



UNIVERSIDAD NACIONAL

PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TESIS

**“Evaluación del aceite esencial de limón (*Citrus aurantifolia* swingle)
como conservante natural en carne de cerdo (*Sus scrofa domesticus*)”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

AUTOR:

Bach. Rivas Yauce, Manuel Alberto

ASESOR:

Ing. M.Sc. Robles Ruiz, Juan Francisco

LAMBAYEQUE – PERÚ

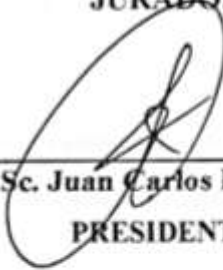
2018

“Evaluación del aceite esencial de limón (*Citrus aurantifolia* swingle)
Como conservante natural en carne de cerdo (*Sus scrofa domesticus*)”

ELABORADO POR:

Bach. Manuel Alberto Rivas Yauce

JURADO:



Ing. M.Sc. Juan Carlos Díaz Visitación

PRESIDENTE



Ing. M.Sc. Ronald A. Moreno Gutiérrez

SECRETARIO



Ing. Héctor Lorenzo Villa Cajavilca

VOCAL

ASESORADO POR:



Ing. M.Sc. Juan Francisco Robles Ruiz

ASESOR

Dedicatoria

*El presente trabajo de investigación se la dedico a mi **Dios** quien supo guiarme por el buen camino, darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmayar ante los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar los obstáculos con mente positiva y no desfallecer en el intento.*

*A mi **familia** a quienes les debo mi formación, para mis **padres** por su apoyo tanto económico como espiritual, para conseguir mis objetivos.*

*A mis queridos **compañeros** y **maestros** que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante 5 años de convivencia en las aulas de estudio.*

Atte.: Manuel Alberto Rivas Yauce

Agradecimiento

Agradezco a la vida por darme la oportunidad de estar en este mundo, en especial a mis padres **José Ricardo Rivas Arriaga** y **Rosa Yauce Chero**, quienes siempre me dieron su apoyo y cariño incondicional cuando lo necesite. A mis hermanas **Johana y Pamela**. A mi esposa **Yuliana** y **mi hijo Jorman**. A todos los **amigos, compañeros, docentes y personas** que me apoyaron de una u otra manera en la elaboración de la presente tesis.

A la **empresa AGROINDUSTRIAS AIB S.A.** por la confianza, el apoyo y el respaldo brindado hacia mi persona en la elaboración de la presente tesis.

¡A TODOS GRACIAS!

Atte.: Manuel Alberto Rivas Yauce

Resumen

En los últimos años se viene aplicando los avances químicos en la nutrición humana, es algo que está a la orden del día desde hace muchos años, tantos que ya casi se nos ha olvidado que existen sustancias naturales que pueden igualar a las químicas en cuanto a los efectos que poseen, y mejorar nuestra salud de manera considerable. Por este motivo, y para que podamos elegir otros métodos de conservación se realiza el presente trabajo de investigación, con el objetivo de evaluar el aceite esencial de limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) como conservante natural en carne de cerdo (*Sus scrofa domestica*).

Los ensayos experimentales se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias UNPRG, Laboratorio de aseguramiento de la Calidad de la empresa AGROINDUSTRIAS AIB S.A.

El Aceite esencial de limón se caracterizó físico químicamente presentando una densidad de 0,8719g/L, índice de Refracción 1,4835, Angulo de Refracción 34,90 y Aldehídos Como Citral 4,0%.

El mejor tratamiento seleccionado, luego de la evaluación sensorial, estadística y microbiológica es la solución (Aceite esencial de limón – Etanol) a 2000 ppm, la cual permitió mantener por más tiempo las características sensoriales y microbiológicas de la carne de Cerdo.

Abstract

In recent years chemical advances have been applied in human nutrition, it is something that has been the order of the day for many years, so many that we have almost forgotten that there are natural substances that can match chemicals in terms of the effects they have, and improve our health considerably. For this reason, and so that we can choose other conservation methods, the present research work is carried out, with the aim of evaluating the essential oil of lemon (*Citrus aurantifolia* Swingle) as a natural preservative in pork (*Sus scrofa domestica*).

The experimental tests were carried out in the laboratories of the Faculty of Chemical Engineering and Food Industries UNPRG, Quality Assurance Laboratory of the company AGROINDUSTRIAS AIB S.A.

Lemon essential oil was chemically characterized by a density of 0.8719 g / L, Refractive index 1.4835, Refraction angle 34.90 and Aldehydes As Citral 4.0%.

The best treatment selected, after the sensory, statistical and microbiological evaluation is the solution (Lemon essential oil - Ethanol) at 2000 ppm, which allowed the sensory and microbiological characteristics of pork meat to be maintained for longer.

Índice

| | Pág. |
|---|------------|
| Dedicatoria..... | iii |
| Agradecimiento..... | iv |
| Resumen..... | v |
| Abstract..... | vi |
| Introducción..... | 1 |
| Objetivo General..... | 2 |
| Objetivos Específicos..... | 2 |
| Antecedentes..... | 3 |
| I. Marco Teórico..... | 6 |
| 1.1 Limón..... | 6 |
| 1.1.1 Descripción del Limón Sutil..... | 6 |
| 1.1.2 Origen..... | 7 |
| 1.1.3 Características y Descripción Botánica..... | 7 |
| 1.1.4 Requerimientos de Suelos y Agua..... | 8 |
| 1.1.5 Propiedades Nutritivas y Curativas..... | 9 |
| 1.1.6 Usos y Alternativas de Procesamiento Agroindustrial..... | 10 |
| <i>1.1.6.1 Otros Productos Derivados del Jugo de Limón.....</i> | <i>11</i> |
| 1.2 Aceite Esencial..... | 11 |
| 1.2.1 Clasificación de los Aceites Esenciales..... | 13 |
| 1.2.1.1 Por su composición elemental..... | 13 |
| <i>1.2.1.1.1 Aceites esenciales pobres en oxígeno.....</i> | <i>13</i> |
| <i>1.2.1.1.2 Aceites esenciales ricos en oxígeno.....</i> | <i>13</i> |
| <i>1.2.1.1.3 Aceites esenciales sulfurados.....</i> | <i>14</i> |
| 1.2.1.2 Por su punto de Ebullición..... | 14 |
| <i>1.2.1.2.1 Aceites esenciales fijos.....</i> | <i>14</i> |
| <i>1.2.1.2.2 Aceites esenciales persistentes.....</i> | <i>14</i> |
| 1.2.1.3 Consistencia..... | 14 |
| <i>1.2.1.3.1 Esencias.....</i> | <i>14</i> |
| <i>1.2.1.3.2 Bálsamos.....</i> | <i>14</i> |
| <i>1.2.1.3.3 Resinas.....</i> | <i>15</i> |
| 1.2.1.4 Origen..... | 16 |
| <i>1.2.1.4.1 Naturales.....</i> | <i>16</i> |

| | | |
|-----------|---|----|
| 1.2.1.4.2 | <i>Artificiales</i> | 16 |
| 1.2.1.4.3 | <i>Sintéticos</i> | 17 |
| 1.2.1.5 | <i>Naturaleza Química</i> | 17 |
| 1.2.2 | Características Físicas de los Aceites Esenciales | 17 |
| 1.2.3 | Constitución de los aceites esenciales | 18 |
| 1.2.4 | Características Químicas de los Aceites Esenciales | 19 |
| 1.2.4.1 | <i>No Terpenoides</i> | 19 |
| 1.2.4.2 | <i>Terpenoides</i> | 19 |
| 1.2.4.2.1 | <i>Hidrocarburos Monoterpénicos</i> | 21 |
| 1.2.4.2.2 | <i>Alcoholes</i> | 22 |
| 1.2.4.2.3 | <i>Aldehídos</i> | 23 |
| 1.2.4.2.4 | <i>Fenoles</i> | 25 |
| 1.2.4.2.5 | <i>Éteres fenólicos</i> | 25 |
| 1.2.4.2.6 | <i>Cetonas</i> | 26 |
| 1.2.4.2.7 | <i>Éteres</i> | 27 |
| 1.2.4.2.8 | <i>Ésteres</i> | 27 |
| 1.2.5 | Procesos industriales aplicados a los aceites esenciales | 28 |
| 1.2.5.1 | <i>Métodos de obtención</i> | 28 |
| 1.2.5.1.1 | <i>Destilación por arrastre de vapor</i> | 29 |
| 1.2.5.1.2 | <i>Expresión del pericarpio</i> | 30 |
| 1.2.5.1.3 | <i>Disolución en grasa (enfleurage)</i> | 30 |
| 1.2.5.1.4 | <i>Extracción con disolventes orgánicos</i> | 30 |
| 1.2.5.1.5 | <i>Extracción con gases en condiciones supercríticas</i> | 31 |
| 1.2.5.2 | <i>Rectificación</i> | 33 |
| 1.2.5.3 | <i>Fraccionamiento</i> | 33 |
| 1.2.5.4 | <i>Desterpenado</i> | 33 |
| 1.2.5.5 | <i>Descerado</i> | 33 |
| 1.2.5.6 | <i>Filtrado</i> | 33 |
| 1.2.5.7 | <i>Reacciones químicas</i> | 34 |
| 1.2.5.8 | <i>Decoloración</i> | 34 |
| 1.2.5.9 | <i>Lavado</i> | 34 |
| 1.2.5.10 | <i>Estandarización</i> | 34 |
| 1.2.5.11 | <i>Aislamiento de productos específicos</i> | 34 |
| 1.2.6 | Usos de los aceites esenciales | 35 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 1.2.6.1 | <i>Industria alimentaria</i> | 36 |
| 1.2.6.2 | <i>Industria farmacéutica</i> | 36 |
| 1.2.6.3 | <i>Industria de cosméticos</i> | 36 |
| 1.2.6.4 | <i>Industria de productos de uso veterinario.</i> | 36 |
| 1.2.6.5 | <i>Desodorantes industriales.</i> | 37 |
| 1.2.6.6 | <i>Industria tabacalera.</i> | 37 |
| 1.2.6.7 | <i>Biocidas e insecticidas.</i> | 37 |
| 1.2.6.8 | <i>Propiedades físico-químicas de los aceites esenciales</i> | 38 |
| 1.3 | Aceite esencial de limón | 38 |
| 1.3.1 | Definición. | 38 |
| 1.3.2 | Usos. | 39 |
| 1.3.3 | Ubicación del aceite esencial en el limón sutil. | 40 |
| 1.3.4 | Obtención. | 40 |
| 1.3.4.1 | <i>Métodos de obtención del aceite.</i> | 41 |
| 1.3.4.1.1 | <i>Obtención del aceite destilado.</i> | 41 |
| 1.3.4.1.2 | <i>Obtención del aceite centrifugado tipo A (por prensado)</i> | 43 |
| 1.3.4.1.3 | <i>Obtención del aceite centrifugado tipo B (por raspado)</i> | 45 |
| 1.3.4.1.4 | <i>Obtención de la esencia</i> | 46 |
| 1.3.5 | Parámetros a analizar | 47 |
| 1.3.5.1 | <i>Determinaciones sensoriales.</i> | 47 |
| 1.3.5.1.1 | <i>Aspecto</i> | 47 |
| 1.3.5.1.2 | <i>Color.</i> | 47 |
| 1.3.5.1.3 | <i>Olor</i> | 47 |
| 1.3.5.1.4 | <i>Sabor</i> | 48 |
| 1.3.5.2 | <i>Determinaciones físicas.</i> | 48 |
| 1.3.5.2.1 | <i>Índice de refracción</i> | 48 |
| 1.3.5.2.2 | <i>Densidad relativa</i> | 48 |
| 1.3.5.2.3 | <i>Rotación óptica</i> | 49 |
| 1.3.5.2.4 | <i>Solubilidad en alcohol</i> | 50 |
| 1.3.5.2.5 | <i>Residuo a la evaporación</i> | 50 |
| 1.3.5.3 | <i>Determinaciones químicas.</i> | 50 |
| 1.3.5.3.1 | <i>Contenido de Compuestos Carbonílicos</i> | 50 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 1.3.5.3.2 | <i>Índice de Peróxido.</i> | 51 |
| 1.3.5.4 | Determinación con métodos instrumentales. | 51 |
| 1.3.5.4.1 | <i>Cromatografía de Gases.</i> | 51 |
| 1.3.5.4.2 | <i>Espectrofotometría en el Infrarrojo.</i> | 52 |
| 1.4 | Carne de cerdo. | 53 |
| 1.4.1 | El cerdo (<i>sus scrofa domesticus</i>) | 53 |
| 1.4.2 | Valor nutricional de la carne de cerdo. | 54 |
| 1.4.3 | Calidad e importancia de la carne de cerdo. | 57 |
| 1.4.3.1 | <i>Crianza del cerdo.</i> | 58 |
| 1.4.3.2 | <i>Calidad de la carne de cerdo.</i> | 59 |
| 1.4.4 | Microbiología de la carne. | 60 |
| 1.4.4.1 | <i>Contaminación de la carne.</i> | 61 |
| 1.4.4.2 | <i>Condiciones para la proliferación microbiana.</i> | 64 |
| 1.4.4.2.1 | <i>Actividad de agua (Aw).</i> | 64 |
| 1.4.4.2.2 | <i>Potencial de óxido-reducción (Eh).</i> | 65 |
| 1.4.4.2.3 | <i>pH.</i> | 66 |
| 1.4.4.2.4 | <i>Necesidades nutritivas.</i> | 66 |
| 1.4.4.2.5 | <i>Temperatura.</i> | 67 |
| II. | Marco metodológico. | 68 |
| 2.1 | Área de ejecución. | 68 |
| 2.2 | Población y muestra. | 68 |
| 2.2.1 | Universo. | 68 |
| 2.2.2 | Muestra. | 68 |
| 2.3 | Variable de estudio. | 68 |
| 2.3.1 | Variable dependiente. | 68 |
| 2.3.2 | Variables independientes. | 69 |
| 2.4 | Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos. | 69 |
| 2.4.1 | Equipos y materiales de laboratorio. | 69 |
| 2.4.1.1 | Reactivos. | 69 |
| 2.4.1.2 | Materiales. | 69 |
| 2.5 | Método de análisis. | 70 |
| 2.5.1 | Análisis físico químico. | 70 |
| 2.5.2 | Análisis microbiológicos. | 72 |
| 2.6 | Metodología Experimental. | 72 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.6.1 | Caracterización del Aceite esencial de limón..... | 72 |
| 2.6.2 | Caracterización de la carne de cerdo..... | 73 |
| 2.6.3 | Evaluación de los tratamientos..... | 73 |
| 2.6.4 | Análisis estadístico..... | 74 |
| III. | Resultados y Discusiones..... | 75 |
| 3.1 | Caracterización del aceite esencial de limón..... | 75 |
| 3.2 | Caracterización de la carne de cerdo..... | 77 |
| 3.2.1 | Análisis físico químico..... | 77 |
| 3.2.2 | Análisis sensorial de la carne de cerdo..... | 79 |
| 3.2.3 | Determinación microbiológica de la carne de cerdo..... | 80 |
| 3.3 | Evaluación de los tratamientos..... | 81 |
| IV. | Conclusiones..... | 86 |
| V. | Recomendaciones..... | 87 |
| VI. | Referencias bibliográficas..... | 88 |
| VII. | Anexos..... | 95 |
| 7.1 | ANEXO N° 01: Controles de Temperatura a la que se mantuvieron las muestras de carne..... | 95 |
| 7.2 | ANEXO N° 02: Muestras de carne de cerdo en el Día 1, 4 y 7 a diferentes Concentraciones de Aceite Esencial de Limón..... | 96 |
| 7.3 | ANEXO N° 03: Prueba para valoración de calidad con la escala de karlsruhe..... | 99 |
| 7.4 | ANEXO N° 04: Resultados de análisis físico químico y microbiológicos realizados al aceite esencial de limón..... | 100 |
| 7.5 | ANEXO N° 05: Resultados de análisis físico químico aplicados a la carne de cerdo..... | 101 |
| 7.6 | ANEXO N° 06: Resultados de análisis microbiológicos aplicados a la carne de cerdo a diferentes concentraciones en ppm de aceite esencial de limón..... | 102 |
| 7.7 | ANEXO N° 07: Criterio microbiológico aceptada por DIGESA para carnes congeladas..... | 111 |
| 7.8 | ANEXO N° 08: diagrama de flujo para el acondicionamiento de la carne de cerdo y la solución en ppm utilizada..... | 112 |
| 7.9 | ANEXO N° 09: Tabla de conversión ppm a ml/l (ml aceite esencial/litro de etanol) y %..... | 113 |

Índice de figuras

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1 Partes del Limón (<i>citrus aurantifolia swingle</i>) | 6 |
| Figura 2 Grupo Funcional del Limoneno | 21 |
| Figura 3 Grupo Funcional del Linalol | 23 |
| Figura 4 Grupo Funcional del Citral | 24 |
| Figura 5 Grupo Funcional del Eugenol | 25 |
| Figura 6 Grupo Funcional del Safrol | 26 |
| Figura 7 Grupo Funcional de Carvona | 26 |
| Figura 8 Grupo Funcional del Cineol | 27 |
| Figura 9 Grupo Funcional del Acetato de Linalilo | 28 |
| Figura 10 esquema de una prensa de tornillo | 41 |
| Figura 11 Esquema del Equipo para la Destilación del Aceite Esencial | 42 |
| Figura 12 Tambor de una Centrifuga a Discos | 44 |
| Figura 13 Evolución de la Carne de Cerdo con Respecto a la Cantidad de Grasa | 60 |
| Figura 14 Diseño experimental para evaluación de los tratamientos | 73 |
| Figura 15: composición físico química de la carne de cerdo | 78 |
| Figura 16 Controles de Temperatura a la que se Mantuvieron las Muestras | 95 |
| Figura 17 Apariencia de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones en el Día 1 | 96 |
| Figura 18 Apariencia de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones en el Día 4 | 97 |
| Figura 19 Apariencia de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones en el Día 7 | 98 |
| Figura 20 Certificado de Calidad del Aceite Esencial de Limón con Respecto al Análisis Físico Químico y Microbiológico realizado | 100 |
| Figura 21 Certificado de Análisis Físico Químico Realizado a la Carne de Cerdo | 101 |
| Figura 22 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra Sin Aceite Esencial de Limón | 102 |
| Figura 23 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 500 ppm de Aceite Esencial de Limón | 103 |
| Figura 24 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 1000 ppm de Aceite Esencial de Limón | 104 |
| Figura 25 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 1500 ppm de Aceite Esencial de Limón | 105 |

| | |
|---|-----|
| Figura 26 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 2000 ppm de Aceite Esencial de Limón | 106 |
| Figura 27 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 2500 ppm de Aceite Esencial de Limón..... | 107 |
| Figura 28 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 3000 ppm de Aceite Esencial de Limón..... | 108 |
| Figura 29 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 3500 ppm de Aceite Esencial de Limón | 109 |
| Figura 30 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones de Aceite Esencial de Limón, Análisis de <i>Salmonella sp</i> | 110 |
| Figura 31 Diagrama de flujo para el acondicionamiento de la carne de cerdo y la solución en ppm utilizada para cada muestra..... | 112 |

Índice de tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla N° 01 <i>Características Del Limón</i> | 7 |
| Tabla N° 02 <i>Valor Nutritivo del Limón en una Muestra de 100 g.</i> | 10 |
| Tabla N° 03 <i>Grupos Funcionales de cada Categoría</i> | 21 |
| Tabla N° 04 <i>Industrias usuarias de productos aromáticos naturales y aceites esenciales.</i> | 35 |
| Tabla N° 05 <i>Cuadro Valor Nutritivo de la Carne de Cerdo</i> | 57 |
| Tabla N° 06 <i>Métodos de determinación físico químicos</i> | 71 |
| Tabla N° 07 <i>Métodos de análisis microbiológicos</i> | 72 |
| Tabla N° 08 <i>Caracterización del Limón sutil (Citrus aurantifolia Swingle)</i> | 75 |
| Tabla N° 09 <i>Caracterización del Aceite esencial de limón</i> | 76 |
| Tabla N° 10 <i>Caracterización de la carne de cerdo (Sus scrofa domesticus)</i> | 78 |
| Tabla N° 11 <i>Evaluación sensorial de la carne de cerdo</i> | 79 |
| Tabla N° 12 <i>Resultados de los análisis microbiológicos aplicados a la carne de cerdo (Sus scrofa domesticus)</i> | 80 |
| Tabla N° 13 <i>Evaluación del efecto de la concentración de aceite esencial de limón sobre la presencia de Salmonella sp en la carne de cerdo</i> | 81 |
| Tabla N° 14 <i>Evaluación del efecto de la concentración de aceite esencial de limón sobre el número de microorganismos mesófilos viables en la carne de cerdo</i> | 82 |
| Tabla N° 15 <i>Análisis de varianza del recuento microbiológico de la carne de cerdo</i> ... | 83 |
| Tabla N° 16 <i>Grupos formados según Tukey</i> | 84 |
| Tabla N° 17 <i>Tabla de conversión ppm a ml/l (ml aceite esencial/litro de etanol) y %</i> | 113 |

Introducción

La seguridad alimentaria es un tema cada vez más importante, en la salud pública y en la conservación de productos alimentarios, debido a los últimos años por brotes de enfermedades transmitidas por alimentos han impulsado una búsqueda de formas innovadoras para inhibir el crecimiento microbiano en alimentos (Ochoa *et al.*, 2011) por lo tanto las toxiinfecciones alimentarias provocadas por los microorganismos patógenos de *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp*, entre otros, tienen una gran importancia en países por el gran número de personas infectadas y por la industrialización de alimentos que favorecen la diseminación de patógenos.

Existen pues razones poderosas para evitar la alteración de los alimentos. Además de los métodos físicos, existen asociaciones con sustancias químicas que causan la muerte de los microorganismos o que al menos evitan su crecimiento, pero también pueden causar daño en la salud de las personas (Tiwari *et al.* 2009).

Hoy en día, los hábitos de consumo reconocen la importancia del uso de sustancias naturales que puedan prolongar la vida útil de los alimentos, es por ello que cada vez cobran más importancia y se está investigando el uso de aceites esenciales que puedan ser aplicadas sin efectos colaterales a la salud del consumidor (Boskovic *et al.*, 2015).

El aceite esencial es una sustancia altamente aromática o sustancias olorosas obtenidas a partir de plantas mediante destilación en corriente de vapor por expresión del material vegetal. Proviene fundamentalmente del metabolismo secundario de los vegetales superiores en los que ejercen funciones de defensa y atracción. Se caracterizan por ser una mezcla compleja de varios compuestos de aromas volátiles pertenecientes a diferentes clases de la química orgánica: hidrocarburos (compuestos terpénicos), alcoholes,

aldehídos, cetonas, esteres, éteres y fenoles. Los aceites esenciales son producto 100% naturales libres de residuos de solvente y pesticidas. La función conservadora de los aceites esenciales, se basa en su composición debido a la presencia de compuestos tipo citral con poder antimicrobiano y que podemos encontrarlo en la corteza del limón (Mendoza, 2005)

Las carnes son las fuentes más probables de infección o de contaminación, (Durango, Arrieta y Mattar, 2004) por lo tanto la carne de cerdo es un producto alimenticio que representa un potencial, por su alto valor nutricional en contenido de proteínas y relevantes características sensoriales hacen que la carne de cerdo sea muy apreciada para el consumo humano local y extranjero; esto implica mantenerlos en estado fresco refrigerado, resulta difícil mantener la carne en estado fresco por la proliferación de bacterias y la contaminación de *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp*, que se encuentran en el tracto intestinal de los animales que son contaminantes durante el beneficio del animal, en muchos casos suele ocurrir una contaminación cruzada y proliferarse restando la inocuidad de la carne, consecuentemente un riesgo para la salud del consumidor. Por ello se consideró realizar el presente trabajo de investigación, planteándonos los siguientes objetivos:

Objetivo General

Evaluar el aceite esencial de limón como conservante natural en carne de cerdo

Objetivos Específicos

Realizar análisis fisicoquímico, microbiológico y organoléptico de la carne de cerdo y análisis fisicoquímico al limón.

Evaluar los tratamientos estadísticamente para seleccionar el más eficiente.

Caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial de limón

Antecedentes

Fisher (2008) en su revista titulada *Food Science & Technology* En la edición N° 19 de febrero se publica un artículo en el cual sus autores proponen el uso de los aceites esenciales de citrus que ya se utilizan en alimentos, específicamente, los de naranja, limón, lima y pomelo, que han demostrado tener un efecto inhibidor del crecimiento de bacterias tanto gram (+) como gram (-), además de ser seguras.

Por supuesto existen interrogantes acerca del uso de estas sustancias, como por ejemplo el efecto de estos compuestos sobre la flora microbiana intestinal normal. Sin embargo, dado que los aceites de citrus mencionados anteriormente ya se utilizan en alimentos como saborizantes, se supone que no deben producir un desbalance en la microflora.

Hasta el momento se ha investigado la utilización de estos aceites esenciales en algunos alimentos, tales como pescados, carnes.

