



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

CENTRO DE INVESTIGACIONES TROPICALES

**UTILIZACIÓN DE ACEITE VEGETAL MIXTO Y HARINA DE
OJOCHÉ (BROSIMUM ALICASTRUM SW.): INNOVACIÓN EN
EL PROCESO PRODUCTIVO DE CERDO PELÓN MEXICANO
EN TRASPATIO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN ECOLOGÍA TROPICAL**

PRESENTA:

IRMA ARLETH PACHECO TRISTE

COMITÉ TUTORIAL:

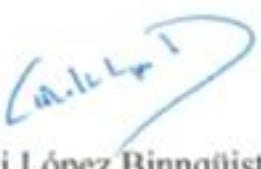
Dra. Rosaura Citlalli López Binnqüist

XALAPA, VERACRUZ

JULIO DE 2019.

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

El presente documento titulado: "Utilización de aceite vegetal mixto y harina de ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.): innovación en el proceso productivo de cerdo pelón mexicano en traspatio", realizado por **Irma Arleth Pacheco Triste**, ha sido aprobado y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de **Maestra en Ecología Tropical**.


Dra. Citlalli López Binnquist
Tutor-Director

SINODALES

Presidente: Dra. Leticia M. Cano Asseleih


Secretario: Dr. José Antonio Sierra Huelsz


Vocal: Dr. Noé Velázquez Rosas


CONTENIDO

Presentación personal.....	i
Agradecimientos	iv
1. <i>Justificación</i>	1
2. <i>Resumen</i>	2
3. <i>Introducción</i>	5
4. <i>Antecedentes</i>	9
4.1. Contextualización de la porcicultura de traspatio en México	9
4.2. Porcicultura rural en el contexto de la seguridad y soberanía alimentarias	11
4.3. Variedades criollas de cerdos en México	14
4.4. Caracterización del cerdo pelón mexicano.....	17
4.5. Fisiología digestiva en cerdos	18
4.6. Proceso digestivo de lípidos en cerdos	20
4.7. Ácidos grasos presentes en la carne de cerdo	21
4.8. Importancia de las grasas en la calidad de la carne.....	23
4.9. Calidad nutricional del ojoche (<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.)	24
4.10. Importancia ecológica y alimenticia del ojoche (<i>Brosimum alicastrum</i>)	28
4.11. Utilización del ojoche (<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.) como alimento para cerdos.....	29
5. <i>Marco referencial</i>	31
5.1. Porcicultura rural en el contexto de la economía campesina.....	31
5.2. La innovación en el desarrollo local con enfoque de sustentabilidad.....	33
5.3. Desarrollo de nuevos conocimientos y tecnologías	35
6. <i>Objetivos</i>	36
6.1. General.....	36
6.2. Específicos	36
7. <i>Materiales y métodos</i>	37
7.1. Elaboración de la harina de ojoche (<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.)	37
7.2. Condiciones de manejo del lote experimental de cerdo pelón mexicano	38
7.3. Descripción del sitio experimental.....	41
8. <i>Resultados y discusión</i>	47

8.1. Análisis bromatológico	47
8.2. Perfil de ácidos grasos del alimento y de la grasa subcutánea	52
8.3. Influencia de la dieta sobre la tasa de crecimiento y variables de la canal	59
8.4. Percepción de los atributos de la carne	64
9. Conclusiones	68
10. Bibliografía.....	73
11. Anexo fotográfico	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de ácidos grasos en variedades criollas, blancas y cruzas.....	22
Tabla 2. Niveles de aminoácidos presentes en semilla seca de <i>Brosimum alicastrum</i> y otros alimentos.....	25
Tabla 3. Composición química de semillas de <i>B. alicastrum</i> con diversos tratamientos.....	26
Tabla 4. Composición de ácidos grasos de <i>Brosimum alicastrum</i> y aceites de olivo y canola (%).	27
Tabla 5. Componentes y porcentajes de la dieta suministrada al lote de cerdo pelón mexicano.....	40
Tabla 6. Composición química del alimento proporcionado al lote de cerdo pelón mexicano.....	48
Tabla 7. Perfil de ácidos grasos expresado como g FAME/100 g de muestra y porcentaje relativo de ésteres metílicos identificados en el alimento suministrado al lote de cerdo pelón mexicano.....	53
Tabla 8. Perfil de ácidos grasos expresado como g FAME/100 g de muestra y porcentaje relativo de ésteres metílicos identificados en grasa subcutánea de cerdo pelón mexicano.....	55
Tabla 9. Variables de canal en cerdo pelón mexicano.....	60

Presentación personal

Mi nombre es Irma Arleth Pacheco Triste, originaria del municipio de Santos Reyes Nopala en el estado de Oaxaca. Pertenezco al grupo indígena chatino que prevalece en mi pueblo y sus agencias. Me enorgullece conocer y ser partícipe de sus múltiples costumbres, tradiciones, creencias, estrategias de vida y en general, de su cosmovisión...de su manera de interpretar el mundo.

Estudié la licenciatura en Biología en la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido, en Oaxaca, en donde surgió el interés por aquellos recursos agrícolas llamados criollos como el chile y el jitomate que se producen en pequeña escala en mi comunidad, pero que son altamente valorados

Mi tesis de licenciatura se trató de un estudio sobre la variación morfológica de variedades silvestres y criollas de jitomate y su interacción con variables ambientales como el clima, temperatura y tipo de vegetación. Para ello, se realizaron colectas de jitomate en gran parte del estado de Oaxaca.

En el aspecto laboral me he desenvuelto en el ramo forestal, apoyando a varias comunidades que tienen a la silvicultura y el manejo forestal, como motores de su desarrollo en Oaxaca. En este caso, mi labor ha sido dirigida hacia la valoración de todas las formas de vida del bosque, porque la atención ha sido enfocada casi de modo exclusivo en los recursos maderables y es necesario cambiar dicho paradigma para implementar diversas acciones integrales de manejo y conservación.

De modo paralelo a mis intereses académicos y laborales, el plano familiar ha estado ligado a la porcicultura de traspatio, ya que la crianza de uno o dos cerdos en el hogar, siempre se ha venido dando como modo de subsistencia y ahorro. Cuando hubo interés por crecer en esta actividad, mi familia mejoró la infraestructura y aumentó sus dimensiones para elevar el número de ejemplares bajo manejo.

En este contexto, he visualizado la poca rentabilidad de la porcicultura de traspatio cuando se utilizan variedades modernas de cerdos, los cuales deben

ser alimentados con fórmula balanceada, casi siempre importada; pues aunque se prepare en México, la importación de insumos para alimentación humana y/o pecuaria es otra de las realidades de nuestro país.

Ante ello, y como necesidad claramente familiar, surgió la iniciativa de ofrecer una alternativa alimenticia, pero no sólo como fuente de carbohidratos o de proteína, sino con la posibilidad de mejorar la calidad de las grasas. Con este objetivo emigré a Xalapa, Veracruz, para enfilarme en el Centro de Investigaciones Tropicales, donde conocí primero bibliográficamente y luego físicamente al árbol de ojoche o ramón (*Brosimum alicastrum*) y entonces, surgió la idea de alimentar cerdos con sus semillas, pues ya sabía que éstas son ricas en ácidos grasos esenciales, como el linoleico y linolénico.

En el mismo sentido, dudé acerca de la reacción de los cerdos modernos al someterse a un régimen alimenticio diferente al que están diseñados, por lo cual, desvíe mi atención hacia aquellos cerdos “trompudos” que alguna vez se criaron en mi familia. No encontramos dicho genotipo, pero en su lugar, conseguimos cerdos pelones, que para nuestro caso, resultaban ideales, ya que son criollos y por lo tanto rústicos, un atributo que le confiere una ventaja en la asimilación de nutrientes a partir de alimentos de diferente índole, incluso desperdicios.

Una vez integrado el sistema *Brosimum*-cerdo pelón, la tarea fue conseguir dichos recursos y establecerlo en algún sitio. La búsqueda de los cerdos pelones estuvo coordinado por personal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Veracruzana campus, Veracruz y para la obtención del ojoche resultó importante el contacto de la Dra. Cecilia Sánchez Garduño, quien nos comunicó con Doña Maximima García Chontal en Benito Juárez, muy cerca de Catemaco, Veracruz. Posteriormente, el secado de las semillas fue llevado a cabo en la zona conurbada de Banderilla, Veracruz, que fuera el lugar que me alojó durante los dos años de posgrado.

El sistema fue conducido hacia Otatitlán, Veracruz, en donde una familia se encargó de criar a los animales, previa capacitación de mi parte, abasteciéndoles alimento en la mezcla formulada por lo menos cada 15 días.

El manejo de los animales comenzó en julio del año 2017 y culminó en abril de 2018.

Bien, hemos sabido por experiencia propia o incluso se encuentra documentado que una de las razones por las cuales los cerdos criollos se encuentran en peligro de extinción es su escasa valoración local, ya que al tiempo que se introducen nuevas razas porcinas con objetivos meramente productivos, se devalúa lo propio, lo local, lo histórico, afirmando que externamente, quizá nadie lo consuma.

Por tal motivo, nos dimos a la tarea de brindar una prueba de que la realidad puede ser otra. Al tener la oportunidad de conocer al chef Salvador González del Instituto Culinario de las Altas Montañas, quien nos permitió conocer a otras dos personas dedicadas a la gastronomía y que muy amablemente, ofrecieron su apoyo para preparar diferentes cortes y presentaciones del cerdo pelón mexicano. Me refiero al chef Erick Guerrero Arias y a la maestra Antropóloga Raquel Torres Serdán. De este modo, estuvimos sacrificando los cerdos en Otatitlán un jueves 5 de abril de 2018, en donde obtuvimos variables de la canal y resguardamos muestras de grasa. Ese mismo día se transportaron las canales al Puerto de Veracruz para su respectivo congelamiento; el siguiente día, tocó realizar el despiece de las canales y el sábado 7 de abril como a las 4 de la tarde, se empezó a preparar el menú para la cena de aquella noche.

Posteriormente, cronológicamente hablando y ya sin compromisos académicos en Xalapa, regresé a Oaxaca, en donde tocamos puertas y nos encontramos con la Doctora Lilia Méndez Lagunas en el CIIDIR-IPN, quien amablemente puso a nuestra disposición su laboratorio y personal, para realizar los perfiles de ácidos grasos.

Quiero expresar que la travesía ha sido larga y he tenido que ser pacientes pero al final los resultados han sido satisfactorios, ampliando mi panorama acerca del potencial que tenemos con estos recursos que fueron y seguramente continuarán siendo mi objeto de estudio: el cerdo criollo y *Brosimum alicastrum*.

Agradecimientos

A nivel institucional quiero expresar mi gratitud al Consejo Oaxaqueño de Ciencia, Tecnología e Innovación (antes Consejo Oaxaqueño de Ciencia y Tecnología) por haberme considerado en el Programa de Incorporación de Mujeres para el Fortalecimiento Regional en su versión 2015, el cual fue punta de lanza en la preparación hacia el posgrado y por las facilidades otorgadas para la estancia en el extranjero en la ciudad de Kelowna, Canadá. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para los estudios de posgrado y apoyos complementarios dirigidos a mujeres indígenas.

Al Centro de Investigaciones Tropicales, de la Universidad Veracruzana por cobijarme durante los dos años de posgrado.

Mi más sincero agradecimiento a las comunidades que visité como parte de la tesis o de las materias del programa de maestría. A mis paisanos mazatecos de Camino de Ixcatlán en Jalapa de Díaz, Oaxaca; Tlalixcoyan, Catemaco, Santiago Tuxtla, Otatitlán y Banderilla, Veracruz; muchas gracias por extender su mano amiga, por compartir su esencia para conmigo, siempre los echaré de menos.

A todos los investigadores que me impartieron clases y contribuyeron en mi formación, muchas gracias por compartir sus conocimientos y experiencias.

A mis asesores de tesis, Dra. Citlalli López Binnqüist y Dr. Noé Velázquez Rosas, por su impulso en la parte final de la tesis y su invaluable apoyo económico y moral, cuando todo parecía perdido y, por dedicarle un poco de su preciado tiempo a las múltiples versiones de mi documento.

Al comité de sinodales, Dr. José Antonio Sierra Huelsz, Dra. Leticia Cano Asseleih, Dra. Cecilia Sánchez Garduño y Dra. Lilia Méndez Lagunas, quienes muy amablemente accedieron a revisar la versión definitiva del documento de tesis, aportando sus observaciones y sugerencias de modo oportuno.

A mis compañeros de las generaciones 2016-2018 y 2017-2019 de la Maestría en Ecología Tropical, por los momentos compartidos y por hacerme sentir como en casa.

1. Justificación

Cuando se pretende incidir en el desarrollo rural se requiere tomar en cuenta los recursos que están disponibles en el contexto natural y sociocultural para diseñar una estrategia que permita mejorar el bienestar y la calidad de vida de los habitantes y garantizar, en primera instancia, la soberanía alimentaria.

Por ello, la integración de recursos naturales locales y conocimiento técnico científico, resulta clave en la integración de propuestas dirigidas a la solución de problemas estructurales como la pobreza y desnutrición, al tiempo que, coadyuvan en la conservación de recursos genéticos amenazados.

En tal sentido, la propuesta aquí planteada contempla tres grandes aspectos; primero, incentiva la utilización del cerdo pelón mexicano, un recurso zoogenético que se encuentra cada vez más en desuso; segundo, brinda una alternativa en acciones de reforestación, teniendo al árbol de ojoche como una especie clave para brindar servicios ambientales y alimento pecuario y, tercero; la oportunidad de mejorar la nutrición y atenuar el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares o diabetes entre los consumidores, a partir del mejoramiento del perfil de ácidos grasos, mediante la incorporación de innovaciones alimenticias que incluyen harina de ojoche y aceite vegetal mixto.

2. Resumen

En la presente investigación se evaluó el efecto de la suplementación de la dieta con ácidos grasos mixtos derivados del uso de aceite vegetal y harina de ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.) sobre el perfil de ácidos grasos a nivel subcutáneo en canales de cerdo pelón mexicano. Se realizó un análisis bromatológico del alimento que se proporcionó al lote experimental para determinar el porcentaje de humedad, de cenizas, de proteínas, de grasas, de fibra cruda, de carbohidratos y el contenido energético total en Kcal/100 g. Se evaluó el perfil de ácidos grasos tanto de la muestra de alimento como de grasa subcutánea. También, se evaluó la influencia del patrón alimenticio sobre la tasa de crecimiento de los animales y otras variables de la canal como peso vivo, peso de la canal, peso del hígado, espesor de la grasa dorsal, longitud de la canal y la tasa de crecimiento. También se realizó una prueba sensorial para valorar la aceptación de la carne de cerdo pelón mexicano en platillos tipo gourmet. La dieta proporcionada a los cerdos incluyó harina de maíz (63%), harina de soya (30%), harina de ojoche (4%) y aceite vegetal mixto (3%), esta mezcla fue rica en carbohidratos (61.4%); mientras que el contenido de grasas fue moderado (7%). La dieta presentó un nivel bajo de proteína (9.3%), pero el aporte energético de la dieta fue de 3,464 kcal/kg, lo cual coincide con algunos otros estudios que suplementan las dietas porcinas con lípidos naturales o sintéticos. En cuanto al perfil de ácidos grasos del alimento, se determinó la dominancia de ácidos grasos poliinsaturados, en un porcentaje de 58.15%, de los cuales el 54.77% fue aportado por el ácido linoleico y el ácido linolénico contribuyó con 3.38%. Los ácidos

grasos monoinsaturados más abundantes fueron el oleico y el palmitoleico, con el 24 y 1.85%, respectivamente. El 16% de los ácidos grasos presentes en el alimento correspondió a los saturados, destacando el ácido palmítico (13.85%) y el ácido estearíco (2.15%). Con base en la abundancia de los diferentes ácidos grasos, se puede afirmar que la dieta proporcionada a los animales fue de naturaleza poliinsaturada. Sin embargo, al determinar la infiltración de dichos ácidos grasos a nivel de grasa subcutánea, se observó mayor predominancia de ácidos grasos de tipo monoinsaturado, como el palmitoleico (44.01%) y el oleico (20.95%). Los ácidos grasos saturados se presentaron en un 24.4%, entre los cuales destaca el aporte de 13.78% del ácido palmítico, el 3.63% de ácido láurico y el 0.13% de ácido cáprico. Por su parte, los ácidos grasos poliinsaturados, se vieron representados por el ácido linoleico en un 10.64% y el ácido linolénico no fue infiltrado en la grasa subcutánea. Las explicaciones en torno a la dominancia de ácidos grasos monoinsaturados en la grasa subcutánea se relaciona con el metabolismo de los lípidos de los cerdos, ya sea por actividad de síntesis de novo de ácidos grasos estimulados por la actividad de la enzima estereaoil CoA; o bien por la acción de la enzima Δ6 desaturasa, la cual tiene preferencia por los ácidos grasos con mayor número de dobles enlaces. La tasa de crecimiento registrada fue ligeramente superior al compararse con animales con un régimen alimenticio generalizado en traspasios del sureste mexicano, que incluye desperdicios de cocina o recursos vegetales locales. En cuanto a las variables de canal evaluadas, los resultados son similares a los que se han reportado en estudios similares y se corrobora que el cerdo pelón mexicano presenta una canal mucho más grasa en comparación con canales de cerdos de variedades modernas. En cuanto a la evaluación sensorial o aceptación de la carne

de cerdo pelón mexicano, la entrevista realizada a los comensales, posteriormente a una cena con platillos tipo gourmet, los comentarios fueron positivos, ya que se percibió la calidad de los cortes en cuanto a sabor y textura, pues se identificaron sabores sutilmente dulces provenientes del ojoche y la carne resultó ser muy suave y no tan grasosa al paladar. De modo general, la incorporación de harina de ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.) y aceite vegetal mixto, representan innovaciones alimenticias, que en términos productivos, permite una adecuada tasa de crecimiento en los animales, mejora el perfil de ácidos grasos a nivel subcutáneo, se obtienen canales de tamaño acorde con la variedad del cerdo pelón mexicano y aporta ciertos beneficios cualitativos en términos de sabor y textura de la carne del cerdo pelón mexicano. Por lo anterior, el planteamiento presentado en la presente investigación resulta innovador, y pone de manifiesto la posibilidad de reactivar del sector porcícola en las zonas rurales, con genotipos criollos, que se ajustan prácticamente a cualquier régimen alimenticio, con recursos locales y una mínima inversión en infraestructura.

