



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
Y DE LA SALUD ANIMAL**

**EVALUACIÓN DE HARINAS DE PLÁTANO Y PAPA COMO
FUENTES ENERGÉTICAS ALTERNATIVAS PARA LA
ALIMENTACIÓN ANIMAL**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

ERANDI TOLEDO GARCIA

TUTOR PRINCIPAL

ARTURO GERMÁN BORBOLLA SOSA

COMITÉ TUTORAL

GERARDO MARISCAL LANDÍN

TÉRCIA CESÁRIA REIS DE SOUZA

MÉXICO, DF

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mis padres, a quienes les debo todo lo que soy, ya que con su apoyo, cariño y comprensión, me enseñaron a enfrentar cada momento de mi vida con seguridad y libertad.

A mi madre, a quien donde quiera que este, le quiero agradecer que me haya enseñado a saberme levantar ante cualquier adversidad que nos presente la vida.

A mi pama, que desde que mi mamá no está, ha sido nuestro soporte, ya que siempre esta cuando se le necesita, sabe escuchar, apoyar y dar excelentes consejos, no sé qué haríamos sin ti!

A mis hermanas Mónica e Itzel, simplemente por estar ahí, tanto en las buenas como en las malas, y aunque la vida nos ha llevado por diferentes caminos y destinos, se que siempre contare con su apoyo ya que eso es reciproco.

A mi hermana “adoptiva” Jessica que ha estado conmigo por muchos años y sabes que has sido fundamental en cada etapa de crecimiento de mi vida.

A mi hermana “adoptiva” Karino Lino, si no hubiera sido por la maestria yo creo nuestros caminos no se hubieran cruzado, doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino y sabes que eres desde ya parte fundamental de mi vida.

A la Familia Márquez Acuña y cada uno de sus integrantes, por haberme abierto la puerta de su casa y de sus corazones, los llevare siempre conmigo y no sabría cómo agradecerles todas las pláticas, risas y consejos que he recibido de su parte en estos últimos tiempos.

A mi asesor el Dr. Germán Borbolla Sosa y a Angelina, ya que a lo largo de este proyecto, me han enseñado a ser una mejor persona, y sobre todo por todas las enseñanzas que me han dado, aunque a veces parezca que no he escuchado o que me he enojado les quiero dedicar este logro, y sobre todo agradecer la paciencia que me han tenido.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

Al financiamiento otorgado por el proyecto PAPIIT-DGAPA-UNAM IN 217809.

A mis padres, por su respaldo en cada acción de mi vida. A mis hermanas, por hacerme en muchas ocasiones la vida más fácil.

A mi abuelita Juanita, porque ha sido un gran apoyo al igual que mi tía Mónica, mis primos Carlos y Salvador porque ellos son como unos hermanos para mí. A mi tío Ernie porque siempre tiene algo bueno que aportar para mi crecimiento.

A mis mejores amigos: Jessica, Ramón, Fernando, Karino, Gabriela, Saúl, Nahieli, Angélica, Rolando y Vero porque a pesar de que no siempre estamos juntos, siempre han estado ahí conmigo apoyándome en los momentos más difíciles de mi vida. Les debo que me hayan apoyado y saben que cuentan conmigo para todo.

A Angelina, a quien doy gracias a Dios por haber puesto en mi camino en esta etapa tan importante de mi vida, no sé qué habría pasado si no hubiera estado ella ahí para orientarme, escucharme, darme consejos y jalones de orejas cada vez que lo necesite, sabes que contarás conmigo para siempre.

A mis asesor el Dr. Germán Borbolla Sosa, por sus consejos y la paciencia que me mostro a lo largo de la maestría para poder finalizar con éxito este trabajo.

A los miembros del comité y del jurado: Dra. Tercia, Dr. Mariscal, Dr. Herradora, Dr. Castrejón, Dr. Martínez y Dra. Mora, por sus observaciones y sugerencias realizadas para que pudiera finalizar este trabajo.

Al Departamento de Medicina y Zootecnia de Cerdos por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de mi estancia en él.

A todos los que me apoyaron para la realización de este trabajo, como los laboratoristas del CINVESTAV-Juquilla, del departamento de nutrición animal de la FMVZ.

A los gallos que fueron parte fundamental para poder llevar a cabo la prueba de digestibilidad y que fueron donados por las granjas de Don Gil.

A todos aquellos que de una u otra manera son parte de este trabajo, GRACIAS.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Índice	III
Índice de cuadros	V
Índice de figuras	VI
Abreviaturas	VII
Resumen	i
Abstract	ii
1. Introducción	1
2. Revisión bibliográfica	5
2.1. Alimentación animales monogástricos	5
2.2. Ingredientes alternativos	6
2.2.1. Consideraciones para el uso de ingredientes alternativos	7
2.3. Ingredientes alternativos energéticos	9
2.3.1. Plátano (<i>Musa cavendeshi</i> var. Roatán)	11
2.3.1.1. Generalidades	11
2.3.1.2. Producción en México	12
2.3.1.3. Composición	13
2.3.1.4. Usos	14
2.3.2. Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	16
2.3.2.1. Generalidades	16
2.3.2.2. Producción en México	16
2.3.2.3. Composición	17
2.3.2.4. Usos	18
2.4. Manejo y conservación de ingredientes	19
2.4.1. Deshidratación/Secado de ingredientes	19
2.4.1.1. Secado solar	20
2.4.1.2. Secado mecánico	20
2.4.2. Efecto de la deshidratación sobre los ingredientes	21
2.4.3. Elaboración de harinas	21
2.5. Características de los ingredientes energéticos	22
2.5.1. Almidón	22
2.5.1.1. Composición de los gránulos de almidón	23
2.5.1.2. Gránulos de almidón	24
2.5.1.3. Clasificación de los almidones	26
2.5.2. Propiedades fisicoquímicas de los almidones	26
2.5.2.1. Gelatinización	26
2.5.2.1.1. Perfiles amilográficos	29

2.5.2.2.	Retrogradación	31
2.5.3.	Modificación de almidones	32
2.6.	Evaluación nutritiva de los ingredientes	33
2.6.1.	Composición bromatológica	34
2.6.2.	Valor potencial de los ingredientes	34
2.7.	Digestibilidad de los ingredientes	35
2.7.1.	Digestibilidad de la fracción energética	36
2.7.2.	Digestibilidad de la fracción energética en aves	41
3.	Justificación	43
4.	Objetivos	44
5.	Hipótesis	44
6.	Material y Métodos	45
6.1.	Elaboración de harinas de plátano y de harinas de papa	45
6.2.	Análisis de laboratorio de las harinas	47
6.3.	Prueba de digestibilidad en gallos adultos	49
7.	Resultados	53
7.1.	Elaboración de harinas de plátano y de harinas de papa	53
7.2.	Análisis de laboratorio de las harinas	54
7.3.	Prueba de digestibilidad en gallos adultos	61
8.	Discusión	65
8.1.	Elaboración de harinas de plátano y de harinas de papa	65
8.2.	Análisis de laboratorio de las harinas	66
8.3.	Prueba de digestibilidad en gallos adultos	69
9.	Conclusiones	73
10.	Literatura citada	75

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Perfil nutritivo del plátano (Ly, 2004; AFRIS, 2009).	14
Cuadro 2.	Perfil nutritivo de la papa (Espinola, 2000; AFRIS, 2009).	18
Cuadro 3.	Correspondencia de los principios inmediatos y nutritivos en los ingredientes, según el esquema de Weende (adaptado de San Miguel, 2006).	34
Cuadro 4.	Tiempos de secado para los ingredientes.	53
Cuadro 5.	Rendimiento de los ingredientes.	54
Cuadro 6.	Análisis químico proximal de las harinas de plátano con cáscara deshidratadas a diferentes temperaturas (°C).	55
Cuadro 7.	Análisis químico proximal de las harinas de papa deshidratadas a diferentes temperaturas (°C).	56
Cuadro 8.	Capacidad de absorción de agua e Índice de solubilidad de las harinas de plátano y papa.	57
Cuadro 9.	Perfil amilográfico de las harinas de plátano con cáscara.	58
Cuadro 10.	Perfil amilográfico de las harinas de papa.	60
Cuadro 11.	Cantidad de EB y N ofrecidos y recolectados en las heces de gallos adultos alimentados con harinas de plátano con cáscara.	62
Cuadro 12.	Valores de EMA, EMAn, EMV y EMVn de las harinas de plátano con cáscara.	62
Cuadro 13.	Cantidad de EB y N ofrecidos y recolectados en las heces de gallos adultos alimentados con harinas de papa.	64
Cuadro 14.	Valores de EMA, EMAn, EMV y EMVn de las harinas de papa.	64

Índice de figuras

Figura 1.	Fases de maduración de los frutos de plátano (Laborem <i>et al.</i> , 2001).	11
Figura 2.	Regiones productoras de plátano en México.	13
Figura 3.	Estados productores de papa en México.	17
Figura 4.	Estructura química de la amilosa y amilopectina (Badui, 2001).	24
Figura 5.	Gránulos de plátano (A) y papa (B) (Jane <i>et al.</i> , 1994).	25
Figura 6.	Evolución de proceso de gelatinización de los gránulos de almidón de maíz (Fanelli, 2002).	28
Figura 7.	Perfil amilográfico obtenido con un analizador rápido de viscosidad (Zhou <i>et al.</i> , 1998).	31
Figura 8.	Estado físico del almidón en relación a la digestibilidad (Bach <i>et al.</i> , 2006).	32
Figura 9.	Esquema de la digestión de almidones (Adaptado de Bach <i>et al.</i> , 2006).	39
Figura 10.	Elaboración de harinas de plátano (A) y harinas de papa (B).	45
Figura 11.	Prueba de digestibilidad en gallos adultos.	49
Figura 12.	Asignación de tratamientos a las unidades experimentales durante la prueba de digestibilidad.	51
Figura 13.	Perfil amilográfico de las harinas de plátano deshidratadas a diferentes temperaturas.	59
Figura 14.	Perfil amilográfico de las harinas de papa deshidratadas a diferentes temperaturas.	60

Abreviaturas

Aminoácidos esenciales	AAE
Calcio	Ca
Capacidad de absorción de agua	CAA
Cenizas	Cen
Energía bruta	EB
Energía digestible	ED
Energía metabolizable	EM
Energía metabolizable aparente	EMA
Energía metabolizable aparente corregida a balance de nitrógeno nulo	EMA _n
Energía metabolizable verdadera	EMV
Energía metabolizable verdadera corregida a balance de nitrógeno nulo	EMV _n
Energía pérdida durante el ayuno	EPA
Extracto etéreo	EE
Extracto libre de nitrógeno	ELN
Fibra cruda	FC
Fósforo	P
Humedad	Hum
Índice de solubilidad en agua	ISA
Kilo calorías por gramos	kcal/g
Materia seca	MS
Nitrógeno	N
Nitrógeno perdido durante el ayuno	NPA
Nitrógeno retenido aparente	NRA
Proteína cruda	PC
Total de nutrientes digestibles	TND

Resumen

El efecto de la temperatura sobre la digestibilidad y los valores de Energía Metabolizable Aparente (EMA), Energía Metabolizable Aparente corregida al balance de N nulo (EMA_n), Energía Metabolizable Verdadera (EMV) y Energía Metabolizable Verdadera corregida al balance de N nulo (EMV_n), del plátano y la papa fue evaluado en este estudio. Las harinas deshidratadas a 55, 70, 80 y 90 °C (tratamientos), fueron proporcionadas a gallos adultos (Ross 308). Tres gallos por tratamiento (12 aves en total), fueron usados en una prueba de digestibilidad fecal. Cada 7 días, los gallos eran cambiados de tratamiento utilizando un modelo de cuadrado latino. A 80 °C el plátano tuvo menor ($P < 0.05$) porcentaje de digestibilidad (51.76 %). En la papa, la mejor digestibilidad ($P < 0.05$) es a los 90 °C (68 %). El plátano deshidratado a 55, 70 y 90 °C tuvo valores similares de EMA (3.23, 3.39 y 3.34 Kcal/g de MS, respectivamente), en comparación con la de 80 °C (1.89 kcal/g de MS), que fue menor ($P < 0.05$). La EMA_n (55 °C = 3.13, 70 °C = 3.36 y 90 °C = 3.22), fue mayor ($P < 0.05$), que lo aportado a 80 °C (1.75 kcal/g de MS). La EMV fue menor ($P < 0.05$), a 80 °C (2.04 kcal/g de MS), respecto a lo observado a 55, 70 y 90 °C (3.39, 3.55, 3.50 kcal/g de MS, respectivamente). La EMV_n fue mayor ($P < 0.05$) a los (55 °C = 2.78, 70 °C = 3.00 y 90 °C = 2.87 kcal/g de MS), a lo aportado a 80 °C (1.39 kcal/g de MS). En la papa, la EMA fue mayor ($P < 0.05$), para 90 °C (2.97 kcal/g de MS). La EMA_n fue mayor ($P < 0.05$) a 90 °C (2.76 vs. 1.68, 2.05 y 1.94 Kcal/g de MS, para 55, 70 y 80 °C, respectivamente). La EMV fue mayor para la harina deshidratada a 90 °C (3.12 kcal/g de MS), en comparación con las otras 3 temperaturas de deshidratación 55, 70 y 80 °C (2.10, 2.39 y 2.35 kcal/g de MS, respectivamente). La EMV_n también tuvo un patrón similar; la papa deshidratada a 90 °C tuvo una EMV_n mayor ($P < 0.05$), con respecto al resto de las temperaturas (90 °C = 2.40 vs. 55 °C = 1.34, 70 °C = 1.71 y 80 °C = 1.59 kcal/g de MS). La digestibilidad y aportes de energía del plátano y la papa mejoran cuando se les somete a un tratamiento térmico, por lo que su uso en especies monogástricas es factible.

Palabras clave: Harina de plátano, harina de papa, digestibilidad, gallos, energía metabolizable.

Abstract

The effect of temperature on the digestibility and apparent metabolizable energy values (AME), apparent metabolizable energy corrected to zero N balance (AME_n), true metabolizable energy (TME) and true metabolizable energy corrected to zero N balance (TME_n), of bananas and potatoes was evaluated in this study. Flours dried at 55, 70, 80 and 90 °C (treatments) were provided to adult cockerels (Ross 308). Three chickens per treatment (12 birds in total) were used in a fecal digestibility test. Every 7 days, the roosters were switched from treatment using a Latin square model. At 80 °C the banana had lower ($P < 0.05$) digestibility percentage (51.76%). In potato, better digestibility ($P < 0.05$) at 90 °C (68%). The dehydrated banana 55, 70 and 90 °C had similar values of AME (3.23, 3.39 and 3.34 kcal/g DM, respectively), compared with 80 °C (1.89 kcal/g DM), which was lower ($P < 0.05$). The AME_n (55 °C = 3.13, 70 °C = 3.36 and 90 °C = 3.22) was higher ($P < 0.05$), which contributed at 80 °C (1.75 kcal/g DM). The TME was lower ($P < 0.05$) at 80 °C (2.04 kcal/g DM), compared to what was observed at 55, 70 and 90 °C (3.39, 3.55, 3.50 kcal/g DM, respectively). TME_n was higher ($P < 0.05$) at 55 °C = 2.78, 70 °C = 3.00 and 90 °C = 2.87 kcal/g DM, to which contributed to 80 °C (1.39 kcal/g DM). The AME of potatoes was higher ($P < 0.05$) for 90 °C (2.97 kcal/g MS). The AME_n was higher ($P < 0.05$) at 90 °C (2.76 vs. 1.68, 2.05 and 1.94 kcal / g DM for 55, 70 and 80 °C, respectively). TME was greater for the flour dried at 90 °C (3.12 kcal/g DM) compared with the other 3 temperatures of dehydration 55, 70 and 80 °C (2.10, 2.39 and 2.35 kcal/g DM, respectively). TME_n also had a similar pattern; potatoes dehydrated at 90 °C had a higher ($P < 0.05$) contribution, compared to other temperatures (90 °C = 2.40 vs. 55 °C = 1.34, 70 °C = 1.71 and 80 °C = 1.59 kcal/g DM). The digestibility and energy inputs of banana and potato improve when subjected to a heat treatment, so that its use in monogastric species is feasible.

Keywords: banana flour, potato flour, digestibility, roosters, metabolizable energy.

1. Introducción

El continuo y acelerado crecimiento que la población humana ha experimentado en las últimas décadas y que continuará a una mayor tasa en el futuro, ha ocasionado que las necesidades alimentarias se hayan incrementado dramáticamente, sin aumentar de manera similar las superficies de producción de alimentos de origen vegetal (cereales y semillas de oleaginosas) y animal (huevo, carne, leche). Se ha estimado que la tasa de crecimiento anual es del 1.2% y no se prevé que se estabilice hasta el 2050 (FAO, 2002; Akinmutimi *et al.*, 2006; Zamudio-Sánchez *et al.*, 2008). Además, una buena parte de esta nueva población, principalmente en los países de India y China, posee un mayor poder adquisitivo, lo que ha incrementado el consumo de productos alimenticios de origen animal, generando cambios significativos en la alimentación de estas poblaciones, que tradicionalmente lo hacían con dietas basadas en granos. Esta mayor demanda, ha incrementado los precios de la mayoría de los insumos utilizados para la producción de alimentos (Akinmutimi *et al.*, 2006; Choct, 2007).

La mayor demanda de alimentos de origen animal ha sido principalmente en el rubro de especies monogástricos, como las aves y los cerdos. En el sector avícola, esta demanda se ha traducido en un incremento *per cápita* del 300 % desde la década de los 60's (Choct, 2007). El mayor consumo de proteína de origen animal a nivel mundial se ha observado principalmente en los estratos medios y altos de la mayoría de los países desarrollados, así como aquellos con altas densidades de población (Akinmutimi *et al.*, 2006; Choct, 2007).

Un mayor consumo de carne y otros subproductos de origen animal obliga a los profesionales dedicados a la producción animal, a mejorar la eficiencia productiva (mejoramiento genético, eficiencia reproductiva y productiva) y disminuir los costos de producción. En este último rubro, el alimento representa el principal costo de producción para una empresa dedicada a la producción animal (Bauza, 2007; Acosta *et al.*, 2006). En las aves y cerdos, la alimentación representa hasta el 80 % de los costos de producción (rango del 60 al 80 %), cuando las granjas tienen un excelente manejo y un bajo desafío sanitario (Acosta *et al.*, 2006; Akinmutimi *et al.*, 2006).

La alimentación animal en la producción intensiva y/o en los países desarrollados, utiliza dietas con una alta densidad energética y proteica para disminuir el número de días que un animal requiere para alcanzar su peso a mercado. El gran porcentaje de la dieta está constituida por una combinación de granos de cereales (maíz/sorgo), y pastas de oleaginosas (soya), para el aporte de energía y proteína, respectivamente. En conjunto estas fuentes energéticas y proteicas, contribuyen entre un 70 y un 80 % al alimento balanceado (Myer y Hall, 2001; Tibble *et al.*, 2007; Adesehinwa, 2008).

En los países en desarrollo, estos sistemas tradicionales de alimentación han representado retos de producción para los pequeños y medianos productores, que continuamente salen del mercado, ya que al no contar con las mismas condiciones socioeconómicas y tecnológicas, la producción animal no es creciente y sostenible, debido a los altos costos de alimentación, lo cual hace que este tipo de explotaciones sean poco rentables (Acosta *et al.*, 2006; González *et al.*, 1997).

El reto que tiene que enfrentar los pequeños y medianos productores, es la permanencia dentro de la cadena productiva, encarando condiciones adversas para la producción y alimentación animal, como lo son la disminución de la disponibilidad, accesibilidad e incremento de los costos de las materias primas tradicionalmente (maíz/sorgo; soya), utilizadas para este fin (Adesehinwa, 2008). Estas condiciones adversas de producción, se deben principalmente a:

- Una creciente demanda y competencia por el consumo de ingredientes convencionales (maíz/sorgo; soya) para la alimentación humana, debida al crecimiento poblacional y la industria agroalimentaria; que tiene como consecuencia un incremento en los precios de los ingredientes utilizados en la alimentación animal, debido a que disminuye la disponibilidad de estas materias primas (Preston, 1992; Akinmutimi *et al.*, 2006; Savón *et al.*, 2008).
- Problemas de estacionalidad e ineficiencia en la producción de los ingredientes convencionales para la elaboración de alimentos balanceados en los países en desarrollo, esto tiene como consecuencia que se tengan que importar las materias primas de otras regiones, con un costo adicional, durante las épocas en las que no se

puedan producir en cantidades suficientes o bien no haya suficientes reservas (Gutiérrez, 2000; Savón *et al.*, 2008).

- Uso diversificado de los cereales para propósitos distintos a la alimentación, como lo son la generación de biocombustibles. La industria de los biocombustibles, utiliza como materia prima, ingredientes energéticos (maíz). El beneficio económico para el agricultor, es mayor al vender la materia prima a la industria; por lo que queda poca disponibilidad de ingredientes que se pueden utilizar en la alimentación animal. Esto ha generado que el precio de estos insumos haya incrementado significativamente durante los últimos años (Adesehinwa, 2008; Bauza, 2007; Stein y de Lange, 2007; Savón e Idania, 2007).

Estos factores ponen en peligro la seguridad alimentaria de la población, razón por la cual existe la necesidad de encontrar soluciones apropiadas a los problemas de disponibilidad y accesibilidad de materias primas, para que los pequeños y medianos productores puedan permanecer dentro de la actividad pecuaria.

Algunas alternativas para que los productores se mantenga dentro de la actividad pecuaria y que sus explotaciones sean rentables, son:

- Mejorar la eficiencia productiva de la granja, evitando mantener aquellos animales que no alcanzan los parámetros establecidos para la especie. Esta estrategia requiere de un majeo intensivo y una evaluación constante de cada uno de los animales producidos en la granja. Esta estrategia seguramente llevará a la reducción del inventario de animales, pero mejorará sus números y reducirá la cantidad de alimento que se requiere en la granja para mantener a la población (Bauza, 2007; Savón *et al.*, 2008; Adesehinwa, 2008).
- Uso de ingredientes alternativos que sean adquiridos a menor costo y que sean capaces de aportar una cantidad al menos similar de nutrientes digestibles, de los que se obtienen con las fuentes convencionales. Estos ingredientes normalmente proceden de ramas de la producción agrícola destinada a la alimentación humana y se encuentran disponibles en grandes cantidades en las zonas de producción al momento de su cosecha (Bauza, 2007; Savón *et al.*, 2008; Adesehinwa, 2008).

La producción de huevo y carne con el uso de ingredientes alternativos disponibles localmente ayuda a producir de una forma más sustentable para la región, al reducir la dependencia de insumos importados al lugar de producción. El uso de subproductos agroindustriales para la producción animal tiene por lo tanto, repercusiones positivas en aquellas zonas en donde estos ingredientes se pueden utilizar; sin embargo, es importante tener cuidado con su uso indiscriminado ya que estos pueden contener varios factores que limiten su uso. Entre los factores que más pueden presentarse están: presencia de factores antinutricionales, presencia de alto contenido de fibra, bajo contenido de nutrientes digestibles, poca disponibilidad, alto contenido de humedad, etc. (Sarmiento *et al.*, 2005; Gonzálvo *et al.*, 2001; Borin, 2005; Henry *et al.*, 1988).

En México, existen diversos ingredientes de origen vegetal que aportan tanto energía como proteína. Estos subproductos se encuentran disponibles en varias regiones del país en donde la porcicultura y la avicultura de baja intensidad son altamente prevalentes y que normalmente se encuentran alejados de los principales centros de producción o importación del grano. Los ingredientes energéticos que se pueden considerar para la alimentación animal en el territorio nacional, son el plátano y la papa, cuya producción es superior a lo que es utilizado para el consumo humano e industria. Con la utilización de estos ingredientes, los productores podrían disminuir los costos de alimentación y producción.

El inconveniente de estos ingredientes es su elevado porcentaje de humedad, su baja vida de anaquel, y lo voluminoso de su estructura; lo que dificulta su procesamiento, en las plantas de. La desventaja del alto contenido de humedad, se puede resolver por medio de procesos de conservación como el proceso de deshidratación, seguido de una molienda para la obtención de harinas con bajo contenido de humedad. Las harinas pueden ser incluidas en la elaboración de alimentos balanceados; sin embargo, antes de poder ser suministradas a los animales en producción, se debe determinar su valor nutritivo, y cuando son usadas por primera vez, realizar pruebas de digestibilidad, para determinar en qué proporción se pueden incluir en las dietas de aves y cerdos.

2. Revisión Bibliográfica

2.1. Alimentación de animales monogástricos

La alimentación animal tiene como objetivo básico proporcionar a las diferentes especies, la cantidad y calidad óptima de nutrientes que sean capaces de satisfacer las demandas de estos en las diferentes etapas por las que los animales van pasando a lo largo de su vida. En el área de producción, se aplica este mismo principio, con la salvedad que el aporte de nutrientes, debe hacerse al mínimo costo posible, para garantizar ganancias económicas a las unidades de producción (San Miguel, 2006).

La eficiencia con la que el alimento es transformado a un subproducto animal (carne, huevo, leche, etc.), puede ser fácil y rápidamente medida a traves del registro de variables productivas como la ganancia diaria de peso, el consumo diario de alimento y la conversión alimenticia. Por lo tanto, el suministrar ingredientes de calidad, que puedan impactar positivamente el comportamiento productivo de los animales, se traduce en una mayor rentabilidad para los productores (Gutiérrez, 2000).

