

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Preparación y caracterización química y nutricional de la proteína foliar
de la Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*)

Trabajo de investigación presentado por Lucía Carolina Spell Morales para
optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de
los Alimentos.

Guatemala
2011

Preparación y caracterización química y nutricional de la proteína foliar
de la Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*)

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA


Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Preparación y caracterización química y nutricional de la proteína foliar
de la Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*)

Trabajo de investigación presentado por Lucía Carolina Spell Morales para
optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de
los Alimentos.

Guatemala
2011

Vo. Bo.:

(f) 

Doctor Ricardo Bressani
Asesor

Tribunal Examinador:

(f) 

Lda. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) 

Lda. Patricia Palacios de Palomo

(f) 

Dr. Ricardo Bressani

Fecha de Aprobación: Guatemala, 24 de enero de 2011

PREFACIO

La idea de trabajar con la hoja de chaya surgió de la riqueza que dicho producto representa y de lo poco que ésta ha sido explotada. La hoja es altamente desconocida en Guatemala a pesar de presentar un valor nutricional superior al de muchas hojas comestibles comúnmente. Por esto, se consideró importante estudiar formas en las que la hoja pudiera ser introducida a otras matrices alimentarias, dado que su ingesta en fresco parece poco apetecible. Se considera que la principal dificultad del estudio fue la muestra en sí, debido a su recolección y tratamiento. Sin embargo, no se presentaron obstáculos considerables, y se contó con la ayuda de muchas personas para aprovechar al máximo la oportunidad de estudiar dicha hoja.

Principalmente quiero agradecer a Dios, a mis papás y a mi hermano por haber sido un gran apoyo durante la elaboración del estudio y porque su consejero y ayuda fue indispensable para que éste se llevara a cabo. Al doctor Ricardo Bressani por haber sido una guía durante la elaboración del proyecto, y por haber colaborado incondicionalmente para que el mismo fuera un éxito. A Don Carlos Arias, Claudia Lesama, Brenda Rodas y Elsa Gudiel, personal del Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, por haberme brindado toda su ayuda y paciencia durante la elaboración del proyecto.

Además, quiero agradecer al Ingeniero Andrés Arévalo, al Ingeniero Fernando Ortiz, al Ingeniero Julio Rosales y a sus ayudantes, quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborar para la recolección de muestras en el Campus Proesur de la Universidad del Valle de Guatemala. Por último, quiero agradecer a la Lda. Ana Silvia Colmenares y a la Lda. Patricia Palomo, por sus consejos y guía, y a Kelly de León por siempre estar dispuesta a ayudar y hacer lo posible para que el trabajo fuera exitoso.

ÍNDICE

Lista de tablas.....	vii
Lista de gráficas.....	ix
Resumen	x
I. INTRODUCCIÓN.....	xii
II. ANTECEDENTES	2
A. Malnutrición.....	2
B. Hojas verdes	2
1. Concentrados proteicos foliares.....	3
C. Chaya (<i>Cnidocolus acotifolius</i>)	3
1. Variedades de Chaya	4
2. Composición química de la chaya.....	5
3. Usos medicinales.....	7
4. Concentrado proteico foliar de Chaya.....	8
III. JUSTIFICACIÓN	10
IV. OBJETIVOS.....	12
A. General	12
B. Específicos.....	12
V. METODOLOGÍA	13
A. Diseño experimental.....	13
1. Selección de materia prima.....	13
2. Obtención de los extractos proteicos de hoja de chaya	13
B. Métodos de análisis.....	17
1. Análisis químicos	17
VI. RESULTADOS.....	18
VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	34
VIII. CONCLUSIONES	48
IX. RECOMENDACIONES	50
X. BIBLIOGRAFÍA	51
XI. ANEXOS.....	55
A. Resultados del estudio biológico.....	55
B. Fotografías	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Composición por 100g de porción fresca de hojas comestibles	6
Tabla 5.1: Dieta de fraccionamiento para el estudio biológico (g/100g).....	16
Tabla 6.1: Composición proximal en base húmeda de hojas frescas, selección estrella ..	18
Tabla 6.2: Composición proximal en base húmeda de hojas frescas, selección redonda.	19
Tabla 6.3: Resultados estadísticos del análisis proximal y contenido de ácido cianhídrico de la hoja de chaya fresca	19
Tabla 6.4: Rendimiento de peso de los extractos de hoja de chaya.....	20
Tabla 6.5: Resultados estadísticos del rendimiento de peso en la obtención de extractos proteicos de la hoja de chaya	21
Tabla 6.6: Composición proximal den base húmeda del extracto de hoja de chaya obtenido por el método de extractor.....	22
Tabla 6.7: Composición proximal en base húmeda del extracto de hoja de chaya obtenido por el método de licuadora	22
Tabla 6.8: Resultados estadísticos del análisis proximal y contenido de ácido cianhídrico de los extractos de hoja de chaya.....	23
Tabla 6.9: Composición proximal en base húmeda del residuo derivado al obtener los extractos de hoja de chaya por el método de extractor	24
Tabla 6.10: Composición proximal en base húmeda del residuo derivado al obtener los extractos de hoja de chaya por el método de licuadora	24
Tabla 6.11: Resultados estadísticos del análisis proximal de los residuos de hoja de chaya	25
Tabla 6.12: Rendimiento de la extracción de proteína en la obtención de extractos de hoja de chaya	26
Tabla 6.13: Composición de sobrenadante y precipitado del extracto de hoja de chaya estrella en rango pH 2-5.....	27
Tabla 6.14: Composición de sobrenadante y precipitado del extracto de hoja de chaya estrella en rango pH 3.4-4.6.....	27
Tabla 6.15: Composición de sobrenadante y precipitado del extracto de hoja de chaya	

estrella a un pH de 4.0.....	30
Tabla 6.16: Composición de materia prima (M.P.) utilizada para la elaboración de dietas y contenido proteico de las dietas	31
Tabla 6.17: Valor IEA y valor PER obtenidos en el estudio biológico	33
Tabla 6.18: Resultados estadísticos de los datos del estudio biológico.....	33

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 6.1: % Proteína de sobrenadante de extracto de chaya estrella en rango pH 2-6	28
Gráfica 6.2: % Proteína de precipitado de extracto de chaya estrella en rango pH 2-5...	28
Gráfica 6.3: % Proteína de sobrenadante de extracto de chaya estrella en rango pH 3.4-4.6	29
Gráfica 6.4: % Proteína de precipitado de extracto de chaya estrella en rango pH 3.4-4.6	29

RESUMEN

El porcentaje de la población guatemalteca que puede acceder a productos ricos en proteínas, como los productos cárnicos, es bajo. Sin embargo, Guatemala cuenta con productos vegetales ricos en proteínas y de bajo costo que no han sido explotados para la alimentación de la población de bajos recursos ni para su empleo en la industria. La hoja de chaya es uno de estos productos. No obstante su consumo no se ha popularizado principalmente por su elevado contenido de fibra. Por esto, en este estudio se tenía como objetivo elaborar una harina de hoja de chaya y extractos proteicos de la misma con los que se mejoraran sus características de forma que pudiera ser incorporada como un elemento enriquecedor en otras matrices alimenticias.

Para la elaboración del estudio se evaluaron dos variedades de chaya (estrella y redonda) y se emplearon dos métodos para la obtención de extractos (licuadora y extractor). De la hoja entera se encontró que la variedad de mayor contenido proteico fue la estrella. Al realizar los extractos foliares, el rendimiento de extracción de proteína durante el proceso reveló que a través del empleo del método de licuadora se obtenía una mayor eficiencia en la extracción. Sin embargo, se considera que la implementación de dicho método representa complicaciones, como extractos con humedad muy elevada y procesos de trabajo laboriosos que requieren mucho tiempo, que a nivel industrial tendrían implicaciones económicas. Por esto, para dicho estudio se seleccionó al método de extractor como el mejor. De los extractos obtenidos por el método de extractor, el de selección estrella mostró un mayor contenido proteico y un mayor porcentaje de proteína extraída. Debido a esto se estableció que la variedad estrella es la predilecta para la elaboración de extractos proteicos de la hoja de chaya.

Se realizó un estudio biológico en el que se evaluó la hoja entera variedad estrella, así como el extracto foliar y residuo de chaya estrella obtenidos por el método de extractor. A través del estudio se estableció que la calidad de la proteína de la hoja entera, el extracto y el residuo de la hoja de chaya es buena, dado que los valores PER no difieren significativamente de los presentados por la leche descremada. Por esto, se considera que la harina de hoja entera y la harina de extracto foliar representan productos de gran valor nutricional que pueden ser incorporados a matrices alimenticias para su enriquecimiento. Igualmente se cree que el residuo obtenido como subproducto al

elaborar los extractos foliares tiene un elevado potencial para su uso en alimentación animal, principalmente porque representaría una proteína de excelente calidad a un costo bajo.

Como principal recomendación se estableció que se realicen estudios posteriores cuyo objetivo primordial sea la creación de productos que utilicen entre los ingredientes la harina de hoja de chaya, el extracto de hoja de chaya líquido o el extracto seco como enriquecedor. Solo de esta forma podrá conocerse las características que dichos productos impartirían a diferentes productos alimenticios y si son agradables para el consumidor, así como el verdadero potencial que los productos de la hoja de chaya tiene para ingresar en la industria alimentaria del país.

I. INTRODUCCIÓN

La chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) es un arbusto nativo de Centroamérica y áreas de clima tropical en México. No obstante, la planta crece en diferentes climas, condiciones de altitud y características del terreno, y no se requiere de condiciones y cuidados especializados para su desarrollo. El foliolo del arbusto es la parte más consumida y posee características nutricionales superiores a las presentadas por el peciolo y tallo (Juárez, F. 2001). En Guatemala existen cuatro variedades de chaya encontradas en distintas regiones: estrella, picuda, mansa y redonda.

La literatura indica que la hoja de chaya era consumida por los mayas como parte de su dieta (González-Laredo, R. *et al.* 2003). En la actualidad la misma es vendida en algunos mercados especialmente en Yucatán, y consumida en platos regionales. Sin embargo, su consumo es poco popular y mucha gente desconoce sus propiedades beneficiosas y valor nutricional o incluso su existencia. Se han realizado diversos estudios (Curley, L. 1996; Juárez, F. 2001) que muestran que el valor nutricional de la chaya es superior al de otras hojas verdes consumidas comúnmente, como espinaca o lechuga, principalmente porque posee una menor humedad. La hoja es rica en aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, por lo que tiene un alto potencial para contribuir a mejorar el estado nutricional de personas en países en desarrollo. Además se le atribuyen diversos beneficios como estimulador de la lactancia, limpiador del sistema circulatorio y diurético entre otros. Sin embargo, contiene una elevada cantidad de glucósidos cianogénicos, por lo que debe ser cocinada antes de ser ingerida.

Otra desventaja de la hoja es que contiene un elevado porcentaje de carbohidratos y sabor metálico, por lo que es poco atractiva al paladar. En este estudio se evaluaron las características químicas de un extracto de hoja de chaya con el que pudiera eliminarse las partes fibrosas y concentrar la proteína para su incorporación en otras matrices alimentarias. Además, se estudió el residuo obtenido del proceso de extracción para determinar su utilidad como alimento animal. Para complementar los datos químicos, se realizó un estudio biológico comparando la eficiencia proteica de la hoja fresca, el extracto y el residuo, utilizando una dieta de caseína como control.

II. ANTECEDENTES

A. Malnutrición

La malnutrición puede ser el resultado de una alimentación inadecuada o una mala salud. Una alimentación inadecuada puede ser causada por la falta de alimentos, por una mala distribución de los alimentos o por el comportamiento inapropiado del consumidor. (Latham, M. 2002.)

La FAO recomienda, para el caso de personas no enfermas, una ingesta de proteína que varía entre 14 y 34g diarios en niños de 1 a 10 años; de 49 a 63g y de 48 a 81g en adolescentes hombres y mujeres (hasta 18 años), respectivamente. Para adultos se recomienda una ingesta de 49g en mujeres y 55g en hombres (mayores a 18 años). En el caso de los países en desarrollo la mayor parte de la malnutrición se debe al consumo insuficiente de proteína y energía. Una de las soluciones propuestas para suplir esta carencia ha sido la producción de alimentos ricos en proteína que han sido fortificados. (Latham, M. 2002)

El grupo de alimentos que más se consume en los países de Centro América son los cereales, y los que en menor grado se consumen son los mariscos y pescados. La población rural de Guatemala que posee menos ingresos económicos suple la mayor cantidad de sus requerimientos proteicos a través de la ingesta de cereales y leguminosas. La dieta está basada principalmente en maíz y frijol. El frijol constituye una fuente importante de proteína y el maíz la fuente principal de energía. Dichos alimentos no son suficientes para obtener todos los micronutrientes necesarios. Como consecuencia, el nivel nutricional de algunos sectores de la población es bajo. Aunado a esto, Guatemala cuenta con la ingesta de proteínas per cápita al día más baja de la región centroamericana. (Neufeld, Lynnette; S. Hernandez y A. Fernandez. 2006) (Cifuentes, Rolando y Á. Molina. 1999)

B. Hojas verdes

Las hojas verdes representan la fuente más grande y barata de proteína en el mundo dado que sintetizan aminoácidos a partir de materiales primarios como agua, CO₂ y nitrógeno atmosférico. (Aletor, O. *et al.* 2002) (Kohler, G. – Knuckles, B. 1977) Las

proteínas animales son aun reconocidas por tener un valor nutricional mayor que las proteínas vegetales, pero en muchas poblaciones la limitante económica ha hecho de los vegetales la única fuente de proteína. (Ory, R. 1986)

Se ha demostrado que, omitiendo el bajo contenido de metionina, el perfil de aminoácidos de la proteína de hojas verdes generalmente supera el patrón de aminoácidos esenciales descrito por la FAO. (Aletor, O. *et al.* 2002) A pesar de esto, con excepción de pequeñas cantidades de espinaca y acelga, el uso de las hojas verdes en la alimentación humana es muy limitado. (Kohler, G. – Knuckles, B. 1977)

1. Concentrados proteicos foliares. Generalmente se considera que el consumo directo de hojas verdes es más eficiente. No obstante, cantidades considerables de proteína menos disponible en éstas pueden hacerse disponibles a través de la extracción y concentración de las proteínas foliares. En la actualidad los concentrados de proteína foliar han mostrado una aceptabilidad limitada, principalmente por su color y sabor. Para su eficaz aprovechamiento se considera que su incorporación a matrices alimentarias con sabores y olores que enmascaren aquellos que presentan los concentrados es importante. (Ory, R. 1986) (Aletor, O. *et al.* 2002)

El concentrado proteico de hojas se obtiene a través de la separación mecánica de la fibra no digerible y de antinutrientes solubles en las proteínas, vitaminas y minerales de la hoja. Generalmente son extractos ricos en β -caroteno, hierro, y proteína de buena calidad. Luego de la aplicación de un tratamiento mecánico, el jugo obtenido generalmente es sometido a un calentamiento o a una variación de pH para obtener las proteínas coaguladas, que se lavan para poder ser utilizadas en diversas aplicaciones. (Aletor, O. *et al.* 2002) (Kennedy, D. 1993)

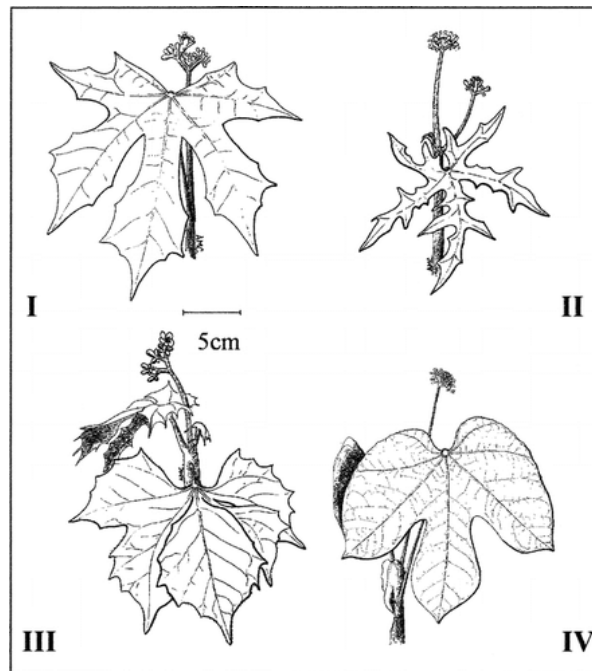
C. Chaya (*Cnidoscolus acotifolius*)

La chaya es un arbusto o árbol pequeño nativo de México y Centroamérica que llega a medir de tres a cinco metros de altura. Posee pequeñas flores blancas, tronco grueso y pálido, y hojas alternas, palmeadas con lóbulos, savia lechosa y color verde oscuro. (Ross, J. – A. Molina. 2002) (Molina, Álvaro. 2003) (FAO. 1993)

Este arbusto requiere poco cuidado, se adapta a diferentes condiciones de altitud y características del terreno, y produce por muchos años grandes cantidades de hojas y cogollos comestibles. La chaya puede crecer en condiciones tan diversas como poca luz, suelos lodosos, suelos no irrigados o con mucha exposición a la luz, lo cual sugiere que la planta puede ser utilizada en otras áreas en el mundo que cuenten con suelos pobres y en periodos en los que otros vegetales verdes son escasos. Se han reportado producciones de la variedad mansa de hasta 5.7 toneladas/ha por año en la Península de Yucatán y de 12 toneladas/ha por año de la variedad estrella en Guatemala. Esta producción se compara favorablemente con aquella de otras plantas verdes. (Ross, J. – Molina, A. 2002: 359) (Peregrine, W. 1983)

1. Variedades de Chaya. Se conocen cuatro selecciones de chaya (Figura 1), todas cultivadas en Guatemala: estrella (selección I), picuda (selección II), mansa (selección III) y redonda (selección IV). Las hojas presentan diferentes formas pero son todas identificadas botánicamente como *Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst. ssp. *aconitifolius*. (Monlina, Álvaro; L. Curley y R. Bressani. 1997)

Figura 2.1: Cuatro variedades cultivadas de Chaya.