- Pescado: La aplicación de Citral y linalool redujo la microflora en piel, intestinos y branquias de pescado (carpas) conservada a 20°C por 48 horas.
- Carne: Se aplicaron esencias de limón y naranja en polvo a albóndigas en una concentración del 5%, demostrándose su efectividad contra los microorganismos más frecuentes de la carne durante 12 días.
- Lácteos: Los paneles de degustación indicaron que solamente sería aceptable el uso de las esencias de limón, naranja y pomelo en leche. Sin embargo, solo el terpineol resultó ser efectivo contra la *Salmonella senftenberg*, *E. coli*, *S. aureus* y *Pseudomonas* spp.

Julio M. y Rodríguez E. (2011) en su investigación de la Universidad de Cartagena – Cartagena y titulada “Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial extraído de la candia (*hibiscus esculentus*) aplicada a la conservación de hamburguesa de res”

concluyo que los extractos de candia (*hibiscus esculentus*) obtenidos por arrastre de vapor, poseen propiedades antioxidantes y conservantes, además no afectan notoriamente las características sensoriales de un producto cárnico como la hamburguesa de res conservada a 4 ± 0.5 °C.

La adición de AE a la hamburguesa disminuyo la carga microbiana y la oxidación de dicho producto, (medida por los niveles de TBA). por lo cual podría ser utilizado como un agente antimicrobiano y antioxidante de origen natural que mejore la calidad de los productos cárnicos como la hamburguesa de res.

El uso de AE no puede sustituir las buenas prácticas de manufactura (BPM) necesarias para la elaboración de una hamburguesa de res.

Su efecto está comprobado que es dependiente de la concentración del AE agregado y de la carga microbiana inicial del producto.

Astudillo S. (2014) en su investigación de la Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador y titulada “Utilización de Aceites Esenciales naturales como conservantes en la elaboración de salchichas de Pollo” concluye que es posible utilizar aceites esenciales de especies empleadas en alimentos como conservantes en sustitución de los preservantes de síntesis química como son el Sorbato de potasio, ácido sorbico y benzoato de sodio utilizados como bactericida en la elaboración del pastón cárnico.

La extracción y obtención de los aceites esenciales por métodos tradicionales, arrastre de vapor son sencillos y se obtiene un buen rendimiento.

En las dos pruebas elaboradas tanto en el control microbiológico, como en el organoléptico, se comprobó el efecto bactericida de los aceites esenciales. Lo cual se

demostró con el análisis microbiológico de UFC/g de mesofilos totales de la muestra blanco (sin conservante), que presento un elevado recuento bacteriano siendo la muestra má contaminada.

Hernández J. (2009) en su investigación de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” – México y Titulada “Microencapsulación del aceite esencial de Oregano (*Lippia berlandieri Schauer*) para su aplicación en la conservación de la carne de res” concluyo que para el experimento realizado con la inoculación de la bacteria *Cl. perfringens* inoculado directo a la carne seguida de la aplicación del gel ya conteniendo sus diversas fracciones de aceite esencial de orégano, el tratamiento que mostro un mejor efecto fue el gel con 0.15% AE, a las 96 hrs.

En cuanto a la inoculación de la bacteria *Cl. perfringens* directo en el gel con diferentes concentraciones de aceite esencial, el tratamiento que resulto tener mejor efecto fue el gel con 0.05% AE a las 24 hrs. Esto se refleja de una manera muy positiva en cuanto a costo – beneficio, porque esta fue la concentración más pequeña que se utilizó.

Las características organolépticas de las muestras de carne tratadas con las diversas concentraciones efectivas de aceite esencial de orégano presentaron mucho menor deterioro con respecto al testigo.

I. Marco Teórico

1.1 Limón

1.1.1 Descripción del Limón Sutil.

Guerrero *et al.* (2012), menciona que al limón es también llamada lima ácida, lima gallega, limón ceutí, limón mexicano, limón peruano, limón criollo o limón de pica.

Su nombre científico es *Citrus Aurantifolia Swingle*.

El limón está compuesto de 3 partes, el flavedo o exocarpio, albedo o mesocarpio y endocarpio:

- El flavedo es una capa delgada que posee los pigmentos que cambian de color durante la maduración de verde a amarillo, de gran aroma debido a los compuestos terpénicos que componen los aceites esenciales que allí se encuentran.
- El albedo es la parte blanca que contiene pectinas que le confieren firmeza a la corteza. A medida que el fruto va madurando el albedo tiende a degradarse por acción enzimática, debido a esto cosechan los cítricos en estado inmaduro (verde) para obtener el mayor rendimiento y calidad de pectina.
- El endocarpio está formado por la pulpa que contiene las vesículas con el jugo. El endocarpio se encuentra dividido por el séptum formando de 10-14 gajos en ellos se encuentran las semillas, 10 aproximadamente por limón ubicadas alrededor del eje central (Espinoza, 2009).



Figura N° 01 Partes del Limón (*citrus aurantifolia swingle*), recuperada de Espinoza, (2009)

1.1.2 Origen.

El origen histórico del cítrico se encuentra hace unos veinte millones de años, en la era terciaria, pero aquellas variedades, poco se parecen a las actuales naranjas dulces (Guerrero *et al*, 2012).

Los cítricos se cultivan desde hace más de 4 000 años. Sus frutos al parecer atrajeron la atención de los pobladores primitivos, quienes se encargaron de cultivarlos mucho tiempo antes de que aparecieran en los países europeos a donde fueron llevados por los primeros viajeros gracias a la cautivante apariencia de su fruta y sus flores (Guerrero *et al*, 2012).

Las numerosas especies del género *Citrus* provienen de las zonas tropicales y subtropicales de Asia y del archipiélago Malayo. El área comúnmente asociada a su origen se encuentra ubicada en el sudeste de Asia, incluyendo el este de Arabia, este de Filipinas y desde el Himalaya al sur hasta Indonesia (Guerrero *et al*, 2012).

1.1.3 Características y Descripción Botánica.

Tabla N° 01

Características Del Limón

| Características | Descripción |
|---------------------------|---|
| Reino | Vegetal |
| Clase | Angiospermae |
| Orden | Rutae |
| Familia | Rutaceae |
| Género | <i>Citrus</i> |
| Subgénero | Eucitrus |
| Especie | <i>Citrus aurantifolia Swingle</i> |
| Periodo Vegetativo | A los 5 años del injerto se obtiene la primera cosecha |
| Nombres Comunes | Limón criollo, lima mexicana, lima ácida, lima chica, lima boba, limón chiquito, limón corriente, limón agria |

Nota. Puente (2006)

Puente, (2006) nos dice que el limón sutil es un árbol pequeño o arbusto de 4 a 5 m de altura, con tronco a menudo torcido y ramas con espinas axilares cortas y duras. Hojas oblongo-ovales o elíptico-ovales de 2,5 a 9 cm de longitud y 1,5 a 5,5 cm de ancho. Base redondeada y ápice ligeramente recortado. Márgenes ligeramente crenulados. Pecíolos notablemente alados.

Flores blancas de 1,5 a 2,5 cm de diámetro, fragantes, que se disponen en Inflorescencias axilares de 1 a 7 flores (Puente, 2006).

Frutos ovales o globosos con un ápice ligeramente deprimido, de color verde Oscuro al principio pasando a verde amarillento o amarillo en la madurez. Mide 3,5 a 5 cm de diámetro o más. Su piel es delgada y se rompe fácilmente. La pulpa es verdosa, jugosa, muy ácida. Semillas pequeñas, ovales altamente poliembriónicas (producen dos o más plantas por semilla). Fue introducida en América desde los primeros viajes de Colón (Sánchez, 2005).

1.1.4 Requerimientos de Suelos y Agua.

Guerrero *et al* (2012) indica que, para los cítricos, el suelo debe ser de naturaleza franca y con buen drenaje; que además comprenda al subsuelo. Así para un correcto desarrollo de las raíces, lo suelos deben tener al menos 1 m de profundidad.

Dentro de un rango de pH que va desde 5 a 8,5; las condiciones de suelo más adecuado para el cultivo son aquellos con pH entre 6 y 7. Cuando la reacción del suelo sobrepasa el pH 8,5; mayor será la presencia de sales de sodio, tóxicas para los cítricos (Guerrero *et al* 2012).

Además, la acidez o alcalinidad del agua de riego (pH), es una limitante especialmente en el fertirriego, ya que hay peligro que se presenten precipitados de calcio y magnesio o de contribuir a que se incremente el pH del suelo a niveles en

que los nutrientes no puedan aprovecharse, este peligro se presenta con pH mayores que 8.0 (Guerrero *et al* 2012).

1.1.5 Propiedades Nutritivas y Curativas

Guerrero *et al* (2012) El Limón ocupa un primer lugar dentro los frutos curativos, preventivos y de aporte vitamínico, por ser un gran eliminador de toxinas y poderoso bactericida,

Guerrero *et al* (2012) menciona algunas de sus propiedades nutritivas que se listan a continuación:

- Debido a la vitamina C presente en abundancia, se refuerza las defensas del organismo para evitar enfermedades, sobre todo de las vías respiratorias que van desde un simple catarro, ronquera, amigdalitis, hasta pulmonías, bronquitis, congestiones, gripe, pleuresías, asma etc. Además, la vitamina C posee gran poder desinfectante, así como una acción antitóxica frente a los venenos microbianos y medicamentosos.
- Junto a la vitamina C se encuentra la vitamina P que ayuda a tonificar los capilares y vasos sanguíneos.
- Ayuda a cicatrizar heridas de todo tipo, aplicándolo interior y exteriormente. El limón es muy rico en minerales entre los que se destacan potasio, magnesio, calcio y fósforo (contiene también sodio, hierro y flúor).
- Cuenta con algunas vitaminas del complejo B (B1, B2, B3, B5, B6).
- Es bueno en casos de hipertensión, arteriosclerosis y enfermedades cardiovasculares (activando la circulación de la sangre), en casos de diabetes colabora en evitar complicaciones relacionadas con las arterias. Previene la formación de cálculos renales y puede llegar a disolverlos lentamente.

Tabla N° 02

Valor Nutritivo del Limón en una Muestra de 100 g.

| Valores Nutritivos del Limón (100 g) | |
|---|--------|
| Calorías | 6 gr |
| Carbohidratos | 0,6 gr |
| Potasio | 96 mg |
| Sodio | 1 mg |
| Vitamina A | < 2 gr |
| Vitamina C | 34 mg |
| Ácido fólico | 6 mg |
| Calcio | 2% |
| Hierro | 2% |

Nota. Guerrero *et al* (2012)

1.1.6 Usos y Alternativas de Procesamiento Agroindustrial.

(Arraiza, 2000). Menciona que a los productos elaborados de limón cumplen con varios Pasos comunes, sin importar el producto final que se busca obtener. Dependiendo con el subproducto que se desea, se añadirán etapas al proceso básico.

- Aceite esencial de limón. - Producto que se puede obtener de la cutícula de la cáscara del limón o de destilar el limón completo, siendo el proveniente de éste último el de mayor calidad.

El aceite del limón puede ayudar a estimular el sistema inmunológico.

También auxilia a los sistemas digestivo, glandular y circulatorio. Este aceite tiene usos diversos: refrescante, desodorante, germicida, anti espasmolítico, y mejora la atención y el poder de concentración. Adicionalmente, se utiliza en la fabricación de bebidas no alcohólicas, gaseosas, y aquellos aceites con un contenido de Citral y de terpeno más elevado, se utilizan en la industria farmacéutica y de cosméticos. El aceite esencial de limón es foto tóxico, por esto, no debe aplicarse sobre la piel que se expondrá directamente a la luz solar.

Se identifican dos categorías de aceites esenciales de limón, cada una de las cuales tiene distintos usos:

- Aceite esencial destilado. - Se usa para la elaboración de jarabe que sirve de base para la elaboración de refrescos de cola y los de tipo lima-limón, sabores para galletas, dulces y medicamentos entre otros.
- Aceite esencial centrifugado. - Se utiliza como saborizante y aromatizante en la industria alimentaria y de cosméticos, en la elaboración de fragancias para la industria de perfumes.

1.1.6.1 Otros Productos Derivados del Jugo de Limón.

- Jugo concentrado de limón. - Se utiliza como saborizante en la industria de bebidas no alcohólicas y gaseosas.
- Los jugos que han sido sometidos a procesos de filtración sirven para la elaboración de limonada o cualquier otra bebida opaca o con color, en tanto que los jugos filtrados (clarificados) se utilizan en bebidas transparentes.
- Cáscara deshidratada de limón sutil. - Producto que se obtiene en un proceso de deshidratación después de una extracción de jugo y aceite. La cáscara deshidratada de limón sutil es uno de los principales insumos empleados en la fabricación de pectina, la cual es utilizada en la industria alimenticia como espesante y texturizante en las industrias alimentaria y farmacéutica, principalmente como aglutinante.

1.2 Aceite Esencial

Los aceites esenciales son compuestos formados por varias sustancias orgánicas volátiles, que pueden ser alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos, y que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas (Arraiza, 2000).

Normalmente son líquidos a temperatura ambiente, y por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos. En general son los responsables del olor de las plantas (Arraiza, 2000).

Los aceites esenciales son mezclas de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas; en su composición química entran hidrocarburos del grupo de los terpenos, junto con compuestos oxigenados de bajo peso molecular (alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos), que son los que les dan a los aceites esenciales el aroma que los caracteriza (García, 2017).

Se definen, según (Arraiza, 2000), como: Productos obtenidos a partir de una materia prima vegetal, bien por arrastre con vapor, bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los Citrus, o bien por destilación seca. El aceite esencial se separa posteriormente de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros modos de obtención; puede sufrir tratamientos físicos que no originen cambios significativos en su composición, por ejemplo, re destilación, aireación.

Esta definición establece claramente las diferencias que existen entre los aceites esenciales medicinales (que se usa en medicina) y otras sustancias aromáticas empleadas en farmacia y perfumería conocidas vulgarmente como esencias (Arraiza, 2000).

Están ampliamente distribuidos en coníferas (pino, abeto), mirtáceas (eucaliptus), rutáceas (*Citrus spp*), compuestas (manzanilla), si bien las plantas con aceites esenciales se ubican principalmente en las familias de las Labiadas (menta, lavanda, tomillo, espliego, romero) y las umbelíferas (anís, hinojo) Pueden estar en diferentes órganos: raíz, rizoma (jengibre), leño (alcanfor), hoja (eucaliptus), fruto (anís), sumidades floridas (F. Labiatae) (Arraiza, 2000).

La composición varía con el lugar de origen. También varía con el hábitat en que se desarrolle, (por lo general climas cálidos tienen mayor contenido de aceites esenciales), el momento de la recolección, el método de extracción (Arraiza, 2000).

Entre las principales propiedades terapéuticas debidas a la presencia de aceites esenciales, cabe destacar la antiséptica (durante muchísimos años estas especies vegetales se han empleado como especias, no solo para dar sabor sino también para conservar los alimentos); antiespasmódica; expectorante; carminativa y eupéptica (Arraiza, 2000).

Se debe tener en cuenta que algunos aceites esenciales, sobre todo a dosis elevadas, son tóxicos, principalmente a nivel del sistema nervioso central. Otros, como el de ruda o enebro, se considera que poseen propiedades abortivas. Algunos también pueden ocasionar problemas tópicos, irritación o alergias (Arraiza, 2000).

Además de sus propiedades terapéuticas, los aceites esenciales tienen un gran interés industrial en la industria farmacéutica, en alimentación y sobre todo en perfumería (Arraiza, 2000).

1.2.1 Clasificación de los Aceites Esenciales.

(Arraiza, 2000), menciona que los aceites esenciales se pueden clasificar en base a diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

1.2.1.1 *Por su composición elemental.*

1.2.1.1.1 *Aceites esenciales pobres en oxígeno.*

Como los aceites esenciales de trementina, limón, bergamota, romero, eucalipto, Ciprés (*Cupressus sempervirens*), tomillo, laurel, naranja, etc.

1.2.1.1.2 Aceites esenciales ricos en oxígeno.

Como los aceites esenciales de anís, hinojo, comino, menta, manzanilla, rosas, violeta, etc.

1.2.1.1.3 Aceites esenciales sulfurados.

Como los aceites esenciales de ajo, cebolla, mostaza, etc. (García, 2017).

1.2.1.2 Por su punto de Ebullición.

1.2.1.2.1 Aceites esenciales fijos.

Son comúnmente llamados “fijadores” su frecuencia ondulatoria es muy amplia, y su peso molecular generalmente elevado. Se incluye en este grupo a los productos balsámicos y a los aceites resinosos.

1.2.1.2.2 Aceites esenciales persistentes.

Son más volátiles que los anteriores. Su acción dura varios días e imprime un carácter especial a los perfumes (García, 2017).

1.2.1.3 Consistencia.

(Arraiza, 2000), clasifica a los aceites esenciales de acuerdo a su consistencia:

1.2.1.3.1 Esencias.

Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

1.2.1.3.2 Bálsamos.

Los bálsamos son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol. Se caracterizan por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes ésteres. Son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir

reacciones de polimerización, son ejemplos el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, Benjuí, bálsamo de Tolú, Estoraque, etc.

1.2.1.3.3 Resinas.

Dentro del grupo de las resinas podemos encontrar a su vez una serie de posibles combinaciones o mezclas:

- Resinas, son productos amorfos sólidos o semisólidos de naturaleza química compleja. Pueden ser de origen fisiológico o fisiopatológico. Por ejemplo, la colofonia, obtenida por separación de la oleorresina trementina. Contiene ácido abiético y derivados.
- Oleorresinas, son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales. Por ejemplo, la trementina, obtenida por incisión en los troncos de diversas especies de *Pinus*. Contiene resina (colofonia) y aceite esencial (esencia de trementina) que se separa por destilación por arrastre de vapor. También se utiliza el término oleorresina para nombrar los extractos vegetales obtenidos mediante el uso de solventes, los cuales deben estar virtualmente libres de dichos solventes. Se utilizan extensamente para la sustitución de especias de uso alimenticio y farmacéutico por sus ventajas (estabilidad y uniformidad química y microbiológica, facilidad de incorporar al producto terminado). Éstos tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (oleorresina de pimentón, pimienta negra, clavo, etc.) (Arraiza, 2000).

- Gomorresinas, son extractos naturales obtenidos de un árbol o planta. Están compuestos por mezclas de gomas y resinas.

1.2.1.4 Origen.

De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como:

1.2.1.4.1 Naturales.

Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas (Arraiza, 2000).

Se obtienen directamente de la naturaleza, generalmente son de origen vegetal, aunque pueden ser de origen animal. Pueden ser productos de secreción o de algunos estados patológicos (García, 2017)

1.2.1.4.2 Artificiales.

Los artificiales se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín, enriquecidas con Linalol, o la esencia de anís enriquecida con Anetol (Arraiza, 2000).

Son la mezcla de los aceites esenciales y sintéticos, son de aroma análogo al de los aceites naturales. Se les clasifica en dos subgrupos: los productos extraídos a partir de aceites esenciales; caso de geraniol, acetol y mentol y los obtenidos por síntesis química, caso de la vainilla, la hemotropina (García, 2017).

1.2.1.4.3 Sintéticos.

Los aceites esenciales sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.) (Arraiza, 2000).

Son productos de síntesis orgánicas y pueden obtenerse a partir de los componentes obtenidos de los diversos aceites esenciales, como de compuestos ajenos a estos. Pertenecen a este grupo las yanonas con olor a violeta, que son muy empleadas en perfumería (García, 2017).

1.2.1.5 Naturaleza Química.

El contenido total en aceites esenciales de una planta es en general bajo (inferior al 1%) pero mediante extracción se obtiene en una forma muy concentrada que se emplea en los diversos usos industriales.

La mayoría de ellos, son mezclas muy complejas de sustancias químicas. La proporción de estas sustancias varía de un aceite a otro, y también durante las estaciones, a lo largo del día, bajo las condiciones de cultivo y genéticamente (Arraiza, 2000).

1.2.2 Características Físicas de los Aceites Esenciales.

(Arraiza, 2000), Indica las siguientes Características físicas de los Aceites Esenciales:

- Los aceites esenciales son volátiles y son líquidos a temperatura ambiente.
- Recién destilados son incoloros o ligeramente amarillos.

- Su densidad es inferior a la del agua (la esencia de sasafrás o de clavo constituyen excepciones).
- Casi siempre dotados de poder rotatorio, tienen un índice de refracción elevado.
- Son solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos habituales, como éter o cloroformo, y alcohol de alta gradación.
- Son liposolubles y muy poco solubles en agua, pero son arrastrables por el vapor de agua.

1.2.3 Constitución de los aceites esenciales

Según Braverman (1980), los aceites esenciales están constituidos por muchas clases de compuestos químicos, algunos con un solo componente en alto porcentaje y otros por mezclas complejas de compuestos acíclicos, aromáticos, etericíclicos, y sus derivados oxigenados, etc.

Químicamente la mayor parte de todos los aceites esenciales consisten en terpenoides, sus derivados oxigenados y una pequeña cantidad de residuos no volátiles (estearoptenos).

Dada esta definición, los carotenoides pertenecerían a este grupo, de hecho numerosos textos clasifican a los carotenoides como un grupo especial de sustancias terpenoides.

Algunos compuestos aromáticos de los aceites esenciales: aldehídos y esterres tienen una estructura lineal. Pero se da el caso, de que todos los aceites esenciales pertenecen a la clase terpenoides, cuyos miembros más simples son los terpenos de formula general $C_{10}H_{16}$. Según esta clasificación la vitamina A es un diterpeno y los carotenoides, que tienen todos 40 átomos de carbono, tetraterpenos. El caucho, un polímero mayor con estructura isopnoide, sería un politerpeno. En los mono, esquí, di, y serterpenoides, las unidades isoprenicas se encuentran unida cabeza a

cola. En los triterpenos, dos estructuras sesquiterpenoides están vinculadas cola a cola (García, 2017).

La cadena puede ser abierta (terpenos acíclicos) o cerrada con uno o varios anillos (terpenos cíclicos). Los nombres por lo que se designan a los terpenoides sugieren su fuente natural más común, con un sufijo adicional que designa la función química principal de la molécula.

No se emplean los nombres sistemáticos. Así, el mentano es un alcano saturado, el limoneno es un alqueno (contiene dobles ligaduras), el mentol es un alcohol, la carvona es una cetona y el citral es un aldehído.

1.2.4 Características Químicas de los Aceites Esenciales.

La composición química de los aceites esenciales es muy compleja, los metabolitos secundarios volátiles se pueden clasificar en base a los grupos funcionales que contienen sus moléculas (García, 2017).

Los componentes de los aceites se clasifican en terpenoides y no terpenoides (Arraiza, 2000).

1.2.4.1 No Terpenoides.

En este grupo tenemos sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. No son tan importantes como los terpenoides en cuanto a sus usos y aplicaciones (Arraiza, 2000).

1.2.4.2 Terpenoides.

Son los más importantes en cuanto a propiedades y comercialmente.

Los terpenos son una clase de sustancia química que se halla en los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de muchas plantas, como los pinos y muchos cítricos. Principalmente encontramos en los aceites

monoterpenos (C₁₀), aunque también son comunes los sesquiterpenos (C₁₅) y los diterpenos (C₂₀). Pueden ser alifáticos, cíclicos o aromáticos (Arraiza, 2000).

Los terpenos forman una amplia familia de compuestos químicos; estrictamente hablando, son hidrocarburos cíclicos y acíclicos cuyas formulas moleculares son múltiplos del isopreno C₅H₈.



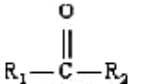
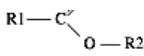
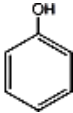
Generalmente se extiende tal definición para incluir alcoholes, aldehídos, cetonas y otros derivados, que poseen el mismo esqueleto carbonado del hidrocarburo terpenico fundamental; semejantes compuestos son llamados más propiamente terpenoides, término que se aplica también a los terpenos propiamente dichos (García, 2017).

Según (Arraiza, 2000) los grupos funcionales que tengan pueden ser:

- Alcoholes (mentol, Bisabolol) y fenoles (Timol, Carvacrol)
- Aldehídos (Geranial, Citral) y cetonas (alcanfor, Thuyona)
- Ésteres (acetato de Bornilo, acetato de Linalilo, salicilato de metilo, compuesto antiinflamatorio parecido a la aspirina).
- Éteres (1,8 – Cineol) y peróxidos (Ascaridol)
- Hidrocarburos (limoneno, α y β pineno)

Tabla N° 03

Grupos Funcionales de cada Categoría

| Compuesto | Grupo funcional | Ejemplo | Propiedades |
|----------------------|---|-----------------------------|---|
| Alcohol |  | Mentol, geraniol | Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico |
| Aldehído |  | Citral, citronelal | Espasmolítico, sedante, antiviral |
| Cetona |  | Alcanfor, tuyona | Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico |
| Éster |  | Metil salicilato | Espasmolítico, sedativo, antifúngico |
| Éteres | $-C-O-C-$ | Cineol, ascaridol | Expectorante, estimulante |
| Éter fenólico | Anillo - O - C | Safrol, anetol, miristicina | diurético, carminativo, estomacal, expectorante |
| Fenol |  | Timol, eugenol, carvacrol | Antimicrobiano Irritante Estimulante inmunológico |
| Hidrocarburo | Sólo contiene C y H | Pineno, limoneno | Estimulante descongestionante, antivírico, antitumoral |

Nota. Arraíza (2000)

1.2.4.2.1 Hidrocarburos Monoterpénicos.

Son los compuestos más abundantes en los aceites esenciales, y precursores de los más complejos, que son los terpenos oxidados. Se denominan terminando en – eno.