La alimentación de animales monogástricos (aves y cerdos) de manera tradicional se ha realizado con alimentos balanceados elaborados con una combinación de cereales (maíz/sorgo) y pastas de oleaginosas (soya), para el aporte de energía y proteína, respectivamente; que están formulados para cubrir los requerimientos de mantenimiento, crecimiento y reproducción de los animales (Borin, 2005; Adesehinwa, 2008). Las fracciones energéticas y proteicas representan entre el 70 y 80 % de los componentes totales de las dietas, el porcentaje restante está conformado por macrominerales, microminerales, vitaminas y aditivos (Myer y Hall, 2001; Adesehinwa, 2008). El principal componente en los alimentos para monogástricos, es la fracción energética, que se proporciona en forma de almidón y llega a representar entre un 30 y 50 % de los nutrientes en la dieta final (Tibble *et al.*, 2007; Bach *et al.*, 2006).

En la actualidad, los productores de estas especies, se enfrentan a la problemática de un incremento en la competencia por la adquisición de ingredientes energéticos, que tradicionalmente han sido utilizados para la alimentación animal (maíz/sorgo); tanto con el consumo humano, la industria agroalimentaria y la producción de biocombustibles a partir

de estos insumos (Akinmutimi *et al.*, 2006; Savón *et al.*, 2008; Adesehinwa, 2008; Bauza, 2007; Stein y de Lange, 2007; Savón e Idania, 2007).

La competencia que se ha generado por la adquisición de estos ingredientes entre el sector pecuario y los sectores mencionados anteriormente, han generado una disminución en la disponibilidad de estos recurso, y un consecuente incremento de sus costos (Akinmutimi *et al.*, 2006; Savón *et al.*, 2008). Una consecuencia del alza en los precios de estos ingredientes, es el aumento de los costos de alimentación y producción, reduciendo las ganancias o produciendo pérdidas económicas a los productores. Esta circunstancia ha orillado a que los pequeños y medianos productores busquen alternativas de producción, con la utilización de ingredientes no convencionales que tengan un aporte energético adecuado para la alimentación animal; ya que de lo contrario no podrían permanecer en la cadena productiva (Savón *et al.*, 2008).

La mayoría de los ingredientes alternativos, que se pueden utilizar para la alimentación animal son inadecuados para la alimentación humana, debido a que no cumplen con el estándar de calidad para su consumo, por lo tanto son rechazados. Este rechazo puede llegar a ser bueno para la alimentación animal; sin embargo, el uso de este tipo de ingredientes tiene sus desventajas debido a que algunas especies animales tienen limitaciones fisiológicas, que hacen necesario contar con aproximaciones nutritivas más acertadas acerca de los ingredientes a utilizarse (Smits y Sijstma, 2007; Savón, 2005).

2.2. Ingredientes alternativos

Los ingredientes alternativos son aquellos que no son utilizados tradicionalmente para la alimentación animal; considerando principalmente los subproductos de la industria agroalimentaria: cascarillas, granos secos de destilería, etc.; sin embargo, también se deben de tener en cuenta aquellos ingredientes que se encuentren disponibles localmente (frutas, verduras, etc.) (Choct, 2007; Smits y Sijtsms, 2007).

El uso de este tipo de ingredientes promueve la sustentabilidad de la producción, por medio de la reducción de la dependencia de materias primas importadas (Sarmiento *et al.*, 2005); ya que cuando se compara el costo de los insumos alternativos con los convencionales; los primeros, por lo general, son más baratos o atractivos económicamente ya que se puede

obtener beneficios económicos con su uso (Smits y Sijstra, 2007). Sin embargo, si se comparan otras características entre los ingredientes alternativos y los convencionales, se debe tener en cuenta que los primeros contienen un nivel elevado de factores antinutricionales, tiene un mayor nivel de humedad y por ende una menor cantidad de materia seca, además de contener un alto nivel de polisacáridos no amiláceos (PNA) que son limitantes importantes para la alimentación de animales monogástricos (Choct, 2007; Myer y Hall, 2001; Smits y Sijtsma, 2007).

Previo a la utilización de ingredientes alternativos, es necesario realizar una comparación del costo total (costos sombra: transporte de insumos voluminosos y con un alto contenido de humedad, manejo y almacenamiento, si se conservan o pierden propiedades nutricionales durante el almacenaje, modo de ofrecer el alimento a los animales, etc.); con el beneficio neto que se obtiene (variabilidad en la respuesta de los animales). Además de conocer el valor nutritivo y características de estos insumos para poder determinar el porcentaje de inclusión en las dietas, repercusiones en la fisiología digestiva, etc. (Smits y Sijstma, 2007; Savón, 2005).

2.2.1. Consideraciones previas al uso de ingredientes alternativos

Cuando se establece y promueve la utilización de ingredientes no convencionales en la alimentación animal, se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones previas, que van a condicionar y/o restringir la utilización de este tipo de insumos. Lo primero a considerar es que el aporte nutritivo de estas materias primas no permite cubrir con todos los requerimientos de los animales, al igual que sucede con los ingredientes utilizados convencionalmente, por lo que se deben de integrar como un componente más de la dieta. El hecho de que sean insumos de bajo costo permite tolerar algunas ineficiencias, pero no se debe de llegar al extremo de comprometer la conformación corporal o la calidad final de los productos.

Los aspectos fundamentales a considerar al incluir un ingrediente alternativo en la dieta animal son (Bauza, 2007; Myer y Hall, 2001; Adesehinwa, 2008; Savón, 2005):

- 1) Aspecto físico y calidad: conocer las características generales del alimento, así como identificar el objetivo de su utilización.

- 2) Composición nutricional y disponibilidad de los nutrientes: energía digestible (ED); energía metabolizable (EM); proteína cruda (PC); aminoácidos esenciales (AAE); fibra cruda (FC); extracto etéreo (EE); calcio (Ca); fósforo (P); sal; cenizas (Cen) y humedad (Hum).
- 3) Palatabilidad: se ve afectada por factores como el sabor natural del ingrediente, presencia de sustancias contaminantes, densidad del alimento, forma física, contenido de humedad y nivel de inclusión.
- 4) Etapa de utilización: estado fisiológico y fin zootécnico (edad, peso) de los animales; forma de administración del alimento a los animales.
- 5) Libres de factores antinutricionales: esto se refiere a que no se deberá de utilizar un insumo en la industria animal si contienen elementos como las micotoxinas o bien utilizarlos hasta que se puedan eliminar del alimento o se alcancen niveles seguros para la alimentación animal.
- 6) Manejo, procesamiento y condiciones de almacenaje: muchos de los ingredientes alternativos pueden requerir de condiciones especiales para su transporte, manejo, almacenamiento, procesamiento, mezcla y alimentación en comparación con los tradicionalmente utilizados. Estos requerimientos adicionales pueden inhibir el uso de las materias primas alternativos debido a que estos incrementarían los costos.
- 7) Disponibilidad y consistencia: por lo general, son insumos que se encuentran disponibles solo localmente y de manera limitada, por lo que la cantidad en la que se encuentre es de importancia para determinar en qué etapas y épocas del año se podrían utilizar; la consistencia en la calidad de estos productos es heterogénea.
- 8) Percibibilidad: existen diversos factores como el contenido de humedad, tipo y contenido de grasa; la forma física del ingrediente; método, manejo y tiempo de almacenamiento; nivel de inclusión en alimentos balanceados que pueden influenciar sobre la vida de anaquel y estabilidad de los nutrientes en los ingredientes.
- 9) Efecto en el producto final: los ingredientes alternativos al ser incorporados a las dietas de los animales no deberán causar daño al alimento terminal, para que no afecte el sabor del alimento y la calidad de la carne producida.

- 10) Espacio de almacenamiento: por lo general estos insumos requieren de espacios separados para su almacenamiento.
- 11) Costo: se deben de evaluar los costos adicionales al utilizar ingredientes alternativos, estos costos se generan porque este tipo de ingredientes requieren de condiciones especiales para su almacenamiento, manejo, etc.
- 12) Legalidad: que no sean ingredientes prohibidos para la alimentación animal.
- 13) Determinación del valor nutritivo del ingrediente alternativo: esto incluye evaluar y asegurarnos que el alimento aporte al menos uno de los nutrientes de mayor costo económico en las dietas elaboradas tradicionalmente, como lo son la energía, lisina y/o fósforo.

Una vez analizado el potencial de riesgo de la utilización de este tipo de ingredientes, y que se determine la idoneidad de utilizarlos para la alimentación, es necesario evaluar el tipo de insumos que se encuentran en alguna región en particular. Esta evaluación se basa en considerar el uso de ingredientes de acuerdo a sus aportes nutricionales principales. En el caso de las dietas de animales monogástricos los ingredientes alternativos, van encaminados a sustituir parcial o totalmente la inclusión de maíz/sorgo a través de la utilización de ingredientes energéticos o bien de ingredientes proteicos para sustituir la inclusión de pasta de soya en las dietas.

2.3. Ingredientes alternativos energéticos

La fracción energética en la dieta se adiciona por medio de ingredientes, que contienen una elevada cantidad de carbohidratos, en forma de almidón. Los almidones llegan a representar entre el 40 y 80 % en base seca de cereales (maíz/sorgo), tubérculos y frutas inmaduras (Aparicio *et al.*, 2005; Adesehinwa, 2008).

Al igual que en los ingredientes tradicionales, este tipo de ingredientes debe contener una elevada cantidad de almidones y aportar energía a las dietas. Para considerar su uso en la alimentación animal, se debe conocer su disponibilidad (lugar en que se produce, cantidades con las que se pueden contar para la elaboración de alimentos balanceados, y periodos/época del año de producción); que sean económicamente atractivos, es decir, que se obtenga un beneficio económico con su utilización y que sean capaces de sustituir

parcial o completamente la inclusión de maíz/sorgo en la dieta, sin provocar efectos adversos en el comportamiento productivo de los animales (Adeshinwa, 2008).

Las fuentes energéticas alternativas tienen dos orígenes. Pueden ser productos de desecho de la industria agroalimentaria, que se caracterizan por ser bajos en energía, altos en fibra y de naturaleza voluminosa, como lo son las cascarillas (Adeshinwa, 2008; Smits y Sijistra, 2007); o bien ser insumos, que contienen altos niveles de energía que han sido rechazados para el consumo humano o por la industria alimentaria, por no cumplir con los estándares mínimos de calidad y por lo tanto se podrían utilizar en la alimentación animal; ejemplos de estos ingredientes son: tubérculos como la papa, o bien algunos frutos como el plátano (Preston, 1992).

En México existe suficiente disponibilidad de tubérculos y frutos que pueden ser incluidos como ingredientes alternativos a nivel regional para la alimentación animal. Debido a lo anterior es necesario conocer la distribución agro- ecológica (clima y producciones) de nuestro país. México se divide en 3 zonas: Norte, Centro y Sur. La zona norte está dividida en dos regiones, se caracteriza por tener una región árida y semi- árida, la vegetación típica de ésta son los matorrales desérticos, praderas nativas y bosques; está conformada por los estados de Baja California Norte y Sur, Sonora y Sinaloa; y la región noreste por los estados de Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas y Durango. La zona centro se divide en dos regiones y se caracteriza por tener un clima templado sub-húmedo con lluvias estivales, dentro de la agricultura se han caracterizado por la producción de maíz, frijol, sorgo; hay una gran producción de hortalizas, frutas y flores, entre las hortalizas se destaca la producción de papa. Las entidades federativas que lo conforman son los estados de Distrito Federal, Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Morelos e Hidalgo, y la región centro occidente por los estados de Nayarit, Jalisco, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Colima, Michoacán,. La zona sur- sureste tiene regiones tropicales seca y húmeda, se caracteriza por la presencia de bosques perennes, praderas con especies introducidas y cultivos tropicales como el plátano, y está conformada por los estados de Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo (INEGI, 2011).

Para este estudio se contempló la evaluación de ingredientes energéticos, como el plátano, que se produce a lo largo de todo el año en las zonas tropicales del país y la papa, que en la región centro concentra el 30 % de la producción. A continuación se presenta información referente a las características nutritivas generales de estos insumos.

2.3.1. Plátano (*Musa cavendeshi*, var. Roatán)

El plátano (*Musa cavendeshi*), variedad Roatán (conocido como plátano tabasco), es una fuente energética alternativa para la alimentación de animales monogástricos, que puede sustituir la inclusión de maíz/sorgo en las dietas. Los frutos verdes o en estados de maduración 1 y/o2 (Figura 1), que no han sido sometidos a tratamientos de maduración previos (Laborem *et al.*, 2001); contienen una elevada cantidad de humedad y almidones; que al ser sometidos a procesos de deshidratación, se elimina el exceso de la primera y los segundos comienzan a gelatinizarse; por lo que se facilita su posible integración a la dieta en forma de harinas. A continuación se describen brevemente las características generales de los plátanos, su producción, composición y usos.

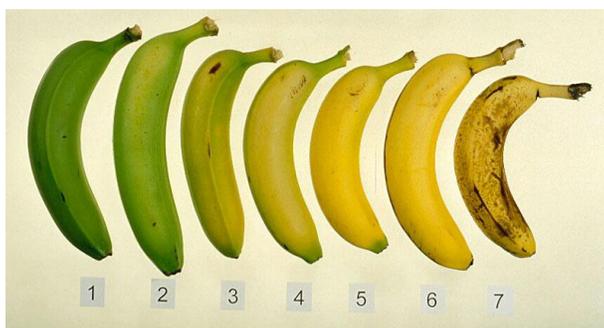


Figura 1. Fases de maduración de los frutos de plátano (Laborem *et al.*, 2001).

2.3.1.1. Generalidades

Los plátanos son frutos tropicales de origen asiático, pertenecientes al género *Musa spp* (Ly, 2004). El plátano variedad Roatán pertenece a la especie *Musa cavendishi*, su cultivo es importante para la nutrición humana, ya que es una fuente importante de carbohidratos y potasio, para 400 millones de personas que residen en países tropicales y subtropicales (Núñez, 2003).

Los plátanos (*Musa spp*) tienen características generales de frutas climatéricas, que se caracterizan por iniciar un proceso de maduración acelerado, una vez que son cortadas del

árbol (Flores-Gorosquera *et al.*, 2004). El valor nutritivo de estos frutos radica en su alto contenido de carbohidratos, por lo que se consideran fuentes energéticas tanto para la alimentación humana y animal; el inconveniente que tiene es que cerca de 2/3 partes del fruto es agua, lo que los hace voluminosos y fácilmente perecederos (Ly, 2004).

2.3.1.2. Producción en México

La producción de plátano a nivel mundial es importante, ya que es el cuarto cultivo cosechado, teniendo como antecesores únicamente al arroz, trigo y maíz. Además de ser un producto básico y de exportación, es una fuente de empleo e ingresos en muchos países en vías de desarrollo, incluyendo México. A nivel mundial representa el 12 % de las frutas cosechadas. En 2003, se estimó que la producción mundial de plátano fue de 102 millones de toneladas métricas, de las cuales el 80 % de las exportaciones para cubrir con las demandas del fruto a nivel mundial, fueron aportadas por Latinoamérica y las Islas del Caribe (Espinoza, 2008; Núñez, 2003).

En México la producción de este fruto representa el 2.7 % de los cultivos perennes (Flores-Gorosquera *et al.*, 2004), y es el de segundo en importancia económica (Ramírez-Estrada *et al.*, 2007). En el 2007, la producción anual de este fruto, fue de aproximadamente 2,159,280.000 toneladas (FAO, 2008a), de las cuales el 95 % se destinó al consumo interno y el 5% restante para la exportación.

La producción de plátano en nuestro país, se concentra principalmente en las regiones costeras y tropicales del golfo de México y Océano Pacífico (Figura 2). La región de mayor producción es la sureste (Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán), aportando un 78.6 %; seguida de la centro occidente (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán de Ocampo, Nayarit, Querétaro de Arteaga, San Luis Potosí y Zacatecas), que aporta el 20.9 % y las otras tres regiones compuestas por la región centro (Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala), noroeste (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa) y noreste (Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Tamaulipas) tienen un aporte mínimo a la producción nacional, siendo este únicamente del 0.6 % (SIAP, 2008a).

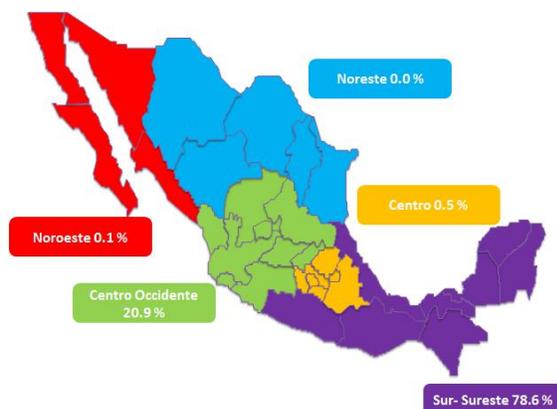


Figura 2. Regiones productoras de plátano en México.

2.3.1.3. Composición

Los plátanos son frutos que se caracterizan por tener un bajo contenido de materia seca (MS) en forma fresca; y contener un elevado porcentaje de carbohidratos amiláceos en la pulpa. En la cáscara hay otros componentes, como cenizas (Cen), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC). El peso promedio de un dedo fresco de esta fruta es de 125.7 g, de los cuales, la cáscara representa el 41.2 % y la pulpa el 58.8 % (Musa, 2009).

Cuando los frutos están recién cosechados (verdes o inmaduros), la energía depositada en ellos, se encuentra en forma de almidón, que puede llegar a representar hasta el 70 % del fruto en base seca; esta cantidad es similar a la de ciertos cereales, leguminosas y tubérculos. Conforme el fruto madura, proceso que comienza de manera rápida después de haber sido cosechado, el almidón se hidroliza a carbohidratos sencillos como sacarosa, fructosa y glucosa. El almidón en los plátanos se encuentra en forma de gránulos al interior de las células que forman la pulpa, ubicados en la parte central y a lo largo del fruto. Los gránulos de almidón se unen entre sí por medio de sustancias pécticas, que les proporcionan rigidez y textura (Ly, 2004; Bello-Pérez *et al.*, 2002; Flores-Gorosquera *et al.*, 2004; Núñez, 2003). Características adicionales de estos frutos son: pobre contenido de nitrógeno (N); la proteína es de pobre calidad biológica; y son relativamente pobres en fibras; sin embargo, son una fuente excelente de calcio, hierro, potasio, sodio magnesio y fósforo; aporta vitaminas del complejo B (B₁, B₂, B₆; ac. nicotínico, ac. pantoténico) y vitamina C (Ly, 2004; Espinoza, 2008; Núñez, 2003).

Aunado a estas características, es necesario mencionar que en los plátanos verdes, existe una importante presencia de taninos, que son factores antinutricionales de estos frutos. Estos se encuentran principalmente en la cascara de los frutos e imparten un sabor amargo a la fruta, por lo que influyen negativamente en el consumo voluntario del alimento por parte de los animales. Para neutralizar el efecto negativo de los taninos, sobre el consumo voluntario de alimento, al utilizar plátanos verdes, es suficiente con cocinar, secar o ensilar los frutos verdes (Ly, 2004).

El perfil nutritivo (Cuadro 1) del plátano verde entero es de 20.9 % MS; 4.8 % PC; 3.4 % FC; 1.9 % EE; 4.8 % cenizas y 85.1 % ELN, mientras que el perfil de la pulpa de plátano verde es de 30.1 % MS; 4.3 % PC, 0.7 % FC; 0.7 % EE, 3.3 % Cen y 91 % ELN (Ly, 2004; AFRIS, 2009).

Cuadro 1. Perfil nutritivo del plátano (Ly, 2004; AFRIS, 2009)

Nutriente	Plátano verde entero	Plátano verde sin cáscara
Humedad, %	79.1	69.9
MS, %	20.9	30.1
PC, %	4.8	4.3
FC, %	3.4	0.7
EE, %	1.9	0.7
Cenizas, %	4.8	3.3
ELN, %	85.1	91
EM, Kcal/Kg MS	3,076	3,290

MS=materia seca; PC=proteína cruda; FC=fibra cruda; EE=extracto etéreo; ELN=extracto libre de nitrógeno; EM=energía metabolizable.

2.3.1.4.Usos

Los diferentes componentes de la planta del plátano, en estado verde o maduro, tienen diversos usos en la alimentación humana y animal, y la industria no alimentaria. Las hojas se pueden utilizar para la elaboración de tamales o techos; los tallos como fuente de fibra para la alimentación animal y la cáscara para la elaboración de compostas y fibra; entre otros (Núñez, 2003).

En México, como cualquier otro país exportador de plátano, los productores de plátano independientes y las compañías transnacionales, producen una elevada cantidad de plátano de desecho; se estima que éste representa aproximadamente entre un 10 y un 30 % del total de las cosechas cada año (Núñez, 2003; Flores-Gorosquera *et al.*, 2004). Los plátanos de desecho, son aquellos frutos verdes rechazados en plantas empacadoras y comercializadoras, que se generan debido a malas prácticas de manejo poscosecha, empaque y a los estrictos estándares y requisitos de calidad (tamaño, forma, libre de daño físico, plagas, etc.) establecidos para la exportación y comercialización de estos frutos para el consumo humano (Rodríguez, 2007; Núñez, 2003; Ovando, 2008; Ly, 2004).

Los frutos rechazados generalmente se pierden y desechan en los ríos o en campos desolados, lo cual contribuye a la contaminación ambiental, o bien, se destina para el consumo humano local, alimentación animal, o usos industriales. Cuando estos plátanos son destinados para la alimentación, las plantas empacadoras por lo general regalan el producto, o bien lo ofrecen a un precio bajo (Rodríguez, 2007; Núñez, 2003; Ovando, 2008).

Cuando estos frutos de desecho se utilizan para la alimentación animal, se tiene que considerar, que se estarán manipulando grandes volúmenes, lo cual implica el manejo de una elevada cantidad de humedad. Esto representa una desventaja para el uso de estos frutos en los sitios de producción animal, ya que por lo general no se encuentran cercanos a plantas empacadoras o a los sitios de producción de plátano, por lo que se tendría que transportar una excesiva cantidad de agua a los sitios de producción. Aunado a esta desventaja, los frutos con elevado contenido de humedad tienen una vida de anaquel reducida, esto implica que se debe hacer uso inmediato al obtenerlos. Este efecto negativo del alto porcentaje de humedad, se puede contrarrestar por medio de técnicas de conservación de frutos; como lo son el secado o el ensilaje (Ly, 2004).

De manera general, se sabe que el proceso de secado se utiliza principalmente en el caso de frutos en estado inmaduro, y una vez que se ha secado el fruto, ya sea de manera solar o por medio de hornos, se somete a un proceso de molienda para obtener harina que se puede integrar en las dietas animales (Ly, 2004). Mientras que el proceso de ensilaje es más utilizado cuando se obtienen plátanos de rechazo en estado maduro; ya que si estos frutos

se sometieran al proceso de secado en hornos, no tendrían un proceso de deshidratación uniforme, y los productos se caramelizarían (Colina, 2010).

2.3.2. Papa (*Solanum tuberosum*)

Otra alternativa para que los productores puedan sustituir la inclusión de maíz/sorgo en las dietas de animales monogástricos, es el uso de la papa (*Solanum tuberosum*) de desecho como una fuente energética alternativa. A continuación se describen brevemente las características generales de la papa, su producción, composición y usos.

2.3.2.1.Generalidades

Las papas (*Solanum tuberosum*) son tubérculos pertenecientes a la familia de las solanáceas, es originaria de América del Sur; cuyo cultivo se ha expandido a todo el mundo, incluyendo México. Estos tubérculos aportan una cantidad significativa de carbohidratos para la alimentación de la población humana y se puede utilizar en la alimentación animal (Whittemore, 1977). Los tubérculos pueden tener formas y tamaños distintos, y pueden llegar a pesar hasta 300 g (FAO, 2008b).

La importancia de los cultivos de papa se pueden dividir en dos rubros: características nutritivas, ya que contiene carbohidratos, proteínas, celulosa, minerales, vitaminas A, C, D y vitaminas del complejo B (se sabe que cuando la papa ha sido cultivada bajo condiciones apropiadas de fertilizantes, suelo y humedad, esta puede tener un mayor contenido de nutrientes que los cereales); el otro aspecto de importancia es el económico, ya que es una importante fuente de ingresos para los productores y jornaleros, en especial durante el periodo de cosecha del tubérculo (Barreiro *et al.*, 1998).

2.3.2.2.Producción en México

Hasta el decenio de los 60's el cultivo de la papa en México se realizaba en zonas situadas a más de 2,000 m de altura, principalmente en las zonas volcánicas del centro de México; y en los siguientes 20 años, la producción se extendió a zonas de regadío en el norte y occidente del país (FAO, 2008b). Esto ha permitido que la producción de papa se dé en los ciclos de Otoño-Invierno y Primavera-Verano (SIAP, 2008b). En el 2007, la producción nacional de papa osciló entre las 1,600,000 - 1,700,000 toneladas (FAO, 2008a), la mayoría

de esta producción es destinada al consumo humano y una fracción pequeña a la exportación.