Variedades: I. Estrella, II. Picuda, III. Mansa, IV. Redonda. (Ross, J. – A. Molina. 2002)

La selección I se encuentra principalmente en Baja Verapaz, Santa Rosa, Escuintla, Izabal y Petén; la selección II en Jutiapa; la selección III en Petén y Retalhuleu; y la selección IV en Ciquimula, Jutiapa y Zacapa. Las selecciones III y IV presentan pequeñas vellosidades irritantes en la orilla de la hoja que desaparecen con la cocción. (Monlina, Álvaro; L. Curley y R. Bressani. 1997) (Ross, J. – Molina, A. 2002) (Juárez, F. 2001)

2. Composición química de la chaya. Existen referencias históricas de que la chaya era ampliamente utilizada por los mayas en el momento de la conquista española. En la actualidad aun se consume a lo largo de Mesoamérica, principalmente en Yucatán. Lamentablemente se considera que en toda la región la planta es subutilizada por desconocimiento de su valor nutritivo y propiedades útiles. En Guatemala es utilizada en muy poca escala como cerco o a nivel de huerto familiar, y su consumo humano es poco frecuente (una vez por mes). Para la mayor parte de la población es una planta desconocida y no se comercializa. (Cifuentes, Rolando y A. Molinda. 1999) (Monlina, Álvaro; L. Curley y R. Bressani. 1997)

El principal interés en las hojas de chaya radica en su excepcional composición química y potencial nutricional. Como se muestra en la Tabla 1, la composición de las hojas de chaya sobresale de la composición de otras hojas comestibles por su baja humedad (por lo que contribuyen con más masa seca por unidad de peso), alto contenido de vitamina C, provitamina A (β -caroteno) y proteína, incluso mayor que el contenido de proteína en base seca presentada por el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) y por ser rica en calcio, fósforo, hierro, tiamina, riboflavina y niacina. . (Ross, J. – Molina, A. 2002: 355) (Molina, Álvaro. 2003). Además, es versátil en cuanto a los aminoácidos que posee: aspártico, glutámico, treonina, serina, prolina, alanina, glicina, valina, metionina, isoleucina, leucina, tirosina, fenilalanina, lisina y arginina. (Cruz, Carolina) (Peregrine, W. 1983) En términos de valor nutritivo promedio, las hojas de chaya son muy superiores a otros vegetales de hojas verdes como la espinaca, el amaranto, la col china y la lechuga. (Kuti, Joseph y E. Torres. 1996)

Tabla 2.1: Composición por 100g de porción fresca de hojas comestibles.

	Chaya¹	Espinaca²	Acelga²	Chipilín²	Lechuga²
Porcentaje de Humedad	72.1-83.0%	90%	90%	82%	96%
g					
Proteína	4.17-6.82 ³	2.8	1.6	7.0	1.0
Grasa	1.72-2.87	0.7	0.4	0.8	0.1
Carbohidratos totales	8-13	5.0	5.6	9.0	3.0
Fibra cruda	2.47-3.84	0.7	1.0	2.0	0.5
Cenizas	2.5-2.8	1.8	1.6	1.5	0.4
mg					
Calcio	141-497	60	110	287	16
Fosforo	69-98	30	29	72	23
Hierro	2.4-4.7	3.2	30006	47	0.4
Vitamina A	2.5	1.2	0.9		---
Tiamina	0.2	0.06	0.03	0.33	0.05
Rivoflavina	0.4	0.17	0.09	0.49	0.03
Niacina	1.6	0.6	0.4	2	0.3
Ácido Ascórbico	287-318	46	34	10	7
HCN	27-42	---	91	82	---
kcal					
Energía	64-105	30	27	56	13

¹ Tomado de (Ross, J. – A. Molina. 2002)

² Tomado de (Meneses, A. 2000)

³ En algunos estudios se ha reportado valores de proteína de hasta 8.25% en base húmeda. (Cravioto, René. 1952)

La preparación es uno de los principales factores que puede afectar la cantidad de nutrientes utilizables de la hoja. La chaya puede llegar a cubrir los requerimientos diarios de vitamina C con solo ingerir 100g de la hoja, dado que su contenido es hasta siete veces mayor de lo encontrado en la naranja o limón (Cravioto, René, *et al.* 1952). No obstante, al someter las hojas a cocción, gran parte de la vitamina C se pierde. El consumo crudo de la hoja no es recomendado ya que contiene compuestos tóxicos llamados glucósidos cianogénicos que producen ácido cianhídrico cuando hay daño tisular (Ross, J. – A. Molina. 2002). El ácido cianhídrico puede ser eliminado fácilmente

durante la cocción, y no quedan en el agua ni en la hoja ya que se pierde en el vapor. (Molina, Álvaro; L. Curley y R. Bressani. 1997)

3. Usos medicinales. A lo largo del tiempo se le han adjudicado a la chaya un gran número de alegaciones con respecto a su eficiencia como medicamento, que están basadas fundamentalmente en la experiencia de los pueblos que la consumen. Entre éstas se encuentra la cura para el insomnio, enfermedades venéreas y gota, y el tratamiento de cáncer, diabetes (función estudiada en extractos acuosos; (Kuti, Joseph. 1996; Palos, Giovanna. 2007), obesidad y trastornos renales, específicamente cálculos renales. Además se ha utilizado como un mejorador de la función del cerebro y la memoria (Jensen, S. 2009) (Torrico, F. 2003), como purificador de la sangre, contra el cansancio, para disminuir el colesterol e incrementar las plaquetas en pacientes que reciben quimioterapia. (Orellana, S. 1978: 193). (Ross, J. – Á. Molina. 2002) (Argueta, A. 1994) (Días-Bolio, José. 1974)

Para obtener los beneficios mencionados, la administración de la hoja se hace de forma oral, ya sea cocida o en infusiones y batidos. Para aliviar los problemas de encías, dolores musculares, reumatismo, artritis y afecciones de la piel, se requiere que la hoja entre en contacto directo con el área afectada. (Ross, J. – Molina, A. 2002) (Días-Bolio, José. 1974)

Todos los usos citados con anterioridad fueron la recopilación por Jeffrey Ross y Álvaro Molina en su artículo “The ethnobotany of chaya (*Cnidoscolus conitifolius* ssp. *aconitifolius* breckon): a nutritious maya vegetable”, a partir de los usos citados por otros autores en diversos artículos (Ross, J. – Molina, A. 2002). Ninguno de los usos ha sido comprobado científicamente y la información más bien ha sido obtenida a través de entrevistas con las personas que comúnmente utilizan la planta para fines médicos. Debido a esto, tampoco se conoce el mecanismo de acción que la chaya tiene contra las dolencias descritas.

Se considera que entre todos los beneficios mencionados para la chaya, hay uno en el que se tiene mayor interés: su uso como galactogogo (Argueta, A. 1994), lo cual significa que estimula la secreción de leche en los mamíferos. Como las otras propiedades benéficas adjudicadas a la chaya, esta propiedad no ha sido comprobada científicamente y no se ha realizado ningún estudio al respecto. (Ross, J. – Molina, A. 2002) Una amplia

variedad de productos vegetales han sido utilizados como galactogogos a través de la historia, de los que se pueden mencionar el garbanzo, la cebada, la lechuga, la alfalfa y el diente de león, así como el Ixbut (*Euphorbia lancifolia schlecht*), específicamente en Guatemala. (Tzapin, M. 2005) (Romano, E. *et al.* 2009)

4. Concentrado proteico foliar de Chaya. Según el estudio realizado por Jorge Aguilar y otros investigadores, titulado “Utilización de la hoja de Chaya (*Cnidocolus chayamansa*) y de Huaxín (*Leucaena leucocephala*) en alimentación de aves criollas”, las aves que eran alimentadas con un concentrado al que se le había agregado chaya ganaban menos peso que aquellas que consumían concentrado tradicional. Dicho resultado no era de esperar dado que la chaya fue considerada una buena opción para la alimentación alterna. La conclusión del estudio fue que, la inclusión de chaya a las dietas había afectado negativamente la digestibilidad en las aves, lo cual se atribuyó a un aumento en el contenido fibroso. Esto denota la importancia que implica la elaboración de extractos proteicos de la hoja para aumentar la disponibilidad de los nutrientes y potencializar su uso actual. (Aguilar, J. *et al.* 2000)

Según menciona Steven Nagy. *et al.* en su estudio sobre el uso potencial de las proteínas de hojas de plantas tropicales y subtropicales, el consumo directo de las hojas verdes para satisfacer los requerimientos de proteína en los humanos no es práctico. Esto se da principalmente debido a que las hojas contienen otros componentes que no son digeridos fácilmente por el hombre, como la fibra, pigmentos y otros componentes que además afectan la palatabilidad. Ha sido estimado a través de la alimentación animal con hojas, que el 90% de la proteína es utilizada en el mantenimiento del cuerpo, y solo 10-15% es recuperada como productos animales para consumo humano, lo que demuestra la ineficiencia del proceso biológico. Una utilización más eficiente de las proteínas de la hoja se alcanza con el procesamiento mecánico, en el que el extracto proteico es utilizado como alimento humano y la fibra restante para la alimentación de animales rumiantes. (Nagy, S. *et al.* 1978)

Un examen comparativo de la producción proteica de hojas y semillas ha mostrado que las hojas producen más proteína cruda que las semillas y que la extracción puede ser tan alta como el 40-60% de la proteína. Steven Nagy y colaboradores recopilaron información

de varios estudios en los que se logró comparar el porcentaje de proteína cruda de 60 hojas tropicales y subtropicales. La chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) fue listada como una de las muestras de mayor contenido proteico, con un valor de 30.7%, siendo superada por el cilantro (60.8%), amaranto (57.8%) y otras 12 hojas más, con contenido proteico cercano al 30%. Además, se consideró a la chaya como una de las cinco especies de hojas más prometedoras para su uso como fuente de extractos proteicos foliares. Esto demuestra la importancia que juegan los extractos proteicos en la alimentación, así como el gran potencial de la chaya como fuente de estos, más que su uso en la alimentación como una hoja. (Nagy, S. *et al.* 1978)

Shuh Sheen realizó la evaluación química de los extractos de proteínas solubles de hojas de cuatro especies de plantas diferentes: alfalfa, soya, tabaco y remolacha. Se determinó que el contenido proteico de una de las fracciones proteicas obtenidas variaba de 97.3 a 99.5% para las muestras analizadas, además que se encontraron correlaciones positivas respecto a la composición de aminoácidos. Por esto, las fracciones proteicas obtenidas fueron denominadas como una fuente de proteína “tan buena como las proteínas de la dieta usual”. (Sheen, S. 1991) Dado que, al igual que las muestras analizadas en dicho estudio, la chaya es un vegetal, se esperaría encontrar en su extracto proteico un valor proteico elevado y de buena calidad.

III. JUSTIFICACIÓN

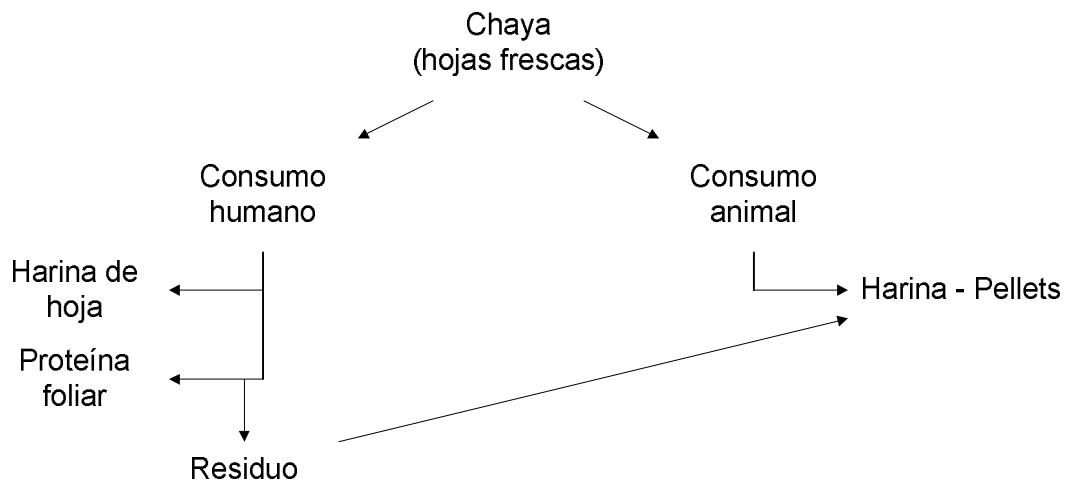
Las cifras prevalentes del crecimiento poblacional amenazan la salud y bienestar de muchas personas alrededor del mundo. Según UNICEF, la tasa de crecimiento anual de la población para Guatemala es de 2.5% (cifras estimadas del año 2000 a 2008). Siendo esta elevada, implica problemas de suministro de alimentos, que ya están siendo observados en la actualidad. A esto se suma que debido al cambio climático, la seguridad alimentaria en todo el mundo se ve amenazada. Para el año 2009, el 75% de las personas pobres del mundo vivían en áreas rurales, y por ende dependían de la alimentación que de estas pudieran devengar. Esto sugiere la necesidad de encontrar nuevas fuentes de alimentación, que complementen la alimentación del país basada en cereales y leguminosas, principalmente en maíz y frijol, que usualmente proveen una dieta de bajo contenido proteico.

La chaya ha sido utilizada desde tiempos inmemorables como alimento. Su alto contenido proteico hace de esta hoja un producto altamente nutritivo. Es un cultivo que se adapta a cualquier tipo de suelo y que no requiere de mantenimiento para su crecimiento. Por esto se considera que la hoja de chaya es una opción viable como suministro de alimento económico para la población guatemalteca. Debido a lo anterior, se realizó la elección de dicho vegetal para el estudio de la hoja así como de un extracto de proteína foliar.

Desde el punto de vista de la industria, es importante tomar en cuenta que los alimentos funcionales han tenido un crecimiento acelerado en los últimos años. Para el año 2000, el 35% del mercado de alimentos en Estados Unidos estaba abarcado por los alimentos funcionales. La chaya, principalmente por su excelente valor nutricional, es la materia prima ideal para el desarrollo de dichos alimentos. Sin embargo, posee un alto contenido de fibra que desfavorece al producto en cuanto al aspecto sensorial, haciendo que su consumo no se haya popularizado. Por eso a través de este estudio se pretende evaluar tanto una harina de la hoja fresca como un extracto de proteína foliar, que permita una mejor incorporación del producto a matrices alimentarias que puedan enmascarar su sabor metálico y su textura fibrosa, y cumplan con los requisitos de los consumidores. Con esto se podría promover el desarrollo de productos funcionales y el enriquecimiento de alimentos con materias primas nacionales.

Las ventajas de la elaboración de un extracto proteico foliar son principalmente que se obtiene un producto concentrado que fácilmente puede ser utilizado para el enriquecimiento de otras matrices, además que se elimina toda la fibra que afecta las características sensoriales y pueden dificultar la digestión en grandes cantidades. De la obtención del extracto se deriva un residuo. Su estudio es importante por el potencial uso que tiene en la elaboración de comida para animales. El Diagrama 3.1 refleja los subproductos que pueden obtenerse de la hoja de chaya fresca.

Diagrama 3.1: Productos obtenidos de la hoja de chaya fresca.



Dado que los Estados Unidos es uno de los principales destinos de los alimentos guatemaltecos de exportación, la industria en Guatemala podría aprovechar la creciente popularidad de los productos funcionales en dicho país y desarrollar este tipo de alimentos con la inclusión de alguno de los subproductos obtenidos de la hoja de chaya fresca. Esto refleja la importancia del desarrollo de un extracto proteico foliar y la evaluación del residuo que se obtenga en su elaboración así como de la hoja entera, dado que son productos que pueden tomar relevancia en el país y permitir que el cultivo y venta de la hoja de chaya se convierta en una fuente de ingresos para muchas familias de escasos recursos.

IV. OBJETIVOS

A. General

Obtener y caracterizar químicamente extractos proteicos de la hoja de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*).

B. Específicos

1. Obtener el extracto proteico de hojas de chaya de dos diferentes variedades: *estrella* y *redonda*.
2. Evaluar el rendimiento en la obtención de extractos de la hoja de chaya, tanto el referente a la cantidad de material obtenido como el referente a la concentración de proteína extraída, a partir de dos métodos diferentes: licuadora y extrusor.
3. Determinar la composición química (proteína, lípidos, fibra cruda, cenizas, humedad y glucósidos cianogénicos) de la hoja de chaya, de los diferentes extractos proteicos así como del residuo obtenido en la elaboración de los mismos.
4. Determinar el punto isoeléctrico de los extractos de hoja de chaya obtenidos a partir de dos métodos diferentes (licuadora y extrusor).
5. Determinar según la composición química y el porcentaje de proteína extraída cuál es el método y la variedad de chaya que proporciona el extracto de mayor contenido proteico para ser utilizado en un estudio biológico.
6. Elaborar un estudio biológico para evaluar la calidad de la proteína contenida en la hoja entera, el extracto y el residuo de la hoja de chaya seleccionado.

V. METODOLOGÍA

A. Diseño experimental

1. Selección de materia prima. Se utilizaron hojas frescas de chaya selección estrella y redonda, obtenidas de las siembras ubicadas en el Campus Proesur de la Universidad del Valle de Guatemala, en Santa Lucía Cotzumalguapa. Debido a que la posición de las hojas en la planta puede afectar su contenido de humedad y composición general, las muestras se tomaron aproximadamente de la misma región de cada planta. Las hojas tenían un peso aproximado de 7g.

2. Obtención de los extractos proteicos de hoja de chaya

a. Análisis químico de las hojas de chaya (materia prima). Se realizaron análisis químicos para determinar la composición de las hojas de chaya y lograr la caracterización de la materia prima. Se determinó el contenido de proteínas, grasa, fibra cruda, cenizas, glucósidos cianogénicos y humedad por métodos de la AOAC (AOAC. 2005). Para realizar el análisis de glucósidos cianogénicos, se utilizaron hojas frescas. Para realizar el análisis de proteína y grasa, la chaya se deshidrató y se molió para obtener una harina.

b. Método por licuadora: Método para la obtención del extracto de hoja de chaya a través del empleo de una licuadora.