3. Introducción

Desde que los españoles introdujeron al cerdo en el continente americano, hace por lo menos 500 años, se convirtió en uno de los elementos más recurrentes en la alimentación de los mexicanos. Aunque su crianza fue inicialmente impuesta a los indígenas como parte del tributo hacia los gobernantes españoles para abastecer de carne a los esclavos de las minas y a las propias familias españolas; poco a poco, su consumo se generalizó entre la población indígena; actualmente, es un elemento clave en la cocina regional mexicana (Barkin, 2003). La porcicultura a pequeña escala es parte de la diversificación productiva de las familias campesinas y es una actividad importante en términos socioculturales y económicos, pues contribuye a la economía familiar y al complemento nutricional mediante el aporte de proteína en las comunidades rurales (Sierra, 2000). Esto determina que los cerdos sean parte fundamental de los modos y estrategias de vida en el sector rural (Sánchez y Martínez, 2014).

En México, hasta la década de 1980, entre el 50 y 60% de la producción porcina se realizaba mediante el esquema de traspatio, utilizando razas de cerdos traídas por los españoles, es decir variedades criollas que se adaptaron al ambiente de nuestro país (Montero y Martínez, 2015). En la actualidad, la mayoría de dichas variedades tiene un futuro incierto, pues no existe información objetiva respecto a tendencias, caracterización, programas de conservación, etc. Aunque se han declarado en inminente peligro de extinción, ya que el número de ejemplares bajo manejo es cada vez menor (Sierra, 2006). Esto ha sido consecuencia de la adopción de sistemas productivos de tipo industrial, que incluye, entre otras cosas, el manejo de cerdos

diseñados genéticamente para la producción de carne magra en detrimento de las variedades nativas (Arias, 1993).

Es importante destacar que el cerdo, tiene la capacidad de absorber los nutrientes casi de modo intacto, sin que éstos sufran modificaciones metabólicas (Wood, 2008). Ello representa una ventaja, puesto que es posible alterar favorablemente la constitución bioquímica de la canal de los ejemplares. En cambio, en ganado bovino, es más difícil dicha modificación, ya que en éste se presentan procesos de biohidrogenación, lo cual modifica la configuración molecular de los nutrientes que se adicionan en la dieta (Marín, et. al., 2010). Una de las estrategias para convertir la carne en lo que se ha denominado “alimento funcional” (Valenzuela et.al., 2014), consiste en modificar el perfil de ácidos grasos a nivel intramuscular y subcutáneo, con la finalidad de que éstos sean preferentemente insaturados, con la consecuente aportación hacia la salud del consumidor. El hecho de modificar las grasas de la carne del cerdo, coadyuva en los problemas actuales de sobrepeso y obesidad, por lo tanto, previene la incidencia de enfermedades de tipo cardiovascular, diabetes tipo II, hígado graso y síndrome metabólico (Savino, 2011).

Los ácidos grasos poliinsaturados son precursores de otros ácidos grasos de cadena larga, los que forman las familias de ácidos grasos omega 3 y 6, éstos disminuyen la concentración de triacilgliceroles y colesterol en la sangre. Esto se debe a que inducen la expresión genética de enzimas responsables de la oxidación de ácidos grasos, al tiempo que reprimen la expresión de enzimas lipogénicas. Asimismo, la incidencia de los ácidos grasos poliinsaturados en el control de la diabetes está relacionada con su capacidad de diferenciación de los preadipocitos a adipocitos, lo cual genera en éstas células un aumento en los receptores para

insulina, con lo cual se reduce la resistencia a la insulina. Otro mecanismo es la protección de las células beta pancreáticas del daño causado por el aumento de los radicales libres provocados durante la diabetes (Rodríguez-Cruz, et. al., 2005). Con miras hacia la modificación metabólica de los cerdos criollos, conviene resaltar que éstos se caracterizan por ser adipogénicas, lo cual significa que genéticamente están predispuestas a producir mayor cantidad de grasa en sus tejidos (Ramírez & Cava, 2007; Méndez, 2002; Lemus, 2015), en comparación con las variedades modernas, que han sido diseñadas para producir carne magra. Por ello, las variedades criollas representan una alternativa viable para conseguir resultados favorables mediante la modificación de su esquema alimentario para mejorar la calidad y cantidad de ácidos grasos. Al respecto, es conveniente mencionar que el manejo de la variedad de cerdo ibérico alimentado con bellotas de encino, representa en España toda una industria con derivados cárnicos selectos con valor agregado y denominación de origen, entre los que destaca el jamón curado (Gómez, 2017).

El cerdo ibérico y el cerdo pelón mexicano están genéticamente emparentadas (Lemus & Ly, 2010); por ello, el manejo de esta variedad criolla en las comunidades de nuestro país tienen un gran potencial para la obtención de derivados cárnicos de elevada calidad, con sello nacional y garantizar una excelente nutrición entre los consumidores. Esto representa una iniciativa de algunas instituciones gubernamentales y de investigación en el estado de Yucatán que pretenden la industrialización de uno de los platillos típicos del sureste mexicano, como lo es la cochinita pibil, elaborada justamente con la variedad de cerdo pelón mexicano que se distribuye en esta región (Peña, 2011).

En el mismo sentido, *Brosimum alicastrum* es un árbol perennifolio ampliamente utilizado en alimentación pecuaria, principalmente en los estados de Yucatán, Quintana Roo y Oaxaca, cuya evaluación técnica ha permitido sugerir que cumple con características agronómicas y nutritivas, con excelentes rendimientos productivos y, además, no cuenta con factores antinutricionales (Rojas-Shrooeder, et.al., 2017), por lo cual es una buena fuente alimenticia para bovinos, ovinos, conejos y cerdos. En este caso, las hojas, ramas y semillas son las partes del árbol que se utilizan como forraje, con un elevado contenido de proteína que oscila alrededor del 20%, con una digestibilidad de 60% y con el potencial de elevar la producción de leche en el ganado.

Si bien, se reporta que las hojas de *Brosimum alicastrum* son preferentemente utilizadas con fines pecuarios, en este caso se optó por procesar semillas y obtener una harina, cuya vida de anaquel resulta superior a la semilla fresca. Asimismo, conviene mencionar que la semilla fresca tiene disponibilidad limitada, pues en este caso, el árbol de *Brosimum alicastrum* fructifica en la región de los Tuxtlas, Veracruz, durante los meses de mayo y junio (Maximina García Chontal, com.pers). Aunado a la modificación del perfil de ácidos grasos, es importante evaluar si dichos cambios interfieren en las propiedades sensoriales de la carne y sus derivados, para evitar el rechazo en el consumidor final (Aguilar-Guggembuhl, et.al. 2014). Por ello, el proyecto de investigación aquí planteado tuvo como objetivo evaluar el efecto de una dieta suplementada con ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, derivados de la harina de ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.) y de aceite vegetal mixto, sobre el perfil de ácidos grasos en un lote de cerdos de la variedad pelón mexicano, así como la evaluación sensorial cualitativa de la carne.

4. Antecedentes

4.1. Contextualización de la porcicultura de traspatio en México

En México se presentan tres tipos de porcicultura: el sistema tecnificado, el semitecnificado y el de traspatio o artesanal. Aunque se carece de información oficial, se ha estimado que el sistema de traspatio contribuye un 30% a la actividad porcícola nacional, en cuanto al número de granjas, las cuales en conjunto suman alrededor del 40% de la piara a nivel nacional.

Se estima que tiene una producción promedio de 6.45 lechones al año, y se cuenta con unas piaras de entre 5-50 cerdos por granja, con una tasa de extracción de 60% y un elevado índice de mortalidad que llega casi al 25 %, lo cual se debe al escaso manejo zootécnico de las granjas (Claridades Agropecuarias, 1996). Este sistema productivo se caracteriza por ser de pequeña escala, ya que este tipo de productores tiene por lo general una o varias cerdas reproductoras con un semental, cuya alimentación está basada en desperdicios domésticos, de restaurantes, panaderías y tortillerías. Otra característica de este tipo de actividad es la escasa tecnología en infraestructura, mejoramiento genético y control sanitario (Navarrete, 2006). En relación con el suministro alimenticio, los porcicultores a este nivel recurre al uso de alimentos balanceados, por lo cual se considera que ello implica un sacrificio para él y su familia, pues requiere una mayor inversión (Kato y Suárez, 1996).

El sistema doméstico o de subsistencia, como suele llamarse a este sistema de producción, actualmente, y muy a pesar de las empresas que han tecnificado la porcicultura en el país, aún es muy recurrente en algunas regiones del país. En el

sentido de la localización de la porcicultura de traspatio, uno de los primeros reportes técnicos fue el de Góngora y colaboradores (1986), quienes se encargaron de documentar la porcicultura rural enfatizada en el manejo de cerdo pelón mexicano en Mérida y Uman, dos municipios del estado de Yucatán.

Para el estado de Veracruz, se ha reportado el manejo de cerdo pelón mexicano a escala de traspatio en el municipio de Mizantla. Mendez y colaboradores, (2002) presentan una evaluación de la canal de muestras procedentes de dicho municipio.

La producción de cerdos en sistemas de traspatio ha sido documentada en algunos estados como Guerrero, en donde Vargas-López y colaboradores (2017) reportan que en la zona indígena de la Montaña, dominado por grupos indígenas como el náhuatl, mixteco y mestizos, en donde el ganado porcino representa el 4.8% en cuanto a número de cabezas, en relación con las gallinas (32%), cabras (27.6%), reses (14.7%), pavos (12.7%) y ovejas (1.4%). Específicamente, en lo que los autores denominan ganadería de solar, el número promedio de cerdos es de 7 ejemplares por familia. En este caso, no se especifica el tipo de genotipo porcino que se maneja en estas áreas.

En el estado de Chiapas, Perezgrovas y colaboradores (2007) documentaron la crianza de cerdos criollos y blancos en la comunidad de Aguacatenango, en donde se caracterizó el tipo de alojamiento, alimentación, manejo, reproducción, sanidad, compra-venta y los principales fenotipos del sitio (colores en pelaje y forma de los cerdos). Mientras tanto, Rodríguez y colaboradores (2011), también han reportado el manejo de cerdos criollos de traspatio en la comunidad de El Aguaje, en los Altos de Chiapas. En este caso, es sobresaliente el manejo de los animales por parte de las mujeres tzotziles.

Asimismo, Linares-Sosa y colaboradores (2017), bajo la perspectiva de género, argumentan la importancia de la crianza de cerdos criollos entre las mujeres indígenas de los grupos indígenas cuicateco y chinanteco del estado de Oaxaca.

En el estado de Oaxaca, Fuentes (2015) dio a conocer cinco tipos de cerdos criollos que se han descrito para el estado, así como su ubicación geográfica en las diferentes regiones. Además, uno de los trabajos geográficamente más amplios es el de Martínez y colaboradores (2016), que abarcó comunidades rurales de Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Colima, Guerrero, Nayarit, Oaxaca, Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Yucatán, Estado de México, Hidalgo, Jalisco y Querétaro. Dicha contribución resulta muy importante en términos de descripción morfométrica de cerdos criollos. En 2015, Huerta y colaboradores reportaron el inminente peligro de extinción del cerdo criollo en Tecamachalco, Puebla, debido a que el número de ejemplares bajo este sistema es apenas de 51 ejemplares, contra los 33,600 de las granjas tecnificadas.

4.2. Porcicultura rural en el contexto de la seguridad y soberanía alimentarias

De acuerdo con la FAO (1996), la seguridad alimentaria “a nivel individuo, hogar, nación y global, se consigue cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico y económico, a suficiente alimento, seguro y nutritivo, para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias, con el objeto de llevar una vida activa y sana”. En el mismo sentido, la soberanía alimentaria es un concepto de mayor profundidad, puesto que se define en términos del derecho humano a la

alimentación y por ello está muy relacionado con las políticas públicas orientadas hacia la autosuficiencia de los países. Así pues, la soberanía alimentaria, de acuerdo con la Vía Campesina y aceptado por la FAO (1996), se refiere al

“derecho de los pueblos, las naciones o las uniones de países a definir sus políticas agrícolas y de alimentos, sin ningún dumping frente países terceros. Organiza producción y el consumo de alimentos acorde con las necesidades de las comunidades locales, otorgando prioridad a la producción para el consumo local doméstico. Proporciona el derecho a los pueblos a elegir lo que comen y de qué manera quieren producirlo. Incluye el derecho a regular la producción nacional agropecuaria y a proteger el mercado doméstico del dumping de excedentes agrícolas y de las importaciones a bajo precio de otros países...”

De esta manera, la crianza de variedades criollas de cerdos y la búsqueda de alternativas alimenticias para disminuir los costos de producción, sin demeritar la calidad de los derivados cárnicos, resulta una actividad que contribuye tanto a la seguridad como a la soberanía alimentaria. En tal sentido, la porcicultura de traspatio, como complemento de la agricultura familiar, garantiza la seguridad alimentaria, ya que mediante dicha actividad se generan alimentos, ahorros e ingresos (Jaramillo-Villanueva *et.al.* 2017). Desde luego, en cuanto al abasto de alimento, cuando un cerdo es sacrificado en un espacio rural, generalmente la familia propietaria consume una parte de la carne y sus derivados; mientras que los excedentes se comercializan. Por lo tanto, el cerdo se convierte en una excelente fuente de proteína y grasa a nivel colectivo, por lo cual se contribuye directamente

en la nutrición de los consumidores, ya que la dieta de las comunidades rurales generalmente tiene un déficit de proteína (Reyes-Betanzos y Álvarez-Ávila, 2017).

Mientras tanto, cuando los ejemplares son vendidos en pie para su sacrificio o engorda al exterior de las familias se permite que éstas obtengan un poco de capital monetario que se puede asignar a la adquisición de otro tipo de alimentos o bien para el pago de ciertas deudas que se generan cuando se presentan imprevistos o se asocian con la adquisición de insumos agrícolas (Pérez, 2007).

Respecto a la contribución de la crianza de cerdos criollos a la soberanía alimentaria, cabe señalar que dicha actividad representa una excelente oportunidad para paliar con la actual crisis alimentaria nacional, que ha llevado a la dependencia de hasta un 40% en alimentos importados. De acuerdo con Rubio (2011), aquellos países que han dado un digno lugar a la economía campesina, dentro de sus políticas públicas (como Ecuador con Rafael Correa y Brasil con Lula Da Silva), han logrado hacer frente a dicha situación crítica de modo más eficiente que aquellos que, como México, han continuado bajo el dominio neoliberal, implementando políticas asistencialistas, de corto plazo, aperturistas y de exclusión productiva.

En este mismo tenor, otro componente de nuestro sistema productivo, *Brosimum alicastrum*, debido a su elevado nivel de producción de semillas y su valor nutritivo como alimento humano y pecuario, Larqué-Saavedra (2017) lo ha postulado como una especie clave en el combate contra el hambre en nuestro país y, por ende, contribuir a la soberanía alimentaria nacional al disminuir la importación de maíz y otros granos, cuyo abasto sería complementado por esta especie forestal, hasta hoy subutilizada, en muchas de las regiones en donde se distribuye naturalmente,

excepto en la región del sureste mexicano, particularmente en la región maya, en dónde se aprovecha el follaje como alimento, principalmente para bovinos.

De hecho, se ha sugerido que *Brosimum alicastrum* fue un componente clave de los agroecosistemas mayas del periodo clásico (del 250 al 900 d.C), quienes lo utilizaron como fuente alimenticia humana y pecuaria, en cuyo caso, fue utilizado como alimento para venados (Puleston, 1968; Demarest, 2004; Masson y López et.al., 2008; citados por Meiners et.al., 2009).

De acuerdo con la misma fuente bibliográfica, tomando en cuenta la calidad nutritiva y la elevada producción de semilla, *Brosimum alicastrum* es considerado por los adultos mayas actuales como la semilla que los salvó de alguna hambruna en el pasado.

4.3. Variedades criollas de cerdos en México

En términos generales, las llamadas variedades criollas, autóctonas o locales, son aquellas que se encuentran genéticamente emparentadas con aquellas que les dieron origen, pero adaptadas a otras condiciones ambientales. En el caso de los cerdos, se afirma que las variedades criollas que se encuentran desde México hasta Argentina, abarcando países como Uruguay, Colombia, Bolivia, Perú, Brasil y la isla de Cuba (Linares et. al., 2011); provienen de aquellos cerdos que se embarcaron desde el segundo viaje de Colón en 1493 (Benítez, 2001). Así como de aquellos que fueron traídos posteriormente por los españoles en sus afanes de dominación civilizatoria en América. Es decir, este hecho se considera una pieza clave durante la Conquista y los primeros años de colonización, principalmente en aquellos

lugares con explotación minera (Del Río, 1996). Las variedades criollas han estado sujetas a condiciones de manejo rústico e indiscriminado y son el resultado de cruzamientos con las variedades modernas. Por esto no se puede afirmar que son variedades puras, pero han conservado caracteres distintivos de aquellas variedades autóctonas de las que provienen, a pesar del proceso de selección y mejora que han realizado los sistemas tradicionales de producción porcina (Lemus, 2005).

