

Estudio de la alteración lipídica y oxidación del tocino ahumado con maderas reforestadas

Andrea Isabel Pavón Flores

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSRIA ALIMENTARIA

Estudio de alteración lipídica y oxidación del tocino ahumado con maderas reforestadas

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Andrea Isabel Pavón Flores

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Estudio de la alteración y oxidación lipídica de tocino ahumado con maderas reforestadas

Andrea Isabel Pavón Flores

Resumen. El tocino es un producto cárnico de cerdo curado y ahumado. Este producto es susceptible a la oxidación debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados. La oxidación puede ser reducida por los fenoles del humo liberado en el proceso de ahumado. Los objetivos de este estudio fueron: evaluar la estabilidad oxidativa y las alteraciones lipídicas del tocino antes y después del ahumado con seis especies maderables y evaluar los parámetros fisicoquímicos del tocino ahumado. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con prueba Tukey para separación de medias. El ahumado se realizó con un generador de humo semi-industrial a partir de las siguientes especies de madera: Eucalipto (*Eucalyptus cytridora*), Bambú (*Bambusa vulgaris*), Bracatinga (*Mimosa scabrella*), Acacia negra (*Acacia mearnsii*), Acacia (*Acacia mangum*) y Teca (*Tectona grandis*), adicionalmente se incluyó un control. La grasa del tocino fue extraída y evaluada mediante el índice de acidez e índice de peróxidos usando métodos de la AOAC. Se evaluó la humedad y el pH del tocino antes y después de ahumado. No se encontró diferencias significativas entre las distintas especies de maderas para los índices de acidez y peróxidos, humedad y pH. El control exhibió mayores índices de peróxidos en relación a otros tratamientos. El humo proveniente de las especies maderables mostró un efecto antioxidante en la grasa del tocino y el proceso de ahumado redujo la humedad del producto. Se recomienda realizar un análisis económico para determinar factibilidad económica de los distintos tipos de madera.

Palabras clave: Fenoles, hidroperóxidos, lipólisis.

Abstract. Bacon is a cured smoked pork meat product. This product is susceptible to oxidation due to its high content of monounsaturated fats. Oxidation can be reduced through the phenol content of smoke liberated in the smoking process. The goals of this study were to evaluate the oxidative stability and lipidic alterations of bacon after the smoking process with six wood types and assess the physicochemical parameters of bacon before and after smoking with each type of wood. The smoke was produced in a semi-industrial smoke generator using the following wood species: Eucalyptus (*Eucalyptus cytridora*), Bamboo (*Bambusa vulgaris*), Bracatinga (*Mimosa scabrella*), Black Acacia (*Acacia mearnsii*), Australian Acacia (*Acacia mangum*), and Teak (*Tectona grandis*), in addition, there was a control treatment. The bacon fat was extracted and acid and peroxide values were measured using AOAC methods. Humidity and pH were evaluated in bacon before and after smoking process. No differences were found among wood species for acidity, peroxide, pH and humidity. The control treatment showed higher peroxide values compared to other treatments. Smoke provided by different wood species had an antioxidant effect in bacon fat and the smoking process reduced humidity in bacon. It is recommended to make an economic analysis to determine the economic feasibility of the different types of wood.

Key words: Hydroperoxides, lipolysis, phenols.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES	13
5. RECOMENDACIONES	14
6. LITERATURA CITADA.....	15

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros	Página
1. Composición química de las maderas	4
2. Formulación de la salmuera.....	4
3. Porcentaje de salmuera inyectada y peso de panceta despues de inyección	5
4. Promedio y desviación estándar para el índice de peroxidos en panceta y tocino	9
5. Promedio y desviación estándar para el índice de acidez en la panceta y tocino	11
6. Promedio y desviación estándar para porcentaje de humedad en panceta y tocino	12
7. Promedio y desviacion estándar para pH en panceta y tocino	13

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de carne mundialmente ha sido considerado muy importante en la dieta humana debido a su alto contenido proteico. El mercado brasilero de carne porcina representa un importante sector de la industria cárnica tanto nacional como mundialmente; 85.6% de la producción es destinada al consumo interno nacional con 14.6 kg/habitante en 2014 (ABPA 2015). Así como el consumo de carne fresca es alta, también lo es el consumo de productos cárnicos procesados ya sean curados, emulsionados, ahumados. Un producto cárnico curado muy consumido en el Brasil y en diferentes países del mundo es el tocino. El tocino es un producto cárnico industrializado obtenido de un corte en el área torácica-abdominal del ganado porcino, con o sin costillas, con o sin piel, agregando ingredientes (cloruro de sodio, nitrito o nitrato de sodio, azúcar y eritorbato de sodio) enviado a un proceso apropiado de ahumado (Ministerio da Agricultura, Secretaría de Defensa Agropecuaria 2000). El consumo de tocino en Brasil ha ido bajando en los últimos años de un 4.9 a un 1.9%. EMBRAPA (2001) realizó encuestas con consumidores y ese estudio concluyó que el tocino en Brasil se consume 1-2 veces por semana, lo cual es considerado como moderado.

El ahumado ha sido usado tradicionalmente para prolongar la vida de anaquel de los productos cárnicos, y es aun utilizado en países desarrollados para mejorar la calidad sensorial, color y olor de productos cárnicos (Ledesma *et al.* 2014). El proceso de ahumado dentro de la industria cárnica comprende distintos tipos de ahumado: ahumado tradicional, mediante la utilización de maderas y el ahumado con humo líquido, siendo éstos diferentes.

