarez et al., 2007).

- Grasa cruda

El contenido de grasa cruda disminuyó a medida que se aumentaba la cantidad de mucílago extraído, disminuyendo de esta forma la calidad final de la almendra de cacao, siendo este comportamiento esperado, ya que el contenido y las características físicas y químicas de la grasa son de suma importancia en la industria chocolatera al momento de la fabricación de chocolate y varios productos de confitería, debido a que esta aporta al producto final una textura suave, plasticidad, fácil liberación del sabor y olor, y viscosidad (Álvarez et al., 2007). Esta disminución de la cantidad de grasa cruda en las muestras refleja un inadecuado proceso de beneficio (Pérez et al., 2002). El contenido de grasa se encuentra debajo de la media reportada por la bibliografía para almendras descascaradas finas de aroma de diferentes orígenes, que está entre 50% y 55% en contenido (Leal et al., 2000; Fariñas et al., 2003; Pérez et al., 2002; Álvarez et al., 2007) (Amores et al., 1999) , por lo tanto en cuanto al contenido de grasa, se puede decir que el contenido de grasa de las muestras 1 y 2 se encuentran en valores muy cercanos al rango de aceptación comercial del cacao, cosa que no ocurre con las muestras 3 y 4.

- Cenizas

La cantidad de cenizas aumentó a medida que la cantidad de mucílago extraído fue mayor, esto se debe a que a medida que va ocurriendo el proceso de fermentación existe una migración de sales minerales hacia la testa, lo cual suele suceder después de la muerte del cotiledón (Hernández, 1989). Dicho de otra forma, al disminuir la cantidad de mucílago disponible como medio para el proceso fermentativo, la migración mencionada anteriormente se ve perjudicada y por ende el contenido de minerales permanece dentro del cotiledón. Se conoce que el contenido de cenizas menor al 5 % es indicativo de calidad extrafina, debido a que todas las muestras presentan un porcentaje de cenizas menor a este valor se puede decir que cumplen con las características de cacao extrafino, por lo tanto la extracción del mucílago

antes de la fermentación no perjudicó en gran medida la proporción de cenizas de los granos de cacao.

- Fibra cruda

Existe un aumento de la cantidad de fibras al incrementarse la cantidad de mucílago extraído, debido a que disminuye la cantidad de enzimas necesarias para hidrolizar la fibra. Esto trae como consecuencia un producto de baja calidad, ya que comercialmente es un producto con menor calidad nutricional, puesto que la fibra es un nutriente que no participa directamente en procesos metabólicos básicos del organismo. El contenido máximo de fibra en el cacao es de 3,5 %, en base a esto, se puede decir que ninguna de las muestras cumple con este requisito y por lo tanto se consideran como características de cacao corriente.

- Azúcares totales

En la tabla N° 27 se puede apreciar como disminuyeron los azúcares totales a medida que aumentó la masa de mucílago extraído, este es un resultado lógico, ya que se está retirando al comienzo del proceso de fermentación el principal contribuyente de azúcar a la masa fermentante, que es el mucílago. No obstante, y al igual que el resto de la masa fermentante del resto de las muestras, las pérdidas se deben a la conversión de los azúcares en alcohol por acción de las levaduras y por su eliminación a través del exudado, además de la Reacción de Maillard (Contreras et al., 2004).

En la siguiente figura se puede apreciar el cambio de los macronutrientes analizados en las 4 muestras, asociado a la cantidad de mucílago extraído antes del proceso de

fermentación.

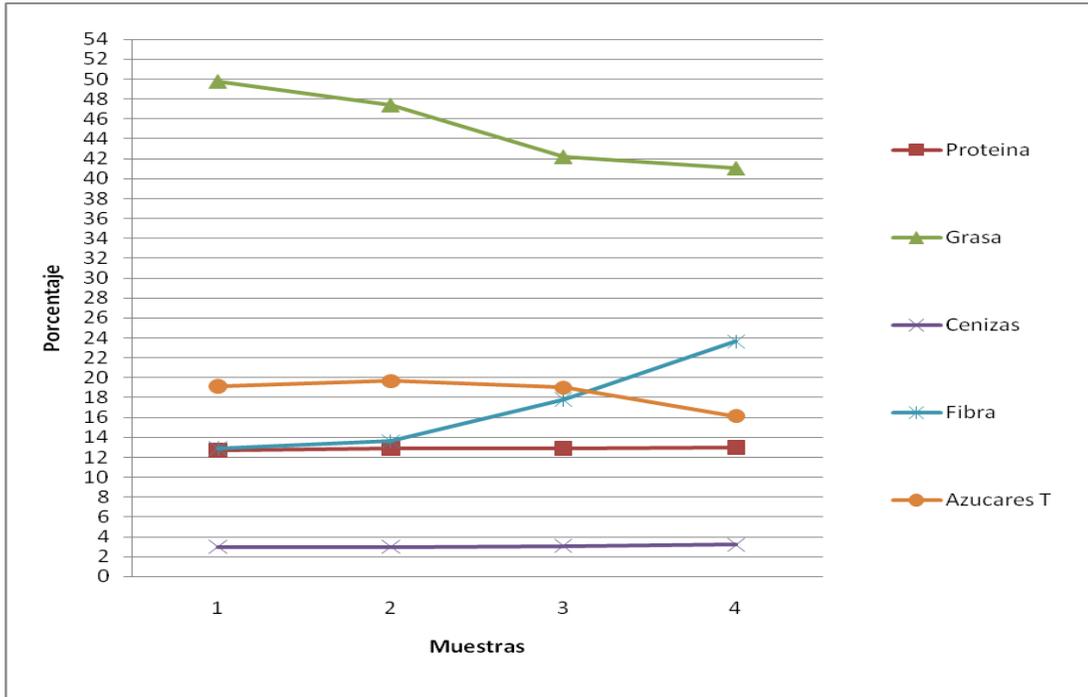


Figura N° 08. Variación de los macronutrientes en las muestras 1, 2, 3 y 4 secas en función del mucílago extraído

En la figura anterior se puede apreciar que los cambios más significativos ($p < 0,05$) ocurren en la muestra 3, estos cambios se ven mayormente reflejados en la grasa cruda, en los azucares totales y en la fibra.

IV.6. Cantidad máxima extraíble de mucílago

La cantidad máxima extraíble de mucílago fue determinada en función de todos los resultados obtenidos en la sección anterior. En la tabla N° 28 se describen la calidad de acuerdo con cada característica analizada.