El cultivo de papa en nuestro país, está extendido en casi todo el territorio nacional, ya que se cultiva en 23 estados (Figura 3); cultivándose tanto en las costas como en las sierras. De estos 23 estados, el 70 % de la producción nacional se agrupa en 6 estados: Sinaloa (20 %), Chihuahua (14 %), Sonora (11 %), Nuevo León (10 %), Guanajuato (8 %), Estado de México (7 %). El 30 % restante de la producción nacional se distribuye entre Jalisco, Coahuila, Michoacán y Puebla (5%/cada uno) y Veracruz (4 %) y el resto de los estados que aportan únicamente un 6 % (Espinoza-López, 2008).



Figura 3. Estados productores de papa en México.

2.3.2.3. Composición

El contenido de nutrientes en cada 100 g de papa cruda con cáscara, es: 80 Kcal; 19 % de carbohidratos totales de los cuales, el 79 % son almidones; 2 % de proteína; 75 % de humedad; 2 % FC; 1% cenizas y menos del 0.1 % de EE (Cuadro 2). Además de que contiene una gran cantidad de vitaminas del complejo B (tiamina, riboflavina, niacina); vitamina C; y diversos minerales (calcio, magnesio, fósforo y potasio) (Espinoza, 2000; AFRIS, 2009). Aunado a esto, la papa tiene almidones de fácil digestión que la hacen una excelente fuente energética para la alimentación animal; en comparación con otras raíces y tubérculos (FAO, 2008b).

Cuadro 2. Perfil nutritivo de la papa (Espinola, 2000; AFRIS, 2009)

Nutriente	Contenido
Humedad, %	75
MS, %	25
PC, %	12.1
FC, %	3.1
EE, %	0.9
Cenizas, %	5
ELN, %	78.1
EM, Kcal	2.823

MS=materia seca; PC=proteína cruda; FC=fibra cruda; EE=extracto etéreo; ELN=extracto libre de nitrógeno; EM=energía metabolizable.

La papa tiene factores antinutricionales como la solanina, que es un glucoalcaloide, que se caracteriza por tener un sabor amargo y que puede intoxicar a los animales produciendo diarrea, vómito, etc. Las concentraciones normales de solanina en la papa son de 0.075 mg/g, pero estas pueden incrementarse cuando la papa está expuesta a la luz del sol por tiempos prolongados. El secado al sol por lo tanto, no es una opción viable para la conservación del tubérculo, sin embargo, el efecto tóxico desaparece con la cocción, la fritura y el ensilaje de la papa (Espinola, 2000; AFRIS, 2009).

2.3.2.4. Usos

Después de que las papas han sido cosechadas, se destinan a diferentes usos. La cantidad de tubérculos que son consumidos de manera fresca es menor al 50 %. El resto de la producción se puede destinar a la obtención de alimentos industriales (almidones), uso como ingredientes para animales rumiantes y monogástricos, y tubérculos para la siguiente cosecha (FAO, 2008c).

La papa al igual que el plátano tiene elevados estándares de calidad para el consumo humano, por lo tanto los productores de papa, también generan una elevada cantidad de productos de rechazo, que no se pueden comercializar., Por lo que estos productos deben ser destinados hacia las industrias procesadoras de alimento; las cuales producen un desperdicio de entre el 20 y 55 % del total del producto; estos desperdicios, por lo tanto, se pueden utilizar para la alimentación animal. Debido al bajo contenido de fibra que tienen las papas, aunado a que son ricas en almidones y proteína de alto valor biológico, estas se

destinan a la alimentación de cerdos, becerros y aves de corral principalmente (Whittemore, 1977).

La manera en que se pueden ofrecer las papas a los animales es variable; ya que se pueden dar crudas en forma de puré o partidas en cubos, secadas con calor (parcialmente o completamente cocidas), en forma de rodajas, gránulos, harinas integrales o harinas finas; desaguadas (por centrifugación o presión), cocidas (no secas), etc. (Whittemore, 1977).

2.4. Manejo y conservación de ingredientes

El plátano y la papa son ingredientes que por sus características energéticas, pueden ser utilizados para la alimentación animal, pero tienen el inconveniente de ser altamente perecibles, debido a su elevado contenido de humedad, que implica dos cosas: proporcionarlos de manera fresca inmediatamente después de su obtención, o bien someterlos a un proceso de conservación, para prolongar su vida en anaquel (Savón e Idania, 2007).

Los métodos de conservación comúnmente utilizados son el secado o el ensilaje, éstos pueden conservar la calidad y/o preservar los ingredientes durante los periodos de exceso de producción, en los que no se pueden utilizar todos al mismo tiempo (Colina, 2010; Maupoey, 2003).

2.4.1. Deshidratación/Secado de ingredientes

El secado de frutos y vegetales es el método más antiguo y efectivo utilizado para la conservación de ingredientes (Carranza y Sánchez, 2002; Colina, 2010; Martínez *et al.*, 2007). El objetivo principal de esta técnica, es la remoción de la humedad libre de las superficies y la contenida en el interior de las células, por medio de la utilización de energía solar o eléctrica, a un nivel en el que se limite el crecimiento microbiano y se inhiban las reacciones químicas dentro de los ingredientes; para prolongar la vida de anaquel del producto final (Carranza y Sánchez, 2002; Colina, 2010; Borin, 2005; Maupoey, 2003; Chávez y Avanza, 2003).

Durante el proceso de secado se presentan dos subprocesos. El primero se refiere a la transferencia de la humedad interna de los ingredientes hacia la superficie, esto depende de

la naturaleza física del producto, la temperatura de secado y el contenido de humedad. El segundo proceso es la transferencia de energía calórica del ambiente que rodea al alimento para que se pueda evaporar la humedad de la superficie; y depende de las condiciones externas de temperatura, humedad y el flujo de aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado. Estos dos procesos ocurren simultáneamente, sin embargo, cada uno puede ser una limitante para la velocidad de secado (Carranza y Sánchez, 2002; Colina, 2010).

Existen dos métodos de deshidratación a los que pueden ser sometidos los ingredientes, el secado solar o bien el secado mecánico.

2.4.1.1.Secado solar

El secado solar es el método más económico. Es una práctica utilizada en la temporada seca del año, que se lleva a cabo por medio de la utilización de deshidratadores solares, o colocando los productos en contacto directo con el sol. La desventaja de este método es que se obtienen productos heterogéneos; ya que para que se lleve a cabo un secado uniforme, se necesita que la energía solar sea lo suficientemente fuerte para generar altas temperaturas, que exista una baja humedad ambiental y una amplia disponibilidad de lugar para poder colocar los ingredientes a secar (Borin, 2005; Maupoey, 2003; Colina, 2010; Chávez y Avanza, 2003).

2.4.1.2.Secado mecánico

A diferencia del secado solar, con el secado mecánico, que utiliza aire caliente en su proceso, se obtienen productos uniformes, se consume menos tiempo, se minimizan las pérdidas de producto y se producen cambios microestructurales que afectan las características macroscópicas de los ingredientes. Esta técnica de secado es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria agrícola y alimentaria, tanto por la cantidad como por la diversidad de productos que se pueden tratar (Martínez *et al.*, 2007). Sin embargo, también presenta algunas desventajas, ya que para obtener ingredientes deshidratados de calidad, es necesario someterlos a procesos de selección y acondicionamiento previos. Dentro de los criterios de selección, se debe considerar el estado de madurez y la textura del producto, que debe ser lo suficientemente rígida para

soportar el proceso. Dentro del acondicionamiento, se debe de considerar la limpieza del alimento, eliminación de cáscara, el corte o troceado del alimento, etc. (Colina, 2010).

2.4.2. Efecto de la deshidratación sobre los ingredientes

El efecto principal de la técnica de secado sobre los ingredientes, es la variación en su volumen; dependiendo de su porosidad, se logra una reducción de volumen de entre 75 y 85 %. La ventaja de esto, es que una vez deshidratados, se pueden someter a un proceso de molienda, con lo cual ocupan menos espacio y se pueden conservar a temperatura ambiente antes de su utilización, con lo cual se incrementa la vida de anaquel (Sandoval *et al.*, 2006; Colina, 2010).

Aunado a la reducción en el volumen, el tratamiento calórico modifica la composición y disponibilidad de nutrientes en los ingredientes, ejemplos de esto son: la gelatinización de almidones, la desnaturalización de proteínas y la inactivación de algunos factores antinutricionales (Sun *et al.*, 2006).

Por lo tanto, al someter ingredientes con un alto contenido energético a procesos de deshidratación en hornos de convección a diferentes temperaturas, se facilita el rompimiento de los gránulos de almidón, lo cual favorece su digestibilidad. Para determinar el efecto que tiene el proceso de deshidratación en hornos de convección sobre los ingredientes y su porcentaje de digestibilidad, es necesario evaluar su valor nutritivo a través de análisis químicos y realizar pruebas de digestibilidad.

2.4.3. Elaboración de harinas

Una vez que los ingredientes han sido deshidratados, éstos pueden ser conservados a temperatura ambiente, debido a que se reducen los problemas relacionados con la perecibilidad; sin embargo, aún ocuparán un amplio espacio de almacenamiento y se dificulta su utilización en dietas integrales para la alimentación animal. Una opción para que ahorrar espacio y facilitar el manejo de este tipo de insumos alternativos procesados en las plantas de alimento, es la elaboración de harinas, a través de su molienda (Madrigal-Ambriz *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2006).

Las harinas de ingredientes energéticos, deshidratados por medio de hornos de convección, muestran niveles de hidrólisis bajos, es decir que son de más fácil y rápida digestión enzimática, en comparación con los insumos crudos; debido a que el tratamiento calórico rompe los gránulos de almidón, con lo que se pierde la estructura cristalina y esto facilita la acción de la α -amilasa durante el proceso de digestión (García y Pacheco, 2009).

2.5. Características de los ingredientes energéticos

El valor y aporte energético de los ingredientes en las dietas, es de gran importancia, para que los animales puedan crecer, reproducirse y para que el comportamiento productivo de éstos sea eficiente, y de esta manera se generen beneficios económicos para los productores (Harper y Forsyth, 2003).

En los animales monogástricos, los valores de energía de los ingredientes se expresan en términos de energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) o en términos de energía neta (EN). Estos valores se miden mediante determinaciones calorimétricas, ya sea en kJ o kcal. La ED y EM se derivan por lo general de ecuaciones de regresión, que se obtienen a partir del cálculo de los nutrientes digestibles a partir del sistema analítico de Weende, como lo es la proteína cruda digestible, extracto etéreo digestible, fibra cruda digestible, extracto libre de nitrógeno digestible; o simplemente se puede determinar a partir de los nutrientes en crudo (PC, EE, PC, ELN, almidón y azúcares) (Henry *et al.*, 1988).

Cuando se evalúa la calidad nutritiva de los ingredientes energéticos es de gran utilidad conocer y analizar las propiedades físico-químicas y funcionales de los almidones que contienen; éstas están determinadas tanto por la naturaleza, morfología y estructura del gránulo de almidón y esto va a influir sobre la digestibilidad y absorción en los animales (Medina y Salas, 2008).

2.5.1. Almidón

El almidón es el segundo carbohidrato más abundante en la naturaleza, antecedido únicamente por la celulosa. La cantidad de almidón que se deposita en los diferentes productos agrícolas es variable; en los cereales (maíz, trigo, arroz) se ha reportado un contenido de entre 30-80 %; en las leguminosas (frijol, chícharo, haba) el contenido varía de entre un 25-50 %; en los tubérculos (papa, yuca) el almidón se encuentra presente en un

rango entre 60-90 %; y en las frutas (plátano, mango) en estado inmaduro se alcanzan niveles de hasta el 70 % en base seca (Núñez, 2003; Espinoza, 2008).

El almidón está formado por pequeñas partículas, llamadas gránulos, que son partículas densas, insolubles y que se hidratan ligeramente en agua a temperatura ambiente. Cada gránulo de almidón está formado por una combinación de dos polímeros de glucosa: amilosa, que es un polisacárido lineal y amilopectina, que es un polisacárido ramificado. Tanto la amilosa como la amilopectina se encuentran dentro de los gránulos de almidón, en forma de regiones cristalinas y/o amorfas (Núñez, 2003; Tibble *et al.*, 2007).

La naturaleza del almidón incluyendo el rango de amilosa/amilopectina, su cristalinidad, la matriz proteica que es relativamente hidrofóbica y las paredes celulares que engloban a los gránulos amiláceos, le confieren propiedades fisicoquímicas y funcionales específicas a cada especie botánica, que tienen efectos relevantes sobre la velocidad y grado de digestión, de estas moléculas (Palma *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2006; Núñez, 2003; Tibble *et al.*, 2007; Bach *et al.*, 2006; Garzón, 2006).

La digestión de los almidones se lleva a cabo principalmente en el intestino delgado, tanto en los humanos como en los animales, por la acción combinada de α -amilasa y glucoamilasas, que los hidrolizan a glucosas libres, que son rápidamente absorbidas como fuente de energía; pero ciertas fracciones del almidón pueden escapar la digestión enzimática y, por lo tanto, fermentarse en el ciego (Sun *et al.*, 2006). Las variaciones en la digestibilidad de los almidones, pueden afectar el valor de energía que aportan a las dietas, razón por la cual es importante conocer las propiedades de los almidones de acuerdo a la fuente vegetal de la que provengan (Zelenka y Ceresnakova, 2005; Bach *et al.*, 2006).

2.5.1.1. Composición de los gránulos de almidón

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares que son la amilosa (20-30 %) y la amilopectina (70-80 %), que contienen regiones cristalinas y amorfas en capas alternadas. El contenido de cada uno de los polímeros en los gránulos de almidón, son los que le confieren diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales (Prieto *et al.*, 2009; Espinoza, 2008).

La amilosa y amilopectina (Figura 4) son polímeros constituidos de unidades de α -D-glucosa (Fanelli, 2002).

- La amilosa es un polímero lineal de residuos de D-glucosas unidas por enlaces α -1,4; su grado de polimerización va de 500 a 2000 unidades de glucosas por molécula, el conteniendo promedio es de 1,000 moléculas. Cada 180-320 unidades de glucosa, existen ramificaciones unidas por enlaces α -1,6, debido a que las ramificaciones son tan espaciadas, las propiedades físicas de este polímero son las de una molécula lineal (Fanelli, 2002; Núñez, 2003).
- La amilopectina es un polímero ramificado, constituido por unidades de D-glucosa unidos por enlaces α -1,4, que se diferencia de la amilosa por el grado de polimerización y ramificaciones presentes. Este polímero presenta ramificaciones cada 20-30 glucosas con enlaces α -1,6, lo cual constituye del 5-6 % de la molécula. El grado de polimerización varía de 10^4 a 10^5 moléculas de glucosa (Núñez, 2003; Fanelli, 2002; Espinoza, 2008).

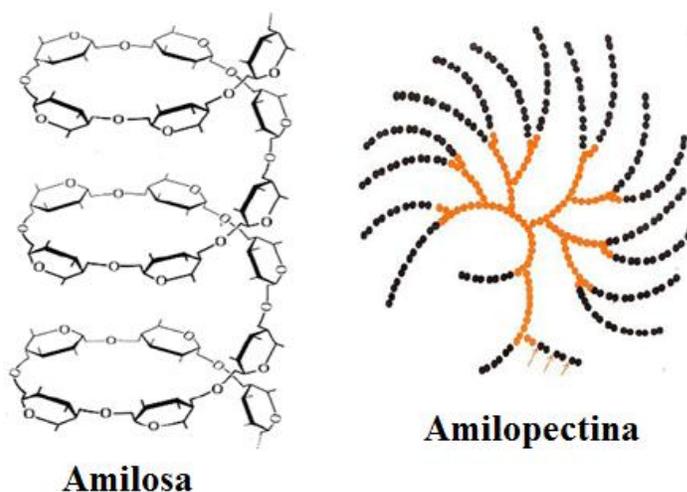


Figura 4. Estructura química de la amilosa y amilopectina (Badui, 2001).

2.5.1.2. Gránulos de almidón

Los gránulos de almidón son esferocristales formados por capas concéntricas o anillos de crecimiento. En cada una de las capas, las moléculas de amilosa y amilopectina están entremezcladas y dispuestas de manera radial. Cuando las cadenas de estos dos polímeros se unen a través de puentes de hidrogeno se forman micelas, que se denominan áreas

cristalinas, que son las responsables de mantener al gránulo unido y permiten que se lleve a cabo el proceso de hinchamiento de la molécula, cuando es sometida a proceso térmico en suspensión acuosa, en lugar de que se rompa el gránulo por completo. Mientras que las cadenas de amilosa que no interactúan con otras, permanece amorfa en el gránulo (Fanelli, 2002; Espinoza, 2008; Guízar, 2009).

Una de las maneras en las que se pueden clasificar los gránulos de almidón es de acuerdo a su tamaño; éste puede variar desde 0.6 a 100 μm dependiendo de la especie botánica, por lo tanto hay gránulos grandes ($> 25 \mu\text{m}$, papa), medianos (10-25 μm , maíz), pequeños (5-10 μm , arroz) y muy pequeños ($< 5 \mu\text{m}$, amaranto). El tamaño de los gránulos de almidón influye sobre la capacidad de absorción de agua y grado de solubilidad, esto a su vez influye sobre su digestibilidad. De manera general se puede decir que los gránulos pequeños se digieren a mayor velocidad que los grandes, debido a que tienen una mayor solubilidad y capacidad de absorción de agua (Prieto *et al.*, 2009; Palma *et al.*, 2010; Weurding *et al.*, 2001).

Los gránulos de almidón del plátano y la papa son grandes (Figura 5). Los gránulos del plátano tiene un tamaño de 15-45 μm y tienen formas irregulares, esferoides y alogadas; mientras que los de la papa tienen un tamaño de $> 25 \mu\text{m}$ y son de forma ovalada y con superficie lisa (Espinoza, 2008; Prieto *et al.*, 2009; Jane *et al.*, 1994).

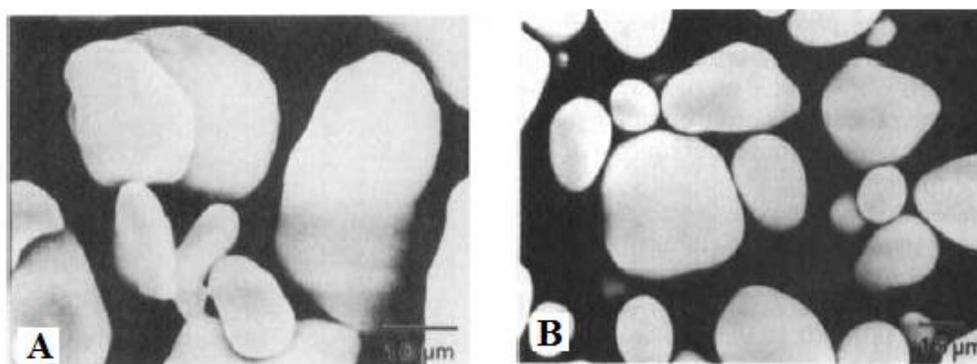


Figura 5. Gránulos de plátano (A) y papa (B) (Jane *et al.*, 1994).

2.5.1.3. Clasificación de almidones

Los almidones se clasifican de manera general en nativos o almidones modificados.

- Los almidones nativos son aquellos almidones que no han sufrido ninguna modificación, se caracterizan por ser cristalinos y son digeridos en menor grado (Montes *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2005; Wiseman, 2006).
- Los almidones modificados son aquellos, a los que por medio de tratamientos químicos, físicos y enzimáticos se les cambia la estructura nativa. Por medio de estos métodos, se modifican las propiedades funcionales de absorción, viscosidad y solubilidad en agua, al cambiar la estructura cristalina a estructuras amorfas. Cuando se utilizan tratamientos térmicos para modificar los almidones, por lo general se desnaturalizan a los inhibidores de α -amilasa, con lo cual se favorece la digestión (Montes *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2005; Wiseman, 2006).

2.5.2. Propiedades fisicoquímicas de los almidones

La funcionalidad de los almidones depende de la relación amilosa/amilopectina, tamaño, forma y tipo de cristales que tiene los gránulos de almidón, estas características afectan la viscosidad, capacidad de absorción e índice de solubilidad en agua de las harinas, que a la vez afectan los índices de digestibilidad de los ingredientes (Montes *et al.*, 2008).

Las propiedades funcionales que tienen los almidones se pueden estudiar por medio de técnicas de laboratorio en las que se determina el nivel de gelatinización de los ingredientes, la capacidad que tengan para formar pastas, entre otras.

2.5.2.1. Gelatinización

La gelatinización se define como la transición de fase de un estado ordenado a un estado desordenado, que se lleva a cabo durante el calentamiento (50-70°C) de los gránulos de almidón en presencia de agua. La transición implica que se pierda la cristalinidad, debido a que los gránulos se hinchan al absorber agua, que ocasiona que estos adquieran una forma amorfa. Las condiciones necesarias para que se lleve a cabo la gelatinización de los gránulos de almidón, son: la presencia almidón en el alimento + agua en el medio + calor. La intensidad o grado de gelatinización de los ingredientes va a depender de la temperatura

en la que se encuentren y el contenido de humedad (Rodríguez *et al.*, 2006; Fanelli, 2002; Svihus *et al.*, 2005; Guízar, 2009; Amaya y Bello-Pérez, 2010).

La gelatinización (Figura 6), es un proceso endotérmico que corresponde a la disociación de las moléculas de almidón y es un fenómeno irreversible. Al principio del proceso aumenta el tamaño del gránulo y se produce un incremento en la viscosidad de la suspensión. El hinchamiento inicial del almidón, se lleva a cabo en las regiones amorfas del gránulo, donde los polímeros son más susceptibles a la disociación, por lo que cuando se debilita la estructura, los gránulos se embeben en agua y se hinchan. Durante cierto proceso del hinchamiento, las regiones cristalinas son irreversiblemente rotas y es cuando comienza el proceso de gelatinización. Los enlaces de hidrógeno de la amilosa son los responsables de la absorción de agua y de la formación de geles después de la gelatinización. Los gránulos hinchados ocupan los espacios vacíos dentro del almidón. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, esto tiene como resultado que quede en dispersión coloidal, en la cual los gránulos intactos se encuentran en suspensión. Además de que los gránulos se implosionan, quedando los gránulos con una apariencia de “globo desinflado”. (Rodríguez *et al.*, 2006; Fanelli, 2002; Svihus *et al.*, 2005; Amaya y Bello-Pérez, 2010; Prieto *et al.*, 2009; Espinoza, 2008). De manera general se sabe que los gránulos de mayor tamaño son menos compactos que los pequeños, por lo que se hidratan antes que los segundos (Fanelli, 2002; Herrera, 2003).

La temperatura de gelatinización de los gránulos de almidón comienza entre los 60-70 °C, dependiendo de las características específicas de cada almidón. Un indicador del comienzo de la gelatinización puede ser la pérdida de la birrefringencia, ya que esta ocurre al hinchamiento del gránulo. Una mayor temperatura de gelatinización en los almidones nativos, refleja una mayor estabilidad interna de los gránulos, esto normalmente está asociado a una mayor presencia de zonas semicristalinas y un mayor contenido de amilosa. La temperatura de gelatinización en raíces y tubérculos es menor que la de los cereales, debido a que el gránulo absorbe rápidamente agua como consecuencia del debilitamiento entre las fuerzas de atracción de las moléculas (amilosa/amilopectina), fenómeno que se encuentra asociado a una menor presencia de amilosa y a una mayor presencia de regiones cristalinas dentro del gránulo que requieren menos temperatura del calentamiento. La

uniformidad de la temperatura es de especial importancia durante el cocimiento del almidón en condiciones limitadas de agua, debido a que los gránulos de almidón que se cuecen primero absorben el agua de sus alrededores, limitando la disponibilidad de agua a los demás gránulos, esto obliga a que se tenga que aumentar la temperatura bajo estas condiciones para que se pueda completar el proceso, para disminuir las diferencias en el grado de cocción (Fanelli, 2002; Alvis *et al.*, 2008; Herrera, 2003; Svilhus *et al.*, 2005).

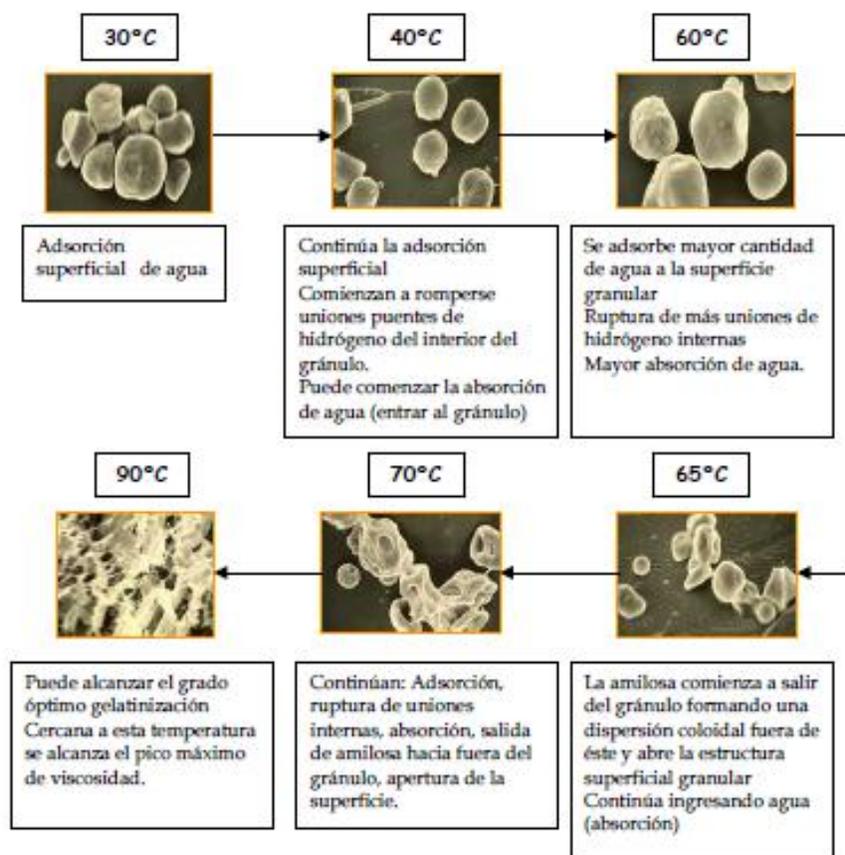


Figura 6. Evolución de proceso de gelatinización de los gránulos de almidón de maíz (Fanelli, 2002).