El humo utilizado para el ahumado tradicional proviene de cualquier tipo de madera ya sea plantas verdes o secas, siendo las plantas dicotiledóneas las más óptimas para la generación de humo ya que contienen troncos más fuertes y compactos, por lo contrario plantas con troncos fibrosos dan un sabor residual a resina no deseado (Ogbadu 2014). Los principales componentes de la madera son celulosa, hemicelulosa y lignina. De la celulosa y hemicelulosa se forman ácidos y aldehídos y de la lignina se forman los fenoles (Tarte 2009). La principal función de los compuestos fenólicos en el humo de madera es ser antioxidantes, esto previene la rancidez en alimentos ahumados. Aproximadamente el 60% de los compuestos fenólicos están conformados por guayacol que es el responsable de brindar el sabor de ahumado y el compuesto syringol responsable por el aroma de ahumado (Ledesma *et al.* 2014). Ogbadu (2014) menciona que la celulosa y la hemicelulosa son compuestos azucarados que se caramelizan para dar a los compuestos carboxílicos aromas dulces y frutales. No obstante, la lignina provee fenoles que brindan compuestos ahumados, picantes y pungentes provenientes del guayacol, fenol y syringol.

En relación a los productos ahumados, los compuestos carboxílicos interactúan con los aminoácidos de la carne, lo que altera su textura y color debido a la Reacción Maillard causando un color café-marrón (Varlet *et al.* 2007).

El tocino es un alimento que tiene un alto contenido de ácidos grasos, este se vuelve susceptible a la oxidación que ocurre principalmente por la degradación de ácidos grasos poli-insaturados causando la presencia de olores y sabores desagradables. La degradación de ácidos grasos puede reducir el valor nutricional y disminuye la vida de anaquel del producto (Ordoñez 2005). Desde el punto de vista de aseguramiento de calidad la determinación del Valor de Peróxido (PV) es una de las medidas de control de calidad más importantes para las grasas y aceites. Este parámetro mide la concentración de los productos de oxidación primaria, principalmente los hidroperóxidos que no son estables y se descomponen para producir productos de oxidación secundaria como son cetonas y aldehídos (Guillén y Cabo 1999).

Entre más alto es el valor PV más baja es la estabilidad oxidativa lo cual recurre directamente al afectar la calidad del producto. El análisis de la oxidación de lípidos en muestras de cualquier alimento es un tema relevante debido a que los compuestos secundarios incluyendo aldehídos, cetonas y polímeros producen efectos no deseados sensorial y biológicamente (Barriuso *et al.* 2013) En cuanto a la evaluación de alteraciones lipídicas se logra midiendo ácidos grasos libres mediante un índice de acidez el cual se aplica en todo aceite refinado, bruto, de origen vegetal o animal (Ordoñez 2005).

Para reducir la oxidación lipídica del tocino ahumado, además del ahumado, se utiliza el nitrito de sodio, el cual es un ingrediente que brinda características únicas, siendo estas la formación de color, su función antioxidante y la inhibición de microorganismos. El nitrito es un fuerte inhibidor de la bacteria anaeróbica *Clostridium botulinum* y controla otros microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes* (Tarte 2009).

En este estudio se evaluaron la acción antioxidante y las alteraciones lipídicas de seis diferentes tipos de maderas reforestadas para el ahumado del tocino; por esta razón los objetivos del estudio fueron:

- Evaluar la estabilidad oxidativa y las alteraciones lipídicas del tocino después del ahumado con seis tipos de madera.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos del tocino ahumado proveniente de distintas maderas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio.

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Carnes en el Departamento de Agroindustria, Alimentos y Nutrición en la Universidad de Sao Paulo Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil. Adicionalmente, este estudio es parte de una investigación más exhaustiva de la misma universidad que comprende varias etapas en las que se analizan compuestos volátiles e hidrocarburos policíclicos aromáticos, el efecto de diferentes niveles de nitritos de sodio y del humo de distintas maderas en la aceptación sensorial del producto final.

Recolección de canal.

Las piezas de tocino fueron obtenidas del frigorífico Bressiani ubicado en Capivari, Sao Paulo. Los cerdos utilizados para este estudio fueron provenientes de la raza Agropic 337 puro. La edad de los cerdos antes del sacrificio fue de 150 días, con un pH de 5.71 a 24 hrs *post mortem*. La dieta alimenticia dada a los animales estaba compuesta por: 70% maíz, 26% soya, 1% aceite y 3% núcleo, 200 g/t de antioxidante (BANOX) y 16 ppm de ractopamina.

Se eligieron las canales de cerdo de acuerdo al sexo (macho) y a la limpieza de la canal antes de conducir las canales de cerdos a las cámaras de enfriamiento. El pH y peso se midió en cada canal de cerdo. Los cerdos fueron sujetos al mismo sistema de producción cumpliendo con las normas de higiene y seguridad. Las muestras de materia prima se obtuvieron del corte de barriga cuadrada (barriga torácica abdominal) y se recolectaron al día siguiente después de terminado el proceso de rigor mortis en las canales de cerdo.

Adquisición y recepción de la madera.