Por ejemplo, el limoneno es el precursor de los principales componentes de la esencia de las mentas (*Mentha* spp., F. Lamiaceae), como carvona y mentol.

El limoneno se encuentra también en cítricos y en el eneldo, *Anethum graveolens* (F. Apiaceae). También los compuestos α y β - pineno se encuentran muy ampliamente distribuidos en la naturaleza, especialmente en la esencia de trementina, del género *Pinus* (F. Pinaceae) (Arraiza, 2000).

El limoneno es utilizado en muchos procesos farmacéuticos y de alimentos, para dar sabor, por ejemplo, en la obtención de sabores artificiales de menta, en la fabricación de dulces y goma de mascar. Recientes estudios apuntan a que el limoneno tiene efectos anticancerígenos, incrementa los niveles de enzimas hepáticas implicadas en la detoxificación de carcinógenos (Fernández, 2005).

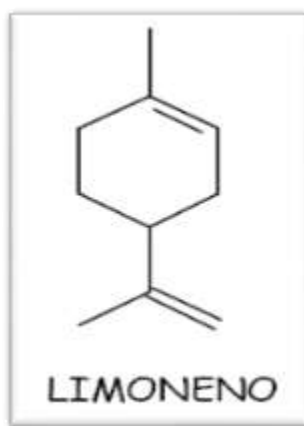


Figura N° 02 Grupo Funcional del Limoneno, Recuperado de Arraiza, (2000).

1.2.4.2.2 Alcoholes.

Los alcoholes llevan el grupo hidroxilo (-OH) unido al esqueleto C_{10} . Se denominan terminados en (-ol). Son muy apreciados por su aroma.

Por ejemplo, el linalol, que tiene dos formas, el R-linalol se encuentra en la rosa y la lavanda y es el componente mayoritario de la *Mentha arvensis*. La forma S-linalol en el aceite de lavanda con un contenido $> 5\%$ indica adulteración.

El linalol les da el sabor a las hojas de té, el tomillo y el cardamomo. Otro compuesto de este grupo, el mentol, es uno de

los responsables del sabor y el olor de la menta, cuya esencia puede tener hasta un 50% de este componente.

También el geraniol, del geranio de olor (*Pelargonium* spp), el citronelol de la rosa (*Rosa gallica*), en borneol del romero, y el santalol del sándalo (*Santalum album*, F. *Santalaceae*) (Arraiza, 2000).

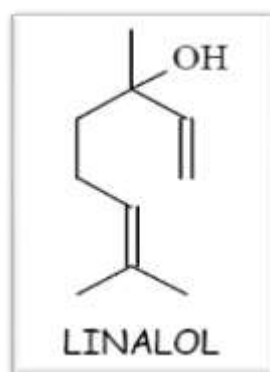


Figura N° 03 Grupo Funcional del Linalol, Recuperado de Arraiza, (2000).

1.2.4.2.3 Aldehídos.

Los aldehídos son compuestos muy reactivos. Se nombran acabados en (-al). Muchos de ellos, por ejemplo, los encontrados en los cítricos, se corresponden con su respectivo alcohol, por ejemplo, geraniol – geranial o citronelol – citronelal.

Son abundantes en los cítricos, responsables del olor característico, principalmente los isómeros geranial (α Citral) y neral (β Citral) juntos conocidos como Citral.

Este compuesto, además de su aroma característico, tiene propiedades antivirales, antimicrobianas y sedantes. Pero muchos de ellos, incluido el Citral, son irritantes para la piel por lo que no se puede hacer uso tópico de ellos.

Otro grupo importante son los aldehídos aromáticos, como el benzaldehído, componente principal del aceite de almendras amargas y responsable de su aroma característico (Arraiza, 2000).

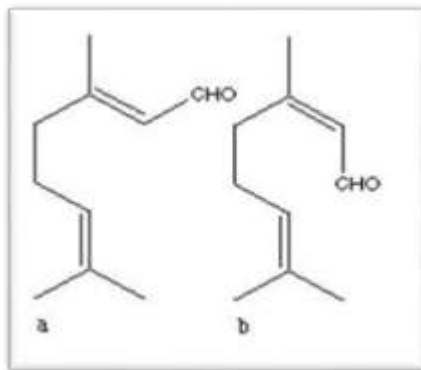


Figura N° 04 Grupo Funcional del Citral, Recuperado de Arraiza, (2000).

El Citral se caracteriza por un fuerte olor a limón; su sensibilidad a la exposición de la luz, calor, oxígeno y pH bajos y altos, provoca, con el paso del tiempo, un aumento en la densidad del aceite esencial; el Citral está presente en otras plantas como el limón, jengibre, naranja y algunas variedades de albahaca. Este compuesto, es materia prima para la síntesis de iononas, vitaminas A y E, así como un ingrediente importante en la industria de alimentos y perfumes (Garcia, 2017).

Por ser un aldehído α , β -insaturado, el Citral puede presentar reacciones de hidrogenación con la formación de alcoholes insaturados, por ejemplo, el geraniol, nerol y citronelol; productos que son de gran interés como intermediarios en síntesis orgánica en la industria química, industrias de sabores y fragancias y la industria farmacéutica (García, 2017).

1.2.4.2.4 Fenoles.

Sólo se encuentran en unas pocas especies, pero son muy potentes e irritantes.

Los más importantes son el timol y el carvacrol, que se encuentran en los tomillos (g. *Thymus*) y oréganos (g. *Origanum*), ambos de la Fam. Labiatae.

Otro fenol muy importante es el eugenol, que se encuentra en muchas especies, por ejemplo, en la esencia de clavo. Es un potente bactericida, así como anestésico, y se emplea en odontología (Arraiza, 2000).

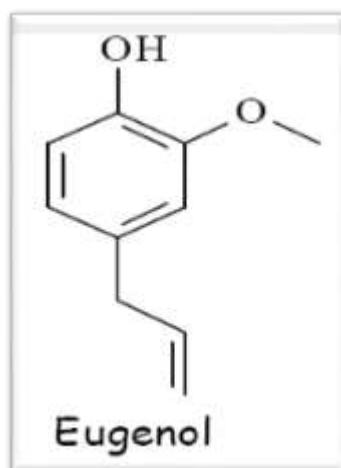


Figura N° 05 Grupo Funcional del Eugenol, Recuperado de Arraiza, (2000).

1.2.4.2.5 Éteres fenólicos.

Son los componentes principales de especias como el apio y el perejil (apiol), anís (anetol), albahaca (metilchavicol) y estragón (estragol).

El safrol es un componente muy empleado en perfumería que se encuentra en la corteza del árbol del sasafrás (*Sassafras albidum*, F. Lauraceae) (Arraiza, 2000).

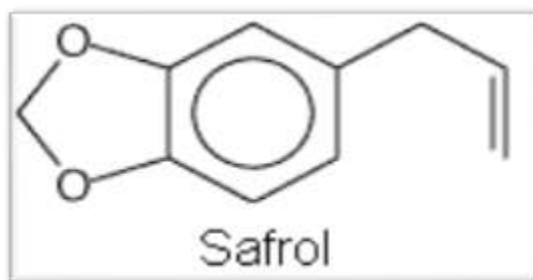


Figura N° 06 Grupo Funcional del Safrol, Recuperado de Arraiza, (2000).

1.2.4.2.6 Cetonas.

Se producen por la oxidación de alcoholes y son moléculas bastante estables. Terminan en (-ona). La carvona está presente en la *Mentha spicata*.

La tuyona (aislada por primera vez en la Tuya, *Thuja occidentalis*, *F. Cupressaceae*) y pulegona son bastante tóxicas y nunca deben usarse en el embarazo. La tuyona se encuentra en plantas como el género *Artemisia* (*Artemisia absinthium*, con la cual se hace el vermouth y la absenta), y en la salvia (*S. officinalis*).

La pulegona se aisló por primera vez en el poleo (*Mentha pulegium*) (Arraiza, 2000).

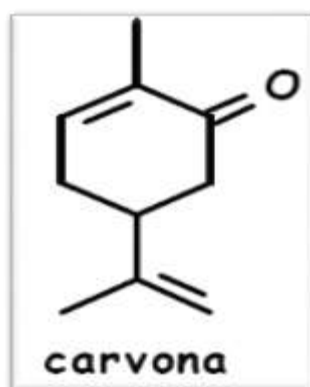


Figura N° 07 Grupo Funcional de Carvona, recuperado de Arraiza, (2000).

1.2.4.2.7 Éteres.

Los éteres u óxidos monoterpénicos son reactivos e inestables. Un ejemplo es el óxido de bisabolol presente en la manzanilla (*Matricaria chamomilla*). Otro muy común es el 1,8 – cineol (también llamado eucaliptol), que es el componente principal del aceite de eucalipto. Es expectorante y mucolítico y el componente principal de medicamentos para la tos. El aceite de eucalipto varía en aroma según el contenido en 1,8 – cineol. El aceite rico en este componente (*Eucalyptus globulus*, F. Myrtaceae) se emplea más para uso medicinal, mientras que el de contenido más bajo (por ejemplo *E. radiata*) se emplea para aromaterapia (Arraiza, 2000).

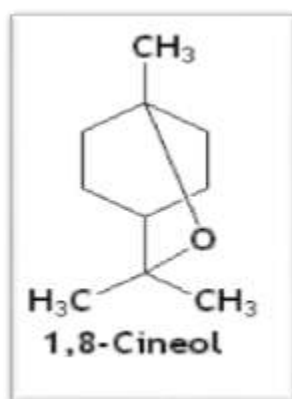


Figura N° 08 Grupo Funcional del Cineol, recuperado de Arraiza, (2000).

1.2.4.2.8 Ésteres.

La mayoría de los éteres se forman por reacción de un alcohol terpénico con ácido acético. Su aroma caracteriza a los aceites en los que se encuentran (Arraiza, 2000).

Por ejemplo, el aceite de lavanda contiene linalol y su éster, acetato de linalilo. La abundancia relativa de estos dos compuestos es un indicador de buena calidad (Arraiza, 2000).

El salicilato de metilo, derivado del ácido salicílico y metanol, es un compuesto antiinflamatorio parecido a la aspirina que se encuentra en un tipo de brezo (*Gaultheria procumbens*, F. Ericaceae), y se emplea tópicamente en linimentos (Arraiza, 2000).

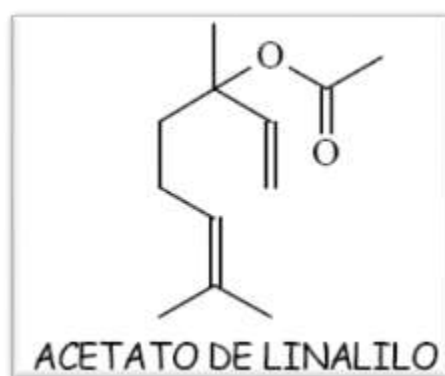


Figura N° 09 Grupo Funcional del Acetato de Linalilo, recuperado de Arraiza, (2000).

1.2.5 Procesos industriales aplicados a los aceites esenciales.

Arraiza, (2000) Menciona los siguientes procesos industriales que son aplicados a los aceites esenciales y otros extractos vegetales aromáticos, sirven para separar y concentrar los componentes, para facilitar su procesamiento industrial o simplemente para homogenizar la calidad.

1.2.5.1 Métodos de obtención.

La elección del método depende de la cantidad o características del aceite (volatilidad, punto de ebullición de los componentes, etc.), como de la planta o su parte de la cual se va a extraer el aceite esencial. (Díaz, 2007).

1.2.5.1.1 Destilación por arrastre de vapor.

En la destilación por arrastre de vapor de agua se lleva a cabo la vaporización selectiva del componente volátil de una mezcla formada por este y otros "no volátiles". Lo anterior se logra por medio de la inyección de vapor de agua directamente en el seno de la mezcla, denominándose este "vapor de arrastre", pero en realidad su función no es la de "arrastrar" el componente volátil, sino condensarse formando otra fase inmiscible que cederá su calor latente a la mezcla a destilar para lograr su evaporación. En este caso se tendrá la presencia de dos fases inmiscibles a lo largo de la destilación (orgánica y acuosa), por lo tanto, cada líquido se comportará como si el otro no estuviera presente. Es decir, cada uno de ellos ejercerá su propia presión de vapor y corresponderá a la del líquido puro a una temperatura de referencia (Wankat, 1988).

Las plantas se colocan sobre un fondo perforado o criba ubicado a cierta distancia del fondo de un tanque llamado alambique. La parte más baja de esta contiene agua hasta una altura algo menor que el nivel de la criba. El calentamiento se produce con vapor saturado que se provee de una fuente de calor que compone el equipo, fluye mojado y a presión baja, penetrando a través del material vegetal. Los componentes se volatilizan, y condensan en un refrigerante, siendo recogidos en un vaso florentino, donde se separa el agua del aceite por diferencia de densidad (Arraiza, 2000).

La destilación por arrastre de vapor es un método sencillo y de bajo costo, pero su inconveniente es que requiere largos periodos de

tiempo y tiene rendimientos bajos en comparación con otros métodos (García, 2017)

1.2.5.1.2 Expresión del pericarpio

Una bandeja con pinchos, en cuya parte inferior hay un canal para recoger el aceite esencial. Se emplea para cítricos.

1.2.5.1.3 Disolución en grasa (enfleurage).

Los aceites son solubles en grasas y alcoholes de alto %. Sobre una capa de vidrio se coloca una fina película de grasa y sobre ella los pétalos de flores extendidas. La esencia pasa a la grasa, así hasta saturación de la grasa. Posteriormente con alcohol de 70°, se extrae el aceite esencial. Se emplea para flores con bajo contenido en esencias, pero muy preciadas (azahar, rosa, violeta, jazmín).

1.2.5.1.4 Extracción con disolventes orgánicos.

Estos disolventes solubilizan la esencia, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como grasas y ceras, obteniéndose al final una oleoresina o un extracto impuro. Se utiliza a escala de laboratorio porque a nivel industrial resulta costoso por el valor comercial de los disolventes, porque se obtienen esencias contaminadas con otras sustancias, y además por el riesgo de explosión e incendio característicos de muchos disolventes orgánicos volátiles (Martínez, 2003).

Los métodos más usados a nivel laboratorio son extracción por reflujo y mediante equipo Soxhlet. Otro tipo de extracción por disolventes, mayormente usada a nivel laboratorio, es la maceración o extracción alcohólica, en la cual la materia orgánica

reposa en soluciones de alcohol por periodos de tiempo definidos. Los aceites esenciales son recuperados evaporando el alcohol, generalmente en rota vapores (Chua et al., 2008).

La selección del disolvente pretende que sea capaz de disolver rápidamente todos los principios y la menor cantidad de materia inerte, que tenga un punto de ebullición bajo y uniforme que permita eliminarlo rápidamente, pero evitando pérdidas por evaporación, químicamente inerte, para no reaccionar con los componentes de los aceites, no inflamable y barato (Arraiza, 2000). Este disolvente ideal no existe, y los más empleados son el éter de petróleo, con punto de ebullición de 30 a 70 °C, que se evapora fácilmente y es inflamable, benceno, que disuelve también ceras y pigmentos, y alcohol, que es soluble en agua. Se emplea cuando hay componentes de peso molecular elevado que no son lo suficientemente volátiles (Arraiza, 2000).

La extracción con disolventes tiene importantes desventajas. Además de que requiere de periodos de tiempo relativamente largos, los aceites esenciales obtenidos contienen trazas de los disolventes utilizados; limitando su uso en la industria de los alimentos, la industria cosmética o farmacéutica (García, 2017).

1.2.5.1.5 Extracción con gases en condiciones supercríticas.

Se emplean gases, principalmente CO₂, a presión y temperatura superiores a su punto crítico. En esas condiciones se obtienen buenos rendimientos y se evitan alteraciones de los componentes de la esencia. La infraestructura necesaria es cara, pero tiene sus

ventajas, como la fácil y rápida eliminación del gas extractor por descompresión, la ausencia de residuos de disolventes y que los gases no resultan caros (Arraiza, 2000).

La extracción por fluidos supercríticos es una operación unitaria que explota el poder disolvente de fluidos supercríticos en condiciones encima de su temperatura y presión críticas. Es posible obtener extractos libres de disolvente usando fluidos supercríticos y la extracción es más rápida que con la utilización de disolventes orgánicos convencionales. Estas ventajas son debidas a la alta volatilidad de los fluidos supercríticos (gases en condiciones ambientales normales) y a las propiedades de transporte mejoradas (alta difusividad y baja viscosidad). Usando dióxido de carbono, en particular, el tratamiento es a temperatura moderada y es posible lograr una alta selectividad de micro - componentes valiosos en productos naturales (García, 2017).

Entre las ventajas de la extracción por fluidos supercríticos se encuentran: (a) que los tiempos de extracción se reducen; (b) se obtienen rendimientos mayores; (c) es posible seleccionar sustancias y la composición de los extractos, cambiando los parámetros de extracción; y (d) se requiere menos energía (García, 2017).

La principal desventaja es que ceras cuticulares y compuestos de alto peso molecular son extraídos junto con el aceite esencial (García, 2017).

1.2.5.2 Rectificación.

Es el proceso más común, consiste en fraccionar en una columna de rectificación obteniéndose porciones que son analizadas individualmente. Aquellas que tengan una misma calidad se juntan. Generalmente un Aceite Esencial se fracciona en tres partes

- Cabeza o fracción liviana
- Corazón o parte media
- Fracciones pesadas

1.2.5.3 Fraccionamiento.

Semejante al anterior, pero con una partición más específica. Por ejemplo, los aceites esenciales con 60-70% de Citral se fraccionan tratando de eliminar los compuestos que lo acompañan para obtener un 90-97% de pureza.

1.2.5.4 Desterpenado.

Al eliminar los terpenos, cuando estos no tienen la propiedad organoléptica que se persigue, mejora la solubilidad en agua del aceite esencial y concentra el sabor y el olor.

1.2.5.5 Descerado.

Cuando un aceite esencial es extraído por expresión y no por arrastre por vapor, contiene, además de la fracción volátil terpénica, compuestos como las ceras del epicarpio de los frutos.

1.2.5.6 Filtrado.

Para eliminar las impurezas de los aceites esenciales crudos se filtran con ayuda de tierras filtrantes u otros materiales que retienen el agua residual (sulfato de sodio anhidro, carbonato de magnesio, etc.)

1.2.5.7 Reacciones químicas.

Para obtener nuevos productos aromáticos con mayor valor agregado, con notas más agradables, entre ellas se encuentran:

- Esterificación (cedro, vetiver y menta)
- Hidrogenación (citronela)
- Hidratación (trementina).

1.2.5.8 Decoloración.

Para esencias con colores fuertes

- Patchulí
- Palo santo
- Clavo

1.2.5.9 Lavado.

Para mejorar el olor desagradable debido a la presencia de ácidos y fenoles se lava con soluciones de hidróxido de sodio al 1% o carbonato de sodio al 10%.

1.2.5.10 Estandarización.

No es un proceso industrial en sí, surge como una necesidad de homogenizar o normalizar la calidad de un producto debido a la infinidad de variables que modifican sus características. Se realiza para cumplir con las exigencias de la industria la cual requiere las mismas características independientemente del origen, año y época de cosecha

1.2.5.11 Aislamiento de productos específicos.

Algunas esencias son comercializadas para aislarles algunos componentes mayoritarios como el Eugenol de la esencia de clavo o el Cedrol de la del cedro.

1.2.6 Usos de los aceites esenciales.

El tipo de aceite esencial y su calidad, determinan en qué producto final será incorporado un aceite. Los aceites esenciales son ampliamente utilizados como materia prima en diferentes tipos de industria, cosmética, alimenticia, bebidas, textil, etc., mientras que otras industrias pueden usar productos aislados de esencias, como es el caso de la industria farmacéutica (García, 2017).

La Tabla N° 04 proporciona una visión general del uso del aceite esencial en las diferentes ramas de consumo.

Tabla N° 04

Industrias usuarias de productos aromáticos naturales y aceites esenciales.

| INDUSTRIAS | APLICACIONES |
|------------------------|---|
| Alimenticia | Salsas, condimentos, bebidas refrescantes, alimentos procesados y enlatados |
| Licorera | Aperitivos y saborizantes |
| Cosmética | Perfumes, dentífricos, cremas, lociones |
| Farmacéutica | Veterinaria, antisépticos, analgésicos, aromaterapia y homeopatía. |
| Uso domestico | Desodorantes, desinfectantes del ambiente y jabones. |
| Agroquímica | Bioinsecticidas y alelo químicos. |
| Textil | Elaboración de enmascaradores de olores y tratamiento con mordientes después del teñido |
| Petroquímica y minería | Utiliza esencias o terpenos derivados de ellas como vehículos flotantes y lubricantes. |
| Pinturas | Enmascaradores de olores disolvente biodegradable. |
| Química Fina | Precursores químicos, por ejemplo Citral, safrol, trementina. |

Nota. Díaz (2007)

(Arraiza, 2000), Menciona los Siguietes usos de los aceites esenciales:

1.2.6.1 Industria alimentaria.

Se emplean para condimentar carnes preparadas, embutidos, sopas, helados, queso, etc. Los aceites más empleados por esta industria son el Cilantro, Naranja y Menta, entre otros. También son utilizados en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, especialmente refrescos. Con respecto a esta utilidad podemos citar las esencias extraídas del naranjo, limón, mentas e hinojo, entre otros. Estas esencias también se emplean en la producción de caramelos, chocolates y otras golosinas.

1.2.6.2 Industria farmacéutica.

Se usan en cremas dentales (aceite de menta e hinojo), analgésicos e inhalantes para descongestionar las vías respiratorias (eucalipto). El eucaliptol es muy empleado en odontología. Son utilizados en la fabricación de neutralizantes de sabor desagradable de muchos medicamentos (naranjas y menta, entre otros).

1.2.6.3 Industria de cosméticos.

Esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, colonias, perfumes y maquillaje. En este campo se pueden citar los aceites de geranio, lavanda, rosas y pachouli.

1.2.6.4 Industria de productos de uso veterinario.

Esta industria emplea el aceite esencial de *Chenopodium ambrosoides* muy apreciado por su contenido de ascaridol, vermífugo. También requiere limoneno y mentol como insecticidas.

1.2.6.5 *Desodorantes industriales.*

Actualmente se ha desarrollado el uso de esencias para disimular el olor desagradable de algunos productos industriales como el caucho, los plásticos y las pinturas. La industria de las pinturas emplea limoneno como disolvente biodegradable. También se imparte olor a juguetes. En textiles, como enmascaradores de olores en tratamientos con mordientes antes y después del teñido. En papelería, para impregnar de fragancias cuadernos, tarjetas, papel higiénico, toallas faciales.

1.2.6.6 *Industria tabacalera.*

Demanda mentol para los cigarrillos mentolados.

1.2.6.7 *Biocidas e insecticidas.*

Existen esencias con propiedades bactericidas, como el tomillo, clavo, salvia, mentas, orégano, pino, etc. Otras son insecticidas:

- Contra hormigas: *Mentha spicata* (spearmint), *Tanacetum* y poleo.
- Contra áfidos: ajo, otros *Allium*, coriandro, anís, albahaca.
- Contra pulgas: lavanda, mentas, lemongrass, etc.
- Contra moscas: ruda, citronela, menta, etc.
- Contra piojos: *Mentha spicata*, albahaca, ruda, etc.
- Contra polilla: mentas, Hisopo, romero, eneldo, etc.
- Contra coleópteros: *Tanacetum*, comino, ajeno y tomillo, etc.
- Contra cucarachas: menta, ajeno, eucalipto, laurel, etc.
- Contra nemátodos: *Tagetes*, salvia, caléndula, Aspáragus, etc.

1.2.6.8 Propiedades físico-químicas de los aceites esenciales.

Tienen la propiedad en común, de generar diversos aromas agradables y perceptibles al ser humano, pero siempre pronunciados y penetrantes, que nos recuerdan el olor del vegetal del que provienen. Poseen un color en la gama del amarillo, hasta ser transparentes en algunos casos. Tienen sabor cáustico, acre e irritante y a veces aromático, dulce y delicado (Albarracín y Gallo, 2003; Bandoni, 2000).

Los aceites esenciales no son inocuos mientras la dosis suministrada no supere los límites de toxicidad. Y son aceptados como sustancias seguras (GRAS) por la Agencia de Drogas y Alimentos (FDA) de E.E.U.U. (Cerpa, 2007).