Tabla N° 28. Resumen de la calidad y cambios resaltantes de las muestras 1, 2, 3 y 4

Característica	Muestra			
	1	2	3	4
Aroma	✓	✓	✓	✗
Color	✓	✓	✓	✗
Prueba de corte	✓	✓	✓	✗
Peso de grano	✓	✓	✓	✓
Porcentaje de testa	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✗
Acidez	✓	✓	✓	✓
Contenido de polifenoles	✓	✓	✓	✗
Contenido de proteína cruda	✓	✓	✓	✓
Contenido de grasa cruda	✓	✓	✗	✗
Porcentaje de cenizas	✓	✓	✓	✓
Contenido de fibra cruda	✓	✓	✗	✗
Contenido de azúcares totales	✓	✓	✓	✗

En la tabla anterior se marcó con un símbolo de aprobación de color verde las casillas en donde la cantidad de mucílago no tuvo mayor influencia en la característica señalada y la marca de reprobación roja indica por supuesto todo lo contrario. Se puede apreciar que la muestra número 1 no está influenciada de ninguna manera por la extracción del mucílago ya que es la muestra control y con respecto a esta se compararon las otras 3 muestras. La muestra 2 es la muestra que refleja menos cambios con respecto a la muestra 1 ya que la influencia de la ausencia de mucílago no cambia significativamente sus características. La muestra 3 refleja influencias negativas en la cantidad de en la grasa cruda y en la cantidad de fibra cruda. La grasa cruda influye en la calidad final de productos del cacao como por ejemplo en la textura del chocolate. La muestra 4 también está influenciada negativamente y de manera más acentuada en las mismas características que la muestra 3, además, también está influenciada negativamente en el pH y el contenido de polifenoles y en características que definen su calidad organoléptica tales como color y aroma, además de afectar negativamente la prueba de corte, la cual tiene un peso significativo en lo que se refiere a análisis de calidad de las almendras de cacao. Como se menciono anteriormente, el pH y la cantidad de polifenoles influyen en la calidad aromática del grano de cacao. Por todo lo descrito anteriormente se determina que la muestra 3, que

representa la extracción del mucílago al 30% en masa, es la cantidad óptima de mucílago extraíble, de forma que esta cantidad de mucílago extraído tenga una influencia negativa poco significativa en la calidad final de los granos de cacao con respecto a los granos de cacao que sufren de un proceso normal de fermentación.

IV.7. Estudio de pre-factibilidad económica

El costo del mucílago depende de diversos factores, tales como los costos asociados a la producción, transporte, mano de obra, entre otros, sin embargo se seleccionó un precio base a partir del cual se realizaron todos los cálculos, mediante un estudio de mercado de productos similares. La siguiente tabla muestra el precio ofrecido por algunas productoras o distribuidoras de mucílago

Tabla N° 29. Diversas ofertas comerciales del mucílago en el mercado

Nombre del producto	Fabricante/ Distribuidor	Precio del producto	Presentación del Producto	Precio de 100 g del producto (BsF)
Icefruit	Brazamerica	\$5,99	100 g	25,76
Polpa de cacau	Falpolpas	R\$5,95	Barra (peso o volumen no especificado)	15,79
Polpa de cacau integral	Brasfrut	R\$1,49	100 g	3,95
Polpa de Cacau Doce Mel	Armazém das polpas	R\$0,38	100 g	1,01
Dayfrut cacau	Armazém das polpas	R\$0,28	100 g	0,74

Como se puede observar en la tabla anterior, el precio de la pulpa de cacao varía mucho dependiendo del vendedor o proveedor. Como precio base se selecciona 20 BsF. la presentación de 1 Kg, siendo esto acorde con el precio con que se comercializa en Venezuela la pulpa o concentrado de fruta en presentación de 1 Kg que oscila entre los 14 BsF/Kg y 18 BsF/Kg

IV.7.1. Costos de equipos

Anteriormente, se obtuvo que la máxima cantidad de mucílago extraíble sin sacrificar la calidad del grano de cacao es 30% en peso de la masa a fermentar, es por eso que se analizaron los costos y ganancias realizando la extracción del 30% de mucílago y realizando una extracción de 15% y así contrastar los costos y ganancias de ambos procesos y seleccionar el más rentable.

Primero se muestran los costos y ganancias asociados a la realización de la extracción de manera artesanal.

La extracción artesanal no necesita de equipos, se realiza de manera manual, para esto es necesario el medio filtrante, es decir, la malla. También se necesita de guantes de látex esterilizados, desinfectante, alcohol e insumos necesarios para garantizar el acondicionamiento y esterilidad del medio en donde se realice la extracción para evitar que se contamine el mucílago. Se debe tener en cuenta el almacenamiento del mucílago, la manera más económica es el almacenamiento por sellado al vacío en bolsas. En la siguiente tabla se muestran los instrumentos necesarios para la extracción artesanal.

Tabla N° 30. Instrumentos necesarios para la extracción artesanal de mucílago

Instrumentos	Cantidad	Precio (BsF)
Malla plástica	5 carretes de 100 metros	150
Guantes de latex	3 cajas de 100 guantes	450
Gerdex	3 litros	75
Envases recolectores	2	20
Selladora	1	700
Congelador	1	2000
Balanza	1	400
Bolsas plásticas de sellado	300 bolsas	200

Se debe tener en cuenta que el sellador de bolsas al vacío, la balanza y el congelador son las únicas inversiones iniciales, si se cuenta con el espacio adecuado para realizar la extracción, el cual debe ser cerrado y limpio para evitar contaminar el mucílago al momento de hacer la extracción. En caso contrario, debe contabilizarse como parte de la inversión inicial el acondicionamiento o adquisición del espacio físico en donde se

realizará la extracción. Estos costos se ajustan para ambos caso de extracción, de 15% y 30%

Para analizar los costos y las ganancias de inserción de este proceso dentro del proceso de producción de cacao de manera industrial se tomaron los datos que se han dado a conocer a la prensa y a distintos medios de la chocolatera Cacao Oderí ubicada en Cauagua.

Los costos asociados a la extracción industrial difieren de los equipos de extracción artesanal debido a la cantidad de producto a procesar. En la siguiente tabla se muestran los equipos asociados con esta extracción.

