



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIOS CUAUTITLÁN**

**ENVASADO DE PECHUGA DE POLLO MARINADA EN
ATMÓSFERA MODIFICADA ACTIVA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:
LÓPEZ EMILIANO JOSÉ CHRISTIÁN**

**ASESORES:
DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA
I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **TESIS**

Envasado de pechuga de pollo marinada en atmósfera modificada activa

Que presenta el pasante: **José Christian López Emiliano**
Con número de cuenta: **407075432** para obtener el Título de: **Ingeniero en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 09 de mayo de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	IBQ. José Jaime Flores Minutti	
VOCAL	I.A. Manuel Alarcón López	
SECRETARIO	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
1er SUPLENTE	IA. María Guadalupe López Franco	
2do SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con el apoyo del proyecto PAPIME PE203711 “Fortalecer el área de procesos y sistemas frigoríficos con atmósferas modificadas”, de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la UNAM.

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar esta tesis a todas y cada una de las personas que menciono a continuación porque fueron, son y seguirán siendo parte importante en mi vida... GRACIAS!!!

A Dios: Por haberme permitido concluir una etapa tan importante en mi vida, por haber estado a mi lado y ser siempre ese motor que me impulsaba a seguir todos los días... gracias chuchito!!!

A la UNAM: Por permitirme formar parte de esta gran familia, perteneciendo a uno de sus planteles la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, donde aprendí, disfrute, sufre, conocí pero sobre todo viví... por permitirme sentir esa pasión, ese amor al poder gritar con orgullo un Goya a todo pulmón, por ser mi segunda casa durante 5 años.. Por esto y mucho más gracias UNAM.

A July: Por ser ese motor en mi vida que día a día me impulsa a ser mejor, por tus consejos, tus apapachos, tus regaños, por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas, por ser esa persona que nunca dejes que me cayera... gracias mamá TE AMO...

A Polo: Por enseñarme el valor de las cosas, por mostrarme que en la vida hay que luchar para conseguir lo que se quiere y nunca desesperar ... por estar a mi lado apoyándome y orientándome para ser el hombre que ahora soy, por todo tu esfuerzo para sacarnos adelante a mi a mis hermanos... gracias papá Eres lo máximo gordo..

Al de la Cruz: Por que más que mi abuelo fuiste y has sido el mejor amigo que jamás tendré, por tus consejos por tus palabras, por haber sido la única persona que siempre creyó en mi desde el inicio y hasta el final, porque siempre estuviste orgulloso de mi y sabías que lo lograría... Esto es para ti abuelo y en donde quiera que estés espero que lo disfrutes.

A mis hermanos Edgar y Gerardo: Por estar siempre a mi lado gozando, riendo, llorando, peleando... pero siempre juntos, por soportar mi mal genio y mis momentos difíciles... Los Amo brothers...

A la profesora Luz Zambrano: Por haberme guiado e instruido durante todo el proceso de este trabajo, brindándome todo su apoyo, comprensión y paciencia. Por haber compartido sus conocimientos conmigo y no reservarse nada... Gracias maestra.

Al profesor Alfredo Álvarez: Gracias por su tiempo, sus regaños y asesoría en este trabajo tan importante para mi que me ayudaron y lo seguirán haciendo para ser mejor profesional día a día.

A mis Hermanos políticos: Camilo, Arturo, Chelo, Borrego, Miguel... Por estar a mi lado durante todo este tiempo en la misma lucha y persiguiendo el mismo sueño gracias Feooooooooooooos....

A Tania Díaz: Por ser mi mejor amiga, mi confidente, mi cómplice, mi maestra... Gracias por todo mostro te quiero mucho....

A Andy: Por haber sido esa persona que estuvo a mi lado en los momentos más difíciles, ese motor que me impulsaba a seguir adelante y ser mejor cada día, por todos y cada uno de esos momentos a tu lado... gracias princesa!!!

Índice General

Resumen	I
Introducción	ii
Capítulo I Marco teórico	1
1.1 El pollo en México	1
1.1.1 Estructura y composición y consumo de la pechuga de pollo en México	2
Propiedades nutritivas de la carne de pollo	
1.1.2 Composición química y características fisicoquímicas de la pechuga de pollo	7
1.1.2.1 Capacidad de retención de agua (CRA)	
1.1.2.2 Métodos de evaluación de la retención de agua	
1.1.2.4 Textura	
1.1.2.5 pH	
1.1.2.6 Color	
1.1.2.7 Jugosidad	
1.1.3 Vida útil de la carne de pollo y derivados	17
1.1.3.1 Factores que afectan el tiempo de vida útil de la carne de ave	
1.1.4 Métodos de conservación de pollo fresco y derivados	19
1.2 Atmosferas Modificadas	22
1.2.1 Tipos de atmósfera modificada	
1.2.1.1 Atmósfera pasiva	
1.2.1.2 Atmósfera activa	
1.2.2 Factores microbianos	24
1.2.3 Composición de las atmósferas modificadas	25
1.2.3.1 Tipos de gases utilizados en las atmósferas modificadas	
1.2.3.2 Oxígeno	

1.2.3.3 Dióxido de carbono	
1.2.3.4 Nitrógeno	
1.2.3.5 Combinación de gases	
1.2.4 Modificadores de la atmósfera	29
1.2.5 Materiales de envase para una atmósfera modificada	32
Ventajas y desventajas del uso de las atmósferas modificadas	
1.2.6 Atmósferas modificadas en la conservación de pollo y derivados	35
1.2.7 Efecto durante el almacenamiento en frío	37
1.3 Marinado	38
Funcionalidad y composición de los marinados	
1.3.1 Tipos de marinados	40
1.3.1.1 Marinados líquidos	
1.3.1.2 Marinados secos	
1.3.2 Métodos de aplicación de marinados	40
1.3.2.2 Marinado por inmersión	
1.3.2.3 Marinado por masajeo	
1.3.2.4 Marinado por inyección	

Capítulo II Metodología de investigación experimental

	41
2.1 Problema	
2.2 Objetivo general y particulares	42
2.3 Materiales y reactivos	43
2.4 Actividades preliminares	44
2.4.1 Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	
2.4.2 Preparación de la muestra	
2.4.3 Preparación de los marinados	
2.4.4 Envasado de las muestras	
2.5 Métodos de evaluación	48
2.5.1 pH	
2.5.2 Color	

2.5.3 Capacidad de retención de agua	
2.5.4 Terneza	
2.5.5 Concentración de gases	
2.6 Diseño experimental	54
Capítulo III Resultados y análisis de resultados	55
	55
3.1 Actividades preliminares	58
3.2 Objetivo particular 1 y 2	64
3.3 Objetivo particular 3	91
CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFIA	92

Índice de Figuras

Figura		
No.	Título	Página
1.	Consumo per-capita de pollo en México en kilogramos por habitante.	3
2.	Producción de pollo expresado en porcentaje de los diferentes estados de México.	4
3.	Gráfica representativa de la producción de pollo a nivel nacional en toneladas por año 1994-2011.	5
4.	Compuestos integradores del músculo esquelético de la carne de ave.	5
5.	Diagrama esquemático de un sistema espectrofotométrico.	15
6.	Diagrama esquemático de los principales componentes del radiómetro.	16
7.	Diagrama esquemático de un colorímetro de plantillas.	16
8.	Cámara frigorífica que se utilizó para la conservación y almacenamiento de las muestras de pechuga de pollo marinada en atmósferas modificadas.	44
9.	Bolsas de alta barrera tipo <i>pouch</i> utilizadas en el envasado de las muestras de pechuga de pollo marinada en atmósferas modificadas.	46
10.	a) Envasadora automática de tipo campana MULTIVAC A 300/16 b) Muestras de pechuga de pollo marionadas previas a la inyección.	46
11.	Tanques con las diferentes mezclas de gases a utilizar para la creación de las atmósferas modificadas activas	47
12.	Potenciómetro HANNA 213, utilizado en la obtención del pH de las diferentes muestras.	48
13.	Diagrama de bloques para la elaboración de pechuga de pollo marinada.	49
14.	Parte interna y externa de la cámara de análisis de imagen utilizada para la obtención de los parámetros L^* , a^* y b^* para la pechuga de pollo marinada.	51
15.	Colorímetro KONICA MINOLTA CM-5 utilizado en las determinaciones de L^* , a^* y b^* .	51

16.	Compresor mecánico con papel filtro <i>whatman</i> No. 2 utilizado para las pruebas empíricas de porcentaje de agua y deformación.	52
17.	Equipo utilizado en las pruebas de capacidad de retención de agua y textura.	54
18.	Analizador de gases Oxígeno/Dióxido de carbono utilizado en las pruebas de concentración y cambio de gases en la atmósfera.	54
20.	Historial térmico para el nivel 1 (0°C) de la cámara de refrigeración de almacenamiento.	57
21.	Historial térmico para el nivel 2 (5°C) de la cámara de refrigeración de almacenamiento	58
22.	Gráfica comparativa de valores de pH vs tiempo almacenadas durante 22 días.	59
23.	(a) Efectos principales de las variables sobre el pH de la carne de pollo, (b) Gráfica de interacciones principales en los valores de pH.	60
24.	Gráfica comparativa de valores de porcentaje de deformación vs tiempo de las muestras de pollo marinadas y almacenadas a 5°C y 10°C.	61
25.	(a) Efectos principales sobre el porcentaje de deformación en la carne de pollo, (b) Gráfica de interacciones principales sobre el porcentaje de deformación	62
26.	Gráfica comparativa de los valores de porcentaje de agua drenada con respecto al tiempo de almacenamiento 5°C y 10°C de las muestras de pechuga de pollo marinadas.	63
27.	(a) Efectos principales de las variables sobre el porcentaje de agua drenada de la carne de pollo. (b) Gráfica de interacción de las variables sobre el porcentaje de agua drenada.	64
28.	Gráfica comparativa de las diferentes concentraciones de oxígeno dentro del envase durante su almacenamiento de las muestras de pollo marinada.	65
29.	(a) Efectos principales de las variables sobre la concentración de oxígeno dentro del envase. (b) Gráfica de interacción de variables sobre la concentración de oxígeno en el envase.	66

- 30.** Gráfica representativa y comparativa de las diferentes concentraciones de CO₂ obtenidas durante un almacenamiento de 22 días a temperaturas de 5°C y 10°C. 67
- 31.** (a) Efectos principales de las variables sobre la concentración de CO₂ en el envase. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre la concentración de CO₂ en el envase. 69
- 32.** Gráfica comparativa de los valores de L* de las muestras de pollo almacenadas durante 22 días a temperaturas de 0° y 5° C. 70
- 33.** (a) Efectos principales de las variables sobre la luminosidad (L*) de la carne. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre la luminosidad de la carne (L*). 71
- 34.** Gráfica comparativa de los parámetros obtenidos de a* para las muestras de pechuga de pollo almacenadas durante 22 días. 72
- 35.** (a) Efectos principales de las variables sobre a* en la carne de pollo. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el parámetro a* de la carne de pollo. 73
- 36.** Gráfica comparativa de los valores obtenidos para b* de las muestras de pollo almacenadas durante 22 días a 0° y 5°C. 74
- 37.** (a) Efectos principales de las variables sobre b* en la carne de pollo. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el parámetro b* de la carne de pollo. 75
- 38.** Gráfica comparativa de los valores de L* del marinado obtenidos durante un almacenamiento de 22 días. 76
- 39.** (a) Efectos principales de las variables sobre la luminosidad (L*) en el marinado. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre la luminosidad en el marinado (L*). 77
- 40.** Gráfica comparativa de los diferentes valores obtenidos de a* del marinado drenado de las diferentes muestras. 78
- 41.** (a) Efectos principales de las variables sobre los valores de a* en los marinados. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el parámetro a* en el marinado. 79

42.	Grafica comparativa de los valores de b^* para las muestras de vino y vinagre almacenadas durante 22 días.	80
43.	(a) Efectos principales de las variables sobre los valores de b^* en el marinado. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre b^* en el marinado.	81
44.	Gráfica representativa de los porcentajes de drenado (bolsa) de las diferentes muestras durante el almacenamiento.	82
45.	(a) Efectos principales de las variables sobre el porcentaje de marinado drenado del envase. (b) Interacción de las variables sobre el porcentaje de marinado drenado del envase.	83
46.	Gráfica comparativa del HUE de las diferentes muestras (pollo) durante el almacenamiento.	84
47.	(a) Efectos principales de las variables sobre el HUE en la carne de pollo marinada. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el HUE de la carne de pollo marinada.	85
48.	Gráfica comparativa del HUE de las diferentes muestras (marinados) durante el almacenamiento.	86
49.	(a) Efectos principales de las variables sobre el HUE en el marinado. (b) Gráfica de interacción de las variables sobre el HUE del marinado.	87
50.	Gráfica comparativa de los valores obtenidos para el croma de las muestras de pollo durante un almacenamiento de 22 días.	88
51.	(a) Efectos principales de las variables sobre el croma en la carne de pollo marinada. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el croma en la carne de pollo marinada.	88
52.	Gráfica comparativa de los cromas de los marinados durante un almacenamiento de 22 días.	89
53.	(a) Efectos principales de las variables sobre el croma en el marinado. (b) Gráfica de interacción de las variables sobre el croma del marinado.	89

Índice de Tablas

Tabla No.	Título	Página
1.	Composición química de la pechuga de pollo por cada 100g.	9
2.	Principales agentes microbianos encontrados en la carne de pollo.	25
3.	Ventajas y desventajas y propiedades físicas de los gases más empleados en las atmósferas modificadas.	30
4.	Materiales plásticos utilizados para el envasado de productos cárnicos.	36
5.	Factores y niveles de variación propuestos durante la experimentación.	43
6.	Formulaciones de los 2 marinados a utilizar en porcentaje.	45
7.	Variables y niveles de variación utilizados en el diseño estadístico.	56
8.	Valores obtenidos del pollo sin almacenamiento y sin atmósferas modificadas.	56
9.	Valores obtenidos del pollo marinado con 22 días de almacenamiento a 5°C.	57
10.	Pesos iniciales y finales de los marinados.	58

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del marinado y concentración de gases (CO_2 y O_2) sobre la vida útil de pechuga de pollo cortada en cubos. La pechuga fue elegida debido a que es un producto altamente perecedero y con gran demanda de consumo en México, en este trabajo se utilizaron métodos convencionales de conservación en conjunto con el envasado en atmósferas modificadas.

Para la realización del trabajo se utilizaron dos métodos de conservación que fueron la conservación química y la conservación física con la finalidad de establecer las condiciones en las cuales exista un sinergismo que contribuyera en el alargamiento de la vida útil del producto. Los métodos que se utilizaron fueron un marinado acuoso y el intercambio de la atmósfera inicial interna del envase alrededor del producto por una mezcla de gases con agentes antimicrobianos (N_2 , O_2 y CO_2).

Para evaluar el efecto de las condiciones fue necesario auxiliarse de un diseño factorial general, considerando como efectos: Temperatura de almacenamiento 0 y 5 °C, la concentración de gases en la atmósfera alrededor del producto (1. 20% CO_2 – 80% N_2 y 2. 10% CO_2 - 85 % N_2 - 5% O_2) y por último el tipo de marinado; vino y vinagre. El producto a utilizar fue pechuga de pollo fresca sin hueso y piel.

Para establecer los cambios durante el almacenamiento se evaluaron características y propiedades como el color, la capacidad de retención de agua, la textura, el pH y los cambios en la atmósfera inicial alrededor del producto esto durante un periodo de 22 días realizando diferentes muestreos los días 6, 11, 14, 16, 20 y 22.

Se encontró que la pechuga de pollo marinada con vinagre presento menos cambios con respecto a las características iniciales en comparación con la carne marinada con vino, conservando mejor sus características y por ende teniendo un mayor tiempo de vida útil.

INTRODUCCIÓN

Los cambios en el estilo de vida en los países industrializados han impulsado la aparición de nuevas tendencias en la producción de alimentos en respuesta a las exigencias de los consumidores en relación con la calidad del producto, lo que ha propiciado una mayor demanda de productos listos para el consumo (López, 2008). En la actualidad existe un gran interés en el desarrollo de nuevos productos, de tal manera que mantengan propiedades de frescura y que sean “naturales”, es decir, con un contenido menor de aditivos o libres de estos y que conserven sus propiedades nutritivas y sensoriales después del procesado (García, 2006). Así mismo, se ha incrementado de forma considerable la demanda de productos de preparación sencilla y rápida como los platos precocinados, los productos mínimamente procesados y otros alimentos “listos para consumir”. También la globalización de mercados ha impuesto exigencias mayores sobre la frescura y durabilidad de los alimentos. Por esta razón, el envasado de los alimentos ha evolucionado desde el envase-envoltorio, que constituye la unidad de venta y protege e identifica el producto, hasta los envases a vacío y en atmósferas modificadas (López, 2008).