Las maderas de especies Eucalipto (*Eucalyptus citriodora*), Acacia (*Acacia mangium*) y Bracatinga (*Mimosa scrabella*) fueron obtenidas de la Estación Experimental de Ciencias Forestales en Itatinga, Sao Paulo. Las maderas de las especies Teca (*Tectona grandis*) y Bambú (*Bambusa vulgaris*) fueron retiradas de plantaciones de la Estación Experimental "Fazenda Aerao," en Piracicaba, Brasil. Ambas estaciones son administradas por la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", de la Universidad de Sao Paulo (ESALQ/USP). Las muestras de la especie *Acacia mearnsii* fueron obtenidas por donación de una empresa ubicada en Rio Grande, Brasil. La recolecta de todas estas especies ocurrieron al final del ciclo de rotación de cada especie de ese modo, cada madera fue cortada con siete años de edad a excepción de la Teca (*Tectona grandis*). Todas las muestras fueron cortadas en un tamaño estandarizado (1-1.5 cm de diámetro) para reducir la

influencia sobre la quema en el generador de humo durante el ahumado. El porcentaje de lignina y holocelulosa de las maderas utilizadas en el estudio se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química de las maderas.

Madera	Lignina Total (%)	Holocelulosa (%)
Eucalipto	30.98	58.57
Bambú	29.44	64.69
<i>Acacia mangum</i>	28.20	60.96
<i>Acacia mearnsii</i>	27.05	72.51
Teca	28.09	58.59
Bracatinga	29.03	69.49

Inyección de la salmuera y cura.

Cada pieza de tocino pesó entre 4-6 kg, a cada pieza se le midió el pH antes de inyectarle la salmuera a un porcentaje meta de 20%. La salmuera incluía: nitrito de sodio, eritorbato de sodio, sacarosa refinada, sal y agua (Cuadro 2). El porcentaje de salmuera inyectada se mantuvo en un rango entre el 18-24% y el peso de las pancetas después de inyección se muestran en el Cuadro 3. La inyección de la salmuera se realizó con una inyectora automática de agujas múltiples. Posteriormente las muestras inyectadas fueron almacenadas en refrigeración a una temperatura de 2 °C por 24 h para lograr una penetración homogénea.

Cuadro 2. Formulación de la salmuera.

Ingredientes	Porcentaje	Gramos
Agua	96.2	868.5
Sal	3.00	27.00
Azúcar	0.60	5.40
Nitrito de sodio	0.015	0.14
Eritorbato de sodio	0.07	0.63
Total	100	900

Cuadro 3. Porcentaje de salmuera inyectada y peso de panceta después de inyección

Tratamiento	Salmuera Inyectada (%)	Peso Panceta (Kg)	Salmuera Inyectada (%)	Peso Panceta (Kg)	Salmuera Inyectada (%)	Peso Panceta (Kg)
Repetición	1		2		3	
Control	20	4.62	20	6.34	18	6.34
Eucalipto	19	4.75	21	6.13	20	6.13
Bambú	20	5.38	22	5.89	19	5.89
<i>Acacia mearnsii</i>	20	5.92	21	5.68	24	5.68
<i>Acacia mangium</i>	19	5.40	23	6.05	20	6.05
Bracatinga	23	5.85	23	6.32	21	6.32
Teca	21	6.02	19	6.03	18	6.03

Ahumado y cocimiento de la panceta.

El proceso de ahumado consistió en cuatro etapas: secado, ahumado y dos cocimientos a distintas temperaturas. Cada madera fue agregada con la misma cantidad (siete litros) en el generador de humo del horno marca Verinox de origen italiano. La primera etapa fue el secado con calor seco a una temperatura de 65 °C por 30 min, con una ventilación alta y con la chimenea abierta completamente. Luego se ahumó la panceta por 60 min a una temperatura de 75 °C con ventilación baja y con la chimenea medio abierta. Después del ahumado se procedió con la primera cocción a 75 °C por 30 min con la chimenea completamente cerrada y una ventilación alta. El segundo cocimiento se realizó a 80 °C hasta lograr 75 °C internamente. Cuando el ahumado finalizó se colocaron los tocinos en un recipiente de plástico y se almacenaron a 2 °C hasta la extracción de la grasa.

Extracción de grasa.

Se cortó un pedazo de panceta de la pieza a ahumar y finalizado el proceso de ahumado se cortó una pieza del tocino para proceder a extraer la grasa. Se molieron 50 g de tocino y panceta utilizando un molino (Hobart, Estados Unidos de América). El método utilizado para la extracción de grasa fue (Bligh y Dyer 1959). Se prepararon los reactivos (metanol y cloroformo) a utilizar.

En un matraz Erlenmeyer se adicionó la muestra de carne ya molida, la mezcla de cloroformo metanol (500 ml) y agua destilada (100 ml). La solución y la carne se mezclaron con un agitador de mesa para lograr una mezcla homogénea por 20 min. Con la mezcla ya homogénea se adicionaron 250 ml de cloroformo y 100 ml de agua destilada más en el matraz Erlenmeyer. Luego se filtró la solución utilizando un embudo de separación y papel de filtro. Toda la solución se dejó reposar en el embudo de separación por 24 h. Al día siguiente se filtró la fase inferior del embudo (fase de cloroformo) utilizando un embudo de vidrio y se pasó por el roto-evaporador para eliminar la fase cloroformo. Siendo eliminada la fase cloroformo, la grasa se extrajo y se colocó en un horno secador a 26 °C por 1 h para luego pesarlas. En un matraz Erlenmeyer se pesaron 5 ± 0.03 g de grasa para las muestras dirigidas a ser pesadas por índice de peróxidos y 7 ± 0.03 g para las muestras de índice de acidez.