Tabla N° 31. Instrumentos necesarios para la extracción industrial de mucílago

Instrumentos	Cantidad	Precio (BsF)
Centrifugadora	1	24700
Empaquetadora	1	50000
Desinfectante	50 litros	750
Cava	1	20000
Bolsas plásticas de sellado	150000 bolsas	10000

La estimación de las cantidades y el volumen necesario de los equipos se basó en la producción de mucílago que se obtiene con la implementación de esta extracción a escala industrial. Estos datos se indicarán más adelante. De acuerdo con dichos datos, se escogió un equipo de centrifugación cuya capacidad de procesamiento es de 350 kg/h y posee una tolva de alimentación de 20 kg de capacidad. La empaquetadora que se seleccionó es la que utiliza la compañía Aguabrix de modelo SJY-100 la cual tiene una capacidad de empaquetado de líquido entre 100 mL y 1000 mL, a una velocidad de 2000 bolsas por hora. La cava industrial indicada tiene medidas de 1,80 m de alto por 1,80 m de largo por 2,40 m de ancho. Estos costos se ajustan para ambos caso de extracción, de 15% y 30%

IV.7.2. Costos de operación

Los costos operacionales de la extracción artesanal se tomaron en cuenta la mano de obra y la reposición de insumos, tales como guantes de látex, bolsas plásticas, desinfectante, entre otros. También se catalogaron como costo operacional el

mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos principales que, en este caso, serían el sellador al vacío y el congelador.

Los costos de operación asociados a este proceso de extracción industrial solamente son los de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, reposición de insumos, el pago de servicio de agua y electricidad y la mano de obra de los operarios. La siguiente tabla muestra el consumo eléctrico de los equipos.

Tabla N° 32. Consumo eléctrico de equipos asociados al proceso de extracción industrial

Equipos	Consumo por equipo (kVA)
Centrifugadora	1,4
Empaquetadoras	1,3
Cavas	1,2

Según lo mostrado en la tabla anterior, añadir estos equipos a la planta aumenta 3,9 kVA de consumo eléctrico. Según las tarifas de CORPOELEC, este aumento de consumo podría hacer que el contrato generado con la compañía deba cambiarse para admitir estos equipos, así que es muy probable que el costo del servicio aumente en promedio 2000 BsF/mes (CORPOELEC, s.f.). Con respecto al agua, solo se necesitará agua al momento de lavar los equipos, así que el aumento del costo del servicio de agua no se verá muy afectado.

IV.7.3. Costo y ganancia total

En primer lugar, manteniendo la línea seguida hasta ahora en la presentación de los resultados del estudio económico se muestra el análisis de costos y ganancias de manera muy somera, con la finalidad de mostrar una idea de que tan rentable podría ser implementar en el proceso tradicional de producción de cacao la extracción de mucílago, todo esto de acuerdo a los resultados obtenidos en las secciones anteriores. La siguiente tabla muestra algunos datos necesarios para calcular la posible ganancia de la inclusión del proceso de extracción del mucílago.

Tabla N° 33. Ingresos bruto de la extracción del mucílago artesanal

	Extracción del 15%	Extracción del 30%
Producción de cacao seco por hectarea (kg/ha)	400	400
Hectáreas que posee un productor artesanal promedio (ha)	5	5
Relación entre granos secos y granos frescos (kg _{secos} /kg _{frescos})	0,4	0,4
Producción de cacao fresco promedio de cada artesano (kg/año)	5000	5000
Rendimiento de la extracción de forma artesanal (%)	17,6	17,6
Producción de mucílago (kg/año)	132	264
Precio del mucílago(BsF/kg)	20	20
Ingresos brutos (BsF/año)	2640	5280

Los datos referentes al artesano se obtuvieron mediante entrevistas a distintas personas de la locación. Los demás datos se definieron anteriormente durante la investigación o son resultados de cálculos matemáticos. La siguiente tabla muestra los costos asociados a este proceso y la ganancia bruta obtenida.

Tabla N° 34. Ganancia bruta y costos asociados a la extracción del mucílago artesanal

	Extracción del 15%	Extracción del 30%
Inversión inicial (BsF)	3100	3100
Insumos (BsF/año)	895	895
Mano de obra (BsF/año)	774,1	1548,1
Mantenimiento de equipos (BsF/año)	500	500
Servicios (BsF/año)	360	360
Ingresos bruto con inversión inicial (BsF/año)	-2989,1	-1123,1
Ingresos bruto sin inversión inicial (BsF/año)	110,9	1976,9

En la tabla anterior se puede apreciar que es más rentable para el productor de cacao realizar la extracción al 30% y de esta manera obtener una ganancia más atractiva. Como se mencionó anteriormente, en el caso de la extracción artesanal, la inversión inicial consta nada más de la adquisición del equipo sellador para empacar las bolsas con mucílago, la balanza para medir las proporciones de cacao a desbabar y el congelador para almacenar la pulpa. Los servicios serían: agua y electricidad, aunque éstos no significarían un gasto mayor. La mano de obra se calculó en relación con la cantidad de mucílago que se necesita procesar por día, para cumplir con la

producción anual que se indicó anteriormente, y a la cantidad de horas que se necesita diariamente para cumplir esto. Los resultados indican que se necesita de una persona que trabaje por 1 hora diaria (días hábiles) para poder cumplir con la producción diaria en el caso del 30%, y el precio de la mano de obra se calculó mediante el pago a destajo en base al salario mínimo actual (1407,4 BsF).

Se puede observar que el primer año en que se implemente la extracción del mucílago solamente se tendrán pérdidas, y al siguiente año existirán ganancias que corresponden a un 18% aproximadamente de la ganancia bruta actual del proceso tradicional de producción de cacao. Aunque esta implementación realizándose de la manera como se ha indicado aquí representa una ganancia extra al productor, es probable que sea una propuesta poco atractiva para este, ya que se debe ser riguroso con las medidas de limpieza y además se debe realizar una inversión inicial que se recuperaría aproximadamente 2 años cosa que podría desanimar al productor a invertir en esta implementación.

De la misma forma en que se hizo con la extracción de manera artesanal, se presenta una tabla donde se muestran datos importantes que permitieron calcular la ingresos bruto de la implementación del proceso

Tabla N° 35. Ingresos bruto de la extracción del mucílago industrial

	Extracción del 15%	Extracción del 30%
Producción de cacao seco (Kg/año)	1.000.000	1.000.000
Relación entre granos secos y granos frescos (kg _{secos} /kg frescos)	0,4	0,4
Produccion de granos frescos (kg/año)	2.500.000	2.500.000
Rendimiento de la extraccion de forma artesanal (%)	36,02	36,02
Produccion de mucílago (kg/año)	135.075	270.150
Precio del mucílago(BsF/kg)	20	20
Ingresos brutos (BsF/año)	2.701.500	5.403.000

Los datos de producción son cifras dadas a conocer por la Corporación Socialista de Cacao Venezolano (Aló Presidente, 2010) La siguiente tabla muestra los costos asociados a este proceso y la ganancia bruta obtenida.