La gelatinización de los gránulos de almidón a nivel de nutrición y alimentación animal está relacionada con el grado de digestibilidad que tengan los ingredientes energéticos, ya que existe una relación directamente proporcional, es decir, a mayor grado de gelatinización existe una mayor probabilidad de digestión, de ahí la importancia de conocer el grado de gelatinización que tienen los ingredientes. Esto se debe a que con la

gelatinización se incrementa la degradación amilolítica debido a la pérdida de la estructura cristalina de los gránulos, con lo que se incrementa el área de superficie de los almidones, Holm *et al* (1988) encontraron una correlación de 0.96 entre el grado de gelatinización y el porcentaje de digestibilidad, esto indica que existe una relación cercana a la linealidad para almidones puros (Svilhus *et al.*, 2005; Fanelli, 2002).

2.5.2.1.1. Perfiles amilográficos

La formación de pastas de almidón engloba diversos procesos: hinchamiento de los gránulos, lixiviación de amilosa y la desintegración del gránulo (Espinoza, 2008); este proceso se ve afectado por la concentración de almidón, la velocidad de calentamiento, contenido de amilosa, estructura molecular de la amilopectina, tamaño de gránulo y contenido de componentes minoritarios (proteínas, lípidos, etc.) (Espinoza, 2008).

Una manera de estudiar los cambios de la estructura granular de los almidones son los perfiles amilográficos, que se miden con instrumentos llamados viscoamilógrafo de Barbender y analizadores rápidos de viscosidad (ARV) (Espinoza, 2008; Prieto *et al*, 2009; Núñez, 2003).

Durante la primera etapa del proceso, se calienta la muestra a una temperatura inicial de 50 °C hasta cerca de los 95°C, durante este calentamiento la pasta incrementa su viscosidad hasta llegar a su pico, este incremento de la viscosidad se debe al hinchamiento de los gránulos al absorber agua durante la etapa de calentamiento, en este proceso se rompen los puentes de hidrogeno de las áreas amorfas, ocasionando que el gránulo se hinche progresivamente a medida que se va hidratando y modifique su orden estructural, irreversiblemente al gelatinizarse. Terminada la fase de calentamiento continua la fase de mantenimiento, en la cual la pasta formada previamente, es mantenida a una temperatura de 95 °C y agitación constante, en esta fase la pasta comienza a perder la viscosidad, lo que ocasiona que está disminuya como consecuencia de la ruptura de los gránulos hinchados. Con la fragmentación de los gránulos, algunas moléculas de amilosa son exudadas y se solubilizan en el medio. Finalmente, se da la fase de enfriamiento, en la cual la temperatura baja de 95 a 50 °C; durante este proceso, la viscosidad se vuelve a incrementar ligeramente, debida a la retrogradación de la pasta, en la cual las moléculas solubilizadas de amilosa se

reagrupan y se precipitan o se gelifican dependiendo de la concentración de amilosa en el medio. Si la concentración es baja se precipitan y si son altas se gelifican (Espinoza, 2008; Núñez, 2003).

Las características que se estudian con los perfiles amilográficos (Figura 7) son (Núñez, 2003; Espinoza; 2008; Rodríguez *et al*, 2006):

- a) Viscosidad máxima (V max): es la viscosidad máxima alcanzada por la suspensión durante el ciclo de calentamiento.
- b) Viscosidad mantenimiento (Trough): es el pico máximo de viscosidad que se alcanza durante la etapa de mantenimiento (5 min a 95°C), es decir, después de que se dio la gelatinización de la muestra.
- c) Inestabilidad del gel (Inest.gel): es la diferencia de viscosidad entre la viscosidad máxima y la viscosidad de mantenimiento; por lo tanto muestra cuanto disminuye la viscosidad durante la etapa de mantenimiento.
- d) Viscosidad final (V final): es la viscosidad que se obtiene al final de la etapa de enfriamiento.
- e) Índice de gelificación (Ind. gel): es la diferencia de viscosidad entre la viscosidad final y la de mantenimiento; por lo tanto indica el aumento de viscosidad que se da durante la retrogradación.
- f) Temperatura de gelatinización (T gel): es la temperatura a la que comienza el aumento en la viscosidad.
- g) Facilidad de cocción (F. cocción): es el tiempo en que la suspensión alcanza la viscosidad máxima.

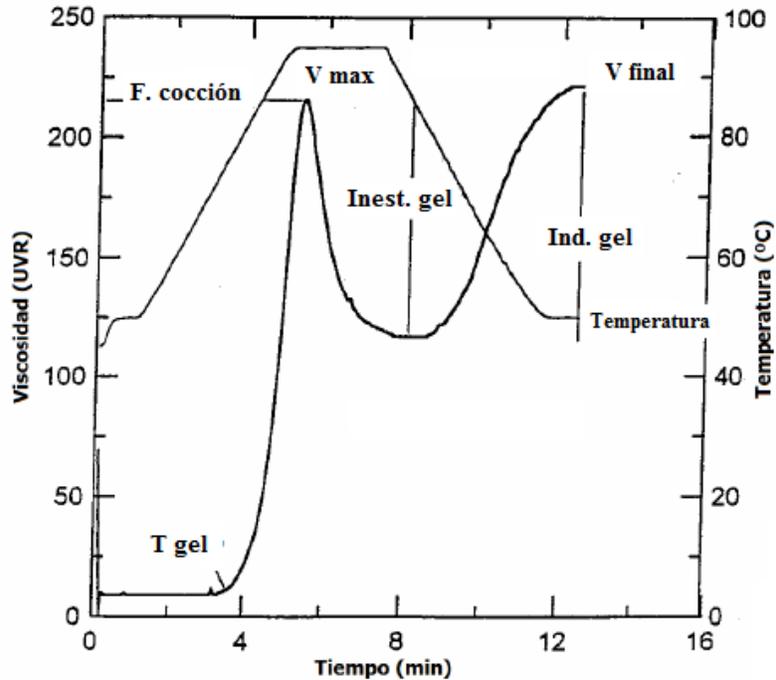


Figura 7. Perfil amilográfico obtenido con un analizador rápido de viscosidad (Zhou *et al.*, 1998).

2.5.2.2. Retrogradación

Después del proceso de gelatinización, cuando se deja de introducir calor al sistema y el ingrediente comienza a enfriarse, existe un incremento espontáneo del estado del orden de los almidones, en el que se reorganizan los puentes de hidrógeno y se reorientan las cadenas moleculares, ya que los fragmentos insolubles del almidón se reasocian con los polímeros solubles, esto hace que incremente la viscosidad y se formen estructuras de gel, a este proceso se le conoce como retrogradación (Rodríguez *et al.*, 2006; Amaya y Bello-Pérez, 2010; Fanelli, 2002).

La retrogradación depende del contenido de agua (superior a los 200 g/Kg) y, es un proceso lento que por lo general requiere de varios días para desarrollarse; sin embargo, si la temperatura durante el almacenamiento es alta, no influye la cantidad de humedad contenida en los ingredientes. La importancia del almidón retrogradado a nivel de nutrición radica en el hecho de que los ingredientes que contengan una elevada cantidad de almidón retrogradado serán menos digestibles (Svilhus *et al.*, 2005).

2.5.3. Modificaciones de los almidones

Las modificaciones de los almidones nativos dependen del fin para el que se vayan a destinar. Los métodos por los cuales se pueden modificar las propiedades de los almidones nativos son físicos, químicos y/o enzimáticos (Montes *et al.*, 2008).

En el caso de los ingredientes, si estos se van a destinar para el consumo animal o humano, por lo general se utilizan los métodos físicos de modificación de almidones. Dentro de estos se utilizan los tratamientos hidrotérmicos (Figura 8), en los cuales el almidón es calentado a una temperatura por encima del punto de gelatinización con una insuficiente cantidad de humedad, lo que produce ingredientes precocidos, o bien se utilizan tratamientos de pregelatinizado en los cuales los gránulos de almidón son dispersados en agua fría, estos se producen por medio del uso de secadores de tambor o bien por el proceso de extrusión. Una vez concluido el tratamiento hidrotérmico, los almidones se vuelven a reordenar y dependiendo de la velocidad de enfriamiento y el contenido de humedad de los ingredientes, los almidones finales serán amorfos o bien retrogradados. Estas técnicas modifican las propiedades funcionales de viscosidad, absorción y solubilidad en agua de los almidones, y esto puede favorecer o perjudicar los procesos de digestión (Martínez-Bustos; 2005; Bach *et al.*, 2006).

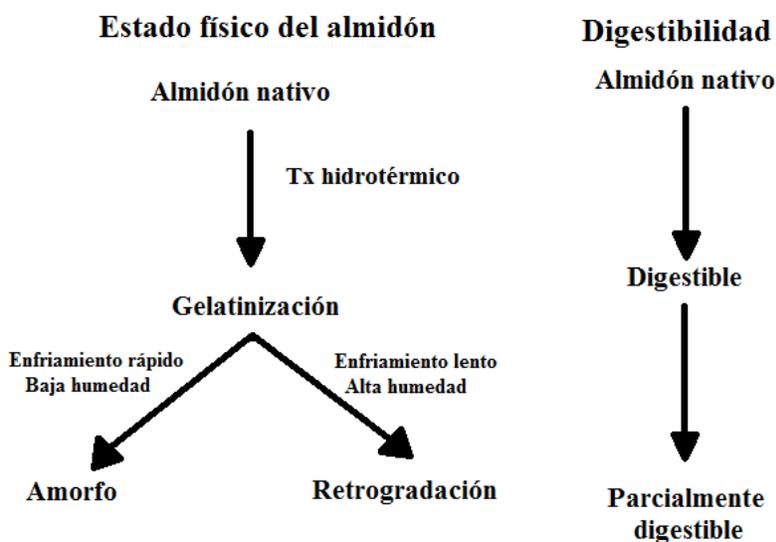


Figura 8. Estado físico del almidón en relación a la digestibilidad (Bach *et al.*, 2006)

2.6.Evaluación nutritiva de los ingredientes

La evaluación y determinación del valor y calidad nutritiva de los ingredientes utilizados para la formulación de dietas de animales monogástricos, es importante debido a que los costos de alimentación representan del 70 y 80 % de los costos totales de producción (Akinmutimi *et al.*, 2006), por lo tanto tienen un importante impacto sobre la rentabilidad de las empresas pecuarias (Borin, 2005).

Al evaluar la calidad de los ingredientes alternativos, es importante reconocer que algunos de estos pueden tener propiedades negativas (bajo contenido de MS, elevado contenido de fibra, bajo valor biológico de la proteína, tipo y cantidad de factores antinutricionales, etc.) que van a limitar la cantidad en que se puede incorporar efectivamente en la dieta de los animales (Harper y Forsyth, 2003; (Borin, 2005).

Los factores antinutricionales, no únicamente interfieren con el aprovechamiento de nutrientes, pueden ocasionar pérdidas de proteína endógena y daños al animal que los consume, entre otros. Los más comunes, son: los compuestos fenólicos (taninos, fitoestrógeno y cumarinas), toxinas nitrogenadas (alcaloides, glucósidos cianogénicos, glucosinolatos, aminoácidos tóxicos, lectinas e inhibidores de proteasas); terpenos (lactosas sequiterpénicas, glicósidos cardiotónicos, saponinas), hidrocarburos poliacetilénicos, oxalatos y fitatos. Existen diferentes métodos para inactivarlos, entre los que se incluyen: remojado en agua, selección de ingredientes, suplementación con aminoácidos, tratamientos químicos (álcalis, ácidos y solventes), tratamientos enzimáticos, tratamientos físicos, ruptura mecánica (molienda, descascarado, pulverización, granulación, picado), extrusión, calor húmedo o seco, presión, radiaciones, procesos de germinación y fermentación, cruzamiento y manipulación genética (Savón e Idania, 2007). Los taninos presentes en las cáscaras de los plátanos verdes son el principal factor antinutricional de estos frutos, y se puede inactivar por medio de tratamientos térmicos de secado o por medio de la maduración del fruto (Ly, 2004), y las solaninas presentes en las papas se pueden inactivar por medio de la cocción de los productos (Espinola, 2000).

La evaluación del valor y calidad nutritiva de un ingrediente, se basa en el conocimiento de su composición bromatológica, requerimientos nutricionales de los animales a los que se va

a destinar su consumo, la disponibilidad, el costo, etc. (San Miguel, 2006; Henry *et al.*, 1988).

2.6.1. Composición bromatológica

Los ingredientes se evalúan de acuerdo a la cantidad y calidad de nutrientes que van a aportar a la dieta, esto se determina por medio del análisis químicos proximal, en el que se determina la humedad (Hum), materia seca (MS), proteína cruda (N*6.25) (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), cenizas (Cen), y contenido de elementos libres de nitrógeno (ELN), con los que se puede estimar a partir de los nutrimentos digestibles totales (NDT) la cantidad de energía que van a aportar los ingredientes (Simins y van Kempen, 1998).

La determinación de la composición de los ingredientes por medio de los análisis bromatológicos, se lleva a cabo con base en técnicas analíticas, por medio de las cuales se estiman y valoran los principios nutritivos de los ingredientes, los cuales son representativos de los principios inmediatos de los ingredientes (Cuadro 3). En la actualidad cuando se realiza el análisis bromatológico, también conocido como análisis químico proximal, que sigue el esquema de Weende (San Miguel, 2006).

Cuadro 3. Correspondencia de los principios inmediatos y nutritivos en los ingredientes, según el esquema de Weende (adaptado de San Miguel, 2006).

Principio inmediato	Principio nutritivo	Observaciones
Agua	Humedad (Hum)	105°C, en general sobre peso fresco
Minerales	Cenizas (Cen)	550°C (horno)
Lípidos	Extracto etéreo (EE)	Soluble en éter de petróleo a 40-60°C
Proteínas	Proteína cruda (PC)	Kjeldahl (N total, no sólo protéico)
Hidratos de carbono	Fibra cruda (FC)	No incluye almidón ni azúcares solubles
Otros compuestos orgánicos	Extracto libre de Nitrógeno (ELN)	Incluye almidón y azúcares solubles

2.6.2. Valor potencial de los ingredientes

El valor potencial de un alimento para suplementar un nutriente en específico en la dieta, se puede determinar por medio de análisis químicos, sin embargo, el valor real/actual solo se

puede alcanzar después de permitir que el alimento pase por los procesos de digestión, absorción y metabolismo en los animales. Por lo tanto, se han desarrollado métodos por medio de los cuales se puede estimar la digestibilidad de los nutrientes en los animales. Existen dos métodos para determinar la digestibilidad: *in vitro* e *in vivo* por medio de metodologías directas o el método indirecto (Borin, 2005).

2.7. Digestibilidad de los ingredientes

Las mediciones de la digestibilidad por lo general se reportan como digestibilidad aparente. La digestibilidad *in vitro*, se estima por medio de procedimientos químicos que intentan imitar el proceso de digestión, es decir, es una aproximación de laboratorio del proceso real de la digestión. La digestibilidad *in vivo* utiliza un número reducido de animales para poder realizar la colección total de heces (San Miguel, 2006); sin embargo, estos métodos resultan costosos en cuanto al tiempo, la mano de obra calificada, la cantidad de alimento y el número de análisis químicos que se deben mandar analizar; sin embargo, poseen menos posibilidades de error en relación a los métodos alternos (Gutiérrez, 2000). Si bien existen otros métodos de evaluación, como los ensayos y pruebas de comportamiento productivo (Borin, 2005), la mayoría de los investigadores utiliza como método de evaluación de ingredientes la digestibilidad *in vivo* directa.

El coeficiente de la digestibilidad aparente de la materia seca provee un índice de la digestibilidad general del alimento en la dieta. Sin embargo, se obtiene una imagen más clara con los coeficientes de digestibilidad de cada uno de los nutrientes dentro de los ingredientes (PC, EE, FC, Cen, ELN) (Adesehinwa, 2008).

El coeficiente de digestibilidad representa por ende el porcentaje de un determinado alimento que después de ser consumido no es eliminado en forma de heces (Borin, 2008):

$$\% \text{ Digestibilidad aparente} = \frac{(\text{consumo de alimento, g} - \text{excreción fecal, g})}{\text{consumo de alimento, g}} * 100$$

Los valores de la digestibilidad son aparentes ya que no incluyen mediciones ni correcciones de los aportes metabólicos y endógenos como enzimas, hormonas, metabolitos y células de descamación. Cuando dichos valores son corregidos se obtiene la digestibilidad

verdadera, que suele expresarse en base seca, haciendo referencia a los principios nutritivos obtenidos a partir del esquema analítico de Weende (Cuadro 3).

Los nutrientes que no son digeridos en el intestino delgado, son la fracción indigestible (FI) de los ingredientes. La FI al pasar al colon, sirve como sustrato para la microflora colónica, entre los compuestos que forman a esta fracción de los ingredientes, está la fibra dietética, almidones resistentes, polifenoles, etc. Esta fracción a su vez se divide en soluble (FIS) e insoluble (FII). La FII engloba al almidón resistente, la fibra insoluble, proteína resistente, taninos condensados, lignina y minerales; mientras que la fracción soluble (FIS) está constituida por fibra soluble, oligosacáridos, entre otros (Ovando, 2008).

2.7.1. Digestibilidad de la fracción energética

La digestibilidad de los carbohidratos es de manera general alta. En el caso de los carbohidratos simples como el almidón, se aproxima al 100%, aunque, en el caso de los complejos, como la celulosa, es casi nula en animales monogástricos (San Miguel, 2006), se lleva a cabo dentro del TGI por la acción de enzimas endógenas y microbianas; sin embargo, los productos finales de estas enzimas tiene diferente valor para los animales (glucosa y ácidos grasos volátiles, respectivamente). Por lo tanto, la variabilidad de la digestibilidad de los almidones al final del intestino delgado tiene influencia sobre el valor nutritivo de cada alimento (Bach *et al.*, 2006).

La digestión de los carbohidratos en el TGI y su biodisponibilidad, van a influenciar la velocidad y cantidad de almidón que se puede digerir en el intestino delgado, esto es importante ya que estas características van a controlar la cantidad de glucosa e insulina en sangre (Ovando, 2008).

La digestión tanto *in vitro* como *in vivo* de los gránulos de almidón, es afectada por diferentes factores como (Mora-Escobedo *et al.*, 2009; Ovando, 2008; Hua y Bureau, 2009; Svihus *et al.*, 2005):

- Macroestructura y propiedades fisicoquímicas de los ingredientes (gránulos de almidón intracelular, matriz de almidón, etc.).

- Estructura y propiedades fisicoquímicas de los gránulos de almidón (tamaño, relación amilosa/amilopectina, grado y tipo de cristalinidad, longitud de la cadena de amilosa, grado de asociación entre los componentes del almidón) que varían dependiendo del origen botánico del almidón.
 - El tamaño de la partícula de almidón, tiene un papel importante para la hidrólisis, ya que un tamaño de partícula grande, tienen un área de superficie menor, lo cual hace que los gránulos resistan la digestión enzimática.
 - La estructura cristalina y el ordenamiento de la fase amorfa afectan la susceptibilidad enzimática de los gránulos de almidón, la diferencia de ésta radica en la conformación de las dobles hélices y el contenido de agua de las moléculas.
- Presencia de otros componentes como fibra, lípidos, factores antinutricionales (inhibidores de α -amilasa), condiciones de procesamiento, como tratamientos hidrotérmicos para gelatinizar el almidón. La interacción del almidón con otros compuestos del alimento, como la fibra, proteína, etc., puede modificar la difusión y absorción de enzimas como amilasa.

El proceso de digestión de los gránulos de almidón es complejo, está constituido de diferentes fases, como: la difusión de la enzima hacia el sustrato que depende de la porosidad de los gránulos, absorción de la enzima al material amiláceo y el evento hidrolítico. La digestión ocurre a lo largo de canales que se forman en la superficie del gránulo y se extienden hacia el centro de los gránulos, lo que resulta en la desintegración del centro antes de que se digiera la periferia (Ovando, 2008; Svihus *et al.*, 2005).

En los animales monogástricos y humanos, la digestión del almidón y ingredientes energéticos, se lleva a cabo por medio de enzimas digestivas amilolíticas que lo hidrolizan. El proceso de digestión comienza en la boca con la secreción de ptialina (α -amilasa salival, que es secretada por las glándulas parótidas y submandibulares) que tiene la capacidad de hidrolizar al almidón en disacáridos y oligosacáridos. La acción de esta enzima es dependiente de pH, teniendo una óptima acción en un pH de 6.9 y debido a que el tiempo de permanencia del alimento en esta cavidad es reducido, la acción de esta enzima es

limitada, por lo que los almidones prácticamente intactos continúan su paso a través del TGI (Ovando, 2008; Svihus *et al.*, 2005; Bach *et al.*, 2006).

Una vez que el almidón llega al estómago, la actividad de la ptilina es interrumpida, debido a que el pH estomacal es ácido (pH 2-4) y la inactiva, después pasa al intestino delgado, en donde se libera jugo pancreático que es producido por el páncreas y desemboca en el duodeno; éste eleva el pH a niveles de 5-6 en el duodeno. Además de modificar el pH pancreático, las secreciones endógenas aseguran una dilución del alimento a niveles de 0.10 en cerdos y de 0.15-0.20 en pollos, esto es de importancia, debido a que esto permite que la solución polar del medio, penetre las partículas de alimento y se asegure el anclaje de las moléculas de almidón e inicia la actividad de la α -amilasa pancreática (Ovando, 2008; Svihus *et al.*, 2005; Bach *et al.*, 2006).

La α -amilasa pancreática (Figura 9) va a hidrolizar los enlaces α -1,4, por lo que los productos finales generales de la digestión de la α -amilasa son: maltosas, maltotriosas y α -dextrinas limitantes. Los productos de digestión de la amilosa son glucosas, maltosas y maltotriosas; mientras que los de la amilopectina son glucosas, maltotriosa, maltosas y α -dextrinas. Los residuos de digestión del almidón producidos por la acción de la α -amilasa, difunden del lumen intestinal hacia el borde de cepillo, sobre los cuales van a actuar enzimas oligosacaridasas de superficie (α -dextrinasas y glucoamilasas). Las glucoamilasas (amiloglucoosidasa, maltasa-glucoamilasa) son capaces de remover residuos de glucosas con enlaces α -1,4, de los extremos no reductores. Las α -dextrinasas son las enzimas capaces de romper la terminal no reductora de los sacáridos, que tiene enlaces α -1,6; cuando estos enlaces han quedado expuestos por la acción de las otras enzimas (Ovando, 2008; Svihus *et al.*, 2005; Bach *et al.*, 2006).

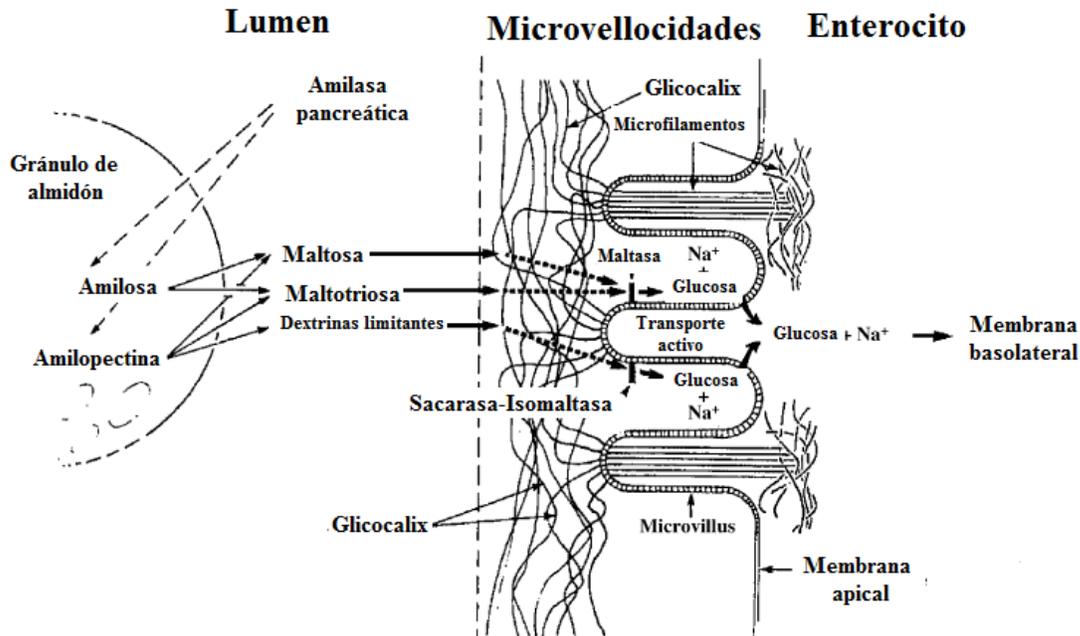


Figura 9. Esquema de la digestión de almidones (Adaptado de Bach *et al.*, 2006).