- 1) Pesar las hojas de chaya.
- 2) Reducir el tamaño de las hojas a través de corte utilizando tijeras.
- 3) Agregar agua destilada a temperatura ambiente, equivalente a dos veces el peso de las hojas en fresco.
- 4) Aplicar una fuerza de corte utilizando una licuadora doméstica.
- 5) Filtrar el producto obtenido utilizando una manta y conservar el líquido filtrado.
- 6) Envasar en frasco de vidrio y refrigerar.

Se realizó un análisis proximal del extracto líquido y del residuo obtenido después de la filtración. Se emplearon los métodos mencionados en el apartado B de dicha sección.

c. Método por extractor: Método para la obtención del extracto de hoja de chaya a través del empleo de un extractor.

- 1) Pesar las hojas de chaya.
- 2) Aplicar una fuerza de compresión utilizando un extractor de jugos doméstico.
- 3) Envasar en frasco de vidrio y refrigerar.

Tanto al extracto líquido de hoja de chaya como al bagazo residual se les realizó un análisis proximal. Se emplearon los métodos mencionados en el apartado B de dicha sección.

d. Determinación del punto isoeléctrico. Para determinar el punto isoeléctrico de los extractos de hoja de chaya se utilizó 5mL de extracto que fueron colocados en un tubo para centrifugar. Las muestras fueron llevadas a pH 1, 2, 3, 4 y 5 utilizando HCl 0.1N. Los valores de pH utilizados fueron seleccionados de acorde al pH inicial del extracto. Luego se centrifugaron a temperatura ambiente por un tiempo mínimo de una hora y se refrigeraron por un periodo de dos horas, para promover la precipitación.

El sobrenadante se separó del residuo sólido. Luego se realizó una determinación del porcentaje de humedad y del contenido proteico de ambas partes a través de los métodos descritos en el apartado B de dicha sección. Se redujo el rango de pH para la evaluación tomando en cuenta el pH en el que el sobrenadante tuviera menor y el residuo mayor porcentaje proteico. Con el nuevo rango de pH, se repitió el procedimiento descrito anteriormente hasta encontrar un rango de pH con 0.2 unidades de diferencia entre el valor mínimo y el valor máximo para indicar el punto isoeléctrico.

e. Estudio biológico. Para el estudio biológico se emplearon ratas Winstar de 22 a 24 días de edad con un peso inicial de 42 a 50 gramos.

Para el estudio biológico se emplearon ratas Winstar de 22 a 24 días de edad con un peso inicial de 42 a 50 gramos. Se trabajó con cuatro grupos, cada uno formado por ocho ratas. La fuente de proteína fue distinta para cada grupo, teniendo la siguiente distribución:

Grupo 1: harina de hoja de чая.

Grupo 2: harina de extracto de hoja de чая.

Grupo 3: harina de residuo del extracto de hoja de чая.

Grupo 4 (grupo control): leche descremada.

Tanto la harina de hoja de чая como la harina elaborada a partir del residuo fueron obtenidas al secar dichos productos en un deshidratador a temperaturas cercanas a los 85°C. Debido a que el extracto de hoja de чая era acuoso, se mezcló con almidón de maíz en una proporción de 1:5 (almidón de maíz: extracto) para favorecer el secado y obtener un producto de mejor consistencia. La proporción de almidón de maíz y extracto de чая utilizada para la mezcla se calculó de forma que el producto seco tuviera una concentración de 10% de proteína. La mezcla se realizó en una licuadora doméstica para asegurar que se llevara a cabo de forma homogénea. Posteriormente el extracto con almidón de maíz fue colocado en el deshidratador a la temperatura ya mencionada, con el fin de obtener la harina deseada.

Las dietas fueron elaboradas con el objetivo de que contuvieran un 10% de proteína. La cantidad de harina de hoja entera, extracto o residuo de hoja de чая utilizada en cada dieta se estableció con base en el contenido proteico de cada uno de estos productos. La cantidad de cada componente por 100 gramos de dieta se muestra en la Tabla 5.1.

El estudio se llevó a cabo durante 28 días a partir de los cuales se logró establecer el PER (índice de eficiencia proteica) y el IEA (Índice de eficiencia alimenticia). Se determinó el índice eficiencia proteica como el peso ganado por las ratas en función de la cantidad de proteína ingerida y el índice de eficiencia alimentaria como el peso ganado por las ratas en función de la cantidad de alimento ingerido.

Tabla 5.1: Dieta de fraccionamiento para el estudio biológico (g/100g).

	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Hoja	38	----	----
Extracto	----	90	----
Residuo	----	----	41
Minerales	4	4	4
Vitaminas	1	1	1
Aceite	5	5	5
Almidón de maíz	52	----	49

Los pesos tomados fueron: peso inicial de las ratas, peso de las ratas cada siete días, peso del alimento dado a las ratas cada siete días y peso del alimento ingerido por las ratas cada siete días. Se principió por administrar 100g de alimento a cada animal; la cantidad administrada en las siguientes semanas del estudio dependió de la cantidad de alimento ingerido por cada grupo a lo largo de la semana anterior. Los valores pueden observarse a detalle en la sección de anexos.

Con fines comparativos, se obtuvo un valor relativo de PER y un valor relativo de IEA utilizando el valor de la leche descremada como referencia. La operación consistió en dividir el valor PER de los diferentes productos de chaya evaluados dentro del valor PER de la leche descremada, y multiplicar esto por cien, para obtener un porcentaje. La misma operación se realizó para obtener el valor relativo de IEA.

B. Métodos de análisis

1. Análisis químicos

a. Determinación de proteínas

Método oficial de la AOAC No. 979.09. Proteína (cruda) en Cereales y Oleaginosas: Método de Kjeldahl. Se utilizó $N \times 6.25$ para la hoja fresca y los extractos de chaya. (AOAC. 2005)

b. Determinación de humedad

Método oficial de la AOAC No. 925.10. Sólidos (Totales) y Humedad en Harinas: Método de Horno de Convección. (AOAC. 2005)

c. Determinación de carbohidratos

Se determinó por diferencia.

d. Determinación de ácido cianhídrico

Método oficial de la AOAC No. 915.03. Ácido cianhídrico en frijoles: Método de titulación alcalina. (AOAC. 2005)

e. Determinación de Grasa

Método oficial de la AOAC No. 920.85. Grasa Cruda en Harina: Método de Extracción-Sumersión en Hexano/Soxtec/Randall. (AOAC. 2005)

f. Determinación de cenizas

Método oficial de la AOAC No. 923.03. Cenizas en Harina: Método directo. (AOAC. 2005)

VI. RESULTADOS

En la Tabla 6.1 y Tabla 6.2 se muestran los resultados de la composición proximal de la hoja de chaya selección estrella y selección redonda respectivamente; los datos se muestran en base húmeda. Para evaluar si la diferencia entre los valores obtenidos para ambas selecciones es significativa, se llevo a cabo una Prueba t de Student con $p < 0.05$. Los resultados de dicha prueba se muestran en la Tabla 6.3.

Para ambos casos, se muestra que el nivel de humedad es bajo (75-77%), en comparación con otras hojas comúnmente consumidas, como espinaca, acelga o lechuga, cuya humedad oscilan entre 90 y 96% (ver Tabla 2.1). Se encontró que la humedad de la selección estrella es significativamente menor que la de la selección redonda.

No existe una diferencia significativa entre el porcentaje de proteína y grasa de las dos selecciones evaluadas, pero sí entre los valores de cenizas y fibra cruda. Sin embargo, es evidente la superioridad de la chaya selección estrella sobre la selección redonda, debido a su mayor contenido de proteína (5.79% estrella; 4.83% redonda), grasa (1.62% estrella; 1.40% redonda) y fibra cruda (2.44% estrella; 2.25% redonda). Para las dos selecciones se encontraron valores similares de ácido cianhídrico, con una media de 0.05mg/g y desviación estándar de 0.01.

Se considera que para todos los análisis realizados se obtuvieron valores de desviación estándar bajos, y por ende, aceptables.

Tabla 6.1: Composición proximal en base húmeda de hojas frescas, selección estrella.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	D.E. ²
% Humedad	76.56	75.15	74.92	75.54	0.89
% Proteína	5.70	5.57	6.08	5.79	0.27
% Grasa	1.94	1.62	1.30	1.62	0.32
% Cenizas	2.46	2.51	2.38	2.45	0.07
% Fibra Cruda	2.46	2.41	2.46	2.44	0.03
% Carbohidratos ¹	13.35	15.15	15.32	14.60	1.09
mg HCN/g	0.04	0.05	0.04	0.04	0.01

¹ Valor obtenido por diferencia.

² Desviación Estándar.

Tabla 6.2: Composición proximal en base húmeda de hojas frescas, selección redonda.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	D.E. ²
% Humedad	77.09	77.72	76.74	77.18	0.50
% Proteínas	5.27	4.07	5.16	4.83	0.66
% Grasa	1.39	1.52	1.30	1.40	0.11
% Cenizas	2.56	2.74	2.79	2.69	0.12
% Fibra Cruda	2.19	2.32	2.26	2.25	0.06
% Carbohidratos ¹	13.67	13.95	14.01	13.89	0.17
mg HCN/g	0.05	0.05	0.06	0.06	0.01

¹ Valor obtenido por diferencia.

² Desviación Estándar.

Tabla 6.3: Resultados estadísticos¹ del análisis proximal y contenido de ácido cianhídrico de la hoja de chaya fresca.

Análisis	Diferencia significativa
Humedad	SÍ
Proteína	NO
Grasa	NO
Cenizas	SÍ
Fibra cruda	SÍ
HCN	NO

¹ Resultados de Prueba t de Student con $p < 0.05$.

En la Tabla 6.4 se presentan los rendimientos de peso para la obtención de extractos foliares para las dos selecciones trabajadas (estrella y redonda), y los dos métodos de extracción empleados (extractor y licuadora). Los datos hacen referencia a la cantidad de material obtenido, pero no a la cantidad de proteína extraída (porcentaje de proteína extraído en el extracto y porcentaje no extraído que permaneció en el residuo). Estos últimos datos se discuten posteriormente en el reporte (ver Tabla 6.12). Se realizó una Prueba t de Student con $p < 0.05$ para evaluar diferencias significativas entre los valores obtenidos (Tabla 6.5).

Otros valores reportados son el porcentaje de residuo y el porcentaje de pérdidas derivados del proceso. El último valor mencionado se refiere principalmente al material que queda en el equipo utilizado y no puede ser recuperado. El rendimiento en la obtención del extracto foliar empleando un extractor fue igual a 28.79% para la selección redonda y 27.49% para la estrella. Éste fue menor que el rendimiento obtenido al emplear una licuadora (35.60% redonda; 31.62% estrella), independientemente de la selección procesada. Sin embargo, las diferencias en rendimiento en cuanto a la cantidad de extracto obtenido entre los dos métodos utilizados no son significativas. En ambos métodos de extracción, se obtuvo un mayor rendimiento para la selección redonda, pero éste no supone una diferencia significativa con respecto a la selección estrella.

En el residuo obtenido se observa un resultado diferente, dado que se obtiene un porcentaje de residuo significativamente mayor al emplear el extractor (alrededor de 60%, en comparación a 37% para la licuadora). Esto se debe a que en la licuadora se da una mayor cantidad de pérdidas, siendo estas iguales a 25.30% para la selección redonda y 33.64% para la selección estrella, en comparación a 10.13% y 12.39% de pérdidas para estas variedades al utilizar un extractor. En este caso, las pérdidas reportadas al emplear la licuadora son significativamente mayores a las reportadas para el extractor.

Tabla 6.4: Rendimiento de peso de los extractos de hoja de chaya.

	Método	Selección	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio (%)	D.E ¹
EXTRAC	Extractor	Redonda	27.90	37.93	20.55	28.79	8.72
		Estrella	34.42	29.75	18.30	27.49	8.29
	Licuadora	Redonda	30.52	34.10	42.18	35.60	5.97
		Estrella	30.39	39.77	24.70	31.62	7.61
RESIDU	Extractor	Redonda	59.08	52.98	71.18	61.08	9.26
		Estrella	53.15	56.85	70.35	60.12	9.05
	Licuadora	Redonda	25.81	47.09	44.40	39.10	11.59
		Estrella	22.97	35.26	46.00	34.74	11.53
PÉRDID	Extractor	Redonda	13.03	9.10	8.27	10.13	2.539
		Estrella	12.43	13.40	11.35	12.39	1.026
	Licuadora	Redonda	43.68	18.81	13.42	25.30	16.14
		Estrella	46.64	24.97	29.30	33.64	11.47

¹ Desviación Estándar

Tabla 6.5: Resultados estadísticos¹ del rendimiento de peso en la obtención de extractos proteicos de hoja de chaya.

Comparación	Diferencia significativa		
	% Rendimiento Extracto	% Rendimiento Residuo	% Pérdidas
Estrella extractor – Estrella licuadora	NO	SÍ	NO
Redonda extractor – Redonda licuadora	NO	SÍ	SÍ
Estrella extractor – Redonda extractor	NO	NO	NO
Estrella licuadora – Redonda licuadora	NO	NO	NO

¹ Resultados de Prueba t de Student de una cola con $p < 0.05$.

En la Tabla 6.6 y Tabla 6.7 se muestra la composición proximal de los extractos foliares de selección estrella y redonda respectivamente. Se evaluó si habían diferencias significativas entre los valores usando una Prueba t de Student con $p < 0.05$. (Tabla 6.8).

La humedad de los extractos obtenidos por el método de extractor (78.12% estrella; 80.68% redonda) es significativamente menor a la de los extractos obtenidos al emplear el método de licuadora (96.75% estrella; 96.69% redonda). También se observa una diferencia significativa en el porcentaje de proteína, que es de 5.95% para la selección estrella y 4.95% para la redonda, en los extractos obtenidos con un extractor. Al utilizar licuadora, solo se obtuvo una concentración de proteína de 1.87% para la selección estrella y 1.68% para la redonda. Sin importar el método de extracción empleado, el contenido de proteína siempre fue mayor en el extracto de la selección estrella. Dicha diferencia fue significativa solo para el extracto obtenido con licuadora.

En cuanto a la grasa, no se presentaron diferencias significativas en los extractos sin importar la selección de chaya o método de extracción empleado, con excepción de la comparación entre el extracto de selección estrella obtenido por el método de extracción (0.4376%) y el obtenido por el método de licuadora (0.0171%). Para todos los casos el porcentaje de grasa estuvo por debajo del 1%.

En relación a las hojas de chaya frescas, el contenido de ácido cianhídrico de los extractos obtenidos permaneció relativamente igual. Se observó una diferencia significativa entre los valores del extracto obtenido por licuadora (0.03mg/g) y el obtenido por el extractor (0.08mg/g) para la variedad estrella, al igual que entre el extracto obtenido por extractor al comparar las dos variedades. Sin embargo, los valores de HCN permanecieron siempre menores a 0.1 mg/g para todas las muestras.

Tabla 6.6: Composición proximal en base húmeda del extracto de hoja de chaya obtenido por el método de extractor.

Variedad		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	D.E ¹
Estrella	% Humedad	78.41	78.13	77.82	78.12	0.29
	% Proteína	5.47	6.25	6.14	5.95	0.42
	% Grasa	0.45	0.43	-----	0.44	0.01
	mg HCN/g	0.13	0.06	0.06	0.08	0.04
Redonda	% Humedad	79.77	81.59	80.69	80.68	0.91
	% Proteína	4.32	4.90	5.63	4.95	0.66
	% Grasa	0.52	1.19	-----	0.85	0.48
	mg HCN/g	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01

¹ Desviación Estándar

Tabla 6.7: Composición proximal en base húmeda de extracto de hoja de chaya obtenido por el método de licuadora.

Variedad		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	D.E ¹
Estrella	% Humedad	96.31	96.95	96.97	96.75	0.45
	% Proteína	1.85	1.87	1.90	1.87	0.03
	% Grasa	0.01	0.02	-----	0.02	0.01
	mg HCN/g	0.02	0.04	0.04	0.03	0.01
Redonda	% Humedad	97.18	96.57	96.32	96.69	0.45
	% Proteína	1.78	1.69	1.56	1.68	0.11
	% Grasa	0.04	0.03	-----	0.04	0.01
	mg HCN/g	0.01	0.01	0	0.01	0.01

¹ Desviación Estándar

Tabla 6.8: Resultados estadísticos¹ del análisis proximal y contenido de ácido cianhídrico de los extractos de hoja de chaya.

Comparación	Diferencia significativa			
	% Humedad	% Proteína	% Grasa	% HCN
Estrella extractor – Estrella licuadora	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Redonda extractor – Redonda licuadora	SÍ	SÍ	NO	NO
Estrella extractor – Redonda extractor	SÍ	NO	NO	SÍ
Estrella licuadora – Redonda licuadora	NO	SÍ	NO	NO

¹ Resultados de Prueba t de Student con $p < 0.05$.

A continuación se muestra la composición proximal de los residuos obtenidos al realizar los extractos foliares de hoja de chaya. Las Tabla 6.9 y 6.10 muestran los resultados de la selección estrella y redonda. Se evaluó si había diferencias significativas entre los valores obtenidos usando una Prueba t de Student con $p < 0.05$. Los resultados se observan en la Tabla 6.11.

La humedad del residuo obtenido por el método de extractor (69.69% estrella; 72.00% redonda) es significativamente mayor a la del residuo obtenido por el método de licuadora (63.41% estrella; 66.47% redonda), para ambas selecciones evaluadas. Este resultado es contrario al obtenido para los extractos foliares.

En cuanto al contenido de proteína, los valores para los extractos obtenidos por el método de extractor (8.01% estrella; 7.22% redonda) son mayores que para los obtenidos al usar una licuadora (4.70% estrella; 4.70% redonda). Éste es constante para los valores en base seca, aun cuando la humedad de los residuos obtenidos por el método de extractor sea mayor. Al realizar una comparación entre selecciones de hoja, se observó que no hay una diferencia significativa entre el contenido de proteína de los residuos obtenidos por el método de extractor. No obstante, dicha diferencia sí se observa en los residuos obtenidos al emplear el método de licuadora. Los valores de contenido proteico para la variedad estrella fueron mayores en los dos métodos empleados, lo que corresponde a los resultados obtenidos en las hojas frescas y en el extracto.