En el caso de nuestro país, el Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos (DAD-IS, por sus siglas en inglés) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2018), ha reportado la existencia de cuatro variedades criollas, a saber: coscate, cuino, pata de mula y pelón mexicano. Sin embargo, Guerrero (2000) y Lemus (2005) sostienen que los genotipos coscate y pata de mula corresponden a la misma variedad. En este contexto de la diversidad porcina autóctona, resulta complicado determinar la ubicación geográfica y la cantidad de ejemplares criollos que se encuentran en territorio nacional. Al respecto, Arias (1993), asegura que hasta el año 1970, el manejo de animales criollos era generalizado a nivel nacional; pues en las décadas posteriores se inició la modernización pecuaria. Actualmente, el sistema de traspatio puede abarcar entre el 30 - 50% de unidades de producción y llega a aportar casi el 40% de la carne que se consume en México; aunque el manejo de ejemplares criollos es cada vez menor (Montero y Martínez, 2015; Ruiz-Torres et.al., 2014).

En cuanto a los lugares en donde aún se ha reportado el manejo de cerdo criollo, se sabe de modo extraoficial que es posible encontrar ejemplares en las regiones

costeras de los estados de Oaxaca, sur de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Nayarit y Jalisco (Lemus, 2005). No obstante, el manejo de los cerdos criollos ha disminuido principalmente por dos razones, ya sea porque son reemplazados por razas modernas, o bien, por cruzamientos mal dirigidos que conllevan a la erosión genética. Sin embargo, evaluar el estatus de riesgo a la extinción no es una tarea fácil, ya que a la fecha el Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos (2018), reporta como desconocido el nivel de riesgo de las variedades criollas mexicanas. De acuerdo con Sierra (2000), la carencia de información objetiva acerca del riesgo de extinción de las variedades autóctonas, es particularmente problemático, ya que este recurso puede estar en peligro e incluso llegar a extinguirse en el corto plazo, con la consecuente pérdida de diversidad genética. Esto resulta relevante para hacer frente a los desafíos del cambio climático en la conservación de la diversidad biológica.

Por lo anterior, es necesario implementar acciones a favor de la conservación de los cerdos criollos, con la finalidad de incentivar o incrementar su manejo en sistemas tradicionales de producción, en donde el cerdo criollo puede tener un papel protagónico en el marco de la diversificación productiva (Ruiz-Torres, 2014), ya que la porcicultura de traspasio requiere poca inversión en infraestructura, alimentación y manejo de enfermedades, tomando en cuenta la rusticidad de los animales y las ventajas que le confiere su adaptación al entorno. En este sentido, retomar la producción porcícola utilizando variedades autóctonas, de acuerdo con Sierra (2000) también tiene implicaciones ecológicas, pues su manejo a pequeña escala y

de modo extensivo es menos contaminante en comparación con las granjas tecnificadas.

4.4. Caracterización del cerdo pelón mexicano

El biotipo de cerdo criollo de la variedad pelón mexicano, tiene su origen las variedades que introdujeron los españoles durante la Conquista, los cuales correspondían a las de cerdos célticos, ibéricos y napolitanos; así como de aquellos cerdos que posteriormente fueron traídos desde China. El cruzamiento sin control entre dichas variedades produjo la variedad conocida como cerdo pelón mexicano.

De acuerdo con Lemus (2015), el cerdo pelón mexicano se caracteriza por tener la cabeza y la cara rectilínea, orejas de tamaño mediano semirrectas, dorso casi rectilíneo, con ancas completamente caídas, cuerpo total o parcialmente desprovisto de pelo, color grisáceo o combinado con blanco, de talla mediana (con una alzada entre 57 a 76 cm, longitud promedio de 83 cm y peso entre 70 y 83 kg en edad adulta).

Una característica importante del cerdo pelón mexicano es la rusticidad, que se define como la capacidad de sobrevivir y producir en condiciones desfavorables como climas cambiantes, escasez de alimentos y predisposición a infecciones por patógenos (Linares *et. al.*, 2011). En tal sentido, las variedades criollas, como el pelón mexicano, han generado ciertos mecanismos de resistencia, entre los que destaca su capacidad de soportar las altas temperaturas y la elevada humedad de las regiones tropicales (Lemus, 2015).

4.5. Fisiología digestiva en cerdos

Cuando se incorpora un ingrediente poco convencional a la dieta de los cerdos, es de suma importancia tomar en cuenta su composición química, el nivel de aprovechamiento de nutrientes y su posible efecto en el proceso digestivo, ya que esto repercute en la eficiencia biológica del animal, pues son variables que influyen en el consumo, la digestibilidad total y la velocidad de tránsito del alimento (Savón, 2002). También resulta conveniente determinar la presencia de factores antinutricionales, los cuales contienen sustancias biológicamente activas que, según su naturaleza y concentración, limitan su utilización debido a los efectos nocivos que producen en los animales monogástricos, que no cuentan con la protección de la flora bacteriana, como ocurre en los rumiantes (Lozada-Salcedo, et.al., 2017). Por ello, en los cerdos es particularmente relevante considerar la edad de los animales para el suministro de los alimentos, pues su capacidad digestiva se encuentra limitada por la inmadurez del tubo gastrointestinal. Los procesos de digestión y absorción se llevarán a cabo de modo óptimo en los cerdos, siempre y cuando, se garantice la integridad de los enterocitos, células que se localizan en las vellosidades del intestino delgado, a través de los cuales ocurre el paso de las biomoléculas contenidas en los nutrientes. Además, para el funcionamiento de los enterocitos se requiere la síntesis y expresión molecular de la vilina, proteína que da soporte, elasticidad y motilidad a los enterocitos de las vellosidades del intestino delgado (Ciro et.al., 2013).

Conviene señalar que el intestino delgado tiene un incremento en peso, longitud y diámetro muy marcado durante los primeros días de nacimiento, lo cual se asocia

con el aumento en la mucosa intestinal, altura y diámetro de las vellosidades y la cantidad de enterocitos (Reis de Souza *et.al.*, 2012). La transición de la dieta basada en leche materna hacia el consumo de alimentos sólidos, que implica el destete de los lechones, trae consigo una serie de cambios funcionales y estructurales a nivel de las vellosidades del intestino delgado, disminuyendo su capacidad digestiva. Antes del destete, las vellosidades tienen forma de dedos alargados y se encuentran plenamente adaptadas a la digestión de la leche. Después del destete, se manifiesta una atrofia de las vellosidades, que consiste en una disminución en la altura de las mismas, incremento en la profundidad de las criptas de Lieberkuhn, reducción en la cantidad de enzimas digestivas y por ende, una disminución en la capacidad de absorción. Todo ello provoca que el intestino pierda entre el 20-30% de su peso y da lugar al síndrome de diarrea posdestete (Mota *et.al.*, 2011).

El balance entre las diferentes especies de bacterias en el tubo gastrointestinal se relaciona con el bienestar animal para garantizar el desarrollo de sus funciones digestivas. Durante el destete, paulatinamente disminuye progresivamente el número de estreptococos y lactobacilos. Cuando el animal ingiere alimento sólido, durante el destete, la digestión es ineficiente debido a una baja producción de jugo gástrico y además se introducen algunas bacterias como la *E.coli*, lo cual desencadena procesos inflamatorios en el lechón. La respuesta inmediata frente a agentes patógenos disminuye la expresión molecular de las enzimas de las vellosidades intestinales, pues en ese momento se priorizan las funciones inmunes (Gómez, *et.al.*, 2008). Después del destete, el éxito de los lechones está prácticamente garantizado, aunque una estrategia de manejo ha sido la

suplementación con antibióticos, probióticos y prebióticos para apoyar la recuperación de los lechones en este momento crítico de su desarrollo (Alarcón, et.al., 2015; Ciro et.al., 2015).

4.6. Proceso digestivo de lípidos en cerdos

De acuerdo con Bauer y colaboradores (2005), la digestión del componente lipídico del bolo alimenticio involucra una serie de eventos fisicoquímicos y enzimáticos para llevar a cabo la emulsificación, hidrólisis y micelización de las grasas, para que sean absorbidos por los enterocitos del intestino. La emulsificación de las grasas comienza en el estómago, mediado por fuerzas mecánicas de los movimientos peristálticos, en donde se produce la lipólisis parcial por acción de la lipasa gástrica. El proceso digestivo continúa en el duodeno, en donde gracias a la lipasa pancreática se libera entre el 50-70% de los ácidos grasos, dicha enzima es regulada por la colipasa, la cual interactúa con las sales biliares para activar o inhibir su actividad. Bajas concentraciones de sales biliares estimulan la actividad de la lipasa pancreática y, por el contrario, altas concentraciones la bloquean.

En el proceso digestivo también interviene la lipasa carboxil ester, también llamada esterasa colesterol pancreática, hidrolasa colesterol ester o lipasa, estimulada por sales biliares, la cual es capaz de hidrolizar los esteres de colesterol, tri, di y monoacilgliceroles, fosfolípidos, lisofosfolípidos y ceramidas. Los productos de la lipólisis son removidos de la interfase agua-aceite mediante la formación de micelas mixtas, las cuales se forman espontáneamente al interactuar con las sales biliares.

La formación de dichas micelas es necesaria para facilitar la absorción de los lípidos no polares al interior de las células de la mucosa intestinal.

4.7. Ácidos grasos presentes en la carne de cerdo

Una de las tendencias productivas en la carne de cerdo ha sido la obtención de canales cada vez más magras, en un esfuerzo por reemplazar los ácidos grasos saturados por aquellos monoinsaturados y poliinsaturados (Skiba, 2011). Ante este desafío, una de las estrategias ha sido el diseño de dietas que incluyen ácidos grasos saludables, bajo la premisa de que los cerdos los asimilan y depositan en su organismo, casi de modo íntegro. Aunque en México la práctica de adición de ácidos grasos en las dietas para cerdos no es una práctica común, en España está ampliamente generalizado, sobre todo en las granjas en donde se maneja el cerdo ibérico. Así pues, los criadores de cerdo ibérico, debido a la denominación de origen de los derivados cárnicos de esta variedad, están forzados a desglosar el perfil de ácidos grasos, pues ello permite la clasificación comercial de dichos productos (Real decreto 4/2014).

En los últimos años, en la parte noroeste de España, ha adquirido importancia comercial el cerdo criollo tipo celta que se maneja de modo muy parecido al ibérico, es decir, de modo extensivo y con un periodo de montanera en la cual consumen bellotas silvestres (Domínguez, 2015). En la Tabla 1 se presenta una comparación de los perfiles de ácidos grasos de las principales variedades que han sido genéticamente modificadas para la producción de carne magra, entre ellas, la variedad Hampshire y Landrace, cruzas de Duroc con Berlin e ibérico; pero también de variedades criollas como el ibérico, celta y pelón mexicano.

Tabla 1. Comparación de ácidos grasos en variedades criollas, blancas y cruzas.

Ácido graso	Raza o crusa de cerdo						
	Hampshire ^a	Large White ^a	Duroc x Berlin ^a	Ibérico x Duroc ^a	Ibérico ^a	Celta ^a	Pelón mexicano ^b
C9:0	-	-	-	-	-	-	1.26
C11:0	-	-	-	-	-	-	1.42
C12:0	-	0.13	-	0.10	0.23	0.01	1.07
C14:0	1.22	1.44	1.35	0.70	0.93	1.32	6.88
C14:1	-	-	0.04	-	-	-	-
C16:0	22.04	26.30	25.76	23.10	20.16	23.52	29.79
C16:1	3.69	3.69	3.05	4.50	2.47	2.38	1.42
C17:0	0.28	-	-	-	0.30	0.27	-
C17:1	-	-	-	-	0.20	0.26	-
C18:0	11.97	12.19	13.74	7.70	13.16	11.81	15.56
C18:1	48.45	45.48	39.66	56.0	37.88	43.65	24.07
C18:2	6.34	8.71	6.70	6.20	17.34	9.87	1.33
C18:3	0.64	0.46	0.24	0.40	0.41	0.64	1.56
C20:0	-	-	-	0.80	0.20	0.19	-
C20:1	0.63	-	-	-	1.03	1.13	-
C20:2	0.25	-	-	-	1.02	0.50	-
C20:3	-	0.20	0.32	-	-	-	-
C20:4	0.57	1.02	1.5	0.60	4.66	0.29	1.19
C20:5	-	0.31	0.32	-	-	-	-
C22:4	-	0.12	-	-	-	-	-
C22:5	0.18	0.46	0.45	-	-	-	-
C22:6	0.16	0.46	0.27	-	-	-	-
SAT	35.58	40.06	41.23	32.30	34.98	37.93	56.01
MUFA'S	51.9	49.17	48.95	60.40	41.59	50.78	25.50
PUFA'S	8.57	11.74	9.85	7.20	23.44	11.29	2.49

^a Valores reportados por Domínguez (2015).

^b Valores reportados por Sierra-Vásquez (2015).

4.8. Importancia de las grasas en la calidad de la carne

Entre los atributos que determinan la calidad de la carne y que se relacionan con la preferencia del consumidor destacan la jugosidad, terneza, textura, capacidad de retención de agua y sabor. Dichas cualidades dependen en gran parte de la composición del músculo, lo cual involucra al tipo de fibras musculares que lo conforman, así como la proporción grasa/músculo al momento del sacrificio.

En este sentido, la grasa intramuscular y la composición de ácidos grasos son dos parámetros determinantes de la calidad sensorial, nutricional y tecnológica de la carne (Candek-Potokar *et.al.*, 2002; Olsson y Pickova, 2005), pues influyen principalmente en atributos como la textura, terneza, sabor y jugosidad.

De acuerdo con Huff-Lonergan y colaboradores (2002), la proporción de ácidos grasos monoinsaturados es un factor que determina la consistencia de la grasa y el sabor de la carne; mientras que los ácidos grasos poliinsaturados están más propensos a procesos oxidativos, y en consecuencia generan sabores indeseables.

Wood y colaboradores (2008), reportan que los ácidos grasos saturados más comunes y con mayor efecto sobre la calidad tecnológica de la carne son el palmítico (C16:0), el ácido esteárico (C18:0) y el ácido mirístico (C14:0), los cuales se relacionan con la firmeza y el sabor de la carne. El ácido oleico (C18:1), Palmitoleico (C16:1) y el vaccenico (C18:1) son los ácidos grasos monoinsaturados que influyen en la correcta maduración, en el sabor y aroma de los productos curados. Respecto a los ácidos grasos poliinsaturados, sobresale el linoleico (C18:2), el cual influye sobre la estabilidad oxidativa y el sabor de la carne.

4.9. Calidad nutricional del ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.)

De acuerdo con los reportes clásicos de Pardo-Tejeda y Sánchez (1980), el ojoche resulta un alimento con excelentes propiedades nutritivas, es particularmente rico en proteínas (11.6%) y fibra cruda (4.33%), pero además tiene muy bajo contenido en grasas (0.77%), lo cual lo convierte en un serio candidato para la alimentación pecuaria y humana. Además de su elevado contenido en proteínas, resulta interesante mencionar que el ojoche se caracteriza por presentar 17 aminoácidos; entre los más abundantes destacan el ácido aspártico (15.3%), leucina (10.4%), cistina (9.9%) y valina (9.4; Peters y Pardo-Tejeda, 1980). En el mismo sentido, al comparar el contenido de aminoácidos de *Brosimum alicastrum* con otros alimentos, se observa que es particularmente rico en triptófano y presenta cantidades muy parecidas en valina, treonina, tirosina e histidina, tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Niveles de aminoácidos presentes en semilla seca de *Brosimum alicastrum* y otros alimentos.

Aminoácido	Semilla de ramón	Harina de maíz	Avena	Frijol pinto	Harina de arroz
Ácido aspártico	1.18	0.565	1.448	2.268	0.677
Triptófano	1.12	0.057	0.234	0.237	0.092
Ácido glutámico	0.89	1.525	3.712	3.027	1.473
Leucina	0.57	0.996	1.284	1.558	0.598
Prolina	0.50	0.709	0.934	1.072	0.339
Arginina	0.49	0.405	1.192	1.096	0.548
Serina	0.40	0.386	0.750	1.171	0.374
Valina	0.37	0.411	0.937	0.998	0.424
Fenilalanina	0.36	0.399	0.895	1.095	0.373
Glicina	0.32	0.333	0.841	0.796	0.356
Treonina	0.30	0.305	0.575	0.810	0.265
Alanina	0.29	0.608	0.881	0.872	0.422
Isoleucina	0.28	0.291	0.694	0.871	0.306
Tirosina	0.25	0.330	0.573	0.427	0.271
Lisina	0.22	0.228	0.701	1.356	0.276
Histidina	0.22	0.248	0.405	0.556	0.184
Metionina	0.05	0.170	0.312	0.259	0.163
Cistina	0.03	0.146	0.408	0.187	0.088
Hidroxiprolina	<0.01	-	-	-	-

Tomada de The Mayanut Institut (2018).

Es importante aclarar que el contenido nutrimental del ojoche varía conforme la parte de la planta analizada (hoja, fruto, semilla) y al mismo tiempo, los resultados

cambian cuando las semillas pasan por algún proceso térmico, al ser secadas al sol, horneadas o tostadas (Carter, 2015), tal como se evidencia en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición química de semillas de *Brosimum alicastrum* con diversos tratamientos.

Referencia	INCAP-ICNND 1961	INPI 1976	Zamorano 2009	Saguero 2013	Salguero 2013	Flaster 2007
Localidad	Yucatán	Veracruz	Honduras	Guatemala horneada	Guatemala Tostada	Guatemala tostada
Proceso de la semilla	secada	secada	secada			
Humedad	6.05	12.17	7.72	10.64	8.33	10.95
Calorías	363	-	281	-	-	346
Proteína	12.13	10.22	8.8	11.48	11.48	10.42
Grasas	1.70	2.02	1.37	1.51	0.75	0.49
Carbohidratos	81.48	83.55	85.89	79.83	79.42	85.57
Cenizas	4.68	4.21	3.96	3.08	4.06	3.53
Fibra dietética	-	-	21.71	4.91	14.04	1.27
Fibra cruda	6.60	8.90	-	4.10	4.30	-
Azúcares totales	-	-	14.93	-	-	10.50

Tomada de Carter (2015).