1.3 Aceite esencial de limón

1.3.1 Definición.

Haro, (1984), define como aceite esencial únicamente a la sustancia volátil obtenida, por un proceso físico, de material vegetal oloroso y/o sávido de un solo género y especie botánica del cual posee las características olorosas y/o sápidas y del que generalmente lleva el nombre.

Se considera aceite esencial de limón a las fracciones líquidas volátiles obtenidas, generalmente destilables por un proceso físico, que contienen las sustancias responsables del aroma y sabor del limón (Martínez, 2003; Villa, 2004).

Los aceites esenciales (esencias o aceites volátiles) son productos de composición generalmente muy compleja que contienen los principios volátiles que se encuentran en los vegetales más o menos modificados durante su preparación. Para

extraer estos principios volátiles, existen diversos procedimientos (Martínez, 2003; Villa, 2004).

Se les llama aceites por su apariencia física y consistencia que es bastante parecida a los aceites grasos, pero se distinguen de ellos, porque al dejar caer unas gotas de esencia sobre el papel, éstas se volatilizan fácilmente sin dejar ninguna huella ni mancha grasosa (Martínez, 2003; Villa, 2004).

1.3.2 Usos.

El aceite esencial de “limón sutil” se usa, principalmente, en la elaboración de aromatizantes y saborizantes para la industria alimentaria y farmacéutica, usándolos como insumos en la elaboración de cosméticos, perfumes y productos de limpieza. Además, en la elaboración de los concentrados para refrescos sabor a “cola” en donde se utiliza la mayor parte de la producción de aceite destilado (Guerrero *et al*, 2012).

El aceite esencial de limón es llamado polyvalent (curalotodo) por los fitoterapeutas franceses, que lo clasifican como tónico, estimulante, estomáquico, carminativo, diurético, antiséptico, bactericida y antivírico. Hasta la Primera Guerra Mundial, lo usaron en los hospitales como antiséptico y desinfectante. El limón es muy eficaz en el tratamiento de todas las enfermedades de las venas, varices o capilares rotos (Danièle, 1991).

Otros usos son los concentrados para refrescos “lima - limón” y sabores para galletas, dulces, medicamentos (Guerrero *et al*, 2012).

El aceite del limón en el ámbito de la medicina puede ayudar a estimular el sistema inmunológico. También auxilia a los sistemas digestivo, glandular y circulatorio.

Este aceite tiene usos diversos: refrescante, desodorante, germicida, anti espasmolítico, y mejora la atención y el poder de concentración. Adicionalmente, se utiliza en la fabricación de bebidas no alcohólicas, gaseosas, en la industria farmacéutica y de cosméticos. El aceite esencial de limón es fototóxico⁶, por lo cual, no debe aplicarse sobre la piel que se expondrá directamente a la luz solar. (González, 2004)

1.3.3 Ubicación del aceite esencial en el limón sutil.

El aceite esencial de limón se puede obtener de la cutícula de la cáscara del limón o de destilar el limón completo, siendo el proveniente de éste último el de mayor calidad (Guerrero *et al*, 2012).

Precisamente en el flavedo, dentro de los estratos inmediatamente debajo de la epidermis, se encuentran, irregularmente distribuidas, las celdas conteniendo el aceite esencial, como se explicó en el apartado de la descripción del limón sutil. Estas celdas con un diámetro de 0.4 a 0.6 mm, no tienen paredes propias del tipo de corriente, sino están limitadas por restos degradados de elementos celulares. Por otra parte, no presentan comunicación alguna con los tejidos que lo rodean (Haro, 1984).

1.3.4 Obtención.

Para la extracción del aceite del limón sutil se va a emplear tres procesos diferentes, los cuales dan como resultado diversas calidades de aceite.

Todos los procesos deben contemplar la rotura de las celdas de aceite con objeto de liberar este y, posteriormente, separarlo de las impurezas que presenta debido al proceso de extracción (Haro, 1984).

1.3.4.1 Métodos de obtención del aceite.

1.3.4.1.1 Obtención del aceite destilado.

Los frutos enteros se exprimen en una prensa de tornillo, en donde la presión ejercida hace estallar las celdas de aceite, este es arrastrado por el jugo y ambos salen en forma de emulsión a través de las paredes perforadas de la prensa. La cáscara casi exenta y aceite, sale por el extremo de la prensa (Haro, 1984).

Con objeto de obtener altos rendimientos es conveniente estar controlando el contenido del aceite en la cáscara de la descarga. Si se presentan variaciones en el funcionamiento se deberá realizar ajustes en la prensa, o bien, cambiar el tornillo para mantenerla operando eficientemente (Haro, 1984).

La emulsión jugo – aceite se envía a un alambique en donde se inyecta vapor, el cual arrastra el aceite, ambos salen por la parte superior del alambique hasta un condensador, en donde los vapores de agua y aceite al ponerse en contacto con las paredes frías del condensador, se condensan y fluyen hacia la parte inferior en forma de líquido. Estos se separan continuamente por decantación en un vaso florentino o decantador, saliendo por la parte superior el aceite y por la inferior el agua (Haro, 1984).

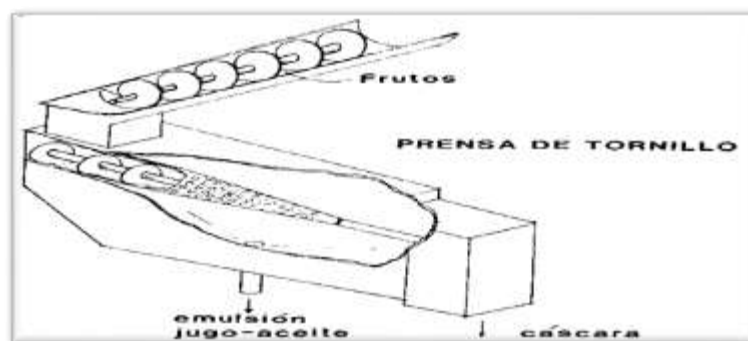


Figura N° 10 esquema de una prensa de tornillo, fuente: haro, (1984).

Es conveniente ajustar el flujo de agua de enfriamiento al condensador de manera que la temperatura del condensador al salir sea de 35 – 40 °C. A temperaturas más bajas se condensan compuestos muy volátiles de aroma desagradable deteriorando la calidad del aceite (Haro, 1984).

Con objeto de que la operación de decantación sea eficiente es necesario que la capacidad del vaso florentino sea cuando menos igual al volumen de condensado que fluye en una hora (Haro, 1984).

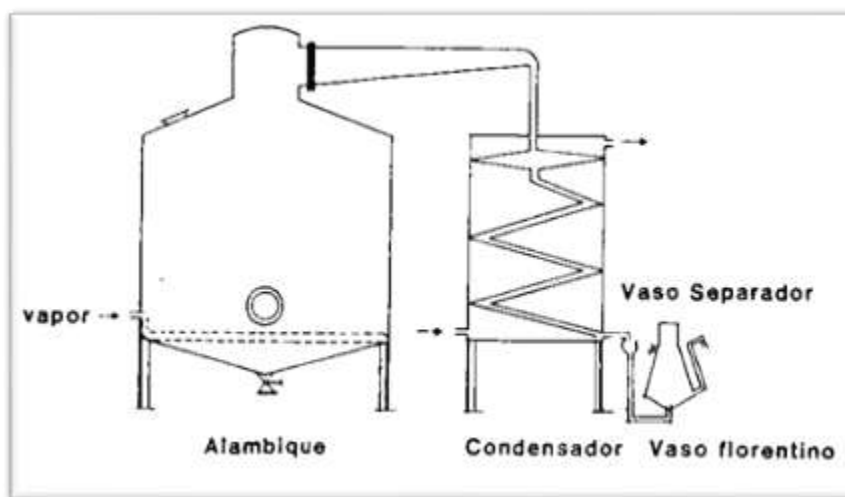


Figura N° 11 Esquema del Equipo para la Destilación del Aceite Esencial, recuperado de Haro, (1984).

Es recomendable que los tubos del condensador sean de acero inoxidable. Si son de cobre es necesario limpiarlos en su interior antes de iniciar cada campaña, de lo contrario se corre el riesgo de contaminar el aceite. Esto se nota cuando el aceite sale con una coloración verde o azul (Haro, 1984).

La duración normal de una destilación es de nueve horas, contadas desde que empieza a fluir el condensado hasta que ya no hay

cantidades apreciables de aceite en este. Para modificar el tiempo de destilación es necesario operar sobre la válvula de alimentación de vapor al alambique, a mayor flujo de vapor menor tiempo de destilación y viceversa (Haro, 1984).

Una vez obtenido el aceite, es conveniente dejarlo decantar por cuando menos 24 horas en un tanque de fondo cónico para que sedimenten agua e impurezas. Cuando el aceite está limpio y seco, se envasa, de preferencia, en tambores de lámina galvanizada, o bien, recubierta con un barniz interior de resina epoxi fenólica (Haro, 1984).

Siendo el oxígeno del aire uno de los principales agentes del deterioro del aceite, se debe evitar durante el manejo, el introducir en él cantidades apreciables de aire (Haro, 1984).

1.3.4.1.2 Obtención del aceite centrifugado tipo A (por prensado).

Los limones enteros se exprimen en una prensa de tornillo de igual manera que para la obtención del aceite destilado.

La emulsión jugo – aceite obtenido se pasa a través de un tamiz para eliminar los detritos más grandes, después, se envía a una primera centrífuga en donde, aprovechando las diferencias de densidades, se separan tres fases (Haro, 1984).

a) Sólidos, los que presentan un contenido apreciable de aceite, se pueden enviar al alambique para la recuperación del aceite por destilación.

b) Jugo, que deberá estar lo más libre de aceite posible.

c) Emulsión jugo – aceite, conteniendo cantidades importantes de aceite (50 – 70%). Esta emulsión se envía a una segunda centrífuga en donde se obtienen dos fases

- Aceite, ya prácticamente puro.
- Jugo, con cantidades más o menos apreciables de aceite. Si, una vez que la centrífuga está operando a su mayor eficiencia, el jugo presenta cantidades de aceite, es conveniente enviar este jugo a destilación para recuperar el aceite

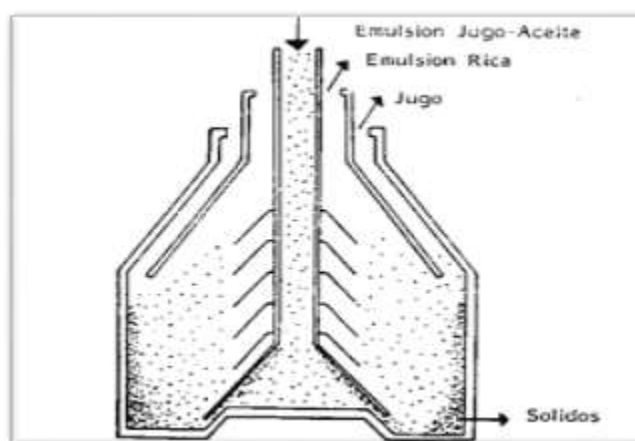


Figura N° 12 Tambor de una Centrífuga a Discos, recuperado de Haro, (1984).

Este aceite contiene disueltas cantidades apreciables de ceras, las cuales fueron arrastradas de la cáscara por el aceite, por consiguiente, es necesario proceder a su eliminación parcial. No es conveniente eliminar las ceras totalmente ya que tienen acción antioxidante y su eliminación total hace que el aceite se vuelva muy inestable y se oxide fácilmente (Haro, 1984).

Para eliminar las ceras parcialmente, se coloca el aceite en un recipiente de acero inoxidable de fondo cónico con varias válvulas de salida a diferentes alturas a partir del fondo, con objeto de que una vez precipitadas las ceras, el aceite limpio se pueda extraer por

una de las válvulas, dejando en el fondo las ceras. El proceso de precipitación de las ceras se hace más rápido a bajas temperaturas, por lo cual, se lleva el aceite a temperaturas de -23 a -4°C por períodos de cinco a veinte días. A más baja temperatura menor tiempo de precipitación (Haro, 1984).

Una vez que han precipitado las ceras, el aceite limpio se envasa en tambores de lámina galvanizada o barnizado interiormente con resina epoxifenólica con el fin de preservarlos (Haro, 1984).

La mezcla de aceite y ceras que quedó en el tanque, se puede separar por filtración o enviar al alambique para obtener aceite destilado. (Haro, 1984)

1.3.4.1.3 Obtención del aceite centrifugado tipo B (por raspado).

Los limones enteros se tratan en máquinas en donde son raspados bajo una aspersión de agua. En este sistema las celdas de aceite se rompen por la acción de unos rodillos provistos de protuberancias abrasivas donde los detritos de mayor tamaño son expulsados, luego la emulsión agua – aceite se envía a dos pasos de centrifugación, como en el caso del aceite centrifugado tipo A. El aceite se descera como en el caso anterior y se envasa (Haro, 1984).

1.3.4.1.4 Obtención de la esencia.

Los frutos que fueron tratados en el extractor de aceite (máquina raspadora) contienen aún una cierta cantidad de aceite, dado que el proceso no es 100% eficiente. Esta cantidad de aceite pasa con el jugo durante la operación siguiente, que es la extracción del jugo.

De igual manera, el jugo proveniente de la obtención de aceite centrifugado tipo A contiene una cierta cantidad de aceite.

Cuando el jugo es concentrado en un evaporador al vacío, el aceite se evapora con el agua de constitución del jugo y es condensado con esta. La esencia se puede separar, entonces, por decantación en un vaso florentino.

La esencia es un producto muy inestable y, por esto, no es aceptada en el mercado. Esta puede agregarse a la emulsión jugo – aceite de los alambiques para recuperarla como aceite destilado (Haro, 1984).

1.3.5 Parámetros a analizar.

Para obtener aceite de buena calidad deberá tener determinada proporción de los diferentes componentes, cada uno de los cuales posee determinadas características físicas o químicas, de manera que el aceite con una proporción adecuada de componentes nos dará valores determinados para estas características, cuyas variaciones nos indican cambios en la composición y, por consiguiente, en la calidad del aceite (Haro, 1984).

En el caso del aceite destilado, al estar en contacto con el jugo ácido y caliente, sufre reacciones químicas que cambian su composición. El aceite que logra tener buena calidad será aquel que haya reaccionado hasta cierto límite. Es, por consiguiente, muy importante el controlar adecuadamente las variables de la destilación (tiempo de calentamiento, duración de la destilación, etc.) (Haro, 1984).

1.3.5.1 Determinaciones sensoriales.

1.3.5.1.1 Aspecto

Se determina visualmente observando si el líquido presenta turbiedad, sólidos precipitados o agua.

- Aceite destilado y esencia. Estos deben presentarse completamente cristalinos sin sólidos precipitados. Una ligera turbiedad puede indicar presencia de agua (Haro, 1984).
- Aceite centrifugado. Debe ser cristalino, pudiendo presentar un precipitado ceroso debido a la precipitación de cumarinas y psoralenos, los cuales son componentes normales del aceite. Una cantidad muy grande de ceras indica un proceso de descerado defectuoso (Haro, 1984).

1.3.5.1.2 Color.

Se determina visualmente.

- Aceite destilado y esencia. Deben presentar un color ligeramente amarillento (más claro para la esencia). Un color amarillo intenso puede indicar contaminación por metales o un aceite “quemado” (Haro, 1984).
- Aceite centrifugado. El aceite centrifugado tipo A debe presentar un color que va del ámbar al verde claro, según el grado de madurez de los frutos empleados para su manufactura (Haro, 1984).

1.3.5.1.3 Olor

Es una de las determinaciones más importantes puesto que a esta característica se debe el valor comercial del aceite. Una vez

conocido el olor típico del aceite, cualquier olor extraño nos puede dar una idea de su causa (“olor a quemado”, “rancio”, etc) (Haro, 1984).

1.3.5.1.4 Sabor

Es la otra característica importante del aceite. De igual manera que para el olor, cualquier sabor extraño nos puede dar idea de su causa (Haro, 1984).

1.3.5.2 Determinaciones físicas.

1.3.5.2.1 Índice de refracción

Está dado por la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el de refracción de un rayo luminoso que pasa del aire al aceite en cuestión, mantenido a una temperatura de 20°C.

Esta propiedad varía muy lentamente con la variación de la calidad. Generalmente un valor alto corresponde a un aceite pesado (“muy cocido”), y un valor bajo a un aceite “ligero” (Haro, 1984).

1.3.5.2.2 Densidad relativa.

Es la relación entre peso de un volumen dado de aceite a 25 °C y un volumen de agua a la misma temperatura.

- Aceite destilado. Una densidad relativa baja indica un aceite rico en terpenos (aceite ligero), debido generalmente a una destilación rápida, incompleta, o a una mezcla de las fracciones obtenidas de la destilación. Una densidad relativa alta nos indica una destilación muy prolongada, la utilización de frutos muy maduros o un aceite muy viejo (Haro, 1984).

- Aceite centrifugado. Es muy raro encontrar aceites centrifugados con densidad relativamente baja. Si esto se presenta es muy probable que haya adulteración con otros productos. Una densidad relativa alta puede tener como causa la presencia de una gran cantidad de residuo no volátil (Haro, 1984).

1.3.5.2.3 Rotación óptica.

Los aceites esenciales cítricos hacen girar el plano de vibración de la luz polarizada cuando un haz de esta pasa a través del aceite. La rotación óptica se expresa en grados angulares. Los componentes hidrocarbonados tienen valores altos (arriba de 50°), mientras que los compuestos oxigenados tienen valores bajos o negativos (Haro, 1984).

- Aceite destilado. Una rotación óptica alta indica un aceite rico en terpenos debido, generalmente a una destilación rápida o incompleta o una mezcla defectuosa de las fracciones obtenidas de la destilación. Una rotación óptica baja nos indica una destilación prolongada, la utilización de limones muy maduros o un aceite viejo (Haro, 1984).
- Aceite centrifugado. Es muy raro encontrar aceites centrifugados con rotación óptica alta o baja, si esto se presenta es posible que exista adulteración. Debido al color tan intenso del aceite centrifugado tipo B no es posible determinarle la rotación óptica (Haro, 1984).

1.3.5.2.4 Solubilidad en alcohol.

De acuerdo a su composición los aceites esenciales cítricos son más o menos solubles en alcohol etílico de varias graduaciones. Los terpenos son menos solubles que los compuestos oxigenados, por lo tanto, un aceite rico en terpenos será menos soluble que uno normal. Con el envejecimiento los aceites van disminuyendo su solubilidad en alcohol (Haro, 1984).

Todos los aceites esenciales son solubles en alcohol etílico (Etanol). Tiene especial importancia porque, aparte de ser una constante física, indica, particularmente en algunos casos, la adulteración del aceite esencial (Montoya, 2010).

1.3.5.2.5 Residuo a la evaporación.

Es la cantidad de material que no se evapora al someter el aceite a un proceso de calentamiento controlado.

- Aceite destilado. Un residuo a la evaporación alto puede indicar envejecimiento, mientras que si es bajo puede indicar adulteración con terpenos (Haro, 1984).
- Aceite centrifugado. Un residuo alto puede indicar exceso de ceras (posible defecto de fabricación) y uno bajo puede deberse a la adición de terpenos u otros adulterantes, o bien, a un descerado excesivo (Haro, 1984).

1.3.5.3 Determinaciones químicas.

1.3.5.3.1 Contenido de Compuestos Carbonílicos.

Dentro de los compuestos oxigenados se atribuye a los compuestos carbonílicos la mayor importancia en el aroma del aceite de limón.

El compuesto Carbonílicos más abundante en el aceite de “limón sutil” es el Citral. De ahí que el “contenido de Citral” sea un factor importante en la calidad del aceite (Haro, 1984).

1.3.5.3.2 Índice de Peróxido.

Es la cantidad de microgramos de oxígeno activo en un gramo de aceite, que nos indica el grado de envejecimiento de este. Generalmente, cuando el aceite tiene el índice de peróxido máximo permitido por la norma, el olor ya se presenta definitivamente rancio (Haro, 1984).

1.3.5.4 Determinación con métodos instrumentales.

1.3.5.4.1 Cromatografía de Gases

En esta técnica, los componentes volátiles del aceite son separados a lo largo de una columna que contiene una fase estacionaria (generalmente un aceite pesado) depositada sobre un soporte sólido.

El aceite esencial se introduce en el inicio de la columna con una micro jeringa a través de una membrana de cierre, se vaporiza y es arrastrado por el gas de acarreo a través de la columna en donde los componentes viajan a diferentes velocidades dependiendo de su solubilidad en la fase estacionaria. Al final de la columna, los componentes emergen a diferentes tiempos (Haro, 1984).

La detección de los componentes a la salida de la columna generalmente se efectúa mediante un detector de conductividad térmica o de ionización de flama.

Las variaciones de la conductividad o de la corriente de ionización, provocadas por la variación de la composición del gas a medida que los componentes volátiles emergen de la columna, son amplificadas y medidas directamente en un graficador, cuya pluma traza una gráfica sobre una hoja de papel que se mueve a velocidad constante (Haro, 1984).

Por medio de la cromatografía de gases se logra la separación y determinación cualitativa de los principales componentes de los aceites esenciales. Así, examinando el cromatograma es posible detectar cualquier cambio en la composición debido a adulteración, envejecimiento, proceso defectuoso, etc.

1.3.5.4.2 Espectrofotometría en el Infrarrojo.

El infrarrojo es la porción del espectro electromagnético que empieza en el rojo oscuro y se extiende hasta la región radar, cubriendo una amplitud de 0.7 a 20.0 micrones (Haro, 1984).

Cada componente absorbe luz infrarroja, a determinadas longitudes de onda, de acuerdo a su estructura química. El espectrofotómetro infrarrojo grafica la intensidad de la absorción con respecto a la longitud de onda. De manera que el espectro IR de un compuesto químico definido es una “huella digital”.

Cuando se trata de espectros IR de aceites esenciales, que son mezclas complejas, cada banda representa la presencia de un grupo funcional (p.ej. aldehído, alcohol, etc) en uno o varios de los componentes del aceite.

Por lo tanto, el espectro IR permite detectar cualquier cambio en la composición del aceite y, por consiguiente, en la calidad (Haro, 1984).

1.4 Carne de cerdo

1.4.1 El cerdo (*sus scrofa domesticus*).

El cerdo (*Sus scrofa domesticus*) para muchos historiadores, fue el primer animal domesticado por el hombre. Son omnívoros, por lo que pueden ser alimentados con varios productos y subproductos animales y vegetales.

Luego de una importante evolución, y desde hace muchos años, la carne de cerdo es la más consumida en el mundo básicamente gracias a su bajo costo de producción y su delicioso sabor (Campión, 2013).

El cerdo es el mamífero paquidermo doméstico de aprovechamiento alimenticio más completo y es una de los alimentos básicos de la gastronomía española. La carne del cerdo es suave y tierna; su color es rosa pálido y su textura es firme y, sin embargo, suave al tacto. A la hora de la compra debe elegirse las piezas de apariencia ligeramente húmeda, de carne firme y color rosado grisáceo. La grasa que contenga debe ser también firme y de color blanco. Si se adquieren huesos, éstos deben ser de color azul rosáceo.

La carne de cerdo se presta a ser preparada de múltiples formas, pero es necesario tener en cuenta que el corte determinará el modo de cocinado: las chuletas normalmente se preparan a la plancha, a la parrilla, u horneadas; las costillas a la brasa, asadas al horno y a la barbacoa; el solomillo, considerado el corte más tierno, puede asarse entero, trocearlo para hacer pinchos o simplemente servirlo en escalopes. Además, del cerdo se obtienen otros productos como el filete, el lomo,

el pecho, el codillo, el espinazo, el chicharrón, el jamón, la moronga, las salchichas, el tocino, el hígado y las manitas de cerdo.

1.4.2 Valor nutricional de la carne de cerdo.

El cerdo se encuentra hoy entre los animales más eficientemente productores de carne; sus características particulares, como gran precocidad y prolificidad, corto ciclo reproductivo y gran capacidad transformadora de nutrientes, lo hacen especialmente atractivo como fuente de alimentación.

El valor nutritivo de la carne de cerdo la señala como uno de los alimentos más completos para satisfacer las necesidades del hombre, y su consumo podría contribuir en gran medida a mejorar la calidad de vida humana desde el punto de vista de los rendimientos físicos e intelectuales.

Desafortunadamente, durante muchos años la carne de cerdo ha sido considerada como un alimento "pesado", una carne "grasosa", con un contenido "muy alto de calorías", y aún un alimento "peligroso" por su posible asociación con enfermedades y parásitos.

Estas creencias populares constituyen una imagen equivocada que todavía se proyecta a un sector muy amplio de la población y tuvieron su origen en el tipo de animal y en la forma como se explotaba en el pasado (Eusse, 2005).

Desde hace algunos años el afán del porcicultor y de la industria cárnica ha sido la de obtener un producto que minimice los riesgos para el consumidor.

La carne fresca de cerdo ha mejorado su calidad en los últimos años; actualmente, ofrece 31% menos de grasa, 14% menos de calorías y 10% menos de colesterol con relación al cerdo producido hace 10 años.