En cuanto a la grasa, se observa que para la selección estrella el residuo obtenido por licuadora tiene un contenido significativamente mayor al del residuo obtenido por extractor, siendo los porcentajes de 3.88% y 2.83% respectivamente. Para la selección redonda se dio un resultado contrario. La diferencia entre el porcentaje de grasa de las selecciones evaluadas no es significativo, independientemente del método a través del cual se obtuvo el residuo.

Se considera que para todos los análisis realizados se obtuvieron valores de desviación estándar bajos, y por ende, aceptables.

Tabla 6.9: Composición proximal en base húmeda del residuo derivado al obtener los extractos de hoja de чая por el método de extractor.

Variedad		Muestra 1	Muestra 2	Promedio	D.E ¹
Estrella	% Humedad	69.47	69.91	69.69	0.31
	% Proteína	7.98	8.25	8.01	0.04
	% Grasa	2.90	2.75	2.83	0.10
Redonda	% Humedad	70.38	73.62	72.00	2.29
	% Proteína	7.65	6.78	7.22	0.62
	% Grasa	2.34	1.84	2.09	0.36

¹ Desviación Estándar

Tabla 6.10: Composición proximal en base húmeda del residuo derivado al obtener los extractos de hoja de чая por el método de licuadora.

Variedad		Muestra 1	Muestra 2	Promedio	D.E ¹
Estrella	% Humedad	62.90	63.93	63.41	0.73
	% Proteína	4.84	4.56	4.70	0.20
	% Grasa	3.79	3.96	3.88	0.12
Redonda	% Humedad	65.42	67.52	66.47	1.49
	% Proteína	4.17	3.94	4.06	0.17
	% Grasa	1.55	2.20	1.87	0.46

¹ Desviación Estándar

Tabla 6.11: Resultados estadísticos¹ del análisis proximal de los residuos de hoja de chaya.

Comparación	Diferencia significativa		
	% Humedad	% Proteína	% Grasa
Estrella extractor – Estrella licuadora	SÍ	SÍ	SÍ
Redonda extractor – Redonda licuadora	SÍ	SÍ	NO
Estrella extractor – Redonda extractor	NO	NO	NO
Estrella licuadora – Redonda licuadora	NO	SÍ	NO

¹ Resultados de Prueba t de Student con $p < 0.05$.

En la Tabla 6.12 se presenta el rendimiento de la extracción proteica realizada en la hoja de chaya. Este valor se refiere al porcentaje de proteína extraído en el extracto y al porcentaje no extraído que permaneció en el residuo. Además se presenta el porcentaje de proteína no recuperada que hace referencia a la proteína perdida en el proceso de extracción, debido principalmente a materia que queda en el equipo utilizado y su recuperación se imposibilita.

Respecto al porcentaje de proteína en base seca, los extractos obtenidos utilizando una licuadora (58.32% estrella; 50.67% redonda) presentaron valores considerablemente mayores a los presentados por los extractos obtenidos utilizando un extractor (27.18% estrella; 26.17% redonda). El contenido proteico en base seca del residuo es menor en los residuos derivados al utilizar una licuadora (14.04% estrella; 12.10% redonda) que en los residuos obtenidos al emplear un extractor (26.42% estrella; 25.78% redonda).

La principal desventaja que presenta el método de licuadora, independientemente de la selección evaluada, es que el porcentaje de proteína no recuperada es hasta dos o tres veces mayor que el presentado por el método de extractor. Para los extractos obtenidos utilizando un extractor este valor fue igual a 1.29% y 2.25% para las selecciones estrella y redonda respectivamente. En el caso de los extractos obtenidos por el método de licuadora, los porcentajes de proteína no recuperada correspondieron a

4.55% y 3.79% para las selecciones estrella y redonda respectivamente.

Para el porcentaje de proteína extraída, los valores en los extractos obtenidos por el método de licuadora son de más del doble de los obtenidos por el método de extractor. El mayor valor se encuentra en el extracto de variedad redonda (76.24%). Entre los extractos obtenidos utilizando un extractor se observa que el de variedad estrella (31.58%) presenta un porcentaje de proteína extraída mayor al de variedad redonda (31.20%). Se observa que el porcentaje de proteína no extraída es mayor para los extractos obtenidos utilizando un extractor (67.13% estrella; 66.55% redonda) que para los obtenidos utilizando una licuadora (20.59% estrella; 20.00% redonda).

Tabla 6.12: Rendimiento de la extracción de proteína en la obtención de extractos de hoja de чая.

Selección	Método	% Proteína hoja ¹	% Proteína Extracto ¹	% Proteína Extraída	% Proteína Residuo ¹	% Proteína No Extraído	% Proteína no recuperada
Estrella	Extractor	23.66	27.18	31.58	26.42	67.13	1.29
	Licuadora		58.32	74.87	14.02	20.59	4.55
Redonda	Extractor	21.19	25.64	31.20	25.78	66.55	2.25
	Licuadora		50.67	76.24	12.10	20.00	3.76

¹ Valores presentados en base seca.

Se llevó a cabo la determinación del punto isoeléctrico del extracto de hoja de чай variedad estrella, obtenido utilizando un extractor. En la Tabla 6.13 se presentan los porcentajes de humedad y proteína del sobrenadante y precipitado obtenidos al cambiar el pH del extracto en un rango de pH 2 a 5, con variaciones de una unidad. La humedad de los sobrenadantes y precipitados es inversamente proporcional a los valores de pH, lo cual se debió a que se utilizó mayor cantidad de HCl para llegar a pH menores. Debido a esto se reportó la proteína en base seca para una mejor comparación.

La cantidad de proteína a diversos pH puede ser observada en la tabla de resultados y en las Gráficas 6.1 y 6.2, para el sobrenadante y precipitado respectivamente. La Gráfica 6.1 muestra una tendencia decreciente en el contenido de proteína a medida que se reduce el pH del sobrenadante, con el punto más bajo en pH 3

(23.16%), seguido en orden ascendente por el valor a pH 4 (24.51%). En la Gráfica 6.2 también se observa una tendencia decreciente conforme se reduce el pH, con el valor máximo en pH 4 (68.35%), seguido en orden decreciente por el valor a pH 3 (66.97%).

Debido a los resultados obtenidos en el rango de pH de 2 a 5, se redujo el rango de prueba a pH 3.4 a 4.6, haciendo cambios de pH cada 0.2 unidades. Los resultados en la Tabla 6.14 muestran que los valores de humedad tienen una tendencia decreciente conforme aumentan los valores de pH. El sobrenadante a un pH 3.8 mostró el menor porcentaje de proteína (23.72%), y el precipitado a pH 4.0 el mayor (68.34%). Dichos resultados también son evidentes en las gráficas 6.3 y 6.4 para el sobrenadante y precipitado respectivamente.

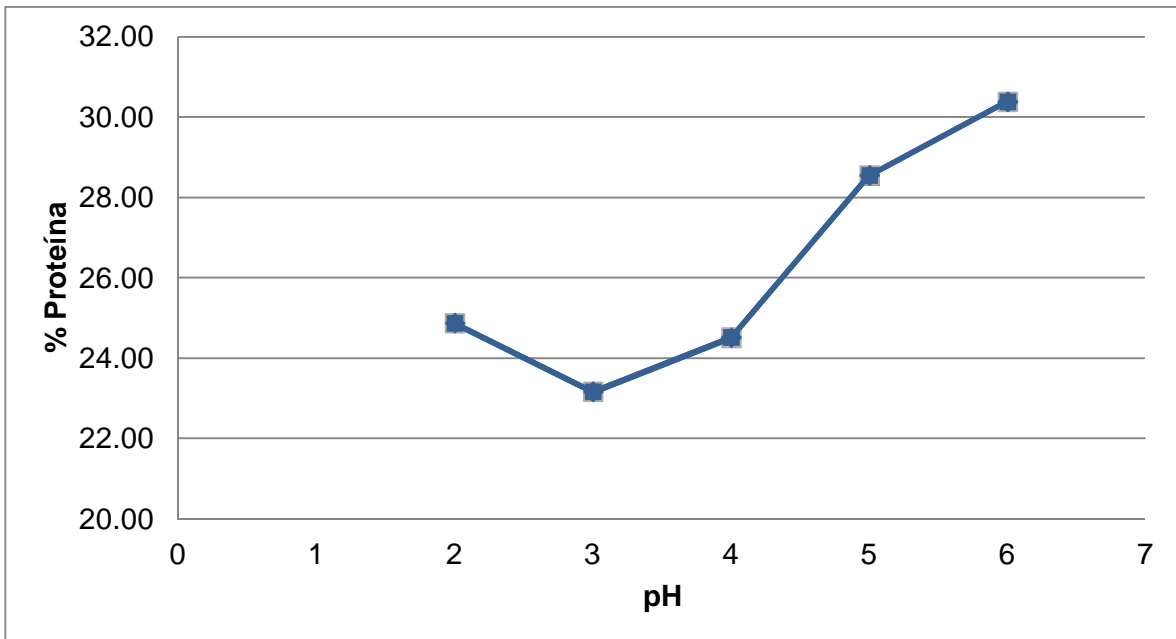
Tabla 6.13: Composición de sobrenadante y precipitado del extracto de hoja de chaya estrella en rango pH 2-5.

pH inicial	pH de evaluación	Sobrenadante		Precipitado	
		% Humedad	% Proteína (Base Seca)	% Humedad	% Proteína (Base Seca)
6.2	2	98.50	24.87	89.25	37.07
	3	97.37	23.16	87.14	66.97
	4	96.60	24.51	85.76	68.36
	5	96.02	28.55	85.62	26.41

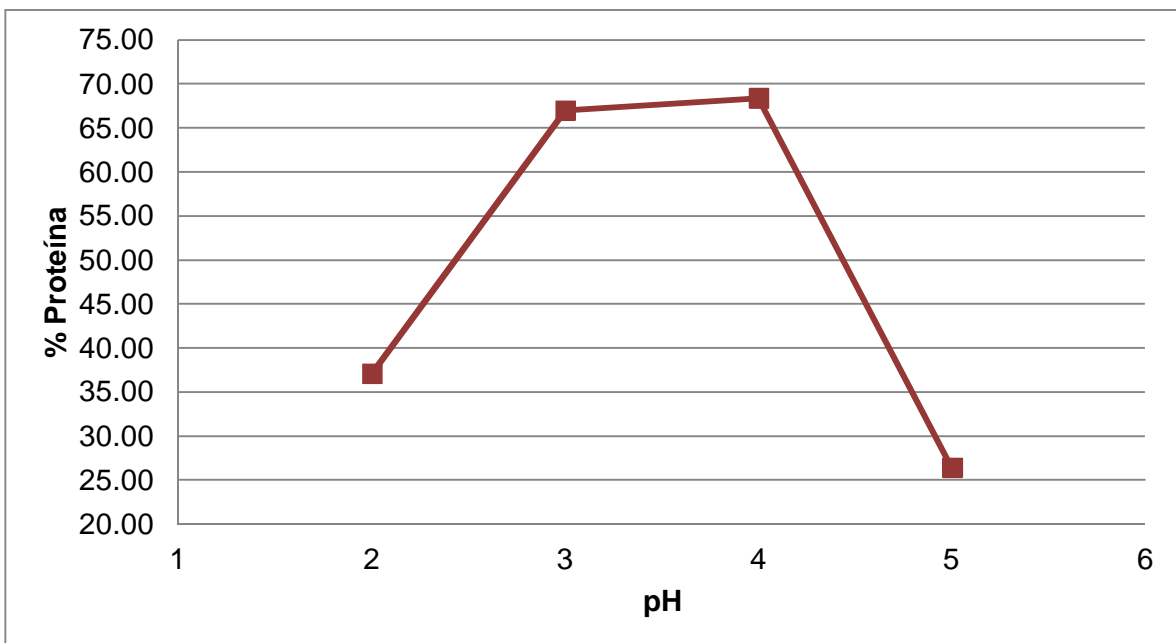
Tabla 6.14: Composición de sobrenadante y precipitado del extracto de hoja de chaya estrella en rango pH 3.4-4.6.

pH	Sobrenadante		Precipitado	
	% Humedad	% Proteína (Base Seca)	% Humedad	% Proteína (Base Seca)
3.4	97.06	25.00	85.81	42.07
3.6	96.78	24.89	85.79	42.31
3.8	96.45	23.72	85.77	53.33
4.0	96.60	24.51	85.76	68.34
4.2	96.01	24.86	85.76	55.92
4.4	95.96	27.08	85.74	46.18
4.6	96.26	29.78	85.72	35.35

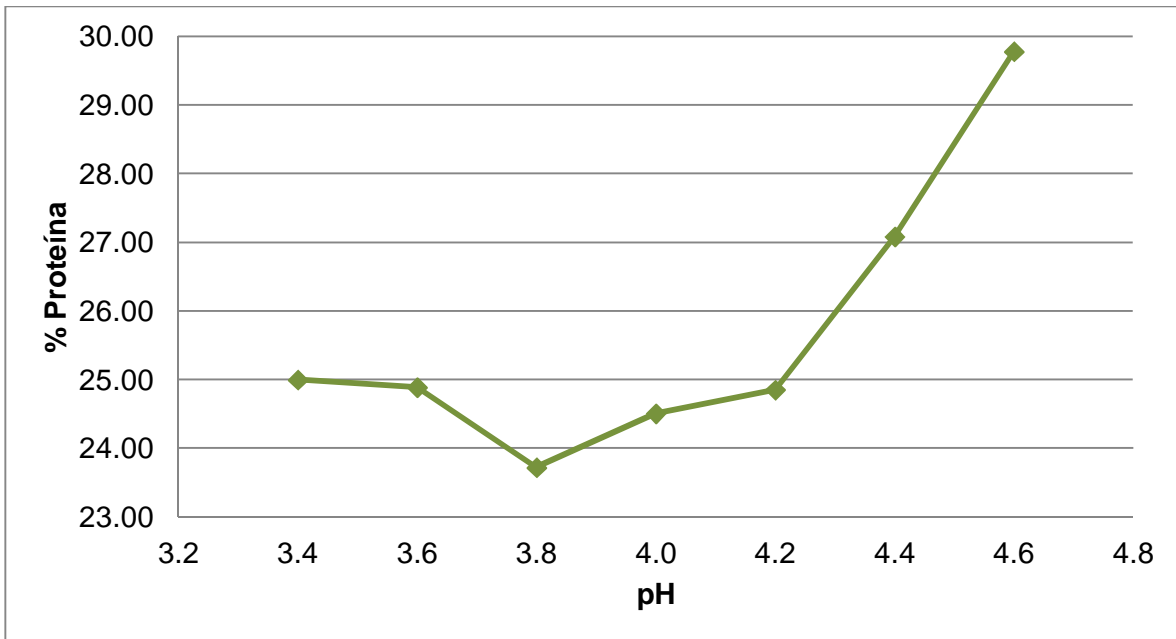
Gráfica 6.1: % Proteína de sobrenadante de extracto de chaya estrella en rango pH 2-6.



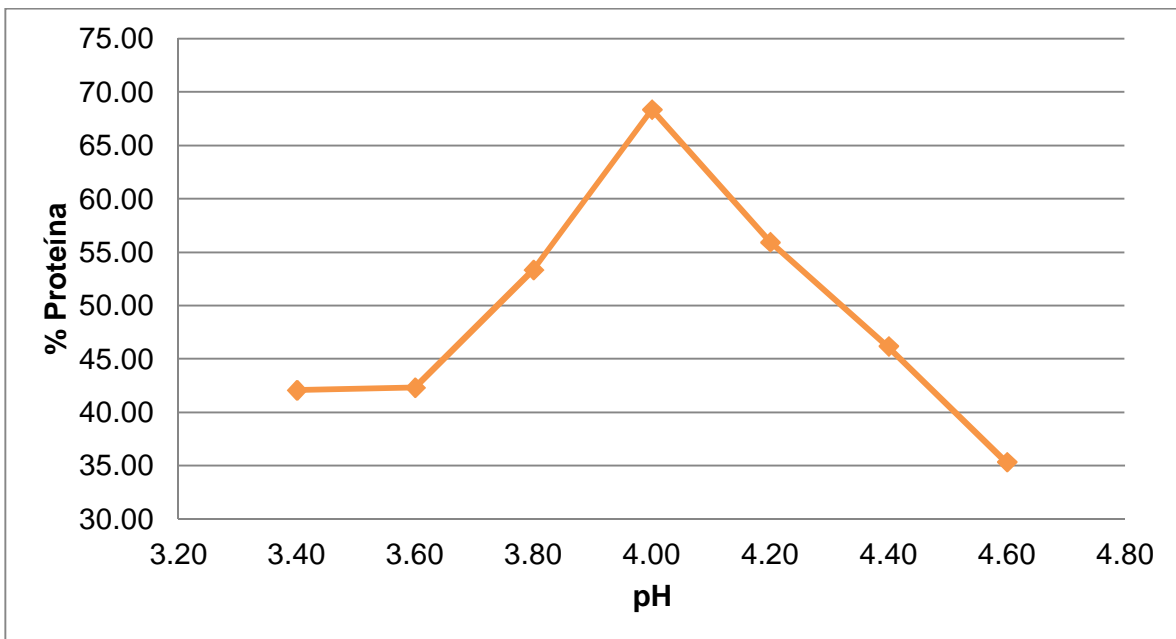
Gráfica 6.2: % Proteína de precipitado de extracto de chaya estrella en rango pH 2-5.



Gráfica 6.3: % Proteína de sobrenadante de extracto de chaya estrella en rango pH 3.4-4.6.



Gráfica 6.4: % Proteína de precipitado de extracto de chaya estrella en rango pH 3.4-4.6.



En la Tabla 6.15 se muestra el porcentaje de humedad y contenido de proteína del sobrenadante y precipitado obtenido al llevar a pH 4.0 el extracto de hoja de chaya variedad estrella obtenido utilizando un extractor. Con el objetivo de realizar un mejor proceso de precipitación de las proteínas y de obtener un precipitado de color claro, se realizó un lavado del mismo.