De modo particular, aunque la cantidad de extracto etéreo (grasas) es reducido en *B. alicastrum*, se ha reportado que son de excelente calidad. Así, se ha reportado que los ácidos grasos más abundantes en las semillas de esta especie son el ácido linoleico, palmítico y linolénico, con 55.06%, 27.2% y 9.9%, respectivamente y carece de ácido oleico (Topkunar, 2010).

Además, resulta interesante que al comparar el porcentaje de ácido linolénico con otros aceites, éste resulta particularmente abundante en *B. alicastrum* (55.06%); mientras que en el de olivo y el de canola, las cantidades corresponden al 11.84% y 22.52%, respectivamente (Topkunar, 2010), tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición de ácidos grasos de *Brosimum alicastrum* y aceites de olivo y canola (%).

Ácido graso	<i>Brosimum alicastrum</i>	Aceite de olivo	Aceite de canola
C16:0 Palmítico	27.22 ± 2.05	12.1±0.76	3.52±0.6
C16:1 n9 Palmitoleico	Nd	Nd	0.5±0.18
C18:0 Esteárico	6.26±0.88	2.72±0.16	1.62±0.2
C18:3 n3 Linolénico	9.9±3.3	1.26±0.07	7.38±0.6
C18:1 n9 oleico	Nd	67.40±2.72	64.2±4.82
C18:2 n6 Linoleico	55.06±4.92	11.84±0.42	22.52±1.73
C20:1 (Cis-11 Eicosenoico)	3.36±1.36	4.3±1.74	1.14±0.08

Tomada de Topkunar (2010).

En este sentido, resulta importante recalcar el elevado contenido en *Brosimum alicastrum* de dos ácidos grasos poliinsaturados, el linoleico y el linolénico, los cuales son precursores de los ácidos grasos de cadena larga como el araquidónico o ARA (C20 4 n-6) y el ácido docosahexaenoico o DHA (C22:6 n-3), respectivamente.

Dichos ácidos corresponden a los llamados grupos Omega 3 y 6, los cuales son de suma importancia para la salud humana. Así, el DHA Y ARA (por sus siglas en inglés), forman parte de las membranas de las células de la materia gris y representan casi el 25 % del contenido total de ácidos grasos cerebrales. Dichos ácidos de cadena larga, se vinculan con funciones de neurogénesis y desarrollo cerebral. Además, disminuyen la disfunción mitocondrial, la neuroinflamación y el estrés oxidativo, por lo que se asocian con una función neuroprotectora en

enfermedades degenerativas. Por ello, se afirma que estos ácidos grasos actúan en las etapas extremas de la vida (Orellana *et.al.*, 2018).

4.10. Importancia ecológica y alimenticia del ojoche (*Brosimum alicastrum*)

En 1975 la Academia de Ciencias de los Estados Unidos incluyó a *Brosimum alicastrum* dentro de un listado de especies tropicales subexplotadas con potencial económico, pues se trata de una especie multifuncional de la cual es posible aprovechar todas sus partes: hojas, frutos, semillas, látex y madera (Tejeda-Pardo y Sánchez, 1980; Meiners *et.al.*, 2009).

Se trata de una especie mucho más nutritiva, productiva y resistente que el maíz, el trigo, el arroz, la yuca, el sorgo y el plátano. Sus semillas, hojas y frutos presentan un elevado contenido de proteína, lo cual convierte a la especie en una clave para mitigar la desnutrición infantil. Las semillas se pueden consumir cosidas o tostadas (como sustituto de papa o café); la pulpa del fruto, se utiliza para la elaboración de mermeladas y el látex ha sido utilizado como sustituto de leche o incluso como estimulante en la producción de leche en humanos y animales, y la madera, se utiliza para la elaboración de muebles (Pardo-Tejeda y Sánchez, 1980).

Actualmente, gracias al impulso de la organización The Equilibrium Found, se está difundiendo el valor nutritivo de *Brosimum alicastrum* y se están comercializando productos panificados (galletas, panes, bizcochos, etc.) y bebidas e infusiones a base de semilla tostada o molida.

En términos ecológicos, *Brosimum alicastrum* es relevante ya que ayuda a proteger el suelo, los cuerpos de agua y sirve de alimento a la fauna silvestre (mucílagos, monos, ardillas, ratones, agouties, coatíes, mapaches, venados y pecariés) (Sánchez-Garduño, 2005, citada por Meiners et.al., 2009). Tolera la cercanía de otras especies vegetales. Debido a que es un árbol de porte grande y frondoso puede ser candidato para la venta de carbono (Meiners et.al., 2009).

4.11. Utilización del ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.) como alimento para cerdos

Junto con otras 34 especies de árboles, *B. alicastrum* es utilizado como una de las principales fuentes alimenticias para el ganado en la región Maya (Flores y Bautista, 2012), aunque también se ha reportado su utilización con estos fines en la costa del estado de Jalisco (Román et.al., 2004), Veracruz (Domínguez, 2012) y Chiapas (Orantes et.al., 2012). Uno de los primeros trabajos que reportan la utilización del ojoche como forraje es el de Pardo-Tejeda y Sánchez (1983), en donde se cita un experimento en el cual se trabajó con tres lotes de cerdos castrados, los cuales fueron alimentados conforme a las siguientes dietas por grupo: 1) 100% de sorgo; 2) 70% sorgo, 30% *B. alicastrum*; 3) 40 % sorgo, 60% *B. alicastrum*. Como resultado, los cerdos que recibieron la última dieta mostraron una ganancia de peso y relación de eficiencia de proteína (PER), significativamente más baja que cualquiera de los otros dos tratamientos. Como los niveles bajos de sustitución de *Brosimum alicastrum* por sorgo no tuvieron un cambio significativo en la ganancia

de peso o en PER, se infirió la posibilidad de utilizar las semillas de *Brosimum alicastrum* como un sustituto parcial del sorgo en la alimentación del cerdo, hasta en un 30%, pues con cantidades más elevadas se afectan los parámetros de ganancia de peso y eficiencia de proteína.

Por otra parte, Santos y Abreu (1995) citado por Rojas-Shrooeder y colaboradores (2017), realizaron la evaluación nutricional de esta especie de árbol para su inclusión en dietas de cerdos. En dicho estudio se reporta la composición química del follaje de *Brosimum alicastrum* en términos de porcentajes de materia seca (88.7), proteína cruda (14.2), fibra detergente neutro (37.4) y lignina (6.7).

Dichos autores evaluaron también la digestibilidad de la materia seca y la proteína cruda, reportando porcentajes de 43.2 y 33.1, respectivamente. También se evaluó el valor de la energía metabolizable, reportando un valor de 5.64 MJ/kg de materia seca. Al respecto y haciendo un comparativo en la digestibilidad de *Brosimum alicastrum* en ganado bovino, ovino, conejos y cerdos, resultó que en cerdos se presenta el valor mínimo debido a su baja capacidad en la digestión de materiales fibrosos. Por esta razón, se tiene la misma tendencia en cuanto a la energía metabolizable, ya que en el cerdo no se presenta digestión fermentativa.

5. Marco referencial

5.1. Porcicultura rural en el contexto de la economía campesina

De acuerdo con el enfoque del ruso Alexander Chayanov (1985; citado por Rosas y Barkin, 2009), la economía campesina se define como aquel sector productivo que tiene a los integrantes de la familia como principal mano de obra, posee una pequeña superficie de tierra y sus objetivos están más enfocados en la subsistencia que en el intercambio comercial. Por ello, se afirma que es un esquema productivo que no sigue los principios del capitalismo, pues en la práctica no es posible aplicarle los conceptos de salario y ganancias; resultando complicado la determinación de los costos de producción.

La porcicultura de traspatio se rige por los principios de la economía campesina, ya que la mano de obra que participa generalmente deriva de la familia y por ende, ésta no recibe ningún tipo de remuneración. De acuerdo con Lemus y Alonso (2005), este manejo tradicional del cerdo pelón mexicano aprovecha la rusticidad, baja prolificidad y la capacidad adaptativa de los animales para invertir un capital monetario mínimo. Este sistema tradicional se caracteriza por tener instalaciones rudimentarias a base de materiales de la región; los corrales tienen paredes de madera o mampostería, con techos de lámina, con pisos de tierra o parcialmente de concreto; los bebederos y comederos son de tipo canoa rústicos. La alimentación de este tipo de píaras se basa principalmente en desperdicios de cocina, diversas especies de hierbas, maíz y salvadillo. No se aplican medidas sanitarias y la utilización de productos veterinarios es escasa o nula, tampoco existen sistemas de cruzas controladas (Montero y Martínez, 2015).

La descripción del sistema tradicional de porcicultura de traspatio nos permite inferir que la finalidad de la producción porcina con este tipo de variedades criollas tiene como objetivo la autosuficiencia familiar. De este modo, de acuerdo a estudios sociales recientes se ha dado a conocer que la principal forma de aprovechamiento de los animales criollos es la venta en pie, lo cual consiste en la venta de los ejemplares adultos para abastecimiento de carne. El segundo objetivo, más de tipo cultural, consiste en otorgar un ejemplar en edad de sacrificio para contribuir en la alimentación destinada a compartir en comunidad en eventos religiosos o de otra índole. El tercer objetivo es la venta de pie de cría, es decir; tener una pareja de animales, cruzarlos y vender los lechones para engorda (Rodríguez *et al.*, 2011).

En el aspecto social, es importante destacar que las actividades relacionadas con la crianza de los animales son, en su mayoría, responsabilidad de las mujeres (65%-90%) o de los hijos (25%), quienes se encargan de darles agua y alimento, bañarlos cada tercer o cuarto día y asear el piso del corral (Perezgrovas *et al.*, 2007; Linares-Sosa *et al.*, 2017). Por esta razón, generalmente es la mujer o ama de casa quien decide si el cerdo se vende para engorda, para carne o si se destina al consumo familiar (Zaragoza *et al.*, 2012), sin necesidad de pedir permiso al jefe de la familia (como en otras situaciones), por lo cual el traspatio se convierte en un espacio de empoderamiento femenino (Rodríguez *et. al.*, 2011b).

5.2. La innovación en el desarrollo local con enfoque de sustentabilidad

La incorporación de grasa vegetal y harina de ojoche en el sistema productivo de cerdos en traspatio no constituye una práctica común en las comunidades rurales de nuestro país, ya que el único interés recae en la alimentación de los ejemplares, pues insertar mejoras en el sistema implicaría aplicar insumos, que en la mayoría de los casos, está fuera del alcance de la economía familiar. Aún en el contexto de la porcicultura tecnificada, los suplementos más recurrentes son de naturaleza mineral o vitamínico, tales como el fósforo, calcio y vitamina D; también se recurre a la utilización de modificadores metabólicos, con la finalidad de mejorar los parámetros productivos.

Se puede notar entonces que la innovación científica, de acuerdo con el paradigma económico dominante, se encuentra al servicio del crecimiento económico, sin importar las consecuencias que su aplicación pueda tener, en términos ambientales o sociales; en otras palabras, impera la innovación empresarial con miras hacia la máxima rentabilidad (Maldonado y Rodríguez, 2016).

Por otra parte, el enfoque de nueva ruralidad comunitaria, de acuerdo con Barkin y colaboradores (2009), o desde la agroecología, como lo establecen Altieri y Toledo (2011), permite el análisis de la inclusión de innovaciones tecnológicas en el ámbito rural, pero con un contenido epistemológico diferente, que emana desde la racionalidad campesina, de modo horizontal, anteponiendo lo colectivo sobre lo individual; el bienestar social, sobre el crecimiento económico y procesos de apropiación social de la naturaleza de manera integral, sobre el interés del capital, enfatizando la soberanía alimentaria a través de la autosuficiencia.

Desde esta perspectiva, para forjar la sustentabilidad o desarrollo rural, de acuerdo con la visión epistemológica de la nueva ruralidad comunitaria se requiere retomar los principios básicos de communalidad, autonomía, autosuficiencia, formación político-cultural, redes de apoyo, diversificación productiva y de mercado, pues constituyen el eje orientador de la innovación tecnológica desde la racionalidad campesina, como se establece también desde el Movimiento de la Vía Campesina. Así pues, resulta prioritario abordar la innovación desde un enfoque social, lo cual implica, por una parte, atender los problemas y necesidades de la sociedad y, además, impulsar ideas innovadoras y apropiación del conocimiento desde el territorio local, consolidando un modelo ecotecnológico (Maldonado y Rodríguez, 2016).

Bajo este concepto, el modelo ecotecnológico sugiere que cualquier innovación aplicada en lo local debe cumplir con ciertas condiciones: ser accesibles, especialmente para los sectores más pobres de la sociedad; estar enfocadas a las necesidades y contextos locales; ser amigables con el ambiente, promoviendo el uso de los recursos, el reciclado y el re-uso de los productos; promover el uso de los recursos locales y su control; generar empleo en las economías regionales; ser producidas preferentemente a pequeña escala y de manera descentralizada; diseñadas, adaptadas y difundidas mediante procesos participativos, con diálogo entre los saberes locales y científicos.

5.3. Desarrollo de nuevos conocimientos y tecnologías

En este trabajo se proponen dos vías para retomar conocimientos y procesos que habían sido más comunes en el pasado y están siendo marginados por nuevos modelos de producción y por el mercado. En este sentido, se sugiere el uso de *Brosimum alicastrum* como parte de la alimentación para los cerdos pelones como parte del conocimiento local de algunos estados del sureste mexicano y promover la cría de autoconsumo y, de ser posible, la venta de la carne de los cerdos pelones, en riesgo de desaparecer. Para ello, se retoman conocimientos tradicionales comunitarios y científicos para lograr construir un nuevo modelo de producción. En tal sentido, nuestro enfoque recae en la ciencia “posnormal”, la ciencia con la gente, lo cual implica la democratización del conocimiento, dando lugar a diferentes participantes y nuevos diálogos que incluyen diferentes perspectivas y formas de conocimiento, constituyendo lo que se ha denominado diálogo de saberes o transdisciplina (Funtcowicz y Ravetz, 2000).

Este diálogo de saberes va más allá de una mezcla de disciplinas naturales y sociales, pues implica el reconocimiento de la sabiduría de los pueblos originarios como una ciencia, capaz de interactuar con el conocimiento occidental en la solución de problemas (Delgado y Rist, 2016). Así pues, es necesario que “*lo objetivo, lo abstracto, lo universal, lo cuantitativo y lo conceptual, debe hacer un poco de espacio a lo subjetivo, lo local, lo cualitativo, y utilitario, como parte de su responsabilidad social*”, orientada hacia la atención de líneas prioritarias de desarrollo local, de acuerdo a las expectativas de la gente (Alemán, 2016).

Bajo esta premisa, la interculturalidad adquiere una dimensión protagónica, al funcionar como un puente entre perspectivas diferentes en el reto de establecer un

verdadero diálogo de saberes para generar *innovación local* y así erradicar la tendencia de solucionar problemas de arriba hacia abajo, sino hacerlo de manera inversa o bilateral, dependiendo de las necesidades comunitarias (Barrera *et. al*, 2016).

6. Objetivos

6.1. General

Evaluar el efecto de la suplementación de la dieta con ácidos grasos mixtos derivados del uso de aceite vegetal y harina de ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.) sobre el perfil de ácidos grasos a nivel subcutáneo en canales de cerdo pelón mexicano.

6.2. Específicos

1. Realizar el análisis bromatológico de la mezcla alimenticia proporcionada a un lote de cerdos criollos de la variedad pelón mexicano, integrada por harina de maíz, pasta de soya, aceite vegetal y harina de ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.).
2. Desglosar el perfil de ácidos grasos (saturados e insaturados) del alimento suministrado a un lote de cerdos criollos de la variedad pelón mexicano y evaluar el nivel de infiltración de éstos a nivel de grasa subcutánea.
3. Evaluar la influencia de la dieta suministrada al lote experimental de cerdo pelón mexicano sobre algunas variables de la canal y su tasa de crecimiento.
4. Documentar la percepción de la carne de cerdo pelón mexicano en platillos tipo gourmet.

7. Materiales y métodos

7.1. Elaboración de la harina de ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.)

Se colectaron 180 kg de frutos de ojoche, a los cuales se les retiró la pulpa para obtener sólo la semilla. La colecta fue realizada en la comunidad de Benito Juárez, perteneciente al municipio de Catemaco, Veracruz. Dicha colecta fue realizada por una familia de la comunidad, recorriendo los remanentes de selva alta perennifolia de la zona. De acuerdo con información reportada por la jefa de esta familia, se recogieron manualmente los frutos maduros desprendidos de modo natural por el árbol, colocándose en bolsas de polietileno para su traslado. Luego, los frutos recién colectados fueron colocados en recipientes con agua para favorecer el desprendimiento de la cáscara más externa y, posteriormente, se escurrieron con ayuda de una malla, para poder obtener sólo la semilla, moviendo los frutos fuertemente entre sí.

Las semillas en estado fresco fueron trasladadas a la ciudad de Banderilla, Veracruz, cerca de Xalapa, en donde se sometieron a un proceso de secado al sol a través de la exposición de un promedio de 5 horas/día, durante un periodo de 45 días. Posteriormente, se llevó a cabo el tostado de la semilla, utilizando un método tradicional que consistió en la utilización de un recipiente de barro, colocado en un fogón de leña. El tostado fue a fuego lento y a un nivel ligero, hasta que la semilla adquirió una tonalidad café claro, sin quemarla, para no afectar en la palatabilidad de los animales; es decir en la aceptación de consumo por parte de los cerdos. El proceso de molienda de la semilla previamente tostada se realizó con un molino

manual. La harina de ojoche se reservó para su posterior mezcla con el resto de ingredientes de la dieta que se suministró al lote de animales.

7.2. Condiciones de manejo del lote experimental de cerdo pelón mexicano

Se consiguió un lote de siete cerdos destetados (tres meses) de la variedad pelón mexicano, en el municipio de Tlalixcoyan, Veracruz. Estos ejemplares tenían un peso de 6 kg y fueron criados de manera extensiva, a la intemperie, atendiendo al llamado de su propietario para ser alimentados con granos de maíz, de modo complementario al consumo de hierbas y pasto. El lote experimental incluyó tres machos y cuatro hembras. Seis de estos organismos pertenecían a la misma cohorte, es decir, tenían la misma edad (tres meses), y sólo una hembra pertenecía a una cohorte mayor (cinco meses).