Tabla N° 36. Ganancia bruta y costos asociados a la extracción del mucílago antes del proceso tradicional de producción de cacao de manera industrial

	Extracción del 15%	Extracción del 30%
Inversión inicial (BsF)	94.700	94.700
Insumos (BsF/año)	10.750	10.750
Mano de obra (BsF/año)	33.776,8	33.776,8
Mantenimiento de equipos (BsF/año)	28.410	28.410
Servicios (BsF/año)	2.000	2.000
Ganancia bruta con inversión inicial (BsF/año)	2.464.282	5.165.809
Ingresos bruto sin inversión inicial (BsF/año)	2.559.009	5.260.510

En la tabla anterior se puede apreciar que se obtienen ganancias el primer año cuando se implementa la extracción de mucílago, y los años siguientes estas aumentan ya que no es necesario el gasto en equipos nuevos, es decir, la inversión inicial, si no solamente en mantenimiento. La mano obra se calculó en base de la cantidad de equipos a implementar, asignando a seis personas encargadas en el manejo de los 3 nuevos equipos. El costo de la mano de obra se calculó en base del sueldo mínimo aplicado a un año de trabajo, a los trabajadores. En conclusión, es altamente recomendable la implementación de la extracción del 30% de la pulpa de cacao a la producción industrial ya que genera una ganancia extra atractiva y además que esta implementación se hace en condiciones en la cual no se desvía materia prima ni se desmejora de manera significativa la calidad de la misma.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones sobre la discusión de los resultados obtenidos en el presente trabajo especial de grado así como las recomendaciones a considerar se muestran a continuación.

V.1. Conclusiones

- La malla plástica fue el material filtrante más favorable en cuanto a facilidad de manejo comparado con la muselina y el colador plástico en la extracción artesanal, lo que lo convierte en el material más apropiado para llevar a cabo el proceso a esta escala
- El masaje previo a la alimentación al equipo de centrifugación incrementa el rendimiento de masa de mucílago extraído por masa de granos frescos alimentados
- Conforme se aumentó la potencia y el tiempo de centrifugado mayor fue el rendimiento de masa de mucílago obtenido por masa de granos frescos alimentados
- En la centrifugación aplicando una potencia de 3000 rpm durante 15 minutos se obtuvo un rendimiento de extracción de 36,02 % kg de mucílago/kg de almendras a desbabar
- La extracción mediante el centrifugado es mucho más eficiente en cuanto a rendimiento y duración que la extracción empleando malla plástica

- De la totalidad de la mazorca aproximadamente el 25% de su peso está conformado por las almendras frescas
- El rendimiento de la masa de mucílago por masa de almendras frescas es directamente proporcional a la cantidad de almendras sometidas a desbabe.
- El rendimiento promedio obtenido mediante el tamizado con malla plástica para las muestras 2, 3 y 4 fue de 17,6 % kg de mucílago/ kg de almendras a desbabar
- El crecimiento microbiológico en el mucílago refrigerado está relacionado con aerobios mesófilos y mohos y levaduras
- El nivel de pH bajo del mucílago favorece más la reproducción de mohos y levaduras con respecto a la de aerobios mesófilos
- El mucílago refrigerado tiene una caducidad aproximada de 6 días al ser almacenado en bolsas con cierre hermético
- La actividad microbiana no afectó de manera significativa la composición fisicoquímica del mucílago almacenado por refrigeración por 14 días de almacenamiento
- El mucílago de cacao mantiene sus propiedades fisicoquímica durante 28 días de almacenamiento bajo congelación, por lo tanto su estabilidad permite su uso como subproducto en el mercado
- La cantidad máxima de mucílago a extraer es 30 % en peso del total existente en la masa a fermentar, con el fin de evitar cambios significativos en la calidad final de la almendra
- La muestra de granos a la cual se le extrajo 45% en peso del mucílago total presentó cambios significativos en diversas características importantes que perjudican la calidad final del grano.

- El estudio de pre-factibilidad económica indicó que, para el caso de la extracción artesanal, se podrían obtener ganancias con la extracción de mucílago al 30%, sin embargo, es posible que la inversión inicial y los cuidados que se deben de tener al momento de realizar la extracción desanimen al productor a realizar este proceso.
- El estudio de pre-factibilidad económica indicó que, para el caso de la extracción industrial se pueden obtener ganancias si se extrae el mucílago a 15% y 30%.

V.2. Recomendaciones

A continuación se presentan algunas recomendaciones que permitirán obtener una evaluación más profunda del proceso de recuperación del mucílago

- Verificar la estabilidad del mucílago al utilizar la centrifugación como medio extractivo
- Investigar la eficiencia del proceso extractivo con tiempos y potencias superiores a la seleccionada, con el fin de encontrar las condiciones óptimas de operación de la centrifuga para obtener la eficiencia máxima del proceso.
- Realizar un análisis fisicoquímico desde el punto de vista cinético del mucílago refrigerado y congelado con la finalidad de obtener el tiempo de vida útil del mismo, de forma más precisa
- Evaluar la estabilidad microbiológica y fisicoquímica del mucílago utilizando diferentes condiciones de almacenaje (temperatura, cambios en la atmósfera, variación de la presión parcial) a fin de verificar si existe una optimización en el tiempo de caducidad
- Analizar que ocurre con la calidad de la almendra en el intervalo de 30% y 45% de extracción de mucílago, ya que la muestra a la cual se le extrajo el 30% de mucílago no presento cambios negativos significativos en la almendra, mientras

que la de 45 % si, y es muy posible que exista un punto en este intervalo donde la almendra no sufra algún cambio negativo en su calidad final.

