



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

CALIDAD NUTRIMENTAL DE PULPA DE CÍTRICOS DE DIFERENTES
ESPECIES Y PROCEDENCIAS EN MÉXICO Y HAITÍ

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

Marie Waldjana Deruisseau



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
SECRETARIA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bajo la supervisión de: Alejandro Lara Bueno, Dr.



Febrero 2018

Chapingo, Estado de México

**CALIDAD NUTRIMENTAL DE PULPA DE CÍTRICOS DE DIFERENTES
ESPECIES Y PROCEDENCIAS EN MÉXICO Y HAITÍ**

Tesis realizada por **MARIE WALDJANA DERUISSEAU** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: _____



Dr. Alejandro Lara Bueno

ASESOR: _____



Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR: _____



Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	V
DEDICATORIAS	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
DATOS BIBLIOGRÁFICOS	IX
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 Producción mundial de cítricos.....	11
2.2 La citricultura en México	11
2.2.1 Naranja.....	12
2.2.2 Limón.....	13
2.3 La citricultura en Haití.....	14
2.4 Regiones cítricas	14
2.4.1 México	14
2.4.2 Haití.....	16
2.5 Aspectos generales de pulpa de cítricos	16
2.6 Características nutrimentales de pulpa de cítricos para la alimentación animal .	17
2.7 Usos de pulpa de cítricos en rumiantes	18
2.7.1 Bovinos de leche	18
2.7.2 Bovinos para carne	19
2.7.3 Ovinos	20
2.8 Usos de la pulpa de cítricos en no rumiantes	22
2.8.1 Cerdos.....	22
2.8.2 Conejos	22
2.8.3 Aves.....	22
2.9 Literatura citada	23
3. CALIDAD NUTRIMENTAL DE PULPA DE CÍTRICOS DE DIFERENTES ESPECIES Y PROCEDENCIAS EN MÉXICO Y HAITÍ	27
3.1 Resumen	27
3.2 Abstract	28
3.3 Introducción	29
3.4 Materiales y métodos	30
3.4.1 Colecta de muestras de cítricos.....	30
3.4.2 Análisis de laboratorio.....	31
3.4.3 Análisis estadístico.....	32
3.5 Resultados y discusión	33

3.5.1 Composición química.....	33
3.5.2 Concentración de minerales	36
3.5.3 Digestibilidad y fermentación <i>in vitro</i>	40
3.6 Conclusiones	45
3.7 Literatura citada	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales entidades productoras de naranja en México para 2015.	15
Cuadro 2. Principales entidades productoras de limón en México para 2015. .	15
Cuadro 3. Principales entidades productoras de toronja en México para 2015.	16
Cuadro 4. Características nutrimentales de pulpa de cítricos reportadas por diferentes autores, con información expresada en porcentaje de materia seca.	18
Cuadro 5. Niveles de uso de pulpa de cítricos en diferentes especies animales.	19
Cuadro 6. Calidad de pulpa de cítricos por especie y procedencia en México y Haití, mediante análisis proximal.....	35
Cuadro 7. Contenido energético (Mcal/kg MS) en pulpa de cítricos por especie y procedencia en México y Haití.....	36
Cuadro 8. Concentración mineral en pulpa de cítricos por especie y procedencia en México y Haití.....	39
Cuadro 9. Fracciones de fermentación (g kg^{-1} de alimento) de pulpa de cítricos por especie y procedencia en México y Haití.	41
Cuadro 10. Parámetro de la cinética de producción de gas, digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO) e índice potencial de emisión de gases de fermentación (IPEGF).	42
Cuadro 11. Volumen total (V_t), volumen residual (CH_4+GM), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), gases menores (GM) e índice potencial de emisión de gases de efecto invernadero (IPEGEI).....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de naranja, limón y toronja para el periodo 2007-2014.	11
Figura 2. Producción de naranja, limón y toronja en México para el periodo 2006-2015.	12
Figura 3. Producción mensual de naranja, limón y toronja en México.	13
Figura 4. Producción anual de naranja en Haití para el periodo 2000-2013. ...	14

DEDICATORIAS

A Dios por permitirme estar en este mundo, disfrutando y aprendiendo a cada instante. A mi familia por confiar en mis decisiones y por ser la motivación para cada día llegar más lejos en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades y servicios brindados a mi desarrollo profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyt) por el recurso económico brindado.

Al comité asesor Dr. Alejandro Lara Bueno, Ph. D. Maximino Huerta Bravo y Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde por su paciencia, dedicación y atinadas observaciones para mejorar este trabajo.

A cada profesor del Posgrado en Producción Animal por enseñarme lo mejor posible para ser excelente en el ámbito profesional.

A mis amigas Angélica Saraí, Gabriela Casarotto y Gabriela Hernández por estar incondicionalmente en esta etapa de mi vida.

A Miguel Martínez y José Adrián Magadán por el apoyo en la fase experimental de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Marie Waldjana Deruisseau
Fecha de nacimiento: 02 de marzo de 1990
Lugar de nacimiento: Thiotte, Sud-Est, Haití.
CURP: DEXM900302MNERXR06
Profesión: Licenciada en Producción Animal
E-mail: mariewald@hotmail.com



Desarrollo académico

Preparatoria: College Roger Anglade, Port-au-Prince, Haití.
Licenciatura: Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinaria
Universidad Autónoma de Santo Domingo
República Dominicana (2009-2014).
Maestría en Ciencias: Posgrado en Producción Animal
Universidad Autónoma Chapingo
México (2016-2017).

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En años recientes, la utilización de cereales en la formulación de concentrados para la alimentación animal se encuentra limitada, debido fundamentalmente a los altos incrementos en los precios, como son los casos del maíz, trigo y soya (González, 2011). A través de los años, muchos investigadores han buscado alternativas que permitan hacer más eficientes los programas de alimentación animal utilizando subproductos agroindustriales. De acuerdo con Grasser, Fadel, Garnet y Peters (1995), el uso de estos subproductos tiene la ventaja de disminuir la dependencia de materias primas que pueden ser consumidas directamente por los seres humanos, así como eliminar la necesidad de programas de gestión de residuos costosos, ya que de no gestionarlos pueden influir en la contaminación de agua, aire y suelo. Por otro lado, Bampidis y Robinson (2006) destacaron los beneficios de los subproductos agroindustriales para la microbiota ruminal, puesto que a menudo contienen altos niveles de fibra y otros nutrientes para satisfacer las necesidades de crecimiento, reproducción y producción de los rumiantes.

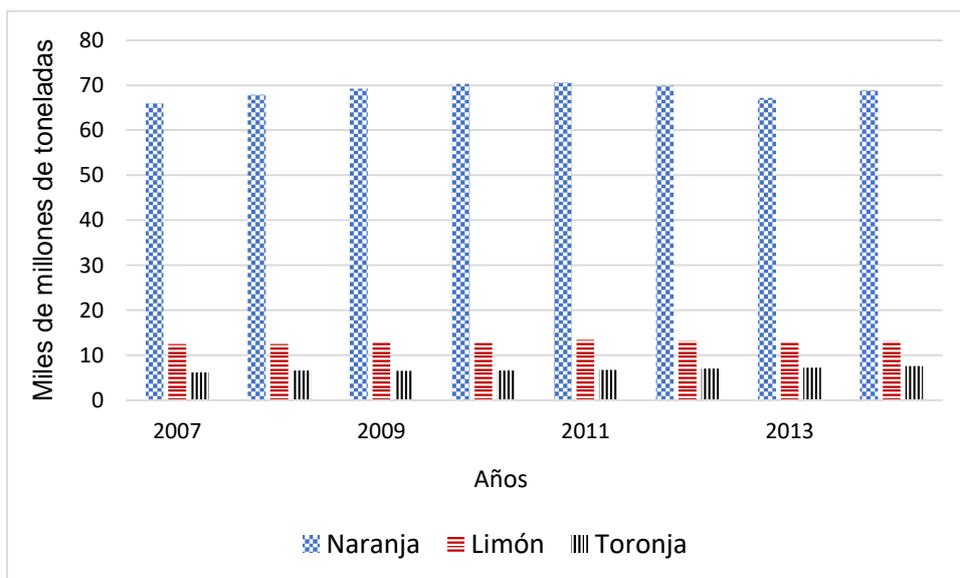
La utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación animal plantea inconvenientes como la posible variación en su composición, presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como su disponibilidad a lo largo del año (Grasser et al., 1995; Mussatto, Dragone & Roberto, 2006). Sin embargo, con la combinación de otros ingredientes alimenticios y su formulación adecuada se puede obtener una dieta balanceada, lo que requiere de la caracterización nutrimental previa del subproducto a usar.

En el capítulo 2 de este documento se presenta una revisión de literatura, destacando estadísticas de la producción mundial de cítricos y la citricultura de México y Haití. También se presentan las diferentes características nutrimentales de la pulpa de cítricos y los usos que han tenido en diferentes especies de animales domésticos. Por otro lado, en el capítulo tres se presentan los resultados de un estudio que tiene el propósito de analizar la calidad nutrimental de pulpa de naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*) y toronja (*Citrus paradisi*), provenientes de México y Haití.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción mundial de cítricos

La producción mundial de cítricos ha pasado por un período de enorme crecimiento, a partir de la segunda mitad de la década de los ochenta. La producción de naranja, limón y toronja se ha expandido rápidamente. Niveles más altos de producción han permitido a su vez mayores niveles de consumo total y *per cápita* de estos frutos, lo que ha provocado un crecimiento más rápido en el área de productos cítricos procesados (Spreen, 2001). La Figura 1 presenta el volumen anual (2007-2014) de la producción mundial de naranja, toronja y limón. Sanfeliu (2016) reportó una producción mundial de 121,270 millones de toneladas de cítricos para el año 2014, donde el 6% de esta producción procedió de México.



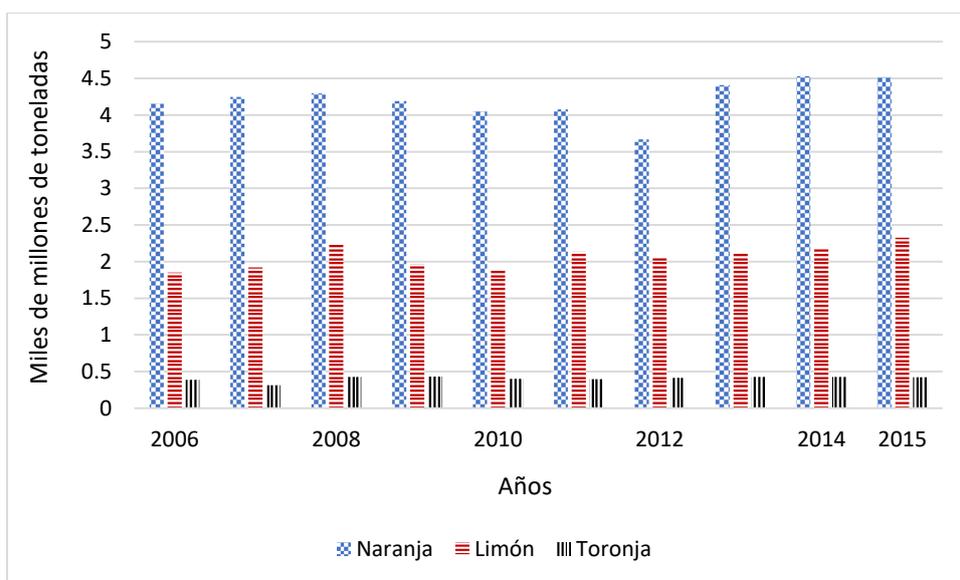
Fuente: Sanfeliu, 2016.

Figura 1. Producción mundial de naranja, limón y toronja para el periodo 2007-2014.