Los animales fueron trasladados al municipio de Otatitlán, Veracruz, en donde fueron estabulados y alimentados a libre demanda con una dieta que incluyó maíz y soya en forma de harina, además de ser suplementados con harina de ojoche (*Brosimum alicastrum*) y aceite vegetal mixto de tipo comercial. El alimento fue suministrado tres veces al día, a las 9:00, 13:00 y 17:00 hrs. El suministro del agua también fue a libre demanda, colocándoles agua limpia tanto en la mañana como en la tarde. Parte del manejo consistió en asear diariamente a los animales.

En cuanto al manejo alimenticio, se suministraron únicamente macronutrientes, se omitió el uso de vitaminas y/o minerales durante las primeras etapas de crianza, para tratar de replicar el sistema de crianza tradicional con insumos mínimos. Sin

embargo, por cuestiones sanitarias y tomando en cuenta que los animales fueron criados extensivamente durante sus primeros meses, se aplicó desparasitante inyectable en dos ocasiones. La primera ocasión ocurrió al cumplir el primer mes de manejo y la segunda dosis se aplicó después de siete meses. Los desparasitantes aplicados tuvieron como componentes activos la ivermectina y el levamizol, respectivamente.

Posterior a la administración de la segunda dosis de desparasitante, se aplicó un multivitamínico inyectable (Super AC) con la finalidad no afectar la ganancia de peso que hasta dicho momento tenían los animales. Cuando se presentaron enfermedades diarreicas no se aplicaron antibióticos, sino se suministró una mezcla de probióticos de la marca comercial Yacult en su presentación sin azúcar, a razón de 1 frasco por kilogramo de peso del animal, mezclado con lechuga picada, a modo de fortalecer la flora bacteriana de los cerdos y disminuir la frecuencia de dichos problemas. Esto representó un tratamiento alternativo contra las infecciones diarreicas y fue sugerencia del médico veterinario Jorge Genaro Vicente Martínez, profesor-investigador de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia campus Veracruz.

Para el suministro del alimento sólido y el agua no se utilizaron sistemas automatizados, sino comederos y bebederos de plástico, así como neumáticos, de acuerdo con los recursos que utilizan los criadores de cerdos en la comunidad de Otatitlán, Veracruz.

La dieta suministrada para los animales desde el inicio del tratamiento consistió en los elementos y porcentajes que se muestran en la Tabla 5, con excepción de las primeras dos semanas en donde se omitió la suplementación de ojoche para facilitar

el proceso de adaptación y digestibilidad de los elementos que no constituyeron parte de su dieta habitual en su lugar de origen, en donde sólo eran alimentados con maíz y hierba.

En este caso, el diseño de la dieta estuvo en función de los requerimientos mínimos de nutrientes del cerdo durante su fase de crecimiento en donde el factor limitante es el contenido de proteína, el cual se estima alrededor del 26% durante la primera fase postdestete y va disminuyendo conforme aumenta el peso de los animales. Sin embargo, la información con la que se cuenta respecto a los requerimientos de nutrientes aplica para variedades mejoradas, por lo cual se optó por aportar un porcentaje ligeramente más elevado y además, mantenerlo constante, a sugerencia del médico veterinario zootecnista Jorge Genaro Vicente Martínez, profesor-investigador de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, campus Veracruz, quien también propuso la adición del aceite vegetal mixto como complemento de la dieta. En este caso, la adición del aceite vegetal cumplió la función de mejorar la consistencia del alimento para facilitar su ingesta.

Tabla 5. Componentes y porcentajes de la dieta suministrada al lote de cerdo pelón mexicano.

Componente	Porcentaje (%)
Harina de maíz	63
Harina de soya	30
Harina de ojoche	4
Aceite vegetal mixto	3

7.3. Descripción del sitio experimental

Como se ha citado en el apartado anterior, la fase de crianza y /o suministro de la dieta enriquecida con harina de ojoche y aceite vegetal mixto se llevó a cabo en el municipio de Otatitlán, ubicado en la parte sur del estado de Veracruz, el cual colinda al norte con el municipio de Cosamaloapam de Carpio; al este con el mismo municipio, Tlacojalpan y el estado de Oaxaca; al sur con el estado de Oaxaca y al oeste con el municipio de Cosamalopan de Carpio y el estado de Oaxaca.

La elección del municipio de Santiago Otatitlán está relacionado con el hecho de que en este municipio existen porcicultores a pequeña escala que abastecen el mercado local de carne y sus derivados. Otra característica importante de este municipio es la preferencia de la población por platillos elaborados a base de cerdo, dentro de los cuales destaca el denominado cerdo a la cubaba, una presentación de cerdo asado en sus jugos, muy recurrente en los eventos sociales y fines de semana.

Otatitlán, Veracruz, presenta un clima cálido húmedo y subhúmedo con lluvias en verano, en donde el intervalo de temperatura promedio oscila entre los 24-26 grados centígrados, mientras que el promedio de precipitación se encuentra entre los 1900-2100 mm anuales (Sistema de información municipal, 2015). Conformado por vegetación secundaria y cultivos de caña de azúcar y plátano, principalmente, los cuales se ven favorecidos por las aguas del Río Papaloapan. Las aguas de este río son la principal fuente de irrigación de los cultivos.

Las actividades terciarias, tales como el comercio y los servicios, dominan las actividades económicas. De acuerdo con observaciones personales, la mayoría de

las familias dedican las primeras horas del día a las actividades del campo y a partir del mediodía complementan sus quehaceres con algún servicio o comercio, como tiendas de abarrotes, pequeños hoteles o trabajo remunerado en algunas fábricas de plátanos, las cuales son frecuentes en la comunidad. En tal contexto, se convenció a una familia acerca de las bondades productivas del cerdo criollo y por tal motivo, se nos facilitó un espacio para el manejo de cerdos cuyas dimensiones (10x20 m aproximadamente) y también nos apoyaron en la alimentación de los animales, previa capacitación.

7.4. Análisis bromatológico

Se determinó la composición química de una muestra de 500 g del alimento que se proporcionó a los animales durante los nueve meses de manejo. Esto se realizó en el Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa, con la finalidad de conocer la naturaleza química y la cantidad de los nutrientes aportados por la dieta. Dicho proceso se llevó a cabo mediante métodos fisicoquímicos. Los parámetros que se determinaron fueron: porcentajes de humedad, cenizas, proteínas, grasas, fibra cruda, carbohidratos y el contenido energético total en Kcal/100 g.

7.5. Perfil de ácidos grasos del alimento y de la grasa subcutánea

Los cerdos fueron sacrificados cuando alcanzaron alrededor de 40-50 kg y se tomaron muestras de grasa subcutánea, las cuales se tomaron a la altura de la última costilla de la canal de los cerdos. La muestra consistió de 50 g con dos

repeticiones por muestra. La transesterificación y determinación del perfil de ácidos grasos de la muestra de grasa subcutánea y del alimento se realizó en el laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR, dependiente del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Oaxaca. Se utilizaron las técnicas de cromatografía de capa fina y cromatografía de gases para la correcta identificación de los ácidos grasos en ambos tipos de muestras.

La transesterificación se llevó a cabo de acuerdo con Martínez y colaboradores (2003). Para ello, un volumen de 800 µL de CHCl₃-MeOH (2:1 v/v) fue agregado a 0.1 g de muestra de lípido. Después 1 mL de HCl al 8% fue agregado a una alícuota de 200 µL de la solución previa, la cual fue calentada arriba de 80°C por 20 minutos. Cuando la solución alcanzó la temperatura ambiente, se le agregaron 200 µL de agua destilada y 2 µL de hexano. Se separó la fase orgánica y se secó con 0.5 g de sulfato de magnesio anhidro, fue evaporada y resuspedita en 2 mL de hexano.

Los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME's) de lípidos totales fueron analizados en un equipo Perkin Elmer Clarus 580 (Perkin Elmer, Shelton, CT, USA), equipado con un detector de ionización de flama (FID), usando una columna de capilaridad de sílica (SP™-2380, 30 m i.d. × 0.25 mm f.d. con a 0.20 µm de espesor) de Supelco (Bellefonte, PA, USA).

La temperatura del horno de la columna fue programada de 150 a 230°C, 4°C/minuto. La temperatura del inyector fue de 230°C. La tasa de flujo del gas helio como acarreador fue de 1.2 mL/minuto y la proporción del inyector fue de 100:1. La temperatura del detector fue de 260°C.

Los FAME's separados fueron identificados comparando sus tiempos de retención (tR) con aquellos de la mezcla estándar de FAME (Supelco Inc., Bellefonte, PA,

USA). Los análisis cuantitativos de los ácidos grasos fueron mejorados usando el ácido heptadecanoico metil éster como un estándar interno.

7.6. Variables de la canal de cerdo pelón mexicano

Una vez sacrificados los animales se procedió a obtener algunas variables de la canal. Las variables a considerar fueron: peso vivo, peso de la canal, peso del hígado, espesor de la grasa dorsal y la longitud de la canal.

La forma en que se midieron las variables fue la siguiente:

Peso vivo: Es el peso del animal antes del sacrificio. Se midió con báscula romana con capacidad de 50 kg.

Peso de la canal: Representa el peso del animal después del sacrificio, limpio y eviscerado. Se midió con báscula romana con capacidad de 50 kg.

Peso del hígado: Se registró el peso de éste órgano, dada su importancia en el metabolismo de lípidos. Se pesó con una báscula eléctrica.

Espesor de la grasa dorsal: representa el grosor de la grasa en la parte dorsal del animal (a nivel de la espalda). Esta variable se midió a la altura de la primera costilla, última costilla y ultima vértebra lumbar. Dicha variable se midió de acuerdo a los criterios sugeridos por Méndez y colaboradores (2001). La medición se hizo con un vernier marca surtek.

Longitud de la canal: Dicha variable se midió desde la cabeza del animal hasta el inicio de la zona caudal del ejemplar.

La tasa de crecimiento se estimó registrando el peso promedio inicial de los ejemplares antes de ser iniciada la suplementación y después de nueve meses de manejo, justo antes del sacrificio.

7.7. Pruebas sensoriales

Con la finalidad de evaluar cualitativamente la aceptación de la carne de cerdo pelón mexicano suplementado con ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, se preparó una cena tipo gourmet con los principales cortes del cerdo. En la preparación de la cena participaron dos profesionales de la cocina veracruzana, chefs de distinguido renombre en el ámbito de la cocina regional, Raquel Torres Serdán y Erick Guerrero Arias.

En este sentido, es necesario mencionar que una de las principales causas de la extinción de las variedades criollas de cerdos es la poca valoración de su carne, al considerarla de baja calidad, por los propios productores rurales. Por esta razón, se decidió trabajar coordinadamente con personal dedicado a la gastronomía, con la finalidad de que fueran ellos quienes apreciaran las bondades de la carne y otorgaran la opción de presentar platillos tipos gourmet con un valor agregado. Con ello, además de brindar opciones de producción y engorda con suplementos, se abre un canal de comercialización, ya que en muchos proyectos asistencialistas, se carece de ello, por lo cual se fracasa en los intentos de llevar desarrollo a las comunidades.

La cena se sirvió en cuatro tiempos. La forma en que se presentó el platillo principal consistió en tres cortes sellados y cocinados al horno y acompañados de una

pequeña ración de las tradicionales carnitas (fritas). Los cortes horneados fueron una parte de filete, lomo, polomo y pork belly (panceta). Para la elaboración de las carnitas se utilizaron las piernas. En este caso, el objetivo fue presentar varios cortes del cerdo con formas diversas de cocción, como el horneado o confitado, para dar a conocer el marmoleo del músculo, es decir, la grasa infiltrada en el músculo y que por supuesto, otorga un sabor diferente al bocado. Al enfocarse únicamente en la presentación más popular en forma de carnitas, se negaría la oportunidad de visualizar esta cualidad en la carne de pelón mexicano. La presentación de diferentes formas de cocción permitió también distinguir los sabores que se infiltraron con la utilización de la dieta suplementada con ojoche y aceite vegetal mixto.

El menú completo durante el evento consistió de lo siguiente:

Ensalada de quelites (quintoniles, cilantro, verdolagas, tomatillo) y queso de cerdo

Tostada con frijoles refritos con manteca de cerdo y pesca curada

Sopa de camote amarillo

Cortes de cerdo (filete, lomo, polomo, panceta) y carnitas (pierna de cerdo).

Postre de guayaba con zacate limón y otras frutas.

Aguas frescas de tamarindo y capulín, zacate limón y café.

Para obtener información acerca de la percepción de los comensales respecto a la cena, se planteó una breve entrevista vía telefónica, misma que se realizó al siguiente día.

Las preguntas estuvieron relacionadas con la identificación de sabores derivados de la alimentación de los cerdos, así como con la sensación grasa del paladar después del consumo de la carne y de la cena, en general.

Así, las dos preguntas que se realizaron fueron las siguientes:

Durante su experiencia como comensal de esta cena ¿Logró identificar un sabor diferente en la carne de cerdo en comparación con aquella que se consume cotidianamente?

¿Se quedó con alguna sensación grasa o indeseable en el paladar después de la cena?

7.8. Análisis estadístico

En el caso de las variables de la canal y los perfiles de ácidos grasos tanto de la muestra de alimento como de la grasa subcutánea se reportaron los valores promedio con la desviación estándar. Para ello se utilizó el programa estadístico de libre acceso Infostat versión 2016.

8. Resultados y discusión

8.1. Análisis bromatológico

Tal como se ha mencionado, la dieta suministrada a los cerdos durante todo el tiempo de manejo consistió de harina de maíz (63%), de soya (30%), de ojoche (4%) y aceite vegetal mixto (3%). En el diseño de dietas, los componentes de mayor importancia han sido el aporte energético y el contenido de proteínas. De hecho,

una de las principales razones de la inclusión de grasas en la dieta es precisamente para incrementar su contenido de energía; aunque en este caso, la dieta fue suplementada con aceite vegetal comestible mixto y harina de ojoche, lo cual en su conjunto contribuyó con el 7% de grasas en el alimento suministrado.

Mientras tanto, el contenido de proteína osciló alrededor del 9.3%, 61.4 % de carbohidratos y un 3.5% de cenizas, las cuales incluyen trazas de minerales. Así, el aporte energético general del alimento suministrado a los cerdos durante los nueve meses de manejo fue de 3464 kcal/kg, tal como se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Composición química del alimento proporcionado al lote de cerdo pelón mexicano.

Composición química	Cantidad (%)
Humedad	10.5
Cenizas	3.5
Proteínas	9.3
Grasas (extracto etéreo)	7.0
Fibra cruda	8.3
Carbohidratos	61.4
Contenido energético Kcal/ kg	3464

Nuestros resultados bromatológicos sugieren que la dieta suplementada con 3% de aceite vegetal mixto y harina de ojoche, en conjunto con el aceite contenido en la pasta de soya, presentó un nivel bajo de proteína; sin embargo, el aporte de grasas fue aceptable en comparación con otros estudios.

Al respecto, Tartrakoon y colaboradores (2016), utilizaron el 3% de aceite como suplemento en dietas para cerdos en fase final de engorda, para lo cual emplearon aceite de coco y de canola, en dos proporciones (2.5:1 y 5:1). Sus dietas contenían

arroz, pasta de soya y una mezcla de vitaminas y minerales. Los resultados de Tartrakoon y colaboradores (2016), muestran un moderado contenido de proteína, con alrededor del 13% de dichos nutrientes y casi un 4% de grasa. Dichos valores fueron muy similares en las tres dietas evaluadas, las cuales aportaron 3650 kcal/kg. Mientras tanto, Soni-Guillermo y colaboradores (2016), evaluaron la inclusión de semillas de linaza, una fuente excelente de ácido linolénico, en seis concentraciones (0, 2, 4, 6, 8 y 10%), cuyas dietas incluyeron también aceite de soya, en conjunto con sorgo, harina de soya y un complejo vitamínico. Estos autores, reportaron que sus dietas contenían 13.5 % de proteína cruda y entre 4.42 y 6.47 % de grasas dependiendo del porcentaje de inclusión de semillas de linaza; el contenido energético total fue de 3,300 kcal/kg.

Por otra parte, enfocándose en el sistema productivo de cerdo ibérico en España, Pérez-Palacios y colaboradores (2008), desglosaron la composición química de bellotas y hierba, incluyendo una dieta formulada de “alto oleico”. En este caso, el contenido proteico en orden descendente es de 18.11%, 13.78% y 3.81% para la dieta formulada, hierba y bellota, respectivamente. Respecto al contenido de grasa, sobresale la bellota con un 6.7%, seguido de la dieta formulada con un 4.57% y la hierba con apenas el 2.61%.

Del mismo modo, en la parte noroeste de España, se está impulsando el manejo y la conservación del cerdo criollo tipo celta, el cual también es alimentado de forma extensiva a partir de castañas. Por ello, Domínguez y colaboradores (2015), plantearon un estudio comparativo entre tres dietas; la primera de ellas basada en el consumo diario de 5 kg de castañas; la segunda, que era una mezcla de 1.5 kg

de alimento comercial y 2.5 kg de castañas, y la tercera; con 3 kg de alimento comercial por día.

Debido a la diferencia en los componentes de la dieta, el contenido energético fue variable, siendo mayor en la dieta basada exclusivamente en el alimento comercial (4566 kcal/kg), seguido de la dieta mixta (3431 kcal/kg), mientras que la dieta que incluía sólo castañas presentó el nivel calórico inferior con 2755 kcal/kg. En cuanto a las cantidades de proteína, éste resultó más elevado en el alimento comercial (15.3%), seguido del 8.4% de la dieta mixta y el 4.2% en la dieta basada en castañas. Esta misma tendencia se observó en el contenido de grasa, con el 3.9%, 3.5% y 3.3%, respectivamente.