Una vez concluida la acción hidrolítica de estas enzimas, se obtienen glucosas. Las glucosas que se encuentran en el borde de cepillo (Figura 9), son absorbidas por los enterocitos y transportadas al torrente sanguíneo, utilizando la vía de la vena porta hacia hígado. La absorción de la glucosa en los enterocitos se hace por medio de transportadores específicos, estos transportadores son glicoproteínas integradas al borde de cepillo, que se encuentran únicamente en el intestino delgado y que tienen una alta afinidad por monosacáridos. La energía que se requiere para que las glucosas sean introducidas a los enterocitos, es proporcionada por la ATPasa de Na-K; la cual bombea Na intracelular hacia la membrana basolateral. Una vez dentro del enterocito las glucosas difunden de las superficie basolateral hacia los capilares y de ahí hacia la vena porta (Ovando, 2008; Svihus *et al.*, 2005; Bach *et al.*, 2006).

El hígado es el responsable de mantener los niveles de glucosa en la sangre; además de que la almacena en forma de glucógeno cuando el organismo se encuentra en un balance energético positivo, y utiliza este como fuente de energía, cuando el balance energético es negativo (Ovando, 2008; Svihus *et al.*, 2005).

Existen métodos por medio de los cuales se puede mejorar la digestibilidad de los ingredientes energéticos, para que haya una mayor disponibilidad de sustrato para la penetración de agua y la acción de la α -amilasa. En nutrición animal se utilizan principalmente métodos físicos como lo son el rompimiento, molienda o rolado; o bien tratamientos hidrotérmicos, como la peletización de ingredientes, expansión o extrusión. Los tratamientos hidrotérmicos modifican la forma física de los almidones (Figura 8), cambiando la estructura cristalina a una de gel, con lo que se incrementa el área de superficie, y se promueve la entrada e interacción del granulo con las α -amilasas, sin embargo, el enfriamiento de los ingredientes que han sido modificados por tratamientos hidrotérmicos, provoca la retrogradación del estado físico del polisacárido, que es suficiente para reducir la digestibilidad del alimento (Bach *et al.*, 2006).

La biodisponibilidad de los carbohidratos va a afectar las funciones de la digestión, utilización y efectos biológicos de los mismos en el organismo. Los carbohidratos que son digeridos por enzimas amilolíticas y absorbidos en el intestino delgado, en forma de glucosa, se consideran glucémicos y son disponibles para el metabolismo, como fuente de energía participando en las rutas metabólicas anabólicas. El almidón es considerado un carbohidrato glucémico, contribuyendo con el 60-70 % del total de carbohidratos digeribles. Los carbohidratos no glucémicos son aquellos que llegan al ciego como sustrato para la fermentación, en los que los productos finales que se obtienen después de este proceso son ácidos grasos volátiles. Los almidones que escapan la digestión enzimática en el intestino delgado reciben el nombre de almidón resistente (AR), que fisiológicamente se comporta como fibra. Los almidones que no son absorbidos en ninguna zona del TGI, son excretados en las heces y se pueden definir como carbohidratos no biodisponibles (Mora *et al.*, 2009; Ovando, 2008; Tibble *et al.*, 2007; Wiseman, 2006).

Los ingredientes energéticos que contienen azúcares libres, almidón gelatinizado y que son fácilmente dispersables son digeridos y absorbidos a mayor velocidad, en comparación con aquellos ingredientes en los que se restringe el acceso de las enzimas digestivas al almidón, ya que en estos se liberan los carbohidratos lentamente y esto prolonga el proceso de digestión (Ovando, 2008; Hua y Bureau, 2009).

2.7.2. Digestibilidad de la fracción energética en aves

El almidón al ser la fuente principal de energía en las dietas de pollos y aves en general, puede afectar el valor energético de la dieta, debido a las variaciones en su digestibilidad. El TGI de las aves representa la primera barrera para el metabolismo de nutrientes, así como la estructura de los ingredientes afectan su digestibilidad. Dentro de la alimentación de las aves, es necesario considerar la fibra dietética, ya que esta tiene una influencia significativa sobre el tiempo de tránsito, con una reducción en la parte superior del tracto y un incremento en la parte baja del tracto, con una consecuente disminución de la digestibilidad de casi todos los nutrientes y energía (Borin, 2005; Carré, 2004).

La digestibilidad de la fracción energética de los ingredientes en las aves, se lleva a cabo con el mismo proceso que se describió en el apartado anterior 2.7.1., con algunas excepciones, en esta especie no se secreta α -amilasa salival, por lo que la α -amilasa pancreática es la enzima principal para la digestión adecuada del almidón. De manera general, se considera que las aves pueden digerir los almidones casi en su totalidad, esto es debido a que la actividad de la α -amilasa, maltasas e isomaltasas comienza a los 18 días de incubación de los embriones y alcanza los niveles de actividad máxima a los 4 días de eclosionados. El transporte activo de Na es activo a los 2 días de la eclosión. Por lo anterior, se sabe que los pollos tienen un elevado potencial para la digestión de almidones, ya que se encuentran adaptados desde edades tempranas a este proceso (Carré, 2004; Wiseman, 2006). Sin embargo, algunos almidones nativos de semillas de leguminosas o tubérculos presentan una digestibilidad baja, que se puede explicar en parte por el bajo potencial que tienen los pollos para completar la digestión del almidón, por medio de la fermentación en el ciego. Ya que solamente los líquidos y partículas muy pequeñas pueden penetrar el ciego, como lo son fracciones solubles o gránulos libres de almidón; sin embargo, se espera que una cantidad considerable de gránulos libres no penetren el ciego (Carré, 2004).

En los pollos el 65% de los almidones ingeridos es digerido hacia el final del duodeno; el 85% es digerido hacia el final del yeyuno y cuándo se alcanza el íleon terminal el 97% de los almidones ingeridos ya ha sido digerido (Zelenka y Ceresnakova, 2005).

Las pruebas de digestibilidad de la fracción energética de los ingredientes en las aves, es complicado, debido a que las heces son mixtas (orina y heces). Por lo tanto una de las alternativas que se tiene para determinar adecuadamente la cantidad de ED o EM de los ingredientes, es por medio de la separación del N presente en las heces, determinando el ácido úrico en las heces se obtiene el N úrico y el N fecal se expresa en forma de proteína verdadera (Borin, 2005, Henry *et al.*, 1988).

En la nutrición de aves no se utiliza el término de ED. Para la determinación de la EM en las aves, es necesario estandarizar el nivel de retención de N, para una utilización óptima de N, para un determinado modo de retención de N o para un balance 0 de N. En las aves es común corregir la EM, sobre la base de N equilibrado (EM_n), en el caso de corrección a 0 retención de N, se resta 8.22 Kcal por g de ácido úrico, con lo cual se puede corregir las diferencias entre el N retenido en las aves. Sin embargo, para los ingredientes ricos en N estas estimaciones están subestimadas y para los ingredientes pobres sobreestimadas; por lo tanto una corrección sobre la base de 0.33 de retención del N digerido o bien de 0.25 de retención del N consumido, sería más realista (Henry *et al.*, 1988).

3. Justificación

La alimentación de animales monogástricos en los países en vías de desarrollo se ha basado en la utilización de ingredientes que tradicionalmente se importan de los países desarrollados; tales como la combinación de cereales (maíz/sorgo) y pastas de oleaginosas (soya). Esta situación ha originado una dependencia en los países en vías de desarrollo para la adquisición de estos insumos, lo que ha ocasionado que los pequeños y medianos productores pierdan competitividad ante los grandes productores cuando los costos de estos alimentos se incrementan.

Una opción viable para que los pequeños y medianos productores no tengan que salir de la cadena productiva en momentos de “crisis” en los precios de los cereales y las oleaginosas, es que se promuevan sistemas de alimentación alternativos. Éstos deben de ser sustentables a través de la utilización de recursos alimenticios disponibles localmente que aporten nutrientes con los cuales se puede sustituir la inclusión de ingredientes tradicionales en las dietas. Los resultados que se han obtenido con la inclusión de insumos alternativos en las dietas de aves, cerdos y conejos no son muy abundantes, adicionalmente, estos estudios han estado encaminados a la sustitución parcial de los cereales en experimentos de comportamiento productivo, en los cuales no se ha estudiado detalladamente el valor nutritivo y caracterización de los ingredientes, las interacciones de los nutrientes y sus efectos sobre los procesos digestivos y la fisiología animal.

En México, se cuenta con ingredientes alternativos con un elevado potencial y características energéticas que pueden ser utilizados en la alimentación animal, como el plátano verde y la papa, que pueden sustituir la inclusión de maíz y/o sorgo en las dietas. Este trabajo es un estudio que intenta explicar los posibles beneficios y/o desventajas que tiene el proceso de deshidratación a diferentes temperaturas, en horno de convección, sobre las características nutritivas de estos ingredientes y el porcentaje de digestibilidad de la fracción energética en gallos adultos. Con la finalidad de poder utilizar el plátano y la papa como fuentes energéticas en la formulación de alimentos para animales monogástricos.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

El objetivo del presente estudio fue evaluar el valor nutritivo de las harinas de plátano y harinas de papa deshidratadas a 4 diferentes temperaturas (55, 70, 80 y 90°C), en un horno de convección, sobre la digestibilidad de los nutrientes en gallos adultos.

4.1.1 Objetivos específicos

1. Evaluar la calidad nutritiva de cada una de las harinas, mediante análisis de laboratorio.
2. Determinar la digestibilidad *in vivo* en gallos adultos, de la energía metabolizable aparente y verdadera de harinas de plátano con cáscara y de harinas de papa deshidratadas a las diferentes temperaturas.

5. Hipótesis

El valor nutritivo de la harina de plátano y de la harina de papa, así como la digestibilidad de la energía metabolizable, es suficiente para poder sustituir parcialmente la inclusión de maíz y/o sorgo en la dieta de los animales monogástricos, para al menos una de las temperaturas de deshidratación (55, 70, 80 y 90 °C) utilizadas en la preparación de las harinas.

6. Material y Métodos

La evaluación de las harinas de plátano y de las harinas de papa como fuentes energéticas alternativas para la alimentación animal, se llevó a cabo en tres fases; la primera fue la elaboración de las harinas précocidas. La segunda, consistió en la evaluación química de las harinas y la tercera, consistió en una prueba de digestibilidad de la energía metabolizable de cada una de las harinas en gallos adultos.

6.1. Elaboración de harinas de plátano y de harinas de papa (Figura 10).



Figura 10. Elaboración de harinas de plátano (A) y de harinas de papa (B).

Selección de la materia prima. El plátano (*Musa cavendeshi*) variedad Roatán y la papa (*Solanum tuberosum*), seleccionados para la elaboración de las harinas fueron productos de desecho. En el caso del plátano se seleccionaron frutos verdes en estado de maduración 1 (Figura 1), y en el caso de las papas se seleccionaron tubérculos con algún grado de daño físico.

Preparación. Los ingredientes antes de ser sometidos al proceso de deshidratación fueron pesados de manera individual (cada fruto de plátano y cada una de las papas) en una báscula analítica digital (Ohaus AS 200), para determinar la cantidad de materia fresca que se introducía y a continuación fueron partidos de la siguiente manera:

- El plátano con todo y la cáscara se partió en 4 fracciones del mismo tamaño, quedando fracciones de aproximadamente 10 cm de longitud x 2 cm de profundidad.
- La papa con cáscara se cortó en tiras de un grosor aproximado de 1 cm.

Los ingredientes partidos se colocaron sobre charolas de aluminio inoxidable perforadas, llenando la base de las mismas, para que solo quedara expuesta la superficie de los ingredientes a la corriente del aire de secado.

Dehidratación de los ingredientes. Una vez colocados los ingredientes sobre las charolas, éstas fueron sometidas al proceso de deshidratación en un horno de convección (Yakomoto 900 YKN ®). Las temperaturas empleadas para la deshidratación de los ingredientes fue de 55, 70, 80 y 90 °C. Se utilizaron diferentes temperaturas de deshidratación para determinar en cual se conservaban mejor las características nutritivas de los ingredientes, además de determinar si alguna de estas temperaturas favorecería el proceso de gelatinización de los almidones, lo cual a su vez mejoraría la digestibilidad de estos ingredientes. Los ingredientes estuvieron dentro del horno de convección hasta el momento en que se vieran deshidratados, lo cual se determinó por medio de apreciaciones físicas del producto, observándose si aún había rastros de humedad en los ingredientes y pudieran ser molidos. Una vez concluido el proceso de deshidratación, se pesaron los frutos y los tubérculos con el fin de determinar el porcentaje de materia seca obtenida.

Elaboración de la harina. Los ingredientes deshidratados se sometieron a un proceso de molienda, utilizando un molino manual, obteniéndose un total de 8 harinas (4 harinas de plátano con cáscara y 4 harinas de papa). Las harinas se conservaron en condiciones de temperatura y humedad ambiente, almacenándolas en bolsas herméticas de polipropileno. Estas harinas fueron utilizadas para los análisis de laboratorio y la prueba de digestibilidad en los gallos adultos.

6.2. Análisis de laboratorio de las harinas.

Selección de muestras. Se tomaron muestras de 100 g de cada una de las harinas elaboradas, las cuales fueron previamente homogenizadas y se colocaron dentro de bolsas herméticas.

Análisis de laboratorio. Los análisis de laboratorio se realizaron en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ-UNAM y las pruebas de las propiedades fisicoquímicas de las harinas se realizaron en el Laboratorio de Materiales del CINVESTAV-Juriquilla, Qro.

Los análisis químicos realizados fueron:

- Análisis químico proximal siguiendo la metodología del AOAC (1990), materia seca (MS) método 934.01; proteína cruda (PC) método 976.05; extracto etéreo (EE) método 920.39; fibra cruda (FC) método 978.10; cenizas (Cen) método 942.05 y extracto libre de nitrógeno (ELN) método 974.06.
- Determinación de energía bruta (EB) por medio de calorimetría en una bomba calorimétrica (Parr 1341).

Las propiedades fisicoquímicas de las harinas se estudiaron mediante:

- Capacidad de absorción (CAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) se determinó siguiendo la metodología de Anderson *et al.* (1969)
- Con algunas modificaciones, estos datos se pueden utilizar como indicativos del grado de modificación de los almidones que han sido sometidos a tratamientos termomecánicos (deshidratación con calor y molienda). Para llevar a cabo la prueba se tomaron 2.5 g de la harina, que se colocaron dentro de tubos de centrífuga de 50 ml previamente pesados, ésta se suspendió en 30 ml de agua destilada. La suspensión se matuvo a 30 °C por 30 min, con agitación intermitente. Pasado este tiempo se centrifugaron los tubos en una centrifuga Hermle UI7306/52 Z200A a 3000 rpm durante 10 min. El sobrenadante se decantó y se secó en una estufa a 110 °C por 24 h, y el residuo de los tubos se pesó.

La capacidad de absorción de agua (CAA) se expresó como la relación entre el peso del residuo centrifugado y el peso seco de la muestra, a la cual se le restó el peso del residuo de evaporación del sobrenadante.

$$CAA = \frac{\text{Peso del residuo del centrifugado (g)}}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso del residuo del sobrenadante (g)}}$$

El índice de solubilidad en agua (ISA), se expresó como la relación entre el residuo que se evaporó y el peso seco de la muestra.

$$ISA (\%) = \frac{\text{Peso del residuo de la evaporación (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} * 100$$

- Perfil amilográfico (Rodríguez *et al.*, 2006), a cada una de las harinas se les determinó la viscosidad utilizando el Rapid Visco Analyser 3C (Newport Scientific; PTY LYT; Sydney, Australia), para lo cual se prepararon muestras de 4 g de harina que se suspendieron en 24 ml de agua destilada, y se sometieron a un programa de tiempos y temperaturas de: un minuto a 50 °C, después se llevaron a 92 °C con incrementos de temperatura de 5.6 °C por minuto (7.5 min) manteniéndose a esta temperatura durante 5 minutos y después se fue disminuyendo la temperatura hasta 50 °C a la misma velocidad y permaneciendo a esa temperatura por 1 minuto, sumando un tiempo total de 22 minutos. Durante el desarrollo de la prueba se registra en una computadora automáticamente, la viscosidad en Unidades Relativas de Viscosidad (RVU) y la temperatura (°C) de la muestra contra el tiempo (min) transcurrido en la prueba. Lo cual da como resultado una curva de viscosidad (gelatinización- retrogradación) llamada viscoamilograma.

Con la curva de viscosidad se calculó la temperatura inicial de gelatinización, viscosidad inicial, pico de viscosidad máxima, temperatura de viscosidad máxima y viscosidad de retrogradación.

Análisis estadístico. Los resultados de los análisis químicos y de las propiedades fisicoquímicas de las harinas se realizaron por triplicado. Para determinar el efecto de la temperatura de deshidratación sobre las características nutritivas de los ingredientes se realizó un análisis de varianza para un diseño completamente al azar y las diferencias entre medias mediante la prueba de Tukey, utilizando el programa estadístico SPSS 17.0, y un nivel de significancia de $P < 0.05$.

6.3. Prueba de digestibilidad en gallos adultos (Figura 11).



Figura 11. Prueba de digestibilidad en gallos adultos.

Animales. La prueba de digestibilidad *in vivo* de las harinas de plátano con cáscara y papa, se realizó con 12 gallos adultos de la línea genética Ross-308, de 40 semanas de edad, para cada ingrediente y variedad de presentación; los cuales se asignaron aleatoriamente a 4 grupos (3 gallos/grupo) en los cuales se probaron cada una de las harinas experimentales (plátano con cáscara y papa), con las 4 temperaturas de secado (55, 70, 80 y 90 °C). Los animales se alojaron individualmente dentro de 12 jaulas metálicas (40 x 75 x 60 cm, ancho x alto x profundidad) provistas con un comedero de canaleta y un bebedero de chupón. Cada grupo de gallos sirvió como una unidad experimental.

Preparación del ingrediente para medir digestibilidad. Las harinas utilizadas para la prueba de digestibilidad fueron obtenidas durante la primera fase del estudio, y fueron mantenidas en bolsas de plástico herméticamente cerradas, bajo condiciones de temperatura y humedad ambiente hasta el momento de su utilización. Al momento de comenzar la prueba de digestibilidad, se mezclaron 30 g de cada una de las harinas con 100 ml de agua para formar papillas homogéneas que se dieron por medio de alimentación precisa a los gallos, siguiendo la metodología de Douglas *et al.*, (1997).

Prueba de digestibilidad. Al principio de la prueba, todos los gallos fueron sometidos a un periodo de ayuno de 24 horas, una vez pasado este periodo se intubaron con un tubo tygon que fue insertado dentro del esófago hasta llegar al buche de cada uno de los animales, para alimentarlos de manera precisa. Las papillas fueron introducidas dentro de jeringas, que se adaptaron al tubo para alimentar a los gallos. A las 48 h se recolectaron muestras de heces (Douglas *et al.*, 1997). Las heces se sometieron a un proceso de deshidratación en un horno de convección durante 48h a 60°C (King *et al.*, 1997). La duración de la prueba de digestibilidad fue de 1 semana por alimento y temperatura de deshidratación evaluada en los gallos, después del cual se permitió que los animales tuvieran un periodo de recuperación de 1 semana, durante la cual los animales fueron alimentados con una dieta de mantenimiento. La duración total de la prueba de digestibilidad fue de 8 semanas para cada una de las presentaciones (plátano con cáscara y papa). Al final del periodo todos los gallos fueron sometidos a un periodo de ayuno de 48 h para medir las pérdidas de energía y nitrógeno por ayuno, para lo cual también se recolectaron las heces. Los animales se distribuyeron de acuerdo a un diseño experimental de cuadrado latino, para asegurar que cada grupo de gallos consumiera una vez cada una de las harinas elaboradas.

Análisis de heces y determinación de digestibilidad energética de las harinas: las muestras de heces fueron sometidas a un proceso de deshidratación en un horno de convección a 60°C durante 48 h y fueron sometidas a las mismas pruebas de laboratorio utilizadas para la determinación del valor nutricional de los ingredientes.

En los gallos cuyas heces están mezcladas con orina y materiales de digestión, la determinación de los valores de digestibilidad aparente, energía metabolizable aparente (EMA), requiere que se utilicen fórmulas de corrección para balance de nitrógeno nulo, en las cuales se utiliza un factor de corrección de 8.22 cal/g de N, que es el valor energético del ácido úrico por g de N, con lo cual se pueden comparar los valores. Esto es debido a que el N que está retenido en los tejidos se puede catabolizar y ceder energía en los productos excretados durante la pérdida de energía durante el ayuno. Por lo tanto, para el cálculo de la energía metabolizable aparente corregida a balance de N nulo (EMA_n), energía metabolizable verdadera (EMV) y energía metabolizable verdadera corregida a balance de N nulo (EMV_n), se utilizan las siguientes formulas (King *et al.*, 1997).

$$EMA_{\text{alimento}} (kcal/g) = \frac{(\text{consumo de alimento, } g \times EB_{\text{alimento}}) - (\text{Heces, } g \times EB_{\text{heces}})}{\text{Consumo de alimento, } g}$$

$$EMA_n \left(\frac{kcal}{g} \right) = EMA - \left(\frac{8.22 \times NRA}{\text{Consumo de alimento, } g} \right)$$

$$EMV = EMA + \left(\frac{EPA}{\text{Consumo de alimento, } g} \right)$$

$$EMV_n = EMV - \left(\frac{8.22 \times NRA}{\text{Consumo de alimento, } g} \right) - \left(\frac{8.22 \times NPA}{\text{Consumo alimento, } g} \right)$$

Dónde:

- EB_{alimento} = energía bruta del alimento
- EB_{heces} = energía bruta en las heces
- NRA = N retenido aparente
- EPA = energía perdida durante el ayuno
- NPA = N perdido durante el ayuno

Diseño y análisis estadístico: Los 12 gallos que se utilizaron para la prueba de digestibilidad, se dividieron en 4 grupos (3 gallos/grupo). Cada grupo de gallos representaban a una unidad experimental, y se les asignó de manera aleatoria cada uno de los tratamientos (temperaturas de deshidratación, 55, 70, 80 y 90 °C) a lo largo de 4 semanas experimentales, quedando distribuidos de acuerdo a un diseño de cuadrado latino (Figura 12).

Plátano con cáscara	Unidad experimental, gallos				Papa	Unidad experimental, gallos			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Semana 1	55 °C	80 °C	90 °C	70 °C	Semana 1	70 °C	55 °C	90 °C	80 °C
Semana 2	90 °C	70 °C	55 °C	80 °C	Semana 2	80 °C	70 °C	55 °C	90 °C
Semana 3	80 °C	90 °C	70 °C	55 °C	Semana 3	90 °C	80 °C	70 °C	55 °C
Semana 4	70 °C	55 °C	80 °C	90 °C	Semana 4	55 °C	90 °C	80 °C	70 °C

Figura 12. Asignación de tratamientos a las unidades experimentales durante la prueba de digestibilidad.

El modelo del cuadrado latino es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \rho_i + \gamma_j + \tau_k + e_{ij}$$
$$i, j, k = 1, 2, 3, 4$$

Donde:

- y_{ij} =
*digestibilidad energética de las harinas de plátano y papa, con l –
ésima temperatura de deshidratación y j –ésimo grupo de gallos;*
- μ = *media general de digestibilidad de cada harina*
- ρ_i = *efecto de la i –ésima semana sobre la digestibilidad ($1 \leq i \leq 4$)*
- γ_j = *efecto del j –ésimo grupo de animales ($1 \leq j \leq 4$)*
- τ_k = *efecto del k –ésimo tratamiento de deshidratación ($1 \leq k \leq 4$)*
- e_{ij} = *error experimental*

Los resultados de la digestibilidad energética de las harinas se analizaron con el paquete estadístico SPSS 17.0, utilizando un nivel de significancia de $P < 0.05$.

7. Resultados

7.1. Elaboración de harinas

El tiempo de deshidratación de los ingredientes y su posterior molienda, para la elaboración de las harinas de plátano con cáscara y papa, estuvo relacionado con las temperaturas de secado establecidas (Cuadro 4) en el horno de convección, observándose una relación inversamente proporcional, en la que a mayor temperatura era menor el tiempo en el que las materias primas presentaron condiciones óptimas para su molido. Las harinas de plátano se deshidrataron en 38.5, 27, 18.5 y 16.5 horas a 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente; mientras que las harinas de papa se deshidrataron en un menor tiempo: 23, 12, 10 y 9.5 horas para las siguientes temperaturas: 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente.

Cuadro 4. Tiempos de secado para los ingredientes.

Temperatura de secado, °C	Tiempo de secado, h
Plátano con cáscara 55 °C	38.5
Plátano con cáscara 70 °C	27
Plátano con cáscara 80 °C	18.5
Plátano con cáscara 90 °C	16.5
Papa 55 °C	23
Papa 70 °C	12
Papa 80 °C	10
Papa 90 °C	9.5

El rendimiento de los plátanos verdes frescos con cáscara y las papas frescas (Cuadro 5) sometidos al proceso de deshidratación en el horno de convección y su posterior molienda para la elaboración de harinas que fueron utilizadas para analizar el perfil nutritivo de estas materias primas y la prueba de digestibilidad en gallos adultos, no se vio afectada por la temperatura de secado empleada. La cantidad de plátanos verdes frescos sometidos a éste proceso fue de 12.73, 12.66, 12.07 y 12.25 kg para producir harinas deshidratadas a 55, 70, 80 y 90 °C; obteniéndose un rendimiento (MS, % obtenida) promedio de 20.97, 21.58, 20.98 y 21.19 %; respectivamente. Las papas frescas que se deshidrataron y posteriormente se sometieron a molienda, fue de 10.82, 10.07, 10.52 y 10.50 kg en base húmeda (BH), y se

obtuvieron rendimientos promedio de 24.62, 24.06, 24.94 y 24.27 %, para las temperaturas de 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente.