2.2 La citricultura en México

Han pasado muchos años desde que Schwentesius y Gómez (1996) estimaron que la producción de cítricos en México jugaba un papel importante en el sector agropecuario, ya que tan solo la superficie que se destinó al cultivo de la naranja

para 1993 representó el 1.8% del total de la superficie agrícola nacional; y desde 1965 los cítricos ocupan el primer lugar dentro de las 15 frutas principales, con el 27% de la superficie total cultivada (desplazando al plátano que había ocupado este lugar desde 1927), y a partir de este momento el valor económico del cultivo representa más del 3% del total agrícola. Desde entonces, la producción citrícola sigue aumentando en este país (Figura 2).

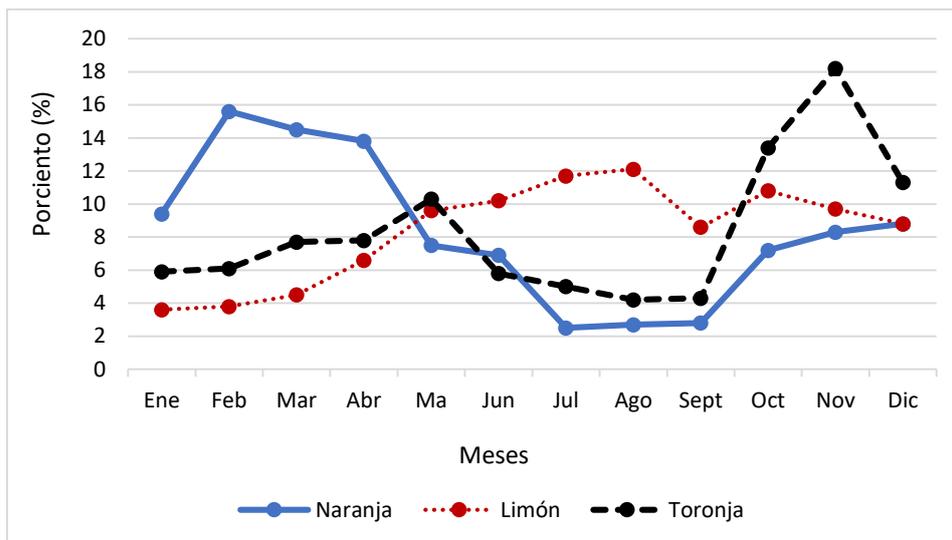


Fuente: SAGARPA, 2016.

Figura 2. Producción de naranja, limón y toronja en México para el periodo 2006-2015.

2.2.1 Naranja

México ocupa el quinto lugar como productor mundial de naranja (4'409,968 toneladas), por lo que se puede establecer que tres de cada cincuenta naranjas que se cosechan en el mundo se obtienen en los naranjales mexicanos. Este cítrico participa con 22.5% de la producción nacional de frutos, con un consumo anual *per cápita* de 37.1 kg. Los países: Alemania, Rusia, Francia, Arabia Saudita y Hong Kong son potenciales compradores de la naranja mexicana. En conjunto, sus importaciones pueden ser cubiertas dos veces con la producción nacional de México. El 44% del volumen anual (Figura 3) de esta producción se cosecha entre febrero y abril (SAGARPA, 2016).



Fuente: SAGARPA, 2016.

Figura 3. Producción mensual de naranja, limón y toronja en México.

2.2.2 Limón

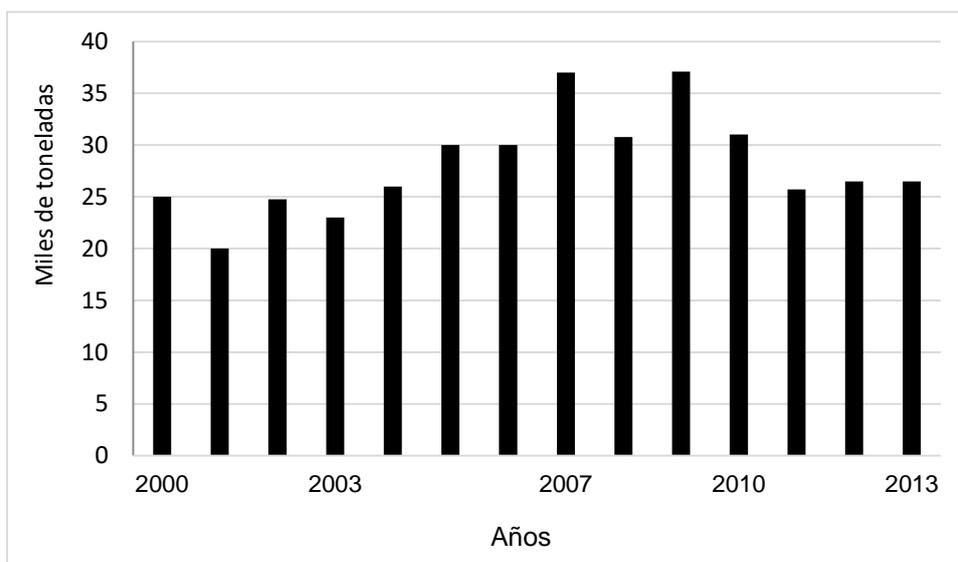
México ocupa el segundo lugar en la producción mundial de limón (2'120,613 toneladas). En el año 2012, hubo una caída en la producción nacional (Figura 2), pero desde entonces sigue creciendo año tras año. La tercera parte de la producción se cosecha entre junio y agosto (Figura 3). Este cítrico participa con 11.6% de la producción nacional de frutos, con un consumo anual *per cápita* de 14.1 kg. El limón destaca entre los principales productos agrícolas que México exporta, ya que en 2015 generó divisas por 375.6 millones de dólares (SAGARPA, 2016).

2.2.3 Toronja

México ocupa el cuarto lugar como productor mundial de toronja (425,433 toneladas). En el año 2015, hubo una pequeña disminución en la producción nacional (Figura 2); sin embargo, el rendimiento por hectárea de los huertos de toronja del país sigue posibilitando una oferta que representa 4.9% del total mundial del fruto. Esta producción genera mayor cosecha en los últimos tres meses del año (Figura 3). Este fruto participa con 2.1% de la producción nacional de frutos, con un consumo anual *per cápita* de 3.4 kg. Francia representa el principal comprador de toronja mexicana (SAGARPA, 2016).

2.3 La citricultura en Haití

La mayor producción de naranja en este país se obtuvo en el año 2009 (37,108 toneladas) (Figura 4). En 2013, mundialmente Haití ocupó la posición jerárquica 67 de 110 países productores de naranja, con una producción de 26,500 toneladas. Aunque no hay datos relevantes y detallados sobre la producción de toronja y limón, la FAO reporta 85,700 toneladas de producción de cítricos para el año 2013. Haití no exporta productos cítricos, por lo que su producción se dedica al consumo nacional (FAO, 2016).



Fuente: FAO, 2016

Figura 4. Producción anual de naranja en Haití para el periodo 2000-2013.

2.4 Regiones cítricas

2.4.1 México

Los Cuadros 3, 4 y 5 presentan las principales entidades productivas de cítricos en el país. Veracruz es el líder en volumen y valor de la producción de cítricos, y la superficie sembrada se extiende en 91 municipios. El limón se cultiva en 28 entidades federativas, siendo Michoacán y Veracruz los que poseen la mayor superficie comercial de limón. Michoacán concentra cerca de 29% de la producción de limón, donde los municipios de Buenavista y Apatzingán generan más de dos terceras partes del volumen cosechado en la entidad. La mayor superficie que posee condiciones óptimas para el cultivo de toronja en el país se encuentra presente en las regiones costeras, siendo Veracruz la entidad con

41% de la superficie sembrada de toronja; la cual obtuvo un rendimiento de 34.2 toneladas por hectárea en el año 2015 (SAGARPA, 2016).

Cuadro 1. Principales entidades productoras de naranja en México para 2015.

Jerarquización	Entidad federativa	Volumen (ton)	Variación 2014-15 (%)
1	Veracruz	2'336,427	-0.7
2	Tamaulipas	668,935	12.1
3	San Luis Potosí	337,717	-18.1
4	Nuevo León	313,439	2.7
5	Puebla	214,175	-3.8
6	Yucatán	147,107	-2.9
7	Sonora	142,445	2.7
8	Tabasco	81,451	0.3
9	Hidalgo	59,041	2.1
10	Oaxaca	56,290	3.9
	Otras entidades	158,496	-0.5
	Total nacional	4'515,520	-0.4

Fuente: SAGARPA, 2016.

Cuadro 2. Principales entidades productoras de limón en México para 2015.

Jerarquización	Entidad federativa	Volumen (ton)	Variación 2014-15 (%)
1	Michoacán	670,613	5.3
2	Veracruz	659,034	5.8
3	Oaxaca	245,137	16.6
4	Colima	191,890	9.9
5	Tamaulipas	121,200	48.7
6	Tabasco	83,141	0.7
7	Jalisco	81,198	12.4
8	Yucatán	74,463	-17.6
9	Guerrero	71,867	0.4
10	Puebla	28,211	8.4
	Otras entidades	99,314	-16.1
	Total nacional	2'326,068	6.3

Fuente: SAGARPA, 2016.

Cuadro 3. Principales entidades productoras de toronja en México para 2015.

Jerarquización	Entidad federativa	Volumen (ton)	Variación 2014-15 (%)
1	Veracruz	248,927	-0.6
2	Michoacán	49,566	3.4
3	Tamaulipas	46,544	-3.4
4	Nuevo León	26,201	-13.5
5	Campeche	18,955	16.9
6	Sonora	16,689	12.3
7	Yucatán	5,106	-16.1
8	Puebla	5,067	-9.8
9	Sinaloa	2,887	-
10	Oaxaca	1,161	-22.7
	Otras entidades	3,213	-7.0
Total nacional		424,315	-0.1

Fuente: SAGARPA, 2016.

2.4.2 Haití

La producción cítrica en Haití se encuentra en las regiones semihúmedas, con alrededor de 800 mm anuales de precipitación. Las principales regiones son: Grand-Anse, Jeremie, Nord, Nord-Ouest, Plato Central, Sud y Sud-Est. No se encontraron publicaciones con datos relevantes de la cantidad de hectáreas de cítricos producidas por cada región.

2.5 Aspectos generales de pulpa de cítricos

La pulpa de cítricos se genera al extraer el jugo de los frutos para fines de uso en humanos. Este subproducto es un remanente proveniente de la industrialización de diferentes tipos de cultivo cítricos, tales como naranja, toronja, limón, mandarina, entre otros (García, 2011). Los cítricos están constituidos por 60% de peso fresco del producto a exprimir, y el restante que es la pulpa está formado por 60-65% de piel, 30-35% de los segmentos del fruto y 0-10% de semillas (FEDNA, 2016).

Se considera que este subproducto puede tener varios usos; tales como su aplicación en la industria farmacéutica, por las propiedades funcionales que tiene la cáscara o corteza; entre estos componentes funcionales destacan sustancias

flavonoides por su actividad biológica (acción preventiva de la fragilidad capilar); pectinas, que forman parte de la fibra dietética natural, de gran importancia en la dieta diaria para el adecuado funcionamiento del organismo; carotenoides (colorantes naturales y provitamina A) y el d-limoneno, ambos con importante papel preventivo en determinados tipos de cáncer. Otro uso de la pulpa de cítricos está dado en la alimentación animal, bien como fresca, ensilada, seca, prensada o en pellets (Sánchez, 2017).