La pechuga de pollo es un producto de alta demanda en México cuyo consumo es de aproximadamente 26.13 kg/habitante (UNA-Unión Nacional de Avicultores de México, 2010), está se prefiere en estado fresco por su sabor, olor, textura y aporte nutrimental. La pechuga de pollo es apreciada por el consumidor y por ende tiene una gran demanda, lo que ha provocado que la industria cárnica tenga la necesidad de generar productos nuevos con las características que el cliente desea y que, por medio de una modificación y/o mejora en las propiedades iniciales del alimento se beneficie al producto final, otorgando al cliente un producto nuevo, diferente, de mejor calidad y con tiempos de vida útil más largos, obteniendo como resultado la implementación de procesos benéficos como el marinado, utilizado para mejorar características como la suavidad, jugosidad y sabor de diferentes piezas de carne (Alemán, 2010). En la industria cárnica una propiedad que es de gran importancia es la capacidad de retención de agua que a su vez afecta propiedades fisicoquímicas como la textura y la jugosidad características muy apreciadas por el consumidor (Lemos, 1998). Los marinados, por lo general, son emulsiones ácidas agua-aceite que pueden contener especias, sal, azúcar,

aditivos funcionales y agentes antimicrobianos (Yosup, 2009). En la industria cárnica se define como marinado a la acción de retener agua para mejorar la ternura, jugosidad, color y sabor adicionando una solución alcalina con un pH de 7.5 o mayor (Legarreta, 2010) El marinado se puede incorporar vía inmersión, en donde la velocidad de difusión es dependiente de las características y geometría del producto (Mead, 2004). Además, se implementa la utilización de atmósferas modificadas, que consisten en envasar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de oxidación de compuestos grasos, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático (McMillin, 2008). Comúnmente, se modifica la atmósfera con gases como nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono por su acción antimicrobiana (Gordon, 2010), con lo que se provoca la disminución de la velocidad de reacción y el incremento en el tiempo de vida útil.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 El pollo en México

“La calidad de la carne es la suma de las características de un producto alimenticio, dado que influyen su aceptabilidad o preferencia por el consumidor”.

La avicultura intensa se práctica desde los años 60, sin embargo, los principios fueron muy rudimentarios y solo trataban de aprovechar a machos de estirpes de puesta que sobraban en los nacimientos. Sin embargo, en los últimos 40 años la mejora y selección genética de estirpes cárnicas especializadas ha cambiado considerablemente teniendo mejores estándares de producción y calidad. Los principales objetivos de la selección al nacer es la mejora de la transformación de piensos en carne y los incrementos en los índices de rendimiento de la canal y de sus partes más nobles. Así, los pollos de carne “modernos” son más tiernos, por su menor edad (que implica menos cantidad y grado de madurez del colágeno), de carne más clara, (por su menor contenido en pigmentos), y más jugosos, pues tienen un mayor contenido de humedad y grasa, al ser muy jóvenes por causas genéticas y alimenticias (Moreno 2005). En general, la avicultura ha tenido una importante transformación y un fuerte desarrollo e industrialización en las últimas décadas. La necesidad de producir carne de pollo de manera eficiente y económica ha sido una constante, por tanto, los objetivos de la selección genética se han basado en mejorar la velocidad de crecimiento y el rendimiento de la canal en particular de la pechuga y en menor medida cuartos traseros.

El pollo es el ave gallinácea de cría, macho o hembra, sacrificada con una edad máxima de 20 semanas (5 meses) y un peso que oscila entre uno y tres kilos. En la actualidad, el pollo se cría de manera intensiva en granjas, y en tres meses se consigue un kilo de esta ave. Debido a su gran versatilidad en la cocina y a su precio, es un alimento muy común en todos los hogares.

Desde el punto de vista bromatológico, la carne es el resultado de la transformación experimentada por el tejido muscular del animal a través de una serie continua de procesos fisicoquímicos y bioquímicos que se desarrollan como consecuencia del sacrificio del animal (Reyna, 2001). La carne es definida también como la parte muscular comestible de los animales de abasto, sacrificados y faenados en condiciones higiénicas, incluyéndose en este concepto las porciones de grasa, hueso, cartílago, piel, tendones, aponeurosis, nervios y vasos linfáticos, y que no se separen de éste en los procesos de manipulación. Preparación y transformación de la carne (Madrid et.al, 2010).

El concepto actual que el consumidor mexicano tiene sobre la carne en general y sobre el pollo en particular ha evolucionado sobre manera en los últimos años, pasando de ser una fuente barata de proteína a una carne nutricionalmente equilibrada, fácil de cocinar y versátil. A su vez, la industria alimentaria ha encontrado una materia prima con grandes aptitudes tecnológicas y posibilidades de procesar, agregándole al producto final un valor nutrimental extra, que se adaptan a las exigencias del consumidor que demanda de forma creciente platos de fácil preparación culinaria. En la Figura 1 se muestra el consumo per cápita de pollo por habitante en México observando que en los últimos 20 años se ha tenido un incremento considerable en la preferencia del consumidor alcanzando hasta un 65% de incremento esto debido a las diversas ventajas en su consumo.

En la Figura 2 se muestran los principales estados productores de carne de pollo considerado del 2000 a 2010, Siendo estos en orden de importancia: Jalisco, Veracruz, Querétaro, Puebla, Durango, Guanajuato, México, Aguascalientes, Nuevo León, Yucatán, Sinaloa y Coahuila. Mientras que en la Figura 3 se muestra la producción anualizada de pollo en los últimos 15 años, en esta se observa que a pesar de que existen variaciones año con año en general esta ha ido en incremento llegando hasta las 2,864,749 toneladas por año en el 2011.

1.1.1 Estructura, composición del músculo de la pechuga de pollo y consumo en México.

En el cuerpo de los animales, y en este caso del pollo, podemos encontrar tres tipos de músculos:

1) Músculo cardíaco: Únicamente conformará el corazón de los animales.

- 2) Músculo liso: Son de movimiento involuntario y participan en procesos como la deglución.
- 3) Músculo esquelético: Todos los músculos estructurales del cuerpo.

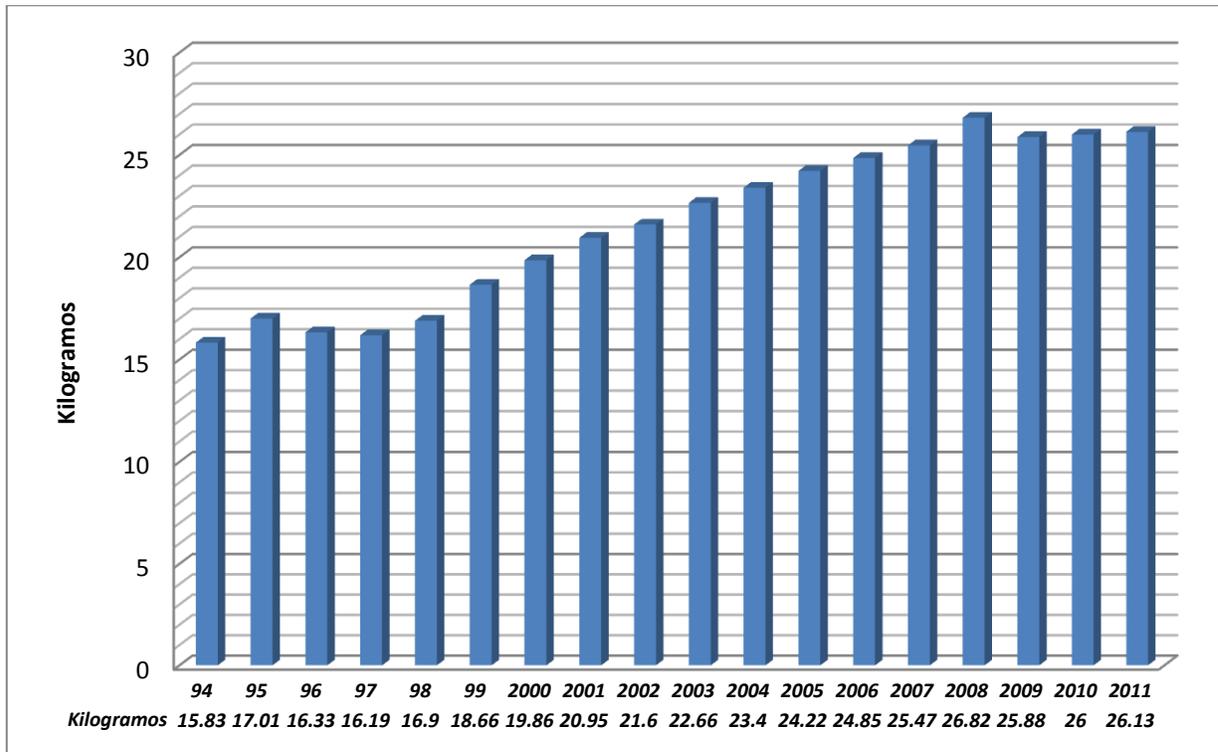


Figura 1: Consumo per cápita de pollo (UNA-Unión Nacional de Avicultores de México, 2011).

El músculo esquelético tiene dos componentes fundamentales que son el tejido conectivo y las fibras musculares. El tejido conectivo tomará diferentes nombres dependiendo de su localización en el músculo (perimisium, epimisium y endomisium), sin embargo, su composición será en todos los casos la misma: colágeno, elastina, glucoproteínas y proteoglicanos (Moreno, 2005).

La parte fundamental, el colágeno, es una estructura proteica compuesta en un 12,5% por hidroxiprolina, este aminoácido es utilizado como indicador de la cantidad de tejido conectivo empleado en una mezcla cárnica, y por tanto, puede definir la nobleza de las partes magras.



Figura 2: Producción en porcentaje de pollo en los diferentes estados de México (UNA-Unión Nacional de Avicultores de México, 2011).

El colágeno (tejido conectivo) afectará negativamente a la terneza de la carne, no solo por la cantidad sino por la estructura espacial y el grado de maduración del mismo. Sin embargo, tras el cocinado de la carne, y por efecto de la temperatura (80-90°C), su estructura proteica se desnaturaliza y el producto final gana en terneza (Richard J, 1999). En la figura 4 se muestran los diferentes componentes del músculo esquelético.

Las fibras musculares son el segundo de los componentes del músculo esquelético; Son elementos fundamentalmente protéicos, rodeados de tejido conectivo (endomysium) y de una bicapa lipoproteica (sarcolema). Por tanto, la primera clasificación que se puede hacer en el caso de los músculos esqueléticos será según el tipo de fibras musculares existentes (Moreno, 2005):

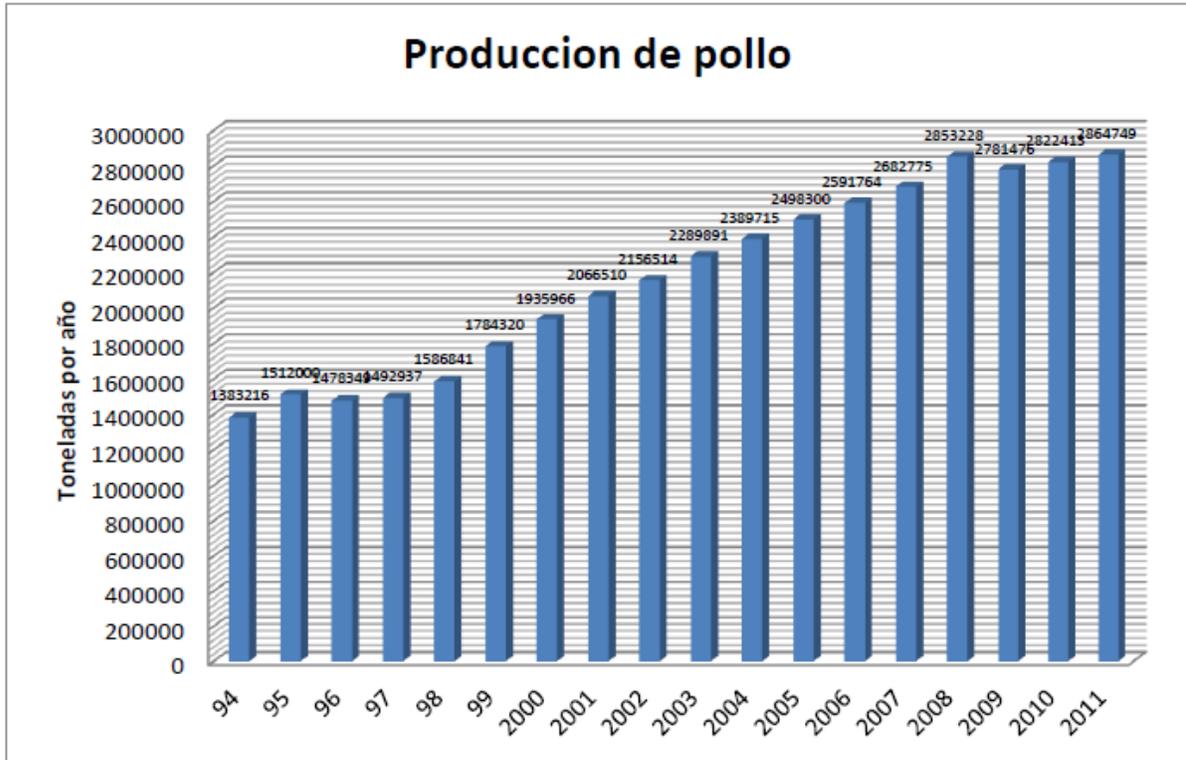


Figura 3: Gráfica representativa de la producción de pollo a nivel nacional en toneladas por año 1994-2011 (UNA- Unión Nacional de Avicultores de México, 2011).

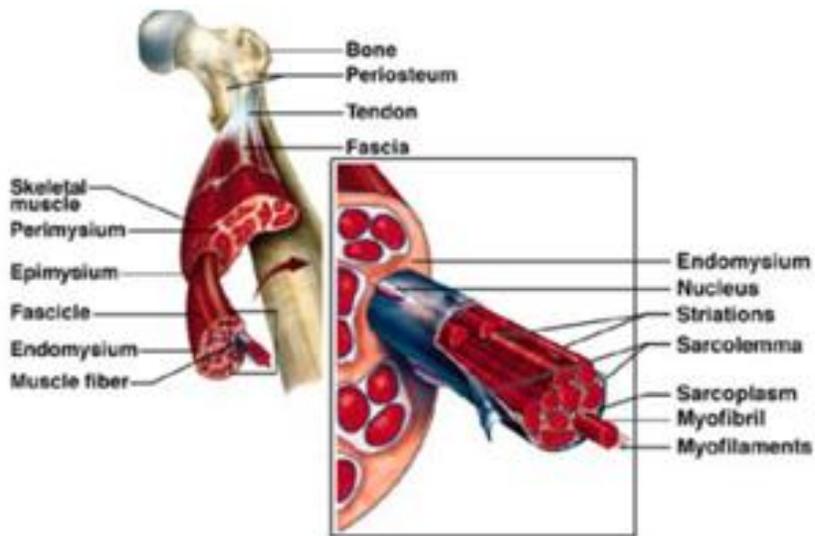


Figura 4. Compuestos integradores del músculo esquelético de carne de ave (Richard J, 1999).

- Músculos rojos: fibras musculares más estrechas y ricas en mioglobina, y con metabolismo oxidativo capaz de mantener contracciones sostenidas y eficientes.

- Músculos blancos: fibras más anchas, menos pigmentadas y que responden a las necesidades de potencia puntuales por medio del metabolismo glucolítico.

El tipo de fibras musculares y el tipo de metabolismo dependerá de muchos factores como son: especie, raza, sexo, edad, localización del músculo, ejercitación de éste, dieta y variabilidad intrínseca del individuo

La composición de la carne presenta variaciones en función de la edad del animal sacrificado, entre más viejos sean más grasa contienen. También existen diferencias en la composición de las distintas piezas cárnicas, como en el caso de la pechuga, cuyo contenido en proteínas es mayor que el que presenta el muslo.

Tanto el contenido de grasa, proteína y composición del pollo es similar al del resto de las aves de corral, además de que su contenido proteico no difiere de las carnes rojas. En la carne se pueden distinguir tres tipos de proteínas con un interés nutricional, las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares, que representan propiamente el concepto de proteína cárnica, y las proteínas del tejido conjuntivo (colágeno y elastina), cuyo porcentaje varía con la región anatómica y que suelen incidir en la calidad de la carne. Estas proteínas ofrecen notables diferencias con las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares en lo que respecta a sus contenidos en aminoácidos, hasta el punto de ser consideradas de bajo valor nutricional. En el colágeno falta el triptófano, escasea la metionina, abunda la valina y sobresale su contenido en hidroxiprolina, glicina y prolina (Reyna, 2001).