En la búsqueda de alternativas alimenticias, Hernández-López y colaboradores (2016) evaluaron la pertinencia del uso de pasta de aguacate como fuente de ácidos grasos. La dieta control contenía harina de sorgo, harina de soya y complejo vitamínico; mientras que al tratamiento evaluado, se le suministró el 30% de pasta de aguacate. En cuanto al contenido de proteína, la dieta que incluyó aguacate aportó el 12.24%, mientras que la dieta control presentó el 13.4%. Asimismo, la cantidad de grasa de la dieta que incluyó aguacate fue superior (3.22%), comparada con la dieta control, la cual sólo contenía el 0.31%. El contenido energético de las dietas evaluadas fue elevado; la dieta control aportó 4,264 Kcal/kg y el tratamiento con aguacate 6,114 kcal/kg.

Es importante resaltar que el uso de aceites u oleaginosas en las dietas para cerdos permite un aporte energético adecuado al compararlo con fuentes basadas en carbohidratos. Al respecto, Alvarado y colaboradores (2018), evaluaron la inclusión de 0-25% de caña de azúcar. Además de los tallos de caña, en los diferentes

porcentajes, los tratamientos incluyeron maíz molido, harina de arroz, soya en grano, harina de pescado y vitaminas. En las cuatro dietas evaluadas el contenido de proteína fue de alrededor del 15% y el contenido de grasa no fue reportado. Sin embargo, en dichos tratamientos el contenido energético fue de alrededor de 3,300 kcal/kg.

En otro estudio en el que se evalúan dietas alternativas, Mejía (2017) planteó la combinación de dietas basadas en la utilización de caña de azúcar y un porcentaje variable de follaje de moringa (0, 15 y 25%). En este caso, las dietas incluyeron sorgo, semolina, melaza de caña, harina de soya, cascarilla de soya, cascarilla de cacahuate y un suplemento de metionina y óxido de zinc. El contenido de proteína de las tres dietas evaluadas fue de alrededor del 16% y el aporte de energía fue de 3230 kcal/kg para la dieta control sin adición de follaje de moringa, 3,100 y 3,050 kcal/kg para el 15% y 25% de adición.

Así pues, con base en los resultados reportados, se afirma que la tendencia de la dieta utilizada en el presente estudio fue presentar un nivel bajo de proteína (9%) y un nivel moderado de grasa (7%), lo cual permitió aportar un valor calórico adecuado a los cerdos durante su etapa de crecimiento (3,464 kcal/kg). Dicho aporte energético, coincide con la mayoría de los estudios que utilizan una fuente energética en forma de aceite, semillas o frutos oleaginosos, y resulta superior al valor que se reporta cuando se utiliza únicamente fuentes de carbohidratos en la dieta base para los cerdos en crecimiento. En este sentido, conviene mencionar que cuando las dietas alternativas se enfocan en el suministro de carbohidratos, resulta más importante determinar la cantidad de fibra en lugar del aporte de grasas.

8.2. Perfil de ácidos grasos del alimento y de la grasa subcutánea

A partir de las técnicas de cromatografía fina y cromatografía de gases fue posible la identificación y cuantificación de los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados constituyentes de la muestra de alimento. De acuerdo con el análisis bromatológico, el contenido de grasas del alimento correspondió al 7%, la cual fue aportada tanto por el aceite vegetal como por el ojoche suplementados en la dieta. En este caso, el desglose de los ácidos grasos aportados por la dieta suministrada a los animales fue importante para determinar el tipo de ácido graso contenido en el aceite vegetal mixto y la harina de ojoche. De modo general, se consideró que el ojoche aportaría ácido linoleico y linolénico; pero se desconocía la naturaleza de los ácidos grasos contenidos en el aceite vegetal, ya que de acuerdo a la información del envase de este producto, podría contener dos o más aceites, entre ellos el de canola, soya, girasol o cártamo. Dicha composición de aceites en una ración equivalente a 14 g, contenía 2 g de ácidos grasos saturados, 6 g de aceites monoinsaturados y 6 g de aceites poliinsaturados. El desglose del perfil lipídico contenido en el alimento, se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Perfil de ácidos grasos expresado en g, FAME/100 g de muestra y porcentaje relativo de ésteres metílicos identificados en el alimento suministrado al lote de cerdo pelón mexicano.

Clasificación	Nombre común	Fórmula	g FAME/100 g alimento	% relativo
Saturado	Caprílico	C8:0	NI	0
	Cáprico	C10:0	NI	0
	Láurico	C12:0	NI	0
	Mirístico	C14:0	NI	0
	Pentadecanoico	C15:0	NI	0
	Palmítico	C16:0	0.45	13.85
	Margárico	C17:0	NI	0
	Esteárico	C18:0	0.07	2.15
	Eicosanoico	C20:0	NI	0
	Behémico	C22:0	NI	0
Monoinsaturado	Palmitoleico	C16:1	0.06	1.85
	Elaídico	C18:1 trans 9	NI	0
	Oleico	C18:1 cis 9	0.78	24.00
	Gadoleico	C20:1	NI	0
Poliinsaturado	Linoleico	C18:2 n-6	1.78	54.77
	Linolénico	C18:3 n-3	0.11	3.38
AGS			0.52	16.00
AGMI			0.84	25.85
AGPI			1.89	58.15

En este caso, en el desglose del perfil de ácidos grasos del alimento, se refleja el dominio de ácidos grasos poliinsaturados con un porcentaje relativo de 58.15, de los cuales el 54.77 % fue aportado por el ácido linoleico y en menor proporción por el ácido linolénico, que contribuye con un 3.38%. De la misma manera, los ácidos grasos monoinsaturados presentes en el alimento son el oleico y el palmitoleico, los cuales aportan el 24% y el 1.85%, respectivamente. El aporte de ácidos grasos saturados fue un 16%, entre los cuales destacan el ácido palmítico, con un 13.85%

y el ácido estearico, apenas con un 2.15%. Dichos resultados nos permiten afirmar que la dieta suministrada, en términos de ácidos grasos, fue de naturaleza poliinsaturada, con el ácido linoleico como ácido graso más abundante.

En lo que respecta a la composición de ácidos grasos en la grasa subcutánea, tal como se presenta en la Tabla 8, se observó que el 64.96% correspondió a los ácidos grasos monoinsaturados, entre los cuales destacó la presencia del ácido palmitoleico y el oleico, los cuales aportaron el 44.01 y 20.95% respectivamente.

A su vez, los ácidos grasos saturados se manifestaron en un 24.4%, entre los cuales destaca el aporte del 13.78 % del ácido palmítico, el 3.63 % del ácido láurico y apenas el 0.13 % del ácido cáprico. Respecto a los ácidos grasos poliinsaturados, únicamente se manifestó la presencia del ácido linoleico en un 10.64%. En este caso, aunque el ácido linolénico se presentó en un bajo porcentaje en la muestra de alimento consumida por los animales, dicho ácido graso no fue infiltrado en la grasa subcutánea.

Tabla 8. Perfil de ácidos grasos expresado como g FAME/100 g de muestra y porcentaje relativo de ésteres metílicos identificados en grasa subcutánea de cerdo pelón mexicano.

Clasificación	Nombre común	Fórmula	g FAME/100 g alimento	% relativo
Saturado	Caprílico	C8:0	NI	0
	Cáprico	C10:0	0.02	0.13
	Láurico	C12:0	0.46	3.63
	Mirístico	C14:0	NI	0
	Pentadecanoico	C15:0	NI	0
	Palmítico	C16:0	1.75	13.78
	Margárico	C17:0	NI	0
	Esteárico	C18:0	0.87	6.87
	Eicosanoico	C20:0	NI	0
	Behémico	C22:0	NI	0
Monoinsaturado	Palmitoleico	C16:1	5.51	44.01
	Elaídico	C18:1 trans 9	NI	0
	Oleico	C18:1 cis 9	2.66	20.95
	Gadoleico	C20:1	NI	0
Poliinsaturado	Linoleico	C18:2 n-6	1.34	10.64
	Linolénico	C18:3 n-3	NI	0
AGS			3.09	24.40
AGMI			8.17	64.96
AGPI			1.24	10.64

En términos generales, fue posible la identificación de tres tendencias relacionadas con la infiltración de los ácidos grasos consumidos por los animales, a nivel de grasa subcutánea. Uno de los primeros hallazgos de la presente investigación está relacionada con la infiltración a nivel de ácidos grasos poliinsaturados, ya que se observó una escasa infiltración del ácido graso linoleico, pues en la dieta se

presentó en un elevado porcentaje correspondiente a más del 50%, de lo cual sólo se observó la infiltración de una quinta parte a nivel de grasa subcutánea (10.64%).

Al respecto conviene mencionar que en general los ácidos grasos de tipo poliinsaturado, al presentar dos o más dobles enlaces en su configuración molecular, son más susceptibles a la oxidación (Braun y Pattacinni, 2013) en comparación con los ácidos grasos saturados. Por ello, se sugiere que el ácido linoleico estuvo sometido a dicho proceso y debido a esto no logró infiltrarse en el tejido adiposo de los animales.

Como una alternativa para atenuar esta situación, se recomienda que cuando se utilice este tipo de ácidos grasos se adicionen simultáneamente algunos antioxidantes o microelementos para mantener la estabilidad molecular de este tipo de ácidos grasos. Algunos de estos aditivos con función antioxidante más utilizados en las dietas de cerdos han sido la vitamina E, selenio, tocoferol y cobre (Wojtasik-Kalinowska *et.al.*, 2016; Cava *et.al.*, 2000). También se ha ensayado con la inclusión de hojas de árbol de olivo, por su elevado contenido en oleuropeosidos, flavonoides y compuestos fenólicos (Botsoglou *et.al.*, 2013); así como la suplementación con taninos hidrosolubles sintéticos (Rezar *et.al.*, 2017).

De este modo, cabe mencionar que la dieta proporcionada a los cerdos incluía menos de 0.02 % de TBHQ o Terbutilhidroquinona como antioxidante; sin embargo, con base en el escaso nivel de infiltración del ácido linoleico observado en el presente estudio, es posible recomendar la adición de algún antioxidante independientemente de aquel que se encuentra en el aceite comercial.

En ese mismo orden de ideas, conviene también resaltar el reemplazo del ácido linoleico, como el ácido graso poliinsaturado dominante en la dieta que se suministró a los animales (54.%), para dar paso a dos ácidos grasos monoinsaturados que se manifestaron de modo más abundante en la grasa subcutánea, tales como el ácido palmítoleico (44%) y el oleico (20%). En tal sentido, además del proceso oxidativo del linoleico, es necesario explicar la abundancia de los ácidos monoinsaturados. Una de las primeras sugerencias es que el metabolismo de los cerdos permite la formación del ácido palmítoleico y oleico, a partir de los ácidos grasos saturados palmítico y estearíco, respectivamente. Sin embargo, dicho proceso de insaturación de los ácidos grasos, no parece ser la respuesta, ya que los porcentajes de los ácidos grasos saturados presentes en la dieta y los reflejados en la grasa subcutánea son muy parecidos. Así, las cantidades del ácido palmítico y oleico en la dieta fue de 13.85% y 2.15%, respectivamente; mientras tanto, dichas cantidades en la grasa subcutánea fue de 13.78% y 6.87% para los ácidos monoinsaturados en cuestión.

Entonces, la explicación más viable se encuentra también a nivel del metabolismo animal, pero está más relacionado con la baja cantidad de proteína que se aportó en la dieta, pues hay evidencia de que cuando esto sucede, se promueve la lipogénesis o *síntesis de novo* de ácidos grasos monoinsaturados, tal como en este caso. Dicha restricción en proteína, estimula la expresión de la enzima estearoil CoA desaturasa, la cual está involucrada en este proceso de síntesis de ácidos grasos (Wood, 2008).

El tercer aspecto a considerar fue el hecho de no observar la infiltración del ácido linolénico en la grasa subcutánea, a pesar de estar presente en la dieta consumida por los animales, aunque en un mínimo porcentaje (3.38%). Al respecto existen dos posibles respuestas. La primera de ellas considera que el ácido linolénico fue oxidado como parte del metabolismo animal, al encontrarse de modo relativamente escaso en la dieta su infiltración en los tejidos del animal se hizo menos eficiente.

Otra posible respuesta a la nula infiltración del ácido linolénico se encuentra también en el metabolismo de los ácidos grasos poliinsaturados, debido a que existe una competencia enzimática entre el ácido linoleico y linolénico. Se trata de las enzimas $\Delta 5$ y $\Delta 6$ desaturasa, las cuales actúan sobre la síntesis de los derivados de cadena larga, de los cuales los ácidos poliinsaturados son precursores (Skiba, et.al., 2014). Particularmente, la enzima $\Delta 6$ desaturasa es el factor limitante de dicho proceso metabólico, ya que ésta actúa con mayor velocidad sobre los ácidos grasos poliinsaturados con mayor número de dobles enlaces. Ello permite afirmar que la enzima $\Delta 6$ desaturasa, tiene preferencia por la molécula del ácido linolénico, que contiene tres dobles enlaces, en lugar del ácido linoleico, que contiene dos (Skiba, et.al., 2014). En este sentido, nuestro estudio quedó limitado, pues no fue posible la determinación de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, tales como los ácidos grasos 20:5 n3 (ácido eicosapentaenoico, EPA), 22:5 n3 y 22:6 n3 (ácido docosahexaenoico), lo cual permitiría dar seguimiento y evidenciar la ruta metabólica del ácido linolénico incorporado en la dieta.

8.3. Influencia de la dieta sobre la tasa de crecimiento y variables de la canal

De modo general, el cerdo pelón mexicano se caracteriza por presentar una tasa de crecimiento lenta y un bajo potencial carnícola, ya que presenta una tendencia a acumular grasa, lo cual es contradictorio con los actuales estándares de calidad de la carne. Dicha capacidad de depositar mayor cantidad de grasa es un aspecto genético, puesto que estudios de este tipo han revelado la expresión de genes relacionados con la obesidad como la leptina, el receptor de leptina y la adiponectina (Camacho-Rea *et. al.*, 2008). Por consiguiente, es necesario considerar que el aspecto graso del cerdo pelón mexicano, no se debe al consumo excesivo de alimento, por lo que el suministro constante de alimento no representa una opción para incrementar la tasa de crecimiento, puesto que las observaciones directas indican que el instinto de saciedad del cerdo pelón mexicano es mucho más marcado que en las variedades comerciales. Ahora bien, en la presente investigación, los cerdos fueron sacrificados después de 9 meses de manejo (287 días) y alcanzaron un peso promedio de 40.33 kg, lo cual representa una ganancia de peso diario de 140 gramos.

A pesar de que la tasa de crecimiento, evaluada con la ganancia diaria de peso, resultó relativamente baja en el presente estudio (140 gramos/día), conviene citar que es superior a la que menciona Sierra (2006), en el caso del cerdo pelón mexicano que se distribuye en la Península de Yucatán, los cuales presentaron una tasa de crecimiento de apenas entre 66 y 83 gramos/día, cuya alimentación estuvo basada en frutas, hortalizas, restos de cocina y complementados con alimento

comercial, el cual presentó 13% de proteína. Aunado a la tasa de crecimiento, una forma de valorar la pertinencia de cierta dieta es mediante la evaluación de ciertas variables de la canal. En este caso, los resultados obtenidos en el presente estudio, se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Variables de canal en cerdo pelón mexicano.

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Peso vivo (kg)	6	40.33	5.47	30	46
Peso de la canal (kg)	6	31.43	4.43	24	37
Peso del hígado (kg)	6	1.03	0.26	0.6	1.3
Espesor grasa dorsal (cm)	6	2.55	0.29	2.3	3.1
Longitud de la canal (cm)	6	76.33	4.03	70	80

Existen varios estudios relacionados con la morfometría, zootecnia y calidad de la canal del cerdo pelón mexicano, pero los resultados no son comparables con el nuestro, debido a que la edad, el peso del sacrificio, el esquema de alimentación y condiciones de manejo son diferentes. Por ejemplo, el estudio de Méndez y colaboradores (2002) consistió en la evaluación de variables zoométricas como el perímetro torácico, perímetro abdominal, perímetro de la caña posterior, perímetro de la caña anterior, longitud del animal hasta la nuca y longitud del animal hasta la espalda; también se consideraron algunas variables de la canal como longitud de la canal, longitud del costillar y espesor de grasa dorsal; además se evaluó la composición de músculo, grasa y hueso en cortes primarios como el jamón, lomo, espaldilla, cuello, tocino y costillar. En tal caso, los animales provenientes de Misantla, Veracruz, fueron sacrificados a un peso de 115 ± 34.2 kg y la dieta estaba basada en alimento balanceado.

Por su parte Sierra (2006), presentó la caracterización morfológica y zootécnica de cerdos pelones mexicanos en Yucatán; entre las variables morfométricas que se reportaron están el peso vivo, longitud de la cabeza, longitud del hocico, perímetro torácico, perímetro de caña, longitud del jamón, longitud de la grupa, diámetro longitudinal, ancho de la grupa, alzada en la grupa, alzada en la entrada de la cola, alzada en la cruz, distancia entre órbitas y distancia interesquiática.

Otro de los trabajos más completos respecto a la caracterización de poblaciones de cerdo pelón mexicano, es el que desarrollaron Becerril y colaboradores (2009) con el objetivo de evaluar los efectos de sistemas de crianza sobre las características de la canal y la calidad de la carne en cerdo pelón mexicano, en contraste con una raza comercial. De este modo, el experimento consistió en la crianza de lotes de cerdos tanto a libre pastoreo como en confinamiento. Se formaron cuatro grupos; es decir, un grupo de cada variedad de cerdos por cada sistema de crianza. Respecto a la canal se evaluó el peso y el porcentaje de productividad, que corresponde a la parte magra; también se midieron variables en cortes primarios como el peso, longitud y productividad; grosor de grasa subcutánea; profundidad del tórax y del lomo, longitud del jamón, peso de la pierna y peso de la grasa y de la piel. Se registró el peso de la cabeza y de algunos órganos internos como el hígado, pulmones y corazón.