2.6 Características nutrimentales de pulpa de cítricos para la alimentación animal

Las investigaciones realizadas por Pita y Morín (2004) indican que la pulpa de cítricos puede contener hasta 50% de humedad y 30% de sustancias solubles en agua, como azúcares reductores, pectinas, sacarosa, vitaminas del complejo B, vitamina C y ácidos orgánicos. De estos ácidos orgánicos, entre los principales están el glucónico, láctico, acético, cítrico y málico.

Dentro de las cualidades más importantes de este subproducto, es el ser un ingrediente con alto contenido energético altamente digestible (85% de la materia orgánica digestible); con componentes fibrosos altos en pectina, lo que significa también buena degradabilidad (65%), lo que se considera un nivel alto de fibra efectiva para rumiantes (33%); digestibilidad intestinal de proteína que escapa a la degradación ruminal de 85%; velocidad de degradación de 6 %/h, entre otras cualidades valiosas para su inclusión en dietas para rumiantes (FEDNA, 2016). González et al. (2013) evaluaron los cambios en las características bromatológicas de pulpa fresca de naranja cuando es almacenada en montones al aire libre y no vieron afectada la composición química por el almacenamiento durante siete días, excepto la MS y PC, pero sin establecer su uso en la alimentación de rumiantes.

Diferentes autores determinaron la composición de algunos nutrimentos (Cuadro 4) en pulpa de naranja y cítricos en general, los resultados reportados fueron muy variables, especialmente en materia seca donde los resultados de FEDNA (2016) superaron en 12% a los de Rojas et al. (2001) y en 14.58% a los de Vásquez (2001).

Cuadro 4. Características nutrimentales de pulpa de cítricos reportadas por diferentes autores, con información expresada en porcentaje de materia seca.

Componentes	Autores			
	Vásquez, 2001*	Rojas et al., 2001	FEDNA, 2016	Coimbra et al., 2017
Materia Seca	4.62	7.00	19.20	9.86
Cenizas	4.62	7.31	5.32	6.66
Extracto Etéreo	3.65	3.84	2.60	2.37
Proteína Cruda	7.16	6.22	7.64	6.84
FDN	29.00	29.00	26.00	25.99
FDA	NE ^y	24.90	23.50	NE
Calcio	NE	1.50	0.93	NE
Fósforo	NE	0.08	0.15	NE
Sodio	NE	NE	0.08	NE
Potasio	NE	NE	0.68	NE
Magnesio	NE	NE	0.14	NE

* La primera columna es para naranja y las restantes para cítricos en general.

^y NE= no especificada.

García (2011) muestreó los diferentes niveles de uso dado a la pulpa de cítricos en diferentes especies animales (Cuadro 5). El autor recomienda para rumiantes un uso de hasta 30% en vacas lecheras, y 60% en terneros, ganado de carne y ovinos; y para no rumiantes de 5 a 10% en pollos y hasta 20% en cerdo y conejo.

2.7 Usos de pulpa de cítricos en rumiantes

2.7.1 Bovinos de leche

La pulpa de cítricos es capaz de sustituir parcial o casi totalmente los ingredientes energéticos de raciones para vacas lecheras de mediana y alta producción (García, 2011). Rojas et al. (2001) usaron pulpa de cítricos en la alimentación de vacas lecheras, con niveles de inclusión de 0, 15, 30 y 45% de las raciones, y encontraron que no hubo reducción del pH ruminal, siendo similares el nivel de ácido acético, y la persistencia de producción de leche entre los tratamientos; aunque el nivel de inclusión de 30% de pulpa de cítricos en la dieta mejoró la producción de leche. Por lo anterior, los autores concluyeron que la pulpa de cítricos en raciones para vacas lecheras puede utilizarse hasta en 30% de la ración diaria (1.8 kg/vaca/día de pulpa de cítricos deshidratada), los cuales equivalen a reemplazar el maíz hasta en 75%.

Cuadro 5. Niveles de uso de pulpa de cítricos en diferentes especies animales.

Especies	Características	Niveles de uso (%)	Observaciones
Vacas lecheras	NE *	30	Se ha utilizado sin problema hasta 60% y se ha reemplazado el 75% de maíz en la ración.
Terneros	NE	60	Se ha sustituido el 100% del sorgo en la ración.
Ganado para carne	NE	60	Se ha utilizado hasta 70%. Se ha sustituido el sorgo en niveles de 75%.
Ovino	NE	60	NE
Cerdo	Harina de pulpa de toronja	Algunos autores sugieren 5 y otros 15 –20	Se sugiere hacer pruebas
Cerdo	Harina de pulpa de naranja	Algunos autores sugieren 10 y otros 15 –20	Es importante hacer pruebas de campo con 5 y 10%, especialmente en cerdas paridas y preñadas.
Cerdo	Pulpa fresca de naranja	Hasta 25, en sustitución de dietas a base de melaza y subproductos.	NE
Conejo	NE	15 – 20	Se han utilizado niveles de hasta 75%, pero económicamente es factible hasta 30%.
Gallina ponedora	Pulpa de naranja	Hasta 20	NE
Gallina ponedora	Pulpa de limón	No más de 5	NE
Pollos	NE	5 – 10	Niveles más altos afectan el consumo y la eficiencia alimenticia.

Fuente: García, 2011.

* NE= no especificada.

González (2011) probó una dieta para vacas lecheras en producción, con base en 72.8% harina de cítricos, 20% melaza, 3% urea, 3% fosfato dicálcico, 1% cloruro de sodio y 0.2% azufre; al evaluarla concluyó que la harina de cítricos deshidratada mezclada con urea, satisface los requerimientos de vacas lecheras para una producción de 5-6 L vaca⁻¹ d⁻¹, suplementada con 2 kg animal⁻¹d⁻¹ de pulpa de cítricos, con pastoreo restringido y con forraje de corte.

2.7.2 Bovinos para carne

Schaibly y Wing (1974) incluyeron pulpa de cítricos deshidratada en raciones para novillos, y encontraron un incremento de 14% en la digestibilidad de la materia seca. Diferentes niveles de sustitución de harina de maíz por pulpa de

cítricos fueron evaluados por Santos y Aguilera (1981) en concentrados para terneros, obteniendo ganancias diarias de peso al destete (64 días) de 0.312, 0.282, 0.294, 0.258, 0.260 kg, y posdestete (90 días) de 0.461, 0.510, 0.438, 0.442 y 0.402 kg, en las proporciones de sustitución de 0, 25, 50, 75 y 80% de pulpa de cítricos. Michelena, Ly y Pereira (1983) encontraron consumos de materia seca de 1.72, 1.83, 1.86 y 1.79 kg d⁻¹ al sustituir 0, 50, 75 y 100%, respectivamente, de grano de sorgo por pulpa de cítricos en raciones para terneros. A su vez, Alfaro, Alderete, Briones y Ku (1992) mencionan que la pulpa de cítricos promueve el buen comportamiento cuando sustituye al grano de sorgo hasta en 75%, para raciones integrales de bovinos. Según González, Vega, Barreras y Chong (1996), la harina de cítricos es bien consumida y asimilada por los terneros al suministrarla a libre acceso, reportando mayor consumo de alimento y mayor ganancia diaria de peso.

Carnevalli, Chicco y Verde (2001) utilizaron pulpa de cítricos en niveles de hasta 70% de la ración, indicando que el valor energético de dicho subproducto es adecuado para la engorda de bovinos. Cuando a este producto se le adiciona una fuente de proteína combinada con urea, puede resultar en ganancias de peso adecuadas y se puede dejar de utilizar fuentes alimenticias caras, como maíz y harina de soya. Por otro lado, Cribbs et al. (2015) informaron que la pulpa de cítricos deshidratada modula las concentraciones de metabolitos sanguíneos en novillas después de un desafío de endotoxina y mejora el rendimiento de las novillas en dietas de recepción, en sustitución del maíz al 10%. Recientemente, Gouvêa et al. (2016) observaron incrementos en el consumo de materia seca y ganancia diaria de peso en novillos Nellore en engorda al reemplazar hasta 50% de maíz por pulpa de cítricos.

2.7.3 Ovinos

Digestibilidad de 75.3% de la materia seca fue reportada por Battacharya y Harb (1973), al utilizar niveles de inclusión de 60% de pulpa de cítricos deshidratada en dietas para borregos. De la misma manera, Basurto y Tejada (1992) encontraron que al sustituir rastrojo de maíz por pulpa deshidratada de limón hasta en 45%, se incrementó la digestibilidad de la materia seca y materia orgánica de la ración en borregos. Martínez y Fernández (1980) encontraron

consumos de materia seca de 999, 913 y 928 g animal⁻¹ d⁻¹ en ovinos con inclusión de 0, 30 y 60% de pulpa de cítricos en la dieta diaria, respectivamente. Sin embargo, Volanis, Zoiopoulos y Tzerakis (2004) no observaron diferencias en la ganancia diaria de peso en ovejas lactantes de raza Sfakian cuando se alimentaron con 79.5% de pulpa de naranja ensilada reemplazando parte del grano de maíz, harina de soya y heno de avena; aunque sí hubo aumento del rendimiento de leche (12%) y un incremento de 16% en la grasa de la leche durante el último tercio de la lactancia. A su vez, Jaramillo et al. (2009) observaron reducción del 15% de grasa y casi 5% de sólidos totales en la leche de ovejas lactantes alimentadas con dietas que incluyeron 30% de pulpa de naranja. Henrique et al. (2008) no encontraron alteraciones en las características de los huesos de las ovejas en engorda cuando sustituyeron total o parcialmente (33-67%) el maíz por pulpa de cítricos.

Gravador et al. (2014) estudiaron efectos antioxidantes de la pulpa de cítricos sobre la proteína de la carne de cordero, utilizando 23 al 35% del subproducto deshidratado como sustituto del concentrado en la ración, y observaron que la inclusión de pulpa de cítricos disminuyó significativamente la velocidad de oxidación de las proteínas musculares, lo cual indica que la pulpa de cítricos redujo los cambios oxidativos en las proteínas de la carne de los corderos. En un estudio similar (Inserra et al., 2014), se evaluó el efecto de reemplazar los concentrados de cereales con 24 a 35% de pulpa de cítricos deshidratada en la estabilidad oxidativa de la carne de cordero, y reportaron que, independientemente del nivel de suplementación, la inclusión de este subproducto en la dieta redujo la oxidación lipídica de la carne durante seis días de almacenamiento aeróbico, mientras que los parámetros de color no cambiaron notablemente durante el almacenamiento. Lanza et al. (2015) encontraron mejoría en la composición de los ácidos grasos intramusculares sustituyendo la cebada por 24 o 35% de pulpa de cítricos deshidratada, en una dieta basada en concentrados para corderos en crecimiento.

Recientemente, Tadayon, Rouzbehan y Rezaei (2017) ofrecieron 220 g de pulpa deshidratada de naranja y 160 g de cama de aves reciclada por kg de MS en corderos, y encontraron aumento en la eficiencia de utilización del alimento, donde el rendimiento animal fue mayor con la alimentación simultánea. A su vez,

la sustitución dietética parcial del subproducto en estudio (en lugar de grano de cebada y grano de maíz) tuvo efecto positivo sobre la ingesta de alimento, digestibilidad de la dieta, crecimiento y retención de nitrógeno microbiano.

2.8 Usos de la pulpa de cítricos en no rumiantes

2.8.1 Cerdos

Domínguez (1995) observó que niveles entre 10-20% de pulpa de cítricos se pueden utilizar en dietas para cerdos sin ningún riesgo en el comportamiento productivo, aunque Moura y Lavorenti (1976) recomiendan un nivel no mayor de 10%, por cuestiones de reducción en el consumo y ganancia diaria de peso. A su vez, estos autores opinan que con harina de pulpa de cítricos promueven altas ganancias de peso (0.71 kg d^{-1}) y mejoras en la conversión alimenticia.