Índice de peróxidos.

Se prepararon los reactivos a utilizar: solución de ácido acético y cloroformo (3:2), ioduro de potasio saturado, goma de almidón al 1% y tiosulfato de sodio al 0.1M. El método a utilizar para la evaluación del índice de peróxidos fue el especificado por AOCS (1995).

La muestra ya pesada se colocó en un matraz Erlenmeyer y luego se agregó 30 ml de la solución de ácido acético-cloroformo para disolver la muestra. Con la solución ya disuelta se agregó 0.5 ml de la solución de yoduro de potasio saturado, se mezcló en matraz Erlenmeyer y se dejó en reposo por 1 min. Luego se adicionaron 30 ml de agua destilada y 0.5 ml de goma de almidón concentrada al 1%. Luego se tituló con tiosulfato de sodio 0.1M con una constante agitación. Se continuó la titulación hasta que el color azul desapareció y la solución tuviera un color blanco. La ecuación siguiente se utilizó para realizar el cálculo de índice de peróxido en la muestra (IP).

$$IP \left(\frac{meq}{kg} \right) = \frac{N*(A-B)*1,000}{masa \ de \ muestra \ (g)} \quad [1]$$

Dónde: **A:** Volumen (ml) de tiosulfato gastado para titular la muestra. **B:** Volumen (ml) de tiosulfato gastado para titular hasta que llegue a una coloración blanca.

Índice de acidez.

Utilizando el método de (ISO 1996) se llevó a cabo al análisis de índice de acidez. Se prepararon los reactivos a utilizar en esta muestra de solución en un matraz Erlenmeyer; luego se agregó la cantidad específica de alcohol y 2 mL de indicador de fenolftaleína. Se aplicó calor hasta 65 °C para luego titular con hidróxido de sodio, agitando vigorosamente hasta aparecer la primera coloración rosa, la cual debió permanecer por 30 s. Se procedió a realizar los cálculos con la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de Ácidez} = \frac{mL \ gastados * 56.1 * F}{masa \ de \ muestra} \quad [2]$$

Análisis fisicoquímicos.

Para la determinación de la humedad se utilizó el método ISO 1442:1997 haciendo el cálculo de peso inicial menos peso final. Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro.

Diseño experimental.

Para el estudio de índice de acidez, índice de peróxidos y los parámetros fisicoquímicos (pH, Aw y humedad) se utilizó un DCA (Diseño Completamente al Azar) con una separación de medias utilizando la prueba Tukey para evaluar diferencias entre tratamientos. También, se utilizó una prueba T de muestras apareadas para evaluar el antes y después del ahumado en el tocino. Los tratamientos en este experimento fueron siete, seis de ellos representando a cada una de las diferentes maderas Eucaplito, Bracatinga, Bambú, Teca, *Acacia mearnsii*, *Acacia mangum* más el control. Para los análisis estadísticos se utilizó una probabilidad de significancia del 5%. Se realizaron tres repeticiones para cada experimento. El análisis de datos se realizó a través de “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.1®).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de peróxidos.

Los índices de peróxidos obtenidos en los tocinos ahumados con distintas maderas utilizadas no mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) (Cuadro 4). A pesar de tener una diferente composición química, con contenidos de lignina diferentes (Cuadro 1), las seis distintas especies de madera brindaron la misma estabilidad oxidativa a la grasa del tocino. Sin embargo, el tratamiento control mostró un índice de peróxidos más alto en comparación con los tocinos ahumados con las distintas maderas usadas en el estudio. Esto se atribuye al efecto antioxidante del humo de la madera, mediante la liberación de los compuestos fenólicos y el contenido de lignina de la madera (Ledezma *et al.* 2014). Según Tóth y Potthast (1984) el proceso de formación de hidroperóxidos que degradan la calidad de la grasa pueden ser prevenidos por antioxidantes, los cuales tienen una estructura fenólica. Estos compuestos fenólicos están presentes en el humo de las maderas los cuales son: guayacol, eugenol, isoeugenol, hidroquinona y pirocatechol (Seher 1967). En adición a la deposición de humo en los productos ahumados, el humo reduce la carga microbiana, mejora el sabor y actúa como un antioxidante que previene la degradación lipídica (Daun 2008).

Cuadro 4. Promedio y desviación estándar para el índice de peróxidos en panceta y tocino.

Tratamiento	Índice de peróxidos	
	Panceta (meq/kg)	Tocino (meq/kg)
Control	11.627 ± 1.615 ^{Aa}	8.553 ± 0.919 ^{Ba}
Eucalipto	12.283 ± 2.875 ^{Aa}	1.693 ± 1.039 ^{Bb}
Teca	4.894 ± 4.724 ^{Aa}	1.157 ± 0.453 ^{Bb}
Bambú	6.543 ± 2.263 ^{Aa}	1.000 ± 0.300 ^{Bb}
Bracatinga	9.187 ± 2.088 ^{Aa}	0.897 ± 0.163 ^{Bb}
<i>Acacia mearnsii</i>	8.157 ± 4.358 ^{Aa}	0.673 ± 0.294 ^{Bb}
<i>Acacia mangum</i>	17.237 ± 8.965 ^{Aa}	0.450 ± 0.565 ^{Bb}
CV%	42.60	27.80

^{AB}Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas entre tipo de carne ($P<0.05$).