Cuadro 5. Rendimiento de los ingredientes.

	<i>BH, Kg</i>	<i>MS, Kg</i>	<i>% MS</i>
Plátano con cáscara 55°C	12.73	2.67	20.97
Plátano con cáscara 70°C	12.66	2.73	21.58
Plátano con cáscara 80°C	12.07	2.53	20.98
Plátano con cáscara 90°C	12.25	2.59	21.19
Papa 55°C	10.82	2.66	24.62
Papa 70°C	10.07	2.42	24.06
Papa 80°C	10.52	2.62	24.94
Papa 90°C	10.50	2.55	24.27

BH=base húmeda; MS=materia seca

7.2. Análisis de laboratorio de las harinas

El análisis químico proximal de las 4 harinas de plátano con cáscara en base seca (Cuadro 6), obtenidas por medio de la deshidratación de los ingredientes frescos a 55, 70, 80 y 90 °C en el horno de convección, muestran que existió un efecto de las temperaturas de secado sobre el perfil nutritivo final de las harinas. El contenido de materia seca (MS, %) presentó diferencias estadísticas siendo mayor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 80°C (95.72 % \pm 0.08), seguido de las harinas deshidratadas a 90 °C (94.91 % \pm 0.24) y 55 °C (94.13 % \pm 0.25); el menor nivel de MS se observó en la harina deshidratada a 70 °C (93.89 % \pm 0.24). El contenido de proteína cruda (PC (N*6.25, %)) también se vio afectado por la temperatura de deshidratación empleada, el menor contenido ($P < 0.05$) se observó en la harina elaborada a 70 °C (4.73 % \pm 0.11) y fue similar para las harinas deshidratadas a 55, 90 y 80 °C (5.47 % \pm 0.11; 5.47 % \pm 0.10 y 5.75 % \pm 0.22, respectivamente). La cantidad de extracto etéreo (EE, %) fue mayor ($P < 0.05$) para la harina elaborada a 55 °C (1.67 % \pm 0.04), seguido de la harina elaborada a 70 °C (1.53 % \pm 0.04) y fue similar para las harinas deshidratadas a 80 y 90 °C (1.42 % \pm 0.07; 1.36 % \pm 0.04, respectivamente). El porcentaje de cenizas (Cen) en las harinas fue diferente ($P < 0.05$) siendo menor el contenido en la harina deshidratada a 90 °C (4.84 % \pm 0.10), intermedia para la harina deshidratada a 80 °C (5.27 % \pm 0.41) y mayor para las harinas deshidratadas a 55 y 70 °C (5.72 % \pm 0.05 y 5.71

% \pm 0.06, respectivamente). La cantidad de fibra cruda (FC, %) también mostró diferencias estadísticas ($P < 0.05$) siendo menor para la harina elaborada a 70 °C (1.67 % \pm 0.25), seguida de las harinas elaboradas a 80 y 90 °C (1.99 % \pm 0.23 y 1.90 % \pm 0.03, respectivamente) y fue mayor para la harina deshidratada a 55 °C (2.57 % \pm 0.14). La cantidad de extracto libre de nitrógeno (ELN, %) mostró diferencias estadísticas ($P < 0.05$) siendo menor la cantidad para la harina deshidratada a 55 °C (84.58 % \pm 0.15) y similar para las harinas deshidratadas a 70, 80 y 90 °C (86.36 % \pm 0.13; 85.58 % \pm 0.31 y 86.42 % \pm 0.08, respectivamente). La cantidad de energía bruta (EB, kcal/g MS) contenida en las harinas presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) siendo menor para la harina deshidratada a 80 °C (4.23 kcal/g \pm 0.06), teniendo valores intermedios para las harinas deshidratadas a 55 y 70 °C (4.61 kcal/g \pm 0.06 y 4.70 kcal/g \pm 0.13, respectivamente) y siendo mayor para la harina elaborada a 90 °C (4.85 kcal/g \pm 0.16).

Cuadro 6. Análisis químico proximal de las harinas de plátano con cáscara deshidratadas a diferentes temperaturas (°C).

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
MS, %	94.13 ^{bc} \pm 0.25	93.89 ^a \pm 0.24	95.72 ^c \pm 0.08	94.91 ^{bc} \pm 0.24	0.001
Hum, %	5.87 ^{bc} \pm 0.25	6.10 ^a \pm 0.24	4.28 ^c \pm 0.08	5.09 ^{bc} \pm 0.24	0.001
PC (N*6.25), %	5.47 ^b \pm 0.11	4.73 ^a \pm 0.11	5.75 ^b \pm 0.22	5.47 ^b \pm 0.10	0.002
EE, %	1.67 ^b \pm 0.04	1.53 ^{ab} \pm 0.04	1.42 ^a \pm 0.07	1.36 ^a \pm 0.04	0.004
Cen, %	5.72 ^b \pm 0.05	5.71 ^b \pm 0.06	5.27 ^{ab} \pm 0.41	4.84 ^a \pm 0.10	0.08
FC, %	2.57 ^b \pm 0.14	1.67 ^a \pm 0.25	1.99 ^{ab} \pm 0.23	1.90 ^{ab} \pm 0.03	0.028
ELN, %	84.58 ^a \pm 0.15	86.36 ^b \pm 0.13	85.58 ^b \pm 0.31	86.42 ^b \pm 0.08	0.001
EB, kcal/ g MS	4.61 ^{ab} \pm 0.12	4.70 ^{ab} \pm 0.13	4.23 ^a \pm 0.06	4.85 ^b \pm 0.16	0.023

*Media \pm EEM

^{a-c} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas $P < 0.05$ -

MS=materia seca; Hum=humedad; PC=proteína cruda; EE=extracto etéreo; Cen=cenizas; FC=fibra cruda; ELN=extracto libre de nitrógeno; EB=energía bruta

El análisis químico proximal de las 4 harinas de papa en base seca (Cuadro 7), obtenidas por medio de la deshidratación de los tubérculos frescos a 55, 70, 80 y 90 °C en el horno de convección, muestran que existió un efecto de las temperaturas de secado sobre el perfil nutritivo final de las harinas. El contenido de MS (%) presentó diferencias estadísticas siendo menor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 70°C (90.83 % \pm 0.22), siendo similar para las harinas deshidratadas a 55, 80 y 90 °C (92.46 % \pm 0.48; 92.16 % \pm 0.13 y 92.39 % \pm 0.06, respectivamente). El contenido de PC (N*6.25, %) fue menor ($P < 0.05$) para los tubérculos deshidratados a 90 °C (8.04 % \pm 0.65), para los que se deshidrataron a 80 °C el valor final de PC fue intermedio (8.41 % \pm 0.13) y fue mayor para las harinas

deshidratadas a 55 y 70 °C (9.53 % ± 0.04; 9.74 % ± 0.05, respectivamente). No se observaron diferencias estadísticas (P > 0.05) para el contenido de EE, Cen y FC en las harinas de papa deshidratadas a diferentes temperaturas. La cantidad de ELN (%) mostró diferencias estadísticas (P < 0.05) siendo menor la cantidad para las harinas deshidratadas a 55 °C y 70 °C (82.45 % ± 0.30 y 82.85 % ± 0.23, respectivamente) y mayor para las harinas deshidratadas a 80 y 90 °C (83.89 % ± 0.12 y 84.46 % ± 0.29, respectivamente). La cantidad de EB (kcal/g) contenida en las harinas presentó diferencias estadísticas (P < 0.05) siendo menor para la harina deshidratada a 55 °C (4.32 kcal/g ± 0.07), y similar para las harinas deshidratadas a 70, 80 y 90 °C (4.91 kcal/g ± 0.11; 4.87 kcal/g ± 0.08 y 4.85 kcal/g ± 0.16, respectivamente).

Cuadro 7. Análisis químico proximal de las harinas de papa deshidratadas a diferentes temperaturas (°C).

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
MS, %	92.46 ^a ± 0.48	90.83 ^b ± 0.22	92.16 ^a ± 0.13	92.39 ^a ± 0.20	0.006
Hum, %	7.54 ^{ab} ± 0.48	9.17 ^b ± 0.22	7.84 ^a ± 0.13	7.61 ^{ab} ± 0.20	0.020
PC (N*6.25), %	9.53 ^b ± 0.04	9.74 ^b ± 0.05	8.41 ^{ab} ± 0.30	8.04 ^a ± 0.65	0.014
EE, %	0.54 ± 0.07	0.47 ± 0.03	0.47 ± 0.03	0.58 ± 0.03	0.235
Cen, %	6.12 ± 0.39	5.48 ± 0.17	5.77 ± 0.29	5.54 ± 0.24	0.410
FC, %	1.36 ± 0.09	1.65 ± 0.08	1.46 ± 0.05	1.39 ± 0.04	0.081
ELN, %	82.45 ^a ± 0.30	82.85 ^a ± 0.23	83.89 ^b ± 0.12	84.46 ^b ± 0.29	0.001
EB, kcal/ g MS	4.32 ^a ± 0.07	4.91 ^b ± 0.11	4.87 ^b ± 0.08	4.85 ^b ± 0.16	0.010

* Media ± EEM

^{a-b} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas P < 0.05-

MS=materia seca; Hum=humedad; PC=proteína cruda; EE=extracto etéreo; Cen=cenizas; FC=fibra cruda; ELN=extracto libre de nitrógeno; EB=energía bruta -

La capacidad de absorción de agua (CAA, %) y el índice de solubilidad en agua (ISA, %) de manera general se vieron afectadas por la temperatura de deshidratación utilizada para la elaboración de las harinas de plátano con cáscara y papa (Cuadro 8). De manera específica se pudo observar que la CAA no se vio afectada por la temperatura de deshidratación en el caso de las harinas de plátano; sin embargo, si se pudieron observar diferencias estadísticas (P < 0.05) para el ISA, siendo menor para la harina deshidratada a 90 °C (12.37 % ± 0.31), seguido de las harinas deshidratadas a 55 y 80 °C (14.03 % ± 0.18 y 14.74 % ± 0.09, respectivamente), y el mayor porcentaje del ISA fue en la harina deshidratada a 70 °C (15.81 % ± 0.09). En el caso de las harinas elaboradas con las papas, se pudieron observar diferencias estadísticas (P < 0.05) tanto para los valores de CAA e ISA. La CAA fue menor (P < 0.05) para la harina de papa deshidratada a 80 °C (4.04 % ± 0.08), mientras que para la

harina deshidratada a 70 °C (4.31 % ± 0.03) fue similar tanto a la de 80 °C y 55 y 90 ° (4.35 % ± 0.11 y 4.54 % ± 0.04, respectivamente). El ISA de la harina de papa fue menor (P < 0.05) para la harina deshidratada a 70 °C (15.35 % ± 0.03), seguida la harina elaborada a 90 °C (15.90 % ± 0.39) y la harina a 55 °C (16.90 % ± 0.43) y la que tuvo el mayor ISA fue la harina deshidratada a 80 °C (17.33 % ± 0.12).

Cuadro 8. Capacidad de absorción de agua e Índice de solubilidad de las harinas de plátano y papa.

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
Plátano					
CAA, %	3.73 ± 0.08	3.65 ± 0.05	3.56 ± 0.07	3.74 ± 0.04	0.221
ISA, %	14.74 ^b ± 0.09	15.81 ^c ± 0.09	14.03 ^b ± 0.18	12.37 ^a ± 0.31	0.001
Papa					
CAA, %	4.35 ^a ± 0.11	4.31 ^{ab} ± 0.03	4.04 ^b ± 0.08	4.54 ^a ± 0.04	0.002
ISA, %	16.90 ^{bc} ± 0.43	15.35 ^a ± 0.19	17.33 ^c ± 0.12	15.90 ^{ab} ± 0.39	0.003

* Media ± EEM

^{a-c} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas P < 0.05-

CAA=capacidad de absorción de agua; ISA=índice de solubilidad en agua -

Las propiedades de formación de pastas de las harinas de plátano y papa elaboradas mediante la deshidratación de los ingredientes frescos en un horno de deshidratación a 4 diferentes temperaturas se estudiaron mediante un analizador rápido de viscosidad, mediante el cual se obtuvieron las curvas y el perfil amilográfico de estos ingredientes.

Los datos (Cuadro 9) obtenidos del perfil amilográfico de las harinas de plátano deshidratadas a diferentes temperaturas y la curva de viscosidad (Figura 13) de este análisis, muestran que hubo un efecto de la temperatura de deshidratación utilizada sobre las variables de viscosidad que determinan las características de este perfil. La temperatura de gelatinización de las harinas de plátano con cáscara no fue diferente estadísticamente (P > 0.05), al igual que no se presentaron diferencias en la facilidad de cocción para ninguna de las temperaturas empleadas en la elaboración de las harinas. En lo que si se pudieron observar diferencias estadísticas significativas (P < 0.05) fue para la viscosidad máxima (peak) (RVU) alcanzada, que fue menor para la harina deshidratada a 90 °C (4321.67 ± 118.39), siguiendo en forma ascendente la harina deshidratada a 80 °C (7505.01 ± 152.78), harina deshidratada a 70 °C (7977.33 ± 119.01) y finalmente la harina deshidratada a 55 °C presentó la viscosidad máxima más alta (8852.67 ± 415.76). La viscosidad de

mantenimiento (trough) fue mayor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 90 °C (178.33 ± 5.81), seguida de la harina deshidratada a 55 °C (57.67 ± 5.81) y las que tuvieron la viscosidad de mantenimiento más bajas fueron las harinas deshidratadas a 70 y 80 °C (30.01 ± 4.62 y 22.63 ± 0.88 , respectivamente). La inestabilidad del gel fue mayor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 55 °C (8783.67 ± 250.66), fue similar para las harinas deshidratadas a 70 y 80 °C (7959.67 ± 121.90 y 7471.67 ± 153.71 , respectivamente) y fue menor para la harina deshidratada a 90 °C (4117.33 ± 127.85). La viscosidad final fue menor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 90 °C (6711.33 ± 243.36), seguida de las harinas deshidratadas a 70 y 80 °C (7515.33 ± 73.22 y 7782.67 ± 144.32 , respectivamente) y la viscosidad más alta se observó en la harina deshidratada a 55 °C (8418.16 ± 73.08), este mismo fenómeno se pudo observar para el índice de gelificación, que fue menor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 90 °C (6537.33 ± 247.59), seguida de las harinas deshidratadas a 70 y 80 °C (7482.01 ± 69.74 y 7760.33 ± 145.17 , respectivamente) y la más alta se observó para la harina deshidratada a 55 °C (8359.67 ± 67.18).

Cuadro 9. Perfil amilográfico de las harinas de plátano con cáscara.

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
Temperatura de gelatinización, T °C (Pasting temperatura)	77.63 ± 0.18	78.22 ± 0.11	78.57 ± 0.09	76.97 ± 0.69	0.061
Facilidad de cocción (F. cocción)	8.11 ± 0.02	8.05 ± 0.01	8.09 ± 0.04	8.04 ± 0.05	0.449
Viscosidad, cP					
• Máxima (Peak)	8852.67 ^a ± 415.76	7977.33 ^{ab} ± 119.01	7505.01 ^b ± 152.78	4321.67 ^c ± 118.39	0.000
• Mantenimiento	57.67 ^b ± 5.81	30.01 ^a ± 4.62	22.63 ^a ± 0.88	178.33 ^c ± 5.81	0.000
• Inestabilidad del gel	8783.67 ^a ± 250.66	7959.67 ^b ± 121.90	7471.67 ^b ± 153.71	4117.33 ^c ± 127.85	0.000
• Final	8418.16 ^a ± 73.08	7515.33 ^b ± 73.22	7782.67 ^{ab} ± 144.32	6711.33 ^c ± 243.36	0.000
• Índice de gelificación	8359.67 ^a ± 67.18	7482.01 ^b ± 69.74	7760.33 ^{ab} ± 145.17	6537.33 ^c ± 247.59	0.000

*Media ± EEM

^{a-c} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas $P < 0.05$ -

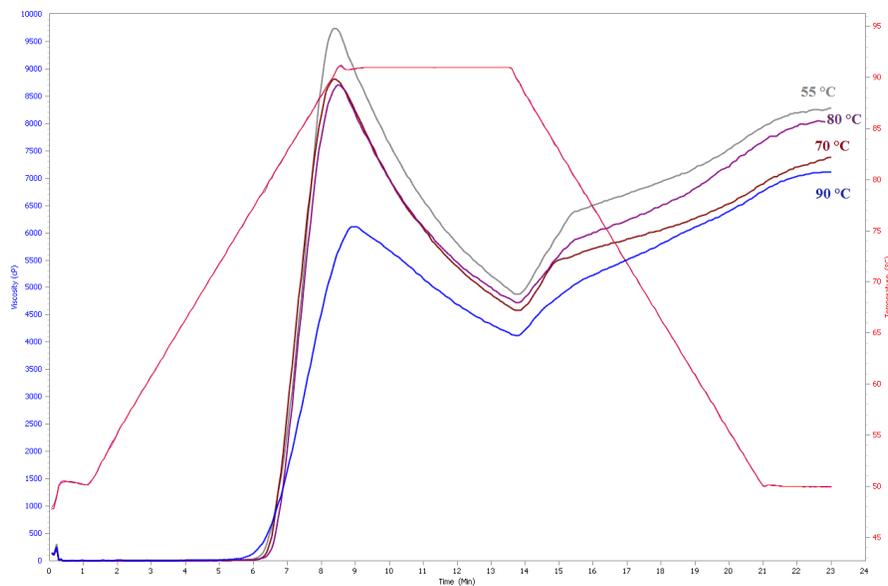


Figura 13. Perfil amilográfico de las harinas de plátano deshidratadas a diferentes temperaturas.

Los datos (Cuadro 10) obtenidos del perfil amilográfico de las harinas de papa deshidratadas a diferentes temperaturas y la curva de viscosidad (Figura 14) de este análisis, muestran que hubo un efecto de la temperatura de deshidratación utilizada sobre las variables de viscosidad que determinan las características de este perfil. La temperatura de gelatinización de las harinas de papa no fue diferente estadísticamente ($P > 0.05$); sin embargo, se pudieron observar diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en la facilidad de cocción, que fue menor para la harina elaborada a 55 °C (6.36 ± 0.08) y fue similar para las harinas deshidratadas a 70, 80 y 90 °C (8.02 ± 0.02 ; 8.01 ± 0.02 y 8.03 ± 0.02 , respectivamente). La viscosidad máxima alcanzada durante la formación de pastas fue diferente ($P < 0.05$) para cada una de las temperaturas de deshidratación utilizadas para la elaboración de harinas y lo mismo se puede observar para la viscosidad de mantenimiento (trough); que fueron mayores para la harina deshidratada a 55 °C (6075.33 ± 19.74 ; 3360.33 ± 8.72 , respectivamente), seguida de la de 70 °C (3361.67 ± 216.80 ; 2195.33 ± 170.04 , respectivamente), 80 °C (2247 ± 35.37 ; 1123.33 ± 14.71 , respectivamente) y finalmente la de 90 °C (1219.67 ± 80.27 ; 434.33 ± 33.34 , respectivamente). La inestabilidad del gel fue mayor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 55 °C (2723.93 ± 16.80), fue similar para las harinas deshidratadas a 70 y 80 °C (1168.67 ± 46.84 y 1121.33 ± 20.58 , respectivamente) y fue menor para la harina deshidratada a 90 °C (785.33 ± 46.99). La viscosidad final fue menor ($P < 0.05$) para la harina deshidratada a 90 °C ($4478.67 \pm$

186.22), seguida de la harina deshidratada a 80 °C (6102.67 ± 93.95), a 70°C (7133.67 ± 325.10) y la más alta se observó en la harina deshidratada a 55 °C (8473.67 ± 56.97). Sin embargo, en cuanto al índice de gelificación solo se pudo determinar diferencias estadísticas ($P < 0.05$) para la temperatura de deshidratación de 90 °C (4044.33 ± 153.71) con respecto a la de 55, 70 y 80°C (5121.67 ± 53.53, 4936.67 ± 155.91 y 4967.67 ± 78.56, respectivamente).

Cuadro10. Perfil amilográfico de las harinas de papa.

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
Temperatura de gelatinización, T °C	66.5 ± 0.15	67.87 ± 0.18	61.28 ± 5.35	73.28 ± 0.44	0.075
Facilidad de cocción (F. cocción), min	6.36 ^a ± 0.08	8.02 ^b ± 0.02	8.01 ^b ± 0.02	8.03 ^b ± 0.02	0.000
Viscosidad, cP					
• Máxima	6075.33 ^a ± 19.74	3361.67 ^b ± 216.80	2247 ^c ± 35.37	1219.67 ^d ± 80.27	0.000
• Mantenimiento	3360.33 ^a ± 8.72	2195.33 ^b ± 170.04	1123.33 ^c ± 14.71	434.33 ^d ± 33.34	0.000
• Inestabilidad del gel	2723.93 ^a ± 16.80	1168.67 ^b ± 46.84	1121.33 ^b ± 20.58	785.33 ^c ± 46.99	0.000
• Final	8473.67 ^a ± 56.97	7133.67 ^b ± 325.10	6102.67 ^c ± 93.95	4478.67 ^d ± 186.22	0.000
• Índice de gelificación	5121.67 ^a ± 53.53	4936.67 ^a ± 155.91	4967.67 ^a ± 78.56	4044.33 ^b ± 153.71	0.001

*Media ± EEM

^{a-c} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas $P < 0.05$ -

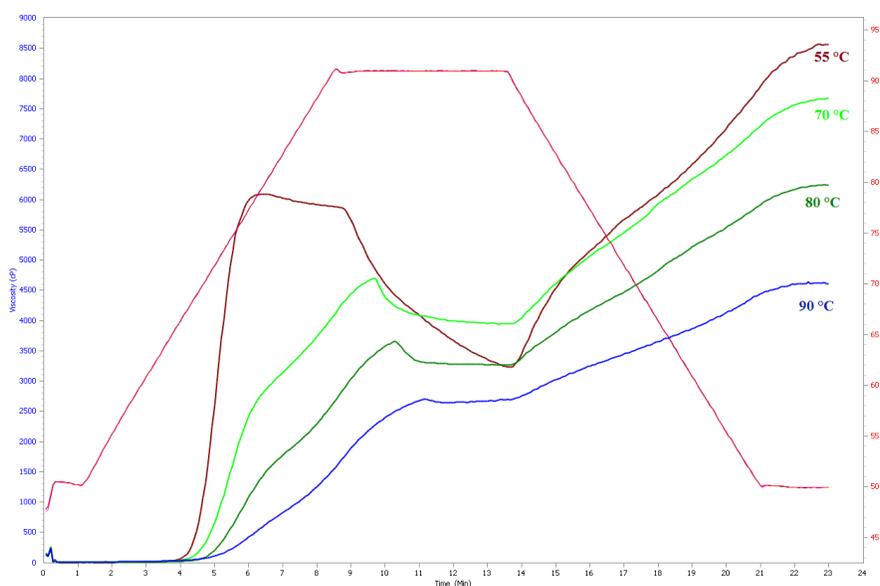


Figura 14. Perfil amilográfico de las harinas de papa deshidratadas a diferentes temperaturas.

7.3. Prueba de digestibilidad

De acuerdo a lo observado en los Cuadros 6 y 7, el plátano y la papa son ingredientes energéticos, por lo que es importante conocer la cantidad de energía metabolizable aparente (EMA) y energía metabolizable verdadera (EMV) que puede aportar a las dietas de los animales, para lo cual se utilizaron las fórmulas de King *et al.* (1997).

Los datos de la cantidad de alimento y heces, así como la cantidad de nitrógeno (N, g) y energía bruta (EB, kcal/g MS) alimentados y recolectados durante la prueba de digestibilidad en los gallos adultos alimentados con las harinas de plátano, así como del ayuno se encuentran en el Cuadro 11. La cantidad de alimento ofrecido a cada uno de los grupos experimentales (gallos) fue similar ($P > 0.05$); sin embargo, la cantidad de EB contenida en cada uno de los ingredientes si fue diferente ($P < 0.05$), siendo menor para el grupo que consumió la harina deshidratada a 80 °C ($4.24 \text{ kcal/g} \pm 0.03$) y similar para las otras tres temperaturas estudiadas: 55, 70 y 90 °C ($4.61 \text{ kcal/g} \pm 0.06$, $4.72 \text{ kcal/g} \pm 0.06$ y $4.85 \text{ kcal/g} \pm 0.08$, respectivamente) y la cantidad de N (g) alimentado fue mayor ($P < 0.05$) para el grupo de animales consumiendo la harina deshidratada a 80 °C ($0.93 \text{ g} \pm 0.01$), y similar para el grupo consumiendo el alimento deshidratado a 55 y 90 °C ($0.88 \text{ g} \pm 0.01$ y $0.88 \text{ g} \pm 0.01$, respectivamente), mientras que el grupo consumiendo la harina deshidratada a 70 °C ($0.75 \text{ g} \pm 0.01$) fueron los que menos N consumieron. La cantidad de heces (g) recolectadas en cada uno de los grupos experimentales fue diferente ($P < 0.05$), siendo mayor para los animales que consumieron la harina deshidratada a 80 °C ($15.19 \text{ g} \pm 1.44$) y fue similar en los otros tres grupos estudiados (55 °C = $8.93 \text{ g} \pm 1.41$; 70 °C = $7.94 \text{ g} \pm 1.42$ y 90°C = $9.77 \text{ g} \pm 0.71$). La cantidad de N (g) recolectado en las heces fue diferente ($P < 0.05$) para cada uno de los grupos experimentales. La cantidad de nitrógeno retenido aparente (NRA) de cada una de las harinas alimentadas a los gallos fue diferente ($P < 0.05$), los animales que retuvieron una mayor cantidad de N fueron los que consumieron la harina deshidratada a 80 °C ($0.53 \text{ g} \pm 0.02$), seguido de los que consumieron la harina deshidratada a 90 °C ($0.46 \text{ g} \pm 0.01$), seguida de la harina secada a 55 °C ($0.36 \text{ g} \pm 0.01$) y finalmente la harina deshidratada a 70 °C ($0.14 \text{ g} \pm 0.01$).