2.8.2 Conejos

Martínez y Fernández (2009) incluyeron niveles de 0, 15, 30, 45, 60 y 75% de pulpa de cítricos en raciones para conejos, y no encontraron efectos tóxicos que puedan restringir altas inclusiones del subproducto en la dieta. Sin embargo, los resultados indicaron mejores beneficios económicos en los niveles de inclusión de 15 y 20%, aunque con niveles de 30% es posible obtener beneficios por inclusión del subproducto en la ración en comparación con no usarlo. De la misma manera, Maria et al. (2013) informaron que la pulpa de cítricos deshidratada puede sustituir al maíz hasta en 20% en las dietas de conejos.

2.8.3 Aves

Se ha indicado que niveles máximo de 20% de pulpa de naranja y no más del 5% de pulpa de limón, pueden utilizarse sin mayor problema en gallinas ponedoras. Aunque, para la alimentación de pollos de engorda, el empleo de estos subproductos está limitado a niveles no mayores al 10%, por efecto de que pueden disminuir el consumo de alimento y afectar la tasa de crecimiento (García, 2011).

2.9 Literatura citada

- Alfaro, R. M., Alderete, R., Briones, E. F., & Ku, J. C. (1992). Sustitución del grano de sorgo por pulpa deshidratada de naranja en la alimentación de novillos engordados en corral. Memorias de la Cuarta Reunión de Nutrición Animal. 22-24 de octubre de 1992. Tamaulipas, México, pp. 51-53.
- Bampidis, V. A., & Robinson, P. H. (2006). Citrus by-products as ruminant feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 128, 175-217.
- Basurto, G. R., & Tejada, H. I. (1992). Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 30, 13-23.
- Battacharya, A. N., & Harb, M. (1973). Dried citrus pulp as a grain replacement for Awasi lambs. *Journal of Animal Science*, 36, 1175-1263.
- Carnevali, A., Chicco, C., & Verde, G. (2001). Utilización de altos niveles de pulpa de cítricos y de urea en raciones de engorde para bovinos. *Agronomía tropical*, 22, 261-269.
- Coimbra, E. P., Azevedo, R. A., Reis, R. B., Saturnino, H. M., & Coelho, S. G. (2017). Substituição total do milho pela polpa cítrica no concentrado de bezerros leiteiros. *Archivos de Zootecnia*, 66, 351-356.
- Cribbs, J. T., Bernhard, B. C., Young, T. R., Jennings, M. A., Burdick S., N. C., Carroll, J. A., Callaway, T. R., Schmidt, T. B., Johnson, B. J., & Rathmann, R. J. (2015). Dehydrated citrus pulp alters feedlot performance of crossbred heifers during the receiving period and modulates serum metabolite concentrations before and after an endotoxin challenge. *Journal of Animal Science*, 93, 5791-5800.
- Domínguez, P. L. (1995). Pulpa de cítricos en la alimentación de cerdos. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 2, 2-56.
- FAO. (2016). Haití: Naranja-Producción. World Atlas-Statistic by country. <https://es.actualitix.com/pais/hti/haiti-naranja-produccion.php>. Consultada el 9 de junio de 2017.
- FEDNA. (2016). Valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos: pulpa de cítricos. <http://www.fundacionfedna.org/subproductos-fibrosos-humedos>. Consultada el 25 de junio de 2017.
- García L., G. (2011). Uso de la pulpa de cítricos en la alimentación animal. República Dominicana: IDIAF.
- González, I. J., Vega, F., Barreras, R., & Chong, L. (1996). Utilización de la harina de cítrico en la alimentación del ternero. Memorias del XI Forum de Ciencia y Técnica. 15 y 16 de noviembre de 1996. Matanzas, Cuba.

- González R., A., Lucero M., F. A., Zárate F., P., Hernández M., J., Ibarra H., M. A., Limas M., A. G., & Martínez G., J. C. (2013). Evolución del valor nutritivo de la pulpa de naranja fresca almacenada durante siete días. *Zootecnia Tropical*, 31, 159-164.
- González S., I. L. (2011). Tecnología para la utilización de la harina de cítricos en las empresas agropecuarias. <http://www.ilustrados.com/tema/11484/Tecnologia-para-utilizacionharina-citrico-empresas.html>. Consultada el 2 de junio de 2017.
- Gouvêa, V. N., Batistel, F., Souza, J., Chagas, L. J., Sitta, C., Campanili P., R. B., Galvani, D. B., Pires, A. V., Owens, F. N., & Santos F., A. P. (2016). Flint corn grain processing and citrus pulp level in finishing diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 94, 665-677.
- Grasser, L. A., Fadel, J. G., Garnet, I., & Peters, E. J. (1995). Quantity and economic importance of nine selected by products used in California dairy rations. *Journal of Dairy Science*, 78, 962-971.
- Gravador, S. R., Jongberg, S., Andersen, M. L., Luciano, G., Priolo, A., & Lund, M. N. (2014). Dietary citrus pulp improves protein stability in lamb meat stored under aerobic conditions. *Meat Science*, 97, 231-236.
- Henrique R., G., Susin, I., Vaz P., A., Quirino M., C., Shibata U., F., & Contreras C., C. J. (2008). Polpa cítrica em rações para cordeiros em confinamento: características da carcaça e qualidade da carne. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1869-1875.
- Inserra, L., Priolo, A., Biondi, L., Lanza, M., Bognanno, M., Gravador, R., & Luciano, G. (2014). Dietary citrus pulp reduces lipid oxidation in lamb meat. *Meat Science*, 96, 1489-1493.
- Jaramillo, D. P., García, T., Buffa, M., Rodríguez, M., Guamis, B., & Trujillo, A. (2009). Effect of the inclusion of the whole citrus in the ration of lactating ewes on the properties of milk and cheese characteristics during ripening. *Journal of Dairy Science*, 92, 469-476.
- Lanza, M., Scerra, M., Bognanno, M., Buccioni A., Cilione C., Biondi, L., Priolo, A., & Luciano, G. (2015). Fatty acid metabolism in lambs fed citrus pulp. *Journal of Animal Science*, 93, 3179-3188.
- Maria, B. G., Scapinello, C., Galuci O., A. F., Monteiro, A. C., Catelan, F., & Figueira, J. L. (2013). Digestibilidade da polpa cítrica desidratada e efeito de sua inclusão na dieta sobre o desempenho de coelhos em crescimento. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 35, 85-92.
- Martínez, P. J., & Fernández, C. J. (1980). Composition of citrus pulp. *Animal Feed Science and Technology*, 5, 1-10.

- Martínez P., J. L., & Fernández C., J. (2009). Estudios económicos de la inclusión de la pulpa de cítricos en piensos destinados al engorde de conejos. (Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Valencia, España). Consultada en file:///C:/Users/marie/Downloads/Dialnet-EstudioEconomicoDeLaInclusionDeLaPulpaDeCitricosEn-2915717.pdf
- Michelena, J., L y, J., & Pereira, M. (1983). Evaluación de la pulpa de cítrico deshidratada como sustituto del grano de sorgo como fuente de energía para los rumiantes. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 3, 81.
- Moura, M. P., & Lavorenti, A. (1976). Polpa de citrus peletizada en racoes de crescimento e acabamento para suínos. *Boletim de Indústria Animal*, 33, 135-143.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43, 1-14.
- Pita M., S. E., & Morín, A. (2004). Caracterización bioquímica de los residuales del combinado de cítricos de Pinar del Rio destinados a la alimentación animal. *Ciencia Tecnología y Medio Ambiente*, 6, 3.
- Rojas, A., Gamboa, L., Villarreal, M., Víquez, E., Castro, R., & Poore, M. (2001). La sustitución de maíz por pulpa de cítricos deshidratada sobre la producción y composición láctea de vacas encastadas de Holstein en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 25, 45-52.
- SAGARPA. (2016). Atlas Agroalimentario. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. México, D. F.
- Sanfeliu F., I. (2016). La Citricultura en España: presente y futuro. Valencia, España: Planstar.
- Santos, A., & Aguilera, E. (1981). Niveles de sustitución de la harina de maíz por pulpa de cítrico deshidratada en concentrado para terneros. Efectos en el comportamiento y salud de los terneros. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 15, 141.
- Sánchez D., M. J. (2017). *Estudio de la digestibilidad in vivo de las dietas elaboradas con subproductos de la industria de zumos en ganado caprino lechero lactación*. (Tesis Profesional. Universidad de Sevilla. Sevilla, España).
- Schaibly, G. E., & Wing, J. M. (1974). Effect of roughage concentrate ration digestibility and rumen fermentation of corn silage-citrus pulp rations. *Journal of Animal Science*, 38, 697-712.
- Schwentesi R., R., & Gómez, C. M. A. (1996). El modelo neoliberal y la desmodernización de la agricultura mexicana. El caso de la naranja. Chapingo, México: Área de publicaciones CIESTAAM.

- Spreen, T. H. (2001). Proyecciones de la producción y consume mundial de los cítricos para el 2010. FAO, In: Memoria del Simposio sobre Cítricos. China, pp. 1-8.
- Tadayon, Z., Rouzbehan, Y., & Rezaei, J. (2017). Effects of feeding different levels of dried orange pulp and recycled poultry bedding on the performance of fattening lambs. *Journal of Animal Science*, 95, 1751-1765.
- Vásquez G., J. R. (2001). El ensilaje de pulpa de naranja en el engorde de corderos. (Tesis Profesional, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras). <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1476/1/CPA-2001-T088.pdf>
- Volanis, M., Zoiopoulos, P., & Tzerakis, K. (2004). Effects of feeding ensiled sliced oranges to lactating dairy sheep. *Small Ruminant Research*, 53, 15-21.

3. CALIDAD NUTRIMENTAL DE PULPA DE CÍTRICOS DE DIFERENTES ESPECIES Y PROCEDENCIAS EN MÉXICO Y HAITÍ

3.1 Resumen

El potencial nutrimental de pulpa de naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*) y toronja (*Citrus paradisi*), y su procedencia de regiones cítricas de México y Haití fueron analizados mediante la determinación de la composición química, contenido mineral y digestibilidad *in vitro* en muestras de subproductos de pulpa industrializada de cada uno de estos frutos. La caracterización y comparación de las variables estudiadas se realizó a través de un modelo estadístico que consideró el efecto de especie cítrica y de las regiones de procedencia. Cada muestra obtenida de las diferentes regiones de procedencia constituyó la unidad experimental. Se realizó la comparación del contenido nutrimental y producción de gas de muestras de pulpa de naranja de cuatro regiones cítricas de México y Haití. La pulpa de limón superó ($P < 0.05$) a la pulpa de naranja en 38, 56, 19 y 21% en el contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido, respectivamente. La pulpa de limón fue 65 y 44% mayor ($P < 0.05$) en sodio y cobre, respectivamente, y la pulpa de naranja fue 38% mayor ($P < 0.05$) en calcio; comparando con el promedio de las otras especies. El contenido de fósforo fue 60% mayor ($P < 0.05$) en la pulpa de limón comparando con toronja. La tasa de producción de gas fue 25 y 40% mayor ($P < 0.05$) en la pulpa de naranja y toronja, respectivamente, comparando con la pulpa de limón. Independientemente de la región de cultivo, el contenido mineral fue similar en la pulpa de naranja; excepto en la región noreste donde sodio fue más bajo ($P < 0.05$) que la región centro-este y centro. Mayores contenidos de fibra y menores de cenizas y extracto etéreo fueron observados en pulpa de naranja de Haití, en comparación con la pulpa de las regiones cítricas de México. La pulpa de naranja procedente de Haití tuvo mayor ($P < 0.05$) digestibilidad de la materia orgánica que la región noreste de México. Se observó mayor ($P < 0.05$) producción de gases de efecto invernadero en la pulpa de naranja procedente de la región noreste que la pulpa procedente de la región centro y Haití. En conclusión, el valor nutrimental de la pulpa de naranja, limón y toronja depende de la especie cítrica y del lugar de su procedencia.