Del precipitado lavado, se observa que tiene una concentración de proteína en base seca de 67.64% y una humedad de 87.39%. Dichos valores son similares a los resultados obtenidos para el precipitado a pH 4.0 sin ser lavado, que se muestran en la Tabla 6.14. Así mismo, se observa que el sobrenadante obtenido del lavado tiene un contenido de proteína igual a 14.04% y una humedad de 98.17%. En este caso el contenido de proteína de dicho sobrenadante es menor que el valor mostrado en la Tabla 6.14. Además se observa que el porcentaje de precipitación fue elevado (96.83%).

Tabla 6.15: Composición de sobrenadante y precipitado del extracto de hoja de chaya estrella a un pH de 4.0, y porcentaje de precipitación.

	Sobrenadante		Precipitado	
	% Humedad	% Proteína (Base Seca)	% Humedad	% Proteína (Base Seca)
Promedio	98.17	14.04	87.39	67.64
D.E. ¹	0.10	1.34	0.24	1.56
% Precipitación		96.83		

¹ Desviación Estándar

A continuación se muestra el porcentaje de proteína en base seca y ácido cianhídrico en base húmeda presente en la materia prima utilizada para la elaboración de las dietas empleadas en el estudio biológico.

El valor de ácido cianhídrico presentado corresponde a muestras que recibieron un tratamiento térmico de cinco minutos a 95°C. Además se presenta el porcentaje de proteína en las dietas (elaboradas según lo indicado en la Tabla 5.1). Es importante resaltar que las dietas fueron modificadas en el inicio de la semana cuatro, debido a que el alimento preparado inicialmente escaseó. Debido a que la materia prima utilizada para estas dietas era diferente a la utilizada para elaborar las primeras, se obtuvo un contenido

proteico diferente que era necesario reportar.

Para el extracto empleado en ambas dietas se obtuvo un contenido de proteína de aproximadamente 2.70% en base húmeda. La hoja de chaya presentó valores de proteína de alrededor de 28.52% y el residuo de 26.48%. Debido a que la leche fue la materia prima utilizada en la dieta control, también se muestra el contenido de proteína en la misma, que fue igual a 12.58%. La dieta control no fue cambiada en la semana cuatro como sucedió con las dietas experimentales.

Como es evidente, los valores de contenido proteico de las dietas empleadas en las primeras tres semanas y las empleadas en la semana cuatro no variaron considerablemente. Por esto se considera que el cambio de dietas no tuvo ninguna injerencia en los resultados obtenidos en el estudio biológico.

Tabla 6.16: Composición de materia prima (M.P.) utilizada para la elaboración de dietas y contenido proteico de las dietas.

		Hoja	Extracto	Residuo	Leche
Dieta 1 Semana 1-3	% Proteína M.P.	26.38	2.60	24.07	----
	D.E. ²	0.51	0.36	0.51	----
	HCN (mg/g)	0.04	0	0.01	----
	D.E. ²	0.01	0	0	----
	% Proteína Dieta	11.24	9.52	11.35	12.58
	D.E. ²	0.04	0.50	0.06	
Dieta 2 Semana 4	% Proteína M.P.	30.65	2.83	28.88	----
	D.E. ²	0.05	0.43	0.42	----
	HCN (mg/g)	---- ¹	0	0.01	----
	D.E. ²		0	0	----
	% Proteína Dieta	10.77	9.72	10.39	12.58
	D.E. ²	0.15	0.25	0.73	

¹La materia prima en este caso fue provista directamente como harina de hoja de chaya, por lo que no se contó con la hoja fresca para realizar el análisis requerido.

²Desviación Estándar.

Nota: el contenido proteico de la hoja de chaya y del residuo se reportó en base seca, y el del extracto en base húmeda dado que de esa forma se emplearon para su incorporación en las dietas. El valor de HCN se presenta en base húmeda.

En la Tabla 6.17 se muestran diversos datos obtenidos a partir del estudio biológico realizado. Los datos reportados corresponden a la media de mediciones realizadas durante 28 días, cada 7 días en 8 ratas por grupo. Los valores de mayor relevancia son el índice de eficiencia alimenticia (IEA), el índice de eficiencia proteica (PER), el valor relativo IEA y el valor relativo PER. Este último es una comparación entre el valor PER de la dieta control y el valor PER de las dietas de los diferentes subproductos de la hoja de chaya. Lo mismo sucede con el valor relativo IEA. Para evaluar diferencias significativas entre los datos se realizó un análisis ANOVA con $\alpha = 0.05$ (Tabla 6.18).

Se observa que el peso inicial de las ratas empleadas para el estudio fue muy similar para todos los grupos evaluados, oscilando en un peso de 44 a 48 gramos. Por otro lado, el peso final de los animales y la cantidad de alimento consumida fue muy diferente para cada dieta evaluada. El mayor peso final, y por ende el mayor aumento de peso y la mayor cantidad de alimento consumida, se observó en las ratas alimentadas con la dieta de hoja de chaya entera. En orden decreciente le siguió el grupo que consumió la dieta que contenía el residuo y por último el de la dieta que contenía el extracto.

La dieta que contenía la hoja de chaya entera obtuvo tanto el mayor IEA (0.21) como el mayor PER (1.84). En orden decreciente le sigue la dieta que contenía el residuo y por última la que contenía el extracto, con valores de IEA iguales a 0.20 y 0.17 respectivamente. La diferencia entre los IEA de las dietas de subproductos de chaya no es significativa. Además, la diferencia entre el IEA de la dieta de leche (0.32) y el IEA de las dietas experimentales tampoco es significativa. Además se obtuvo un valor relativo de IEA que en promedio para las tres dietas fue de alrededor de 60%. No se presentó una diferencia significativa entre estos valores.

Contrario a lo observado con el IEA, el PER de la dieta que contenía extracto foliar (1.82) fue mayor al de la dieta que contenía residuo (1.79). De nuevo, las diferencias entre los PER de las dietas experimentales no son significativas y tampoco las diferencias entre el PER de dichas dietas y el PER de la dieta control (2.52). En cuanto al valor relativo PER, se observa que en promedio para las tres dietas el mismo fue de alrededor de 72%, y no hay una diferencia significativa entre estos.

Tabla 6.17: Valor IEA y valor PER obtenidos en el estudio biológico.

Dieta		Peso inicial (g)	Peso final (g)	Aumento peso (g)	Alimento consumido (g)	IEA ¹ (g/g alimento)	Valor relativo IEA ² (%)	PER ³ (g/g proteína)	Valor relativo PER (%) ⁴
Hoja Grupo 1	Promedio	47.75	129.75	82.00	418.50	0.21	64.06	1.84	72.92
	D.E. ⁵	3.11	13.30	11.45	33.57	0.10	29.15	0.83	33.04
Extracto Grupo 2	Promedio	48.00	101.00	53.00	307.88	0.17	54.69	1.82	72.14
	D.E. ⁵	3.03	6.82	4.99	22.84	0.01	4.03	0.12	4.79
Residuo Grupo 3	Promedio	48.25	122.75	74.50	379.25	0.20	62.50	1.79	71.29
	D.E. ⁵	1.98	14.11	12.87	33.39	0.02	6.75	0.12	6.09
Leche (control)	Promedio	44.75	165.50	120.75	399.00	0.32	----	2.52	----
	D.E. ⁵	1.49	20.91	19.51	30.42	0.11	----	0.11	----

¹ Índice de eficiencia alimenticia

² Índice de eficiencia proteica

³ Desviación Estándar.

⁴ Utilizando el PER de la leche como valor de referencia.

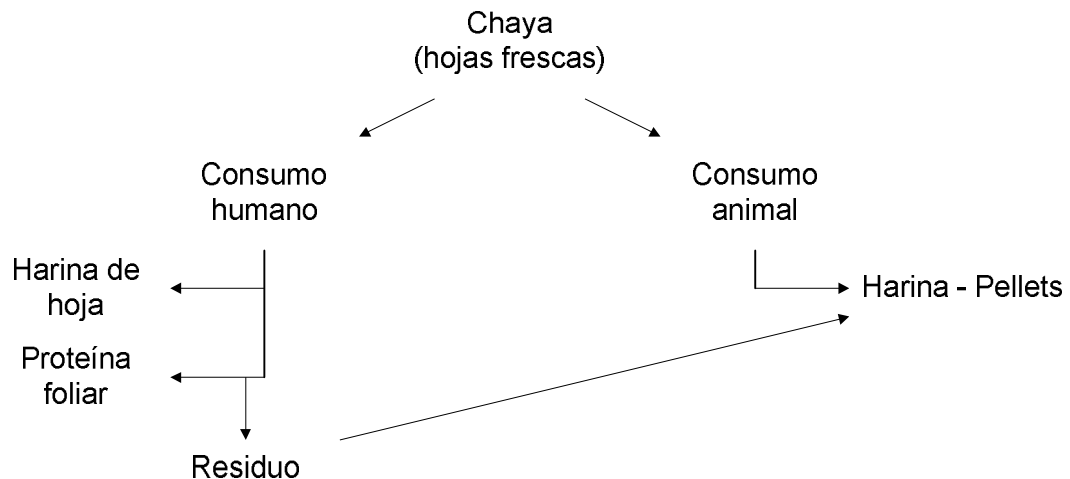
Tabla 6.18: Resultados estadísticos¹ de los datos del estudio biológico.

Dato	Diferencia Significativa
IEA	NO
Valor relativo IEA	NO
PER	NO
Valor relativo PER	NO

¹ Resultados de ANOVA con un $\alpha=0.05$.

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La chaya es una hoja que según la literatura ha sido consumida desde tiempos inmemorables. A pesar de su elevado valor nutricional y la facilidad de su cultivo y obtención, el consumo de chaya no es común en la actualidad, principalmente por su sabor metálico, textura fibrosa y desconocimiento de sus propiedades. La hoja puede fácilmente ser cultivada en suelo guatemalteco, y dado que se produce todo el año, podría aprovecharse como un alimento tanto para su consumo directo como para su comercialización. Debido a esto, surge la necesidad de aprovechar el producto en diferentes vías. Una de éstas supone la elaboración de una harina a partir de la hoja de chaya fresca, la cual pueda incorporarse fácilmente a otros alimentos. Otra opción es elaborar un extracto proteico que sirva para enriquecer otras matrices alimentarias, e incluso como materia prima para el desarrollo de productos funcionales. Del extracto proteico se deriva un residuo que puede ser empleado en la alimentación animal, como harina para la elaboración de pellets, con el objetivo de aprovechar un subproducto del proceso de extracción. El diagrama mostrado a continuación refleja los subproductos que pueden obtenerse de la hoja de chaya fresca. En éste se refleja el interés que un producto como la chaya puede tener para la industria, y las diferentes vías en que el producto puede ser explotado.



Como se muestra en el diagrama anterior la hoja fresca de chaya es la que da origen a los productos de interés, por lo que se inició por analizar dicha materia prima. En estudios realizados anteriormente sobre la hoja (Juárez, Flor. 2001) se encontró que el foliolo posee hasta tres veces más proteína respecto al pecíolo y el tallo apical. Por esto,

para el presente estudio, se decidió trabajar únicamente con la primera fracción. Existen cuatro selecciones domésticas de chaya, de las cuales se eligieron dos para ser evaluadas: estrella y redonda. A través de un análisis químico se determinó la composición de cada una de las selecciones. Los resultados de dicho análisis reflejan que la hoja de chaya posee una composición superior a la de otras hojas comestibles. Se considera que esto se debe principalmente a que la chaya tiene una humedad baja (75.54% y 77.18% para las variedades estrella y redonda respectivamente) en comparación con la humedad de hojas consumidas comúnmente como espinaca (90%), acelga (90%) y lechuga (96%), lo que aumenta la porción seca del vegetal y por ende su valor nutritivo. Dichos resultados proporcionaron una base para establecer a la chaya como una materia prima prometedora para la elaboración de extractos foliares con elevado contenido de proteína. En cuanto a este nutriente, se observa que para ambas selecciones de chaya se obtuvieron porcentajes de proteína del doble o triple de los porcentajes reportados en la Tabla 2.1 para otras hojas de consumo popular. Lo mismo ocurre para los valores de grasa y cenizas. Respecto a otras hojas comestibles, las hojas evaluadas presentaron contenidos de fibra crudos altos, siendo estos de 2.44% para la variedad estrella y 2.25% para la redonda. Esto hace que la hoja sea sensorialmente menos atractiva al consumidor en comparación a otras hojas consumidas comúnmente, debido a que da una textura indeseada. En general, los resultados obtenidos para la composición proximal de las hojas de chaya evaluadas están de acorde a lo reportado en estudios anteriores. (Ross, J. – Á. Molina. 2002)

A través de los resultados del análisis proximal de las dos selecciones de la hoja de chaya se hicieron evidentes algunas diferencias. La principal es que la hoja de selección estrella presentó un porcentaje de proteína mayor (5.79%) al de selección redonda (4.83%), con lo que se espera tener un extracto de mayor contenido proteico con la primera variedad. Además, la selección estrella también presentó un mayor contenido de grasa y fibra cruda. Para determinar si la diferencia entre las dos selecciones de hojas evaluadas era significativa, se realizó una prueba estadística, cuyos resultados se observan en la Tabla 6.3. Se observa que existe una diferencia significativa entre el contenido de humedad, cenizas y fibra cruda. La humedad de la variedad estrella es significativamente menor que la de la variedad redonda, lo que implica que el contenido de nutrientes es más elevado en la primera variedad mencionada. Sin embargo, no se observó una diferencia significativa en el contenido de proteína y grasa, pero efectivamente fue mayor en la variedad estrella. Un mayor contenido de cenizas indica un mayor contenido de minerales, lo cual es favorable para la selección estrella. En cuanto al

contenido de ácido cianhídrico, se observa en las tablas de resultados que se obtuvo un promedio similar para las dos variedades (0.04 y 0.06mg/g para la variedad estrella y redonda respectivamente). Este dato es considerablemente menor al reportado en otros estudios (0.27-0.42mg/g), lo cual es deseado dado que éste es un material tóxico. Esto se pudo deber a las condiciones de desarrollo de las hojas, el suelo donde fueron cultivadas o la manipulación de las muestras. Además, los valores de HCN encontrados son considerablemente menores al valor máximo permitido en alimentos por la FDA, igual a 20mg/100g (González-Laredo, R. *et al.* 2003). Esto indica que el producto es seguro para su consumo.

Dado que no existe una diferencia significativa en el contenido de proteína entre las dos selecciones evaluadas, se procedió a elaborar los extractos acuosos con ambas variedades. Para la obtención del extracto proteico foliar se realizó la comparación entre dos métodos que consistían en utilizar dos equipos diferentes, una licuadora y un extractor. La principal diferencia entre los métodos empleados es que la licuadora realiza un corte de la hoja y se obtiene un producto intermedio que debe ser filtrado con una manta para poder separar el extracto del residuo. Por otro lado, el extractor únicamente rasga la hoja y luego le aplica una fuerza de compresión, realizando un filtrado automático. En la Tabla 6.4 se muestra el rendimiento referente a la cantidad de material obtenido, pero no a la cantidad de proteína extraída (porcentaje de proteína extraído en el extracto y porcentaje de proteína no extraído que permaneció en el residuo). Estos últimos datos se discuten en etapas posteriores del reporte. La desviación estándar presentada por los datos de rendimiento de extracto y residuo es elevada, oscilando entre 5.97% y 11.59%. Los valores son elevados debido a que los resultados de rendimiento fueron obtenidos al elaborar extractos utilizando materia prima de diferentes recolecciones, comprendidas entre los meses de julio a octubre. Estos resultados demuestran que la hoja de chaya varía constantemente durante todo el año, y es difícil trabajar con una materia prima estándar, lo cual debe ser tomado en cuenta cuando se desee procesar el vegetal a gran escala. Se observa que la aplicación de una fuerza de corte por la licuadora proporcionó una mayor cantidad de extracto foliar. No obstante, como se muestra en la Tabla 6.5, la diferencia no es significativa con respecto al rendimiento obtenido con el extractor. Sin importar el método utilizado para la obtención del extracto, la variedad redonda mostró un mayor rendimiento; pero al igual que la anterior comparación, dicha diferencia no es significativa. Como se mencionó anteriormente, en comparación al contenido de fibra cruda de otras hojas consumidas popularmente (espinaca 0.7%, acelga 1.0% y lechuga 0.5%), la chaya posee un contenido elevado de

dicho componente (alrededor de 2.35%). Un elevado contenido de fibra no es deseado para la elaboración de extractos foliares, dado que es la parte que desea ser eliminada. Se considera que ésta es la principal razón por la que el rendimiento en cuanto a la cantidad de extracto obtenido no es mayor. En la composición proximal de las hojas de chaya, la selección redonda mostró una humedad significativamente mayor a la selección estrella. Esto pudo contribuir a que el rendimiento de la selección redonda fuera mayor, dado que se realiza una extracción acuosa.

En cuanto a la cantidad de residuo obtenido para cada caso, se observa que es significativamente mayor cuando se emplea un extractor (alrededor de 60% para ambas selecciones) que al utilizar una licuadora (alrededor de 37% para ambas selecciones). Esta desigualdad no se da porque el rendimiento en la obtención de extracto sea mayor al emplear la licuadora, sino porque las pérdidas al utilizar dicho método son mayores (dos o tres veces más) que al emplear un extractor. En cualquiera de los dos métodos empleados se va a tener pérdidas de producto que no pueden ser recuperados dado que el mismo queda en diversos apartados del equipo utilizado donde su recuperación se imposibilita. Sin embargo, es probable que las pérdidas se vean incrementadas al realizar una extracción con licuadora porque el producto obtenido se somete posteriormente a una filtración con manta para separar el extracto del residuo, lo que supone una operación de manipulación extra, en la que se está propenso a perder producto. Por otro lado el extractor realiza la separación del residuo automáticamente. A pesar que el residuo no es el producto de interés, es elemental recordar que el mismo puede ser utilizado para alimentación animal, por lo que también es importante que se obtenga el más alto rendimiento posible en su obtención, minimizando al máximo las pérdidas.