Respecto al contenido vitamínico, destaca la presencia de ácido fólico y vitamina B₃ o niacina. Entre los minerales, el nivel de hierro y de zinc es menor que en el caso de la carne roja, aunque supone una fuente más importante de fósforo y potasio. El valor nutritivo de los menudillos de pollo es muy alto, especialmente el hígado. Éste presenta un contenido en proteínas y lípidos similar al de la carne, aunque destaca su aporte en minerales y vitaminas, principalmente vitamina B₁₂, vitamina A, vitamina C y ácido fólico. Por otro lado, los menudillos contienen una gran cantidad de colesterol (Moreno, 2005).

1.1.2 Composición química y características fisicoquímicas de la pechuga de pollo

Se le nombra pechuga al músculo central (pecho) comestible por el ser humano que pertenezca a cualquier ave de corral. En la Tabla 1 se muestra la composición química de la pechuga de pollo fresca y su aporte energético. Se observa que el contenido proteico de ésta tiene un valor alto respecto al de las carnes rojas (res, puerco, etc.) y que su aporte energético es adecuado para cubrir las necesidades de las personas, además de tener un nivel bajo en grasa y sobre todo en ácidos grasos poli saturados factor que hoy en día es de suma importancia para la preferencia del consumidor, el cual busca productos magros, de alto aporte proteico y de bajo costo otorgándole así a la carne de pollo y en especial a la pechuga esa alta preferencia por el consumidor.

a) Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es la habilidad de la carne de retener total o parcialmente el agua propia y eventualmente adicionada durante su tratamiento cuando ésta se somete a factores externos u otros tratamientos como lo son el cortado, la molienda, la cocción, el prensado, etc. Cuando se aplica cualquiera de las operaciones anteriores, la carne sufre pérdidas de humedad debido principalmente al agua libre de su estructura. Las propiedades físicas más importantes de la carne (color, firmeza, jugosidad y textura) están estrechamente relacionadas con la CRA (Fernández, 2007).

El agua es retenida en el interior de una red de fibras musculares de dos maneras:

- La acción de cargas eléctricas de las proteínas que permiten fijar firmemente un cierto número de moléculas de agua.
- La acción ligada a la configuración espacial más o menos abierta de ésta red y consecuentemente la posibilidad importante de contener y retener las moléculas de agua.

El descenso del pH provoca el encogimiento de la red de cadenas polipeptídicas que conlleva a una disminución de la capacidad de la carne para retener agua. El poder de retención de agua está estrechamente ligado al último pH y guarda un valor más alto cuanto más alto sea el valor del pH. La velocidad a la que el último pH se estabilice tiene también influencia. Cuando la

caída del pH sea más rápida, las alteraciones sufridas por las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas se traducen por un descenso en el poder de retención de agua (Fernández, 2007).

La adición de sales de ácidos fuertes, como el cloruro sódico, incrementa la retención de agua debido al complejo formado entre la sal y la proteína. Este aumento se puede conseguir también con la adición de sales de ácidos débiles, tales como los poli fosfatos. La capacidad de retención de agua de una carne influye en el aspecto que presenta antes de su cocción, en su comportamiento durante la misma y en la sensación de jugosidad al masticarla (Yosup, 2009).

b) Técnicas de medición de la capacidad de retención de agua CRA

Algunos de los métodos conocidos para la medición de la CRA son (Fernández, 2007):

- Método de hinchamiento: Los trozos de carne se introducen en agua y disoluciones acuosas con distintas concentraciones de sal o azúcar y se observan las variaciones de peso hasta determinar la concentración de equilibrio (concentración a la que no se produce ninguna modificación en la pesada de la carne).
- Método de filtración: Consiste en homogenizar carne con una cantidad determinada de líquido para someterla posteriormente a una filtración. A medida que aumenta la CRA también incrementa el volumen filtrado.
- Método de centrifugación: Se homogeniza la carne con o sin adición de agua y se somete a una centrifugación. La CRA se calcula a través de la cantidad de líquido separado o del peso de residuo de centrifugación.
- Método de compresión: Consiste en colocar muestra de carne sobre papel filtro y comprimir el conjunto entre dos placas depresivas. Como resultado se forma una delgada película de carne y el agua liberada por ésta resulta absorbida por el papel filtro, apareciendo en el mismo un círculo mojado en torno a la película de la carne. El agua liberada es proporcional a la diferencia del área del círculo empapado y la de la película de la carne.

Tabla 1: Composición química de la pechuga de pollo por cada 100g (Legarreta, 2010).

<u>COMPONENTE</u>	<u>CANTIDAD</u>
Energía (Kcal)	145.00
Proteínas (g)	22.2
Hidratos de carbono (g)	0.0
Fibra(g)	0.0
Grasa total (g)	6.21
AGS (g)	1.91
AGM (g)	1.92
AGP (g)	1.52
Colesterol (mg)	62.00
Agua (g)	71.60

c) Textura

La textura de la carne depende del tamaño de los haces de fibras musculares, es decir, del número y diámetro de las fibras, así como de la cantidad de tejido conjuntivo que forma el perimio tisular. Su dureza o blandura depende de la mayor o menor dificultad que presente a ser troceada durante la masticación. En la práctica es una función de la cantidad de tejido conjuntivo que exista y de la grasa intermuscular que contenga, mientras que en los productos cárnicos transformados la textura depende de diversos factores relacionados con la tecnología específica de cada caso, y en ella intervienen fundamentalmente las proteínas, los lípidos y el agua (Reyna, 2001).

La textura es el conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y superficiales de un producto perceptible por los mecano-receptores, los receptores táctiles y eventualmente por los receptores visuales y auditivos (Genot, 2003). Un atributo de la textura es la manifestación (o resultado) de una combinación de propiedades físicas y químicas, que incluyen la forma, tamaño, número, naturaleza y disposición de los elementos estructurales constituyentes. La textura característica de la carne es debida a la estructura fibrosa de los ejes del músculo y la forma en que las fibras se separan durante la masticación (Fernández, 2007).

La textura de la carne está compuesta por distintos parámetros tales como: firmeza, dureza, fragilidad, adhesividad, cohesividad, elasticidad y viscosidad; y se caracteriza por las impresiones de ternura y jugosidad, las cuales se definen de la siguiente manera.

- Ternura: Es la cualidad de la carne de dejarse cortar y masticar (con mayor o menor facilidad) antes de la deglución, estando directamente ligada a la resistencia mecánica del producto consumible.
- Jugosidad: Es la impresión resultante de la masticación que es función de una parte del jugo liberado por la carne y de otra por la secreción salivar estimulada esencialmente por la grasa.

Los métodos de evaluación de textura para los productos cárnicos dentro del sector alimenticio son:

- Ensayos fundamentales: Se basan sobre teorías físicas perfectamente contrastadas en el dominio de los materiales clásicos. Como ventaja tienen que se encuentran ligadas a fundamentos teóricos ampliamente desarrollados y así pueden extenderse fácilmente por transferencia de métodos, de un campo científico dado al agroalimentario. Se utilizan viscosímetros y reómetros (Fernández, 2007).
- Ensayos empíricos: Estos no tienen base científica real, sino que se encuentran basados en la intuición del manipulador. No se encuentran estrictamente definidos y son modificables a voluntad de un experimento a otro. Son difícilmente comparables entre ellos, incluso nada comparables si cambian las condiciones experimentales. Como ejemplos se pueden mencionar el penetrómetro diseñado inicialmente para ceras, el gelómetro de Blom para galletitas, el consistómetro de Bostwick para salsas, purés, jarabes, entre otros (Fernández, 2007).
- Ensayos por imitación: Intentan simular en cierto grado las fuerzas y deformaciones a las que está sometido el alimento mientras está siendo consumido. El resultado obtenido está íntimamente ligado al proceso de análisis, y por ejemplo, es imposible transferir a otros procesos industriales; si se decide cambiar el proceso de fabricación o tratamiento del producto analizado es necesario entonces rehacer un nuevo análisis completo. El ejemplo más claro es el texturómetro para simular el proceso de masticación. (Fernández, 2007)

d) pH

El pH de la carne esta dado en función al sacrificio del animal y éste se ve modificado por la producción o consumo de ácido láctico el cual se produce durante la matanza reflejándose en cambios fisicoquímicos y físicos, generando carnes PSE (*pálida, suave y exudativa*) ó OFS (*obscura, firme y seca*).

- Carne PSE (*pálida, suave y exudativa*)

Esta anomalía en la carne se genera por una glicólisis acelerada, y por tanto, un descenso rápido del pH mientras la temperatura corporal es aún elevada. Por tanto, sus efectos son combinación del bajo pH y de la desnaturalización proteica. Las características de las carnes PSE no solo afectan a la aceptabilidad del consumidor, debido al color pálido y textura poco firme del filete, sino que empeora las aptitudes tecnológicas de la carne, capacidad de retención de agua, poder de gelificación y textura, disminuyendo la calidad y rendimientos de los productos cárnicos elaborados (Moreno, 2005).

- Carne OFS (*obscura, firme y seca*).

Los animales exhaustos antes de la entrada al matadero, consumen sus reservas de glucógeno. El menor estado en nivel de energía, es decir menor cantidad de glucógeno, provoca que se alcance una menor concentración de ácido láctico en el proceso de glucólisis lo que conlleva el consecuente aumento del pH terminal alcanzado (pH 6.0 – pH 6.5). Las pérdidas por goteo de estas carnes son inferiores a las normales y generalmente son de color más oscuro. El mayor pH de estas carnes provoca que puedan ser atacadas con mayor facilidad por los microorganismos encargados del deterioro (Moreno, 2005).

El valor normal de pH del pollo “in vivo” es cercano a la neutralidad de 7.0 a 7.2, en las 4 primeras horas después del sacrificio el pH desciende a cifras de: 6.15 (pechuga) y 6.40 (muslo), llegando a valores finales de: 5.70 (pechuga) y 5.90 en el muslo a las 24 horas post mortem (Moreno, 2005). Cuando el descenso del pH se acerca al punto isoeléctrico de las proteínas (pH = 5.1-5.5), inactivará la enzima responsable de la glucolisis.

Los principales instrumentos empleados en la medición del pH en los productos cárnicos son:

- Potenciómetro para carnes
- Potenciómetro universal

Los potenciómetros son instrumentos analíticos que constan de un sensor o electrodo selectivo para el ion hidrógeno y de un sistema electrónico que captura la señal de concentración como una señal eléctrica y la traduce en una escala de valores numéricos. Ya que, en términos generales, cualquier diferencia de concentración puede asociarse a una diferencia de potencial eléctrico, un potenciómetro es, en principio, un voltímetro que mide diferencias de potencial eléctrico, asociadas a diferencias de concentración. De ahí el origen de su denominación como “potenciómetro”. Así, el fundamento de la determinación potenciométrica del pH es la medición de la actividad de los iones hidrogeno mediante el uso de un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia.

e) *Color*

El color como lo detecta el ojo humano, es el resultado de una combinación de diversos factores; Cualquier color específico posee tres tributos conocidos como tinte, croma y luminosidad. El tinte o tono describe lo que generalmente se piensa o admite como color: amarillo, verde, azul o rojo. El croma (pureza o saturación) son términos que describen la intensidad del color fundamental con respecto a la cantidad de luz blanca mezclada con él y la luminosidad de un color es la indicación de su reflectancia total (brillo) (MacDougall, 2002).

En la carne como en otros productos, el color es un factor preponderante en la decisión de compra por parte de los consumidores razón por la que debe tomarse en cuenta durante su congelación y almacenamiento (Fernández, 2007).

El color de la carne depende de la forma química bajo la que se encuentre una proteína del sarcoplasma celular denominada mioglobina (Reyna 2001). El color del tejido muscular es determinado principalmente por los pigmentos contenidos en la mioglobina y la hemoglobina (Gordon, 2010), en la carne de pechuga de pollo, la mayoría de los pigmentos presentes pueden ser hemoglobina (Gordon, 2010). La mioglobina y hemoglobina son homoproteínas las cuales su función principal es la de almacenar y atar oxígeno, sus reacciones con éste y otros ligantes son similares y resultan en importantes cambios en el color. Los colores de la hemoglobina y mioglobina dependen de la reacción que tengan con átomos de hierro.

La concentración de los pigmentos varía mucho entre las diferentes carnes. Siendo importante los siguientes factores (Fernández, 2007):

- Especies animales
- Razas
- Edad
- Sexo: La carne de los machos generalmente contiene mayor cantidad de pigmentos que la de los animales hembra.
- Función muscular: La función de la mioglobina es almacenar oxígeno; por lo tanto músculos que más trabajan contienen más mioglobina.
- Variaciones dentro del músculo

Los sistemas para la medida del color pueden ser de dos tipos: subjetivos (apreciación visual humana) y objetivos (análisis instrumental). En los primeros se determina el color por comparación visual del objeto a medir con colores previamente catalogados y cuantificados, en el segundo hay que hacer uso de medidas físicas (espectro visible) (Fernández, 2007).

Dentro de las técnicas de medición más empleadas para la determinación del color es la colorimetría la cual es un método óptico que se basa en la comparación del color usando el ojo humano como detector. Existen instrumentos colorimétricos de alto costo económico (colorímetros y espectrofotómetros) que presentan inherentemente carencias para describir completamente respuestas perceptuales cromáticas ante una multitud de parámetros visuales (Pereira, 2009).

Los modernos instrumentos colorimétricos están diseñados para proporcionar automáticamente los valores triestímulo y las coordenadas de color de un estímulo dado sin usar el ojo humano, con las medidas tomadas por el instrumento. Existen tres tipos de instrumentos colorimétricos: el *espectrofotómetro*, el *espectro-radiómetro* y los *colorímetros de filtros*.

- Espectrofotómetros: El espectrofotómetro es un aparato diseñado para medir el espectro de transmitancia o reflectancia de un objeto. El objetivo de estos aparatos es el de comparar la radiación para cada longitud de onda a la salida del objeto con la

incidente. La energía radiante emitida por la fuente pasa a través del sistema óptico que conecta la fuente con el monocromador. El monocromador dispersa la radiación y la transmite como una estrecha banda de longitudes de onda a través de la rendija de salida que está comunicada ópticamente con la cámara de iluminación y visión que contiene el objeto que se desea medir y, en el caso de medir reflectancia o transmitancia, un estándar de reflectancia o transmitancia. El sistema detector recibe la radiación reflejada o transmitida por el objeto y el estándar y genera un cociente de las señales que, posteriormente, se transmite al ordenador para su análisis y presentación. El ordenador está conectado con varios componentes del espectrofotómetro para controlar automáticamente la operación. La Figura 5 muestra un diagrama esquemático con los principales componentes de un sistema espectrofotométrico donde PS&ME = equipo de medida y alimentación; OP = acoplamientos ópticos; IF = interface electrónico; En = Rendija de entrada del monocromador; Ex = rendija del monocromador.

- Espectro-radiómetros: Un espectro-radiómetro es un aparato diseñado para medir cantidades radiométricas en función de la longitud de onda. Por lo que respecta al color, este dispositivo sirve para determinar la distribución de energía radiante espectral de una fuente cualquiera, para a partir de esa distribución calcular sus coordenadas de color. La figura 6 muestra un diagrama esquemático con los principales componentes de un sistema espectro-radiométrico donde PS&ME = equipo de medida y alimentación; OP = acoplamientos ópticos; IF = interface electrónico; En = Rendija de entrada del monocromador; Ex = rendija del monocromador.

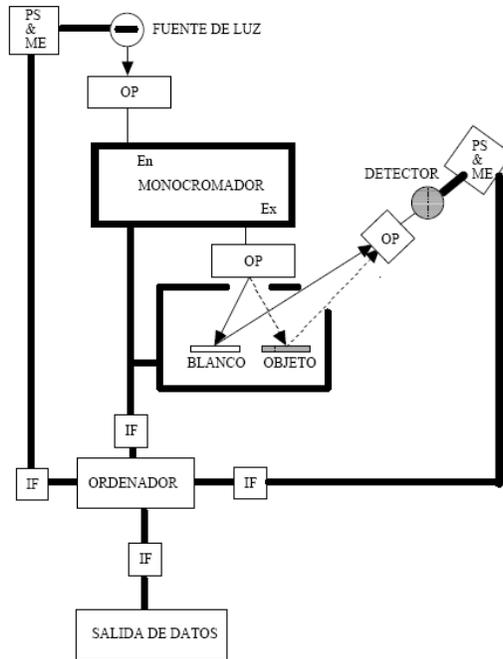


Figura 5: Diagrama esquemático de un sistema espectrofotométrico (Pereira, 2009).