Para 1983, una porción de 3 onzas de lomo asado sin hueso cocido contenía 11,7 gramos de grasa y 208 calorías; actualmente, y como consecuencia del mejoramiento, esa misma porción tiene 6,1 gramos de grasa y 165 calorías, presentándose una reducción del 47% y 21%, respectivamente.

Estudios realizados recientemente en los estados Unidos y publicados por National Pork Producers Council en cooperación con National Pork Board, muestran cifras reveladoras del progreso que ha tenido la carne de cerdo en los últimos años. (Eusse, 2005)

La carne de cerdo tiene un contenido en macronutrientes diferente en función de la edad de sacrificio, el tipo de alimentación y la pieza de consumo. Las partes más magras tienen alrededor de 8 g de grasa por 100 gramos de alimento completo, mientras que las de más contenido lipídico llegan casi a los 30 g por 100 gramos de alimento (Moreiras, 2015).

La carne semi grasa contiene un 16% de proteínas, algo inferior al contenido medio del grupo de las carnes. Estas proteínas se consideran de alto valor biológico pues contiene aminoácidos esenciales en cantidades equivalentes a las necesidades del hombre. Independientemente de la pieza de consumo, la carne de cerdo no contiene hidratos de carbono. Aunque el músculo del animal vivo contiene una pequeña cantidad de este nutriente en forma de glucógeno, éste se destruye en los procesos postmórtem (Moreiras, 2015).

En promedio, la carne de cerdo contiene aproximadamente un 23 % de grasa. Como cualquier alimento que procede de un animal terrestre, el cerdo contiene grasa saturada y colesterol, ambos asociados epidemiológicamente con un aumento de colesterol plasmático. Sin embargo, la proporción de grasa monoinsaturada (48%), representada por el ácido oleico es mayor que la de la grasa saturada, presente en un 42% aproximadamente (ác. esteárico). Incluso contiene más cantidad de grasa insaturada que la carne de ternera. Esto justificaría la expresión que se oye en determinados círculos de que el cerdo es «un olivo con patas» (Moreiras, 2015).

La carne de cerdo se puede considerar una buena fuente de minerales. El hierro y el zinc de su composición presenta una biodisponibilidad notable respecto a la de estos minerales en alimentos de origen vegetal. Destaca también el contenido en magnesio, fósforo, potasio y selenio.

En cuanto a su contenido de vitaminas, es de las carnes con mayor cantidad de tiamina y constituye también una buena fuente del resto de vitaminas del grupo B, con excepción del ácido fólico.

Para mejorar el perfil calórico de nuestra dieta actual se recomienda que a la hora de elegir la carne de cerdo que vamos a comer, se opten por los tipos y piezas más magras, relegando las carnes grasas a un consumo más esporádico (Moreiras, 2015).

Tabla N° 05

Cuadro Valor Nutritivo de la Carne de Cerdo

| | Por 100 g de porción comestible | Por ración (160 g) | Recomendaciones día-hombres | Recomendaciones día-mujeres |
|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Energía (Kcal) | 273 | 437 | 3 | 2.3 |
| Proteínas (g) | 16,6 | 26,6 | 54 | 41 |
| Lípidos totales (g) | 23 | 36,8 | 100-117 | 77-89 |
| AG saturados (g) | 7,43 | 11,89 | 23-27 | 18-20 |
| AG monoinsaturados (g) | 9,62 | 15,39 | 67 | 51 |
| AG poliinsaturados (g) | 3,51 | 5,62 | 17 | 13 |
| ω-3 (g) | 0,330 | 0,528 | 3,3-6,6 | 2,6-5,1 |
| C18:2 Linoleico (ω-6 (g) | 2,895 | 4,968 | 10 | 8 |
| Colesterol (mg/1000 kcal) | 72 | 115 | <300 | <230 |
| Fibra (g) | 0 | 0 | 375-413 | 288-316 |
| Hidratos de carbono (g) | 0 | 0 | >35 | >25 |
| Agua (g) | 60,4 | 96,6 | 2.5 | 2 |
| Calcio (mg) | 8 | 12,8 | 1 | 1 |
| Hierro (mg) | 1,3 | 2,1 | 10 | 18 |
| Yodo (μg) | — | — | 140 | 110 |
| Magnesio (mg) | 18 | 28,8 | 350 | 330 |
| Zinc (mg) | 1,8 | 2,9 | 15 | 15 |
| Sodio (mg) | 760 | 1.216 | <2.000 | <2.000 |
| Potasio (mg) | 370 | 592 | 3.5 | 3.5 |
| Fósforo (mg) | 170 | 272 | 700 | 700 |
| Selenio (μg) | 14 | 22,4 | 70 | 55 |
| Tiamina (mg) | 0,7 | 1,12 | 1,2 | 0,9 |
| Riboflavina (mg) | 0,2 | 0,32 | 1,8 | 1,4 |
| Equivalentes niacina (mg) | 7,6 | 12,2 | 20 | 15 |
| Vitamina B6 (mg) | 0,33 | 5,28 | 1,8 | 1,6 |
| Folatos (μg) | 4 | 6,4 | 400 | 400 |
| Vitamina B12 (μg) | 2 | 3,20 | 2 | 2 |
| Vitamina C (mg) | 0 | 0 | 60 | 60 |
| Vitamina A: Eq. Retinol (μg) | Tr | Tr | 1 | 800 |
| Vitamina D (μg) | Tr | Tr | 15 | 15 |
| Vitamina E (mg) | 0,01 | 0,02 | 12 | 12 |

Nota. Tablas de Composición de Alimentos, Moreiras, (2015)

1.4.3 Calidad e importancia de la carne de cerdo.

Es una excelente oportunidad para despejar dudas y aclarar muchos de los mitos y prejuicios que se tejen en torno de la carne de cerdo en nuestra sociedad e inclusive entre la gente más escolarizada.

Se encuentra muy arraigada la idea de que la carne porcina contiene mucho colesterol por la presencia de la grasa, de donde era común sacar la manteca 30 a 40 años atrás.

La genética que se manejaba en esos momentos era la de un cerdo graso y que se le alimentaba con maíz y otros granos para que engordara aún más con el fin de producir manteca para ser utilizada en la cocina por las amas de casa; pero cuando apareció la industria de los aceites, la manteca dejó de ser importante para la cocina y solo se sigue produciendo manteca en los lugares alejados donde es difícil la consecución de aceites vegetales, sobre todo en las zonas rurales. Además, se cree que esta carne es transmisora de enfermedades. Esto no es verdad porque el cerdo es criado actualmente en granjas tecnificadas donde se tiene animales de genética reconocida, donde las buenas prácticas de producción prevalecen en torno a la nutrición, alimentación, manejo y sanidad; estas granjas están supervisadas por profesionales especialistas en producción y sanidad porcina para que la carne que se produce allí sea plenamente garantizada. Cuando esta es enviada al mercado para su consumo debe pasar por los camales oficiales donde son inspeccionados por los Médicos Veterinarios encargados, lo que da la garantía suficiente de que la carne que se ofrece en los Supermercados y lugares de abasto autorizados y reconocidos es una carne saludable (Camacho, 2013).

1.4.3.1 Crianza del cerdo.

En el país hay tres sistemas de crianza, una tecnificada que nos da todas las garantías del caso en cuanto a la calidad de la carne.

Una crianza informal e ilegal que está concentrada alrededor de los rellenos sanitarios o en parques porcinos donde alimentan a los cerdos con desperdicios de restaurantes, hospitales y desperdicios y productos no aptos para el consumo humano (tubérculos, raíces, verduras, frutas en mal estado), faltos de tecnología, con deficientes prácticas de producción y sanidad.

Dichos animales no pasan por los camales por lo tanto no pasan inspección veterinaria y la carne es expendida en mercados y paraditas informales (Camacho, 2013).

Un tercer tipo de crianza es la de traspatio o de subsistencia en las áreas rurales donde el cerdo cumple un rol importante dentro de la economía familiar constituyéndose en la alcancía del pobre y estos animales son beneficiados en los momentos de mayor necesidad económica y la carne es vendida entre los vecinos. Obviamente en esta oportunidad nos estamos refiriendo a la crianza del cerdo en forma tecnificada. Este tipo de crianza se contrapone diametralmente a las crianzas informales conocidas como “chancherías” Que lastimosamente aún persisten a vista y paciencia de las autoridades y se concentran en la periferia de la ciudad, donde el animal es criado en espacios reducidos, antihigiénicamente y cuya alimentación proviene principalmente de sobrantes de restaurantes. Una carne de cerdo de alta calidad debe provenir de granjas donde la tecnología garantice un producto óptimo (Camacho, 2013).

1.4.3.2 Calidad de la carne de cerdo.

Según investigaciones de opinión frente a este problema la población encuestada se dividía en dos sectores. Un sector manifestaba los puntos fuertes, es decir que un 92 % de la muestra poblacional expresaba que la carne de cerdo es muy apetitosa.

Otro sector manifestaba los puntos débiles y este se dividía en dos, por un lado el 35 % opinaba que esta carne hace mal y es peligrosa, por otro lado el 55 % expresaba que la carne de cerdo contenía mucha grasa.

Actualmente la producción de la carne porcina ha cambiado radicalmente; en los años sesenta esta carne estaba revestida por una gruesa capa de grasa, aproximadamente unos dos o tres centímetros. En cambio, ahora esa capa apenas llega a un centímetro (Camacho, 2013).



Figura N° 13 Evolución de la Carne de Cerdo con Respecto a la Cantidad de Grasa, recuperado de Camacho, (2013).

1.4.4 Microbiología de la carne.

La carne fresca por su contenido nutricional y su alto valor de actividad de agua (A_w) está considerada dentro del grupo de los alimentos altamente perecederos, al igual que la mayoría de los productos elaborados con ella; sin embargo, de acuerdo a sus características particulares, el tipo de microorganismos presentes puede variar. (Restrepo *et al*, 2001).

A pesar de que el músculo como tal, es prácticamente estéril, los alimentos preparados con base en carne son muy susceptibles a la contaminación y ofrecen las condiciones necesarias para el crecimiento de microorganismos involucrados en daños y enfermedades de origen alimentario. En este tipo de productos, sobre todo

frescos o con procesos defectuosos, los microorganismos se multiplican rápidamente, especialmente a temperaturas por encima de la de refrigeración, resultando en pérdidas de calidad y/o problemas de salud pública (Restrepo *et al*, 2001).

1.4.4.1 Contaminación de la carne.

Los microorganismos que alteran la carne, llegan a ella por infección del animal vivo, contaminación endógena o por invasión posmortem contaminación exógena. Aunque ambas son de gran importancia, la alteración de la carne a consecuencia de la contaminación exógena es la más frecuente, así, el hombre puede sufrir graves infecciones o intoxicaciones por el consumo de carne procedente de animales sanos (Restrepo *et al*, 2001).

Después del sacrificio y de la evisceración del animal, la carne conserva las características microbianas generales que tenía previo al sacrificio. La superficie del animal está contaminada por microorganismos provenientes del suelo, el aire y el agua, mientras que el músculo esquelético está prácticamente libre de ellos. Ahora bien, existe un número extremadamente alto de microorganismos presentes en el tracto gastrointestinal de los animales, y es de esperarse que algunos de ellos puedan encontrar el camino a la superficie de las canales durante el proceso de evisceración; adicionalmente, algunos animales aparentemente sanos pueden albergar microorganismos en hígado, riñones, nódulos linfáticos y bazo, los cuales pueden llegar al músculo esquelético vía sistema circulatorio, generalmente se encuentran en el músculo en muy bajas cantidades. La contaminación

también puede ocurrir en el proceso de insensibilización (previo al degüello), cuando éste se realiza por el medio del puntillazo, los microorganismos son distribuidos vía sistema circulatorio a los músculos. En la medida que la canal sufre los diferentes cortes que son requeridos para la comercialización de las carnes, la superficie de contacto con el ambiente es mayor y las posibilidades de contaminación también lo son. Las condiciones medioambientales y de manejo (equipos, utensilios, operarios, entre muchos otros), y las características de la carne determinan finalmente la cantidad y calidad de microorganismos presentes (Restrepo *et al*, 2001). Debido a la gran variedad de fuentes de contaminación, los tipos de microorganismos que suelen encontrarse en las carnes son muchos y muy variables.

La contaminación de canales de bovino y porcino después del sacrificio y enfriamiento, es variable y puede ser constituida de $10^1 - 10^5$ Mesófilos aeróbicos por centímetro cuadrado, dependiendo de la canal, sitio de la canal y lugar de donde provenga. La rata de enfriamiento afecta la proporción de microorganismos sicrofílos a mesófilos, los cuales a su vez dependen de la temperatura, tiempo, velocidad del aire y humedad relativa. Inicialmente la contaminación superficial por sicrotróficos es menor que 10^2 y la contaminación con enterobacteriaceas es menor que $10^1 - 10^2$ por cm^2 .

Los contaminantes comunes de las canales son bastones Gram-negativos y micrococos, incluidas *Pseudomonas spp.*, *Moraxella spp.*, *Acinetobacter spp.*, *Flavobacterium spp.*, entre otras (Nortje, 1990).

Adicionalmente pueden existir bacterias productoras de ácido láctico, hongos, levaduras y virus entéricos en bajas cantidades. La contaminación es muy variable y pueden incluirse algunos microorganismos patógenos como *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica* / *pseudotuberculosis*, *Campylobacter jejuni/coli*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* y *Clostridium botulinum*, que provienen ya sea de la microflora intestinal o del medio ambiente; algunos de esos patógenos están más asociados a la carne de unas especies que de otras como por ejemplo la *Y. Enterocolitica* en la carne de cerdo (Fukushima, 1991).

Mohos de diferentes géneros al alcanzar la superficie de la carne se desarrollan sobre ella. Son especialmente interesantes las especies de los géneros *Cladosporium*, *Sporotrichum*, *Oospora*, *Thamnidium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Cryptococcus*, *Torulopsis*, *Chaetostylum*, *Rhizopus* y *Monillia* (Sofos, 1994; Jay, 1994).

Entre las muchas bacterias que pueden encontrarse como contaminantes de la carne, las más importantes son las de los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Sarcina*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Proteus*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Escherichia*, *Salmonella* y *Streptomyces* (Pascual, 1992).

El procesamiento de las canales y el subsecuente manejo de la carne, determinan el destino de los microorganismos originalmente presentes en ella. En general, *sicrótrófos* como las *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter* y *Lactobacillus*, predominan en carne refrigerada, en

cantidades que dependen del pH inicial y de la atmósfera gaseosa. Los microorganismos mesófilos adquieren importancia cuando la temperatura de almacenamiento se eleva a 15EC (Sofos, 1994)

1.4.4.2 Condiciones para la proliferación microbiana.

Entre las condiciones que favorecen la proliferación microbiana en la carne y los productos cárnicos están incluidos los factores de crecimiento o condiciones favorables para que los microorganismos presentes en ellos, aumenten su número y por consiguiente se incremente la población microbiana. Cuando se presenta alguno de los factores de riesgo y los productos se contaminan, comienzan a jugar un papel importantísimo las condiciones y características de la carne y se estimula el crecimiento y multiplicación de los microorganismos infectantes (Sofos, 1994).

Los factores que influyen en el crecimiento de los microorganismos en las carnes son la actividad de agua (A_w), el potencial de óxido-reducción (Eh), el pH, las necesidades nutritivas y la temperatura y en productos cárnicos, también los aditivos utilizados (Sofos, 1994).

1.4.4.2.1 Actividad de agua (A_w).

La A_w mide la disponibilidad de agua del medio donde se encuentran los microorganismos, lo que es igual a la relación entre la presión de vapor de agua de la solución y la presión de vapor de agua del agua pura. El A_w de la carne fresca es de 0.98 - 0.99, cifras que son sumamente favorables para la multiplicación de todas las especies microbianas. Las variaciones en el A_w de la superficie de la carne (relacionada con la humedad relativa) tiene grandes

repercusiones sobre el crecimiento microbiano superficial; todo descenso en el Aw, supone una desecación que se opone a la multiplicación microbiana. Podría pensarse entonces que debería descartarse la conservación de la carne en ambientes húmedos, sin embargo, el ambiente seco asociado con el frío, que provoca una buena inhibición microbiana, trae consigo problemas como pérdida de masa y por consiguiente pérdidas económicas (Restrepo *et al*, 2001).

1.4.4.2.2 Potencial de óxido-reducción (Eh).

Inmediatamente después de la muerte del animal, el músculo todavía contiene en profundidad reservas de oxígeno, que hacen que el Eh sea positivo y elevado, lo que favorece el crecimiento de gérmenes aeróbicos (requieren de la presencia de oxígeno para desarrollarse); los principales microorganismos de este tipo que contaminan la carne son los pertenecientes a los géneros *Pseudomonas* y *Micrococcus*. Luego las reservas de O_2 se agotan por falta de renovación por la sangre, el Eh profundo disminuye rápidamente y se hace negativo. Las condiciones reductoras que se crean, son propicias para el desarrollo de gérmenes anaerobios de la putrefacción, los más representativos de este tipo son los del genero *Clostridium*. Existen otros microorganismos denominados anaerobios facultativos que pueden desarrollarse en presencia o ausencia de oxígeno y los más representativos en la carne y los productos cárnicos son los pertenecientes a los géneros *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Estafilococcus* y *Coliformes*.

Los géneros *Streptococcus* y *Pediococcus* son micro aerobios y también es posible encontrarlos como contaminantes de la carne (Sofos, 1994).

1.4.4.2.3 pH.

El pH del músculo en vivo está cerca de la neutralidad. Después de la muerte desciende más o menos rápidamente, para alcanzar después de la rigidez cadavérica valores entre 5.4 y 5.8 (en condiciones normales y dependiendo de la especie) (Price et al, 1976). Los microorganismos son extremadamente sensibles a las variaciones del pH y generalmente cuando este es bajo, suele producirse un descenso en la velocidad del crecimiento microbiano. Las más afectadas son las bacterias, luego las levaduras y los más resistentes a pH bajos son los mohos. Teniendo en cuenta lo anterior, significa que las carnes con valores de pH elevados están más expuestas a las acciones microbianas, sobre todo a la putrefacción. La mayoría de las bacterias crecen a valores de pH entre 5 y 8.

1.4.4.2.4 Necesidades nutritivas.

Después de haber transcurrido en el músculo los procesos bioquímicos posteriores a su obtención, este aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de los microorganismos. Satisface desde las necesidades tan simples de la *Escherichia coli*, hasta los complejos requerimientos nutricionales del *Streptococcus faecium* (Restrepo et al, 2001).

1.4.4.2.5 Temperatura.

La temperatura del músculo inmediatamente después del sacrificio es relativamente alta (aproximadamente 37°C), temperatura ideal para el desarrollo de las bacterias mesófilas (entre 25 y 40°C, sin embargo, es posible encontrarlas hasta 10°C). Generalmente, una vez obtenidas las canales estas son refrigeradas y en los procesos posteriores de corte, almacenamiento y comercialización se continua con la cadena de frío, es común encontrar microorganismos contaminantes psicrófilos (requieren temperaturas entre 10 y 30°C como temperatura óptima, pero pueden crecer más lentamente hasta los 0°C), los microorganismos pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter* y *Flavobacterium* son los que frecuentemente se encuentran en carnes frescas sometidas a temperaturas de refrigeración (Sofos, 1994).

II. Marco metodológico

2.1 Área de ejecución

Para el desarrollo de la tesis se hicieron uso de los laboratorios de Físico– Química, Laboratorio de Alimentos, Laboratorio de Control de Calidad, de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

También se hizo uso del Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad de la empresa Agroindustrias aib S.A.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Universo

Aceite esencial de Limón: producto de la empresa Agroindustrias aib S.A.

Carne de Cerdo: se compra en el Mercado Modelo de Abastecimiento de Lambayeque.

2.2.2 Muestra

Aceite esencial de Limón: utilizaremos Aproximadamente 100 ml de aceite esencial de limón, donados por la empresa Agroindustrias aib S.A.

Carne de Cerdo: la muestra estará constituida por 10 kg de carne de cerdo que será acondicionada para evaluar los tratamientos indicados en la Figura 14. Ver Anexo 8.

2.3 Variable de estudio

2.3.1 Variable dependiente

- Características sensoriales (Olor, color, textura y sabor) de la carne de cerdo.
- Número de microorganismos (Ufc/ g. o ml)

2.3.2 Variables independientes

Concentración en ppm de aceite esencial de limón (solución de Aceite – Etanol) a 500 ppm, 1000 ppm, 1500 ppm, 2000 ppm, 2500 ppm, 3000 ppm y 3500 ppm. Ver Tabla 17.

2.4 Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1 Equipos y materiales de laboratorio

2.4.1.1 Reactivos

- Acetato de sodio Q.P.
- Ácido clorhídrico Q.P.
- Ácido sulfúrico Q.P.
- Alcohol Terbutílico.
- Etanol 96%
- Hidróxido de Potasio 0,1 N.
- Solución de Hidróxido de sodio 0,1 y 1 N
- Tiosulfato de sodio 5H₂O Q.P.
- 2 – Propanol.
- Otros reactivos usados en los análisis fisicoquímicos

2.4.1.2 Materiales

- Balanza analítica, Marca AND, Capacidad de 0,0001g – 200 g.
- Balón de vidrio, Marca PIREX, Capacidad de 150 ml.
- Bolsas de polietileno, convencionales.
- Campana de desecación, Marca PIREX.
- Capsulas de porcelana, Marca PIREX.
- Cocina Eléctrica
- Lunas de reloj, Marca PIREX.
- Mecheros, Capacidad de 100 ml.

- Picetas de plástico, Capacidad de 500 ml.
- Picnómetro, Marca PIREX, Capacidad de 10ml.
- Pipeta con Embolo, Marca PIREX, Capacidad de 10 ml.
- Pipetas, Marca PIREX, Capacidad de 1 ml, 5 ml, 10 ml.
- Placas Petri, Marca Pirex.
- Polarímetro, Marca GENESIS, Rango de 0 - 70
- Potenciómetro, Marca SCHOTT LAB
- Refractómetro de mesa, Marca ABBLE SALES.
- Refractómetro Manual, Marca ATAGO, Rango de 0°Bx – 33°Bx.
- Refrigeradora, Marca LG, Capacidad de
- Termómetro de mercurio, Marca Accu-Safe, rango de -20°C a 110°C.
- Termómetro, Marca BODECO, Rango de -50°C a 45°C.
- Vasos Beacker, Marca PIREX, Capacidad de 50 ml, 80 ml, 200 ml, 1000 ml y 2000 ml.

2.5 Método de análisis

2.5.1 Análisis físico químico

Los métodos de análisis físico químico empleado tanto para caracterizar el aceite esencial de limón y la carne de cerdo se detallan en la tabla 6.

Para realizar los análisis a la carne de cerdo se hizo uso del laboratorio de Físico–Química, Laboratorio de Alimentos, Laboratorio de Control de Calidad, de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

También se hizo uso del Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad de la empresa Agroindustrias aib S.A., para realizar los análisis al limón como materia prima y al aceite esencial de limón.