Palabras claves: composición química, minerales, digestibilidad.

3.2 Abstract

NUTRITIONAL QUALITY OF CITRIC PULP FROM DIFFERENT SPECIES AND ORIGIN IN MEXICO AND HAITI

Nutritional potential of orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*) and grapefruit (*Citrus paradisi*) pulp, and its origin from citrus regions of Mexico and Haiti were analyzed by determining the chemical composition, mineral content and *in vitro* digestibility of samples from sub-products of industrialized pulp of these fruits. The characterization and comparison of the variables studied were carried out through a statistical model that considered the effect of citrus species and the regions of provenance. Each sample obtained from the different regions of origin constituted the experimental unit. The comparison of nutrient content and gas production of orange pulp samples from four citrus regions of Mexico and Haiti was performed. Lemon pulp exceeded ($P < 0.05$) to grapefruit pulp at 38, 56, 19 and 21% in the content of crude protein, ether extract, neutral detergent fiber and acid detergent fiber, respectively. Lemon pulp was 65 and 44% higher ($P < 0.05$) in sodium and copper, respectively, and the orange pulp was 38% higher ($P < 0.05$) in calcium; compared with the average of the other species. The phosphorus content was 60% higher ($P < 0.05$) in lemon pulp compared with grapefruit. Gas production rate was 25 and 40% higher ($P < 0.05$) in orange and grapefruit pulp, respectively, compared to lemon pulp. Regardless of the growing region, the mineral content was similar in orange pulp; except in the northeast region where sodium was lower ($P < 0.05$) than the center-east and center region. Higher fiber content and lower ash and ether extract were observed in orange pulp from Haiti, compared to pulp from the citrus regions of Mexico. Orange pulp from Haiti had higher ($P < 0.05$) digestibility of organic matter than orange pulp from the northeast region of Mexico. It was observed higher ($P < 0.05$) amount of greenhouse gases in orange pulp from northeast region than orange pulp from central region and Haiti. In conclusion, the nutritional value of pulp of orange, lemon and grapefruit depends on the citrus species and the place of origin.

Key words: chemical composition, minerals, digestibility

3.3 Introducción

Lograr que la producción animal sea competitiva, implica la implementación de medidas dirigidas a la reducción de costos de alimentación, los cuales representan el 50 a 70% de los costos totales de producción en los sistemas de producción con rumiantes (García, 2011). La búsqueda de alternativas alimenticias para sustituir total o parcialmente las materias primas de alto costo usadas en la elaboración de alimentos para rumiantes, hace necesaria la realización de estudios para la incorporación de subproductos agroindustriales en la alimentación animal, como es el caso de la pulpa de cítricos.

La producción de cítricos está muy extendida a nivel mundial (121,270 millones de Ton en 2014; Sanfeliu, 2016). Este mercado genera gran cantidad de subproductos, que en muchas ocasiones son un problema ambiental. Sin embargo, estos desechos pueden ser utilizados para la alimentación animal, disminuyendo los impactos ambientales y mejorando la eficacia global del sector agrícola, en beneficio de las comunidades rurales.

En regiones tropicales, la alimentación del hato es la piedra angular de los productores de leche y carne. Bajo estas condiciones, es difícil encontrar un concentrado comercial de bajo costos que al mismo tiempo cubra los requerimientos nutricionales de las vacas (Félix, 2001). De acuerdo con Chedly y Lee (2001), hay gran variedad de subproductos agroindustriales que frecuentemente, son mal utilizados e incluso desperdiciados; los cuales, con un manejo adecuado pueden ser importantes para resolver parte de los problemas de alimentación del ganado. Leonel, Souza y Mischán (2010) mencionaron que la pulpa de cítricos representa una buena posibilidad para incrementar la producción; mientras que González et al. (2003) asumen que este subproducto puede contener nutrientes que conllevan a mejorar el estado físico y productivo de algunas especies animales.

Un requerimiento básico para diseñar alternativas eficaces de aprovechamiento de la pulpa de cítricos en la alimentación de rumiantes es conocer su composición nutrimental; sin embargo, los trabajos de investigación al respecto son escasos y con resultados variables. Sequeira, Rebellato, Greiner y Lima

(2017); Coimbra, Azevedo, Reis, Saturnino y Coelho (2017); Bublitz et al. (2013); Bermejo, Llosa y Cano (2011); Oliveira et al. (2010); Martínez et al. (2008); y Vásquez (2001), realizaron investigaciones con pulpa de cítricos en diferentes regiones de Brasil, España, Cuba y Honduras. Ellos encontraron variaciones en los resultados con respecto a la composición nutrimental del subproducto; ya que según Moraes, Castro, y Genovese (2012), la composición química de las frutas muestra variaciones de acuerdo con el clima, la fertilización aplicada, tipo de suelo, manejo del cultivo, madurez de la fruta, e incluso entre partes de la misma fruta. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar la especie (naranja, limón, toronja) y la procedencia (México y Haití) de la pulpa de cítricos industrializada como factores determinantes de la calidad nutrimental.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Colecta de muestras de cítricos

El estudio consideró la colecta de muestras de cítricos (naranja, limón y toronja) provenientes del desecho de industrias extractoras de jugo, localizadas en regiones tropicales de México y Haití. Las muestras de naranja provinieron de nueve localidades de México (Martínez de la Torre, Veracruz; Álamo, Veracruz; Huichihuayán, San Luis Potosí; Mexicali, Baja California; Hueytamalco, Puebla; Allende, Nuevo León; Ciudad Victoria, Tamaulipas; Huimanguillo, Tabasco; Huejutla de Reyes, Hidalgo) y tres localidades de Haití (Cap-Haitien, Nord; Thiotte, Sud-Est; Saint Michel, Sud). Las muestras de limón provinieron de tres localidades de México (Martínez de la Torre, Veracruz; Apatzingán, Michoacán; Villa de Álvarez, Colima), y las de toronja de una localidad de México (Martínez de la Torre, Veracruz) y una de Haití (Thiotte, Sud-Est). Para cualquiera de los cítricos considerados, en cada lugar de colecta (la industria citrícola que provee de frutos en la región de influencia) se recibieron tres kg de pulpa correspondiente a la especie, el mismo día de la extracción del jugo. La unidad experimental de estudio fue cada muestra de pulpa del cítrico en la región correspondiente. Así, el número total de muestras fueron: 13 de naranja, dos de toronja y tres de limón; provenientes de 13 diferentes entidades federativas de México y Haití.

Las muestras fueron colectadas usando guantes y depositadas en bolsas de plástico, dentro de hieleras con hielo para su conservación y así fueron trasladadas al lugar de análisis en laboratorios de la Universidad Autónoma Chapingo.

3.4.2 Análisis de laboratorio

La calidad nutrimental de las pulpas de naranja, limón y toronja se realizó mediante el análisis proximal, determinación de minerales y la prueba de digestibilidad *in vitro*. Para este último análisis, se utilizó líquido ruminal proveniente de bovinos Holstein de aproximadamente 12 meses de edad.

Análisis químico. Con estos análisis se estimaron los componentes siguientes: materia seca (MS), cenizas (Ash), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). Para estimar estos componentes, las muestras se secaron en una estufa de circulación forzada de aire a 55-60 °C durante 72 horas hasta llegar a peso constante. Posteriormente se molieron las muestras individuales en un molino Wiley® equipado con una criba de orificios de 1 mm, limpiando los residuos de material adheridos a las piezas del molino entre muestras sucesivas. Las determinaciones de los primeros cuatro elementos fueron realizadas utilizando los procedimientos descritos por AOAC (2016), y las fibras mediante los procedimientos descritos por Van Soest (2015).

Análisis de minerales. Las concentraciones minerales determinadas fueron para: cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca) y fósforo (P). Para estimar estos minerales, primero se realizó la digestión de las muestras de cenizas obtenidas en el análisis proximal. La determinación de las concentraciones de los minerales fue realizada mediante la metodología descrita por Fick et al. (1979). Las concentraciones de Ca, Na, K, Mg, Cu, Zn y Fe se determinaron con un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 (Perkin Elmer), y la concentración de fósforo se determinó con un espectrofotómetro UV/VIS modelo Lambda 2 (Perkin Elmer).

Digestibilidad *in vitro*. Se evaluaron: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), índice potencial de emisión de gases de fermentación (IPEGF), volumen total de gases (Vt), volumen residual de gases (Vr), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), gases menores (GM), volumen máximo de gases (Vm), tasa de fermentación (S), fase de retardo (L), índice potencial de emisión de gases de efecto invernadero (IPEGEI), y los parámetros de la cinética de producción de gas: fracción rápida (FR), fracción media (FM), fracción lenta (FL), y fracción total (FT). Para evaluar la fermentación se usó la técnica de producción de gas propuesta por Theodorou, Williams, Dhanoa, McAllan y France (1994), en la cual se midió la presión de gas después de 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42, 48, 60 y 72 horas de incubación. El CO₂, CH₄ y GM se calcularon mediante la relación establecida por Church (1993). Las lecturas de presión (kg cm⁻²) se transformaron a volumen de gas con la ecuación de regresión lineal $V = (P + 0.0145) (0.018)^{-1}$ (Orskov y McDonald, 1979). Los datos de volumen de gas y tiempo de incubación se usaron para obtener el volumen fraccional (Vf). Las variables de la cinética de producción de gas se obtuvieron mediante un modelo logístico (Pitt et al., 1999).

3.4.3 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos para caracterizar y comparar las diferentes especies de cítricos fueron realizados mediante un modelo estadístico que consideró sólo el efecto de la especie citrícola (naranja, toronja y limón; con 13, 2 y 3 repeticiones, respectivamente). Por lo anterior, las repeticiones o unidades experimentales fueron cada una de las muestras obtenidas de las diferentes localidades de colecta. Adicionalmente, para la naranja se realizó la comparación de muestras de cuatro regiones citrícolas: 1) centro-este de México (muestras provenientes de Veracruz y Puebla), 2) centro de México (muestras provenientes de Hidalgo y San Luis Potosí), 3) noreste de México (muestras provenientes de Tamaulipas y Nuevo León), y 4) Haití (muestras provenientes de Nord, Sud y Sud-Est); y el modelo estadístico consideró el efecto de región (regiones 1, 2, 3 y 4; con 3, 2, 2 y 3 repeticiones, respectivamente). El análisis de varianza se realizó con el procedimiento GLM de SAS, y las medias de cuadrados mínimos de las diferentes clases de cítricos o diferentes regiones fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) (SAS, 2011).

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Composición química

Respecto a la composición química de la pulpa de naranja, limón y toronja (Cuadro 6), los contenidos de MS, PC, EE, FDN y FDA fueron mayores ($P < 0.05$) en limón y toronja, y menores en naranja, aunque la MS de la naranja fue similar ($P > 0.05$) a la del limón. La proporción de cenizas fue similar ($P > 0.05$) en los tres productos. En cuanto a las regiones productoras de naranja, los porcentajes de MS y PC fueron similares ($P > 0.05$), con un promedio de 25 y 5%, respectivamente. Se observó mayor ($P < 0.05$) proporción de FDN y FDA en la región cuatro, mientras que los contenidos de Ash y EE fueron menores ($P < 0.05$) que los de las demás regiones.