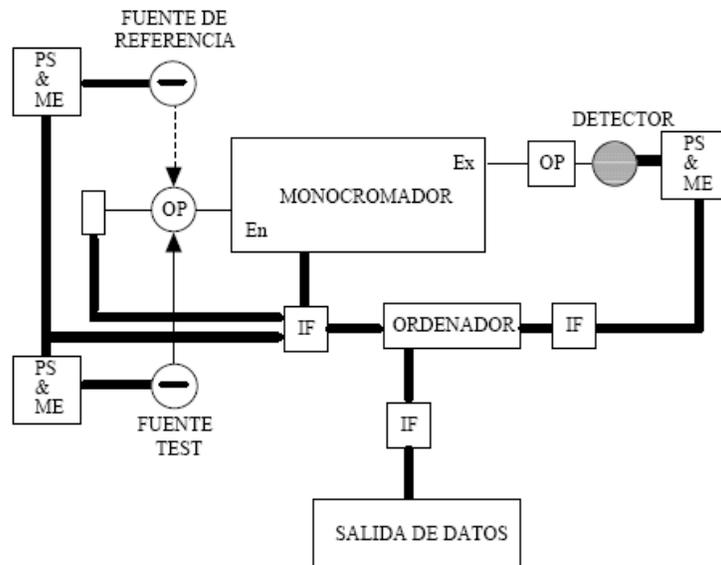


Figura 6: Diagrama esquemático de los principales componentes del espectro-radiómetro (Pereira, 2009).

- Colorímetro de filtros triestímulos: Un colorímetro triestímulo es un aparato con unas funciones de respuesta espectral directamente proporcionales a los coeficientes de

distribución (funciones de igualación de color) correspondientes al observador colorimétrico de la CIE. El problema principal en la construcción de estos instrumentos es precisamente la obtención de los filtros triestímulos, es decir, el ajuste de tres fotocélulas o tres fotomultiplicadores, de forma que su respuesta sea proporcional, a lo largo del espectro visible, a los coeficientes de distribución o a alguna combinación lineal de ellos. Si se consigue una duplicación exacta de estas funciones, la respuesta de la primera fotocélula proporcionará el valor triestímulo (X), la de la segunda el valor triestímulo (Y) y la de la tercera el valor triestímulo (Z). En cierto sentido un colorímetro de filtros triestímulos es un computador analógico fotoeléctrico con una salida que se corresponde con los tres sumatorios o integrales que definen los valores triestímulo. La figura 7 muestra un esquema de un aparato de este tipo. La energía radiante reflejada en el objeto pasa a través de uno de los tres filtros e incide en la fotocélula, provocando una respuesta proporcional al valor triestímulo correspondiente de la combinación objeto-fuente. Cada filtro triestímulo es normalmente una combinación de filtros coloreados cuya función de transmitancia resultante, junto con la función de respuesta de la fotocélula, imita a una de las funciones de igualación de la CIE.

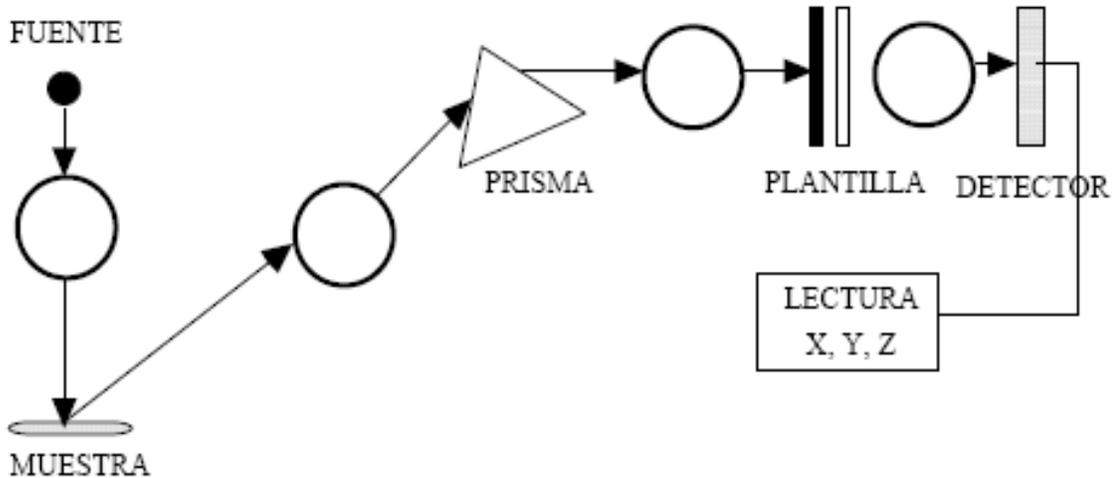


Figura 7: Diagrama esquemático de un colorímetro de plantillas (Pereira, 2009).

Estos instrumentos integran el valor de la medida en el área de la muestra sobre la que se aplican; si la distribución del color no es uniforme, por la presencia de variables como texturas

o manchas, entre otras, el valor promedio obtenido no describe adecuadamente el color de la muestra original, es decir, estos equipos no realizan segmentación ni clasificación de las imágenes (Pereira, 2009). Los colorímetros Hunter han sido utilizados para estudiar el oscurecimiento enzimático de frutos, establecer diferencias de color entre galletas, en la elaboración de mezclas de harinas compuestas y para determinar, entre otras aplicaciones, el índice de calidad en salsas de tomates. Los colorímetros Lovibond®, usualmente se emplean para medir el color de los aceites y grasas, método que está generalizado y es de amplia aplicación en la industria oleaginosa y también se utilizan en cerveza. Entre otros colorímetros está el Minolta®, que ha sido utilizado para la evaluación de diferencias de color entre harina de trigo y pastas suplementadas y no con harinas de cebada, trigo sarraceno, mijo, maíz y soya. Para la comparación de extractos de pigmentos concentrados y determinación de trazas de hierro se ha empleado espectrofotómetros, los cuales ofrecen mayor exactitud (Pereira, 2009).

f) Jugosidad

La jugosidad es una cualidad organoléptica que se encuentra estrechamente ligada a la capacidad de retener agua que poseen las proteínas del tejido muscular. Las distintas formas bajo las que pueden presentarse las moléculas de agua de una pieza de carne desempeñan un papel muy importante en la jugosidad de la misma. De acuerdo con la jugosidad del producto, la carne retiene en mayor o menor cantidad una porción de agua que, cuando se mastica, provoca la sensación de jugosidad o la expulsa en forma de exudado. La exudación depende de la cantidad de líquido que libera la estructura proteica muscular y de la facilidad que tenga este líquido para salir de esa estructura. La especie y edad del animal, así como la función anatómica del músculo en el, son factores biológicos que inciden en la jugosidad (Reyna, 2001).

1.1.3 Vida útil de la carne de pollo y sus derivados.

La vida útil se puede definir como el periodo desde la recolección o la fabricación hasta el consumo, donde un producto alimenticio permanece seguro y con calidad sanitarias en las condiciones recomendadas de producción y almacenamiento (Gordon, 2010).

La vida útil comercial, o fecha de caducidad del producto, es una de las principales limitaciones que tienen los cárnicos de pollo. Esto es así, dado que el final de la vida útil es una consecuencia directa del crecimiento microbiano y/o la oxidación lipídica de las grasas. Por tanto, la vida comercial o fecha de caducidad de un producto no será sino la combinación de (Gordon, 2010):

- Características del producto o matriz: pH final, actividad de agua (cantidad de agua disponible), composición (cantidad y tipo de grasa), forma y tamaño las cuales determinarán la velocidad del crecimiento microbiano y la oxidación lipídica.
- Carga microbiana inicial: Consecuencia de las buenas prácticas de fabricación y procesado existentes en la industria.
- Sistema de conservación empleado: Temperatura de almacenamiento, tipo de atmósfera utilizada en el envase (aerobia vs modificada) y la utilización o no de conservadores (antioxidantes, antimicrobianos y antifúngicos).

Las canales de pollo presentan unos índices de carga microbiana postsacrificio muy superiores al de otras especies no avícolas. Esto es así, dado que la piel no tiene ningún tipo de tratamiento antimicrobiano, y por tanto con su flora microbiana, llega al producto final.

Existen una serie de grupos microbianos cuya evaluación en la superficie de las canales puede indicarnos la calidad microbiológica, el grado de higiene en los procesos y el mantenimiento o no del frío, así como ayudarnos a predecir la posible vida comercial del producto. Algunos de estos indicadores son:

- Flora mesófila aerobia: ha sido históricamente uno de estos indicadores para aquellos alimentos almacenados sin necesidad de frío.
- Psicrotrofos: microorganismos capaces de crecer en refrigeración, y por tanto indicadores para los alimentos almacenados en frío

En el caso de la carne de pollo, envasada en condiciones aerobias y almacenadas en refrigeración, son las pseudomonas (psicótrofos) los microorganismos indicadores y responsables de su deterioro, produciéndose malos olores a niveles de 10^7 pseudomonas/cm² y aparición de sustancias limosas en superficie y lipólisis de la fracción grasa cuando se alcanza 10^8 pseudomonas/cm².

Los principales factores que afectan el tiempo de vida en la carne son:

- Temperatura de almacenamiento: Es el principal factor que afecta el tiempo de vida útil de los alimentos frescos porque el deterioro de estos alimentos se debe principalmente a la actividad microbiana, un mal control de la temperatura favorece procesos de podredumbre (frutos) o deshidratación (carnes), acortando el tiempo de vida útil del producto. La temperatura de almacenamiento no debe exceder los 4°C (Ranken, 2003).
- Condición microbiana: Especialmente la relación de los niveles de *Pseudomonas* iniciales (producto fresco) (Ranken, 2003).
- Permeabilidad del envase: Se debe cuidar para evitar principalmente cambios de color, oxidación de grasas o desarrollo de microorganismos aerobios causados por la penetración de oxígeno dentro del envase (Ranken, 2003).
- Concentración de los gases en la atmósfera modificada: Principalmente por el tipo de mezcla que se tenga en el interior del envase, ya que una mezcla con aire u oxígeno resultaría en una óptima concentración de CO₂ la cual podría producir alguna posible decoloración, pero en ausencia de oxígeno la inhibición del crecimiento de bacterias aerobias aumentaría con el incremento de la concentración. Ahora una concentración del 100% de este gas generaría un colapso del envase por la alta solubilidad del CO₂ en la carne (Ranken, 2003).

1.1.4 Métodos de conservación para la carne de pollo fresca y derivados

La conservación de la carne puede ser física o química, la primera incluye la refrigeración, congelación, esterilización, pasteurización, desecación y radiaciones; en la segunda: salazón, curado, ahumado, inmersión en líquidos conservadores, azucarado, acidificación y adición de sustancias comestibles o químicas conservadoras.

- a) **Curación:** El curado de carnes consistía en conservarlas por adición de sal común. Más tarde se añadieron nitratos y azúcares con el mismo objetivo y además para aromatizarlas. Hoy se sabe que el agente responsable del pigmento termoestable de las carnes curadas es el nitrito adicionado resultante de la reducción bacteriana del nitrato (A.A.P.P.A, 2007).
- b) **Acidificación:** Al madurar la carne su valor de pH desciende hasta 5.5 y de esta forma natural se conserva en cierta medida. Sin embargo, el efecto protector de la acidez no dura mucho tiempo, para alcanzar una aceptable conservación por medio de la acidificación es necesario alcanzar, al menos, valores de pH inferiores a 5.0 (Oppel, 1996). Si se desea conservar la carne por acidificación se deberá conseguir un valor de pH entre 3 y 4, esto solo se puede conseguir añadiendo ácidos como el vinagre, la carne adquiere un sabor ácido avinagrado y solo puede ser utilizado para determinados productos como asados ácidos (Oppel, 1996). El plazo de conservación de la carne por acidificación es limitado, no debe conservarse más de 8 días.
- c) **Cocción:** La cocción es el método térmico que consiste en cocer los productos, envasados o no, en la práctica siempre se ha impuesto que se respeten los límites de este procedimiento y se observen escrupulosamente las condiciones de conservación. El procedimiento de conservación de la carne mediante la cocción está sujeto a las siguientes condiciones (Oppel, 1996).
- Carga inicial de gérmenes reducida.
 - Trabajo rápido.
 - Aplicación correcta de la temperatura y de los tiempos de cocción.
 - Enfriamiento rápido del producto.
 - Conservación a temperaturas inferiores a 10°C.
 - Controles continuos durante el almacenamiento.
 - Consumo del producto antes de 3-4 meses.
- d) **Refrigeración:** Generalmente se define la refrigeración como cualquier proceso de eliminación de calor. La refrigeración es la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperatura

inferior con respecto de los alrededores correspondientes. El calor fluye siempre de una región de temperatura alta a una de temperatura baja, por lo que es necesario aislar la región que se va a refrigerar de sus alrededores con un buen material aislante de calor. La conservación de la carne por medio de la refrigeración es un método de acción muy limitada en el tiempo. La refrigeración frena el crecimiento de las bacterias destructoras de las proteínas, que son amantes de las temperaturas cálidas y consiste en llevar el producto a temperaturas por debajo de la temperatura ambiente (aproximadamente de 2-10 °C). Nunca se debe conservar la carne en refrigeración por más de 10 días. Al refrigerar la carne se debe tener cuidado con no colocarla cerca de otras comidas (en caso de frigorífico doméstico) ni de alimentos con un sabor fuerte, ya que la carne refrigerada es muy propensa a absorber olores (Oppel, 1996).

- e) Congelación: Uno de los procesos más utilizados en la conservación de los alimentos es la congelación, esto es debido a dos factores fundamentalmente, uno es que muchos microorganismos no soportan las temperaturas bajas utilizadas en la congelación. Además de que cuando un alimento se congela, parte del agua se transforma en hielo por lo que la actividad del agua disminuye. Este descenso influye en el crecimiento de muchos microorganismos y hace que no se puedan desarrollar (Ibarz, 2005). La congelación consiste en llevar el producto a temperaturas por debajo de su punto de congelación inmovilizando el agua libre y reduciendo el crecimiento microbiano (Genot, 2003). La disminución de la temperatura hace que las reacciones químicas sean más lentas; éstas, sin embargo, al contrario de lo que ocurre con las actividades microbiológicas, prosiguen incluso a bajas temperaturas (Madrid et.al, 2010).

- f) Nieblas de agua y salmueras: Es un método de refrigeración rápida del cual se están obteniendo buenos resultados en la práctica. Como medio refrigerante emplea, en lugar de aire, una niebla de agua o salmuera, producida en la cámara por medio de pulverizadores de construcción especial, que llega a ponerse en contacto inmediato con la carne (Plank, 1984).

- g) Nitratos y nitritos: Las sales sódica y potásica de nitrato y nitrito se utilizan como aditivos conservadores en alimentos, especialmente en productos cárnicos, donde el nitrito impide eficazmente el desarrollo de las esporas de *Clostridium botulinum* y por lo tanto la formación de la toxina botulínica. Asimismo, contribuyen al desarrollo del aroma y estabilización del color característico de este tipo de productos. Las cantidades máximas permitidas dependen del tipo de compuesto y del alimento al que se destine, oscilando entre 50 y 150 mg/kg para nitrito y entre 125 y 300 para nitrato (expresados en forma de las correspondientes sales). Cuando se utilizan conjuntamente, los niveles máximos permitidos son inferiores a la suma de las cantidades individuales correspondientes.
- h) Fosfatos: Los fosfatos son sales y ésteres de los ácidos fosfóricos. El ácido fosfórico (H_3PO_4) y sus sales son sustancias inorgánicas. La principal aplicación del ácido fosfórico es como acidificante en las bebidas refrescantes, y particularmente en las de cola. El ácido fosfórico de la industria alimentaria se produce por procedimientos químicos de minerales de fosfatos en bruto los cuales se obtienen de explotaciones mineras. Los fosfatos aparecen casi en todos los alimentos, pero sobre todo en alimentos ricos en proteínas como leche, huevos, carne y pescado. Los fosfatos se utilizan en la industria de alimentos como aditivos en forma de polifosfatos (fosfatos condensados unidos linealmente) los cuales actúan como secuestrantes, estabilizantes y emulsificantes.

1.2 Atmósferas Modificadas

La técnica de conservación en atmósfera modificada (AM) consiste en envasar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto. Esta técnica tuvo sus orígenes en los años 30 cuando las embarcaciones que transportaban carne y mariscos desde Australia y Nueva Zelanda a Inglaterra, utilizaron gases en la preservación de los productos (López, 2008).

Dependiendo de las exigencias del alimento a envasar, se requerirá una atmósfera con ambientes ricos en CO_2 y pobres en O_2 (los cuales reducen el proceso de respiración en los

productos, conservando sus características fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas por un mayor tiempo), y en función de ésta, se elegirá el envase o película de protección que también tendrá que ofrecer una transparencia que permita visualizar los productos y que brinde resistencia mecánica. El envasado en atmósferas modificadas es un método de envasado que implica la eliminación del aire del interior del envase y su sustitución por un gas o mezcla de gases, la mezcla de gases a emplear depende el tipo de producto (García, 2006).