^{ab}Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($P<0.05$).

CV: Coeficiente de Variación.

Estos hidroperóxidos formados en el tocino control definen la calidad de la grasa y su grado de rancidez. Son parte de la oxidación primaria que produce compuestos volátiles y no volátiles aumentando la descomposición de las grasas durante la fase inicial de oxidación. Por ende este índice de peróxidos es un indicador de las fases iniciales de cualquier cambio oxidativo (Shahidi 2005).

Según Frankel (1984), el principal proceso de oxidación de los lípidos es la auto-oxidación, el cual es un proceso de radicales libres que envuelven las etapas de iniciación, propagación y terminación. La etapa de iniciación se lleva a cabo con la eliminación de un hidrógeno de un carbono de metileno en la presencia de metales, calor o luz, y los radicales libres de lípidos (L*) reaccionan con oxígeno para formar radicales de peróxido (LOO*). Este proceso afecta los ácidos grasos poliinsaturados principalmente, ya que es más fácil remover un hidrógeno de un carbono de metileno a medida que el número de dobles enlaces aumenta.

En el Cuadro 1 se observan diferencias ($P < 0.05$) en el índice de peróxidos antes (panceta) y después del ahumado (tocino) para cada uno de los tratamientos evaluados, obteniéndose una mayor cantidad de hidroperóxidos en la panceta curada y no ahumada. Esto concuerda con el estudio de White (1944) en donde se obtuvo una menor cantidad de peróxidos formados en el tocino ya ahumado comparado con la panceta antes de ahumar obteniendo valores en promedio de 0.84 a 4 meq/kg para el tocino ya ahumado y 3 a 10.07 meq/kg para panceta antes del ahumado. Atribuyendo al proceso de ahumado un aplazamiento en la formación de peróxidos, alargando la vida de anaquel del producto y mejorando la calidad de la grasa. Durante el proceso del curado también se obtiene un efecto antioxidante debido al uso de nitrito de sodio en la salmuera como reportado por (Motilva *et al.* 1992). Estos autores determinaron que el efecto del humo proveniente de la quema de madera en tocinos reducía en mayor cantidad el contenido de hidroperóxidos.

La AOAC (1995) establece que existe un rango de peróxidos esperados de acuerdo a su contenido de muestra, en este caso se utilizaron muestras de grasa de 5 ± 0.05 g. Para esa cantidad de grasas se espera un rango de 0-10 meq/kg de hidroperóxidos formados. Ciertas muestras de panceta excedieron este rango. Según Aminullah Bhulyan *et al.* (1986) la sal en pequeñas concentraciones puede actuar como un pro-oxidante. A la panceta se le adicionó un 3% de sal lo que pudo contribuir al mayor índice de peróxidos encontrados en este estudio. El nitrito de sodio adicionado a la sal de cura pudo actuar como antioxidante en el producto. Los valores de índice de peróxidos reportados en el tocino están por debajo del límite nacional de China el cual es de (0.5g/100g de grasa), lo cual define que el producto es seguro y apto para el consumidor (Wu *et al.* 2016).

Índice de acidez.

En el Cuadro 5 se observa que no existió diferencia ($P > 0.05$) en el índice de acidez entre las maderas usadas para ahumar el tocino, ni antes ni después del proceso de ahumado. Tampoco hubo diferencia ($P > 0.05$) entre el control y las distintas maderas estudiadas. Esto concuerda con el estudio realizado en pescado ahumado por Aminullah Bhulyan *et al.* (1986) y con el estudio de White (1944) en tocino ahumado, los cuales no evidenciaron

diferencias en la liberación de ácidos grasos libres entre los procesos antes y después de ahumado.

Kardash y Tur'yan (2005) demostraron que un incremento en la cantidad de ácidos grasos libres en una muestra de aceites o grasas indicaba la presencia de hidrólisis en los triglicéridos. Esta reacción ocurre mediante la acción de la enzima lipasa la cual es un indicador de condiciones inadecuadas de procesamiento y almacenamiento. Por otro lado, Molly *et al.* (1997) define el proceso de liberación de ácidos grasos libres como una lipólisis, misma que es gobernada por un conjunto de enzimas específicas llamadas lipasa y fosfolipasa que llevan a la formación de ácidos grasos libres. La lipólisis y la oxidación de los lípidos se espera que estén relacionadas debido a la emisión de los ácidos grasos libres los cuales son más susceptibles a la oxidación que los ácidos esterificados (Muriel *et al.* 2007). Por ende, entre mayor liberación de ácidos grasos libres, existe una mayor oxidación, lo cual causa una mayor degradación de la grasa. Sin embargo, en este estudio no se encontró una relación entre la oxidación lipídica y la lipólisis, al igual que en el estudio realizado por Jin *et al.* (2010). Los triglicéridos según Huang *et al.* (2013) influyen en la liberación de los ácidos grasos libres en la grasa del tocino, lo cual depende mucho del contenido total de lípidos iniciales en la carne de cerdo influenciada por la dieta del animal. A esto se puede atribuir el bajo contenido de ácidos grasos libres en este estudio, tanto en la panceta no ahumada como en el tocino ahumado.