Los valores de MS, Ash y PC de la pulpa de cítricos estudiados en la presente investigación son mayores que los reportados por Sequeira *et al.* (2017) en cáscara de naranja y limón, pero similares a los estimados por Bublitz *et al.* (2013), y más abundantes que las Ash, PC y EE reportados por Oliveira *et al.* (2010), en estudios realizados con harina de cáscara de naranja. Dichos resultados se pueden atribuir a los diferentes lugares de muestreo, variedades y madurez de los frutos, además de que estos autores analizaron la cáscara sin incluir las otras partes del subproducto, ya que en las pulpas y semillas también se encuentran nutrimentos.

Reciente investigación realizada por Coimbra *et al.* (2017) indicó similares resultados que los del presente estudio, en la determinación de MS, PC, Ash y EE en pulpa de cítricos (sin especificar especie) para naranja, limón y toronja. Los resultados obtenidos de este y otros estudios confirman las características de estos residuos, con bajos niveles de proteína y contenidos elevados de humedad, lo que se debe tener en cuenta al momento de usarlos en la alimentación de rumiantes, pues es inevitable la suplementación con una fuente de nitrógeno, ya sea con proteína natural o con NNP (nitrógeno no proteico) para mejorar la fermentación ruminal (Galindo & Marrero, 2005).

El promedio de paredes celulares (FDN) encontrado en este trabajo (19%) es menor que los observados por Vásquez (2001), Oliveira et al. (2010), Sequeira et al. (2017) y Coimbra et al. (2017) en orden de 29, 39, 34 y 26%, respectivamente; pero es similar con lo reportado (16.2%) por Bublitz et al. (2013). El contenido energético (cuadro 7) encontrado en este trabajo fue más alto que lo reportado por FDNA (2016) para pulpa de manzana verde y silo, bagazo de uva, orujo de oliva y alcachofa.

Durante las dos últimas décadas, la fibra dietaria ha generado gran interés por tener efectos preventivos en determinadas enfermedades de las sociedades industrializadas (Gutiérrez, Medina, Roman, Flores & Martínez, 2002). La demanda de productos con alto contenido de fibra ha crecido y las compañías productoras de alimentos intentan satisfacer esta necesidad con una variedad amplia de alimentos adicionados con fibra (Gordon, 1994). Sin embargo, Carvajal (2010) menciona que cuando los contenidos de FDN y FDA son elevados, la disponibilidad de energía puede ser limitada. Un alto contenido de estos componentes fibrosos se asocia con un menor consumo de alimento, debido a que son de lenta degradación en el rumen. Álvarez (2000) afirma que árboles forrajeros con bajos contenidos de FDN (20 - 35%) presentan usualmente alta digestibilidad, lo que evidencia el potencial de los subproductos de cítricos (naranja, limón y toronja cultivados en México y Haití) como recursos forrajeros con aporte nutricional para el ganado. Bublitz et al. (2013) indicaron bajos contenido de fibra en harina de cáscara de naranja (16.2%), identificando a este subproducto como una alternativa para mejorar la ganancia diaria de peso de los animales, así como para agregar valor económico a la empresa ganadera.

Cuadro 6. Calidad de pulpa de cítricos (%) por especie y procedencia en México y Haití, mediante análisis proximal.

Item	MS	ASH	PC	EE	FDN	FDA
<i>Especie</i>						
Naranja	25 ± 1.2 ^{ab}	7 ± 0.8 ^a	5 ± 0.4 ^b	0.8 ± 0.1 ^b	17 ± 0.6 ^b	11 ± 0.4 ^b
Limón	28 ± 3.1 ^a	5 ± 1.6 ^a	8 ± 0.8 ^a	1.8 ± 0.3 ^a	21 ± 1.3 ^a	14 ± 0.9 ^a
Toronja	18 ± 3.1 ^b	8 ± 1.9 ^a	7 ± 0.1 ^{ab}	1.3 ± 0.4 ^{ab}	19 ± 1.6 ^{ab}	13 ± 1.1 ^{ab}
Pr > F	0.0406	0.1661	0.0032	0.0092	0.0158	0.0041
<i>Procedencia^y</i>						
Centro-este	28 ± 2.4 ^a	6 ± 0.7 ^{bc}	5 ± 0.6 ^a	1.1 ± 0.10 ^a	16 ± 0.7 ^b	10 ± 0.4 ^b
Centro	21 ± 3.4 ^a	10 ± 1.0 ^a	6 ± 0.8 ^a	1.1 ± 0.14 ^a	18 ± 0.9 ^{ab}	10 ± 0.6 ^b
Noreste	28 ± 3.4 ^a	9 ± 1.0 ^{ab}	5 ± 0.8 ^a	1.0 ± 0.14 ^a	17 ± 0.9 ^b	10 ± 0.6 ^b
Haití	24 ± 2.8 ^a	4 ± 0.9 ^c	5 ± 0.7 ^a	0.3 ± 0.11 ^b	20 ± 0.8 ^a	12 ± 0.5 ^a
Pr > F	0.1401	0.0060	0.3790	0.0088	0.0423	0.0424

^{a b c} Medias sin una literal en común dentro de la misma columna muestran diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha < 0.05$).

^y Procedencia de subproductos naranja: centro-este (Martínez de la Torre, Puebla, Álamo); centro (Hidalgo, San Luis Potosí); noreste (Tamaulipas, Nuevo León); Haití (Cap-Haitien, Thiotte, Saint-Michel).

Cuadro 7. Contenido energético (Mcal/kg MS) en pulpa de cítricos por especie y procedencia en México y Haití.

Item	ED ^a	EM ^b	ENm ^c	ENg ^c	ENI ^d
<i>Especie</i>					
Naranja	2.96	2.42	1.54	0.94	1.52
Limón	2.68	2.20	1.34	0.76	1.37
Toronja	2.77	2.27	1.40	0.82	1.42
<i>Procedencia</i>					
Centro-este	2.86	2.35	1.47	0.88	1.47
Centro	2.91	2.39	1.51	0.91	1.50
Noreste	1.99	1.63	0.79	0.25	0.98
Haití	3.83	3.14	2.15	1.47	2.01

Estos valores fueron estimados a partir de las ecuaciones establecida por: ^a NRC (1981), ^b NRC (1984), ^c Garrett (1980), ^d Moe y Tyrrell (1976).

3.5.2 Concentración de minerales

No se observaron variaciones ($P > 0.05$) en las concentraciones de potasio, magnesio, zinc y hierro en las especies estudiados, se mantuvieron con un promedio de 0.47%, 0.06%, 4 ppm y 20 ppm, respectivamente. Sin embargo, la concentración de fósforo, sodio y cobre fueron mayores ($P < 0.05$) en limón, y calcio en naranja. De forma similar, no hubo diferencias entre las regiones productoras de naranja ($P > 0.05$) para las concentraciones de calcio, fósforo, potasio, magnesio, cobre, zinc y hierro (promedio 0.72%, 0.04%, 0.43%, 0.07%, 0.3 ppm, 4 ppm, 16.25 ppm, respectivamente), y sólo la concentración de sodio fue menor ($P < 0.05$) en la región noreste de México (Cuadro 7).

Moraes et al. (2012) reportaron que el potasio fue el elemento más abundante en la cáscara de limón y naranja en plantaciones cítricas de Brasil, seguido de calcio y magnesio. Mientras que en la presente investigación se observó en primer lugar el calcio, seguido al potasio, magnesio, fósforo y sodio. Para este último mineral, esos investigadores encontraron un contenido bajo, similar al obtenido en la presente investigación. Estas diferencias pueden ser adjudicadas a distintas prácticas de fertilización, a diferente composición mineral de los suelos en Brasil, México y Haití. Además, Moraes et al. (2012) evaluaron subproductos cítricos de diferentes variedades de cultivo.

Bermejo et al. (2011) analizaron el contenido químico de diferentes variedades de cáscara de naranja y mandarina de los cultivares proveniente de Valencia, España, y encontraron al calcio y al potasio como macronutrientes dominantes y el hierro como micronutrientes con el valor más alto para las variedades cítricas estudiadas. Los promedios de las concentraciones reportadas por esos investigadores fueron 0.70 % (Ca), 0.44 % (K), 0.11 % (Mg), 0.06 % (P), 0.02 % (Na), 1.75 ppm (Cu) y 13.81 ppm (Fe). Esos valores son similares a los obtenidos en la presente investigación. Por tanto, se infiere una mayor abundancia de hierro en los subproductos de México y Haití que en regiones de España. No obstante, en las regiones cítricas de los tres países hay mayor concentración de hierro que de cobre. Huerta (2010) afirmó que la deficiencia de cobre en México es algo frecuente; además, el exceso de hierro en los forrajes empeora la disponibilidad de cobre. También, Ladaniya (2008) indicó que el ácido ascórbico presente en los cítricos puede mejorar la biodisponibilidad del hierro.

Según Huerta (2010), los subproductos agrícolas son deficientes en fósforo, esto coincide con los bajos niveles encontrados en la presente investigación. Además, el desbalance entre calcio y fósforo, con relación Ca:P de 23:1 en toronja, 17:1 en naranja y 8:1 en limón, constituye una limitante nutricional, ya que es importante suministrar estos macrominerales en proporciones adecuadas en las dietas (Martínez et al., 2008). Para vacas lecheras en producción, los valores adecuados para la relación Ca:P es de 2:1, con máximo 4-5:1 (Shimada, 2003). Sin embargo, una relación Ca:P superior a 2.1 puede ser tolerada por el animal hasta un máximo de 8:1, siempre y cuando los requerimientos de fósforo sean cubiertos (Huerta, 1999). Niveles bajos de fósforo en subproductos de la industria cítrica se han reportado previamente en otros estudios (Bermejo et al., 2011).

Gorinstein et al. (2001), y Topuz, Topakci, Canakci, Akinci, y Ozdemir (2005) concuerdan que zinc y cobre son importantes para el buen funcionamiento del organismo, y que éstos pueden ser suministrados por los frutos de los cítricos. Sin embargo, en caso de los rumiantes en pastoreo, los resultados de zinc y cobre presentes en los subproductos cítricos (naranja, limón, toronja) de México y Haití, no alcanzaron los niveles recomendados por McDowell y

Arthington (2005); así como tampoco son suficientes los niveles de fósforo, sodio, potasio, magnesio y hierro.

De acuerdo con Moraes et al. (2012), la composición química de las frutas sufre variaciones en función de las condiciones climáticas, fertilización aplicada, tipo de suelo, sistema de cultivo, madurez del fruto, e incluso entre las partes de la misma fruta. Esto puede explicar parcialmente las diferencias de los resultados del presente estudio comparando con los de otras investigaciones.

Cuadro 8. Concentración mineral en pulpa de cítricos por especie y procedencia en México y Haití.