Cuadro 11. Cantidad de EB y N ofrecidos y recolectados en las heces de gallos adultos alimentados con harinas de plátano con cáscara.

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
Alimento, g	31.59 ± 0.27	31.45 ± 0.29	31.49 ± 0.31	31.66 ± 0.28	0.966
Heces, g	8.93 ^a ± 1.41	7.94 ^a ± 1.42	15.19 ^b ± 1.44	9.77 ^a ± 0.71	0.002
Digestibilidad aparente, %	72.00 ^a ± 4.32	75.06. ^a ± 4.31	52.16 ^b ± 4.23	69.32 ^a ± 2.04	0.001
EB alimento, kcal/g	4.61 ^a ± 0.06	4.72 ^a ± 0.06	4.24 ^b ± 0.03	4.85 ^a ± 0.08	0.001
N alimento, g	0.88 ^b ± 0.01	0.75 ^a ± 0.01	0.93 ^c ± 0.01	0.88 ^b ± 0.01	0.001
EB heces kcal/g	4.96 ^b ± 0.01	5.34 ^c ± 0.01	4.92 ^{ab} ± 0.01	4.91 ^a ± 0.01	0.001
N heces, g	0.52 ^d ± 0.01	0.61 ^c ± 0.01	0.40 ^a ± 0.01	0.42 ^b ± 0.01	0.001
NRA, g	0.36 ^b ± 0.01	0.14 ^a ± 0.01	0.53 ^d ± 0.02	0.46 ^c ± 0.01	0.001
Ayuno, g	4.61 ± 0.18	4.58 ± 0.11	4.54 ± 0.09	4.71 ± 0.17	.886
EPA, kcal /g	5.03 ± 0.11	5.03 ± 0.11	4.80 ± 0.10	4.88 ± 0.09	0.355
NPA, g	1.98 ^c ± 0.01	1.97 ^b ± 0.01	1.96 ^a ± 0.01	1.97 ^b ± 0.01	0.001

*Media ± EEM

^{a-b} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas P < 0.05-

EB=energía bruta; NRA=nitrógeno retenido aparente; EPA=energía perdida durante el ayuno; NPA=nitrógeno perdido durante el ayuno.

Con los datos del Cuadro 11, se pudieron determinar los valores de la energía metabolizable aparente (EMA), energía metabolizable aparente corregida para balance de N nulo (EMA_n), energía metabolizable verdadera (EMV) y energía metabolizable verdadera corregida para balance de N nulo (EMV_n) de las harinas de plátano con cáscara deshidratadas a diferentes temperaturas. Estos valores (Cuadro 12) fueron diferentes estadísticamente (P < 0.05) y se vieron afectados por la temperatura de secado empleada para su elaboración, presentando los valores más bajos para la harina deshidratada a 80 °C y las otras tres temperaturas no presentaron diferencias estadísticas (P > 0.05) entre sí.

Cuadro 12. Valores de EMA, EMA_n, EMV y EMV_n de las harinas de plátano con cáscara.

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
EMA , kcal/g MS	3.23 ^b ± 0.27	3.39 ^b ± 0.27	1.89 ^a ± 0.22	3.34 ^b ± 0.11	0.001
EMA _n , kcal/ g MS	3.13 ^b ± 0.27	3.36 ^b ± 0.27	1.75 ^a ± 0.22	3.22 ^b ± 0.11	0.001
EMV, kcal/g MS	3.39 ^b ± 0.27	3.55 ^b ± 0.27	2.04 ^a ± 0.22	3.50 ^b ± 0.11	0.001
EMV _n , kcal/g MS	2.78 ^b ± 0.27	3.00 ^b ± 0.27	1.39 ^a ± 0.22	2.87 ^b ± 0.11	0.001

*Media ± EEM

^{a-b} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas P < 0.05-

EMA=energía metabolizable aparente; EMA_n=energía metabolizable aparente corregida para balance de N nulo; EMV=energía metabolizable verdadera; EMV_n=energía metabolizable verdadera corregida para balance de N nulo.

Los datos de la cantidad de alimento y heces, así como la cantidad de N (g) y EB (kcal/g MS) alimentados y recolectados durante la prueba de digestibilidad en los gallos adultos alimentados con las harinas de papa, así como del ayuno se encuentran en el Cuadro 13. La cantidad de alimento ofrecido a cada uno de los grupos experimentales (gallos) fue similar ($P > 0.05$); sin embargo, la cantidad de EB contenida en cada uno de los ingredientes si fue diferente ($P < 0.05$), siendo menor para el grupo que consumió la harina deshidratada a 55 °C ($4.33 \text{ kcal/g} \pm 0.04$) y similar para las otras tres temperaturas estudiadas: 70, 80 y 90 °C ($4.92 \text{ kcal/g} \pm 0.07$, $4.85 \text{ kcal/g} \pm 0.04$ y $4.82 \text{ kcal/g} \pm 0.09$, respectivamente) y la cantidad de N (g) alimentado fue mayor ($P < 0.05$) para los grupos de animales consumiendo las harinas deshidratadas a 55 y 70 °C ($1.52 \text{ g} \pm 0.01$ y $1.56 \text{ g} \pm 0.01$, respectivamente), seguido del grupo consumiendo la harina deshidratada a 0 °C ($1.36 \text{ g} \pm 0.02$) y el grupo consumiendo la harina deshidratada a 90 °C ($1.25 \text{ g} \pm 0.04$) fueron los que menos N consumieron. La cantidad de heces (g) recolectadas en cada uno de los grupos experimentales fue diferente ($P < 0.05$), siendo menor para los animales que consumieron la harina deshidratada a 90 °C ($10.13 \text{ g} \pm 0.11$) y fue similar en los otros tres grupos estudiados (55 °C = $15.01 \text{ g} \pm 0.37$; 70 °C = $15.07 \text{ g} \pm 0.94$ y 80°C = $14.67 \text{ g} \pm 0.60$). La cantidad de N (g) recolectado en las heces fue diferente ($P < 0.05$) para cada uno de los grupos experimentales. La cantidad de nitrógeno retenido aparente (NRA) de cada una de las harinas alimentadas a los gallos fue diferente ($P < 0.05$), los animales que retuvieron una mayor cantidad de N fueron los que consumieron las harinas deshidratadas a 55 y 80 °C ($1.06 \text{ g} \pm 0.02$ y $1.02 \text{ g} \pm .02$), seguido de los que consumieron la harina deshidratada a 90 °C ($0.85 \text{ g} \pm 0.05$) y los animales que retuvieron menos N fueron los que consumieron la harina deshidratada a 70 °C ($0.74 \text{ g} \pm 0.01$).

Cuadro 13. Cantidad de EB y N ofrecidos y recolectados en las heces de gallos adultos alimentados con harinas de papa.

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
Alimento, g	32.40 ± 0.08	32.26 ± 0.08	32.27 ± 0.05	32.31 ± 0.10	0.716
Heces, g	15.01 ^a ± 0.37	15.07 ^a ± 0.94	14.67 ^a ± 0.60	10.13 ^b ± 0.11	0.001
Digetibilidad aparente, %	57.79 ^a ± 1.18	53.23 ^a ± 2.98	54.56 ^a ± 1.83	68.67 ^b ± 0.26	0.001
EB alimento, kcal/g	4.33 ^a ± .04	4.92 ^b ± 0.07	4.85 ^b ± 0.04	4.82 ^b ± 0.09	0.001
N alimento, g	1.52 ^c ± 0.01	1.56 ^c ± 0.01	1.36 ^b ± 0.02	1.25 ^a ± 0.04	0.001
EB heces kcal/g	5.26 ^a ± 0.01	5.76 ^b ± 0.02	5.82 ^{bc} ± 0.02	5.90 ^c ± 0.02	0.001
N heces, g	0.46 ^b ± 0.01	0.81 ^a ± 0.01	0.34 ^d ± 0.01	0.40 ^c ± 0.01	0.001
NRA, g	1.06 ^c ± 0.02	0.74 ^a ± 0.01	1.02 ^c ± 0.02	0.85 ^b ± 0.05	0.001
Ayuno, g	6.21 ± 0.48	4.71 ± 0.20	5.53 ± 0.58	4.83 ± 0.17	0.204
EPA, kcal /g	4.97 ± 0.11	5.05 ± 0.11	4.78 ± 0.09	4.88 ± 0.09	0.228
NPA, g	1.97 ± 0.01	1.97 ± 0.01	1.96 ± 0.01	1.97 ± 0.01	0.418

*Media ± EEM

^{a-d} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas P < 0.05-

EB=energía bruta; NRA=nitrógeno retenido aparente; EPA=energía perdida durante el ayuno; NPA=nitrógeno perdido durante el ayuno.

Con los datos del Cuadro 13, se pudieron determinar los valores de la energía metabolizable aparente (EMA), energía metabolizable aparente corregida para balance de N nulo (EMA_n), energía metabolizable verdadera (EMV) y energía metabolizable verdadera corregida para balance de N nulo (EMV_n) para las harinas de papa deshidratadas a diferente temperatura. Estos valores (Cuadro 14) fueron diferentes estadísticamente (P < 0.05) y se vieron afectados por la temperatura de secado empleada para su elaboración, de manera general se puede decir que la harina deshidratada a 90 °C fue la que presentó los mejores valores tanto de EMA como de EMV.

Cuadro 14. Valores de EMA, EMA_n, EMV y EMV_n de las harinas de papa.

	Temperatura de deshidratación, °C *				P
	55	70	80	90	
EMA, kcal/g MS	1.94 ^a ± 0.09	2.24 ^a ± 0.23	2.21 ^b ± 0.11	2.97 ^b ± 0.11	0.003
EMA _n , kcal/ g MS	1.68 ^a ± 0.09	2.05 ^a ± 0.23	1.94 ^a ± 0.11	2.76 ^b ± 0.10	0.002
EMV, kcal/g MS	2.10 ^a ± 0.09	2.39 ^a ± 0.23	2.35 ^a ± 0.11	3.12 ^b ± 0.11	0.001
EMV _n , kcal/g MS	1.34 ^a ± 0.09	1.71 ^a ± 0.23	1.59 ^a ± 0.10	2.40 ^b ± 0.10	0.001

*Media ± EEM

^{a-d} Superíndices en el mismo renglón indican diferencias estadísticas P < 0.05

EMA=energía metabolizable aparente; EMA_n=energía metabolizable aparente corregida para balance de N nulo; EMV=energía metabolizable verdadera; EMV_n=energía metabolizable verdadera corregida para balance de N nulo-

8. Discusión

8.3. Elaboración de harinas

La elaboración de las harinas de plátano verde con cáscara, así como de papa a partir de ingredientes frescos deshidratados a 4 diferentes temperaturas (55, 70, 80 y 90 °C) en un horno de convección con una velocidad de aire de secado constante, manifestó diferencias en los tiempos de permanencia en el horno. Los plátanos verdes con cáscara deshidratados a 55 °C permanecieron 38.5 h dentro del horno de convección en comparación con los frutos deshidratados a 90 °C que únicamente estuvieron 16.5 h, cuando se deshidrataron a 80 °C permanecieron 18.5 h y a 70 °C 27 h. De esto se deduce que el tiempo de secado de los plátanos verdes con cáscara a 55 °C fue 1.4, 2.0 y 2.3 veces mayor que al deshidratarlos a 70, 80 y 90 °C, respectivamente. En el caso de las papas deshidratadas a 55 °C el tiempo de deshidratación fue de 23 h en comparación de cuando se deshidrataron a 90 °C que fue de 9.5 h, al deshidratarlas a 80 °C fueron 10 h y fijando la temperatura de deshidratación a 70 °C el tiempo de secado fue de 12 h. Con estos tiempos de deshidratación de las papas se obtuvo que al deshidratarlas a 55 °C se requería de 1.9, 2.3 y 2.4 veces más horas para deshidratarlas que al someterlas a 70, 80 y 90 °C, respectivamente. La diferencia en los tiempos de secado observados en este trabajo indica que a mayor temperatura de deshidratación empleada para la elaboración de las harinas de plátano verde con cáscara y papa utilizando un horno de convección el tiempo de permanencia en el horno fue menor. Esto coincide con los resultados obtenidos por Carranza y Sánchez (2002), quienes deshidrataron trozos de plátano macho y yuca dentro de hornos de convección para la elaboración de harinas, a una velocidad de secado constante y a tres diferentes temperaturas (40, 50 y 60°C), observaron que a mayor temperatura empleada, la transferencia de calor y la subsecuente eliminación de humedad de los ingredientes era más alta, por lo que el tiempo de permanencia dentro del horno fue menor, con lo que a su vez se minimizan los costos de producción de estas harinas.

De la cantidad total de plátano verde con cáscara y papa frescas deshidratados a diferentes temperaturas de secado, para la obtención de harinas, se obtuvieron rendimientos promedio de 21 y 24 %, respectivamente. En el caso específico de las harinas elaboradas con plátanos frescos deshidratados a: 55, 70, 80 y 90 °C el rendimiento observado fue de 20.97, 21.58,

20.98 y 21.19 %, respectivamente. En el caso de las papas deshidratadas a 55, 70, 80 y 90 °C, los rendimientos obtenidos fueron de 24.62, 24.06, 24.94 y 24.27 %, respectivamente. Los bajos rendimientos al deshidratar este tipo de ingredientes, obtenidos en este trabajo son una consecuencia directa del alto contenido de humedad y su bajo contenido de materia seca. En el caso de los frutos de plátano inmaduros con cáscara, el contenido de humedad es de aproximadamente 79 % y por ende el contenido de MS es de 21 % (Ly, 2004; AFRIS, 2009); y en el caso de las papas con cáscara el contenido de humedad es de 75-78 % y el contenido de materia seca de 22- 25 % (Espinola, 2000; AFRIS, 2009).

8.4. Análisis de laboratorio de las harinas

El análisis químico proximal de las harinas de plátano con cáscara y papas obtenidas a distintas temperaturas de deshidratación durante la primera fase de este estudio, muestra que estos dos ingredientes son ingredientes energéticos al contener en promedio 3,000 kcal EM/kg MS, por lo que si se podrían utilizar como ingredientes alternativos para sustituir a las fuentes tradicionalmente utilizadas en la alimentación de animales monogástricos, como lo son el maíz y el sorgo. El contenido de humedad en las harinas fue menor al 10% por lo que estos ingredientes deshidratados bajo estas condiciones podrían ser incluidas en la elaboración y fabricación de ingredientes balanceados a nivel de fábricas de ingredientes, además de que se pueden conservar por periodos largos bajo condiciones de temperatura y humedad ambiente, sin que sus características físicas se vean afectadas.

Las temperaturas de secado utilizadas, y por ende el tiempo de permanencia de los ingredientes dentro del horno de convección, para la elaboración de harinas de plátano con cáscara y papa tuvieron influencia sobre los valores obtenidos por el análisis químico proximal de estos ingredientes en base seca, como se puede observar en los Cuadros 6 y 7, respectivamente. Los resultados obtenidos en el presente estudio, se pueden comparar con los perfiles nutricionales en otras investigaciones, sobretodo de las harinas deshidratadas a 55 °C, debido a que a esta temperatura de deshidratación no se modifican las características nutritivas de los ingredientes. Las características nutritivas (en base seca) de la harina de plátano con cáscara deshidratada a 55 °C (94.13 % MS, 5.47 % PC, 1.67 % EE, 5.72 % de cenizas, 2.57 % FC, 84.58 % ELN y 4.61 kcal EB/g MS), son similares a los resultados reportados para plátanos enteros por Ly (2004), quien realizó una revisión de literatura

acerca de las características de la composición química y palatabilidad de plátanos, en donde reporta que desde el punto de vista europeo los plátanos tienen 5.7 % de PC, 1.4% de EE, 4.7 % de cenizas, 2.8 % de FC, 85.4 % de ELN y 4.15 kcal EB/g de MS y desde el punto de vista americano este fruto tiene 5.8 % de PC, 1.9% de EE, 5.3% de cenizas, 3.4 % de FC y 81.9 % de ELN; los perfiles nutricionales de los plátanos verdes con cáscara publicados por AFRIS (2009) también son similares a los encontrados en el presente estudio y al de Ly (2004). Las características nutritivas de la harina de papa deshidratada a 55 °C (92.46 % MS, 9.53 % PC, 0.54 % EE, 6.12 % de cenizas, 1.36 % FC, 84.45 % ELN y 4.32 kcal EB/g MS), son similares para los valores reportados por AFRIS, 2009, para tubérculos frescos que contienen 10.3 % PC, 0.50 %EE, 5.4 % de cenizas, 2.0 % FC y 81.8 % ELN; sin embargo, es diferente a los datos de Espinola (2000), que reporta datos de papas horneadas con perfiles nutritivos menores (2.5 % PC, 0.1 % EE, 1.2 % de cenizas, 1.2 % FC) a los encontrados en el presente estudio.

La capacidad de absorción de agua (CAA, %) y el índice de solubilidad en agua (ISA, %), (Cuadro 8) muestran el efecto del grado de modificación de los almidones debido al tratamiento termomecánico, principal objetivo del presente trabajo que estudió el posible efecto de la temperatura de deshidratación sobre las características de las harinas de plátano con cáscara y papa obtenidas y su posterior digestibilidad. El porcentaje de la CAA indica el poder que tienen los almidones o en el caso del presente estudio las harinas, de retener agua, es decir cuántas veces pueden retener su peso seco original, que en el caso de las harinas de plátano con cáscara no presentó diferencias de acuerdo a la temperatura de deshidratación utilizada y fue de 3.56 % (80 °C), 3.64 % (70 °C), 3.73 % (55 °C) y 3.75 % (90 °C), sin embargo, en el caso de las harinas de papa se pudo observar que esta capacidad fue mayor para los ingredientes deshidratados a 55 y 90 °C (4.54 y 4.35 %, respectivamente), siendo intermedio para la harina deshidratada a 70 °C (4.31 %) y menor para la deshidratada a 80 °C (2.04 %). En un estudio realizado por González y Pacheco, (2006), que elaboraron harinas de plátano sin cáscara, obtuvieron valores de CAA de 3.32 %, valor que es similar a lo observado en este estudio. Alvis *et al.* (2008) que realizaron análisis fisicoquímicos de los almidones de papa, yuca y otros tubérculos, obtuvieron un valor de CAA de 5.83 %, esta diferencia se puede deber principalmente al hecho de que en el presente estudio se evaluó a la harina integral y no se aisló al almidón de la papa. El ISA

de las harinas de plátano fue mayor para la deshidratada a $70\text{ }^{\circ}\text{C} > 55$ y $80\text{ }^{\circ}\text{C} > 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, y estos valores fueron similares a los observados por González y Pacheco (2006) que para la harina de plátano obtuvieron valores de 13.42 – 19.85 %. En el estudio de Alvis *et al.* (2008) el valor de ISA del almidón de papa fue de 2.97 %, valor que fue diferente al de las harinas deshidratadas en este estudio, cuyo valor varió de 15.33 – 17.33 %, siendo mayor para la obtenida a $80\text{ }^{\circ}\text{C} > 55\text{ }^{\circ}\text{C} > 90\text{ }^{\circ}\text{C} > 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. El hecho de que la CAA y el ISA de sea diferente en las harinas deshidratadas en el presente estudio indican que hubo un efecto de la temperatura de deshidratación utilizada sobre las características de los almidones en los ingredientes, es decir, se puede asumir que si se presentó el fenómeno de gelatinización durante el proceso de secado de estas materias primas en el horno de convección.

El estudio del perfil amilográfico de las harinas de plátano con cáscara y papa (Cuadro 9 y 10) muestran que hubo un efecto de la temperatura de deshidratación sobre las características de las harinas obtenidas. Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los reportados en la literatura se debe de tener la precaución que en la mayoría de los casos los investigadores han realizados los estudios amilográficos con almidones nativos de estas materia primas y no de los ingredientes integrales, en los que además de los almidones se encuentran lípidos, proteínas, minerales, fibra, etc.

La temperatura de gelatinización de los almidones nativos de plátano reportado por Espinoza (2008) fue de $79.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, este valor coincide con los valores encontrados en el presente estudio en los que la temperatura de gelatinización fue de 77.6, 78.2, 78.5 y $76.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ para las harinas deshidratadas a 55, 70, 80 y $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Además de que se encuentran en concordancia con lo reportado por González y Pacheco (2006) que reportaron una temperatura de gelatinización de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ para harina de plátano verde sin cáscara deshidratada a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. La viscosidad máxima observada en el estudio de Espinoza (2008) para los almidones nativos de plátano fue de 215.8 RVU, mientras que en el caso del estudio de González y Pacheco (2006) la viscosidad máxima para la harina de plátano sin cáscara fue de 444.5 RVU, estos resultados difieren a lo encontrado en el presente estudio en donde se observaron viscosidades máximas de 8852, 7977, 7505 y 4321 cP para las harinas deshidratadas a 55, 70, 80 y $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Se puede observar una ligera coincidencia de lo encontrado en este estudio para la harina deshidratada a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y lo

reportado por González y Pacheco (2006), en donde la diferencia radica en la temperatura de deshidratación utilizada, esta diferencia se puede deber principalmente a que en este estudio el plátano se deshidrató con cáscara, por lo que pudo haber habido mayor interacción de los almidones con otros elementos del ingredientes, como lípidos, proteínas, fibra y la formación de complejos lípido-almidón, etc.

Con relación a las harinas de papa, Araujo *et al.* (2004), realizaron estudios amilográficos de almidones nativos de maíz, papa y ñame y obtuvieron que la temperatura de gelatinización para el almidón de papa es de 61.9 °C. En un estudio realizado por Alvis *et al.* (2008) la temperatura de gelatinización del almidón de papa fue de 66 °C y en una revisión de literatura realizado por Lindeboom *et al.*, (2004) la temperatura de gelatinización de los almidones de papa tienen un rango de 56 a 67°C. En este estudio la temperatura de gelatinización de las harinas de papa deshidratadas a 55, 70 y 80 °C fueron de 66.5, 67.8 y 61.3 °C, respectivamente; resultados que se sitúan dentro de los rangos citados en la literatura; sin embargo la harina deshidratada a 90 °C presentó una temperatura de gelatinización de 73.3 °C. La viscosidad máxima de los almidones nativos de papa de acuerdo a los resultados publicados por Alvis *et al.* (2008) reportan valores de viscosidad máxima para los almidones nativos de papa de 119 RVU. Los resultados observados dentro de este estudio reportan valores de viscosidad máxima de 6075, 3361, 2247 y 1219 cP para las harinas deshidratadas a 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente. Estos resultados muestran una tendencia de que a menor temperatura de deshidratación utilizada para la obtención de las harinas hubo una menor gelatinización de los gránulos de almidón, por lo tanto la viscosidad máxima de las harinas fue mayor. Además se puede observar que los resultados obtenidos para la harina deshidratada a 90 °C son lo más semejantes a lo reportado en la literatura.

8.5. Prueba de digestibilidad

La digestibilidad total de las fuentes de almidón en las aves es alta, aunque es incompleta al final del íleon, se sabe que esta fracción no digerida podría servir para la fermentación microbiana en el intestino grueso, sin embargo, esta digestión es menos eficiente que la digestión enzimática en el intestino delgado. En un estudio realizado por Weurding *et al.* (2001) se encontró que la digestibilidad total del almidón en las heces fue la misma que la

digestión del almidón en el íleon, indicando que la fracción no digerida en el intestino delgado no se fermenta en el intestino grueso de las aves.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la digestibilidad total de las harinas de plátano con cáscara (Cuadro 11) deshidratadas a 55, 70, 80 y 90 °C fueron de 71.73, 74.75, 51.76 y 69.14 %, respectivamente; y el porcentaje de digestibilidad de las harinas de papa (Cuadro 13) fueron de 53.67, 53.28, 54.53 y 68.64 % cuando fueron deshidratadas a 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Carré (2004), que indica que la digestibilidad de almidones con estructura B, como lo son las raíces de tubérculos (papa) y de algunos frutos (plátano), en aves es baja llegando a ser de entre 43 y 83%. Weurding et al. (2001) encontraron que el potencial de digestibilidad en pollos de dietas balanceadas adicionadas con almidón de papa deshidratada fue de 38.4 ± 4.31 %, lo cual es semejante a lo reportado por Carré (2004).