Cuadro 5. Promedio y desviación estándar para el índice de acidez en panceta y tocino.

Tratamiento	Índice de acidez	
	Panceta	Tocino
Control	1.187 ± 3.160 ^{Aa}	2.654 ± 0.043 ^{Aa}
Eucalipto	1.490 ± 1.402 ^{Aa}	1.923 ± 0.245 ^{Aa}
Teca	1.107 ± 0.116 ^{Aa}	0.906 ± 0.178 ^{Aa}
Bambú	1.103 ± 0.134 ^{Aa}	0.813 ± 0.243 ^{Aa}
Bracatinga	0.897 ± 0.145 ^{Aa}	0.853 ± 0.072 ^{Aa}
<i>Acacia mearnsii</i>	0.963 ± 0.192 ^{Aa}	0.980 ± 0.258 ^{Aa}
<i>Acacia mangum</i>	0.797 ± 0.344 ^{Aa}	1.123 ± 0.236 ^{Aa}
CV%	42.36	28.65

^ANo hubo diferencias significativas entre filas (P>0.05).

^aNo hubo diferencias significativas entre tratamientos. (P>0.05).

Según Jerković *et al.* (2007), los lípidos muestran una lipólisis intensa durante el curado, especialmente durante la adición de sal y después de la adición de sal, mientras los ácidos grasos libre se acumulan como un resultado de la hidrólisis de los triglicéridos. Las enzimas lipasas son las principales encargadas de la acción hidrolítica en las grasas, las cuales actúan en su mayoría en alimentos con ambientes salados y secos (Motilva *et al.* 1992). La panceta utilizada en el estudio contenía una baja concentración de sal (3%) y a eso se atribuye también un bajo índice de acidez.

Aminullah Bhulyan *et al.* (1986) reportaron una hidrólisis lipídica en el tejido muscular de pescado cuando este fue calentado y ahumado por 90 min a 100 °C. En este estudio se ahumó y cocinó el tocino de 65 °C a 75 °C durante 5 h, por ende, la actividad de las enzimas hidrolíticas fue controlada reduciendo la lipólisis durante el proceso de ahumado. Jiang *et al.* (2014) recomienda temperaturas mayores a 40 °C para lograr reducir la actividad enzimática de la lipasa y que la actividad de la fosfolipasa predomine. Sin embargo, la enzima fosfolipasa al incrementar la temperatura tiene baja actividad enzimática (Chemat 2017).

Análisis de humedad.

El contenido de humedad en un alimento influencia el sabor, la textura, el peso, la apariencia y la vida de anaquel del producto (Nielsen 2010). En la elaboración de un alimento el contenido de humedad suele variar dependiendo del tipo de procesos, en este estudio se determinó la humedad de la panceta curada y el tocino ahumado como se observa en el Cuadro 6.

El porcentaje de humedad del tocino en comparación con el de la panceta fue diferente para cada uno de los tratamientos evaluados ($P < 0.05$). Según Guo *et al.* (2010, 2016) esto se debe a la deshidratación osmótica de la sal durante la cura y también a los procesos de cocimiento y ahumado. En comparación con el contenido de humedad de otros productos curados como el lacón (Marra *et al.* 1999) y el jamón ibérico (Martín *et al.* 1999), el tocino tiene un menor contenido de humedad debido a que es un producto cárnico con menor tamaño y grosor; y tiene una mayor área superficial por unidad de peso, lo que acelera la deshidratación durante el proceso y resulta en un alimento con baja humedad (Jin *et al.* 2010).

Cuadro 6. Promedio y desviación estándar para el porcentaje de humedad en panceta y tocino.

Tratamiento	Humedad	
	Panceta (%)	Tocino (%)
Control	65.310 ± 3.350 ^{Ba}	44.177 ± 6.643 ^{Aa}
Eucalipto	64.953 ± 5.135 ^{Ba}	48.975 ± 6.049 ^{Aa}
Teca	63.765 ± 8.812 ^{Ba}	47.650 ± 4.845 ^{Aa}
Bambú	55.770 ± 2.292 ^{Ba}	47.147 ± 2.030 ^{Aa}
Bracatinga	56.460 ± 0.625 ^{Ba}	46.633 ± 2.985 ^{Aa}
<i>Acacia mearnsii</i>	49.746 ± 6.195 ^B	43.630 ± 0.760 ^{Aa}
<i>Acacia mangum</i>	61.460 ± 3.700 ^{Ba}	50.050 ± 5.669 ^{Aa}
CV%	8.34	11.06

^{AB}Letras diferentes entre filas indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

^aNo hubo diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$).
(Prueba Test-Tukey y prueba T)

No se obtuvo una diferencia significativa ($P>0.05$) en el porcentaje de humedad entre los tratamientos. Por ende, el uso de madera no afectó directamente al contenido de humedad del tocino.

Análisis de pH.

Como se observa en el Cuadro 7, el pH no varió entre la panceta y el tocino mostrando que no existe diferencia ($P>0.05$) antes y después del ahumado. El pH de ambos (panceta antes de ahumado y después de ahumado) se mantuvo en un rango entre 5.4 y 6.4 al igual que en el estudio realizado por Jin *et al.* (2010) con tocino curado y madurado. Esta fluctuación en el valor del pH, según Guo *et al.* (2016) se debe principalmente a la generación de ácidos grasos libres y amino ácidos por la degradación lipídica y proteica.