- Realizar pruebas sensoriales con productos realizados a partir de muestras a las que se les aplicó el desbabe del mucílago para así contrastar los resultados analíticos con los resultados sensoriales del producto final.
- Realizar un estudio económico completo a fin de ver con mayor precisión la aplicabilidad de esta recuperación del mucílago en la zona

BIBLIOGRAFÍA

- Adomako. D. y Takrama. J. (1996). Large-scale collection of cocoa bean pulp juice (sweatings). 12th International Cocoa Research Conference. [Resumen en línea]. Disponible: <https://www.oardc.ohio-state.edu/cocoa/salvador.htm> [Consulta: 2010, Agosto 1]
- Aló Presidente (2010). El chocolate consiguió aroma y nombre cimarrón en nueva planta del Estado en Cauagua. Disponible: http://www.alopresidente.gob.ve/info/6/1954/el_chocolate_consiguioaroma.html [Consulta: 2011, mayo 13]
- Álvarez, C. (2008) Caracterización y tipificación de los parámetros físico-químicos y componentes del sabor y aroma de una población de cacao criollo híbrido (*Theobroma cacao L.*) de Venezuela. Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Venezuela.
- Álvarez, C., Pérez, E. y Lares, M. (2002) Morfología y características físico-químicas del mucílago de cacao en tres zonas del Estado Aragua. Revista Agronomía Tropical. v-52. n.4. Maracay, Aragua, Venezuela
- Álvarez, C., Pérez, E. y Lares, M. (2007) Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. Revista Agronomía Tropical. v-57. Maracay, Aragua, Venezuela. P 249-254
- Álvarez, C. y otros. (2010) Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) usando dos tipos de fermentadores. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Cauagua, Miranda, Venezuela.
- Amores, F. y otros. (2009) Entorno ambiental, genética, atributos de calidad y singularización del cacao en el nor oriente de la provincia de Esmeraldas Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Estación experimental tropical Pichiligüe. Boletín N° 135. Quevedo, Los Ríos, Ecuador
- Arango, M. (s.f.) Metabolismo microbiano. Disponible: <http://vanguardia.udea.edu.co/cursos/microorganismos1/diversidad%20metab%F3lica%20-%20serie%20bioquimica.pdf> [Consulta: 2011, abril 25]
- Armazém das polpas (s.f.) Polpa de fruta. Disponible: <http://armazemdaspolpas.loja2.com.br/33115-Polpa-de-Cacau-Doce-Mel-20x100g-R-0-38-und> [Consulta: 2011, mayo 12]

- Brazamerica. (s.f.). Brazilian & Latin Goods Travel & Service. Disponible: <http://www.brazamerica.com/polpadecacaupulpadecacaucacaofruitpulp.aspx> [Consulta: 2011, mayo 12]
- Barreiro, J. y Sandoval, A. (2002) Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio. Caracas, Venezuela
- Contreras, C. y otros. (2004). Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. Revista Agronomía Trop. Abr. 2004. Vol.54. No.2. Maracay, Venezuela. P. 219-232.
- COVENIN 50:1995. (1995) Granos de cacao (2^{da} revision). Comision Venezolana de Normas Industriales. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela
- COVENIN 374-1995 (1995) Granos de cacao (2^{da} revision) Humedad del grano. Comision Venezolana de Normas Industriales. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela
- CORPOELEC (s.f.). CORPOELEC empresa socialista. Disponible: http://www.cadafe.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=328&Itemid=461 [Consulta: 2011, mayo 13]
- Cros, E. (2000) Factores condicionantes de la calidad del cacao. I Memorias del Congreso venezolano del cacao y su industria. Maracay, Aragua, Venezuela
- Cubero, N., Monferrer, A y Villalta, J. (2002) Aditivos alimentarios. Tecnología de Alimentos. A. Madrid Vicente Ediciones. Madrid, España. P. 240
- Das Merces, E. y Martines, V. (1998). Características físico-químicas e microbiológicas da polpa de cacau. [Resumen en línea]. Disponible: [http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/ecd4ca3ff88efcfa032564cd004ea083/3294bbc92e8d842e832566d3006f0c1e/\\$FILE/pab389_96.doc](http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/ecd4ca3ff88efcfa032564cd004ea083/3294bbc92e8d842e832566d3006f0c1e/$FILE/pab389_96.doc) [Consulta: 2010, Agosto 5]
- De la Cruz, P. y otros. (s.f.). Evolución de compuestos no volátiles durante la fermentación del cacao. [Resumen en línea] Disponible: http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/TRABAJOS/AR_EA_VI/CARTEL/CVI-27.pdf [Consulta: 2011, Mayo 9]
- De Fariñas, L. y otros. (2002). Efecto del mezclado de granos de dos tipos de cacaos sobre algunas características químicas durante la fermentación. Revista Agronomía Trop. Sep. 2002. Vol.52. No.3. Maracay, Venezuela. P.325-342.

- Echeverry, P. (2004). Mucílago pulverizado a partir de la cascara de cacao, una alternativa en la clarificación de jugos en la industria panelera. Biblioteca digital repositorio institucional [Resumen en línea]. Disponible: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1168/1/patriciaperezecheverry.2004.pdf> [Consulta: 2010, Agosto 1]
- El Khouri, S. (2007) Evaluación de los cambios ocurridos durante el beneficio del cacao (*Theobroma cacao L.*) a través de parámetros morfoanatómicos, fisicoquímicos y nutricionales. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencia y tecnología de los alimentos. Caracas, Venezuela. P. 4.
- Enríquez, G. (1985) Curso sobre el cultivo de cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones de Enseñanza (CATIE). Nro 22. Turrialba, Costa Rica. P. 240.
- Falpolpas (s.f.) Falpolpas. Disponible: <http://www.falpolpas.com.br/polpasdefrutas.asp> [Consulta: 2011, mayo 12]
- Forsythe, S. y Hayes, P. (2002) Higiene de los alimentos, Microbiología y HACCP. 2da edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. P. 361
- Freire, E. Mororó, R. y Schaw, R. (1996). The cocoa-pulp an agroindustry and the uses of its residues in Bahia: Progress achieved in the last ten years. 12th International Cocoa Research Conference. [Resumen en línea]. Disponible: <http://www.oardc.ohio-state.edu/cocoa/salvador.htm> [Consulta: 2010, Agosto 1]
- García, C. y Molina, M. (2008) Estimación de la vida útil de la mayonesa mediante pruebas aceleradas. Costa Rica. P. 8.
- Geankopolis, C. (1998) Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3era edición. Compañía Editorial Continental S.A. México. P. 1008.
- Guacarán, J. (1993). Manejo y cultivo del cacao (*Theobroma cacao*). Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Centrales “Rómulo Gallegos”. San Juan de los Morros, Guárico, Venezuela. P.95.
- Hernández, A. (1989).Evaluación del proceso de fermentación en el cacao de Costa Rica. Memoria seminario regional sobre tecnología poscosecha y calidad mejorada del cacao. Red regional de generación y transferencia de tecnología en cacao (PROCACAO). Turrialba, Costa Rica. P. 129-140
- Hippo. (s.f.). Polpa BRASFRUT Cacau. Disponible: <http://www.hippo.com.br/frios-e-laticinios/polpa-brasfrut-cacau.html> [Consulta: 2011, mayo 12]