Asimismo, en el trabajo de Merlos y colaboradores (2015) se reportan mediciones morfológicas y el peso de órganos torácicos y abdominales de cerdos pelones mexicanos cuyo peso al sacrificio fue de 100 kg. Las variables medidas fueron las siguientes: longitud de la cabeza, de la cara, del tronco y de la grupa; anchura de la

cabeza y de la grupa; alzada en la cruz y en la grupa; diámetro del dorso y bicostal; perímetro torácico, metacarpo, metatarso y jamón.

También con la intención de caracterizar poblaciones de cerdo pelón mexicano, cuino y cruzas indefinidas provenientes de diferentes estados de la Republica, Martínez y colaboradores (2016) reportaron algunas variables morfológicas como el peso corporal, longitud de la cabeza, longitud del cuerpo, circunferencia del pecho, altura a la cruz, ancho de pelvis, número de pezones, pelo denso o escaso, presencia o ausencia de colmillos, hocico corto o largo, orejas erguidas o no erguidas, temperamento tranquilo o inquieto, índice de proporcionalidad, índice corporal e índice de peso relativo. En este caso, no se evaluaron variables de canal, sino más bien, se realizó una medición de ejemplares entre productores de traspatio, por lo cual, el tipo de manejo alimenticio en los animales también fue variable.

No obstante, el único estudio comparable con este estudio es el de Santos y colaboradores (2011), en el cual se evaluó el rendimiento de la canal, de los cortes primarios y de los órganos torácicos y abdominales en 39 cerdos pelones mexicanos en Yucatán, México. El planteamiento del estudio consistió en evaluar el peso ideal de sacrificio, en el cual se obtuviera mejor rendimiento en canal, por lo que los ejemplares fueron sacrificados a los 25, 30, 35, 40 y 45. Las variables que se evaluaron fueron las siguientes: peso vivo, espesor de la grasa dorsal, peso de la canal, longitud de la canal, rendimiento de la canal, así como el peso y rendimiento de los cortes primarios, tales como pierna, espaldilla, lomo y costillar.

Con base en lo anterior, es conveniente comparar las variables evaluadas en la presente investigación con aquellos resultados que reportan Santos y

colaboradores (2011) para los ejemplares que fueron sacrificados a los 40 kilogramos, que corresponde a la media aritmética que se observó en este estudio. Los ejemplares de ambos estudios presentaron un peso similar, pues en el presente estudio se registró un peso de 31.43 ± 4.43 , mientras que Santos y colaboradores (2011), reportaron un valor de 32.3 ± 1.63 . Se observa una tendencia similar en el grosor de la grasa dorsal o subcutánea, pues el resultado que se presentó en nuestra investigación es de 2.55 ± 0.29 cm y el valor que presentan los autores citados es de 2.34 cm. No obstante, en cuanto a la longitud de la canal, los ejemplares de nuestra investigación presentaron canales más largas, pues se registró un valor promedio de 76.33 ± 4.03 cm, en contraste con los 60.5 ± 1.98 cm del estudio con el que se está comparando. Respecto al peso del hígado, se presentan también valores coincidentes entre ambos estudios, ya que en el presente estudio se obtuvo un valor de 1.03 ± 0.26 kg y Santos y colaboradores (2011) reportaron un valor de 0.91 ± 0.03 kg.

En términos generales, los datos para las cinco variables evaluadas en la presente investigación en contraste con los resultados reportados en el estudio con el cual se compara, son muy similares, ya que la variación se puede atribuir a la diferencia en el tamaño de muestra. Así pues, con base en la tendencia observada se corrobora, que los cerdos pelones mexicanos son animales que depositan más grasa en canal, comparado con variedades comerciales; lo cual se debe a que estos animales no han sido genéticamente mejorados para incrementar su rendimiento muscular. En consecuencia, sus órganos internos como el corazón, el hígado e intestinos son más pequeños, porque su intervención en el metabolismo de aminoácidos es más limitada (Santos et.al., 2011).

8.4. Percepción de los atributos de la carne

Una evaluación sensorial acerca de los atributos de la carne y derivados, puede dirigirse hacia la selección de las cruzas o líneas de ganado, en este caso porcino, que brinden mejores cualidades en la canal y que además resulte atractivo hacia el consumidor (Straadt *et. al.*, 2013; Muriel *et.al.*, 2004), en cuyo comportamiento influyen factores sensoriales (apariencia visual, textura en el paladar, sabor, olor); psicológicos (creencias, riesgos, expectativas, efecto sociocultural, estilo de vida y valores); y de marketing (precio, etiquetado, marca y disponibilidad) (Font-i-Furnols y Guerrero, 2014).

No obstante, la evaluación sensorial también resulta conveniente cuando se pretende convertir la carne en alimento funcional, como en este caso, al incorporar ácidos grasos poliinsaturados, que mediante su consumo, aporten beneficios a la salud, pero evitando los posibles sabores anómalos, derivados de la oxidación de dichos compuestos, cuyo efecto se refleja en la rancidez de la carne (Wood *et.al.*, 2008).

Ante este desafío, es de suma importancia conservar las cualidades fisicoquímicas y sensoriales de la carne funcional; es decir, evaluar sus atributos como olor, color, apariencia, textura, pH, la actividad del agua, la dureza de los músculos y las pérdidas de peso muscular después de la cocción (Straadt *et.al.*, 2013; Aguilar-Guggembuhl *et.al.*, 2014), ya que dichas características determinan en gran medida la preferencia y aceptación del consumidor (Aaslyng *et.al.*, 2007). En los productos curados, como el jamón o el chorizo resulta interesante realizar evaluaciones sensoriales al inicio del proceso de curado, así como a determinado tiempo, con el

fin de verificar que no aparezcan atributos indeseables en el producto final (Bryhni, et.al., 2002).

Ahora bien, la evaluación sensorial realizada en la presente investigación estuvo enfocada únicamente en la determinación cualitativa de los atributos como la textura al paladar y el sabor. Los resultados mostraron que la dieta suministrada a los cerdos aportó un ligero sabor dulce a la carne y éste a la vez, fue percibido por los comensales. También se obtuvieron comentarios positivos en relación con la sensación grasa de la carne; ya que a sabiendas de que la carne de estas variedades criollas es más grasosa, la grasa que se presentó en los cortes tuvo una consistencia muy sutil, casi líquida, lo cual fue consecuencia de la alimentación rica en ácidos grasos poliinsaturados y dominio de monoinsaturados en la carne.

Cabe señalar que no existió un comparativo con platillos guisados a base de carne de cerdo convencional, ya que el ejercicio no fue planteado como una cata, sino como una evaluación acerca de la aceptación de la carne en un público selecto.

A continuación se relatan los testimonios textuales de los comensales.

Comensal 1:

La carne es muy jugosa, con un sabor más suave, no deja retrogusto, grasa pero sin sensación pegajosa en el paladar. Sin daños posteriores...

Comensal 2:

El sabor de la carne fue distinto. La carne, a pesar de ser de un solo animal, tenía sabores distintos en cada corte. La sentí muy suave, muy parecida en suavidad a la barbacoa de borrego. En resumen, la carne sabía distinto y dejaba un sabor rico en

la boca. No me dejó ningún tipo de grasa en el paladar. La sensación fue muy buena, tanto en colores como sabores.

Comensal 3:

En relación con la primera pregunta relacionada con la identificación de un sabor diferente en la carne de cerdo pelón mexicano, en comparación con aquella que proviene de razas genéticamente mejoradas, nuestra respuesta es no.

Acerca de la segunda pregunta sobre la sensación grasa en el paladar, la carne se veía y sabía limpia, no como comúnmente se siente y ve la carne de cerdo.

Comensal 4:

Dando respuesta a la primera pregunta, el sabor de la carne, sin duda, era diferente a la del consumo común. Se podían percibir sabores como el cacahuate y la avellana.

Sobre la segunda pregunta, no se encontró ninguna mala sensación, la ensalada marinada muy bien con la carne y permitía apreciar los sabores naturales de la misma.

Comensal 5:

La primera pregunta sobre la identificación de sabores diferentes, sí, me supo dulce, sí noté de repente esas notas como a almendras, pero en general me quedo con el dulzor de la carne.

No, no recuerdo la sensación grasa, ni las carnitas, vaya.

Con base en el análisis de los testimonios, es posible determinar indirectamente que los comensales no identificaron sabores rancios en la carne en ninguno de los cortes y plátanos cocinados, lo cual se sugiere es producto de la estabilidad oxidativa

de los ácidos grasos monoinsaturados, que se presentaron con mayor abundancia en la carne. Nuestros resultados coinciden con los de Guillevic y colaboradores (2009), quienes sostienen que la incorporación de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente el linolénico, hasta en un 24.4% de la dieta proporcionada a los cerdos, no afecta los atributos sensoriales en la carne y productos derivados como los chorizos, patés y lomos ahumados franceses. En este caso, se incorporó aceite de semillas de lino, como fuente de ácido linolénico.

Por otro lado, en cuanto a la incorporación de fuentes de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga como el ácido eicosapentanoico (EPA), docosahexanoico (DHA) y Ácido Linoleico Conjugado (CLA). Aguilar-Guggembuhl y colaboradores (2014) han evaluado la conveniencia de la utilización de dichos ácidos para enriquecer los atributos nutricionales de la carne sin afectar su aceptación en los consumidores. Estos autores reportaron que dicha estrategia no afecta los atributos de la carne relacionados con el aroma, el sabor y la textura. Resulta sobresaliente mencionar, que el sabor rancio recibió calificaciones bajas por parte de los panelistas que participaron en dicho estudio.

9. Conclusiones

La dieta suministrada al lote experimental basada en pasta de soya, maíz molido y suplementada con el 3% de aceite vegetal mixto y harina de ojoche en un 4%, presentó un adecuado contenido de grasa, el cual se vio reflejado en el valor energético total de la dieta. Sin embargo, el contenido de proteína resultó relativamente bajo.

Las variables de la canal del lote experimental arrojaron valores muy similares en comparación con otros estudios, pero la tasa de crecimiento fue ligeramente superior en el presente estudio.

A pesar de la predominancia de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta de los cerdos, debido a procesos metabólicos de síntesis de novo y oxidación a nivel organismo, se presentó dominancia de ácidos grasos monoinsaturados en la grasa subcutánea. Ello significa que la inclusión de ácidos poliinsaturados en la dieta no representa una garantía de que dichos ácidos se presenten en la carne y derivados; sin embargo, la síntesis de monoinsaturados representa una ventaja, ya que en comparación con los poliinsaturados que se pretendía infiltrar, éstos son menos susceptibles a la oxidación y por lo tanto muy saludables.

En términos generales, la percepción de los atributos de la carne en cuanto al sabor y la textura al paladar fue positiva, pues se identificaron sabores sutilmente dulces en los cortes y platillos presentados y, al mismo tiempo, se descartó la sensación grasa en el paladar. Por ello, se concluye que la dieta basada en harina de soya y de maíz, suplementada con el 3% de aceite vegetal mixto y el 4% de harina de

ojuche, no produce atributos de sabor y textura indeseables en la carne de cerdo pelón mexicano.

Dicho en otros términos, la innovación que se propone en esta investigación resulta económica, ecológica y técnicamente viable para ser replicada en las comunidades rurales y así paliar con los altos índices de desigualdad social que existe en nuestro país, mejorando el poder adquisitivo de las familias en caso de que decidan producir cerdos criollos y venderlos para obtención de carne, o bien, mejorar sus niveles de nutrición y atenuar los índices relacionados con enfermedades cardiovasculares o diabetes en caso de consumirlos a nivel familiar o local. Asimismo, el uso de la harina de ojoche, representa una excelente opción para complementar la alimentación porcina en áreas en donde dicha especie se distribuye naturalmente, y de la misma forma, la aportación de la harina de ojoche, resulta más práctica, ya que en esta presentación se incrementa el tiempo de vida de anaquel, en comparación con la utilización de frutos frescos, los cuales sólo están disponibles temporalmente.

En tal sentido, a pesar de que el presente estudio adolece de una evaluación financiera rigurosa, el hecho de sugerir que la incorporación de harina de *Brosimum alicastrum* resulta económicamente viable, es debido a que es un recurso de amplia distribución y con altos rendimientos de producción, lo cual conlleva a que la inversión respecto a la obtención de las semillas sea mínimo, pues la idea es que las personas con acceso a los árboles de esta especie las recolecten en el campo, las transporten en pequeñas cantidades, las tuesten y pulvericen con medios tradicionales del entorno rural.

Como se ha señalado con esta investigación se obtienen ciertas tendencias en el mejoramiento del perfil de ácidos grasos, pues a pesar de proporcionar una dieta claramente poliinsaturada, ésta no se reflejó a nivel de grasa subcutánea. A partir de esto, se sugiere la inclusión de algún antioxidante natural o sintético, para lograr que los ácidos poliinsaturados se mantengan en el organismo animal, con el mínimo de cambios bioquímicos.

En este mismo sentido, resultaría conveniente plantear un diseño experimental con el fin de validar y comparar los resultados obtenidos. Por ejemplo, comparar los perfiles de ácidos grasos entre la variedad pelón mexicano y una raza moderna; o bien, ofrecer la harina de ojoche (*Brosimum alicastrum*) y el aceite vegetal mixto en porcentajes ascendentes y obtener así un valor mínimo de suplementación que nos arroje valores satisfactorios en cuanto a la infiltración de ácidos grasos poliinsaturados.

Otra forma de contraste puede ser el comparativo en cuanto a sistemas de crianza para valorar si el manejo en confinamiento o con mayor espacio produce resultados diferentes en cuanto al metabolismo de ácidos grasos y conformación de la canal.

Del mismo modo, el diseño del experimento puede aumentar su complejidad al probar otras fuentes de ácidos grasos y compararlo con *Brosimum alicastrum*.

Es posible también dirigir un diseño experimental que permita visualizar si existe diferencia significativa entre el perfil de ácidos grasos a nivel de grasa subcutánea y algunos de los principales cortes del cerdo de naturaleza muscular, con su respectivo contraste entre variedades criollas y modernas.

Respecto a la evaluación sensorial, se sugiere establecer una metodología que involucre una cata como tal, con personal calificado, para brindar mayor objetividad a nuestros resultados.

Con base en los resultados obtenidos, es importante mencionar que este sistema harina de *Brosimum alicastrum*-cerdo pelón tiene un amplio potencial de aplicación en las comunidades rurales en donde coexisten ambos recursos. Así pues, en aquellos lugares en donde se usan principalmente las hojas para alimentación de cerdos, es posible brindar la idea del procesamiento de las semillas para elaborar la harina. En tal sentido, del total de harina procesada, se puede destinar un 80% para consumo humano, en la forma que se ha venido difundiendo, como complemento en panadería y el resto como alimento de cerdos.

Por otra parte, la innovación que se ha planteado se puede adaptar en aquellas comunidades rurales en donde existen cerdos criollos de otras variedades como el cuino y el pata de mula y si se encuentra el árbol de ojoche naturalmente distribuido, dar a conocer sus atributos nutricionales tanto para alimentación humana como pecuaria.

Una de las estrategias para promover o incrementar la densidad de *Brosimum alicastrum* en las comunidades rurales es a través del establecimiento de pequeños viveros y distribuir las plántulas para intercalar dicha especie en sistemas agroforestales o cercos vivos.

En este sentido, con los componentes del sistema señalado es posible integrar un paquete tecnológico que incluya la harina de semilla de ojoche, lechones de pelón

mexicano u otra variedad criolla, infraestructura y medicamentos para control sanitario. En este caso, y para marcar la diferencia con el extensionismo tradicional, se requerirá de una retroalimentación constante para mejorar el proceso de adopción tecnológica.

Uno de los alcances más promisorios de este sistema implica no sólo ofrecer la carne fresca de cerdo pelón como único producto funcional, sino la posibilidad de elaborar productos cárnicos tradicionales como el chorizo, la longaniza, la carne enchilada; e incluso, innovar y generar alguna versión de productos curados, con sello mexicano.

10.Bibliografía

Aasling M.D., M. Oksamma., E. V. Olssen., C. Bejerholm., M. Baltzer., G. Andersen, W.L.P. Bredie., D.V.Byrne & G. Gabrielsen. 2007. The impact of sensory quality of pork on consumer preference. Meat Science. 76:61-73.

Aguilar-Guggembuhl J., D. Mota-Rojas., H. Escalona-Buendía., M. E. Trujillo-Ortega & I. Guerrero-Legarreta. 2014. Efecto de dietas con ácidos grasos poliinsaturados en las propiedades sensoriales de la carne de cerdo. Agrociencia. 48:777-788.

Alemán S. T. 2016. Vivir para conocer, conocer para vivir. A propósito de campesinos y científicos. Leisa. Revista de Agroecología. 32:5-8.

Altieri M.A.& V.M.Toledo. 2010. La revolución agroecológica de América Latina: rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino. El otro derecho. 42:163-202.

Alvarado Á. H. J., J. C. Gómez V., J. Rodríguez A., N. López A., W. Filian H. & M. Vera S. 2018. Evaluación de tres niveles de tallo de caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) en dietas para cerdos. Rev. Prod. Anim. 30:8-12.

Alarcón C.A.E., J.S. Alvear L., C.A. Bedón T., C.F. Cruz A., G.R. Guillupangui B. & C. H. Ponce L. 2015. Efecto de la suplementación de aditivos alimenticios en parámetros productivos de lechones recientemente destetados. Bol. Téc. 12. Ser. Zool. 10:19-26.

Arias P. 1993. De recolectores a porcicultores: cien años de ganadería porcina en Guanajuato, Jalisco y Michoacán. 157-164 pp. En: Linck T. (comp). Agriculturas y campesinados en América Latina. Mutaciones y recomposiciones. Fondo de Cultura Económica. México.

Barkin D., M.E. Fuente. & M. Rosas. 2009. Tradición e innovación. Aportaciones campesinas en la orientación de la innovación tecnológica para forjar sustentabilidad. Trayectorias. 11:39-54.