Tabla N° 06

Métodos de determinación físico químicos

| ANÁLISIS | CÓDIGO | FUNDAMENTO | FÓRMULA |
|-----------------------------|--------------------|---|---|
| Humedad | NMX-F-083 | Se basa en la pérdida en peso que sufre un alimento un alimento al someterlo a las condiciones de tiempo y temperatura prescritos. | $\%H = \frac{P - P_1}{P_2} \times 100$ <p>P= Peso del recipiente con la muestra húmeda, (g) P1= Peso del recipiente con la muestra seca (g) P2= Peso de la muestra (g)</p> |
| Cenizas | NMX-F-066 | Este método es aplicable a todas las muestras de alimentos sólidos mediante calcinación | $\%C = P - p \times 100M$ <p>P= Masa del crisol con las cenizas (g) p= Masa del crisol vacío (g) M= Masa de la muestra (g)</p> |
| Proteínas | NMX-F-068 | Se basa en la descomposición de los compuestos de nitrógeno orgánico por Ebullición con ácido sulfúrico. | $\% \text{Nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0.14 \times 100}{m}$ <p>V= Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación (cm³) N= Normalidad del ácido clorhídrico. m= Masa de la muestra (g) 0.14= ml-eq del nitrógeno</p> |
| °Bx | NMX-F-103 | Este método se basa en el cambio de dirección que sufren los rayos luminosos en el límite de separación de dos medios en los cuales es distinta la velocidad de propagación. | Los resultados deben expresarse en grados Brix, previa corrección por temperatura. |
| pH | NMX-F-317-S | Se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un aparato medidor de pH (potenciómetro). | El valor del pH de la muestra se lee directamente en la escala del potenciómetro |
| Acidez Titulable | NMX-F-102 | se basa en una titulación potenciométrica con una solución valorada de hidróxido de sodio. | <p>Acidez</p> $= \frac{\text{Gasto de NaOH 1.0 N} \times \text{factor de corrección} \times 6.4}{\text{peso de la muestra}}$ |
| Índice de Refracción | NMX-F-074-S | se basa en la determinación del índice de refracción, ya que sea por medida directa del ángulo de refracción o bien por la observación directa del límite de reflexión total manteniéndose la sustancia dentro de las condiciones de isotropismo y transparencia. | $I. R. = \frac{(T^{\circ}_{\text{Lectura}} - T^{\circ}_{\text{Standar}}) \times \text{Factor}}{+ \text{Lectura}}$ |
| Densidad Relativa | NMX-F-075 | El método consiste en determinar la masa a volúmenes iguales de agua y de aceite o grasa vegetal o animal que se utilizaron para calcular la relación entre ambos valores, bajo condiciones específicas de temperatura, 25°C para aceites y 40°C para grasas. | <p>La densidad relativa se calcula con las siguientes expresiones:</p> $G1 = M1 - M$ $G2 = M2 - M$ $d = \frac{G1}{G2}$ <p>En donde: M1 = Masa del picnómetro con muestra. M2 = Masa del picnómetro con agua, M = Masa del picnómetro vacío. G1 = Masa neta del aceite o grasa. G2 = Masa neta del agua. d= Densidad relativa del aceite o grasa a temperatura T (°C) con respecto al agua de la misma temperatura.</p> |

| | | | |
|---------------------------------|------------------|--|--|
| Residuo a la Evaporación | NMX-F-077 | El método se basa en la medición de la diferencia de pesos, que sufre la muestra, al pasar por un proceso de calentamiento controlado, en la cual se evaporan las sustancias volátiles. | $\% \text{ R. a la evaporación} = \frac{\text{Peso del residuo, en gramos} \times 100}{\text{Peso de la muestra gramos}}$ |
| Angulo de Rotación | NMX-K-129 | Angulo de rotación es la relación que existe entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción de un rayo luminoso, de una longitud de onda determinada, que pasa del aire a la sustancia en examen. Esta se mantiene a una temperatura constante y determinada. | $nD_t = nD_{t'} + K (t' - t)$ <p>En donde: n = Lectura de la temperatura de referencia. n' = Lectura a la temperatura t' en K (°C). t = Temperatura de referencia t' = Temperatura a la cual se hizo la lectura n'. K = 0.000365 para grasas K = 0.000385 para aceites K = 0.00045 para aceites esenciales.</p> |

Nota. Elaboración propia (2017)

2.5.2 Análisis microbiológicos

Los métodos de análisis microbiológicos empleados para evaluar los tratamientos se detallan en la Tabla N° 07.

Tabla N° 07

Métodos de análisis microbiológicos

| Análisis | Método | Nombre del método |
|--|---------------|---|
| Determinación de Salmonella | ICMSF (1983) | Diluciones sucesivas-NMP/100ml |
| Recuento de mohos | ICMSF (1983) | Cultivo directo en placa: Determinación de crecimiento Micelial (Mohos) |
| Numeración de bacterias mesófilas aerobias viables | ICMSF (1983) | Diluciones sucesivas-NMP |
| Numeración de Levaduras | ICMSF (1983) | Determinación de crecimiento Colonial(Levaduras) |
| Determinación de coliformes | ICMSF (1983) | Diluciones sucesivas-NMP/100ml |
| Númeración de E.coli | ICMSF (1983) | Diluciones sucesivas-NMP/100ml Pruebas bioquímicas |

Nota. Lab. De Microbiología - Facultad de Ciencias Biológicas - UNPRG (2015)

2.6 Metodología Experimental

2.6.1 Caracterización del Aceite esencial de limón

La caracterización del aceite esencial de limón se realizó de acuerdo a los análisis indicados en la Tabla N° 06.

2.6.2 Caracterización de la carne de cerdo

La caracterización de la carne de cerdo se realizó de acuerdo a los análisis indicados en el marco metodológico sección 2.5.1

2.6.3 Evaluación de los tratamientos

La carne de cerdo se sometió a los tratamientos indicados en la figura 14 y cada 3 días se realizó la evaluación de microorganismos. Los análisis se realizaron de acuerdo a los métodos indicados en la Tabla N° 7.

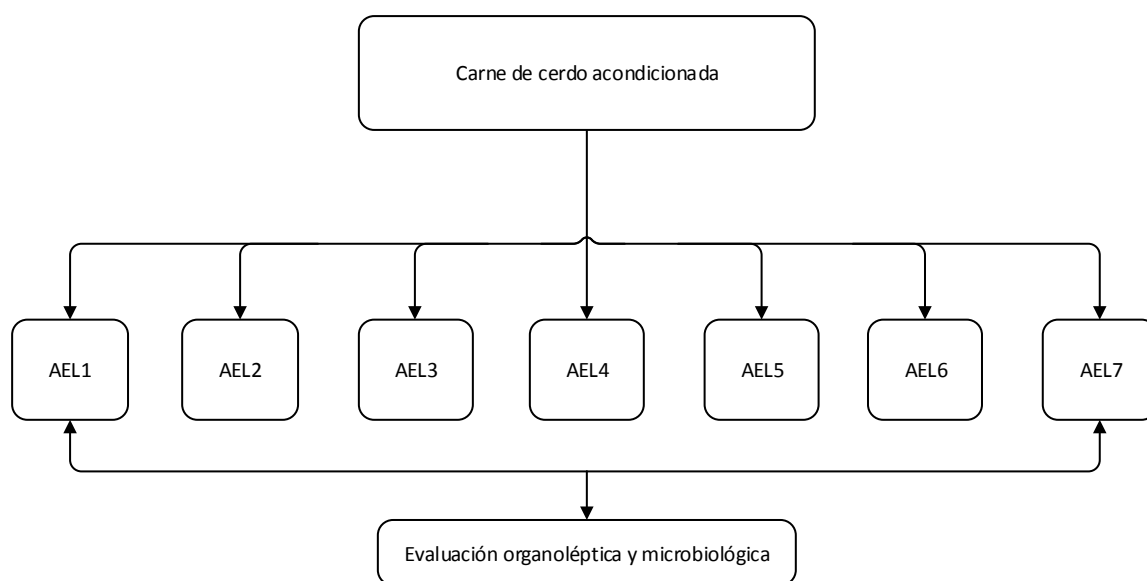


Figura N° 14 Diseño experimental para evaluación de los tratamientos, elaboración propia (2017)

Dónde:

A: es la variable concentración en ppm de aceite esencial de limón

AEL1: 500 ppm

AEL2: 1000 ppm

AEL3: 1500 ppm

AEL4: 2000 ppm

AEL5: 2500 ppm

AEL6: 3000 ppm

AEL7: 3500 ppm

2.6.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza de 95% y una prueba de tukey para determinar la diferencia existente entre los tratamientos. Se empleó el software estadístico SPSS versión 23.

III. Resultados y Discusiones

3.1 Caracterización del aceite esencial de limón

Para la presente investigación se empleó limón sutil con frutos en estado de madurez pintón de peso promedio igual a 28,9 g., valor inferior a lo reportado (29,55g.) por Puente (2006).

Tabla N° 08

Caracterización del Limón sutil (Citrus aurantifolia Swingle)

| Análisis | Resultados | Desviación estándar |
|--------------------|------------|---------------------|
| Brix a 20°C | 7,8 | 0,04 |
| pH a 20°C | 2,29 | 0,08 |
| Acidez v/p | 6,97 | 0,02 |

Nota. Elaboración Propia (2017)

En la Tabla N° 08 se observan los resultados de la caracterización del limón sutil, donde los valores reportados se asemejan a lo reportado por Puente (2006) para °Brix (7,61), pH (2,38) y acidez (5,48). Según Davies (2002), manifiesta que las características del limón no solo pueden verse afectada por la variedad de limón empleada sino también por factores como el clima del lugar del cultivo y la madurez de la fruta.

Tabla N° 09

Caracterización del Aceite esencial de limón

| Análisis | Resultados | Desviación estándar |
|--|-------------------|----------------------------|
| Densidad específica a 25°C/25°C | 0,8719 | 0,0003 |
| Índice de Refracción a 20°C | 1,4835 | 0,0003 |
| Rotación Óptica a 20°C | 34,90 | 0,0016 |
| Aldehídos como Citral % | 4,0 | 0,0030 |
| Solubilidad en Etanol a 96° | 0,3 ml | 0,0020 |

Nota. Elaboración Propia (2017)

El aceite esencial de limón es un líquido de color amarillo claro dotado de un agradable olor a limones frescos y de un gusto aromático y dulce. Con respecto a sus constantes físicas y químicas, las mismas que se observan en la tabla 9 difieren a los reportados por Puente (2006), quien reporta las siguientes características: líquido color amarillo: verde, olor: típico del limón, aspecto: brillante, densidad relativa a 20°C: 0,850 - 0,859 g/ml, índice de refracción a 20°C: 1,4743 – 1,4757, solubilidad en alcohol de 90°: 8,5 -19, volátil, soluble en alcohol o éter, poco soluble en agua y Citralquímico > 1,2 %.

Favre (1945), menciona que es difícil establecer valores estándares debido a que las esencias obtenidos de puntos geográficos distantes presentan diferencias demasiado considerables, así también el momento en que se cosecha y el grado de madurez de la fruta tienen una decisiva influencia en las características de las esencias. El autor también menciona que los limones cosechados al principio de la campaña, revelan poder rotatorio elevado, que disminuye a medida que la fruta va madurando, al mismo tiempo el peso específico y el contenido de citral aumenta.

De igual forma Puente (2006), indica que la luz y de oxígeno puede afectar las características de los aceites esenciales, pero el factor más importante es la conservación a bajas temperaturas, para evitar alteraciones.

3.2 Caracterización de la carne de cerdo

3.2.1 Análisis físico químico

La carne de cerdo antes de ser empleada para evaluar los tratamientos fue caracterizada físico químicamente y los resultados se muestran en la Tabla N° 10, donde se puede observar claramente una diferencia marcada en los valores para cada uno de sus componentes con respecto a los valores reportados por el MINSA (2017) en las tablas de composición de alimentos – Instituto Nacional de Salud – Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Dicha diferencia es explicada por Huerta-Leidenz et al. (2003) quienes indican que existen factores que influyen sobre la composición química de la carne, como el genotipo, el estado fisiológico, la dieta, el sistema de manejo, el tipo de músculo, entre otros.

Tabla N° 10

Caracterización de la carne de cerdo (Sus scrofa domesticus)

| Análisis | Resultados | MINSA |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| Textura | Presenta Rigor | - |
| Humedad % | 67,65 | 69,2 |
| Materia Seca % | 32,35 | 30,8 |
| Acidez | 0,10 | - |
| pH | 6,5 | - |
| Proteína Base Seca % | 16,62 | 14,4 |
| Grasa Base Seca % | 14,53 | 15,1 |
| Cenizas Base Seca % | 1,20 | 1,2 |
| Energía Total Kcal/100g | 197,25 | 198 |
| Valor Nutritivo | 2,098 | - |
| Reacción Aminosodica | Positivo | - |
| Prueba de EBER | Negativo | - |
| TVN mg% | 18,213 | - |
| Reacción del Acetato de Plomo | Negativo | - |

Nota. Elaboración propia (2017)

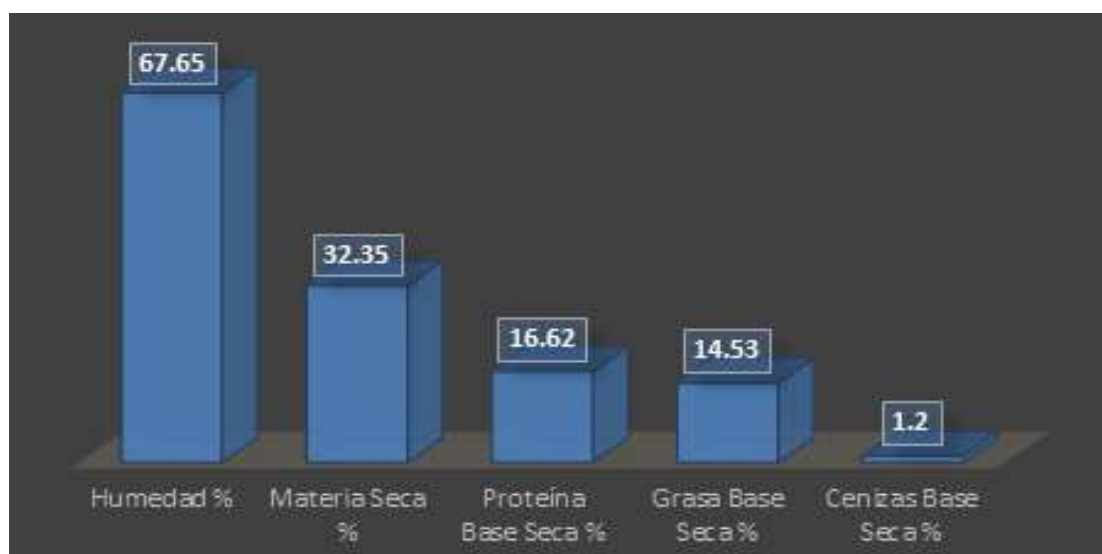


Figura N° 15 composición físico química de la carne de cerdo, Elaboración propia

(2017)

3.2.2 Análisis sensorial de la carne de cerdo

La caracterización sensorial de la carne de cerdo se realizó a través de los sentidos de la vista, olfato y tacto, evaluándose color, olor y textura. Las evaluaciones se realizaron el mismo día de adquisición del material biológico para evitar distorsiones en esta etapa, luego las muestras se acondicionaron y fueron sometidas a los tratamientos. En el Anexo N° 03 se detalla la Prueba para valoración de calidad con la escala de karlsruhe. En la Tabla N° 11 se muestran los resultados de la evaluación sensorial de la carne de cerdo, así mismo se debe detallar que el resultado es el promedio de 12 evaluadores.

Tabla N° 11

Evaluación sensorial de la carne de cerdo

| Muestra | Características sensoriales | | | Promedio |
|-----------------------|-----------------------------|------|---------|----------|
| | Color | Olor | Textura | |
| Carne de cerdo | 9 | 9 | 9 | 9 |

Nota. Elaboración propia (2017)

Apreciando los resultados de la Tabla N° 11 se puede observar que la muestra de carne de cerdo evaluada a temperatura ambiente está categorizada con un valor de 9, recibiendo una calificación de excelente y de acuerdo a la escala de Karlshure es una carne de color natural, típico, excepcional, agradable, brillante; de olor específico de la especie, excepcionalmente pronunciado; de textura excepcionalmente buena, típica, por ej., firme, muy tierna, turgente, jugoso, por lo que se puede decir que no presentó ningún tipo de alteración, por lo que ésta es analizada en el momento que se lleva al laboratorio.

3.2.3 Determinación microbiológica de la carne de cerdo

En la Tabla N° 12, se muestran los resultados del análisis microbiológico de la carne de cerdo, empleada como materia prima antes de ser sometida a los tratamientos.

Se puede observar que la carne de cerdo presentó un número de bacterias aerobias viables en niveles aceptables y dentro de los límites permisibles según Norma Técnica Sanitaria N° 071 MINSA/DIGESA V-01 (2008).

Cabe resaltar que este análisis se realizó el mismo día de la adquisición de las muestras y de evaluación de los tratamientos.

Tabla N° 12

Resultados de los análisis microbiológicos aplicados a la carne de cerdo (*Sus scrofa domesticus*)

| Determinaciones | Tiempo (días) | Patrón (*) |
|--|------------------------|---------------|
| | 0 | |
| Numeración de bacterias mesófilas aerobias viables | 1×10^4 ufc/g. | $< 10^5$ |
| Numeración de mohos | < 1 ufc/g. | $< 10^2$ |
| Numeración de levaduras | < 1 ufc/g.. | $< 10^2$ |
| Numeración de E. coli | < 1 ufc/g. | < 10 |
| Coliformes Totales | < 1 ufc/g. | |
| Salmonella sp. | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g |

(*) NTS N° 071 MINSA/DIGESA V-01 (2008)

Nota. Elaboración propia (2017)

3.3 Evaluación de los tratamientos

Los tratamientos formulados para la presente investigación fueron concentraciones de aceite esencial de limón que van de 500 ppm, 1000 ppm, 1500 ppm, 2000 ppm, 2500 ppm, 3000 ppm y 3500ppm.

A continuación, en la Tabla N° 13 y 14 se muestran los resultados de la evaluación microbiológica: de presencia de *Salmonella sp.* y microorganismos mesófilos viables tal como se detalla en un espacio de 7 días en refrigeración.

Tabla N° 13

Evaluación del efecto de la concentración de aceite esencial de limón sobre la presencia de Salmonella sp en la carne de cerdo

| Tratamiento | Carga Microbiana (<i>Salmonella sp.</i>) | | | |
|-----------------|--|---------------|---------------|----------------|
| | Tiempo | | | |
| | 0 | 1 | 4 | 7 |
| 500 ppm | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g |
| 1000 ppm | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g |
| 1500 ppm | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g |
| 2000 ppm | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g |
| 2500 ppm | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g |
| 3000 ppm | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g. |
| 3500 ppm | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g | Ausencia/25 g |

Nota. Elaboración propia (2017)

En la Tabla N° 13 se puede observar que en las diferentes fechas de evaluación fue constante la ausencia de *Salmonella sp.*

Hilvay (2015), demostró que al aplicar aceite esencial de limón en carne de cuy se observa la diferencia del tratamiento control (sin aceite esencial) con las muestras que se aplicó el aceite esencial, comprobando que el aceite esencial de limón si logra bajar la carga microbiana y conservar la carne por más tiempo.

Forondo (2013), utilizó aceite de limón al 5% de concentración, logró resultados positivos sobre el control de dos patógenos *S. typhimurium* y *E. coli* ya que el aceite de limón presenta un efecto bactericida. En comparación con los resultados del trabajo en la carne de cuy de Hilvay, los dos trabajos presentan resultados positivos de inhibición de patógenos, comprobando la eficacia del aceite de limón, trabajando a bajas concentraciones en la carne de cuy.

Tabla N° 14

Evaluación del efecto de la concentración de aceite esencial de limón sobre el número de microorganismos mesófilos viables en la carne de cerdo

| Tratamiento | Carga Microbiana (Aerobios mesófilos ufc/g) | | | |
|-----------------|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | Tiempo | | | |
| | 0 | 1 | 4 | 7 |
| 500 ppm | 1x10 ⁴ ufc/g | 8,8x10 ³ ufc/g | 6,1x10 ⁵ ufc/g | 1x10 ⁷ ufc/g. |
| 1000 ppm | 1x10 ⁴ ufc/g | 7,2x10 ³ ufc/g | 4,7x10 ⁵ ufc/g | 1x10 ⁶ ufc/g. |
| 1500 ppm | 1x10 ⁴ ufc/g | 6,3x10 ³ ufc/g | 8,3x10 ⁴ ufc/g | 9,8x10 ⁵ ufc/g.. |
| 2000 ppm | 1x10 ⁴ ufc/g | 4,3x10 ³ ufc/g | 6,2x10 ⁴ ufc/g | 8,7x10 ⁵ ufc/g |
| 2500 ppm | 1x10 ⁴ ufc/g | 3,1x10 ³ ufc/g | 4,1x10 ⁴ ufc/g | 8,5x10 ⁵ ufc/g. |
| 3000 ppm | 1x10 ⁴ ufc/g | 1,5x10 ³ ufc/g | 3,2x10 ⁴ ufc/g | 6,9x10 ⁵ ufc/g. |
| 3500 ppm | 1x10 ⁴ ufc/g | 1,2x10 ³ ufc/g | 2,6x10 ⁴ ufc/g | 4,1x10 ⁵ ufc/g. |

Nota. Elaboración propia (2017)

Los resultados de la Tabla N° 14 fueron evaluados estadísticamente para determinar la concentración de aceite esencial de limón que permita conservar eficientemente la calidad bacteriológica de la muestra.

Tabla N° 15

*Análisis de varianza del recuento microbiológico de la carne de cerdo***Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: N° de microorganismos

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Cuadrático promedio | F | Sig. |
|------------------------|----------------------------------|----|---------------------|----------|------|
| Modelo corregido | 305113179341267,400 ^a | 27 | 11300488123750,643 | 937,877 | ,000 |
| Interceptación | 29499507115400,210 | 1 | 29499507115400,210 | 2448,294 | ,000 |
| Tiempo | 69837641951743,050 | 3 | 23279213983914,348 | 1932,045 | ,000 |
| Concentración | 65072064474116,910 | 6 | 10845344079019,484 | 900,103 | ,000 |
| Tiempo * Concentración | 170203472915407,660 | 18 | 9455748495300,426 | 784,774 | ,000 |
| Error | 674744233334,667 | 56 | 12049004166,690 | | |
| Total | 335287430690002,000 | 84 | | | |
| Total corregido | 305787923574602,060 | 83 | | | |

a. R al cuadrado = ,998 (R al cuadrado ajustada = ,997)

Nota. Elaboración propia (2017)

En la Tabla N° 15 se observa que, al evaluar la existencia de diferencia entre el número de microorganismos de los diferentes tratamientos, se encontró que ésta es significativa ($p < 0.05$), indicando que al menos uno es diferente o son diferentes entre sí.

Dado que se encontró la existencia de diferencia significativa entre los tratamientos, cabe evaluar la significancia a través de la prueba de Tukey.

A continuación, se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos, basadas en las medias observadas.

Tabla N° 16

Grupos formados según Tukey

| | | N° de microorganismos | | | |
|--------------------------|----|-----------------------|-----------|-----------|------------|
| HSD Tukey ^{a,b} | | Subconjunto | | | |
| Concentración | N | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3500 ppm | 12 | 111800,00 | | | |
| 3000 ppm | 12 | 183375,00 | 183375,00 | | |
| 2500 ppm | 12 | 226025,00 | 226025,00 | | |
| 2000 ppm | 12 | 236575,00 | 236575,00 | | |
| 1500 ppm | 12 | | 269825,00 | 269825,00 | |
| 1000 ppm | 12 | | | 380133,25 | |
| 500 ppm | 12 | | | | 2740524,92 |
| Sig. | | ,097 | ,470 | ,193 | 1,000 |

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 12049004166,690.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,000.

b. Alfa = .05.

Nota. Elaboración propia (2017)

Como se observa en la Tabla N° 16, los datos se han agrupado en cuatro subconjuntos donde los elementos dentro de cada grupo no se diferencian significativamente, pero si existe diferencia significativa entre los grupos.

Se podrá notar que el grupo uno contiene a los valores más bajos del recuento de microorganismos; Claro está que en ese grupo están contenidas las soluciones formuladas con 3500 ppm, 3000 ppm, 2500 ppm y 2000 ppm de aceite esencial de limón.

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos y de los respectivos análisis estadísticos se creyó por conveniente seleccionar como mejor tratamiento a la concentración de 2000 ppm, por presentar el mismo efecto inhibitorio que las concentraciones de 3500 ppm, 3000 ppm y 2500 ppm frente al crecimiento de los microorganismos. Además, que una menor concentración no imparte alteración en las características sensoriales de la carne de cerdo.

Según Burbano (1998), las propiedades antioxidantes y antiradicales de los aceites esenciales ayudan tanto para la conservación del alimento cómo para la salud del consumidor.

También permiten mejorar la eficacia de ciertos procedimientos de conservación (calentamiento, pasteurización, atmósferas modificadas), por ejemplo, reduciendo de forma espectacular el tiempo necesario para destruir una bacteria. Los aceites esenciales de cítricos (naranja, limón) son inhibidores del desarrollo de *Aspergillus flavus*, eliminando la producción de aflatoxina. Los extractos de ajo y cebolla inhiben el desarrollo de levaduras y son también antibacterianos. Los cereales, rábanos, plátano, berza contienen también sustancias antimicrobianas.

Así también el autor menciona que los aceites esenciales tienen una muy amplia función debido a que el espectro de acción inhibe el crecimiento de bacterias como mohos y levaduras. Su actividad antimicrobiana se basa principalmente en su composición química, y en particular por la naturaleza de sus principales compuestos volátiles. Trabajan en detener el crecimiento de bacterias, su esporulación y la síntesis de sus toxinas. Para las levaduras, actúan sobre la biomasa y la producción de pseudomicelio ya que inhiben la germinación de esporas, micelio elongación, la esporulación y la producción de toxinas. (Burbano, 1998)

Cada aceite esencial tiene varios compuestos bioquímicos fenólicos que inhiben el crecimiento microbiano patógeno. El aceite esencial de limón contiene (terpeno D-limoneno), el aceite esencial de albahaca tiene (eugenol, estragenol y alcanfor) y el aceite esencial de orégano está compuesto por Timol y Carvacrol. (Lindner, 1995).

IV. Conclusiones

1. Se logró evaluar el aceite esencial de limón como una alternativa de conservante natural en carne de cerdo (*Sus scrofa domesticus*) y se determinó que a partir de 2000 ppm es la concentración adecuada para que el aceite actué como un conservante natural.

2. Se realizó la caracterización fisicoquímica, microbiológica y organoléptica de la Carne de Cerdo obteniendo como resultados:

Fisicoquímicos: % Humedad = 67,65, % Materia Seca = 32,35, Acidez = 0,10, % Proteína Base Seca = 16,62, %Grasa Base Seca = 14,53, %Ceniza Base Seca = 1,20, Energía Total Kcal/100g = 197,25, Valor Nutritivo = 2,098, Reacción Aminosodica = Positivo, Prueba de EBER = Negativo, % TVN mg = 18,213, Reaccion del Acetato de Plomo = Negativa, Textura = Presenta Rigor.