Item	Ca (%)	P (%)	Na (%)	K (%)	Mg (%)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
<i>Especie</i>								
Naranja	0.69 ± 0.03 ^a	0.04 ± 0.00 ^{ab}	0.009 ± 0.00 ^b	0.47 ± 0.04 ^a	0.07 ± 0.00 ^a	0.29 ± 0.02 ^b	4.41 ± 0.57 ^a	19 ± 3 ^a
Limón	0.41 ± 0.07 ^b	0.05 ± 0.01 ^a	0.020 ± 0.00 ^a	0.52 ± 0.09 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.49 ± 0.04 ^a	3.95 ± 1.19 ^a	21 ± 7 ^a
Toronja	0.45 ± 0.08 ^b	0.02 ± 0.01 ^b	0.005 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.11 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.05 ^b	2.55 ± 1.46 ^a	21 ± 8 ^a
Pr > F	0.0168	0.0354	0.0304	0.4135	0.1259	0.002	0.2556	0.7752
<i>Procedencia^y</i>								
Centro-Este	0.64 ± 0.04 ^a	0.03 ± 0.01 ^a	0.013 ± 0.00 ^a	0.38 ± 0.07 ^a	0.07 ± 0.01 ^a	0.29 ± 0.04 ^a	3.54 ± 0.78 ^a	19 ± 6 ^a
Centro	0.78 ± 0.06 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.007 ± 0.00 ^a	0.44 ± 0.10 ^a	0.08 ± 0.01 ^a	0.32 ± 0.05 ^a	3.97 ± 1.11 ^a	15 ± 8 ^a
Noreste	0.70 ± 0.06 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.002 ± 0.00 ^b	0.49 ± 0.10 ^a	0.06 ± 0.01 ^a	0.25 ± 0.05 ^a	4.41 ± 1.11 ^a	09 ± 8 ^a
Haití	0.75 ± 0.05 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	0.006 ± 0.00 ^{ab}	0.42 ± 0.08 ^a	0.07 ± 0.01 ^a	0.31 ± 0.04 ^a	3.84 ± 0.90 ^a	22 ± 6 ^a
Pr > F	0.0983	0.0727	0.0149	0.3616	0.1478	0.3916	0.5442	0.2285
Requer. ^x	0.30	0.25	0.06	0.80	0.20	10	30	30

^{a,b} Medias sin una literal en común dentro de la misma columna muestran diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha < 0.05$).

^y Procedencia de subproductos naranja: centro-este (Martínez de la Torre, Puebla, Álamo); centro (Hidalgo, San Luis Potosí); noreste (Tamaulipas, Nuevo León); Haití (Cap-Haitien, Thiotte, Saint-Michel).

^x Requerimiento promedio de minerales para rumiantes en pastoreo (McDowell, 2005).

3.5.3 Digestibilidad y fermentación *in vitro*

Se observó fermentación rápida ($P < 0.05$) en las muestras de pulpa de naranja, lo que quiere decir que esta especie cítrica tuvo el mayor volumen de gas durante las primeras ocho horas de incubación, mientras que limón y toronja presentaron fermentación más lenta, aunque el limón tardó más ($P < 0.05$) en fermentarse que la toronja. Las muestras de pulpa de naranja proveniente de las cuatro regiones cítricas tuvieron similares ($P > 0.05$) comportamientos en la producción de gas de las fracciones fermentables (FR, FM, FL), con un promedio de 238, 210 y 369 g de gas por kg de pulpa, respectivamente (Cuadro 8).

La mayor ($P < 0.05$) tasa de producción de gas fue observada en naranja y toronja, mientras que la digestibilidad de la materia orgánica, el índice de emisión de gases de fermentación y los otros parámetros de la cinética de fermentación, fueron similares ($P > 0.05$) en las tres especies cítricas estudiadas. Por otro lado, se observó mayor ($P < 0.05$) digestibilidad de la materia orgánica de la pulpa de naranja en la región Haití, con menos producción de gas acumulado ($P < 0.05$). Por el contrario, la pulpa de naranja proveniente de la región noreste tuvo menor digestibilidad y acumuló más producción de gas (Cuadro 9).

De acuerdo con Apráez, Delgado y Narváez (2012), la alta y rápida degradación de la materia orgánica observada en la pulpa de naranja proveniente de la región Haití concuerda con el bajo contenido de FDN y FDA de la especie cítrica, sin embargo, en esa región la pulpa de naranja tuvo mayor contenido de pared celular. Los resultados de este estudio no concuerdan con lo indicado por Abreu et al. (2003), quienes asocian los valores de degradabilidad de la materia orgánica con altos contenidos de proteína, mientras que el contenido proteico de cítricos en esta región no fue alto. Elías (1983) afirma que alto contenido de hierro estimula la digestión de la celulosa y que el alto contenido de grasa en la dieta la disminuye. Aunque la región Haití fue la que obtuvo mayor cantidad de hierro y menos grasa, no se puede concluir que la alta degradación de pulpa de esta región fue gracias a este mineral; ya que en los resultados del presente trabajo cuando aumenta el hierro no forzosamente baja la digestibilidad. Por tanto, la alta degradación de la materia orgánica observada en la pulpa de naranja de la región Haití, se puede deber a una alta cantidad de pectina, dado

que la pectina es un componente fácilmente fermentable por los microorganismos del rumen, al igual que la hemicelulosa (Rodríguez-Romero et al., 2009); por lo que valdría la pena hacer análisis adicionales para verificar el contenido de pectina en la pulpa de naranja.

Por otro lado, la pulpa de naranja proveniente de la región noreste, identificada con menos degradación, afectará el rendimiento en producción, ya que Hoffman, Lundberg, Bauman, Shaver y Contreras (2007) indicaron mayor consumo de materia seca y mejor producción de leche en vacas alimentadas con forrajes de mayor digestibilidad de fibra.

Cuadro 9. Fracciones de fermentación (g kg^{-1} de alimento) de pulpa de cítricos por especie y procedencia en México y Haití.

Item	FR	FM	FL	FT
<i>Especie</i>				
Naranja	235 ± 10 ^a	209 ± 3 ^a	368 ± 12 ^b	813 ± 9 ^a
Limón	184 ± 21 ^b	194 ± 6 ^a	481 ± 25 ^a	859 ± 21 ^a
Toronja	231 ± 25 ^{ab}	212 ± 8 ^a	345 ± 30 ^b	788 ± 25 ^a
Pr > F	0.0393	0.0506	0.0033	0.0501
<i>Procedencia^y</i>				
Centro-Este	225 ± 16 ^a	206 ± 7 ^a	382 ± 19 ^a	813 ± 17 ^{ab}
Centro	251 ± 24 ^a	210 ± 10 ^a	360 ± 26 ^a	821 ± 23 ^{ab}
Noreste	261 ± 24 ^a	215 ± 10 ^a	379 ± 26 ^a	855 ± 23 ^a
Haití	214 ± 20 ^a	207 ± 8 ^a	353 ± 21 ^a	773 ± 19 ^b
Pr > F	0.1685	0.4817	0.3363	0.0298

^{a, b} Medias sin una literal en común dentro de la misma columna muestran diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha < 0.05$).

FR, FM, FL= fracciones de rápida, mediana y lenta fermentación, que corresponden al volumen de gas producido en los periodos de 0-8, 8-24, 24 a 60 h de incubación. FT= fracción total (suma de FR, FM y FL).

^y Procedencia de subproductos naranja: centro-este (Martínez de la Torre, Puebla, Álamo); centro (Hidalgo, San Luis Potosí); noreste (Tamaulipas, Nuevo León); Haití (Cap-Haitien, Thiotte, Saint-Michel).

La mayor acumulación de gas observada en la región noreste puede estar relacionada con la fermentación potencial de la pulpa de naranja y su calidad nutricional (Villegas, Meneses, Miranda & Loera, 2010). Es importante resaltar que la pulpa de naranja proveniente de esta misma región tuvo menor digestibilidad, mientras que en la región Haití fue mayor y acumuló menor

cantidad de gas; lo que indica clara relación entre el volumen de gas acumulado y la digestibilidad de la materia orgánica.

La mayor tasa de fermentación observada en pulpas de naranja y toronja, que también fueron rápidamente fermentadas durante el periodo 0 - 8 horas, pueden deberse a la mayor cantidad de humedad que estos tuvieron. Según Rymer, Huntington, Williams y Givens (2005), la utilización de forrajes frescos es más conveniente, ya que el secado actúa con grandes efectos sobre los perfiles de producción de gas. Por otro lado, también puede atribuirse a que el tamaño de partículas de la pulpa de naranja y toronja fueron menores que las del limón. De acuerdo con Wimer, López y French (1990), un factor fundamental en la degradación ruminal es el tamaño de partícula, ya que, mientras más pequeña sea el tamaño de partícula más fácil es la degradación de las paredes celulares vegetales por las bacterias del rumen.

Cuadro 10. Parámetro de la cinética de producción de gas, digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) e índice potencial de emisión de gases de fermentación (IPEGF).

Item	Vm (ml g ⁻¹ MS)	S (h)	L (h)	DIVMO (%)	IPEGF (ml g ⁻¹ MOD)
<i>Especie</i>					
Naranja	321 ± 4 ^a	0.04 ± 0.0 ^a	1.75 ± 0.2 ^a	64 ± 4 ^a	752 ± 19 ^a
Limón	333 ± 8 ^a	0.03 ± 0.0 ^b	2.67 ± 0.4 ^a	58 ± 9 ^a	695 ± 39 ^a
Toronja	311 ± 10 ^a	0.05 ± 0.0 ^a	1.76 ± 0.5 ^a	60 ± 11 ^a	749 ± 48 ^a
Pr > F	0.1000	0.0019	0.0539	0.5582	0.206
<i>Procedencia^y</i>					
Centro-Este	319 ± 7 ^{ab}	0.04 ± 0.0 ^a	1.95 ± 0.2 ^a	62 ± 6 ^{ab}	744 ± 28 ^a
Centro	325 ± 10 ^{ab}	0.04 ± 0.0 ^a	1.54 ± 0.3 ^a	63 ± 8 ^{ab}	819 ± 39 ^a
Noreste	338 ± 10 ^a	0.04 ± 0.0 ^a	1.61 ± 0.3 ^a	43 ± 8 ^b	806 ± 39 ^a
Haití	307 ± 8 ^b	0.04 ± 0.0 ^a	1.84 ± 0.2 ^a	83 ± 7 ^a	700 ± 32 ^a
Pr > F	0.0449	0.6176	0.2445	0.0071	0.0509

^{a, b} Medias sin una literal en común dentro de la misma columna muestran diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha < 0.05$).

Vm= volumen máximo de gas acumulado a 72 horas de incubación; S= tasa de fermentación; L= fase de retardo.

^y Procedencia de subproductos naranja: centro-este (Martínez de la Torre, Puebla, Álamo); centro (Hidalgo, San Luis Potosí); noreste (Tamaulipas, Nuevo León); Haití (Cap-Haitien, Thiotte, Saint-Michel).

La naranja y toronja produjeron la mayor cantidad de gases ($P < 0.05$), con un promedio de 81% de dióxido de carbono, 15% de metano y 4% de gases menores. Sin embargo, no se encontró diferencia entre las especies cítricas en cuanto al índice potencial de emisión de gases de efecto invernadero. Respecto a las regiones cítricas, la pulpa de naranja procedente de las regiones centro y noreste emitieron mayor ($P < 0.05$) cantidad de gases de efecto invernadero (Cuadro 10).

La mayor emisión de gases de efecto invernadero pueden estar sujetas, según Carmona, Bolívar y Giraldo (2005), a las características fisicoquímicas de la pulpa, y puede ser afectada por el nivel de consumo y por la frecuencia de alimentación; y por otro lado, está relacionado con la especie animal (Narváez, 2017) de la que fue extraído el líquido ruminal usado. Este último autor señaló que existen especies forrajeras, arbustivas e incluso arbóreas que pueden llegar a aumentar o reducir las emisiones de metano entérico, debido a procesos metabólicos propios de las plantas. Así, forrajes con alto contenido de fibra indigerible tienen un tiempo de retención más prolongado en el rumen y generan mayor cantidad de ácido acético y butírico, reduciendo el dióxido de carbono, formando metano en el proceso, lo cual representa cantidades importantes de energía alimenticia que se transforma en gas y no es aprovechable por el animal (Montenegro & Abarca, 2000).

Cuadro 11. Volumen total (Vt), volumen residual (CH₄+GM), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), gases menores (GM) e índice potencial de emisión de gases de efecto invernadero (IPEGEI).