La seguridad y el carácter perecedero son dos de los aspectos más importantes en muchos productos alimenticios. La seguridad es determinada principalmente por la presencia de microorganismos patógenos o de carácter tóxico en los alimentos. El carácter perecedero es causado por la degradación microbiana, actividad enzimática y reacciones químicas que pueden resultar en cambios desfavorables en propiedades sensoriales, físicas y nutricionales. Muchos alimentos dependen de su composición y de cómo hayan sido procesados y almacenados. El principal propósito del uso de una atmósfera modificada es alargar el tiempo de vida útil de los productos alimenticios disminuyendo la velocidad de deterioro mientras mantienen la seguridad y calidad (López, 2008).

1.2.1 Tipos de atmósferas modificadas.

Los tipos de atmósfera más comunes dentro de la conservación de alimentos son:

- *Atmósfera activa:* Se refiere a la incorporación de ciertos aditivos en la matriz del envase o dentro del envase para modificar la atmósfera dentro del envase y prolongar la vida de anaquel del producto. La generación activa o biológica se establece por una modificación potente e intencionada de la atmósfera inicial en el momento de envasar el producto, esta modificación se utiliza cuando no se establecen de forma adecuada el estado de equilibrio de los gases en el espacio de cabeza de éste o cuando se desea un rápido establecimiento de la atmósfera de equilibrio deseada. La utilización de absorbedores de O₂, CO₂, C₂H₄ y vapor de agua son mecanismos utilizados para mantener una atmósfera generada de forma abiológica (López, 2010). Este último concepto da pie a establecer un nuevo proceso el correspondiente al mantenimiento de la atmósfera. Por mantenimiento activo de la atmósfera se entiende la utilización de

absorbedores o sustancias que impiden que se establezca el equilibrio natural de los gases metabólicos en el interior del envase o espacio de cabeza.

- *Atmósfera pasiva:* Es la atmósfera que tiene lugar de forma natural por el flujo que se establece entre la respiración del producto y la permeabilidad del envase a los gases. En contra posición al mantenimiento activo aquí no se ejerce ningún impedimento para que se establezca un equilibrio. No se utilizan absorbedores ni otros productos con efecto sobre el nivel de los gases en el espacio de cabeza de los envases (López, 2010). Si las características de respiración de un producto están adecuadamente ajustadas a los valores de permeabilidad de la película, se puede crear pasivamente una beneficiosa atmósfera modificada en el interior del envase.

Si se elige una película de una adecuada permeabilidad intermedia, se establecerá una atmósfera modificada de equilibrio cuando las intensidades de transmisión del O_2 y del CO_2 a través del envase sean iguales a la intensidad de respiración del producto. Es importante no seleccionar películas de insuficiente permeabilidad por los riesgos de crear condiciones anaerobias y/o niveles peligrosamente elevados de CO_2 .

1.2.2 Factores microbianos

La velocidad del desarrollo microbiano en alimentos es afectada por diversos factores tales como: el pH, actividad de agua, el potencial redox, composición, características físicas, temperatura de envasado, la presencia de conservadores y la microflora competitiva en el producto. Estos factores son considerados obstáculos los cuales pueden ser aplicados individualmente o en combinación en productos alimenticios para inhibir el crecimiento microbiano extendiendo así la vida de anaquel (Leistner y Gorris, 1995).

En general las bacterias gram negativas son más sensibles al CO_2 que las gram positivas. Las bacterias gram negativas como las *Pseudomonas* son inhibidas por temperaturas bajas, por el contrario de los productos envasados con una alta concentración de CO_2 y almacenados a bajas temperaturas normalmente alojan bacterias gram positivas como las bacterias ácido lácticas que crecen y dominan al organismo (Church, 1994).

La carne de aves en general, y la de pollo en particular, son un vehículo muy importante para los microorganismos patógenos para el hombre, principalmente: *Salmonella spp*, *Campylobacter spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* y *Bacillus cereus*. En la Tabla 2 se encuentran los diferentes microorganismos presentes en la carne de pollo así como el tiempo de incubación y los síntomas generados en el ser humano y se observa que los tiempos de incubación son cortos por lo que alguna presencia de estos puede ser un peligro latente en la salud del consumidor.

1.2.3 Composición de una atmósfera modificada

El principio de una atmósfera modificada consiste en la modificación de la relación cuantitativa de los gases del entorno al rededor del producto, eliminando o adicionando gases respecto al aire cuya composición normal es:

78.08% N₂ + 20.95% O₂ + 0.03% CO₂ + 0.94% gases nobles

Obteniendo como resultado una composición de la atmósfera alrededor del producto diferente de esta (Trejo, 2010).

Modalidades en la composición de una atmósfera modificada:

- De N₂ y O₂ enriquecidas o no con CO₂.
- De N₂ y muy poco oxígeno (para productos sensibles al CO₂ y tolerantes a bajas concentraciones de O₂).
- De aire y CO₂ (para productos tolerantes a CO₂ en los que se busca el efecto en la fisiología).
- De aire y etileno (muy utilizados para acelerar la maduración de frutos).
- De aire y O₃, SO₂ ó CO (por su efecto fungicida).

Los gases más utilizados en el envasado de alimentos son: el nitrógeno, que se utiliza mucho en jugos, vinos, mantequilla, nata y alimentos altos en grasa.

Tabla 2: Principales agentes microbianos encontrados en la carne de pollo (Moreno, 2005).

Agente	Período de incubación	Síntomas
<i>Salmonella</i>	6-72 h (habitualmente 12-36)	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, vomito y fiebre.
<i>Campylobacter spp.</i>	1-10 días (habitualmente 3-5 días)	Dolor abdominal, diarrea, dolor de cabeza y fiebre.
<i>Staphylococcus aureus</i>	1-6 h	Vómitos postración de corta duración
<i>Clostridium perfringens</i>	6-24 h (habitualmente 10-12h)	Cólicos y diarreas de corta duración.
<i>Listeria monocytogenes</i>	3-21 días	Síntomas gripales, meningitis, abortos y partos prematuros.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	3-7 días	Diarrea, dolor intenso y fiebre baja.
<i>Bacillus cereus</i>	1-5 h	Vómitos intensos, dolor abdominal, diarrea.

El oxígeno que en combinación con el N₂ y el CO₂ mantiene la frescura y el color de las carnes y de algunos pescados y el dióxido de carbono que junto con el N₂ se utiliza en el envasado de frutas, quesos, platos precocinados, etc.

En general existen tres tipos de gases utilizados en combinación o solos para la mayoría de los productos en atmósferas modificadas. Estos incluyen al dióxido de carbono, nitrógeno y oxígeno aunque existen otros gases que han tenido un uso exitoso aunque no con tanto empleo como lo son: CO, SO₂, N₂O, NO, He, H₂, Ar, óxido de etileno y óxido de propileno. Se ha demostrado que el argón puede ser efectivo inhibiendo las actividades enzimáticas, el crecimiento microbiano y las reacciones químicas en alimentos perecederos (Brody y Thailer, 1996), también se comprobó que el argón reduce la velocidad de respiración en productos frescos alargando su vida de anaquel (Spencer, 1999). Sin embargo, su aplicación comercial es limitada por la normalización de diferentes países (Church, 1994). Los principales gases empleados en las atmósferas modificadas son:

- *Oxígeno*: El oxígeno es un gas requerido en los procesos metabólicos de plantas, animales y microorganismos aerobios, además de ser requerido en muchas reacciones

químicas. La ausencia o la excesiva reducción del O₂ en la atmósfera puede causar la muerte o la reducción en el crecimiento en los microorganismos, sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones de atmósferas modificadas excepto frutas frescas, vegetales y ciertas carnes, el O₂ es excluido o reducido significativamente de la atmósfera. Aunque la presencia de algo de O₂ al inicio puede fomentar el crecimiento de flora competitiva como las bacterias ácido lácticas que ayudan a prevenir el desarrollo de algunos microorganismos anaerobios patógenos (*Clostridium botulinum*). La solubilidad del O₂ en agua o grasas es bastante lenta comparada con otros gases como el CO₂ (el CO₂ es 28 veces más soluble en agua que el O₂ a 20°C). Recientemente ha surgido un interés en el uso del O₂ en altas concentraciones en una atmósfera modificada. Se ha observado que a altas concentraciones de O₂ (70-100%) se inhibe el crecimiento de *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas* y *Enterobacterias* (McMillin, 2008). Además se ha encontrado que es efectivo en la inhibición de la decoloración enzimática, previene las reacciones de fermentación anaerobia e inhibe el crecimiento microbiano, ha sido utilizado para extender la vida de anaquel de productos frescos como carne, lechugas, fresas, uvas y naranjas.

- *Dióxido de Carbono*: El dióxido de carbono o anhídrido carbónico es un gas en condiciones normales (20°C de temperatura y 1 kg/cm² de presión). Es incoloro e inodoro y con un sabor ácido. No es tóxico ni tampoco inflamable, solo llega a ser tóxico en concentraciones elevadas. Para usos industriales se suministra licuado en botellas de acero a temperatura ambiental (Madrid et.al, 2010). El dióxido de carbono constituye menos del 0.05% del volumen del aire. Este tiene un efecto altamente bacteriostático contra los microorganismos aerobios, especialmente las bacterias gram negativas y puede inhibir los efectos de algunas enzimas, es soluble en agua y grasas (Zeuthen, 2003). El CO₂ en estado gaseoso pesa un 53% más que el aire siendo mucho más soluble en agua que otros gases tales como el nitrógeno o el oxígeno, la solubilidad aumenta al bajar la temperatura, propiedad que se suele emplear en el envasado de cerveza y bebidas carbonatadas (Madrid et.al, 2010). El CO₂ forma H₂CO₃ con el agua esto reduce el pH del producto, sin embargo, la concentración del

ácido es muy pequeña comparada con el CO₂ disuelto y esta fracción gaseosa disuelta es la que actúa como inhibidor del crecimiento microbiano en los alimentos. Por ser un gas inerte y antioxidante se puede utilizar en la conservación de productos alimenticios cuyo contacto con el oxígeno es perjudicial (carnes, determinados tipos de vino, etc.). El CO₂ se produce de forma natural en la fermentación de gran cantidad de productos alimenticios (mostos de uvas, zumos, mosto de cerveza, melazas, etc.) esto por la acción de levaduras sobre los azúcares presentes, dando lugar a diversas sustancias como: alcoholes, ácido acético, ésteres, etc (Madrid et.al, 2010). Los principales mecanismos en contra de los microorganismos son:

- a) Disminuir el pH del alimento
- b) La penetración celular seguida de una disminución del pH citoplasmático en la célula.
- c) Acciones específicas sobre las enzimas citoplasmáticas.
- d) Acciones específicas en las membranas biológicas.

Aun no queda claro que mecanismo juega el papel más importante en la inhibición del crecimiento microbiano pero se sabe que son los principales responsables de la destrucción de los microorganismos (Devlieghere, 2000). El CO₂ también es utilizado para remplazar el aire y prevenir el mal sabor oxidativo en algunos productos deshidratados como el café.

- *Nitrógeno*: El nitrógeno, en condiciones normales (20°C de temperatura y 1 kg/cm² de presión) es un gas incoloro, inodoro e insípido, es el principal componente del aire, donde se encuentra presente en una proporción de 78.08%. A la presión atmosférica y a temperaturas por debajo de -196°C es un líquido incoloro inodoro y caracterizado principalmente por gran inercia química (no ataca o reacciona con otros productos), lo que favorece enormemente su utilización en la elaboración, envasado y conservación de los productos alimenticios (Madrid et.al, 2010). El nitrógeno es un gas inerte e insípido el cual tiene muy poca solubilidad en agua o grasas lo que lo convierte en un gas ideal para la conservación de alimentos y bebidas. El nitrógeno no tiene efectos bacteriostáticos. Es usado principalmente para remplazar al oxígeno en el espacio de cabeza y evitar problemas oxidativos o bien para prevenir el colapso del envase cuando el envase usa o tiene una alta concentración de CO₂ (Church, 1994). En la Tabla 3 se muestran las diferentes ventajas y desventajas que se tiene al usar estos

gases dentro de una atmósfera modificada, entre lo que destaca la oxidación y aceleración de procesos fermentativos por parte del oxígeno o el enranceamiento de las grasas y aceites lo que genera el uso de gases alternos como el nitrógeno que permite desplazar el exceso de oxígeno en el espacio de cabeza evitando estos procesos bioquímicos dañinos para el producto y el dióxido de carbono para la conservación de alimentos altos en grasas, además del aprovechamiento del efecto bacteriostático que pueden llegar a tener estos gases.

- *Combinación de gases:* Para cada producto se puede encontrar el gas o mezcla de gases que mejor se ajusta para su conservación. Se pueden realizar pruebas hasta dar con la solución ideal, Un factor muy importante a considerar es la calidad inicial del producto, si la calidad de origen no es buena, difícilmente podrá mejorar durante su conservación, sea de la forma que sea. Para que los gases actúen adecuadamente y alarguen la vida útil de un producto (Madrid et.al, 2010) será necesario:
 - a) Alta calidad inicial del producto que queremos acondicionar
 - b) Sellado hermético del envase, según productos.
 - c) Manipulación higiénica durante el envasado y durante las operaciones posteriores de transporte hasta la llegada al consumidor. Si se daña el envase, desaparece el efecto beneficioso de los gases protectores.

La combinación de gases (Ospina, 2008), dependerá fundamentalmente de factores como:

- Tipo de producto (contenido de humedad y grasas, características microbiológicas, intensidad de respiración, etc.).
- Espacio de cabeza, que actúa como reservorio, debe ser adecuado para incorporar gas en cantidad suficiente para que reaccione con el producto, en términos generales se puede decir que cuanto mayor sea el tiempo de vida útil que se desee obtener, mayor será el espacio de cabeza que se proporcione.
- Material del envase.
- Temperatura de almacenamiento

1.2.4 Modificadores de la atmósfera (adsorbedores y generadores).

Otro método de proporcionar una atmósfera modificada en un envase es usando los modificadores de atmósfera. Los modificadores de atmósfera son productos separados que normalmente vienen en el producto o alimento en pequeños sobres, estos sobres son envasados junto con el alimento y su actividad durante el almacenamiento modifica la atmósfera en el espacio de cabeza.

Tabla 3: Ventajas, desventajas y propiedades físicas de los gases más empleados en atmósferas modificadas (García, 2006).

	N_2	O_2	CO_2
Propiedades físicas	<i>Inerte, insípido e insoluble</i>	<i>Comburente, insípido e inodoro.</i>	<i>Inerte, inodoro, ligero sabor ácido, soluble en agua y grasa.</i>
Ventajas	<i>Desplazamiento de O_2, inhibición de aerobios. Evita oxidación de las grasas.</i>	<i>Oxigena carnes rojas. Inhibe anaerobios. Sostiene metabolismos vegetales</i>	<i>Bacteriostático. Fungistático Insecticida</i>
Desventajas	-----	<i>Oxidación de grasas</i>	<i>Solubilidad en agua y grasa</i>

Los modificadores de atmósfera más utilizados actualmente incluyen los absorbedores de O_2 , absorbedores de CO_2 o generadores de ambos, absorbedores de etileno o generadores de éste (Vermeiren, 1999).

1. Absorbedores de O_2

Absorbedores de oxígeno (“scavengers”). El oxígeno presente en los envases alimenticios puede acelerar el deterioro de muchos alimentos, este oxígeno (García, 2006) puede derivar de diferentes factores como:

- Una elevada permeabilidad del material del envase.
- Aire retenido en el alimento o en el material del envase.
- Pequeñas filtraciones debidas a un sellado no eficaz y una evacuación inadecuada.
- Flujos de gas.

Un absorbedor de oxígeno es una sustancia que absorbe eficazmente este gas del medio en el que se encuentra. Su aplicación elimina el oxígeno que está en contacto con el alimento.

Las principales ventajas de su aplicación son:

- Control de la alteración de grasas y aceites.
- Eliminación de coloraciones anómalas.
- Control de mohos.
- Control de bacterias aerobias.
- Preservación del sabor y características propias del producto.
- Preservación de nutrientes sensibles al oxígeno.
- Extensión de la vida útil.

En general, los absorbedores de oxígeno se basan en uno o varios de los siguientes mecanismos:

- Poder oxidante del hierro.
- Oxidación del ácido ascórbico.
- Oxidación foto sensitiva.
- Oxidación enzimática.
- Sales ferrosas.
- Ácidos grasos insaturados.

Las aplicaciones más frecuentes son para: pan, pasteles, arroz cocido, galletas, pizzas, pasta, queso, carnes, pescados curados, café, aperitivos, alimentos secos, bebidas, etc. (McMillin, 2008).

2. *Absorbedores y generadores de CO₂*

La presencia de dióxido de carbono en el espacio de cabeza del envase es interesante por su actividad antimicrobiana. Sin embargo, el CO₂ se difunde a través del material de envasado de dos a seis veces más rápido que otros gases protectores (García, 2006).

Los generadores de dióxido de carbono contienen bicarbonato sódico como principio activo. Producen este gas de manera continua y así mantienen en el interior del envase la concentración necesaria para inhibir la proliferación de microorganismos. Su utilización se limita a determinados alimentos como algunas carnes frescas, pescados y quesos. Esto se debe a que cantidades elevadas de CO₂ pueden causar alteraciones en el sabor y la textura, problemas de exudado, daños fisiológicos en los vegetales frescos, etc (Reyha, 2009).