Al igual que con las hojas de chaya, se llevó a cabo el análisis proximal de los extractos y residuos obtenidos en el proceso de extracción. Los resultados para el extracto foliar obtenido por el método de extractor se muestran en la Tabla 6.6 y para el obtenido por el método de licuadora, en la Tabla 6.7. La humedad de los extractos obtenidos por el método de extractor es significativamente menor a la obtenida al emplear una licuadora. Esta diferencia se debe principalmente a que en el segundo método se debe agregar agua en una razón 2:1 (agua: hoja) para promover el corte de la hoja. Una mayor humedad provocó que la porción seca de hoja en los extractos fuera menor y por ende su valor nutricional disminuyera. Esto se ve reflejado en el contenido de proteína y grasa, que también es significativamente mayor en los extractos obtenidos al utilizar un extractor que los obtenidos al utilizar una licuadora. Estos resultados se dieron para

ambas selecciones. No obstante, es importante resaltar que en base seca, los extractos obtenidos por medio de licuadora poseen un porcentaje más elevado de nutrientes. Esto se debe probablemente a que el agua añadida y el hecho de que la estructura de la hoja es cortada, promueven la extracción acuosa de los nutrientes y una mejor separación de los carbohidratos que pueden estar encapsulándolos. El contenido de ácido cianhídrico de los extractos permaneció relativamente igual en comparación con el contenido en las hojas frescas. Únicamente para la variedad estrella se observó que el contenido de dicho tóxico era significativamente mayor en el extracto obtenido por extractor que en el obtenido por licuadora, lo cual se debió a la mayor humedad de la última muestra. Dichos resultados implican que el proceso de extracción, sin importar el método, no es una vía efectiva para la remoción de los glucósidos cianogénicos, y que es necesario aplicar calor para su eliminación.

Como se mencionó anteriormente, si se realiza una comparación en base seca del extracto, el método de licuadora presenta un mayor porcentaje de nutrientes. Sin embargo, en líquido, que es el estado en el que se obtiene el extracto, el obtenido por el método de extractor presentó un porcentaje significativamente mayor de nutrientes. Para prolongar la vida de anaquel del extracto y con el objetivo de incorporarlo con mayor facilidad a las matrices alimentarias, puede requerirse que sea secado. Dado que el extracto obtenido con licuadora tiene una humedad significativamente más elevada al obtenido con extractor, esto implica un mayor consumo de energía eléctrica y mayor tiempo de procesamiento para obtener el producto seco deseado. A una escala industrial, eso implica mayores costos de procesamiento, por lo que no es recomendable. Por otro lado, si el extracto quisiera usarse en su estado líquido, el obtenido por el método de extracción tendría una mayor concentración de nutrientes. Además, según se observa en la Tabla 6.3, el porcentaje de pérdidas del método de licuadora, que oscila entre 13.42% y 46.64%, es mayor al presentado en el método de extractor, que oscila entre 8.27-13.40%. Las pérdidas de producto se dan principalmente en el residuo, lo cual se denota al observar que la cantidad de residuo obtenida por el método de extractor es significativamente mayor a la obtenida en el método de licuadora. El residuo no es el producto de mayor interés, pero como ya se ha mencionado, supone una ventaja como un subproducto para su uso en alimentación animal, por lo que es importante procurar obtener la mayor cantidad posible. Una última desventaja que presenta el método de licuadora, es que el extracto debe ser pasado a través de una manta para lograr la separación del producto deseado y el residuo, lo que implica más tiempo de procesamiento y más trabajo. Sin embargo, antes de seleccionar el mejor método de

extracción era imperativo evaluar el rendimiento en la extracción de la proteína para ambos casos. Los resultados se discuten posteriormente.

Debido a los posibles usos que se le puede dar, el análisis de los residuos obtenidos también fue llevado a cabo. En cuanto a la obtención de extractos, se determinó que los obtenidos por el método de extractor presentaban una mejor opción. Aun cuando la humedad de los residuos obtenidos por dicho método es significativamente mayor, su contenido de proteína en base seca o húmeda también lo es. Estos resultados son independientemente de la variedad seleccionada. Como se mencionó en el inicio de dicha sección, el producto dirigido a animales podría utilizarse como harina que podría ser empleada en la elaboración de pellets. Debido que para obtener dichos productos el residuo requeriría un proceso de secado, la humedad más elevada del residuo obtenido por medio del extractor es una desventaja respecto al residuo que se obtiene como subproducto por el método de licuadora. Sin embargo, el mayor contenido proteico en base seca del residuo obtenido al emplear un extractor lo hace más atractivo para su empleo en la industria. La humedad, proteína y grasa de los residuos de las dos variedades obtenidos en el extractor no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, la variedad estrella presentó una menor humedad y mayor contenido de proteínas y grasa, por lo que representa una mejor opción.

En cuanto al contenido de grasa tanto de los extractos como de los residuos, se observa que es considerablemente menor en los primeros. Para el caso de los extractos los valores de porcentaje de grasa no sobrepasan el 1%, mientras que para los residuos el contenido se encuentra en un rango de 2-4%. Este resultado era esperado dado que al ser los extractos acuosos, se esperaría que el contenido de grasa en los mismos fuera mínimo. Por ende, se conoce que los extractos proteicos foliares no aportarán una cantidad significativa de grasa a la matriz a la que sean incorporados, sino constituirán principalmente una fuente de proteína. Por otro lado, el residuo puede aportar cantidades valoradas de grasa en la dieta en la que sean agregados.

En la Tabla 6.12 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el proceso de extracción realizado, mostrando el rendimiento de la extracción proteica. Este rendimiento se refiere al porcentaje de proteína extraído en el extracto; además se presenta el porcentaje de proteína que no se extrajo y permaneció en el residuo, así como el porcentaje de proteína no recuperada. Este último valor se refiere a la proteína perdida en el proceso de extracción, principalmente porque el material quedó en diversas

secciones del equipo utilizado en el proceso. En el caso del empleo de una licuadora, también se refiere al material que se perdió al hacer el filtrado con manta, requerido para la obtención del producto final.

Es importante resaltar que, como ya se había mencionado anteriormente, el contenido proteico en base húmeda de los extractos foliares obtenidos por el método del extractor es significativamente mayor al de los extractos obtenidos por el método de licuadora. No obstante, tal como lo refleja la Tabla 6.12, lo contrario sucede cuando se evalúan los valores en base seca. Debido a esto el porcentaje de proteína extraída fue significativamente mayor en los extractos obtenidos a través del método de licuadora. Esta diferencia se dio principalmente porque la licuadora realiza un corte de la hoja con lo que reduce su tamaño y aumenta el área superficial expuesta de la que se puede obtener proteína. Además, debido a que en este método se agrega agua, la extracción se ve favorecida. A diferencia, en el método de extractor no se agrega agua, por lo que se utiliza solo la humedad de la hoja para promover la extracción. Aunado a esto, en extractor no realiza un corte de la hoja, sino únicamente la rasga para promover la extracción, por lo que el área superficial expuesta es menor que en el caso de la licuadora.

Debido a que el porcentaje de proteína extraída por el empleo de una licuadora fue casi del doble al porcentaje extraído al utilizar un extractor, es incuestionable que el método de licuadora es el más efectivo para la obtención de extractos de la hoja de chaya. Sin embargo, al tomar en cuenta otros aspectos la conclusión cambia. Como se mencionó con anterioridad, los extractos obtenidos a través del método de licuadora tiene una humedad considerablemente mayor a la de los extractos obtenidos por al usar un extractor, el proceso de obtención de los extractos es más laborioso, lo que implica más tiempo y manipulación del producto. Además, en el cuadro de resumen presentado se refleja que el porcentaje de proteína no recuperada es del doble o triple que los valores presentados al emplear el método de extractor. La desventaja de manejar porcentajes elevados de proteína no recuperada es que a nivel industrial esto representa pérdidas monetarias al no poder aprovechar la totalidad de la materia prima. Por esto se considera que, el método de licuadora es más efectivo para la elaboración de extractos de hoja de chaya pero implica muchas desventajas que pueden dificultar su realización, principalmente a nivel industrial. Para proseguir a la fase del estudio biológico de dicha investigación se concluyó que el método de extractor era el que mejor se acomodaba a las condiciones con las que se contaba. Las principales limitantes para no utilizar ninguno de los extractos obtenidos por medio de licuadora fueron que la capacidad del

deshidratador empleado para obtener las harinas de los productos era limitada, principalmente porque se debía obtener una cantidad elevada de producto seco para hacer las dietas y porque el secado hubiera requería de tiempos muy prolongados, tomando en cuenta la elevada humedad del producto. Además, debido a que se necesitaba procesar una cantidad elevada de material, el hecho de que el método fuera considerablemente más laborioso también representó una desventaja.

Se considera que una de las vías para reducir las pérdidas en el método de licuadora es realizar la filtración de forma automática, a través de una prensa móvil. Se considera que al realizar el procedimiento con una máquina se reducirían sustancialmente las pérdidas que se producen por causa de un filtrado manual. Sin embargo, es importante evaluar la implementación de dicho método a nivel industrial, dado que en la actualidad los extractos foliares son usualmente obtenidos utilizando extractores o prensas industriales, mas no se reporta frecuente el uso de licuadoras industriales para dicho fin.

Al evaluar los porcentajes de proteína extraída al emplear el método del extractor, se observó que los valores fueron similares para la variedad estrella (31.58%) y redonda (31.20%), pero mayor para la primera. Además, la variedad estrella presentó el menor porcentaje de proteína no recuperada (1.29% en comparación a 2.25% para la variedad redonda), lo que tuvo como consecuencia que se obtuviera el residuo de mayor contenido proteico también. Como se mencionó anteriormente, el método de extractor fue el elegido para realizar los extractos. Debido a que el extracto de variedad estrella obtenido por extractor fue el que presentó mayor porcentaje de proteína extraída y mayor contenido proteico en materia seca, dicha variedad fue la elegida para ser empleada en el estudio biológico.

Para caracterizar de forma más amplia los extractos obtenidos, se procedió a determinar su punto isoeléctrico. En la sección de resultados de dicho estudio solo se presentan los resultados obtenidos para el extracto de selección estrella obtenido por el método de extractor, dado que fue éste el que se eligió para proseguir con el estudio biológico. Sin embargo, la evaluación del punto isoeléctrico fue llevada a cabo para los cuatro extractos obtenidos, y todos mostraron un comportamiento similar al reportado. Según se observa en la Gráfica 6.1, el sobrenadante con menor contenido proteico estuvo entre pH 3 y 4; en la Gráfica 6.2 se observa que el precipitado con mayor contenido proteico también se encontró en este rango. Por esto, se decidió reducir el rango de

prueba a pH 3.4 a 4.6. De esta forma se encontró que el punto isoeléctrico se encuentra en un rango de pH de 3.8 a 4.0, debido que fue dentro de estos valores que se obtuvo el mayor contenido proteico en el precipitado y el menor contenido proteico en el sobrenadante. La determinación del punto isoeléctrico es de suma importancia ya que permite tener una mejor idea de las matrices alimentarias en las que se podría emplear el extracto líquido de forma efectiva. El extracto en forma líquida podría ser agregado a bebidas de frutas, sopas, salsas o similares. Dichos productos suelen tener un pH entre 2.5 a 3.8 (Denyer, S.; N. Hodges y S. Gorman. 2005), por lo que el uso del extracto sería adecuado, especialmente en aquellos de menor pH, para evitar que la proteína precipite y el producto adquiera características indeseables. Uno de los principales retos para el empleo del extracto es que el mismo posee un color verde fuerte, que difícilmente puede ser enmascarado. Esto supone la necesidad de encontrar nuevas vías para incorporar el producto en los alimentos. Una vía es la precipitación de las proteínas llevando el extracto al punto isoeléctrico, con el fin de obtener un producto altamente concentrado que deba usarse en cantidades pequeñas. El precipitado que se obtiene a un pH 4 es igualmente de color verde fuerte y con el objetivo de blanquearlo, se realizó un lavado que consistió en solubilizar las proteínas precipitadas y volverlas a precipitar. A pesar del lavado el extracto aun mostró un color muy similar al color inicial. No obstante, se obtuvo un producto con un valor proteico elevado (67.64%), que podría ser fácilmente incorporado como un enriquecedor en otros alimentos si es secado y se utiliza en forma de harina. Podría incorporarse en pastas, premezclas para tortillas, cereales y otros productos secos. Además, es importante resaltar que el porcentaje de precipitación de proteínas fue de 96.83%, que es un porcentaje elevado, lo que refleja que el proceso de precipitación fue eficiente y puede llegar a ser efectivo para su uso en la industria.

En la segunda fase del trabajo se llevó a cabo un estudio biológico en el que se evaluaron tres dietas cuya fuente de proteína era la hoja de chaya entera, el extracto foliar y el residuo obtenido en el proceso de extracción. Como se mostró en el diagrama presentado al inicio de dicha sección, de la hoja de chaya pueden obtenerse diversos subproductos, por lo que se consideró importante evaluar las tres materias primas con las que se contaba. Cada una de éstas se volvió harina para poder ser incorporada en distintos porcentajes a dietas con un contenido de proteína de alrededor de 10%.

Como se comentó con anterioridad, la composición de la hoja de chaya varía con el tiempo. Por esto, se hizo necesario evaluar el contenido de proteína y ácido cianhídrico de la materia prima que se iba a utilizar en las dietas del estudio biológico, con el objetivo

de tener certeza de su composición. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.16. Debido a que el alimento escaseó en la semana 3, se hizo necesario elaborar nuevas dietas, cuya materia prima también tuvo que ser evaluada. Para el extracto empleado en ambas dietas se obtuvo un contenido de proteína de aproximadamente 2.70% en base húmeda. El contenido proteico de la leche es de aproximadamente 3%, lo que hizo evidente que el extracto podría ser una fuente efectiva de proteína. La hoja de chaya presentó valores de proteína de alrededor de 28.52% y el residuo de 26.48%. Se considera que debido a que los valores de contenido de proteína de las dietas empleadas en las primeras tres semanas y los valores de las dietas empleadas en la semana cuatro son muy similares, que el cambio de dieta no perjudicó el estudio y no tuvo injerencia en los resultados obtenidos.

Las hojas utilizadas para la elaboración del extracto y las empleadas en las dietas fueron sometidas a un proceso térmico a 95°C en agua durante 5 minutos. Los valores de ácido cianhídrico de la hoja de chaya se vieron reducidos en comparación a los valores observados en la hoja que no fue sometida a un tratamiento térmico (Tabla 6.1). Por ende, el contenido de dicho tóxico en el residuo y extracto fue muy bajo, siendo igual a cero para éste último. En un estudio realizado por González-Laredo (González-Laredo, R. *et al.* 2003) se estableció que un tratamiento de cinco minutos en agua hirviendo era suficiente para eliminar cualquier residuo de dicho tóxico. Sin embargo, no se obtuvieron valores nulos en el contenido de ácido cianhídrico en la hoja fresca al someterla a un tratamiento de 5 minutos por lo que se considera que uno más prolongado es requerido para la eliminación total del tóxico. Luisa Curley (Curley, L. 1996) sugiere tratamientos de 15 a 20 minutos para asegurar que cualquier residuo de glucósidos cianogénicos es eliminado.

Los resultados del estudio biológico se reportan en la Tabla 6.17. Se observa que las ratas de los grupos con dietas experimentales iniciaron con un peso de 48 gramos aproximadamente. Como se estableció anteriormente, la dieta que contenía hoja de chaya entera (Grupo 1) y la que contenía residuo de chaya (Grupo 3) tenían un porcentaje de proteína mayor a la dieta que contenía extracto (Grupo 2). Los grupos que consumieron las dos primeras dietas mencionadas mostraron como consecuencia el mayor aumento de peso, siendo mayor para el Grupo 1. No obstante, el consumo de alimento también fue mayor para el Grupo 1 y 3 que para el Grupo 2, por lo que era de esperar el mayor aumento de peso.

Los PER obtenidos para la dieta de hoja de chaya entera, extracto y residuo fueron de 1.84, 1.82 y 1.79 respectivamente. Al realizar una evaluación general se considera que la calidad de la proteína tanto de la hoja de chaya como del extracto y el residuo es buena, principalmente porque fue suficiente para cubrir los requerimientos para el mantenimiento del peso corporal de los animales pero también permitió que este fuera aumentando. En el caso contrario, se hubiera observado una disminución en el peso de las ratas conforme transcurría el estudio. Al llevar a cabo una comparación entre los índices de eficiencia proteica de los diferentes grupos, se observa que el Grupo 1 presentó el mayor valor, seguido del Grupo 2 y por último el 3. Sin embargo, las diferencias no fueron significativas. Se observa que la desviación estándar en el PER de la dieta que contenía hoja de chaya es elevada. El PER de dicho grupo fue decreciendo durante las cuatro semanas del estudio, iniciando con un valor de 2.76 en la primera semana y terminando con un valor de 0.90 en la semana cuatro. Esto implica que al inicio del estudio las ratas estaban ganando mucho peso con el alimento que ingerían, mientras que en las últimas semanas, seguían comiendo, pero el aumento en peso era menor. Se considera que dicho comportamiento se dio debido a que estas ratas ya estaban alcanzando el máximo de desarrollo y a que los requerimientos de mantenimiento incrementan conforme hay un incremento en la edad. A diferencia de este grupo, los PER de las ratas que consumieron las dietas con extracto y residuo se mantuvieron muy similares durante todo el estudio.

A pesar de tener un contenido proteico muy similar al de la dieta que contenía hoja de chaya, las ratas que consumieron la dieta con residuo no mostraron un aumento de peso tan elevado, lo cual se refleja en el hecho de que tiene el menor valor PER de los tres grupos. Esto implica que la proteína de dicho material no está tan disponible como en el caso de la hoja de chaya o el extracto, lo cual se puede deber principalmente a que tiene una elevada concentración de fibra. Por otro lado, a pesar de tener el menor contenido proteico, las ratas que ingirieron la dieta que contenía el extracto presentaron un valor PER superior al presentado por el Grupo 3 y muy cercano al del Grupo 1. Esto implica que la proteína estaba más disponible para su utilización, lo cual se debe a que en la extracción se realizó una concentración de la proteína, y se eliminaron los carbohidratos y otros compuestos que pudieron haber inhibido el uso de la misma.

Se obtuvo un índice de eficiencia proteica relativo, a través de la comparación del PER de las dietas que contenían productos de la hoja de chaya y la dieta que contenía leche como referencia. Se observa que los valores obtenidos fueron de alrededor de 72%

para las dietas de chaya evaluadas, siendo mayor para el Grupo 1. Debido a que el grupo control fue leche, se considera que dicho valor es elevado, tomando en cuenta que se trata de una proteína vegetal. Se considera por ende una fuente de proteína valiosa, no solo por su disponibilidad sino también por su bajo costo.