- INFO COMM. (s.f.). Información del mercado sobre productos básicos. <http://www.unctad.org/infocomm/espagnol/caco/describe.htm> [Consulta: 2010, Agosto 1]
- Instituto Internacional del frío. (1990) Alimentos congelados. Procesado y distribución. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. P. 184.
- Kalvatchev, Z., Garzaro, D. y Cedezo, F. (1998). *Theobroma cacao l.*: Un nuevo enfoque para nutrición y salud. Revista Agroalimentaria. N° 6 junio. Centro de investigaciones agroalimentarias, Universidad de los Andes. P. 23-25.
- Labuza, T. (1982) Shelf-life dating of foods. Food & Nutrition Press. Connecticut, USA. P. 500.
- Leal, F., Serra, A. y Valderrama, E. (2000). El copoasú (*Theobroma grandiflorum*) Sterculiaceae, pariente del cacao. Memorias del I Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. P. 268-274.
- Liendo, R. y Marín, C. (2006) Prácticas post-cosecha y de almacenamiento del cacao (*Theobroma cacao L.*) en el estado Miranda. Universidad del Zulia. Revista de la Facultad de Agronomía. N° 23.
- Manual de cultivo de cacao (2004) Ministerio de Agricultura. Programa para el desarrollo de la Amazonia. PROAMAZONIA. Perú. P. 83.
- McCabe, W., Smith, J. y Harriot, P. (2007) Operaciones unitarias en ingeniería química. 7ma edición. McGraw Hill/Interamericana editores S.A. México. P. 1056.
- Mejías, L., Narváez, C. y Restrepo L. (2006) Cambios físicos, químicos y sensoriales durante el almacenamiento congelado de la pulpa de arazá (*Eugenia sitipitata Mc Vaugh*). Revista Agronomía Colombiana. Vol 24. N° 1. Bogotá, Colombia. P. 87-95.
- Ministerio del Poder Popular de Agricultura y Tierras (2009) Cifras preliminares de la Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO).
- Molina, C. (1989) Manual técnico del cultivo de cacao en Venezuela. FONAIAP. Vol. 12. Nro. 2. Caracas, Venezuela. P. 1-25.
- Morales, I. (2009) Vida útil de alimentos. CITA. Univesidad de Costa Rica. Revista Alimenticia. Vol. 206. Costa Rica.
- Nogales, J., Fariñas, L. y Bertorelli, L. (2006) Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de

- madera. *Revista Agronomía Trop.* Mar. 2006. Vol.56. No.1. Maracay, Venezuela. P. 5-20.
- Noor-Soffalina, S. y otros (2009). Effect of polyphenol and pH on cocoa Maillard-related flavor precursors in a lipidic model system. *International Journal of Food Science and Technology.* Vol. 44. P. 168-180.
- Ordóñez, J. y otros (1998) *Tecnología de los alimentos. v-I Componentes de los alimentos y procesos.* Editorial Síntesis S.A. Madrid, España. P. 365.
- Paganga, G. y otros. (1996) Mechanisms of antioxidant activities of quercetin and Catechin. *Redox Report.* P. 152-159.
- Perez, E., Alvarez, C y Lares, M. (2002) Caracterización física y química de granos de cacao fermentados, secos y tostados de la región de Chuao. *Revista Agronomía Trop.* Mar. 2006. Vol.52. No.2. Maracay, Venezuela.
- Perry, R. (1999) *Perry's Chemical Engineers' Handbook.* 7ma edición. McGraw Hill. USA. P. 18-106
- Portillo, E., Segnini, L. y Parra, R. (2000) Importancia en la calidad y la denominación de origen en la producción de cacao en Venezuela. I Congreso venezolano del cacao y su industria. Maracay, Aragua, Venezuela
- Price, L. y Buttlar, L (1977) Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* Volume 25
- Ramírez, H. (1992). Utilización de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la alimentación de pollos de carne en la fase de acabado. *Literatura Gris sobre manejo de Recursos Naturales en América Tropical (GREYLIT)* [Revista en línea]. Disponible: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=GREYLIT.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=006957> [Consulta: 2010, Agosto 1]
- Reyes, H. y Reyes, C. (2000). *El cacao en Venezuela. Venezuela, moderna tecnología para su cultivo.* Editado por Chocolates El Rey C.A. Caracas, Venezuela. P. 270
- Reyes, E. y otros. (2000). La calidad del cacao: II. Cosecha y fermentación. FONAIAP Divulga [revista en línea]. P. 66. Disponible:<http://www.ceniap.inia.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/FonaiapDivulga/fd66/texto/calidadcacao.htm>. [Consulta: 2009, Julio]
- Sánchez, P. (1995) Caracterización del sistema de producción de cacao, *Theobroma cacao* L. Universidad Simón Bolívar. Departamento de Biología de Organismos, Laboratorio de Comportamiento. Sartenejas, Baruta, Miranda, Venezuela

- Schwan, R. (1996) Microbiology of food fermentation: a study to improve quality. 12th Cocoa Res. Conf. Salvador. Bahia, Brasil. P. 1013-1020.
- Stanier, R. y otros (1992) Microbiología. Editorial Reverté S.A. España. P. 760.
- Tagro, G., Kouadio, K y Soumalia, D. (2010) Spontaneous cocoa bean heap fermentation: Influence of the duration and turning on the quality of raw cocoa. World Academy of Science, Engineering and Technology. Nro. 70.
- Vargas, V., Soto, J. y Enríquez, G. (1989). Métodos de fermentación de cacao para pequeños productores en seis localidades de Costa Rica. Pruebas de calidad. Memoria seminario regional sobre tecnología poscosecha y calidad mejorada del cacao. Red regional de generación y transferencia de tecnología en cacao (PROCACAO). Turrialba, Costa Rica. P. 147
- Voigt, J. y Biehl, B. (1993) The major seed protein of *Theobroma cacao* L. Food Chemistry. Volume 7
- Zill, D. y Cullen, M. (2004) Ecuaciones diferenciales con problemas de valores de frontera. 5ta edición. Edamsa impresiones. México. P. 96.

ANEXOS

En esta sección se muestran los anexos que respaldan la información presentada en el Capítulo V.

1. RESULTADOS DE LA EXTRACCIÓN

1.1. Selección del tipo de tamiz

Los distintos tipos de tamiz utilizados dieron los resultados mostrados en la tabla N° 37 a continuación.

Tabla N° 37. Resultado de los ensayos para la selección de medio filtrante para la extracción de mucílago de forma manual.