Una de las variables que podría explicar este bajo porcentaje de digestibilidad se encuentra asociado al tamaño de los gránulos de almidón de estas materias primas, los gránulos del plátano tienen un tamaño de 15-45 μm y los de la papa son de 15-100 μm , que son grandes en comparación de otras materias primas utilizadas tradicionalmente en la alimentación animal como lo son el maíz que tienen tamaños de 5-20 μm o sorgo cuyos gránulos tienen un tamaño aproximado de 10-30 μm (Jane et al., 1994). El tamaño va a influir sobre la digestibilidad de las materias primas, debido a que va a existir una relación indirectamente proporcional entre el área de superficie para la acción de las enzimas digestivas y el volumen del almidón; por lo tanto a mayor tamaño del gránulo de almidón, la digestibilidad disminuye, esta es la razón por la cual los ingredientes con gránulos más pequeños van a ser más digestibles (Svilhus et al., 2005).

En este estudio se esperaba que a mayor temperatura de deshidratación de las materias primas presentaran un mayor porcentaje de digestibilidad, debido a que al someterlos al proceso de gelatinización, los gránulos se romperían parcial o completamente (gelatinizados) lo que haría que se liberaran cadenas de amilosa y amilopectina al medio, haciendo que el acceso y la interacción de las enzimas amilolíticas y el sustrato fuera mayor (García y Pacheco, 2009). Lo que se observó en este estudio fue que independientemente de la temperatura de deshidratación utilizada para la elaboración de harinas de plátano con

cáscara no hubo variaciones en la tasa de digestibilidad, para las harinas deshidratadas a 55, 70 y 90 °C, por lo que se podría recomendar cualquiera de estos tratamientos para la conservación de la materia prima y su posterior utilización en la alimentación animal; sin embargo, si se toma en cuenta que el tiempo invertido y por ende el gasto eléctrico para deshidratar la materia prima fue menor para las harinas deshidratadas a 90 °C sería mejor utilizar esta temperatura. En el caso de las papas si se observó que a mayor temperatura de deshidratación (90 °C) el porcentaje de digestibilidad fue mayor, lo cual puede indicar que el grado de gelatinización de la materia prima fue mayor en este caso en comparación con las otras temperaturas de deshidratación utilizadas, por lo que también se podría recomendar este tratamiento y temperatura de deshidratación para conservar y alimentar aves con este tipo de ingredientes.

La EB de los ingredientes analizados en este trabajo muestran valores de 4.61, 4.72, 4.24 y 4.85 Kcal/g de MS de harina de plátano con cáscara deshidratada a 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente; mientras que para la harina de papa los valores son de 4.33, 4.92, 4.85 y 4.82 Kcal/g de MS cuando fueron deshidratadas a 55, 70, 80 y 90 °C, estos valores son muy similares no obstante, de que muestran ligeras diferencias, siendo menor ($P < 0.05$) el contenido de EB en la harina de plátano deshidratada a 80 °C con respecto a las demás temperaturas utilizadas y en el caso de las papas, la harina que tuvo el menor contenido de EB fue la deshidratada a 55 °C. Los contenidos de EMA en las harinas de plátano con cáscara fueron de 3.23, 3.39, 1.89 y 3.34 Kcal/g de MS para las temperaturas de deshidratación de 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente; estos resultados son similares a los reportados por Rodríguez et al. (2010) y AFRIS (2009) que reportan valores de EM de 3.05 y 3.2 Kcal/g de MS para plátanos verdes con cáscara deshidratadas al sol. En el caso de las harinas de papa, los valores de EMA encontrados en este estudio fueron de 1.94, 2.24, 2.21 y 2.96 Kcal/g de MS, cuando fueron deshidratados a 55, 70, 80 y 90 °C, respectivamente; estos resultados de manera general coinciden con los reportados en la literatura, Whittemore (1977) reportó valores de EM de 3.1 Kcal/g y AFRIS (2009) reporta valores de 2.95 Kcal/g de MS. De acuerdo a estos resultados en el caso de las harinas de plátano se puede observar que al igual que con la EB, el menor ($P < 0.05$) nivel de EMA es para la harina deshidratada a 80 °C y en el caso de las harinas de papa esto se observa con la harina deshidratada a 55 °C. Con estos resultados se podría descartar el uso de estas temperaturas

de deshidratación para estos ingredientes, ya que además de que muestran el menor nivel de digestibilidad muestran el menor aporte de EMA, por lo que no se recomendaría el uso de estas temperaturas de deshidratación para la conservación y posterior uso como alimento alternativo.

Los valores de EMA_n , EMV y EMV_n (Cuadro 12) de las harinas de plátano deshidratados a 55, 70 y 90 °C fueron similares entre sí, teniendo rangos de 3.13-3.36, 3.39-3.55 y 2.78-3.00 Kcal/g de MS, respectivamente. Los valores de EMA_n , EMV y EMV_n (Cuadro 14) de las harinas de papa deshidratadas a 70, 80 y 90°C, muestran rangos de 1.94-2.76, 2.23-3.12 y 1.59-2.40 kcal/g de MS. Dentro de estos valores se pudo observar que dentro de la harina de plátano no se presentó tanta variación en los datos por lo que se podría recomendar el uso de cualquiera de estas tres temperaturas de deshidratación tanto para la conservación como para poder alimentar a los animales, esto no sucedió con las harina de papa en donde se puso observar una mayor variación y en donde se mostró que la mejor temperatura de deshidratación y en la que se conservó mejor las características energéticas del alimento fue cuando los ingredientes se sometieron al proceso térmico a 90 °C, ya que presentó valores de EMA de 2.97 kcal/g, EMA_n 2.76 kcal/g, EMV 3.12 kcal/g y EMV_n 2.40 kcal/g. King et al. (1997) determinaron los valores de EMA, EMA_n , EMV y EMV_n de diferentes cereales en patos y en el caso del maíz obtuvieron valores de 3.11, 3.10, 3.31 y 3.27 kcal/g de MS, respectivamente; estos resultados son similares a los observados para las harinas de plátano deshidratado a 55, 70, y 80 °C, por lo que cualquiera de estas harinas se podrían utilizar para su inclusión en dietas de aves; sin embargo, en el caso de las harinas de papa los valores que más se aproximan a los valores promedio del maíz, fue la harina deshidratada a 90 °C, por lo que de todas las temperaturas utilizadas sería la única que se debería de contemplar para la conservación y utilizar en la alimentación de aves.

9. Conclusiones

El utilizar ingredientes alternativos dentro de la alimentación animal para sustituir los porcentajes de inclusión de ingredientes convencionales en las dietas animales depende de diversos factores, como el evaluar el valor nutritivo de los ingredientes que se quieren incluir en las dietas, además de los tratamientos a los que se sometan para poder utilizarlos en los ingredientes debido a que los ingredientes alternativos, por lo general tendrán un mayor contenido de humedad en comparación a los ingredientes convencionalmente utilizados.

Los tratamientos de deshidratación (55, 70, 80 y 90 °C) utilizados en el presente trabajo para la elaboración de harinas de plátano con cáscara y papa en un horno de convección convencional, mostraron ser una práctica adecuada para disminuir el porcentaje de humedad de los ingredientes y con esto poder conservarlos por prolongados periodos de tiempo bajo condiciones de temperatura ambiente. En cuanto al valor nutritivo que tienen los ingredientes con estas temperaturas de deshidratación no se encontraron mayores diferencias en cuanto a la composición química de los mismos.

Al evaluar el efecto que ejerció la temperatura de deshidratación empleada sobre la digestibilidad total de las harinas de plátano con cáscara y papa, además de los aportes de EMA, EMA_n, EMV y EMV_n se pudo determinar que en el caso de las harinas de plátano se deberá de descartar únicamente el tratamiento de 80 °C, debido a que es el que presentó el menor grado de digestibilidad en los gallos adultos en comparación de los otros tres tratamientos entre los cuales no se observaron diferencias, sin embargo, si se evalúa el tiempo que permanecieron los ingredientes dentro del horno de convección para poder elaborar las harinas se obtiene que el mayor beneficio se podría obtener utilizando la deshidratación a 90 °C debido a que por permanecer menor tiempo en el horno el costo energético de este tratamiento es menor en comparación de los otros dos tratamientos. Cuando se evaluó el efecto de la temperatura de deshidratación en el caso de la harina de papa se obtuvo que el mejor tratamiento, tanto en el costo energético como en el grado de digestibilidad del alimento y los aportes de EM se obtienen con la harina deshidratada a 90 °C.

Los aportes de nutrientes y EMA, EMA_n, EMV y EMV_n de las harinas evaluadas en este estudio muestran que se pueden considerar como fuentes alternativas de alimentación para animales monogástricos, cuando el precio de los ingredientes convencionales incrementa, o cuando estos ingredientes son de fácil acceso para los productores; sin embargo, para poder determinar en qué nivel de inclusión estos ingredientes son inocuos y no afectan el desempeño productivo de los animales, es necesario realizar pruebas en campo.

10. Literatura citada

- Acosta E, Ribera S, Botero R, Taylor R. 2006. Evaluación de tres raciones alternativas para la sustitución del concentrado comercial en el engorde de cerdos. *Tierral Tropical*. 2 (2): 97-104.
- Adeshinwa AOK. 2008. Energy and protein requirements of pigs and the utilization of fibrous feedstuffs in Nigeria: A review. *African Journal of Biotechnology*. 7 (25): 4798-4806.
- AFRIS. 2009. Sistema de información sobre recursos de piensos. Consultado en: http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/frg/AFRIS/es/index_es.htm
- Akinmutimi AH, Odoemelum VU, Obasienkong SF. 2006. Effect of replacing maize with ripe plantain and yam peels in the diet of weaner rabbits. *J. Anim. Vet. Adv.* 5 (9): 734-740.
- Alvis A, Vélez CA, Villada HS, Rada-Mendoza M. 2008. Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*. 19 (1): 19-28.
- Amaya FC, Bello-Pérez LA. 2010. Propiedades de digestión de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) doblemente modificado. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de alimentos. Guanajuato, Gto. pp: 871-878.
- Anderson, R.A., Conway, V.F., Pfeifer, V.F. y Griffin, E.L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking. *Cereal Science Today*. 14: 4-12.
- Aparicio-Sanguilán A, Flores-Huicochea E, Tovar J, Gutiérrez-Meraz F, Bello-Pérez LA. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: partial characterization. *Starch/Stärke*. 57: 405-412.
- Araujo VC, Rincón AM, Padilla F. 2004. Caracterización del almidón nativo de *Discorea bulbifera* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54 (2): 241-245.
- Association of Analytical Chemist (AOAC). 1990. AOAC Official Methods of Analysis. 15 ed. Washington, D.C.
- Badui DS. 2001. Química de los alimentos. Cuarta edición, Pearson Educación. México, D.F. pp:94-104.

- Bach K.K.E., Nygaard L.H., Steinfeldt S., Skou H.M., Jorgensen H. 2006. *In vivo* methods to study the digestion of starch in pigs and poultry. *Animal Feed Science and Technology* 130: 114-135.
- Barreiro PM, Fanghanel HH, Montañez VC, Yoldi M, Olvera GJ, Sánchez RR, Ochoa BR, Rodríguez CF, Roque ZJ, Ortega RC, Palacios FH. 1998. La papa en México, un cultivo con potencialidad. *Papa y Cebada. Claridades Agropecuarias*. 57: 3-15.
- Bauza R. 2007. Alimentos alternativos para animales monogástricos. IX Encuentro de Nutrición y Producción en Animales Monogástricos. Montevideo, Uruguay: 47-55.
- Bello-Pérez LA, Contreras-Ramos SM, Romero-Manilla R, Solorza-Feria J, Jiménez-Aparicio A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (var, “macho”). *Agrociencia*. 36 (2):169-180.
- Borin K. 2005. Cassava Foliage for Monogastric Animals. Forage Yield, Digestion, Influence on Gut Development and Nutritive Value. Doctor thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Carranza J, Sánchez M. 2002. Cinética de secado de *Musa paradisiaca* L. “plátano” y *Manihot esculenta* Grantz “yuca”. *Revista Amazonica* 2 (1): 15-25.
- Carré B. 2004. Causes for variation in digestibility of starch among feedstuffs. *World Poultry Science Journal*. 60: 76-89.
- Chaves MGS, Avanza SCJR. 2003. Cinética de secado de berenjenas (*Solanum melongena* L.). *Comunicaciones científicas y tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste (Argentina)*: 1-4.
- Choct M. 2007. Role of biotechnology in utilisation of alternative feed ingredients for monogastrics animals. School of Rural Science and Agriculture. Consultado en: <http://en.engormix.com/MA-feed-machinery/formulation/articles/role-biotechnology-utilisation-alternative-t397/800-p0.htm>
- Colina IML. 2010. Deshidratación de alimentos. Conceptos básicos, clasificación de métodos de deshidratación y envasado de productos deshidratados. México. Edit. Trillas. pp: 9-13, 29-37.

- Douglas M.W., Johnson M.L., Parsons C.M. 1997. Evaluation of protein and energy quality of rendered spent hen meals. *Poultry Science* 76:1387-1391.
- Espinola N. 2000. Calidad nutritiva de los alimentos, énfasis en papa y camote. Centro Internacional de la Papa.
- Espinoza-López LL, 2008. Legislación fitosanitaria de papa. Dirección General de Saniadad Vegetal. Departamento de Certificación Fitosanitaria. SENASICA, SAGPARPA. Consultado en:
http://www.conpapa.org.mx/pdf/2aLEGISLACION_FITOSANITARIA_DE_PAPA.pptx.
- Espinoza SV. 2008. Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) (tesis de posgrado). Morelos, México. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos – Instituto Politecnico Nacional. 84 pp.
- Fanelli B. 2002. Almidón. Universidad Nacional de Quilmes.1-9. Consultado en:
http://psцени.blog.unq.edu.ar/modules/docmanager/get_file.php?...
- FAO. 2002. Población, alimentación, nutrición y planificación familiar. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Consultado en:
<http://www.fao.org/DOCREP/006/W0073S/w0073s09.htm>
- FAO. 2008a. FAOSTAT. www.faostat.fao.org/default.aspx
- FAO. 2008b. Las papas, la nutrición y la alimentación. El año internacional de la papa. Consultado en: <http://www.potato2008.org/es/lapapa/index.html>
- FAO. 2008c. La economía mundial de la papa. El año internacional de la papa. Consultado en: <http://www.potato2008.org/es/lapapa/index.html>
- Flores –Gorosquera E, García-Suárez FJ, Flores-Huicochea E, Núñez-Santiago MC, González-Soto RA, Bello-Pérez LA. 2004. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55 (1): 1-7.
- García A, Pacheco E. 2009. Hidrólisis enzimática *in vitro* y microscopia electrónica de la harina horneada y extruida de arracha. *Agronomía Tropical*. 59 (3): 297-308.

- González C, Días I, Salas R. 1997. Determinación de la digestibilidad ileal aparente en cerdos, de la harina de de pijugao (*Bacitris gasipes* H.B.K.). Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5 (Supl.1): 238-284.
- González BOJ, Pacheco-Delahaye E. 2006. Propiedades físicas y reológicas de la harina de banana verde (*Musa* AAA) en la elaboración de geles de piña (*Annanas cosmosus* L.Merr.). Rev. Fac. Agron. (Maracay). 32: 27-40.
- Guízar MA. 2009. Obtencion y caracterización física y química del almidón de “camote de cerro” (*Discorea* spp.) (tesis de posgrado). Juiquilpan, Michoacan (México). CIIDIR- Instituto Politécnico Nacional. 79 pp.
- Gutiérrez GKL. 2000. Potencial de la planta acuática *Lemna gibba* en la alimentación de cerdos. (tesis de posgrado), Tecoman, Colima (México). Universidad de Colima. 65 pp
- Harper A., Forsyth D. 2003. Relative value of feedstuffs for swine. Factsheet Pork Information Gateway. 112: 1-6.
- Henry Y, Vogt H, Zoiopoulos PE.1988. III. 4. Pigs and Poultry. Livestock Production Science. 19: 299-354.
- Herrera GA. 2003. Mecanismos de desagregación en granulos de almidon. Superficies y Vacio. 16 (1): 10-16.
- Hill F.W. and Anderson D.L. 1958. Comparision of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. J.Nutrition. 64: 587-603.
- Holm J, Lundquist I, Björck I, Eliasson AC, Asp NG. 1988. Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch *in vitro*, and metabolic response in rats. Am J Cline Nutr. 47: 1010-1016.
- Hua K, Bureau DP. 2009. A mathematical model to explain variations in estimates of starch digestibility and predict digestible starch content of salmonid fish feeds. Aquaculture. 294: 282-287.
- INEGI, 2011. Consultado en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/rnig/default.aspx>
- Jane J, Kasemsuwan T, leas S, Ia A, Zobel H, Robyt JF. 1994. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. Starch/Stärke. 4: 121-129.

- King D, Ragland D, Adeola O. 1997. Apparent and true metabolizable energy values of feedstuffs for ducks. *Poultry Science*. 76: 1418-1423.
- Laborem EG, Marín C, Wagner M, Espinoza M, Delgado A. 2001. Evaluacion de los atributos de calidad de frutas musáceas en su primer ciclo. *Agronomía tropical*. 51 (4): 593-603.
- Lindeboom N, Chang PR, Tyer RT. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch/Stärke*. 56: 89-99.
- Ly J. 2004. Bananas y plátanos para alimentar cerdos: aspectos de la composición química de las frutas y de su palatabilidad. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. 11 (3): 5-24.
- Madrigal-Ambríz LV, Alanís-Gusxmán MG, Justo-Bautista M., García DCL, Vázquez GJ, Roríguez-Pérez MA, Moreno RVH. 2008. Producción y caracterización físico-química de harinas de banananos FHIA-17, FHIA-23 y plátano FHIA-20, para su incorporación en panificación. Consultado en: www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/.../A048.pdf
- Martínez-Bustos F, López-Soto M, Zazueta-Morales JJ, Morales-Sánchez SE. 2005. Preparación y propiedades de almidones pregelatinizados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y jicama (*Pachyrhizus erosus*) usando calentamiento óhmico. *Agrociencia*. 39 (3): 275-283.
- Martínez-Soto G, López-Orozco M, Alcántara-González ML, Mercado-Flores J. 2007. Modelos de secado durante la deshidratación osmótica de fresa y su posterior deshidratación por convección. IX Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de alimentos. Universidad de Guanajuato. pp 161-168.
- Maupoey P.F., Andrés G.A.M., Barat B.J.M., Albors M.A.M. 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. pp: 5-13, 21.
- Medina J. Salas JC. 2008. Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista Ingeniería*. 27: 56-62.
- Montes ME, Salcedo MJ, Zapata MJE, Carmona CJ, Paternina US. 2008. Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidon de ñame

(*D.trífica*) utilizando α -amilasa (Termamyl R 120 L, Tipo L). VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. 15 (1): 51-60.

- Mora-Escobedo R, Osorio-Díaz P, García-Rosas MI, Bello-Pérez A, Hernández-Unzón H. 2009. Cambios en nutrientes seleccionados y microestructura del maíz mejorado “costeño” y maíz común durante la preparación y el almacenamiento de tortillas. Mundo Alimentario. Mzo/Abr: 12-18.
- Musa. 2009. Notas: Empleo del follaje de plantas de *Musa* spp como alternativa para la alimentación animal. Temas de ciencia y tecnología. Ene-Abr: 49-60. Consultado en: http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas037/N5.pdf
- Myer R, Hall MB. 2001. Guideline for using alternative Feedstuffs. AN124. Animal Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Consultado en: <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Núñez RFM. 2003. Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa (tesis de licenciatura). Honduras. Instituto Zamorano. 42 pp.
- Ovando MM. 2008. Pasta adicionada con harina de plátano: digestibilidad y capacidad antioxidante (tesis de posgrado). Yauatepec, Morelos (México). Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politecnico Nacional. 87 pp.
- Preston T. 1992. Alternative non – cereal diets for poultry. Livestock Research for Rural Development. 4 (3).
- Prieto MJ, Rubio HCU, Román GAD, Méndez MMA, González RCA, Prieto GF. 2009. Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativun* Jess.), correlación. Multiciencias. 9 (2): 115-125.
- Palma-Rodriguez HP, Agama-Acevedo E, González-Soto RA, Bello-Pérez LA. 2010. Efecto del tamaño del gránulo en la modificación química del almidón. XII Congreso Nacional de Ciencia y tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto. 281-286.
- Ramírez-Estrada N, López-González C, García-Suárez FL, Bello-Pérez A, López-Bailón R, Aguilar-Sandoval A. 2007. Secado en lote de plátano macho verde (*Musa paradisiaca* L.) a tres temperaturas. IX Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de alimentos. Guanajuato, Gto. pp: 601-608.

- Rodríguez SE, Fernández QA, Alonso AL, Ospina PB. 2006. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. Ingeniería & desarrollo. 19: 17-30.
- Rodríguez ZJ. 2007. Nuevas alternativas para la industria porcina tradicional. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. pp: 1-25. Consultado en: <http://www.una.ac.cr/redibec-cisda/ponencias/GESTION/Jose.pdf>
- Rodríguez B, Bernal H, Valdivié M. 2010. La fruta del plátano y banano. Precongreso del III Congreso de Producción Animal Tropical. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 12-14 de Noviembre.
- Sandoval TS, Rodríguez RJ, Mendez LL, Sánchez RJ. 2006. Rapidez de secado reducida: una aplicación al secado conectivo del plátano Roatán. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 5 (S1): 35-38.
- San Miguel AA. 2006. Fundamentos de alimentación y nutrición del Ganado. Univ. Politécnica de Madrid. Consultado en: <http://www2.montes.upm.es/Dptos/DptoSilvopascicultura/SanMiguel/pdfs/apuntes/Nutrici%C3%B3n%20animal%202009.pdf>
- Sarmiento FL, Santos RR, Segura CJ. 2005. Alimentación no convencional para monogástricos: experiencias en el trópico mexicano. Curso de Alimentación no convencional para animales monogástricos en el tropico. VIII Encuentro de nutrición y producción de animales monogástricos. Universidad Experimental de los Llanos (UNELLEZ); GUANARE, ESTADO PORTUGUESA, VENEZUELA; 15 y 16 de Noviembre. pp: 1-6.
- Savón VL. 2005. Alimentación no convencional de especies monogástricas: utilización de alimentos altos en fibra. Curso de Alimentación no convencional para animales monogástricos en el tropico. VIII Encuentro de nutrición y producción de animales monogástricos. Universidad Experimental de los Llanos (UNELLEZ); GUANARE, ESTADO PORTUGUESA, VENEZUELA; 15 y 16 de Noviembre. pp 30-50.

- Savón VL, Idania S. 2007 Factores antinutricionales en recursos alimentarios tropicales para especies monogástricas. IX Encuentro de Nutrición y Producción en Aímales Monogástricos, Montevideo, Uruguay, 2007.pp: 93-97.
- Savón L, Mora LM, Dihigo LE, Rodríguez V, Rodríguez Y, Scull I, Hernández Y, Ruiz TE. 2008. Efecto de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento – ceba. *Zootecnia Trop.* 26 (3): 387-390.
- SIAP, 2008a. Información de producción agrícolas año 2008. Consultado en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
- SIAP, 2008b. Producción Nacional de Papa 2008. Consultado en: <http://w4.siap.gob.mx/sispro/portales/agricolas/papa/Descripci%C3%B3n.pdf>
- Simins PH, van Kempen TATG. 1998. Reduction in nitrogen excretion in monogastrics. Improvement of precision in feed manufacturing. *Ciheap-Options méditerranéennes.* pp: 275-283.
- Smits C, Sijstma R. 2007. A decision tree for co-product utilization. *Advances in Pork Production.* 18: 213-221.
- Stein H, de Lange K. 2007. Alternative feed ingredients for pigs. London Swine Conference. 103-117.
- Sun T, Lærke HN, Jørgensen H, Bach KKE. 2006. The effect of extrusion cooking of different starch sources on the *in vitro* and *in vivo* digestibility in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology.* 131: 66-85.
- Svihus B, Uhlen Ak, Harstad OM. 2005. Effect of starch structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology.* 122: 303-320.
- Tibble SJ, Cook DR, Balfagon A, van Kempen T. 2007. Novedades en la alimentación de lechones. XXIII Curso de especialización FEDNA. pp: 213-227.
- Weurding R, Veldman A, Veen WAG, van der Aar P, Verstegen WA. 2001. Starch digestion rate in the small intestine of broiler chickens differs among feedstuffs. *J. Nutr.* 131: 2329-2335.

- Whittemore CT. 1977. The potato (*Solanum tuberosum*) as source of nutrients for pigs, calves and fowl. A review. *Animal Feed Science and Technology*. 2: 171-190.
- Wiseman J. 2006. Variations in starch digestibility in non-ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 130: 66-77.
- Zamudio-Sánchez FJ, Romo-Lozano JL, Espinoza-García N. 2008. Índice de sustentabilidad alimentaria global: tasa de crecimiento alimentaria contra tasa de crecimiento poblacional. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 14 (2):135-140.
- Zelenka J, Ceresnakova Z. 2005. Effect of age on digestibility of starch in chickens with different growth rate. *Czech, J. Anim. Sci.* 50 (9): 411-415.
- Zhou M, Robards K, Glennie-Holmes M, Helliwell S. 1998. Structure and pasting properties of oat starch. *Cereal Chemistry*. 75: 273-281.