Cuadro 7. Promedio y desviación estándar para el pH en panceta y tocino.

Tratamiento	pH	
	Panceta	Tocino
Control	6.006 ± 0.163 ^{Aa}	6.337 ± 0.190 ^{Aa}
Eucalipto	6.030 ± 0.206 ^{Aa}	6.197 ± 0.174 ^{Aa}
Teca	6.120 ± 0.613 ^{Aa}	6.207 ± 0.201 ^{Aa}
Bambú	6.067 ± 0.160 ^{Aa}	6.112 ± 0.116 ^{Aa}
Bracatinga	6.010 ± 0.227 ^{Aa}	6.063 ± 0.106 ^{Aa}
<i>Acacia mearnsii</i>	6.062 ± 0.150 ^{Aa}	6.110 ± 0.202 ^{Aa}
<i>Acacia mangum</i>	5.925 ± 0.259 ^{Aa}	6.100 ± 0.159 ^{Aa}
CV%	4.66	2.66

^ANo hubo diferencias significativas entre filas ($P>0.05$).

^aNo hubo diferencias significativas entre tratamientos ($P>0.05$).

4. CONCLUSIONES

- La utilización del humo proveniente de las maderas reforestadas de Brasil redujo la oxidación lipídica del tocino.
- El proceso de ahumado utilizando maderas reforestadas de Brasil no tuvo un efecto en la liberación de ácidos grasos libres en el tocino.
- El proceso de cocción y ahumado redujo la humedad del tocino, sin embargo los tipos de madera no influyeron en esta reducción.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio con medidas repetidas en el tiempo para determinar el efecto oxidativo del tocino durante el almacenamiento con los diferentes tipos de madera.
- Realizar un estudio económico de las distintas maderas para determinar cuál es más factible de implementar dentro de la industria cárnica brasileña.
- Realizar un estudio de cromatografía de gases para obtener un perfil de ácidos grasos presentes en cada pieza de tocino y evaluar si existen diferencias significativas entre cada madera utilizada.

6. LITERATURA CITADA

ABPA. (Associação Brasileira de Proteína Animal). 2015. Mercado Suino. [internet]: Sao, Paulo: ABPA; [consultado 2017 feb 2]. <http://abpa-br.com.br/setores/suinocultura/mercado-mundial>.

Aminullah Bhulyan A, Ratnayake W, Ackman R. 1986. Stability of lipids and polyunsaturated fatty acids during smoking of atlantic mackerel (*Scomber scombrus* L.). [consultado 2017 sep 5]. J Am Oil Chem Soc. 63(3):324–328. doi:10.1007/BF02546038.

AOAC. 1995. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society. 16th ed. Virginia: [publisher unknown].

Barriuso B, Astiasarán I, Ansorena D. 2013. A review of analytical methods measuring lipid oxidation status in foods: A challenging task. [consultado 2017 mar 3] Eur Food Res Technol. 236(1):1–15. doi:10.1007/s00217-012-1866-9.0

Bligh E, Dyer W. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. [consultado 2017 mar 6]. Can J Biochem Physiol. 37(8):911–917. eng. doi:10.1139/o59-099.

Chemat S. 2017. Edible oils: Extraction, processing, and applications. 1era ed. Boca Raton: CRC Press. 252 p.

Daun H. 2008. Nutritional Evolution of Food Science. 2da ed. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Co. 381 p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Agropecuaria y Agroindustria). 2001. 2a Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína. Concordia, Brasil. [consultado 2017 sep 1]. http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc_publicacoes/

Frankel, E. 1984. Lipid oxidation: Mechanisms, products and biological significance. [consultado en 2017 Jul]. J. Am. Oil Chem. Soc. 61(12):1908-1917 doi: 10.1007/BF02540830

Guillén MD, Cabo N. 1999. Usefulness of the frequency data of the fourier transform infrared spectra to evaluate the degree of oxidation of edible oils. J. Agric. Food Chem, [consultado 2017 feb 2]. 47(2):709–719. doi:10.1021/jf9808123.

Guo X, Huang F, Zhang H, Zhang C, Hu H. 2010. Lypolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening. *Food Chem*; [consultado 2017 sep 1]. 123(2):465–471. <http://dx.doi.org/10.1080/10498850.2016.1276112>

Guo X, Huang F, Zhang H, Zhang C, Hu H, Chen W. 2016. Classification of traditional Chinese pork bacon based on physicochemical properties and chemometric techniques. *Meat Sci*. [consultado 2017 ago 23] 117:182–186. eng. doi:10.1016/j.meatsci.2016.02.008.

Huang Y, Li H, Huang T, Feng L, Sun J. 2013. Lypolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional smoke-cured bacon. *Food Chem*. [consultado 2017 ago 5]. (149):31–39. doi:10.1016/j.foodchem.2013.10.081.

ISO. International Organization for Standardization. 1996. Animal and vegetable fats and oils. ISO 660. Determination of acid value and acidity. ISO/TC 34/SC 11 Animal and vegetable fats and oils.

ISO. International Organization for Standardization. 1997. Determination of moisture content. ISO 1442. ISO/TC 34/SC 6 Meat and meat products.