Item	Vt (ml g ⁻¹)	CO ₂ (%)	Vr (%)	CH ₄ (%)	GM (%)	IPGEI (ml g ⁻¹ MOD)
<i>Especie</i>						
Naranja	117 ± 4 ^a	83 ± 0.7 ^b	17 ± 0.7 ^a	13 ± 0.6 ^a	5 ± 0.2 ^a	2027 ± 388 ^a
Limón	85 ± 8 ^b	87 ± 1.5 ^a	13 ± 1.5 ^b	10 ± 1.2 ^b	4 ± 0.4 ^b	1239 ± 807 ^a
Toronja	111 ± 10 ^{ab}	79 ± 1.9 ^b	21 ± 1.9 ^a	16 ± 1.4 ^a	5 ± 0.5 ^a	2074 ± 989 ^a
Pr > F	0.0023	0.0250	0.0250	0.0250	0.0151	0.393
<i>Procedencia^y</i>						
Centro-Este	116 ± 7 ^a	81 ± 1.2 ^a	19 ± 1.2 ^a	15 ± 0.9 ^a	5 ± 0.4 ^a	1729 ± 658 ^{ab}
Centro	115 ± 10 ^a	85 ± 1.7 ^a	15 ± 1.7 ^a	12 ± 1.3 ^a	5 ± 0.6 ^a	1487 ± 926 ^b
Noreste	127 ± 10 ^a	84 ± 1.7 ^a	16 ± 1.7 ^a	12 ± 1.3 ^a	5 ± 0.6 ^a	4566 ± 926 ^a
Haití	109 ± 8 ^a	84 ± 1.4 ^a	16 ± 1.4 ^a	12 ± 1.1 ^a	5 ± 0.5 ^a	1184 ± 756 ^b
Pr > F	0.2083	0.1004	0.1004	0.1000	0.3276	0.0409

^{a, b} Medias sin una literal en común dentro de la misma columna muestran diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha < 0.05$).

^y Procedencia de subproductos naranja: centro-este (Martínez de la Torre, Puebla, Álamo); centro (Hidalgo, San Luis Potosí); noreste (Tamaulipas, Nuevo León).

3.6 Conclusiones

La especie y la procedencia geográfica de pulpa industrializada de cítricos determinan la calidad nutrimental de la misma.

La pulpa de limón aporta mayor valor de proteína cruda, fibra y extracto etéreo que la pulpa de naranja, aporta mayor valor de fósforo que la pulpa de toronja y mayor valor de sodio y cobre que la pulpa de naranja y toronja. La pulpa de naranja aporta mayor concentración de calcio que las otras especies, fermenta más rápido y libera alta cantidad de metano, igual que la toronja.

La pulpa de naranja de la región centro- este y centro de México tiene mayor contenido de sodio que la de la región noreste. La pulpa de naranja que proviene de Haití tiene mayor digestibilidad en comparación con la de noreste de México. La pulpa de naranja de la región noreste de México presenta mayor producción de gases de efecto invernadero que la pulpa de la región centro y Haití.

Finalmente, la pulpa de naranja, limón y toronja tienen elevada digestibilidad y son fuentes ricas de calcio y energía. Se sugiere fortificar proteína cruda, fósforo, sodio, magnesio, cobre y zinc, y en menor grado potasio y hierro.

3.7 Literatura citada

- Abreu, A., Carulla, J. E., Kreuzer, M., Lascano, C., Díaz, T. E, Cano, A., & Hess, H. D. (2003). Efecto del fruto del pericarpio y del extracto semipurificado de saponinas de *Sapindus saponaria* sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis *in vitro* en un sistema RUSITEC. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16, 147-154.
- Álvarez N., D. M. (2000). Evaluación *in vitro* de leguminosas tropicales como fuente de proteína para rumiantes. (Tesis Profesional, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Palmira - Valle del Cauca) Consultada en <http://library.ciat.cgiar.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=54823>
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis (20th ed.). USA: Kenneth.
- Apráez, J. E., Delgado, J. M., & Narváez, J. P. (2012). Composición nutricional, degradación *in vitro* y potencial de producción de gas, de herbáceas, arbóreas y arbustivas encontradas en el trópico alto de Nariño. *Livestock Research for Rural Development*. 24 (3).
- Bermejo, A., Llosa, M. J., & Cano, A. (2011). Analysis of bioactive compounds in seven citrus cultivars. *Food Science and Technology International*, 17, 55-62.
- Bublitz, S., Emmanouilidis, P., Oliveira, M. S. R., Rohlfes, A. L. B., Bacchar, N. M., Corbellini, V. A., & Marquardt, L. (2013). Produção de uma farinha de albedo de laranja como forma de aproveitamento de resíduo. *Revista Jovens Pesquisadores*, 3, 112-121.
- Carvajal T., J. I. (2010). *Digestibilidad in vitro prececal y cecal de plantas forrajeras tropicales para la nutrición en cerdos*. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Palmira- Valle del Cauca). Consultada en <http://www.bdigital.unal.edu.co/2190/1/7406002.2010.pdf>
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria*, 18,1.
- Chedly, K., & Lee, S. (2001). Ensilaje de subproductos agrícolas como opción para los pequeños campesinos. In: Memoria de la conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los trópicos. Roma, Italia, pp. 87-98.
- Church, D. C. (1993). *The ruminant animal: Digestive Physiology and Nutrition*. Zaragoza, España: Acribia.

- Coimbra, E. P., Azevedo, R. A., Reis, R. B., Saturnino, H. M., & Coelho, S. G. (2017). Substituição total do milho pela polpa cítrica no concentrado de bezerros leiteiros. *Archivos de Zootecnia*, 66, 351-356.
- Elías, A. (1983). Digestión de pastos y forrajes tropicales. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=catalco.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=030111>. Consultada el 26 de octubre del 2017.
- Félix, J. C. (2001). *Suplementación con pulpa de naranja ensilada o con concentrado comercial en vacas de doble propósito*. (Tesis Profesional, Universidad de Zamorano, Honduras). Consultada en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1413/1/CPA-2001T025.pdf>
- Galindo, J., & Marrero, Y. (2005). Manipulación de la fermentación microbiana ruminal. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 39, 439-450.
- García L., G. (2011). *Uso de la Pulpa de Cítricos en la Alimentación Animal*. República Dominicana: IDIAF.
- Garrett, W. N. (1980). Energy utilization of growing cattle as determined in seventy-two comparative slaughter experiments. *In*: L. E. Mount (Ed.). *Energy Metabolism*. p. 3. EAAP Publ. No. 26. Butterworths, London.
- González, F. B., Esperance, M., Vega, J., Castillo, R., Chong, L., & Calderón, N. (2003). Nota técnica: Formulaciones de mezclas a partir de la harina de cítrico deshidratada para la alimentación bovina. *Pastos y Forrajes*, 26, 159-162.
- Gordon W., F. (1994). *New Food Product Development for Concept to Market Place*. New York: CRC Press.
- Gorinstein, S., Belloso, O. M., Park, Y., Haruenkit, R., Lojek, A., & Ciz, M. (2001). Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chemistry*, 74, 309-315.
- Gutiérrez, E. L., Medina, G. B., Roman, M. O., Flores, O. A., & Martínez, O. L. (2002). Obtención y cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *Vitae, Revista de la facultad de química farmacéutica*, 9, 5-14.
- Hoffman, P. C., Lundberg, K. M., Bauman, L. M., Shaver, R. D., & Contreras G, F. E. (2007). Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro. El debate de 30 vs 48 horas. *Focus on Forage*, 5, 1-4.

- Huerta B., M. (1999). Respuesta a la corrección de deficiencias minerales sobre el comportamiento animal. In: Memoria del II Seminario Internacional Estrategias de Complementación a Bovinos en Pastoreo. 28 y 29 de octubre. Chapingo, México, pp. 154-172.
- Huerta B., M. (2010). Alimentación y Suplementación Mineral. In: Memoria del Primer Simposium de Salud y Producción de Bovinos de Carne en la Zona Norte-Centro de México. Agosto de 2003. Aguascalientes, México, pp. 1-14.
- Ladaniya, M. (2008). Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation. New York: Academic Press.
- Leonel, M., Souza, L. B., & Mischán, M. M. (2010). Produção de snacks extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. *Ciência Rural*, 40, 1411-1417.
- Martínez M., J., Chongo G., B., Jordán V., H., Hernández S., N., Fontes M., D., Lezcano M., Y., & Cubillas L., N. (2008). Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (*Citrus sinensis* cv. Valencia) mantenidos en estibas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 46, 183-193.
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. (2005). Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales (4^{ta} ed.) Estados Unidos de América: Universidad de Florida.
- Moe, P. W., & Tyrrell H. F. (1976). Estimating metabolizable and net energy of feeds. Logan, Utah: International Feedstuffs Institution.
- Montenegro, J., & Abarca, S. (2000). Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nítrico en sistemas de producción bovina en Costa Rica. Costa Rica: Nuestra Tierra.
- Moraes B., H. R., Castro F., T. A. P., & Genovese, M. I. (2012). Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*, 134, 1892-1898.
- Narváez H., J. P. (2017). *Especies forrajeras, arbóreas y arbustivas con efectos potenciales sobre la disminución de las emisiones de metano en bovinos.* (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia). Consultada en <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/13219>
- NRC. (1981). Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms. Washington, D. C.: National Academy Press.
- NRC. (1984). Nutrient requirements of Beef Cattle. Washington, D. C.: National Academy Press.

- Oliveira S., A. A., Oliveira S., A. J. A., Veras S., I. C., Costa L., A. L., Mota S., S., & Marcellini, P. S. (2010). Desenvolvimento de biscoitos de chocolate a partir da incorporação de fécula de mandioca e albedo de laranja. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 21, 469-480.
- Pitt, R. E., Cross, T. L., Pell, A. N., Shofield, P., & Doane, P. H. (1999). Use of in vitro gas production models in ruminal kinetics. *Mathematical Biosciences*, 159, 145-163.
- Rodríguez-Romero, N., Abecia, L., Rodríguez, R., Balcells, J., & Fondevila, M. (2009). Digestibilidad de dietas con distintas relaciones de fibra muy digestible/poco digestible en conejos de cebo: contribución de los tramos del tracto gastrointestinal. In: Memoria del XIII Jornada sobre Producción Animal. 2009. Zaragoza, España, pp. 274-276.
- Rymer, C., Huntington, J. A., Williams, B. A., & Givens, D. I. (2005). In vitro cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 9-30.
- Sanfeliu F., I. (2016). La Citricultura en España: Presente y Futuro. Valencia, España: PlanStar.
- Shimada, A. (2003). Nutrientes Inorgánicos en Nutrición Animal. México: Editorial Trillas.
- Sequeira S, J. G., Rebellato, A. P., Greiner, R., & Lima P, J. A. (2017). Bioaccessibility of calcium, iron and magnesium in residues of citrus and characterization of macronutrients. *Food Research International*, 97, 162-169.
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B., & France, J. (1994) A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48, 185-197.
- Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I., & Ozdemir, F. (2005). Physical and nutritional properties of four orange varieties. *Journal of Food Engineering*, 66, 519-523.
- Van Soest, P. J. (2015). The detergent system for analysis of food and feed. New York.: Cornell University.
- Vásquez G., J. R. (2001). *El ensilaje de pulpa de naranja en el engorde de corderos*. (Tesis profesional, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras). Consultada en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1476/1/CPA-2001-T088.pdf>

- Villegas-Castañeda, M., Meneses-Mayo, M., Miranda-Romero, L. A., & Loera-Corral, O. (2010). Producción de gas *in vitro* y desaparición de la materia seca del cultivo sólido con hongos ligninolíticos. *Agrociencia*, 44, 917-929.
- Wimer, P. J., Lopez, G., & French, A. D. (1990). Effect of cellulose fine structure on kinetics of its digestion mixed microorganism *in vitro*. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 1-275.