Material	Peso almendras frescas (g)	Peso almendras desbadas (g)	Peso mucílago (g)
Muselina	51,5792	28,6256	7,785
	31,2238	19,213	2,4517
	30,0415	18,2599	1,7449
Colador plástico	53,9886	35,0625	9,4369
	31,5917	21,2706	5,2971
	29,465	20,7875	3,2891
Malla plástica	52,9682	33,0092	5,8616
	31,4732	19,7846	3,0143
	29,5901	19,3354	3,8805

1.2. Selección de las condiciones de la alimentación a la centrifugadora

Tabla N° 38. Rendimiento dependiente del tratamiento previo a la centrifugación

Muestra	Almendras frescas (g)	Agua (g)	Mucílago (g)	Rendimiento (%)
SM-1	32,90	0	4,56	13,86
SM-2	31,99	0	4,55	14,22
SM-3	31,30	0	5,97	19,07
SM-4	31,73	0	5,65	17,81
MP-1	37,10	0	10,76	29,00
MP-2	37,23	0	14,94	40,13
MP-3	39,38	0	12,42	31,54
MP-4	37,88	0	11,80	31,15
AG-1	20,80	20,79	6,95	33,41
AG-2	17,82	17,59	2,91	16,33
AG-3	16,77	16,60	3,90	23,26
AG-4	22,30	19,83	4,44	19,91

1.3. Selección de la potencia y el tiempo de centrifugación

Tabla N° 39. Rendimiento variando potencia y tiempo de centrifugación

Nombre de la muestra	Almendras frescas (g)	Mucílago (g)	Rendimiento (%)
T1P1-1	18,40	1,00	5,43
T1P1-2	19,30	2,61	13,52
T1P1-3	20,01	3,56	17,79
T1P1-4	21,86	1,74	7,96
T2P1-1	20,34	3,68	18,09
T2P1-2	19,01	3,00	15,78
T2P1-3	20,28	4,63	22,83
T2P1-4	21,86	4,82	22,05
T3P1-1	19,03	4,87	25,59
T3P1-2	19,42	4,71	24,25
T3P1-3	21,35	3,70	17,33
T3P1-4	17,77	3,97	22,34
T1P2-1	20,34	4,28	21,04
T1P2-2	19,01	4,00	21,04
T1P2-3	20,28	4,63	22,83
T1P2-4	21,86	4,82	22,05
T2P2-1	22,92	7,16	31,24
T2P2-2	22,78	4,85	21,29
T2P2-3	22,73	5,08	22,35
T1P2-4	22,83	3,95	17,30
T3P2-1	37,10	10,76	29,00
T3P2-1	37,23	14,94	40,13
T3P2-3	39,38	12,42	31,54
T3P2-4	37,88	11,80	31,15
T1P3-1	18,30	5,49	30,00
T1P3-2	19,43	4,87	25,06
T1P3-3	20,12	4,91	24,40
T1P3-4	23,71	3,13	13,20
T2P3-1	20,13	5,75	28,56
T2P3-2	21,78	5,17	23,74
T2P3-3	19,89	5,72	28,76
T2P3-4	21,45	5,98	27,88
T3P3-1	20,18	6,72	33,30
T3P3-2	21,91	7,55	34,46
T3P3-3	19,05	5,94	31,18
T3P3-4	19,85	8,96	45,14

1.4. Extracción del mucílago de las muestras 1, 2, 3 y 4

Tabla N° 40. Resultados de la extracción artesanal de mucílago

Muestra	Almendras Frescas (g)	Almendras a Desbabe (g)	Almendras Desbabadas (g)	Mucílago (g)	Rendimiento (%)
1	20,5908	-	-	-	-
2	20,8619	3,1296	2,4741	0,5236	16,7
3	20,8615	6,2579	5,0703	1,0743	17,2
4	20,0000	9,0000	6,9050	1,7000	18,9

2. MUCÍLAGO

2.1. Ajuste de los datos experimentales para hallar las constantes de proporcionalidad

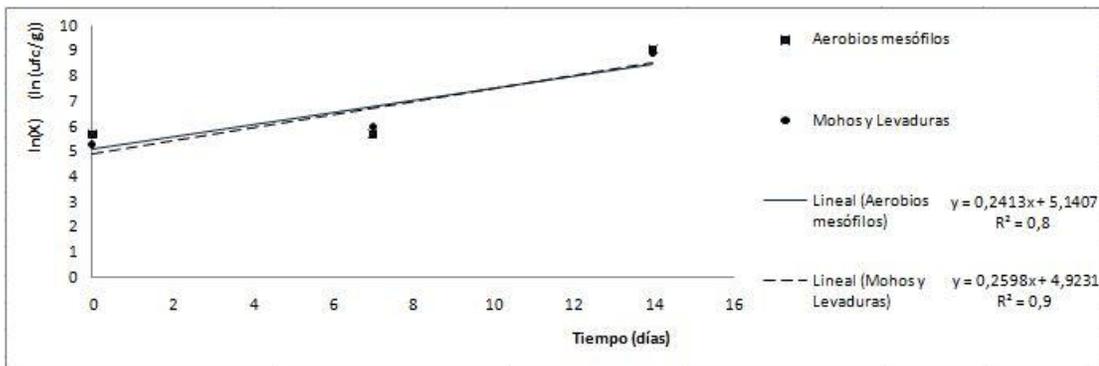


Figura N° 09. Ajuste de los datos experimentales para aerobios mesófilos y mohos y levaduras

2.2. Datos calculados de la función de crecimiento microbiano

Tabla N° 41. Crecimiento microbiano por día

Tiempo (días)	Aerobios mesófilos (ufc/g)	Mohos y Levaduras (ufc/g)
0	1	1
1	2	2
2	4	4
3	9	9
4	19	20
5	39	42
6	81	88
7	168	187
8	349	394
9	725	832
10	1507	1756
11	3133	3707
12	6512	7826
13	13538	16520
14	28142	34871

2.3. Análisis fisicoquímico del mucílago

LABORATORIO DE NUTRICION ANIMAL INIA-CENIAP

Maracay; 12/04/11

Atención: Priscilla Rojas.-
 Asunto: *Resultados de Análisis A MUESTRAS DE MUCÍLAGO DE CACAO*