3. Absorbedores de Etileno

En general, los absorbedores de etileno se utilizan para el envasado de frutas, verduras y otros productos hortofrutícolas. Los sistemas más usuales de absorción de etileno son:

- Permanganato potásico (KMnO₄) inmovilizado sobre sustrato mineral inerte como perlita, alúmina, zeolita, carbón activo, gel de sílice, cristobalita. El KMnO₄ actúa oxidando el etileno a etilenglicol y éste a su vez al CO₂ y agua.
- Metales catalizadores como el paladio, sobre carbón activo, éste absorbe al etileno y el catalizador lo degrada (McMillin, 2008).

4. Controladores de humedad

Un controlador de humedad es un sistema capaz de regular el contenido en agua líquida o gaseosa en la atmósfera que rodea al alimento dentro del envase. La humedad dentro del envase generalmente favorece el crecimiento de microorganismos a la vez que empaña el envase. También es responsable del humedecimiento de alimentos con baja aw como galletas, pasteles, leche en polvo, café instantáneo, etc. Por otro lado, una excesiva evaporación del agua a través del envase puede causar una desecación en los alimentos y favorecer la oxidación de lípidos (García, 2006).

1.2.5 Materiales de envase implementados en una atmósfera modificada

El termino envase se define como: El conjunto de productos como envoltura, bolsa, caja, bandeja, lata, tubo o botella u otra forma de contenedor que permita realizar una o más de las siguientes funciones (Mead, 2004):

- Contener, transportar y usar.

- Preservar y proteger el producto para mantener su vida útil o su vida de almacenamiento.
- Facilite el uso del producto por su accesibilidad.

Envase se define como cualquier recipiente o envoltura que contenga un producto para su venta, almacenaje o transporte. Puede estar en contacto directo o indirecto con el producto. Sus funciones principales son: proteger, guardar, conservar e identificar al producto que contenga, facilite su manejo, transporte y comercialización (Madrid et.al, 2010). Según la función que el envase cumpla, puede ser clasificado en envases primarios, secundarios o terciarios. El envase primario está en contacto directo con el producto, el envase secundario es aquel que contendrá uno o varios envases primarios y su función es proteger, identificar y dar información sobre el producto, mientras que el envase terciario sirve para distribuir, unificar y proteger al producto en todas sus etapas de distribución (Madrid et.al, 2010).

La permeabilidad al oxígeno y la humedad son dos propiedades de suma importancia en los envases para carnes. La velocidad de transmisión de vapor de agua o más exactamente la permeabilidad al vapor de agua y la velocidad de transmisión de oxígeno afectan la calidad final de los productos cárnicos. La velocidad de transmisión de vapor de agua se basa en la medición de vapor de agua que pasa a través de una superficie específica de la película mientras que la permeabilidad tiene en cuenta el espesor de la película y el gradiente de humedad relativa en ambos lados de la película. Los dos, tanto la permeabilidad al oxígeno como la permeabilidad al vapor de agua son expresados como cambios en la velocidad de gas o vapor. Las películas poliméricas usadas para envases de carnes pueden ser clasificados de acuerdo a su permeabilidad al oxígeno medida en ml/m^2 en 24 horas, como: 0-10 baja, aproximado a 60 media y >1000 , alta. La permeabilidad al oxígeno en algunos materiales puede cambiar con la temperatura o la humedad como el etileno vinil alcohol o nylon (Mead, 2004).

Para conseguir las propiedades de impermeabilidad al gas, protección y buenas cualidades de soldar por calor se recurre a envases con varias capas de diferentes materiales. La composición de una capa plástica compuesta debe adaptarse al producto, al sistema de envasado, etc. Esto se consigue con una película de la siguiente estructura (Madrid et.al, 2010).

- 1) Una capa externa de plástico de baja temperatura.
- 2) Una capa interna de plástico de alta temperatura.
- 3) Una capa intermedia de alta permeabilidad al gas.

Estas tres capas se juntan de manera que formen una hoja plástica transparente. En todo el proceso de envasado se debe mantener una correcta higiene para evitar la aparición de impurezas o de problemas microbiológicos, mientras que la manipulación del producto posterior al envasado debe ser cuidadosa para evitar roturas o desgarros que acabarían con las ventajas del sistema protector de gases. (Madrid et.al, 2010). En la tabla 4 se muestran los diferentes materiales plásticos utilizados en el envasado por atmósferas modificadas y se observa las diferentes combinaciones que se pueden obtener entre los materiales plásticos así como sus usos dentro de la industria cárnica y se concluye que un material apto es el LDPE que además de ser barato tiene gran versatilidad para el procesamiento de carnes.

Existen dos técnicas (Madrid et.al, 2010) principalmente para el envasado en atmósferas modificadas:

1. Barrido gaseoso: en este caso la purga de aire en el envase está asegurada por un barrido continuo de gas. La máquina de envase forma un tubo con la película y el gas se inyecta en este tubo con la ayuda de una tubería de inyección justo antes de que la película sea cortada y termo sellada formándose los envases individuales con la atmósfera protectora en su interior. Este sistema es de funcionamiento continuo y deja una cantidad residual de oxígeno de 3.5%.
2. Vacío compensado: en este sistema se dispone de una máquina de formación de envases por calor a partir de una película continua, esta película toma la forma deseada según el molde utilizado. Se llena el envase con el alimento correspondiente y se procede a su cierre con otra capa. Se produce el vacío en el envase, que se rompe por la inyección de una mezcla de gases, justo antes de soldar por calor la película superior.

Las principales ventajas en el uso de las atmósferas modificadas son:

- Prolongación de la supervivencia comercial, lo que permite acceder a mercados más lejanos especialmente extendiendo el periodo de transporte.

- Reducción de la intensidad respiratoria y del máximo climatérico (frutos).
- Reducción de los efectos del etileno en los frutos climatéricos y consecuentemente un retraso de la senescencia (frutos).
- Mantenimiento de la textura y propiedades organolépticas durante su comercialización.
- Disminución mas lenta de los azucares, ácidos y vitamina C que se manifiestan en el mantenimiento del sabor y aroma.
- Retraso de la degradación de proteínas y la oxidación de compuestos fenólicos.
- Reducción del desarrollo de microorganismos, como consecuencia de la acción fungistática y bactericida del CO₂
- Mantenimiento de la calidad general interna incluso a temperaturas que no son las óptimas de conservación.
- No deja residuos en el producto tratado.
- Se minimiza el uso de aditivos y conservadores.
- Se evitan las mezclas de olores en el sitio de almacenamiento.
- Mejor presentación, clara visión del producto y visibilidad en todo el entorno.
- No causa problemas ambientales y aumenta las ganancias del productor.

Dentro del uso de las atmósferas modificadas las principales desventajas son:

- Inducción de respiración anaerobia y como consecuencia, desarrollo de olores y sabores extraños por acumulación de etanol y acetaldehído (frutos).
- Posible aceleración de las podredumbres en general (frutos).
- Posibles pérdidas en el color en el producto por la falta de O₂ (carnes).
- Inversión en maquinaria de envasado con gas.
- Altos costos de los gases a utilizar y los materiales de envasado.
- Los beneficios del envase se pierden cuando se abre o se perfora el envase (López, 2008).

1.2.6 Atmósferas modificadas en la conservación de pollo y derivados

La utilización de atmósferas distintas a la aerobia es una alternativa para prolongar la vida útil del producto. El fundamento es eliminar el oxígeno y remplazarlo por una mezcla de gases

inertes (nitrógeno) o con cualidades bactericidas y/o bacteriostáticas (dióxido de carbono). La sustitución de la atmósfera aerobia por otra modificada (N₂/CO₂; 30/70 % en volumen), en productos cárnicos de pollo, consigue limitar el crecimiento de las *Pseudomonas* y alargar la vida comercial, bajo estas condiciones otros factores serán los causantes del deterioro: *lactobacilos*, *enterobacterias* y *brochothrix thermosphacta* (Jiménez, 1997).

Tabla 4: Materiales plásticos utilizados para el envasado de productos cárnicos (Mead, 2004).

Tipo de Polímero	Uso	Características
EVA-LDPE Copolímero	Capas, envolturas y películas	Termo contraíbles
Lonomero	Capa de sellado	Resiste la contaminación de los sellos
LDPE	Bolsas y Envolturas	Bajo costo y baja barrera a los gases
LLDPE	Capa de sellado	Buena claridad
Nylon (PVdC cubierto)	Películas y bandejas termo formadas	Buena claridad
Nylon (sin cubierta)	Películas y bandejas termo formadas	Buena claridad
PET (PVdC cubierto)	Películas	Buena claridad
PET (sin cubierta)	Películas y Bandejas	Buena claridad
PP	Contenedores semirrígidos	Buena claridad
PVC	Envolturas para carne fresca	La velocidad de transmisión de gas depende de la plastificación
PVdC	Barrera de sellado	Barreras poco afectadas por la humedad

EVA: Etilen vinil alcohol, LDPE: Polietileno de baja densidad, LLDPE: Polietileno de baja densidad lineal, PVdC: cloruro de polivinildieno.

El crecimiento de estos microorganismos producen otro tipo de síntomas que anuncian el deterioro del producto, así el crecimiento del principal indicador (bacterias ácido lácticas) forma olores y/o sabores a ácido/a agrio/a queso, cuando alcanzan niveles de 10⁸⁻⁹

microorganismos por gramo (Church, 1994). Cuando se utiliza este tipo de atmósferas protectoras debe tenerse en cuenta una serie de precauciones para conseguir el objetivo último: “Prolongar lo máximo posible la vida comercial del producto”, éstas se podrían resumir como sigue:

- Falta total de O₂. Puede variar el color del producto, dado que la oximioglobina (rojo vivo) pasaría a metamioglobina (rojo-marrón). La reacción suele ser reversible y el color rojo brillante se recuperaría al abrir el envase.
- Exceso de CO₂. Puede generar el denominado “colapso de las bandejas”, este fenómeno se produce porque a temperaturas de refrigeración la solubilidad del CO₂ aumenta, así gran parte del volumen de este gas se disolverá en el agua intercelular del músculo generando una fuerza de succión que puede deformar el envase.
- Volúmenes correctos. El buen funcionamiento de una atmósfera modificada pasa, además de por una correcta mezcla de gases, por un estudio importante de la relación volumen de carne/volumen total, esto es, una correcta definición del espacio de cabeza.

Generalmente son tres métodos (Mead, 2004) los usados en el envasado de carne de pollo en atmósferas modificadas:

1. La carne se mantiene en una bolsa de plástico termorretráctil con baja permeabilidad al oxígeno, y se sella con un metal
2. El método de cámara en el cual la carne es depositada en una bolsa, la bolsa es vaciada y sellada por calor.
3. El método de termo formado en el cual la carne es puesta en una bandeja y una tapa de plástico a la cual se le aplica un vacío.

El espacio de cabeza es de acuerdo a la relación gas-carne en un volumen de 3:1. La carne de pollo que aún contenga la piel debe ser envasada en atmósferas que contengan oxígeno esto

con el fin de mantener el color, pero se debe tener cuidado ya que favorece al crecimiento más rápido de microorganismos aerobios.

1.2.7 Efectos durante el almacenamiento en frío.

La importancia de la refrigeración y congelación radica principalmente en la disminución en la velocidad de reproducción de los microorganismos. Se sabe que la mayoría de los microorganismos no se pueden desarrollar en temperaturas por debajo de los -10 / -12 °C y que pueden ser afectados inmensamente por las temperaturas de congelación y refrigeración.

La refrigeración prolongada o bien lenta puede ser más agresiva en la inactivación de microorganismos porque existe un mayor periodo de tiempo de exposición a bajas temperaturas lo que hace que la concentración de solutos genere la pérdida de agua osmóticamente de las células microbianas.

Si a la sustitución del aire por gases protectores le unimos la acción del frío se puede prolongar aún más el periodo de conservación, manteniendo la calidad del producto. Desde hace más de 25 años se viene aplicando con éxito la combinación de bajas temperaturas (3/-3 °C) con el desplazamiento de la atmósfera, por gases protectores (N₂, O₂ y CO₂) para alargar la vida de alimentos perecederos frescos (carnes, frutas, verduras, etc.) que de este modo mantienen su calidad hasta que llegan al consumidor. Es muy importante no romper con la cadena de frío en la elaboración, almacenamiento o distribución. También hay que procurar mantener la composición de la atmósfera protectora (Madrid et.al, 2010).

Por la acción de las temperaturas de congelación, la carne alcanza un estado en el que puede conservarse durante largo tiempo sin modificaciones esenciales de sus características naturales, pues por la congelación se impiden inmediatamente el comienzo de los procesos de descomposición que, en circunstancias normales, comienzan rápidamente. Esta acción de conservación se mantiene durante todo el tiempo que la carne permanece congelada a temperaturas suficientemente bajas. Por lo tanto, la carne congelada es en teoría indefinidamente conservable, cuando menos por lo que se refiere a su protección de la descomposición microbiana, como ha demostrado la experiencia práctica (Plank, 1984).

1.3 Marinado

En la industria cárnica el marinado se refiere a la incorporación y retención de agua por las diferentes carnes procesadas (res, puerco, ave, etc.), para mejorar la terneza, jugosidad, color y sabor (Legarreta, 2010).

Marinado es un término que se refiere al proceso mediante el cual se incorpora en la carne una solución acuosa u oleosa, que puede contener diferentes ingredientes y aditivos (sal, fosfato, proteína u otros), con el objetivo de mejorar el sabor, dar suavidad u otro tipo de atributos como color y jugosidad (Lemos, 1988).

El marinado es una técnica de cocina mediante la cual se pone un alimento en remojo de un líquido aromático durante un tiempo determinado (desde un día hasta varias semanas), con el objetivo de que tras este tiempo sea más tierno o que llegue a estar más aromatizado. Antiguamente era considerado un método de conservación de ciertos alimentos, aunque hoy en día este efecto se pone en duda para algunos tipos de marinados (Gutiérrez, 1998).

Los marinados surgen en la tecnología culinaria con una doble finalidad: ablandar la carne y conservarla durante un tiempo más prolongado. Sin embargo, la cocina contemporánea lo suele aplicar para conferir un determinado sabor a diferentes productos cárnicos, pescados y verduras dando un valor adicional al producto mejorando y potencializando sus características sensoriales (color, olor, aroma y textura) (Legarreta, 2010). En general el marinado se suele usar para ablandar y aromatizar alimentos, que después van a ser sometidos a diversos tipos de cocción: asado, planchado o en estofado (Gutiérrez, 1998). El marinado se puede efectuar por inyección o bien por inmersión del producto en mezclas que pueden llevar algunos de los siguientes elementos: aceite, vino, vinagre, especias, hierbas aromáticas, verduras, etc; dejándolo reposar por un tiempo determinado. Su elaboración exige en realidad la acción de tres componentes esenciales: el aceite, el ácido y los productos aromáticos que pueden ser hierbas o especias. El aceite protege y preserva al alimento, mientras que la acidez es proporcionada la mayoría de los casos por vinagre, vino, yogurt o jugos cítricos modificando la textura del producto.

Desde un punto de vista práctico, son tres los factores que regulan el proceso de marinación (maceración):

- a) La existencia de un componente ácido, en todas las zonas del tejido muscular donde ha podido penetrar se desarrollara una acidez que permitirá la degradación del tejido conectivo y la carne se ablanda.
- b) La presencia de sustancias sápidas y aromáticas: como consecuencia de los fenómenos de ósmosis y difusión consigue que algunos de los compuestos solubles, tanto en el agua como en el aceite, penetren en el interior del alimento y contribuyan al desarrollo de unas características organolépticas deseadas.
- c) El tiempo de inmersión del alimento en el líquido.

1.3.1 Tipos de Marinado

Existen dos tipos de marinados principalmente; marinados líquidos y marinados secos

a) Marinados líquidos

Los marinados líquidos se usan principalmente para empapar el producto (inmersión) antes o después de su cocción e incluso para provocar un cocimiento químico por la desnaturalización de las proteínas presentes. Existen tres tipos de marinados básicos: aceite y ácido, aceite y productos aromáticos y ácidos y productos marinados.

b) Marinados secos

Obtener un marinado seco es relativamente más sencillo que uno líquido, consiste en introducir todos los ingredientes que se deseen combinar en un mortero para picarlos y generar una mezcla con la que se cubrirá el producto a marinar y se dejara reposar por un determinado tiempo, los ingredientes suelen ser principalmente semillas y especias combinadas con sal o azúcar.