Microbiológicos: Numeración de bacterias mesófilos aerobias viables = 1×10^4 ufc/g, Numeración de mohos = <1 ufc/g, Numeración de levaduras = <1 ufc/g, Numeración de E. coli. = <1 ufc/g, Coliformes totales = <1 ufc/g, Salmonella sp. = Ausencia/25 g.

El Limón se caracterizó fisicoquímicamente obteniendo como resultados: °Brix a 20°C = 7,8, pH a 20°C = 2,29, %Acidez v/p = 6,97.

3. Se evaluó los tratamientos estadísticamente para seleccionar el más eficiente, siendo el tratamiento más eficiente a 2000 ppm, debido a que presenta el mismo efecto inhibitorio que las concentraciones a 2500 ppm, 3000 ppm y 3500 ppm.
4. Se caracterizó fisicoquímicamente el aceite esencial de limón, obteniendo los siguientes resultados: Densidad específica a 25°C/25°C 0,8719; Índice de refracción a 20°C 1,4835; Rotación óptica a 20°C 34,90; Aldehídos como Citral 4,0%; Solución en etanol a 96° 0,3 ml.

V. Recomendaciones

1. Evitar el exceso de manipulación a las muestras microbiológicas para evitar la contaminación de las mismas.
2. Realizar estudios en los aceites esenciales extraídos de cítricos y así conocer sus propiedades.
3. Hacer estudios en otros tipos de carne para saber si su actividad antimicrobiana es mayor o igual en ellas.

VI. Referencias bibliográficas

1. Albarracín, G. y Gallo, S. (2003). Comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial de *Piper aduncum* (cordoncillo) procedente de la zona cafetera. Universidad Nacional de Colombia
2. Arraiza, M. (2000), Estudios sobre plantas medicinales y aromáticas, Universidad Politécnica de Madrid.
3. Bandoni, A. (2000). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores. 1ª Ed, Editorial U. Nacional de la Plata, La Plata. p.p. 13 – 42.
4. Boskovic, M., Zdravkovic, N., Ivanovic, J., Janjic, J., Djordjevic, J., Starcevic, M., y Baltic, M. Z. (2015). Antimicrobial activity of Thyme (*Tymus vulgaris*) and Oregano (*Origanum vulgare*) essential oils against some food-borne microorganisms. Journal Procedia Food Science, 5, 18-21.
5. Braverman, J. (1980). Bioquímica de los Alimentos. Nueva. Edición Z. Berk Editorial el manual moderno. 2. BOGNER, II. Y Matzke, P., (1969).
6. Bruneton, J. (2001). Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas Medicinales. 2ª Ed. Zaragoza: Acribia S. A.
7. Burbano, J. (1998). Plantas Medicinales, Hierbas y Vitaminas., 3a. ed., Guayaquil-Ecuador., p. 41.
8. Camacho, C. (2013) Calidad e importancia de la carne porcina, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS - PERU

9. Campión, D. (2013) “Calidad de la carne porcina según el sistema de producción” (tesis de grado). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA – ARGENTINA
10. Castaño, M. (2012) “Evaluación de la Capacidad Conservante de los Aceites Esenciales de Clavo (*Syzygium aromaticum*) y Canela (*Cinnamomum verum*), sobre la levadura (*Rhodotorula mucilaginosa*) en Leche Chocolateada”
11. Cerpa, M. (2007). Hidrodestilación de aceites esenciales: Modelado y caracterización. Universidad de Valladolid
12. Chua, M. - T., Tung, Y. - T. y Chang, S. - T. (2008). Antioxidant activities of ethanolic extracts from the twigs of *Cinnamomum osmophloeum*. *Bioresource Technology*. 99:1918-1925.
13. Danièle (1991) Aromaterapia. Enciclopedia de las plantas aromáticas y sus aceites esenciales. Barcelona: Kairós: pp142.
14. Davies, F. (2002). “Cítricos”, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza. p 233 a 238; 239
15. Díaz, O. (2007). Estudio comparativo de la composición química y evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial de *Aloysia triphylla* (L’ Her) Britton, cultivada en tres regiones de Colombia. Universidad Industrial de Santander
16. Durango, J., Arrieta, G., & Mattar, S. (2004). Presencia de *Salmonella* spp. En un área del Caribe colombiano: un riesgo para la salud pública. *Biomédica*, 24, 89-96.
17. Eusse, J. (2005) CARNE DE CERDO, Guía práctica para su comercialización, MEDELLIN – COLOMBIA.

18. Espinoza, G. (2009). Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina extraída a partir del *Citrus x urantifolia* Swingle. En C. C. Grunauer Espinoza. Guayaquil.
19. Favre, R. (1945). Determinación de citral en aceite esencial de limón. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Buenos Aires. Argentina.
20. Fernandez, J (2005) Antioxidant and antibacterial activities of natural extracts; application in beef meatballs, meat science.
21. Forondo E. (2013) “Capacidad antimicrobiana de subproductos cítricos de limón, naranja y mandarina frente a *E. coli* 0157: A7 y *S. typhimurium*” Universidad Politécnica de Valencia. Centro IATA-CSIC.
22. Fukushima, H. (1991) Contamination of pigs with *Yersenia* at the slaughterhouse. En: *Fleischwirtschaft International*. p.50.
23. García, (2017). “Extracción de aceite esencial por fluidos supercríticos y arrastre con vapor de cedrón (*Aloysia triphylla*) en la región arequipa”. Arequipa – Peru
24. González, S. (2004). Caracterización de las Cadenas Prioritarias e Identificación de las Demandas.
25. Guerrero, D., Flores, A., Jo, O., Lama, D., Luy, G., Mao, J., (2012), Diseño y experimentación de la línea de producción de una planta procesadora de limones, Universidad de Piura. Piura. Perú.
26. Haro, L. (1984). El Aceite Esencial de Limon Sutil. En *Productos Cítricos*. USA.

27. Hilbay L., (2015) Efecto de los aceites esenciales de limón (*Citrus limon*), albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y orégano (*Origanum vulgare*), en la conservación de la carne de cuy (*Cavia porcellus*), Trabajo de grado, Universidad técnica de Ambato, Facultad de ciencias e Ingenierías de alimentos. Ambato – Ecuador.

28. Huerta-Leidenz, N; Arenas, L; Moron-Fuenmayor, O; Uzcátegui-Bracho, S. (2003). Composición mineral del músculo longissimus crudo derivado de canales bovinas producidas y clasificadas en Venezuela. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 53 (1)

29. Jay, James M. (1994) Microbiología Moderna de los Alimentos. Zaragoza: España: Acribia.

30. Lindner E. (1995). Toxicología de Alimentos. Editorial Acribia, S.A. Segunda Edición. Zaragoza España.

31. Martinez, A. (2003). Aceites Esenciales. Obtenido de <http://farmacia.udea.edu.co/~ff/esencias2001b.pdf>

32. Martínez, A. (2003). Aceites esenciales. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.
<http://farmacia.udea.edu.co/~ff/esencias2001b.pdf>

33. Mendoza, G. (2005), “El uso de Aceites Esenciales como alternativas de Conservación Orgánica de Lechuga (*Lactuca Sativa*). Editorial Acribia S. A. ZARAGOZA (España).

34. Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C. (2015) Tablas de composición de alimentos. Guía de prácticas. 17ª ed. Madrid: Ediciones Pirámide

35. Montoya, G. (2010), ACEITES ESENCIALES “Una alternativa de diversificación para el eje cafetero”. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales,
36. Nortje, G. (1990). A quantitative survey of a meat production chain to determine the microbial profile of the final product. En: Journal Food Proteins. No. 53 (1990); p.411.
37. NTS N° 071 - MINSA/DIGESA-V.01. (2008). Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano
38. Ochoa, L. H., Gonzales, A. G., Mendez, N. G., Castellanos, L. N. M., & Ramos, A. Q. (2011). Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 10(3), 455 - 463.
39. Pascual, A. (1992) María del Rosario. Microbiología Alimentaria. Metodología Analítica para Bebidas y Alimentos. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
40. Pengelly, A. (1996). The constituents of Medicinal Plants. 2nd Ed. Cabi Publishing, U. K.
41. Piuranos, L. (2012). Limones Piuranos S.A.C. Obtenido de <http://www.limonespiuranos.com/>
42. Piuranos, L. (2012). Limones Piuranos S.A.C. Obtenido de http://www.limonespiuranos.com/aceite_es.html

43. Piuranos, L. (2012). Limones Piuranos S.A.C. Obtenido de http://www.limonespiuranos.com/calendario_es.html

44. Puente, C. (2006). Determinación de las características físicas y químicas del limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). Tesis de grado. Universidad Técnica del Norte. Ibarra. Ecuador. Visitada el 2/8/2018. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/352/1/03%20AGI%20206%20TESIS.pdf>.

45. Quiminet. (2008). Aceite Esencial de Limon. Obtenido de <http://www.quiminet.com/articulos/elaceite-esencial-de-limon-31875.htm>

46. Restrepo, D., Arango, C., Amenquita A., Restrepo, R., (2001), Industria de Carnes, Universidad Nacional de Colombia – Medellín. p 1 a 5

47. Rodríguez, E. y Julio, M. (2011) “Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial extraído de la Candía (*Hibiscus Esculentus*) aplicada a la conservación de hamburguesa de res” (tesis de grado). UNIVERSIDAD DE CARTAGENA – CARTAGENA

48. Sánchez, C. (2005). “Producción y Comercialización de Cítricos”, ediciones Ripalme, Lima. p 25 a 29; 110,111.

49. SENAMHI. (s.f.). Servicio Nacional de Metereología e Hidrología del Perú. Obtenido de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0530>

50. Sofos, JN. (1994) Microbial growth and its control in meat, poultry and fish. “Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products”. Chap.14. Great Britain: Blackie Academic & Professional.

51. Tiwari, B. K., Valdramidis, V. P., O'Donnell, C. P., Muthukumarappan, K., Bourke, P., & Cullen, P. J. (2009). Application of natural antimicrobials for food preservation. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 57(14), 5987-6000.
52. Van Ginkel, A. (2003). Apuntes del Máster y Diplomatura de posgrado de la UAB “Plantas Medicinales y Fitoterapia. Módulo 2. Cultivo de plantas medicinales. Tecnología y Producción.”
53. Villa, A. (2004). Obtención de aceites esenciales y extractos etanolicos. Recuperado el 2012, de Biblioteca Universidad Nacional Colombia:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/1173/1/angelaandreagonzalezvilla.2004.pdf> 000.
54. Wankat, P. (1988). Equilibrium Staged Separations. Separations in Chemical yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food Chemistry*. 99:19-23.

VII.Anexos

7.1 ANEXO N° 01: Controles de Temperatura a la que se mantuvieron las muestras de carne.



Figura N° 16 Controles de Temperatura a la que se Mantuvieron las Muestras, Toma propia (2017)

7.2 ANEXO N° 02: Muestras de carne de cerdo en el Día 1, 4 y 7 a diferentes Concentraciones de Aceite Esencial de Limón



Figura N° 17 Apariencia de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones en el Día 1, Toma propia (2017)

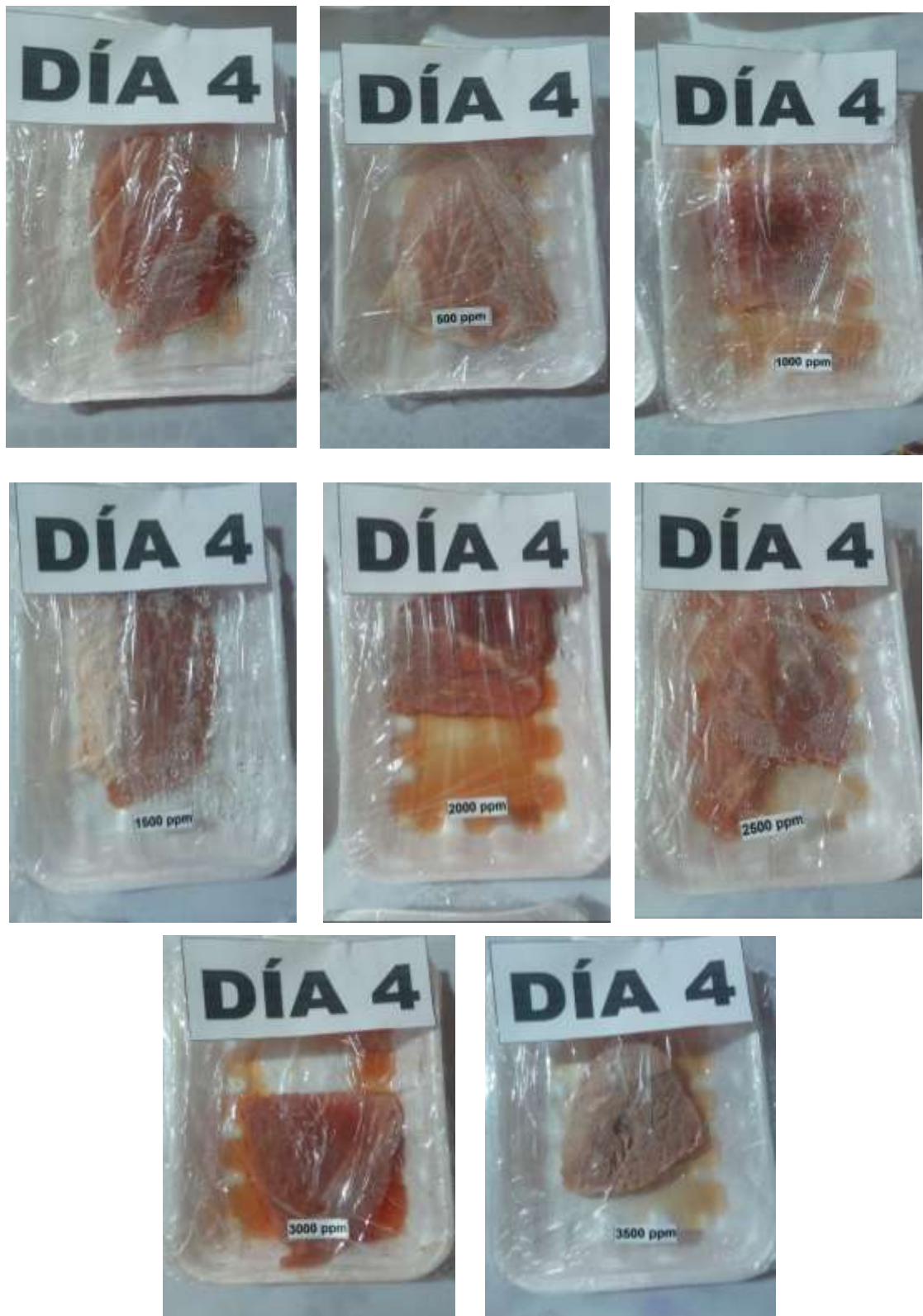


Figura N° 18 Apariencia de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones en el Día

4, toma propia (2017)



Figura N° 19 Apariencia de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones en el Día 7, Toma propia (2017)

7.3 ANEXO N° 03: Prueba para valoración de calidad con la escala de karlsruhe

| Características | Calidad grado 1: Características típicas | | | Calidad grado 2: Deterioro tolerable | | | Calidad grado 3: Deterioro Indeseable | | |
|-----------------|---|--|---|---|--|--|--|---|---|
| | Excelente 9 | Muy buena 8 | Buena 7 | Satisfactoria 6 | Regular 5 | Suficiente 4 | Satisfactoria 3 | Mala 2 | Muy mala 1 |
| Color | Natural, típico, excepcional, agradable, brillante. | Brillante, natural, típico, algunas unidades más o menos coloreadas. | Natural, típico, algo pálido u oscuro, pocas unidades más coloreadas. | Ligeramente alterado, p. ej., algo claro o algo oscuro. | Aparece alterado, por ej., ligeramente descompensado. | La superficie aparece teñida. por ej., con estrías de otro tono. No es desagradable. | Superficie intensamente teñida, por ej., grisácea o azulada. | Superficie intensamente teñida. El color típico ha desaparecido. | Superficie intensamente teñida, color francamente alterado Repugnante. |
| Olor | Específico de la especie, excepcionalmente pronunciado. | Específico de la especie, completo, intenso. | Específicos de la especie, bueno. | Levemente perjudicado, normal, por ej., ligeramente plano, no redondeado. | Daño todavía aceptable. por ej., bastante plano, áspero perfunado, ligeramente a pasto. | Claramente dañado, por ej., insípido perfumado, olor a humo, enmohecido. | Alterado. Por ej., completamente disminuido, rancio, fermentado. No típico. | Alterado, desagradable. Todavía no repulsivo, rancio a pescado, intenso a heno. | Extraño, desagradable, putrefacto, fermentado. Francamente deteriorado. |
| Textura | Excepcionalmente buena, típica, por ej., firme, muy tierna, turgente, jugoso. | Muy buena, típica, por ej., dura, firme, tierna. | Buena, típica, por ej., dura, firme, tierna. | Normal, ligeramente alterada. Levemente reblandecida. por ej., continúa tierna. | Alterada, dejando al producto aceptable. Por ej., ligera desuniformidad, muy blanda, muy dura. | Claramente alterada. Por ej., desuniformidad: muy dura, ligeramente acuosa, cutícula dura. | Claramente alterada, modificada. Muy desuniforme: muy blanda, muy dura, resistente, espesa, viscosa, como suela. | Desagradablemente modificada, por ej., modificada, por ej., completamente deshecha, hasta puré, muy licuada, intensamente dura. | Repugnante |

Nota. Solis (2011)

ANEXO N° 04: Resultados de análisis físico químico y microbiológicos realizados al aceite esencial de limón

| CERTIFICADO DE CALIDAD 17-02/AC | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------------------------------------|-------------|---|------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|--------------|---------------------|
| PRODUCTO | | ACEITE CENTRIFUGADO DE LIMON | | | | | | | | | | | |
| LOTE-BATCH | | 20435-01B | | | | | | | | | | | |
| PRODUCCION | | 22 de Julio del 2017 | | | | | | | | | | | |
| TIPO DE ANALISIS | | Muestra | | | | | | | | | | | |
| <p>Certificamos que la calidad del producto anteriormente mencionado se ajusta a nuestras especificaciones, la descripción de los resultados de los análisis son los siguientes:</p> | | | | | | | | | | | | | |
| LOTE-BATCH Nr. | Fecha de Producción | Fecha de Expiración | Muestra Nr. | | Total muestra | Gravedad Específica (a 25°C/25°C) | Indice de Refracción, 20°C | Rotación óptica (a 20°C) | Aldehidos como citral, % | Sabor / Color / Olor | R.T.G ufc/mL | Mohos ufc/mL | Levaduras ufc/mL |
| | | | De | A | | | | | | | | | |
| 20435-01B | 22/07/2017 | 22/08/2018 | 1 | 1 | 1 | 0.8719 | 1.4835 | +34.90 | 4.0 | Típico | <10 | <10 | <10 |

Motupe, 07 de Septiembre del 2017

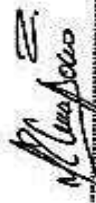

Ing. Maria Elena Sono Vidarte
 Jefe de Aseguramiento de la Calidad
 AGROINDUSTRIAS AIB-PLANTA NORTE

Figura 20 Certificado de Calidad del Aceite Esencial de Limón con Respecto al Análisis Físico Químico y Microbiológico realizado, Toma Propia (2017)

7.4 ANEXO N° 05: Resultados de análisis físico químico aplicados a la carne de cerdo

INFORME DE ANALISIS BROMATOLOGICOS
TESIS

Solicitud verbal de fecha 07 de Agosto del 2017.

I.- DATOS DEL SOLICITANTE:
Nombre : TESIS.
Expediente : Exp. FECHA: 07.08.2017

II.- DATOS DE LA MUESTRA
Nombre : CARNE FRESCA DE CERDO (Sus scrofa domestica).
Cantidad recibida : 01 muestra.
Forma de Presentación : Bolsa envuelto en papel.
Estado del envase : Bueno.
Naturaleza del envase : Plástico transparente y papel.
Marca : NO INDICA.
Procedencia : NO INDICA.
Fecha de Producción : NO INDICA.
Fecha de Vencimiento : NO INDICA.
Autorización Sanitaria : NO INDICA.
Llegada al laboratorio : 07 - 08 - 2017
Fecha de análisis : 07 - 08 - 2017

III.- TIPO DE ANALISIS
- ORGANOLEPTICO
- FISICO - QUIMICO

IV.- DOCUMENTO NORMATIVO
Reglamento sobre vigilancia y control Sanitario de Alimentos y Bebidas (D.S. 007-98-SA).
NTP 201.003-2012 CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS.
DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS DE CARCASAS Y CARNE DE PORCINOS

V.- RESULTADO DEL ANALISIS
1. Caracteres Organolépticos:
Color : Rosáceo vivo.
Olor : Propio del producto.
Sabor : Propio del producto.
Aspecto : Marmóreo.
Consistencia y ligazón : Firme y elástica.
2. Determinaciones Físico - químicas :
Manchas : No presenta.
Coágulos : No presenta.
Hematomas : No presenta.
Textura : Presenta rigor.
Humedad : 67,65% V. Máx. 12% Método empleado: NTP 201.018.2001.
Materia Seca : 32,35% Método empleado: Por diferencia.
Acidez : 0,10% Exp. En ácido Láctico, Método empleado Pearson 1976.
pH : 6,5 Método Potenciométrico.
Proteínas base seca : 16,62% Factor 6,25. Método empleado: NTP 201.021.2002.
Grasas base seca : 14,53% Método empleado: NTP 201.016.2002.
Cenizas base seca : 01,20% Método empleado: NTP 201.058.2006.
Energía total : 197,25 Kcal/100g (Fórmula de Atwater).
Valor nutritivo : 2,098 (Fórmula de Atwater).
Reacción Aminomédica : POSITIVO.
PRUEBA DE EBER : NEGATIVO Método empleado: NTP 201.017-1980.
REACCIÓN DEL ACETATO DE PLOMO: NEGATIVO.
TVN : 18,213 mg% Método empleado: NTP 201.032.1982 V. Máx: 20 mg%

VI.- CONCLUSIONES: La muestra de carne de cerdo se encuentra APTA PARA EL CONSUMO HUMANO.
Lambayeque, 08 de Agosto del 2017


 Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA
MSc. José Ricardo Perich
C.B.P. 2463
J E P E

Figura N° 21 Certificado de Análisis Físico Químico Realizado a la Carne de Cerdo,
Toma propia (2017)

7.5 ANEXO N° 06: Resultados de análisis microbiológicos aplicados a la carne de cerdo a diferentes concentraciones en ppm de aceite esencial de limón

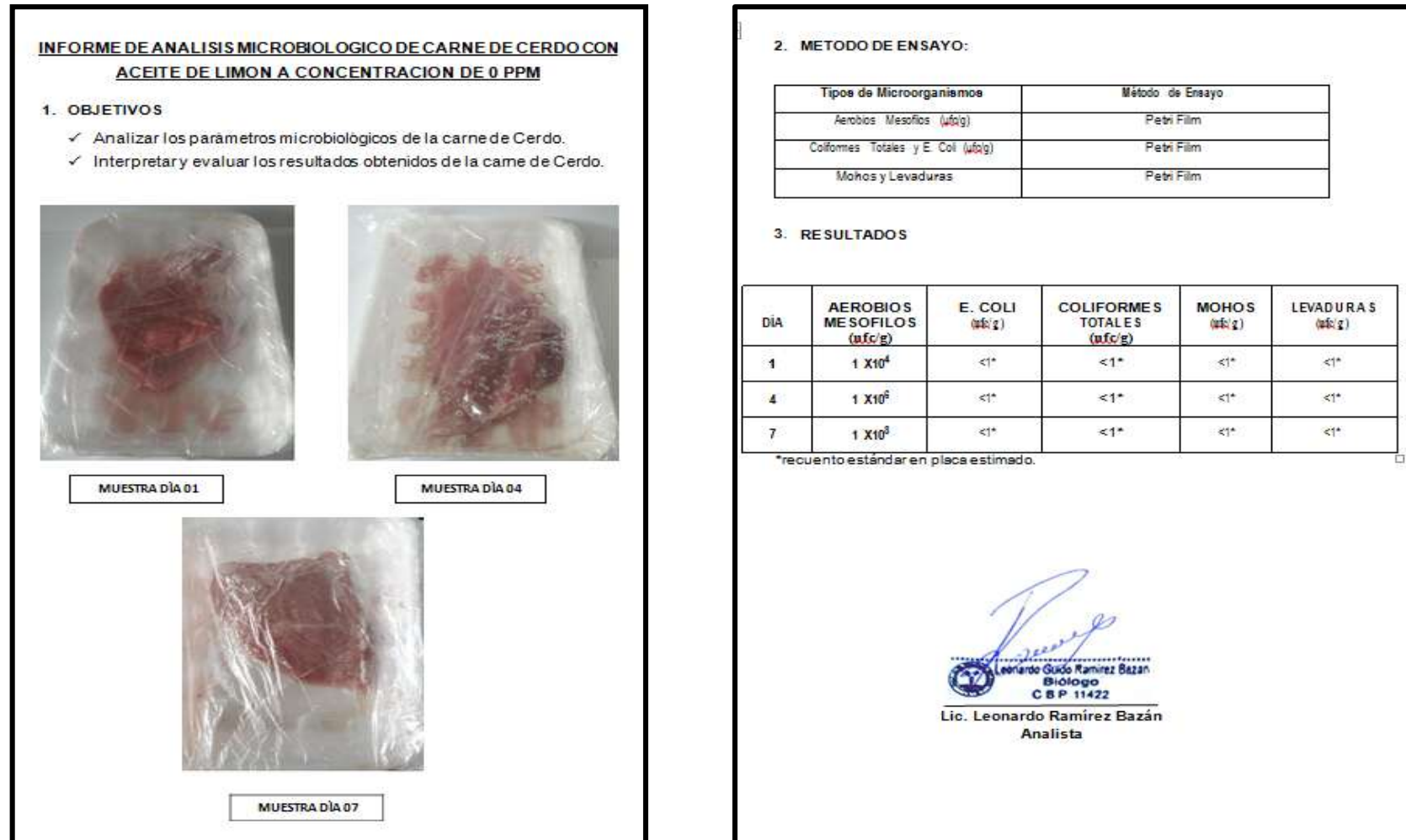


Figura 22 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra Sin Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)