Con el fin de realizar una calificación de las calorías de las dietas se obtuvo el índice de eficiencia alimenticia. Se observa que el grupo que consumió la dieta que contenía la hoja de chaya entera mostró el IEA más elevado, seguido por el grupo que consumió la dieta con residuo y por último el que ingirió la dieta con extracto. Sin embargo, no hubo una diferencia significativa entre los valores presentados. Esto denota que las tres dietas proporcionan un contenido calórico similar. Es probable que el IEA presentado por el Grupo 3 sea mayor al del Grupo 2 debido a que tenía un mayor contenido de carbohidratos, lo que favoreció el contenido calórico y el aumento de peso de las ratas por gramo de alimento consumido. Sin embargo, dado que el PER del Grupo 3 es menor al del Grupo 2, se puede decir que este tenía una mayor proporción de calorías vacías, dado que aportan para un mayor aumento en peso pero no aportan proteína.

Se obtuvo un índice de eficiencia alimenticia relativo, a través de la comparación del IEA de las dietas que contenían productos de la hoja de chaya y la dieta que contenía leche como referencia. Se observa que los valores son de aproximadamente 60%, lo que significa que el contenido calórico de las dietas que contiene chaya es relativamente bajo en comparación del contenido calórico de la leche.

Cualquier factor que tienda a modificar la disponibilidad de la energía puede influenciar la utilización de la proteína en la dieta. Debido a que el PER del grupo con la dieta de la hoja de chaya entera fue muy similar al presentado por el extracto y el residuo, se considera que el tratamiento de extracción no influyó significativamente la forma en que la proteína fue utilizada por las ratas. Por esto se considera que la hoja de chaya entera, en comparación con el extracto y el residuo, es probablemente el mejor producto que puede utilizarse. Esto debido principalmente a que el PER del grupo alimentado con la dieta que contenía hoja de chaya fue mayor al presentado por el extracto, y debido a que la obtención de una harina de la hoja de chaya no requiere de la inversión en tiempo y energía que implica la elaboración de un extracto. Sin embargo, se considera que el extracto de la hoja de chaya tiene un gran potencial como ingrediente para el enriquecimiento de otras matrices alimenticias, principalmente porque desde el punto de vista sensorial con el extracto se elimina la textura fibrosa que puede perjudicar las

características de un producto y reducir su aceptabilidad. Además, se considera que el concentrado que se obtiene al precipitar las proteínas en su punto isoeléctrico es muy prometedor para su uso en la industria debido a que posee un elevado contenido proteico (alrededor de 67%). Dado que se encuentra libre de fibra se considera que la absorción y utilización de dicha proteína puede ser buena. Sin embargo, se requieren mayores estudios para establecer la calidad de dicho precipitado y para determinar cómo se comporta ya incorporado a una matriz alimenticia.

Se considera que la calidad de la proteína del extracto pudo haberse perjudicado en el proceso de secado debido a que se sometió a procesos de calor a temperaturas relativamente elevadas (85°C) por periodos de tiempo de hasta doce horas. Esto pudo causar un pardeamiento no enzimático que produjera una pérdida en el valor nutricional del extracto dado que reduce la disponibilidad de ciertos aminoácidos. A diferencia del extracto, la hoja de chaya y el residuo no tenían una consistencia líquida y por ende su porcentaje de humedad era considerablemente menor. Debido a esto el tratamiento térmico al que fueron sometidos para la obtención de harinas fue de casi la mitad del tiempo del tratamiento requerido para el extracto. Esto redujo la agresividad del tratamiento y por ende causó menos daños a las proteínas presentes. Otro factor que es importante tomar en cuenta es que el extracto foliar puede contener aminoácidos, limitantes como lisina, que pudieron también haber afectando el desempeño mostrado por el concentrado foliar en el estudio biológico.

Como se describió anteriormente, el contenido de HCN de la hoja de chaya y el residuo empleados en la elaboración de las dietas no era nulo, pero sí se encontraba muy por debajo de los valores establecidos como máximos por la FDA, por lo que se consideró que su uso era seguro. A través del estudio biológico, se comprobó el contenido de HCN no era dañino, dado que no se observó ninguna reacción adversa en las ratas por el consumo de las dietas que contenían hoja entera y residuo de chaya.

Al obtener una harina se considera que uno de los productos potenciales que podría elaborarse con la chaya es una sopa o crema. Bajo el supuesto de que una ración de crema equivale a 250mL y que la misma contendrá de 30 a 40% de chaya, puede lograrse que en dicha ración se consuman 26 gramos de proteína. Debido a que el PER de la hoja de chaya entera es elevado, en relación al valor mostrado por la leche, se consideraría que una comida como la crema descrita podría suponer una buena fuente de proteína de bajo costo, que pueda sustituir la ingesta de productos animales que muchas

veces se ve limitada o se imposibilita en familias de bajos ingresos monetarios. Debido a que la harina de hoja de chaya aun contendría un porcentaje elevado de carbohidratos, se debería hacer una evaluación sensorial para establecer la textura que aportaría a una crema. Si a través de un estudio sensorial se determinara que la textura no es aceptable o difiere considerablemente de la textura obtenida en las cremas consumidas comúnmente, el empleo del extracto proteico, en el que la mayor parte de fibra ha sido eliminada, tendría más valor dado que aportaría características sensoriales más aceptables. Se considera que tanto la hoja entera como el extracto proteico de chaya tienen usos potenciales, pero será únicamente a través de su introducción a matrices alimenticias y por medio de la evaluación sensorial de los productos resultantes que las verdaderas aplicaciones de dichas materias primas podrán ser establecidas. El objetivo principal es lograr que la incorporación de la hoja o alguno de los subproductos sea exitosa en productos que son consumidos diariamente, por lo que más estudios deben ser llevados a cabo como extensión del presente para que esto sea una realidad.

VIII. CONCLUSIONES

1. Existen diferencias en la composición química de la selección estrella y selección redonda, pero éstas no son significativas. No obstante, los porcentajes de nutrientes en la selección estrella fueron mayores.
2. El contenido de ácido cianhídrico de las hojas de chaya de las variedades evaluadas fue considerablemente menor al reportado por otros estudios y menor al contenido máximo permitido por la FDA en un alimento.
3. El contenido de ácido cianhídrico de las hojas frescas y extractos proteicos fue muy similar, lo cual indica que el proceso de extracción, independientemente del método empleado, no es una vía efectiva para la eliminación de glucósidos cianogénicos.
4. Las diferencias en la composición de los extractos de hoja de chaya de variedades estrella y redonda no son significativas. No obstante, los porcentajes de proteína en el extracto de la selección estrella fueron mayores, independientemente del método de extracción empleado.
5. En el rendimiento referente a la cantidad de extracto obtenido en el proceso, no existen diferencias significativas entre el método de licuadora y el de extractor.
6. En el rendimiento referente al porcentaje de proteína extraída durante el proceso, se observaron porcentajes significativamente mayores al utilizar el método de licuadora, lo que indica su mayor eficiencia en la extracción. Sin embargo, se considera que su implementación representa complicaciones, como extractos con humedad muy elevada y procesos de trabajo laboriosos que requieren mucho tiempo, que a nivel industrial tendrían implicaciones económicas. Debido a la capacidad de equipo de proceso y a las cantidades que debían ser procesadas, para dicho estudio se seleccionó al método de extractor como el mejor.
7. De los extractos obtenidos por el método de extractor, el de selección estrella mostró un mayor contenido proteico y un mayor porcentaje de proteína extraída. Por esto se estableció que la variedad estrella es la predilecta para la elaboración de extractos proteicos de la hoja de chaya.
8. El residuo obtenido al elaborar el extracto con hoja variedad estrella utilizando el extractor presentó el mayor contenido proteico, por lo que es, entre los residuos, la mejor opción para ser empleado en alimentación animal.
9. El punto isoeléctrico del extracto de chaya variedad estrella está en un rango de pH 3.8 a 4. El precipitado obtenido en dicho punto presentó una concentración proteica de 68% en base seca.

10. A través del estudio biológico se estableció que la calidad de la proteína de la hoja entera, el extracto y el residuo de la hoja de chaya es buena, dado que los valores PER no difieren significativamente de los presentado por la leche descremada. Por esto, tanto la harina de hoja entera como el extracto representan productos de gran valor para su incorporación en otras matrices alimenticias.

IX. RECOMENDACIONES

1. En estudios posteriores, procurar trabajar con hojas de chaya de la misma recolección o de recolecciones de meses cercanos, para evitar tener mucha variabilidad en los datos obtenidos.
2. Determinar el patrón de aminoácidos de las hojas de chaya para poder caracterizar de forma completa la proteína en la misma y establecer su aprovechamiento en el consumo humano.
3. Se conoce que la hoja de chaya tiene elevados niveles de vitamina C. Analizar los niveles de dicho nutriente en los extractos de hoja de chaya, para determinar si la vitamina se pierde con los procesos de extracción evaluados.
4. Realizar más pruebas para lograr eliminar o disminuir la intensidad del color del precipitado obtenido al llevar el extracto a su punto isoeléctrico.
5. Evaluar las características químicas de extractos de chaya de otras selecciones encontradas en Guatemala, para establecer la variedad con la que se pueden obtener mejores productos para ser incorporados en otras matrices alimentarias.
6. Crear un producto utilizando entre los ingredientes la harina de hoja de chaya, el extracto de hoja de chaya líquido o el extracto seco como enriquecedor. Realizar evaluaciones sensoriales al consumidor para determinar su aceptabilidad y preferencia. Se considera que la sopa o crema es una de las matrices alimenticias que más potencial tiene para la incorporación de la harina de hoja de chaya o el extracto de chaya, por lo que se recomienda iniciar pruebas con un producto de este tipo.
7. Evaluar otros métodos para la obtención de extractos proteicos de la hoja de chaya, con el objetivo de encontrar alguno que se adapte fácilmente a una escala industrial, que provea un alto rendimiento y extractos de baja humedad. Además, se recomienda evaluar la posibilidad de realizar una doble extracción, utilizando el residuo de una primera extracción para volver a someterlo al proceso. En este caso sería importante asegurarse que no se está promoviendo la extracción de componentes no deseados.
8. Evaluar métodos más eficientes para la obtención de la harina de la hoja de chaya o la harina del extracto para evitar el empleo de tratamientos térmicos agresivos que dañen las proteínas y/o las características sensoriales en dichos productos.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, Jorge, *et al.* 2000. «Utilización de la hoja de Chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) y de Huaxín (*Leucaena leucocephala*) en alimentación de aves criollas». *Revisión Biomédica* [México]. 11 (1): 17-24.
2. Aletor, O.; A. Oshodi y K. Ipinmoroti. 2002. «Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates». *Food Chemistry* [Estados Unidos]. 78 (1): 63-68.
3. AOAC International. 2005. *Official Methods of Analysis*. 18ª ed. Estados Unidos.
4. Argueta, Arturo. 1994. *Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana I*. Biblioteca de la medicina tradicional mexicana. Instituto Nacional Indigenista. México.
5. Berry, Robert. 1986. *Plant Proteins, Applications, Biological Effects and Chemistry*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Estados Unidos.
6. Cifuentes, Rolando y Á. Molina. 1999. *Impacto de varios factores agronómicos sobre la reproducción, producción de biomasa y composición química de hojas y cogollos de chaya (Cnidoscolus aconitifolius; Euphorbiaceae)*. Guatemala, Proyecto Fodecyt No. 69-98. 66 págs.
7. Cravioto, René, *et al.* 1952. «Valor nutritivo de plantas alimenticias de Yucatán». *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana* [México]. Instituto nacional de nutriología, Secretaría de Salubridad y Asistencia. 32: 328-339.
8. Cruz, Carolina. 2001. «Te invito a comer chaya». *Universo* [México]. Universidad veracruzana. 2 (44).
9. Curley, Luisa. 1996. *Caracterización química y nutricional de hoja de chaya (Cnidoscolus spp.) presentes en Guatemala*. Trabajo de Graduación Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 54 págs.

10. Denyer, Stephen; N. Hodges y S. Gorman. 2005. *Pharmaceutical Microbiology*. Blackwell Publishing Ltd, 7^a ed. Estados Unidos. 374 págs.
11. Días-Bolio, José y L. León. 1974. *La Chaya, planta maravillosa: alimenticia y medicinal. Crónica etnobotánica*. Etnobotánica Maya. Mérida, México. 47 págs.
12. Jensen, Sophie. 2009. *Chaya, the Maya miracle plant. Mexconnect*. México.
13. Juárez, Flor de María. 2001. *Análisis de la Hoja de Chaya para desarrollar el producto "Hoja de Chaya enlatada en salmuera"*. Trabajo de Graduación Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 111 págs.
14. González-Laredo, R. *et al.* 2003. «Flavonoid and Cyanogenic contents of Chaya (Spinach Tree) ». *Plant Foods for Human Nutrition* [Países Bajos]. (58): 1-8.
15. Kennedy, David. 1993. *El concentrado de hoja verde: un manual práctico*. Hojas para la vida. 241 págs.
16. Kohler, George. y B. Knuckles. 1977. «Edible Protein from Leaves». *Food Technology* [Estados Unidos]. Institute of Food Technologists. 31 (5).
17. Kuti, Joseph y E. Torres. 1996. «Potential nutritional and health benefits of tree spinach». En J. Janick, *Progress in new crops. ASHS Press* [Arlington, Virginia]. 516-520 págs.
18. Latham, Michael. 2002. *Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Estados Unidos. 508 págs.
19. Meneses, Anabella. 2000. *Caracterización agromorfológica y química de 11 selecciones de Chaya (Cnidocolus acostifolius, spp. aconitifolius) doméstica y silvestre*. Trabajo de Graduación Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 80 págs.

20. Molina, Álvaro; L. Curley y R. Bressani. 1997. «Redescubriendo el valor nutritivo de las hojas de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*; *Euphorbiaceae*)». *Ciencia en Acción*. (3): 1-4.
21. Molina, Álvaro y R. Cifuentes. 2003. *Evaluación de cuatro selecciones de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*; *Euphorbiaceae*) y dos niveles de defoliación en cuatro regiones de Guatemala, y aceptabilidad de sus hojas y cogollos en humanos*. Guatemala, Proyecto Fodecyt No. 45-99. 45 págs.
22. Nagy, Steven, *et al.* 1978. «Potencial Food Uses for Protein form Tropical and Subtropical Plant Leaves». *Journal of Agriculture and Food Chemistry* [Estados Unidos]. 26 (5): 1016-1028.
23. Neufeld, Lynnette; S. Hernandez y A. Fernandez. 2006. *Hacia la erradicación de la desnutrición infantil en Centro América y la República Dominicana*. Instituto Nacional de Salud Pública. Morelos, México. 96 págs.
24. Orellana, Sandra. 1987. *Indian medicine in highland Guatemala: the pre-Hispanic and colonial periods*. University of New Mexico Press. Albuquerque, Estados Unidos. 308 págs.
25. Ory, Robert. 1986. *Plant Proteins, Applications, Biological Effects and Chemistry*. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Estados Unidos.
26. Palos, Giovanna. 2007. *Evaluación de la actividad antioxidante de la chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) en un modelo experimental de diabetes en ratas Wistar*. Tesis Instituto Politécnico Nacional. Querétaro, México. 106 págs.
27. Peregrine, W. 1983. «Chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) – A potencial new vegetable crop for Brunei». *International Journal of Pest Management* [Brunei]. *Tropical Pest Management*. 29 (1): 39-41.
28. Romano, Eusebia, *et al.* 2009. «¿Qué sabemos de los lactogogos?». *Matronas Profesión* [España]. 10 (4): 27-30.

29. Ross, Jeffrey y A. Molina. 2002. «The Ethnobotany of Chaya (*Cnidoscolus Aconitifolius* ssp. *Aconitifolius* Breckon): A Nutritious Maya Vegetable». *Revista economic Botany* [Estados Unidos]. 56 (4): 350-365.
30. Sheen, Shuh. 1991. «Comparison of Chemical and Functional Properties of Soluble Leaf Proteins form Four Plant Species». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [Estados Unidos]. 39 (4): 681-685.
31. Torrico, F., et al. 2003. «Estudio toxicológico de *chayamansa* McVaugh». *Revista Facultad de Farmacia* [Venezuela]. 66 (2): 58-66.
32. Tzapin, Maude. 2005. *Efecto del consumo de ixbut euphorbia lancifolia schlecht sobre la densidad y el volumen de la leche materna*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 101 páginas.
33. *Valor nutritivo y usos en la alimentación humana de algunos cultivos autóctonos subexplotados de Mesoamérica*. 1993. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe. Santiago, Chile.