Jerković I, Mastelić J, Tartaglia S. 2007. A study of volatile flavour substances in Dalmatian traditional smoked ham: Impact of dry-curing and frying. [consultado 2017 oct 4]. *Food Chem*. 104(3):1030–1039. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2007.01.013.

Jiang Y, Liu X, Chen Y, Zhou L, He Y, Ma L, Gao J. 2014. Pickering emulsion stabilized by lipase-containing periodic mesoporous organosilica particles: a robust biocatalyst system for biodiesel production. *Bioresour Technol*. [consultado 2017 oct 13]. 153:278–283. eng. doi:10.1016/j.biortech.2013.12.001.

Jin G, Zhang J, Xiang Z, Zhang Y, Yanxiong L, Wang J. 2010. Lypolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening. *Food Chem*. [consultado 2017 abr 16]. 123(2):465–471. doi:10.1016/j.foodchem.2010.05.031.

Kardash E, Tur'yan Y. 2005. Acid value determination in vegetable oils by indirect titration in aqueous-alcohol media. *Croatica Chemica Acta*. [consultado 2017 sep 30]. 78(1):99–103. file://D:/Downloads/CCA_78_2005_99_103_kardash_1.pdf.

Ledesma E, Rendueles M, Díaz M. 2014. Benzo(a)pyrene penetration on a smoked meat product during smoking time. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. [consultado 2017 feb 20]. 31(10):1688–1698. doi:10.1080/19440049.2014.949875.

- Marra A, Salgado A, Prieto B, Carballo J. 1999. Biochemical characteristics of dry-cured lacón. *Food Chem.* [consultado 2017 ago 13]. 67(1):33–37. doi:10.1016/S0308-8146(99)00104-1.
- Martín L, Córdoba J, Ventanas J, Antequera T. 1999. Changes in intramuscular lipids during ripening of Iberian dry-cured ham. *Meat Sci.* [consultado 2017 ago 13]. 51(2):129–134. doi:10.1016/S0309-1740(98)00109-0.
- Ministerio da Agricultura, Secretaría de Defensa Agropecuaria. 2000. Instrucción Normativa No. 4. 31 de marzo de 2000. Reglamento Técnico de Identidad y Calidad del Bacon.
- Molly K, Demeyer D, Johansson G, Raemaekers M. 1997. The importance of meat enzymes in ripening and flavor generation in dry fermented sausages. First results of a European project. *Food Chem.* [consultado 2017 oct 3]. 59(4):539-545. doi:10.1016/S0308-8146(97)00004-6
- Motilva M, Toldrá F. 1992. Subcutaneous adipose tissue lipolysis in the processing of dry-cured ham. *J. Food Biochem.* [consultado 2017 oct 3]. 16(5):323–335. doi:10.1111/j.1745-4514.1992.tb00455.x.
- Muriel E, Andres A, Petron M, Antequera T, Ruíz J. 2007. Lipolytic and oxidative changes in Iberian dry-cured loin. *Meat Sci.* [consultado 2017 sep 8]. 75(2):315–323. eng. doi:10.1016/j.meatsci.2006.07.017.
- Nielsen S, 2010. *Food analysis laboratory manual*. 2nd ed. New York (EE.UU):Springer. ix, 177 p.
- Ogbadu L. 2014. *Encyclopedia of Food Microbiology: Traditional Preservatives-Wood Smoke*. Nigeria: Elsevier. 3era ed. 145 p.
- Ordoñez J. 2005. *Tecnología de Alimentos-Componentes de Alimentos y Procesos*. Porto Alegre (Brasil): Artmed. 4ta ed 980 p.
- Seher A. 1967. *Fremde Stoffe-Antioxydantien.: Handb. Lebensmittelchemie.* [place unknown]: [publisher unknown]. 952 p. 2 vol.
- Shahidi F. 2005. *Quality Assurance of Fats and Oils*. In: Bailey AE, Shahidi F, editors. *Bailey's industrial oil & fat products*. 6th ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons. p. 143-145
- Tarte R. 2009. *Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality and Applications: Properties, Functionality and Application*. Madison, Wisconsin: Springer. ISBN: 978-0-387-71236-7.

Tóth L, Potthast K. 1984. Chemical Aspects of the Smoking of Meat and Meat Products. In: Chichester CO, Mrak EM, Schweigert BS, editors. Advances in food research. Vol. 29. New York: Academic Press. p. 87–158 (Advances in Food Research).

Varlet V, Serot T, Cornet J, Monteau F, Le Bizec B, Prost C. 2007. Aldehídos volátiles en pescado ahumado: Métodos de análisis, ocurrencia y mecanismos de formación. *J. Sci. Food Agro.* [consultado 2017 feb 28]. 87(5):847–854. doi:10.1002/jsfa.2786.

White WH. 1944. Smoked meats: Development of rancidity in smoked and unsmoked wiltshire bacon during storage. *Can. J. Res.* [consultado 2017 oct 18]. 22f(5):97–106. doi:10.1139/cjr44f-013.

Wu H, Yan W, Zhuang H, Huang M, Zhao J, Zhang J. 2016. Oxidative stability and antioxidant enzyme activities of dry-cured bacons as affected by the partial substitution of NaCl with KCl. *Food Chem.* [consultado 2017 oct 3]. 201:237–242. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2016.01.025.