CODIGO	IDENTIFICACION	% HUMEDAD A 60°C		% PROTEINA CRUDA		% FIBRA CRUDA		% pH	
11-665	FQ R-7 19/04/11	78.65	78.64	0.71	0.71	2.48	2.93	3.21	3.22
11-666	FQ R-14 26/04/11	78.58	78.52	0.88	0.79	2.94	2.85	3.27	3.29
11-667	FQ C-14 14/04/11	77.03	77.04	0.79	0.79	1.97	1.98	3.10	3.10
11-668	FQ C-28 29/04/11	78.34	78.09	0.70	0.70	1.64	1.94	3.19	3.17

Análisis expresados en base seca
 Análisis Bromatología Completa –Método Weende (AOAC 1950)

 ING. Glenn Hernández
 Jefa del Laboratorio de Nutrición Animal INIA-CENIAP

Firma del Cliente: _____
 Fecha de Entrega: _____

GRYS-

"200 años después... Independencia y Revolución"
 Patria, Socialismo o Muerte..... "Venceremos"

El Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, es un instituto autónomo, Adscrito al Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras, dedicado a la investigación agrícola, desarrollo tecnológico, asesoramiento y prestación de servicios especializados. Dirección: **Estación de Investigación**, Av. Leona, Torre Oeste de Parque Central, piso 07, Caracas, Venezuela, Tels: (58-212) 576.80.27 / 14.35 35.84 / 67.94, Fax: (58-212) 509.38.22. Sede Administrativa: Av. Universidad, Vía el Limón, Maracay, Estado Aragua. Central Telefónica: 0243-2404811. www.inia.gob.ve

Figura N° 10. Datos fisicoquímicos del mucílago

3. RESULTADOS DE LA CALIDAD FINAL DE LAS ALMENDRAS DE CACAO

3.1. Características físicas de los granos de cacao

3.1.1. Peso de 100 granos de cacao secos

Tabla N° 42. Resultado del análisis para determinar el peso de 100 granos de cacao para las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	1	2	3	4
Peso 100 granos (g)	130,40	129,22	128,11	127,05
	134,10	115,13	132,18	128,44
	127,82	117,33	124,15	129,50

3.1.2. Porcentaje de testa

Tabla N° 43. Resultado del análisis para determinar la cantidad de testa en 100 granos de cacao para las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	Peso Testa (g)	Peso Cotiledón (g)	Porcentaje de Testa (%)
1	21,2826	108,1594	16,3
	19,6638	98,7825	14,7
	19,6718	107,7092	15,4
2	17,3565	111,3068	13,4
	15,9831	98,7825	13,9
	16,0018	100,9178	13,6
3	17,8563	108,6179	13,9
	18,4218	106,7568	13,9
	18,017	104,2882	14,5
4	18,8279	107,4673	14,8
	18,7254	108,8942	14,6
	18,5441	109,9883	14,3

3.1.3. Prueba de corte ponderada

Tabla N° 44. Resultado de la prueba de corte para las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	1			2			3			4		
Mohosos (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Partidos, dañados por insectos, planos, pizarrosos y negros (%)	6	10	8	9	10	10	19	17	18	44	37	29
Germinados (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insuficientemente fermentados (%)	1	0	1	2	6	4	2	3	3	29	29	29
Múltiples (%)	1	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0
En buen estado (%)	92	89	90	89	84	86	79	78	78	27	34	41

3.1.4. Norma COVENIN para la prueba de corte ponderada

Tabla N° 45. Clasificación de la norma COVENIN para los granos de cacao según la prueba de corte

Requisito	Extra Fino	F1	F2
Mohosos	2%	3%	4%
Partidos y planos	2%	3%	8%
Germinados	2%	3%	6%
Insuficientemente fermentados	5%	20%	80%
Múltiples	2%	5%	7%

3.2. Características químicas de los granos de cacao secos

Tabla N° 46. Resultados obtenidos para el análisis de pH a las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	pH
1	5,6
	5,6
	5,7
2	5,8
	5,8
	5,8
3	5,4
	5,4
	5,4
4	6,0
	6,0
	6,0

Tabla N° 47. Resultados obtenidos para el análisis de Acidez a las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	Acidez
1	16,3
	14,7
	15,4
2	13,4
	13,9
	13,6
3	13,9
	13,9
	14,5
4	14,8
	14,6
	14,3

Tabla N° 48. Resultados obtenidos para el análisis de polifenoles a las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	Masa muestra (mg)	Absorbancia	Masa de Polifenoles (mg de Ácido Tánico)	Porcentaje Ácido Tánico (%)	Porcentaje Ácido Tánico (% en base seca)
1	100,62	0,148	0,04	0,88	0,93
	101,22	0,146	0,03	0,87	0,92
	101,54	0,147	0,03	0,87	0,93
2	100,21	0,123	0,030	0,75	0,81
	100,13	0,126	0,031	0,77	0,83
	100,15	0,127	0,031	0,77	0,82
3	100,01	0,198	0,045	1,13	1,22
	100,00	0,197	0,045	1,13	1,21
	100,02	0,199	0,045	1,14	1,21
4	100,00	0,224	0,05	1,26	1,36
	99,99	0,227	0,05	1,28	1,37
	99,98	0,228	0,05	1,28	1,37

3.3. Macronutrientes

Tabla N° 49. Resultados obtenidos para el análisis de humedad a las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	% HR
1	5,6
	5,5
	5,6
2	7,0
	7,1
	6,2
3	8,4
	8,0
	8,0
4	6,7
	7,0
	6,9

Tabla N° 50. Resultados obtenidos para el análisis de cenizas a las muestras 1, 2, 3 y 4

Muestra	Peso del Crisol (g)	Peso del crisol y la muestra (g)	Peso de la muestra (g)	Peso del crisol y las cenizas (g)	Peso de las Cenizas (g)	Porcentaje de Cenizas (%)
1	33,8071	36,8118	3,0047	33,8990	0,0919	3,1
	35,0715	38,0998	3,0283	35,1619	0,0904	3,0
	38,9731	41,9789	3,0058	39,0629	0,0898	3,0
2	33,8748	36,8818	3,0070	33,9665	0,0917	3,0
	35,0718	38,0888	3,0170	35,1623	0,0905	3,0
	31,1082	34,1338	3,0256	31,1987	0,0905	3,0
3	36,2802	39,2262	2,9460	36,3713	0,0911	3,1
	38,9732	41,9938	3,0206	39,9678	0,9946	32,9
	33,8080	36,8778	3,0698	33,9042	0,0962	3,1
4	31,1069	33,4146	2,3077	31,1816	0,0747	3,2
	36,2789	38,3834	2,1045	36,3470	0,0681	3,2
	33,8753	35,9111	2,0358	33,9909	0,1156	5,7