XI. ANEXOS

A. Resultados del estudio biológico

1. Grupo 1: Dieta harina de hoja de чая

Semana 1	No.	Sexo	Peso S0 (g)	Peso S1 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	50	78	28	100	15	85	0.33	9.55	2.93
	2	M	50	77	27	100	25	75	0.36	8.43	3.20
	3	M	50	80	30	100	10	90	0.33	10.12	2.97
	4	M	44	69	25	100	20	80	0.31	8.99	2.78
	5	H	50	76	26	100	19	81	0.32	9.10	2.86
	6	H	48	65	17	100	30	70	0.24	7.87	2.16
	7	H	48	69	21	100	30	70	0.30	7.87	2.67
	8	H	42	61	19	100	32	68	0.28	7.64	2.49
	Media		47.75	71.88	24.13	100.00	22.63	77.38	0.31	8.70	2.76
D.E.		3.11	6.85	4.61	0.00	7.93	7.93	0.04	0.89	0.32	

Semana 2	No.	Sexo	Peso S1 (g)	Peso S2 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	78	100	22	120	0	120	0.18	13.49	1.63
	2	M	77	114	37	120	10	110	0.34	12.36	2.99
	3	M	80	100	20	120	0	120	0.17	13.49	1.48
	4	M	69	99	30	120	5	115	0.26	12.93	2.32
	5	H	76	103	27	120	8	112	0.24	12.59	2.14
	6	H	65	96	31	120	15	105	0.30	11.80	2.63
	7	H	69	100	31	120	13	107	0.29	12.03	2.58
	8	H	61	85	24	120	27	93	0.26	10.45	2.30
	Media		71.88	99.63	27.75	120.00	9.75	110.25	0.25	12.39	2.26
D.E.		6.85	7.98	5.60	0.00	8.88	8.88	0.06	1.00	0.51	

Semana 3	No.	Sexo	Peso S2 (g)	Peso S3 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	100	125	25	150	23	127	0.20	14.27	1.75
	2	M	114	129	15	150	46	104	0.14	11.69	1.28
	3	M	100	134	34	150	16	134	0.25	15.06	2.26
	4	M	99	118	19	150	29	121	0.16	13.60	1.40
	5	H	103	119	16	150	31	119	0.13	13.38	1.20
	6	H	96	108	12	150	41	109	0.11	12.25	0.98
	7	H	100	119	19	150	39	111	0.17	12.48	1.52
	8	H	85	96	11	150	56	94	0.12	10.57	1.04
	Media		99.63	118.50	18.88	150.00	35.13	114.88	0.16	12.91	1.43
D.E.		7.98	12.01	7.55	0.00	12.93	12.93	0.05	1.45	0.42	

Semana 4	No.	Sexo	Peso S3 (g)	Peso S4 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	125	140	15	160	43	117	0.13	12.60	1.19
	2	M	129	140	11	160	52	108	0.10	11.63	0.95
	3	M	134	146	12	160	36	124	0.10	13.35	0.90
	4	M	118	135	17	160	37	123	0.14	13.25	1.28
	5	H	119	126	7	160	43	117	0.06	12.60	0.56
	6	H	108	120	12	160	45	115	0.10	12.39	0.97
	7	H	119	126	7	160	46	114	0.06	12.28	0.57
	8	H	96	105	9	160	50	110	0.08	11.85	0.76
	Media		118.50	129.75	11.25	160.00	44.00	116.00	0.10	12.49	0.90
D.E.		12.01	13.30	3.58	0.00	5.61	5.61	0.03	0.60	0.26	

2. Grupo 2: Dieta harina de extracto de hoja de chaya

Semana 1	No.	Sexo	Peso S0 (g)	Peso S1 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	50	64	14	100	40	60	0.23	5.71	2.45
	2	M	50	68	18	100	47	53	0.34	5.05	3.57
	3	M	50	58	8	100	50	50	0.16	4.76	1.68
	4	M	46	52	6	100	41	59	0.10	5.62	1.07
	5	H	50	56	6	100	49	51	0.12	4.86	1.24
	6	H	50	58	8	100	47	53	0.15	5.05	1.59
	7	H	46	56	10	100	44	56	0.18	5.33	1.88
	8	H	42	49	7	100	52	48	0.15	4.57	1.53
	Media		48.00	57.63	9.63	100.00	46.25	53.75	0.18	5.12	1.87
D.E.		3.02	6.09	4.27	0.00	4.27	4.27	0.08	0.41	0.80	

Semana 2	No.	Sexo	Peso S1 (g)	Peso S2 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	64	77	13	100	31	69	0.19	6.57	1.98
	2	M	68	75	7	100	26	74	0.09	7.04	0.99
	3	M	58	77	19	100	28	72	0.26	6.85	2.77
	4	M	52	64	12	100	27	73	0.16	6.95	1.73
	5	H	56	68	12	100	23	77	0.16	7.33	1.64
	6	H	58	72	14	100	26	74	0.19	7.04	1.99
	7	H	56	72	16	100	22	78	0.21	7.43	2.15
	8	H	49	65	16	100	29	71	0.23	6.76	2.37
	Media		57.63	71.25	13.63	100.00	26.50	73.50	0.19	7.00	1.95
D.E.		6.09	5.12	3.58	0.00	2.98	2.98	0.05	0.28	0.53	

Semana 3	No.	Sexo	Peso S2 (g)	Peso S3 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	77	88	11	120	50	70	0.16	6.66	1.65
	2	M	75	90	15	120	36	84	0.18	8.00	1.88
	3	M	77	90	13	120	43	77	0.17	7.33	1.77
	4	M	64	76	12	120	36	84	0.14	8.00	1.50
	5	H	68	85	17	120	26	94	0.18	8.95	1.90
	6	H	72	88	16	120	21	99	0.16	9.42	1.70
	7	H	72	87	15	120	29	91	0.16	8.66	1.73
	8	H	65	80	15	120	36	84	0.18	8.00	1.88
	Media		71.25	85.50	14.25	120.00	34.63	85.38	0.17	8.13	1.75
D.E.		5.12	5.01	2.05	0.00	9.29	9.29	0.01	0.88	0.14	

Semana 4	No.	Sexo	Peso S3 (g)	Peso S4 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	88	110	22	90	4	86	0.26	8.36	2.63
	2	M	90	104	14	120	32	88	0.16	8.55	1.64
	3	M	90	102	12	90	9	81	0.15	7.87	1.52
	4	M	76	90	14	120	30	90	0.16	8.75	1.60
	5	H	85	100	15	120	14	106	0.14	10.30	1.46
	6	H	88	108	20	120	2	118	0.17	11.47	1.74
	7	H	87	101	14	120	18	102	0.14	9.91	1.41
	8	H	80	93	13	100	9	91	0.14	8.85	1.47
	Media		85.50	101.00	15.50	110.00	14.75	95.25	0.16	9.26	1.68
D.E.		5.01	6.82	3.55	14.14	11.25	12.34	0.04	1.20	0.40	

3. Grupo 3: Dieta harina de residuo del extracto de hoja de chaya

Semana 1	No.	Sexo	Peso S0 (g)	Peso S1 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	50	68	18	100	30	70	0.26	7.95	2.27
	2	M	50	69	19	100	26	74	0.26	8.40	2.26
	3	M	48	62	14	100	37	63	0.22	7.15	1.96
	4	M	46	60	14	100	40	60	0.23	6.81	2.06
	5	H	50	60	10	100	43	57	0.18	6.47	1.55
	6	H	50	66	16	100	34	66	0.24	7.49	2.14
	7	H	46	60	14	100	38	62	0.23	7.04	1.99
	8	H	46	61	15	100	32	68	0.22	7.72	1.94
	Media		48.25	63.25	15.00	100.00	35.00	65.00	0.23	7.38	2.02
D.E.		1.98	3.81	2.78	0.00	5.58	5.58	0.03	0.63	0.23	

Semana 2	No.	Sexo	Peso S1 (g)	Peso S2 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	68	87	19	100	2	98	0.19	11.12	1.71
	2	M	69	85	16	100	0	100	0.16	11.35	1.41
	3	M	62	82	20	100	13	87	0.23	9.87	2.03
	4	M	60	78	18	100	15	85	0.21	9.65	1.87
	5	H	60	80	20	100	13	87	0.23	9.87	2.03
	6	H	66	88	22	100	3	97	0.23	11.01	2.00
	7	H	60	77	17	100	6	94	0.18	10.67	1.59
	8	H	61	75	14	100	16	84	0.17	9.53	1.47
	Media		63.25	81.50	18.25	100.00	8.50	91.50	0.20	10.39	1.76
D.E.		3.81	4.81	2.55	0.00	6.44	6.44	0.03	0.73	0.25	

Semana 3	No.	Sexo	Peso S2 (g)	Peso S3 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	87	113	26	150	39	111	0.23	12.60	2.06
	2	M	85	120	35	150	20	130	0.27	14.76	2.37
	3	M	82	103	21	150	56	94	0.22	10.67	1.97
	4	M	78	101	23	150	55	95	0.24	10.78	2.13
	5	H	80	92	12	150	54	96	0.13	10.90	1.10
	6	H	88	104	16	150	53	97	0.16	11.01	1.45
	7	H	77	90	13	150	52	98	0.13	11.12	1.17
	8	H	75	90	15	150	52	98	0.15	11.12	1.35
	Media		81.50	101.63	20.13	150.00	47.63	102.38	0.19	11.62	1.70
D.E.		4.81	10.94	7.79	0.00	12.36	12.36	0.06	1.40	0.49	

Semana 4	No.	Sexo	Peso S3 (g)	Peso S4 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína Ingerida	PER
	1	M	113	140	27	150	23	127	0.21	13.20	2.05
	2	M	120	145	25	150	6	144	0.17	14.96	1.67
	3	M	103	118	15	150	46	104	0.14	10.81	1.39
	4	M	101	120	19	150	8	142	0.13	14.75	1.29
	5	H	92	111	19	150	35	115	0.17	11.95	1.59
	6	H	104	130	26	150	35	115	0.23	11.95	2.18
	7	H	90	108	18	150	40	110	0.16	11.43	1.57
	8	H	90	110	20	150	44	106	0.19	11.01	1.82
	Media		101.63	122.75	21.13	150.00	29.63	120.38	0.18	12.51	1.69
D.E.		10.94	14.11	4.32	0.00	15.63	15.63	0.03	1.62	0.31	

4. Grupo 4: Dieta de leche descremada; grupo control

Semana 1	No.	Sexo	Peso S0 (g)	Peso S1 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	48	80	32	100	32	68	0.47	8.55	3.74
	2	M	46	78	32	100	25	75	0.43	9.44	3.39
	3	M	44	79	35	100	24	76	0.46	9.56	3.66
	4	M	44	70	26	100	40	60	0.43	7.55	3.44
	5	H	44	79	35	100	21	79	0.44	9.94	3.52
	6	H	44	77	33	100	33	67	0.49	8.43	3.92
	7	H	44	82	38	100	21	79	0.48	9.94	3.82
	8	H	44	72	28	100	34	66	0.42	8.30	3.37
	Media		44.75	77.13	32.38	100.00	28.75	71.25	0.45	8.96	3.61
D.E.		1.49	4.09	3.89	0.00	6.96	6.96	0.03	0.88	0.21	

Semana 2	No.	Sexo	Peso S1 (g)	Peso S2 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	80	127	47	120	11	109	0.43	13.71	3.43
	2	M	78	117	39	120	19	101	0.39	12.71	3.07
	3	M	79	120	41	120	16	104	0.39	13.08	3.13
	4	M	70	111	41	120	24	96	0.43	12.08	3.39
	5	H	79	113	34	120	13	107	0.32	13.46	2.53
	6	H	77	106	29	120	28	92	0.32	11.57	2.51
	7	H	82	109	27	120	21	99	0.27	12.45	2.17
	8	H	72	106	34	120	24	96	0.35	12.08	2.82
	Media		77.13	113.63	36.50	120.00	19.50	100.50	0.36	12.64	2.88
D.E.		4.09	7.33	6.72	0.00	5.88	5.88	0.06	0.74	0.45	

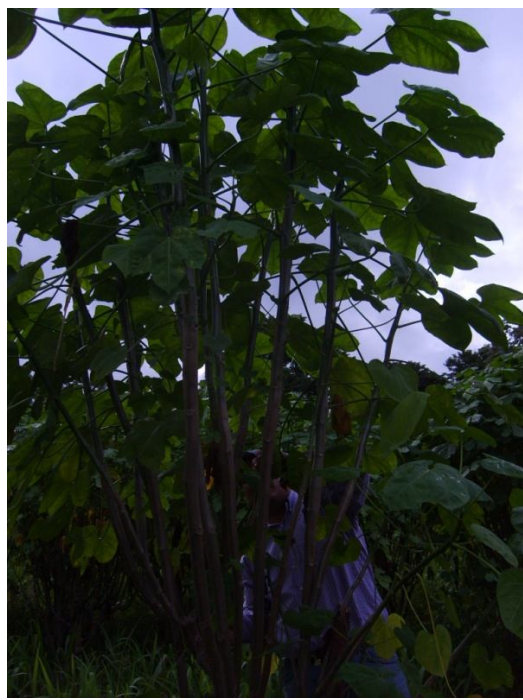
Semana 3	No.	Sexo	Peso S2 (g)	Peso S3 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	127	166	39	150	15	135	0.29	16.98	2.30
	2	M	117	153	36	150	25	125	0.29	15.73	2.29
	3	M	120	148	28	150	40	110	0.25	13.84	2.02
	4	M	111	126	15	150	50	100	0.15	12.58	1.19
	5	H	113	135	22	150	36	114	0.19	14.34	1.53
	6	H	106	126	20	150	44	106	0.19	13.33	1.50
	7	H	109	130	21	150	38	112	0.19	14.09	1.49
	8	H	106	129	23	150	46	104	0.22	13.08	1.76
	Media		113.63	139.13	25.50	150.00	36.75	113.25	0.22	14.25	1.76
D.E.		7.33	14.84	8.26	0.00	11.57	11.57	0.05	1.46	0.41	

Semana 4	No.	Sexo	Peso S3 (g)	Peso S4 (g)	Peso ganado (g)	Alimento dado (g)	Alimento sobrante (g)	Alimento ingerido (g)	IEA	Cant. proteína ingerida	PER
	1	M	166	205	39	150	13	137	0.28	17.23	2.26
	2	M	153	189	36	150	22	128	0.28	16.10	2.24
	3	M	148	169	21	150	36	114	0.18	14.34	1.46
	4	M	126	154	28	150	46	104	0.27	13.08	2.14
	5	H	135	155	20	150	38	112	0.18	14.09	1.42
	6	H	126	150	24	150	45	105	0.23	13.21	1.82
	7	H	130	147	17	150	50	100	0.17	12.58	1.35
	8	H	129	155	26	150	38	112	0.23	14.09	1.85
	Media		139.13	165.50	26.38	150.00	36.00	114.00	0.23	14.34	1.82
D.E.		14.84	20.91	7.73	0.00	12.59	12.59	0.05	1.58	0.37	

B. Fotografías

Fotografía 11.1: Arbustos de hoja de chaya en el Campus Proesur de UVG.





Fotografía 11.2: Hoja de chaya variedad estrella.



Fotografía 11.3: Hoja de chaya variedad redonda.



Fotografía 11.4: Recolección de muestras de hoja de chaya en Campus Proesur de UVG.



Fotografía 11.5: Obtención del extracto de hoja de chaya a través del método de extracción.



Fotografía 11.6: Extracto de hoja de chaya obtenido a través de un extractor.



Fotografía 11.7: Obtención del extracto de hoja de chaya a través del método de licuadora.



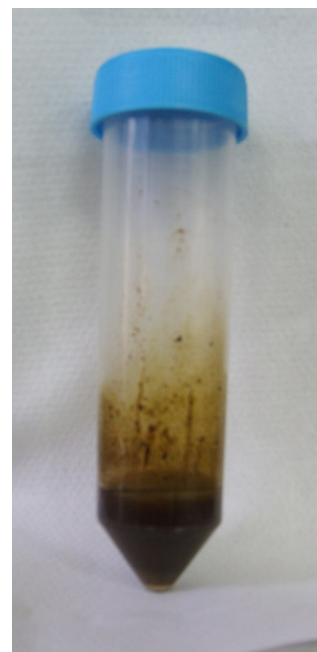
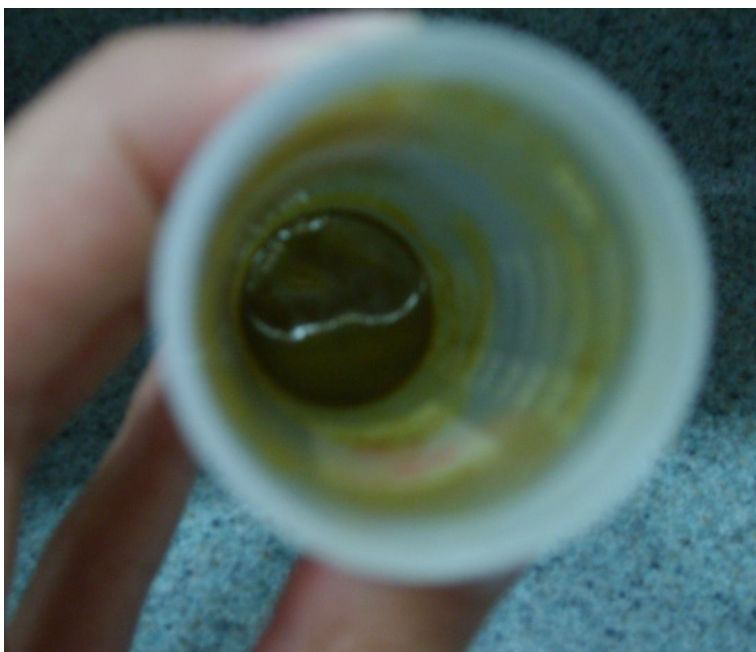
Fotografía 11.8: Filtración realizada en la obtención del extracto de hoja de chaya a través del método de licuadora.



Fotografía 11.9: Extracto de hoja de chaya obtenido por el método de licuadora y filtración.



Fotografía 11.10: Precipitado obtenido al llevar el extracto de hoja de chaya a pH isoelectrico.

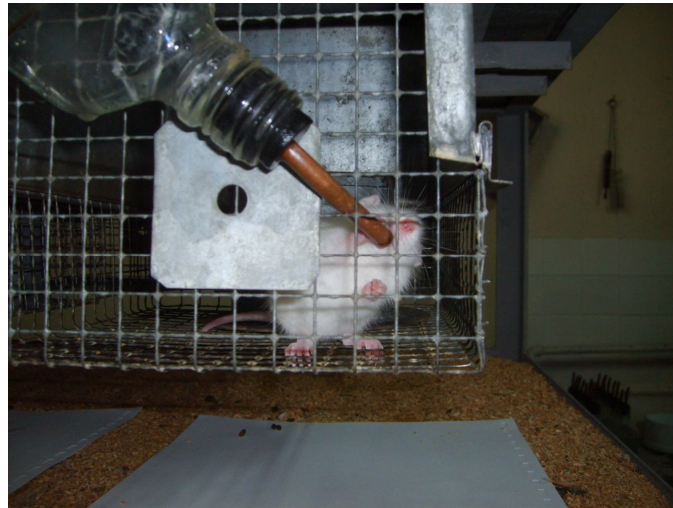


Fotografía 11.11: Sobrenadante obtenido al llevar el llevar el extracto de hoja de chaya a pH isoeléctrico.



Fotografía 11.12: Colocación de ratas en jaulas para inicio del estudio biológico.





Fotografía 11.13: Pesado de ratas para recolección de datos para estudio biológico.