1.3.2 Métodos de aplicación de Marinado

a) Inmersión

Consiste en sumergir la carne en el marinado, dejando que los ingredientes penetren en la carne por difusión con el paso del tiempo. No es un método confiable en la industria cárnica ya que no proporciona regularidad en la distribución de los ingredientes y aumenta el riesgo de

contaminación bacteriana. Además, requiere tiempos largos de proceso y limita la cantidad de marinado a absorber (Aleman, 2010).

b) Inyección

El marinado por inyección es el método más ampliamente utilizado porque permite dosificar una cantidad exacta de marinado, garantizando una regularidad en el producto y sin las pérdidas de tiempo que implica la inmersión (Aleman, 2010). Es el método de marinado más fiable, seguro y moderno, con la que se consigue una distribución homogénea de los ingredientes del marinado en toda la pieza cárnica. Como su nombre lo indica consiste en la inyección del marinado a través del producto mediante el uso de maquinas especializadas que no dañan el producto. Existen dos tipos de marinado por inyección

- i. Efecto convencional: Utilizan bombas que impulsan la salmuera a través de agujas con ductos de 1mm de diámetro o más, depositando el marinado durante su recorrido descendente a través de la carne (Aleman, 2010).
- ii. Efecto por esparido: Este tipo de inyectoras no forman bolsas de marinado alrededor de la aguja sino que fuerzan al marinado a pasar a gran velocidad a través de agujeros de diámetro inferior (0.6mm) causando su dispersión en miles de micro gotas (Aleman, 2010).

c) Masaje

Tiene su mayor aplicación en trozos de carne pequeños y deshuesados, en donde es difícil conseguir una buena difusión de los ingredientes, impidiendo la homogeneidad y uniformidad del producto final. El masaje puede dañar los productos con hueso, provocando la separación de estos y la pérdida de la morfología propia del producto.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 Problema

En los últimos años la innovación de nuevos productos alimenticios ha tenido una influencia importante en métodos de conservación más eficientes, que permitan conservar mejor las características originales de los alimentos. La pechuga de pollo es un producto de gran consumo en México, la cual se prefiere en un estado fresco por su sabor, olor, textura y aporte nutricional. Esto ha generado la implementación de este tipo de métodos que ayuden a preservar esas características que el cliente busca, además de incluir una modificación y/o mejora en las propiedades iniciales del alimento que beneficie al producto final otorgándole al cliente un producto diferente de mejor calidad y mayores tiempos de vida útil.

2.2 Objetivo General y Particulares

Objetivo general: Establecer las condiciones de almacenamiento y concentración de gases para generar una atmósfera modificada activa que en conjunto con un marinado incrementen el tiempo de vida útil de pechuga de pollo, monitoreando las variaciones de sus propiedades fisicoquímicas y físicas.

Objetivo particular 1: Evaluar el efecto que tiene el tipo de marinado sobre las propiedades fisicoquímicas y físicas de la pechuga de pollo y la influencia que tienen sobre la vida útil.

Objetivo particular 2: Determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la vida útil de pechuga de pollo marinada mediante el cambio cinético en capacidad de retención de agua, color y pH, para correlacionarlo con las condiciones de almacenamiento.

Objetivo particular 3: Analizar el efecto que tienen las condiciones de almacenamiento y concentración de N_2 , O_2 y CO_2 sobre el tiempo de vida útil de pechugas de pollo marinado, mediante el monitoreo de los cambios de concentración de gases en el espacio libre de cabeza, y en las propiedades fisicoquímicas y físicas del producto.

La tabla 5 muestra los factores que fueron considerados en este trabajo, considerando sus niveles de variación. Los factores considerados fueron el tipo de marinado (vino tinto y vinagre blanco); atmósfera de envasado, tiempo de almacenamiento y temperatura (0 y 5°C). Además en la tabla se observan las diferentes variables dependientes y de respuesta que se tendrán con la manipulación de los factores antes mencionados, así como, el método de evaluación que se utilizó para el análisis y obtención de los resultados.

Tabla 5: Tabla de factores y niveles de variación durante la experimentación.

Variables Independientes	Niveles de variación	Replicas	Variable dependiente	Variable respuesta	Método
					pH
Marinado	Vinagre Vino	3	pH	Vida útil	Potenciómetro HANNA 213
			Color		Capacidad retención de agua
			Textura	CRA	Método de compresión mecánica (Karmas y Turk)
Temperatura	0 °C 5 °C		pH	Vida útil	Color
			Color		Análisis de imagen (Mendoza y Aguilera, 2004) ESPECTROFOTOMETRO C-M5 konica minolta®
Tiempo	6,11,14,16,20 y 22 días		Textura	CRA	Textura Prueba empírica presión mecánica obteniendo % de deformación
Concentración de gases	80%N ₂ - 20%CO ₂ 5% O ₂ - 15%CO ₂ y 80%N ₂		pH	Vida útil	Concentración de gases Detector electrónico tipo <i>head-space</i>
			Color		
			Olor	CRA	

2.3 Materiales y Reactivos

a) Material biológico

La pechuga utilizada en la experimentación fue obtenida en un lote de 18 kg de una distribuidora ubicada en Coacalco, Estado de México procedente de planta Bachoco S. A. de C.V. La pechuga fue adquirida sin piel y hueso, previo a su tratamiento la pechuga fue lavada y desinfectada para posteriormente someterla al tratamiento correspondiente.

b) Materiales del marinado

Los ingredientes y aditivos utilizados para la preparación de los marinados fueron adquiridos en un centro comercial de Cuautitlán Izcalli, siendo estos: Pimienta negra marca McCormick[®], vino tinto marca California[®], sal común marca la Fina[®], aceite de maíz marca Golden Hill[®], vinagre blanco de caña marca Clemente Jacques[®], vinagre balsámico marca Ibarra[®], salsa de soya marca Choy soy[®], fosfato de sodio monobásico, monohidrato, cristal marca J.T Baker[®] con un peso molecular de 137.99 g/mol, Citrato de sodio marca cosmopolita con un peso molecular de 170.14 g/mol.

2.4 Actividades preliminares

- **Acondicionamiento de la cámara de refrigeración**

Se utilizó una cámara de refrigeración ubicada en el interior del Laboratorio 16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de campo 4. Previo a la caracterización de la cámara se llevó a cabo la limpieza y sanitización; utilizando cloruro de benzalconio en una proporción de 150 ppm para evitar la reproducción de microorganismos durante el periodo de almacenamiento en la experimentación. La caracterización y ajuste de las temperaturas en la cámara se llevó a cabo utilizando un sistema de medición de temperatura Mod. EL-USB-TC-Thermocouple Data Logger marca Lascar electronics[®] con termopar tipo K. La cámara fue acondicionada utilizando una división con aislante de poliestireno expandido con la finalidad de lograr temperaturas de entre 0 y 5 °C.

- **Preparación de la muestra**

Las pechugas con un peso total promedio de 11.274 kg; se desinfectaron previo a su utilización por inmersión con una solución de hipoclorito de sodio a 10 p.p.m, posteriormente se realizó un cubicado en trozos pequeños de (2x2x2) cm. Los trozos fueron marinados por inmersión en la dispersión correspondiente durante 13 h a 5 °C en recipientes cerrados herméticamente para evitar una posible pérdida de peso, componentes volátiles y contaminación del producto.



Figura 8: Cámara frigorífica que se utilizó para la conservación y almacenamiento de las diferentes muestras de pechuga de pollo marinada en atmósferas modificadas activas.

- **Preparación de los marinados**

En la Tabla 6, se muestran las formulaciones de las dos emulsiones empleadas para el marinado (vinagre y vino), estas fueron obtenidas a partir de formulaciones comerciales, adicionándoles fosfatos y citratos respectivamente como estabilizadores del pH inicial, la proporción que se utilizó fue de 2:1.

Tabla 6: Formulaciones de los dos tipos de marinados a utilizar en porcentaje.

Marinado 1 (Vino tinto)	Marinado 2 (Vinagre)
77.65 Vino tinto	28.96 Aceite de maíz comestible
15.18 Aceite de maíz comestible	62.31 Vinagre blanco
3.73 Sal común	4.61 Vinagre balsámico
0.90 Pimienta negra	2.09 Salsa de soya
1.01 Ajo	1.5 Ajo
0.5 fosfato monobásico de sodio	0.5 fosfato monobásico de sodio
0.35 citrato de sodio	

- **Envasado de las muestras**

Después de transcurrido el tiempo de marinado, la pechuga fue envasada de acuerdo con el diseño experimental propuesto el cual resulto de un diseño experimental 2^3 el cual se enmarca en la tabla 7 del presente proyecto. Se envasaron 80 g de carne y 10 g de marinado en bolsas de polipropileno/polietileno tipo *pouch* - de alta barrera con dimensiones de 6 x 10 pulgadas las cuales se muestran en la figura 9.

En la Figura 10 (a) se muestra la envasadora tipo campana MULTIVAC A 300/16, empleada para la generación de la atmósfera modificada, en la Figura 10 (b) se muestra como previo a la inyección de gases se evacuo el aire haciendo un vacío de 250 mBar para posteriormente llevar a cabo la inyección a 450 mBar, las concentraciones utilizadas durante la experimentación correspondieron a un tanque con 20% de CO₂ y 80% de N₂, concentración de gases y otro con 10% de CO₂ / 5% de O₂ y 85% de N₂. . Así mismo, en la Figura 11 se muestran los tanques de gases empleados para la generación de las atmósferas modificadas.



Figura 9: Bolsas de alta barrera tipo *pouch* utilizadas en el envasado de la pechuga de pollo marinada bajo atmósferas modificadas activas.



Figura 10: (a). Envasadora automática tipo campana MULTIVAC A 300/16. (b). Muestras de pechuga marinada previas a la inyección de gases.



Figura 11: Tanques con las diferentes mezclas de gases utilizados para la creación de las atmosferas modificadas activas. a) Mezcla 1: 5% O_2 / 10% CO_2 Y 85% N_2 . b) Mezcla 2: 20% CO_2 Y 80% N_2 .

En la Figura 13, se muestra el diagrama de bloques de proceso correspondiente al tratamiento de las muestras para las dos formulaciones y su descripción correspondiente a cada etapa.

1. *Despiece y cortado*: Se retira piel y huesos de la pechuga de pollo, así como posibles defectos de origen (coágulos de sangre, plumas, etc.).

2. *Desinfección:* La pechuga de pollo se desinfecta en una solución de hipoclorito de sodio a 10 p.p.m sumergiéndola durante un tiempo de 5 minutos.
3. *Escurredo:* La pechuga de pollo se coloca en coladeras sanitizadas y se deja escurrir para eliminar el posible residuo de agua clorada durante un tiempo de 3 minutos a temperatura ambiente.
4. *Cortado:* La pechuga de pollo se corta en pequeños cubos de (2*2*2) cm tratando de que sean lo mas homogéneos posible.
5. *Mezclado:* Se mezcla los trozos de carne con los marinados previamente elaborados.
6. *Reposo:* Se deja reposar la carne con el marinado en refrigeración a una temperatura de 5°C durante un tiempo de 13 horas en recipientes cerrados herméticamente.
7. *Drenado:* Drenar el marinado sobrante de la carne mediante coladeras previamente desinfectadas.
8. *Envasado:* Se envasan 80g de carne y 10g de marinado en bolsas tipo pouch de alta barrera a una concentración de 80% N₂ – 20% CO₂ y 85% de N₂ – 10% CO₂ – 5% O₂.
9. *Almacenamiento:* Se almacenan las muestras durante 22 días a temperaturas de 0° y 5° C.

2.5 Métodos de medición

- **Medición del pH**

En la figura 12 se muestra el potenciómetro digital marca HANNA 213 empleado para la prueba, previo a la determinación se calibró el equipo con soluciones amortiguadoras de pH 7 y pH 4.

Para llevar a cabo la determinación se utilizó una pequeña muestra de cada bolsa a evaluar (cubo de 10-13g aproximadamente), la que se homogenizó con 15 ml de agua destilada, la muestra así obtenida se colocó en un vaso de precipitado y se introdujo el electrodo de vidrio del potenciómetro, obteniendo el registro de la determinación en la pantalla digital del potenciómetro. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.



Figura 12: Potenciómetro HANNA 213 utilizado en la obtención del pH de las diferentes muestras.

- **Medición del color**

a) Carne

La determinación de los parámetros de color en la pechuga de pollo marinada se realizó con un sistema de visión computarizada donde el valor de espacios $L^*a^*b^*$ pueden determinarse a partir de imágenes digitales, lo que es posible mediante el método de análisis de imagen. La caracterización de la cámara y fijación de las condiciones de observación se llevó a cabo para poder utilizar el dispositivo a modo de colorímetro. Por lo tanto, en base a pruebas empíricas, se determinó la cantidad de luz que se requería para obtener una imagen digital nítida y con poca incidencia de la luz.

El SVC consistió de los siguientes elementos

- Sistema de iluminación. Se ilumina la imagen con dos focos ahorradores de energía, de 40 W y de luz blanca; éstos se ubicaron en dos esquinas de una caja oscura, para decrecer el colorido aparente de los colores, en la cual se ubicó el objeto en estudio (pollo marinado) para poder obtener su imagen digital.
- Cámara digital. Se utilizó una cámara digital marca Nikon® modelo Coolpix S2500, la cual se colocaba, sobre un soporte (trípode), frente al objeto de estudio a una distancia de 15 cm. Se tomaron fotografías sin *zoom* ni *flash*, con una resolución de 2048 x 1536 pixeles y almacenadas en formato JPEG

- Diagrama de Bloques

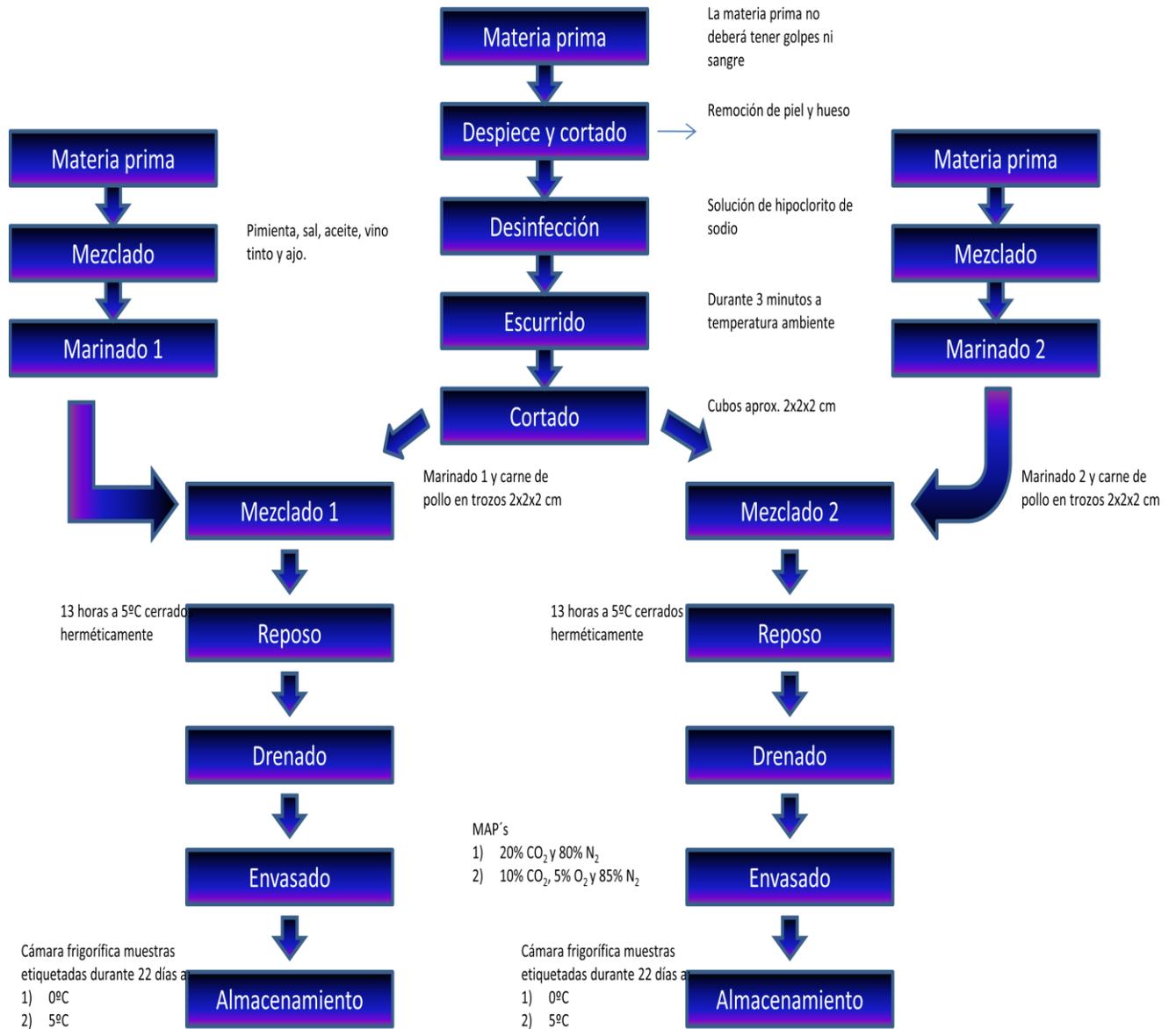


Figura 13: Diagrama de bloques para la elaboración de pechuga de pollo marinada envasada en atmósferas modificadas activas.