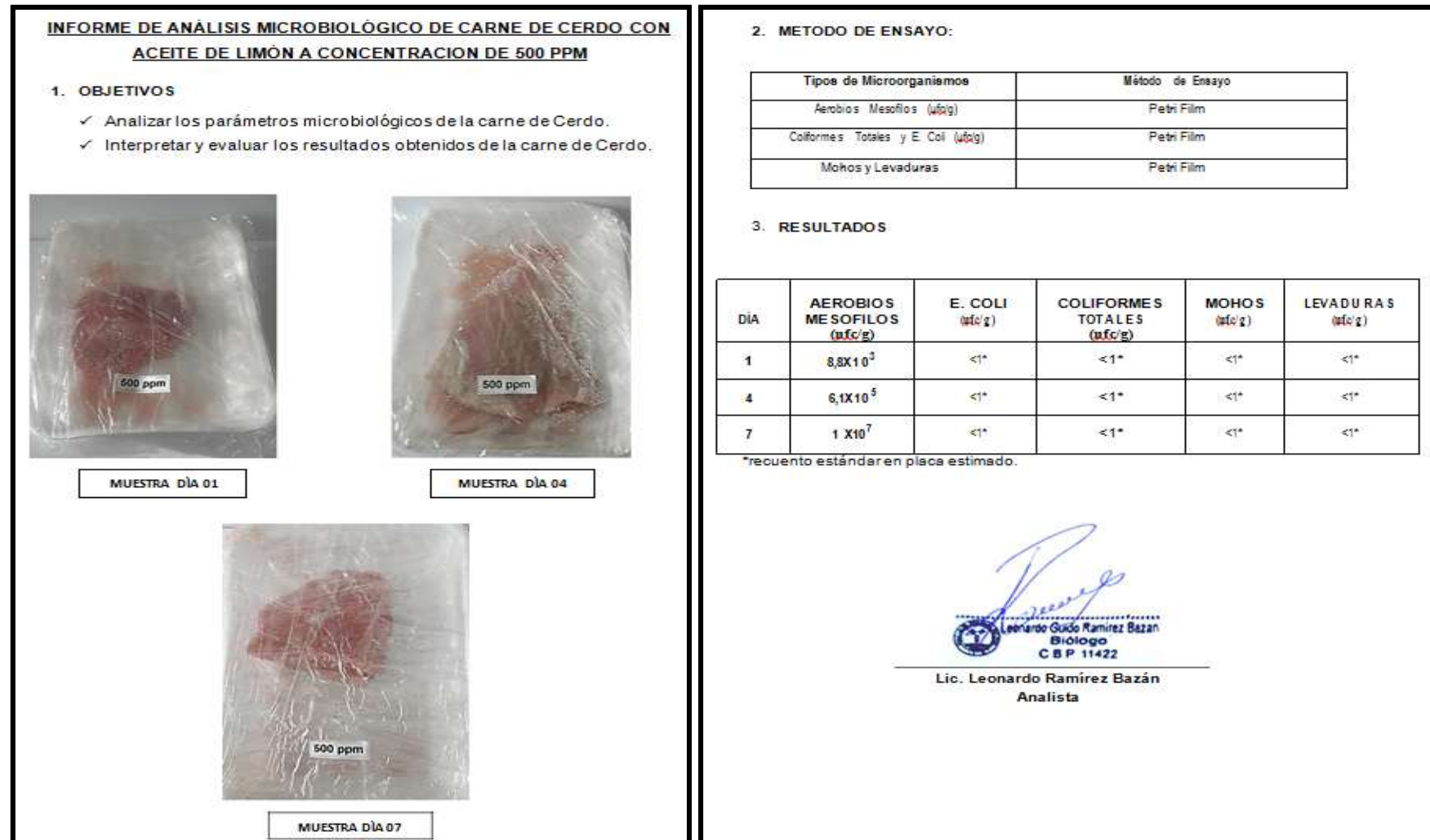


Figura 23 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 500 ppm de Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)

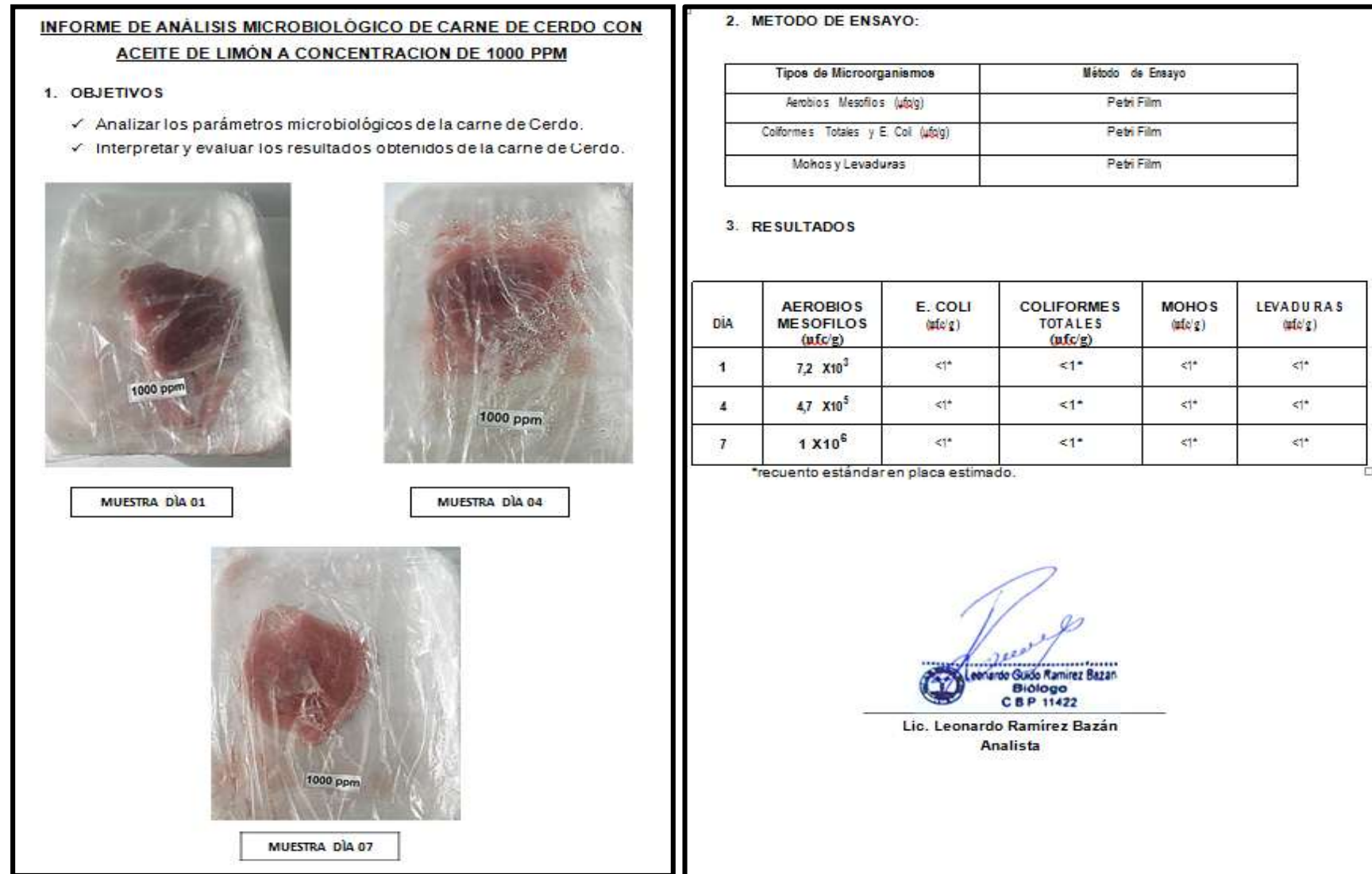


Figura 24 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 1000 ppm de Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)



Figura 25 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 1500 ppm de Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)



Figura 26 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 2000 ppm de Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)

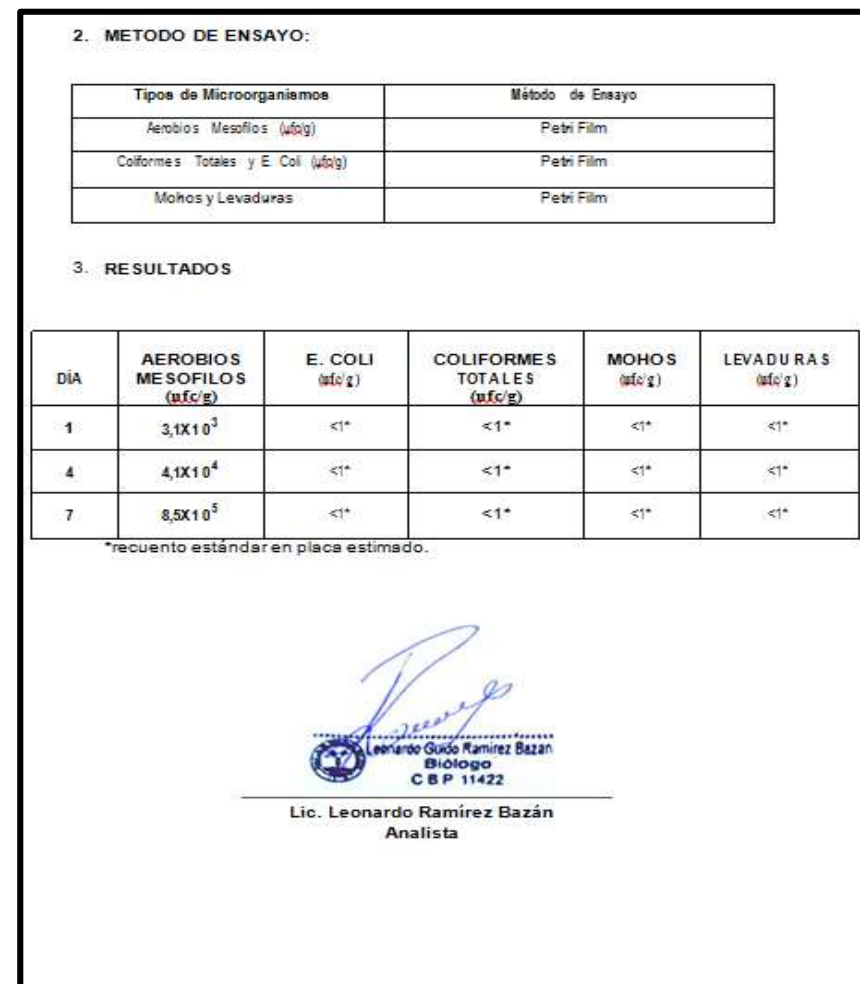


Figura 27 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 2500 ppm de Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)

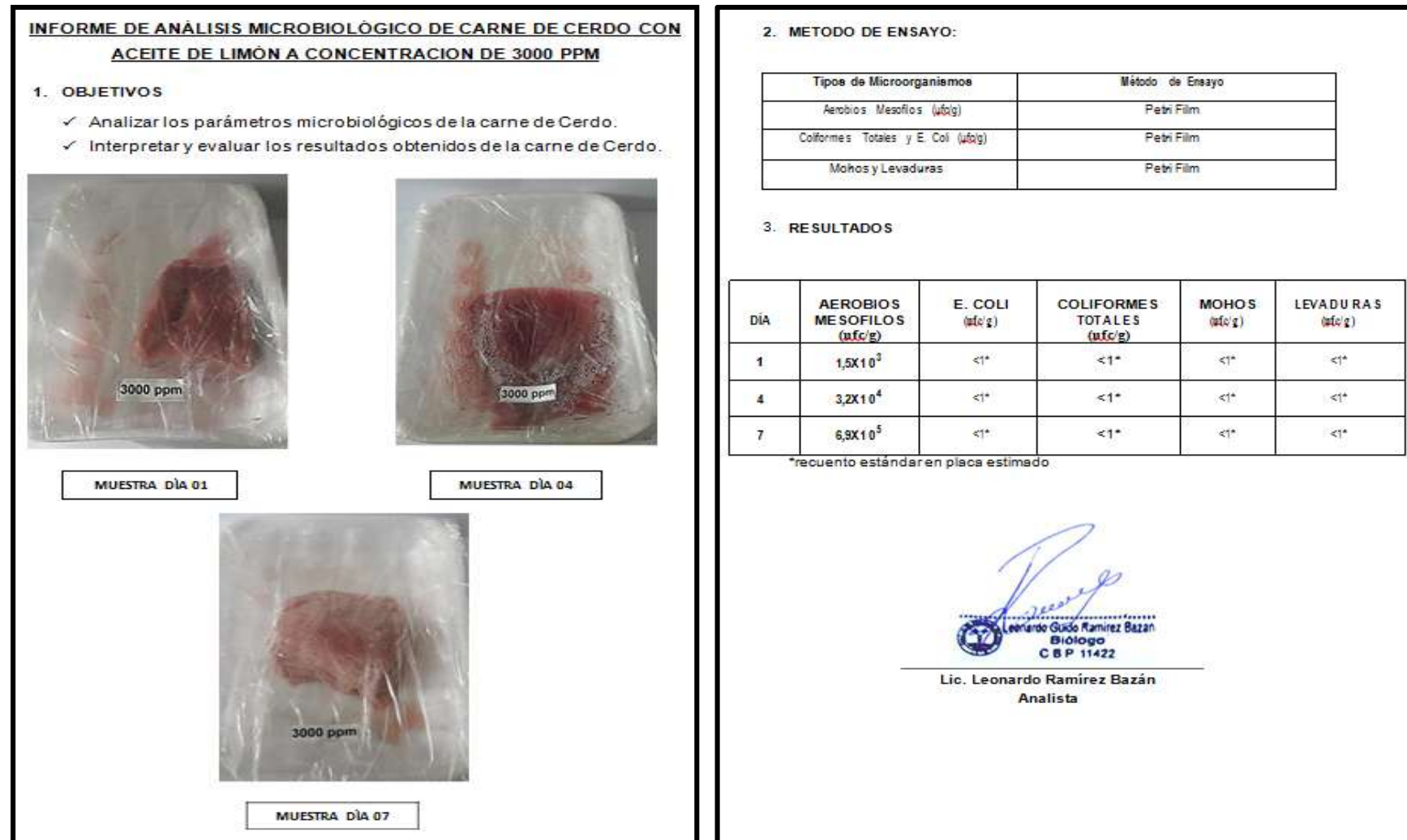


Figura 28 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 3000 ppm de Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)

**INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE CARNE DE CERDO CON
ACEITE DE LIMÓN A CONCENTRACION DE 3500 PPM**

1. OBJETIVOS

- ✓ Analizar los parámetros microbiológicos de la carne de Cerdo.
- ✓ Interpretar y evaluar los resultados obtenidos de la carne de Cerdo.



MUESTRA Día 01



MUESTRA Día 04



MUESTRA Día 07

2. METODO DE ENSAYO:

| Tipos de Microorganismos | Método de Ensayo |
|--------------------------------------|------------------|
| Aerobios Mesófilos (ufo/g) | Petri Film |
| Coliformes Totales y E. Coli (ufo/g) | Petri Film |
| Mohos y Levaduras | Petri Film |

3. RESULTADOS

| DÍA | AEROBIOS MESOFILOS (ufo/g) | E. COLI (ufo/g) | COLIFORMES TOTALES (ufo/g) | MOHOS (ufo/g) | LEVADURAS (ufo/g) |
|-----|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 1 | $1,2 \times 10^3$ | <1* | <1* | <1* | <1* |
| 4 | $2,6 \times 10^4$ | <1* | <1* | <1* | <1* |
| 7 | $4,1 \times 10^5$ | <1* | <1* | <1* | <1* |

*recuento estándar en placa estimado.


Leonardo Guido Ramírez Bazán
Biólogo
C B P 11422

Lic. Leonardo Ramírez Bazán
Analista

Figura 29 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo, Muestra a 3500 ppm de Aceite Esencial de Limón, Elaboración Propia (2017)



Figura 30 Resultados Microbiológicos de la Carne de Cerdo a Diferentes Concentraciones de Aceite Esencial de Limón, Análisis de *Salmonella* sp., Elaboración Propia (2017)

7.6 ANEXO N° 07: Criterio microbiológico aceptada por DIGESA para carnes congeladas

| 10. CARNES Y PRODUCTOS CARNICOS. | | | | | | |
|---|-----------|-------|---|---|---------------|-----------------|
| 10.1 Carne cruda, refrigerada y congelada de ave (pollo, gallina, pavo, pato, avestruz, otras). | | | | | | |
| Agentes microbianos. | Categoría | Clase | n | c | Limite por g. | |
| | | | | | m | M |
| Aerobio Mesófilos (30 °C) | 2 | 3 | 5 | 2 | 10^5 | 10^7 |
| <i>Salmonella sp.</i> | 10 | 2 | 5 | 0 | Ausencia/25g | --- |
| 10.2 Carne de ave pre cocida que requiere tratamiento térmico antes de su consumo. | | | | | | |
| Agentes microbianos. | Categoría | Clase | n | c | Limite por g. | |
| | | | | | m | M |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 8 | 3 | 5 | 1 | 10^3 | 10^4 |
| <i>Salmonella sp.</i> | 10 | 2 | 5 | 0 | Ausencia/25g | --- |
| 10.3 Carne cruda, refrigerada y congelada de bovinos, porcinos, ovinos, caprinos, camélidos, equinos, otros. | | | | | | |
| Agentes microbianos. | Categoría | Clase | n | c | Limite por g. | |
| | | | | | m | M |
| Aerobio Mesófilos (30 °C) | 2 | 3 | 5 | 2 | 10^5 | 10^7 |
| <i>Salmonella sp.</i> | 10 | 2 | 5 | 0 | Ausencia/25g | --- |
| 10.4 Visceras refrigerada y congelada de aves, bovinos, otros. | | | | | | |
| Agentes microbianos. | Categoría | Clase | n | c | Limite por g. | |
| | | | | | m | M |
| Aerobio Mesófilos (30 °C) | 2 | 3 | 5 | 2 | 10^5 | 10^7 |
| <i>Escherichia coli</i> | 5 | 3 | 5 | 2 | 50 | 5×10^2 |
| <i>Salmonella sp.</i> | 10 | 2 | 5 | 0 | Ausencia/25g | --- |

Nota. NTS N° 071 MINSA/DIGESA V-01 (2008)

7.7 ANEXO N° 08: Diagrama de flujo para el acondicionamiento de la carne de cerdo y la solución en ppm utilizada.

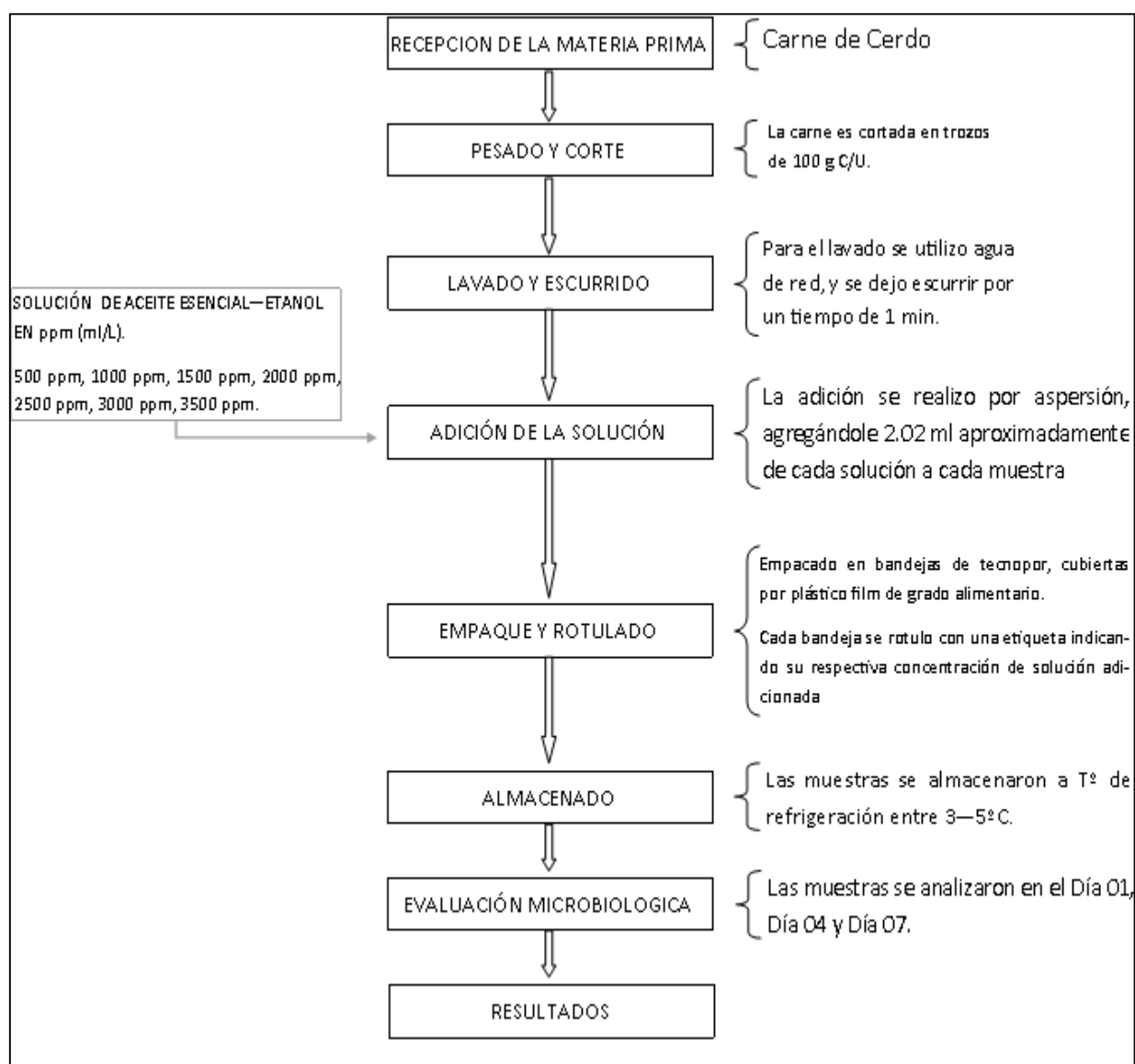


Figura 31 Diagrama de flujo para el acondicionamiento de la carne de cerdo y la solución en ppm utilizada para cada muestra, Elaboración propia (2017).

7.8 ANEXO N° 09: Tabla de conversión ppm a ml/l (ml aceite esencial/litro de etanol) y %.

Tabla N° 17

Tabla de conversión ppm a ml/l (ml aceite esencial/litro de etanol) y %.

| ppm | | = | <u>ml (Aceite Esencial de limón)</u> L (Etanol 96°) | = | % |
|------|-----|---|--|---|----------|
| 1 | ppm | = | 0,001 ml/L | = | 0,0001 % |
| 10 | ppm | = | 0,01 ml/L | = | 0,001 % |
| 50 | ppm | = | 0,05 ml/L | = | 0,005 % |
| 100 | ppm | = | 0,1 ml/L | = | 0,01 % |
| 500 | ppm | = | 0,5 ml/L | = | 0,05 % |
| 1000 | ppm | = | 1 ml/L | = | 0,1 % |
| 1500 | ppm | = | 1,5 ml/L | = | 0,15 % |
| 2000 | ppm | = | 2 ml/L | = | 0,2 % |
| 2500 | ppm | = | 2,5 ml/L | = | 0,25 % |
| 3000 | ppm | = | 3 ml/L | = | 0,3 % |
| 3500 | ppm | = | 3,5 ml/L | = | 0,35 % |

Nota. Elaboración propia (2017)