Barrera D. W.A., J. F .Sarmiento F.& M. A. Sosa A. 2016. La innovación local en la dinámica del conocimiento tradicional y científico de la comunidad de artesanos de madera en Dzityá, Yucatán. 21 ° Encuentro Nacional Sobre Desarrollo Regional en México.

Becerril M., C. Lemus., J.G. Herrera., M. Huerta., M. Alonso-Spilbury., R. Ramírez Nocoechea., D. Mota-Rojas & J. Ly. 2009. Studies on Growth of Pelón Mexicano Pigs: Effect of rearing conditions on carcass traits and meat quality. Journal of Animal and Veterinary Advances. 8(12):202-207.

Botsoglou E., A. Govaris., I. Ambrosiadis., D. Fletouris & G. Papageorgiu. 2013. Effect of olive leaf (*Olea europaea* L.) extracts on protein and lipid oxidation in cooked pork meat patties enriched with n-3 fatty acids. J.Sci Food Agric. DOI 10.1002/jsfa.6236.

Bauer E., S.Jacob.& R. Mosenthin. 2005. Principles of physiology of lipid digestion. Asian-Aust. J.Anim. Sci. 18:282-295.

Braun R.O. & S.H. Pattaccini. 2013. Evaluacion de ácidos grasos en las carcassas de cerdos alimentados con sorgo termoprocessonado durante el crecimiento y la terminación. Revista de la Facultad de Agronomía UNLPAm. 23:25-35.

Bryhni E.A., N.P.Kjos., R. Ofstad & M. Huntd. 2002. Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: effects on fatty acids composition and meat, fat, and sausage quality. Meat Science. 62:1-8.

Carter C. T. 2015.Chemical and functional properties of *Brosimum alicastrum* seed powder (Maya nut, Ramón nut). Thesis of dissertation. Clemson University.

Cava R., J. Ventanas., J.F.Tejeda., J.Ruiz & T. Antequera. 2000. Effect of free range rearing and α-tocopherol and cooper supplementation on fatty acids profiles and susceptibility to lipid oxidation of fresh meat from Iberian pigs. Food Chemistry. 68:51-59.

Ciro G. J. A., A. López H.& J. Parra S. 2013. Expresión molecular de la vilina en yeyuno de lechones posdestete que consumieron LPS de *E. coli*. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. 8:32-41.

Ciro G. J. A., A. López H.& J. Parra S. 2015. La adición de cepas probióticas modula la secreción de mucinas intestinales en íleon de cerdos en crecimiento. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. 10:150-159.

Delgado F. & S. Rist. 2016. Las ciencias desde la perspectiva del diálogo de saberes, la transdisciplinariedad y el diálogo intercientífico. 35-60 pp. En: Delgado F. & S.Rist (eds.) 2016. Ciencias, diálogo de saberes y transdisciplinariedad. Aportes teórico metodológicos para la sustentabilidad alimentaria y del desarrollo. Plural editores. La Paz, Bolivia, 368 pp.

Domínguez L. M. A. 2012. Conocimiento local y crecimiento inicial del ojite (*Brosimum alicastrum* Swartz) bajo distintas condiciones de manejo en la zona de lomeríos del municipio Paso de Ovejas, Veracruz, México. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados, Veracruz.

Domínguez R., S. Martínez., M. Gómez., J. Carballo & I. Franco. 2015. Fatty acids, retinol and cholesterol composition in varius fatty tissues of Celta pig breed: Effect of the use of chestnuts in the finishing diet. Journal of Food Composition and Analisys. 37:104-111.

Flores J. S. & F. Bautista. 2012. Knowledge of the Yucatec Maya in seasonal tropical forest management: the forage plants. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83:503-518.

Font-i-Furnols M. & L. Guerrero. 2014. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. *Meat Science*. 98:361-371.

Funtowicz O.S.& J.R. Ravetz. 2000. La ciencia posnormal. *Ciencia con la gente*. Icaria. Barcelona, España. 107 pp.

Gómez C. A. 2017. La dehesa: un territorio añorado. *Revista de Fomento Social*. 72:717-726.

Gómez I. A.S., D. Vergara. & F. Argote. 2008. Efecto de la dieta y edad del destete sobre la fisiología digestiva del lechón. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 6:33-41.

Hernández-López S.H., J.G. Rodríguez-Carpena., C. Lemus-Flores., F. Grageola-Núñez F & M. Estévez. 2016. Avocado waste for finishing pigs: Impact on muscle composition and oxidative stability during chilling storage. *Meat Science*. 116:186-192.

Huerta C.R., M.M. Méndez y C.G. Pardo. 2015. El cerdo criollo mexicano en peligro de extinción. *Revista computadorizada de producción porcina*. 22(1): 10-12.

Jaramillo-Villanueva J.L., J. Morales-Jiménez & V. Dominguez- Torres. 2017. Importancia económica del traspatio y su relación con la seguridad alimentaria en comunidades de alta marginación en Puebla, México. *Agroproductividad*. 10:27-32.

Larqué-Saavedra A. 2017. El árbol de ramón por su alta productividad clave para la nueva revolución verde. Consultado el 01 de julio de 2018. Disponible en: <http://www.ccciencias.mx/es/ciencia-y-opinion/item/344-arbol-ramon.html>

Lemus F. C. & M. de L. Alonso S. 2005. El cerdo pelón mexicano y otros cerdos criollos. Universidad Autónoma de Nayarit-Universidad Autónoma Metropolitana. México. 271 pp.

Lemus F. C. 2015. Capítulo 2. Cerdos. En: Torres H. G. (ed). Los recursos zootécnicos criollos en México: un recurso necesario. 53-126 pp. Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas A.C. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

Lemus C. y J. Ly. 2010. Estudios de sostenibilidad de cerdos mexicanos pelones y cuinos. La iniciativa nayarita. Revista computadorizada de producción porcina. 17(2):89-98.

Linares V., L. Linares & G. Mendoza. 2011. Caracterización etnozootécnica y potencial carnícola de *Sus scrofa* “cerdo criollo” en Latinoamérica. Scientia Agropecuaria. 2:97-110.

Linares-Sosa G., M.A. Vásquez-Dávila., M.P. Jerez-Salas., G.I. Manzanero-Medina & Y. Villegas-Aparicio. 2017. Producción femenina de cerdos criollos en dos localidades indígenas del noroeste de Oaxaca, México. Actas Iberoamericanas en Conservación Animal.10:282-286.

Lozada-Salcedo E.E., O.P.Núñez-Torres., M.A. Rosero-Peña-herrera. & R.G. Aragadvay-Yungan. 2017. Efectos fisiopatológicos de los compuestos secundarios en la alimentación de monogástricos. J. Selva Andina Anim. Sci. 4:82-92.

Maldonado V. E. & J.R. Rodríguez V. 2016. Innovación social para la gestión de la sustentabilidad. Ciencia Nicolaita.69: 61-75.

Martínez C.E., J.C. Vinay., R.Brieva., C.G.Hill J.& H.S. García. 2002. Lipase-catalyzed acidolysis of corn oil with conjugated linoleic acid in hexano. Journal of Food Lipids. 10:11-24.

Martínez V. G., S.I. Román P., A. Vélez I., E. Cabrera T., A. Cantú C., L. De la Cruz C., M. Durán A., J. A. Maldonado J., F. E. Martínez S., A.R. Utrera., V.E. Vega M. & F. J., Ruíz L., 2016. Morfometría del cerdo de traspasio en áreas rurales de México. Rev. Mex. Cienc. Pecu. 7: 431-440.

Meiners M., M. Arias & P. López. 2009. Manual de buenas prácticas sobre la propagación, reforestación y aprovechamiento de *Brosimum alicastrum*. The equilibrium Fund. Forcuentes. Biodiverso A.C. 37 pp.

Meiners M., C. Sánchez G. & S. De Blois. 2009b. El ramón: fruto de nuestra cultura y raíz para la conservación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Biodiversitas. 87:7-10.

Mejía T. W. A. 2017. Fermentación en estado sólido de *Sacharum officinarum* con follaje de *Moringa oleifera* para alimentación porcina. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

Méndez M. R.D., M. Becerril H., M. de la S. Rubio L. & E. J. Delgado S. 2002. Características del canal del Cerdo Pelón Mexicano, procedente de Mizantla, Veracruz, México. Vet. Méx. 33:27-37.

Merlos T.M., S. Mireles., E. González., R. Rosales., D.M. Carrasco & L.A. Guerrero. 2015. Estudio morfológico y visceral del cerdo pelón mexicano. Revista computadorizada de producción porcina. 22:22-25.

Montero L. E. & R. Martínez G. 2015. Situación de la porcicultura a pequeña escala. 35- 47 En: Montero L. E.M., R.G. Martínez G., M.A. Herradora L., G. Ramírez H., S. Espinoza H., M. Sánchez H. & R. Martínez R. Alternativas para la producción porcina a pequeña escala. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México.

Muriel E., J.,Ruíz., J. Ventanas., M.J. Petrón & T. Antequera. 2004. Meat quality characteristics in different lines of Iberian pigs. Meat Science. 67:299:307.

Nuernberg K., K. Fisher.,G. Nuernberg., U.Kuechenmeister., D.Klosovská., G. Eiminowska-Wenda., I. Fiedler & K. Ender. 2005. Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. Meat Science. 70: 63-74.

Orantes G. C., A. Caballero R. & M.A. Velázquez M. 2012. Aprovechamiento del árbol nativo *Brosimum alicastrum* Swartz (Moraceae) en la Selva Zoque Chiapas, México. Lacandonia. 6:71-82.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2012. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. FAO- FINUT. Granada, España. 172 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- Fundación Iberoamericana de Nutrición. 2012. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Granada, España. 175 pp.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1996. Cumbre Mundial sobre la Alimentación. Roma, Italia.

Orwa C., A. Mutua., R. Kindt., R. Jamnadass. & S. Anthony. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya. Consultado el 12 de noviembre de 2016.

Disponible en:

<http://www.worldagroforestry.org/treedb2/speciesprofile.php?Spid=377>

Pardo-Tejeda E. & C. Sánchez M. 1980. Ramón, Capomo, Ojite, Ojoche (*Brosimum alicastrum*): recurso silvestre Tropical desaprovechado. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. 29 pp.

Peña A. R.G. 2011. Rescate, conservación y utilización sustentable del cerdo pelón mexicano *Sus scrofa* en Yucatán. CONACYT-SAGARPA-IICA-COFUPRO. México. 24 pp.

Pérez A. R.C. 2007. Aspectos económicos de la cría de cerdos en Aguacatenango. En: Perezgrovas G. R. (ed). Cría de cerdos autóctonos en comunidades indígenas. 121-152 pp. Universidad Autónoma de Chiapas. Instituto de Estudios Indígenas. Chiapas, México.

Pérez- Palacios T., J. Ruiz & T. Antequera. 2008. Perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea e intramuscular de cerdos ibéricos cebados en montanera y con pienso alto oleico. Eurocarne. 163:1:10.

Perezgrovas G. R., R. Pérez A. & D. Galdámez F. 2007. Caracterización del sistema de cría de cerdos criollos en el contexto social de Aguacatenango, Chiapas. Quehacer científico en Chiapas. 1:5-12.

Puleston D.E. 1968. *Brosimum alicastrum* as a subsistence alternative for the classic maya of the Central Southern Lowlands. Thesis of dissertation. University of Pennsylvania.

Real decreto 4/2014, por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico. Última modificación 11 de junio de 2016.

Rezar V., J. Salovir., A. Levart., U. Tomazin., M.Skrlep., N. B. Lukac. & M. Candek-Potokar. 2017. Meat Science.133:95-102.

Ramírez R. & R. Cava. 2007. Carcass composition and meat quality of three different Iberian x Duroc genotype pigs. Meat Science. 75:388-396.

Reis de Souza T.C., G. Mariscal L., K. Escobar G., A. Aguilera B. & A. Magné B. 2012. Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. Vet. Mex. 43:155-173.

Reyes-Betanzos A. & M.C. Álvarez-Ávila. 2017. Agrobiodiversidad, manejo del huerto familiar y contribución a la seguridad alimentaria. Agroproductividad. 10:58-63.

Rodríguez-Cruz M., A.R.Tovar., M. del Prado. & N.Torres. 2005. Revista de Investigación Clínica. 57:457-472.

Rodríguez G.G., L. Zaragoza M. & R. Perezgrovas G. 2011. Cría doméstica de cerdos en una localidad indígena de Chiapas (México). En: Barlocco N. & A. Vaddel (eds). Producción de cerdos a campo: Aportes para el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar. 121-125 pp. Primesol S.A. Montevideo, Uruguay.

Rodríguez G. G., R. Perezgrovas G. & L. Zaragoza M. 2011b. El traspatio como espacio de empoderamiento para la mujer tzotzil en Chiapas (México). Actas Iberoamericanas de Conservación Animal. 1:280-283.

Rojas-Shroeder J.A., L. Sarmiento-Franco, C.A. Sandoval-Castro & R.H. Santos-Ricalde. 2017. Utilización del follaje del ramón (*Brosimum alicastrum* Swarth) en la alimentación animal. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 20:363-371.

Román M. M.L., A. Mora S. & A. Gallegos R. 2004. Especies arbóreas de la costa de Jalisco, México, utilizadas como forraje en sistemas silvopastoriles. Scientia-CUCBA. 6:3-11.

Rosas M. & D.Barkin. 2009. Racionalidades alternas en la teoría económica. Nueva Época. 31:73-96.

Rubio B. 2011. Soberanía alimentaria versus dependencia: las políticas frente a la crisis alimentaria en América Latina. Mundo Siglo XXI. 7:105-118.

Sánchez V.E &E. Martínez C. 2014. Contribución de la producción animal en pequeña escala a las estrategias de vida campesinas. 3-19 pp. En: Arriaga J. C.M. & J.P. Anaya Ortega (Comps).Contribución de la producción animal en pequeña escala al desarrollo rural. Universidad Autónoma del Estado de México. Reverté. México.

Santos R. R. H., W. Trejo L.& W. Osorio H., 2011. Rendimiento de la canal y desarrollo de la canal y desarrollo de los órganos torácicos y abdominales de los 25 a los 45 kg en cerdos criollos pelones. Revista científica. 21:396-402.

Savino P. 2011. Obesidad y enfermedades no transmisibles relacionadas con la nutrición. Rev Colomb Cir. 26:180-195.

Savón L. 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. 2002. Revista cubana de ciencia agrícola. 36:91-102.

Sierra A.C. 2000. Conservación genética del cerdo pelón en Yucatán y su integración a un sistema de producción sostenible: primera aproximación. Arch. Zootec. 49:415-421.

Sierra A. C. 2006. Rescate genético del cerdo pelón en Yucatán, un recurso con potencial para ser utilizado por las comunidades mayas. Revista computadorizada de producción porcina. 13:30-34.

Skiba G., E. Polawska., M.Sobol., S. Raj. & D. Weremko. 2014. Omega 6 and Omega 3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. Archives of Animal Nutrition. DOI:10.1080/1745039X.2014.992173

Straadt I.K., M.D. Aaslyng & H.C. Bertram. 2013. Sensory and consumer evaluation of pork loins from crossbreeds between Danish Landrace, Yorkshire, Duroc, Iberian and Mangalitza. Meat Science. 90:27-35.

Soni-Guillermo E., J.L. Figueroa-Velasco., M.T. Sánchez-Torres., J.A. Martínez-Aispuro., J.L. Cordero-Mora., A. S. Hernández-Cázarez & J.M.F. Copado-Bueno. 2017. Agrociencia. 51:709-724.

Topkunar H. 2010. Chemical composition and antioxidant properties of Maya nut (*Brosimum alicastrum*). Thesis of dissertation. Clemson University.

Tartrakoon W., T. Tartrakoon & N. Kitsupee. 2016. Effects of the ratio of unsaturated fatty acid to saturated fatty acid on the growth performance, carcass and meat quality of finishing pigs. Animal nutrition. 2:79-85.

Valenzuela, B.A., R. Valenzuela., J. Sanhueza & G. Morales. 2014. Alimentos funcionales, nutracéuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? Rev Chil Nutr. 41:198-204.

Vega L. A., J.I. Valdez H. & V. M. Cetina A. 2003. Zonas ecológicas de *Brosimum alicastrum* Sw. en la costa del Pacífico mexicano. Madera y Bosques 9(1):27-53.

Wojtasik-Kalinowska I., D. Guzek., E. Gorska-Horczyczak., D. Glabzka., M. Brodowska., D.W. Sun. & A. Wierzbicka. 2016. Volatile compounds and fatty acids profile in *Longissimus dorsi* muscle from pigs fed with feed containing bioactive components. Food Sciences and Technology. 67:112-117.

Wood J.D., M. Enser., A.V. Fisher., G.R. Nute., P.R. Sheard., R.I. Richardson., S.I. Hughes & F.M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. Meat Science. 78:343-358.

11. Anexo fotográfico



Porte del árbol de *Brosimum alicastrum* en hábitat natural.



Flores masculinas de *Brosimum alicastrum*.



Plántulas de *Brosimum alicastrum* bajo el dosel de un árbol de la misma especie.



Semillas frescas de *Brosimum alicastrum*, mostrando aún la cutícula, la cual fue retirada durante el proceso de secado.



Proceso de tostado tradicional de las semillas de *Brosimum alicastrum*.en fogón.



Semillas tostadas de *Brosimum alicastrum*, a punto de ser molidas con recursos tecnológicos locales (molino manual).



Ejemplares de cerdo pelón mexicano en la etapa inicial del proyecto.



Ejemplares de cerdo pelón mexicano en la etapa final del proyecto.



Canales de cerdo pelón mexicano
suplementados con harina de *Brosimum alicastrum* y aceite vegetal mixto.



Despiece de canales de cerdo pelón mexicano.



Preparación de cortes de cerdo pelón mexicano y menú para degustación.



Presentación cocinada de costillas de cerdo pelón mexicano.