Con las fotografías obtenidas se llevó a cabo el análisis de imagen para la obtención de los parámetros L^* , a^* y b^* , utilizando un software Adobe® Photoshop® CS3 y con un tamaño de imagen de 239 * 142 píxeles.

b) Marinado

El marinado de las diferentes muestras se analizó antes, durante y después del almacenamiento refrigerado (22 días), en los días 6,11, 14,16, 20 y 22 respectivamente en un colorímetro marca Konica minolta® modelo CM-5 mostrado en la figura 15, la muestra de marinado se obtuvo de drenar el líquido de las muestras evaluadas (bolsas), posteriormente eran congeladas y transportadas a el Laboratorio 13 del departamento de Ciencia Básica ubicado en campo 1 para obtener los parámetros de L^* , a^* y b^* ; Los parámetros eran tomados de la pantalla digital del equipo.

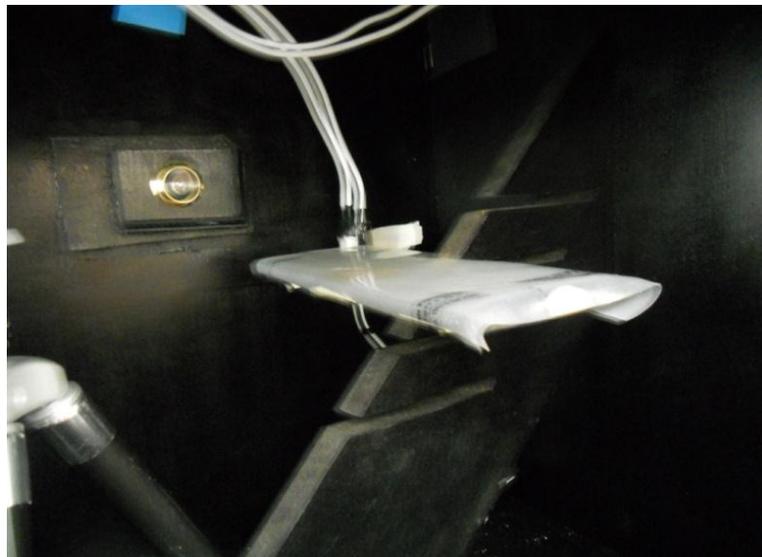


Figura 14: Parte interna y externa de la cámara de análisis de imagen utilizada para la obtención de los parámetros a^* , b^* y L^* para la pechuga de pollo marinada.



Figura 15: Colorímetro Konica minolta CM5 utilizado en la obtención de los parámetros L*, a* y b* de los drenados del marinado.

- **Medición de la capacidad de retención de agua (CRA)**

Esta determinación se llevó a cabo considerando el método de presión de papel filtro propuesto por Karmas y Turk, el cual consiste en colocar un papel Whattman del No. 2 en la parte superior e inferior de la muestra de carne, sometiéndola a una compresión mecánica entre dos placas depresivas. Como resultado de la presión mecánica a la carne, el agua liberada por ésta resulto absorbida por el papel filtro, apareciendo en el mismo un círculo mojado en torno a la película de la carne, posteriormente se registró el peso inicial y final del papel filtro y se obtuvo el porcentaje de agua drenada sustituyendo los valores en la ecuación 1.

$$\%agua\ drenada = \frac{(peso\ final - peso\ inicial)}{peso\ inicial} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$



Figura 16: Compresor mecánico con los trozos de papel filtro para la obtención del porcentaje de agua drenada deformación.

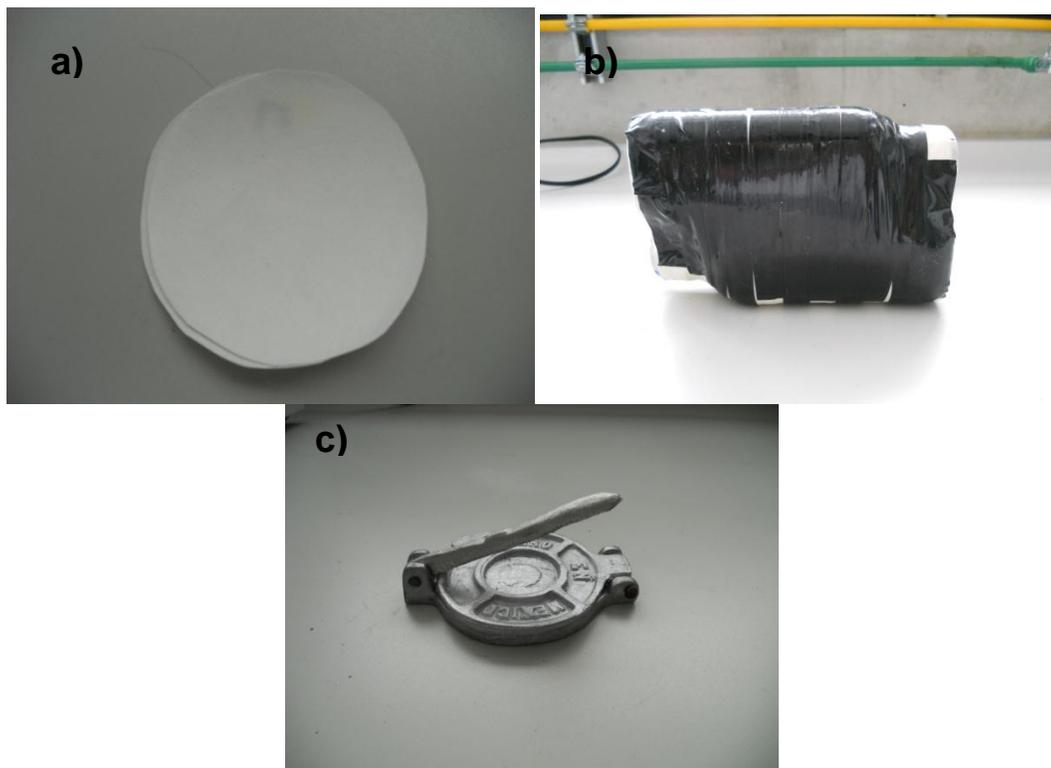


Figura 17: a) Círculos de papel filtro whatman del número 2 de 15cm de diámetro utilizados en las pruebas de terneza y CRA. b) Pesa de un kilogramo fuerza utilizada para la presión mecánica en las pruebas de terneza y CRA respectivamente. c) Compresor mecánico de placas utilizado para las pruebas de terneza y CRA.

- **Medición de la terneza (textura)**

Se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por (Fernández, 2007). El método consiste en someter la muestra a esfuerzos mecánicos. Se seleccionó un trozo de carne lo más homogéneo posible registrando su espesor y peso inicial, posteriormente se le aplicó una fuerza de un Kgf durante un tiempo de 10 s, registrando el espesor y peso final con un calibrador electrónico marca Scala®. Finalmente se obtuvo el % de deformación sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación 2.

$$\% \text{ de deformación} = \frac{\text{valor final} * 100}{\text{valor inicial}} \dots\dots\dots (2)$$

- **Medición de la concentración de gases en el espacio libre de cabeza**

Se monitoreó la concentración de gases al interior del envase utilizando un analizador oxígeno-dióxido de carbono marca Quantex Instruments® modelo 905. Para determinar la concentración (porcentaje) de gas se colocó una septa de poliestireno expandido sobre la superficie del envase para posteriormente perforar el envase con la jeringa acoplada al filtro particulado del analizador. Una vez introducida la jeringa se extrajo, a través de la celda, la muestra de gas, la cual pasaba por el tubo de muestreo y luego al sensor de oxígeno cuando se encendía la bomba. Se obtenía la lectura directa del porcentaje de O₂ y CO₂ después de un cierto tiempo en el cual se estabilizaba la lectura (10-12 segundos).

La obtención de la concentración de gases en espacio libre de cabeza se realizó a los días 6, 11, 14, 16, 20 y 22 respectivamente al igual que las demás pruebas.

2.6 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño factorial 2³ para establecer las diferencias estadísticamente significativas respecto a las variables independientes.

Para el establecimiento de diferencias de tratamientos se utilizaron además análisis de varianza y pruebas de comparación de media considerando un nivel de significancia de 0.05. Todas las corridas experimentales se realizaron al menos por triplicado. En la tabla 6 se muestran las diferentes variables y los niveles a evaluar por un software estadístico (MINITAB 14®).



Figura 18: Analizador de Oxígeno-Dióxido de carbono utilizado para la obtención de la concentración de gases dentro del envase.

Tabla 7: Variables y niveles de variación utilizados en el diseño estadístico (MINITAB 14[®]).

VARIABLE	NIVELES	
Marinado	Vino	Vinagre
Temperatura de Almacenamiento	0° C	5° C
Concentración de gases	20% CO ₂ / 80% N ₂	10% CO ₂ / 5% O ₂ / 85% N ₂

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Actividades preliminares

En la tabla 8, se muestra la caracterización inicial de la carne marinada, observándose que el mayor pH lo presentó la muestra marinada con vino, mientras que el marinado con vinagre como era de esperarse presenta un pH más ácido. En relación a los valores de L*, a* y b*, las muestras de pollo marinadas con vinagre tuvieron una mayor luminosidad inicial, debido a los ingredientes empleados en la formulación. Además el hecho de utilizar en la formulación amortiguadores contribuyó a estabilizar el sistema, siendo este comportamiento más eficiente cuando se emplea el marinado a base de vinagre, lo que contribuyó a una menor pérdida de textura del producto.

Tabla 8: Valores obtenidos del pollo sin almacenamiento y sin atmósferas modificadas.

	pH	Color del pollo			Color del marinado			Agua drenada (%)	Deformación (%)
		L*	a*	b*	L*	a*	b*		
Pollo marinado sin almacenamiento (vino)	5.77	L*	a*	b*	L*	a*	b*	49.19	26.86
		45	4	1	0.09	0.10	-0.34		
Pollo marinado sin almacenamiento (vinagre)	4.48	L*	a*	b*	L*	a*	b*	30.91	33.13
		50	5	38	0.57	1.98	0.41		

En la Tabla 9, se muestra el condensado de resultados correspondiente a las características del pollo marinado una vez transcurridos 23 días de almacenamiento, observándose que para ambos marinados se incrementó considerablemente el porcentaje de líquido drenado, mostrando que la mayor diferencia total de color la presentaron las muestras marinadas con vinagre (28.2) respecto a las muestras marinadas con vino (16.54), atribuible esto a las características del color propias del vino tinto empleado en las formulaciones. Sin embargo, la

menor variación de pH la mostraron las muestras marinadas con vinagre, mostrándose que este componente en conjunto con los amortiguadores utilizados tiene un mejor efecto en el control del pH.

Tabla 9: Valores obtenidos del pollo marinado con 22 días de almacenamiento a 5°C

	pH	Color del pollo			Color del marinado			% agua drenada
Pollo marinado almacenado 23 días a 5°C (vino)	5.48	L*	a*	b*	L*	a*	b*	80.23
		29	2	2	0.43	0.62	-13	
Pollo marinado almacenado 23 días a 5°C (vinagre)	4.49	L*	a*	b*	L*	a*	b*	71.45
		79	7	45	4.08	10.45	6.18	

En la tabla 10 se muestran los valores obtenidos durante la realización de los marinados esto con el propósito de evaluar el líquido que fue retenido por el pollo durante el marinado y si el marinado restante gana peso al llevarse consigo cierta cantidad de proteínas solubles. Observándose que la mayor absorción de líquido la mostraron las muestras marinadas con vinagre con una ganancia 7.5 % superior con respecto a las marinadas con vino

En las figuras 19 y 20 se observan los diferentes historiales térmicos obtenidos de la caracterización de la cámara de refrigeración utilizada para el almacenamiento de las muestras.

El valor promedio de temperatura se determinó utilizando el valor máximo al arranque del compresor y el valor mínimo al pare del mismo. Como ya se ha mencionado a lo largo del proyecto se tuvieron dos temperaturas 5°C y 0°C.

Tabla 10: Pesos iniciales y finales de los marinados.

	Peso de la carne antes de marinar (g)	Peso de la carne después de marinar (g)	Peso del marinado antes (g)	Peso del marinado después (drenado) (g)	Consumo de marinado (g)
Vino	5637	6155	4320	3789	540
Vinagre	5637	6654	3024	2280	744

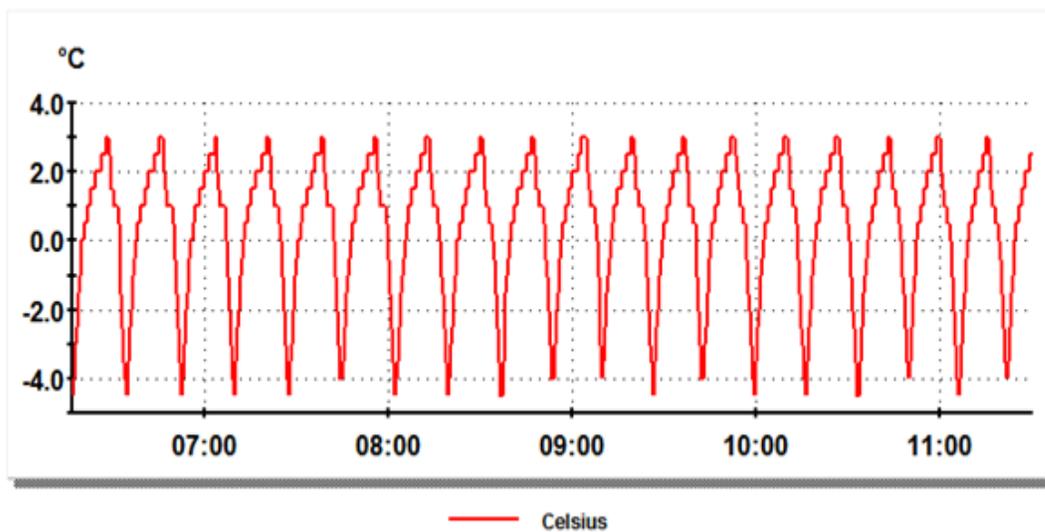


Figura 19: Historial térmico para el nivel 1 (0°C) de la cámara de refrigeración de almacenamiento.

Los historiales térmicos fueron obtenidos con las cámaras vacías y no con producto en su interior.

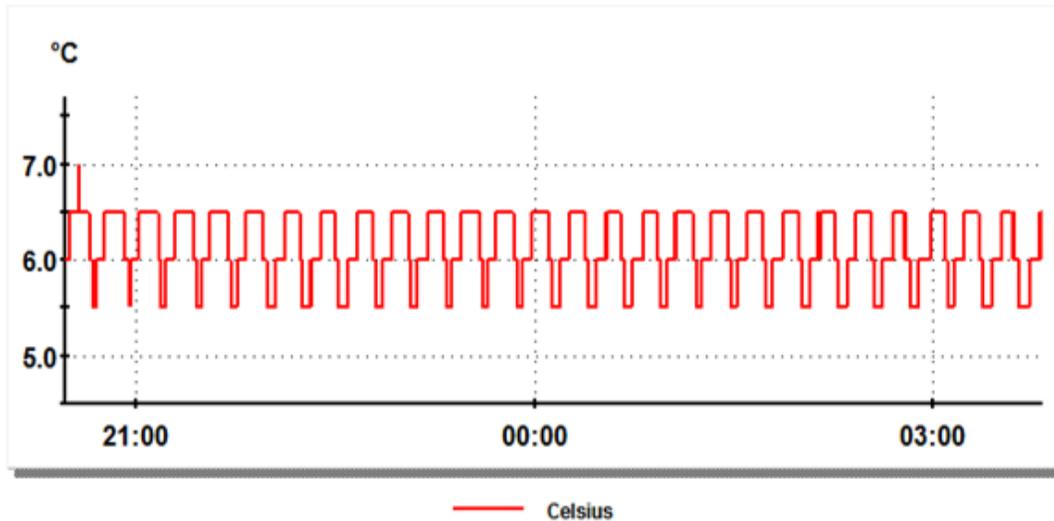


Figura 20: Historial térmico para el nivel 2 (5°C) de la cámara de refrigeración de almacenamiento.

3.2 Objetivo particular 1 y 2

En la Figura 21, se muestran las variaciones en pH, para las muestras con vinagre y vino tinto, almacenadas en refrigeración a 0 y 5°C y 10 y 20 % de CO₂, en esta gráfica se observa que las muestras tratadas con vinagre se equilibraron después de 5 días de almacenamiento con un pH promedio de 5.5, con ligeras variaciones durante los siguientes 11 días, mientras que las muestras tratadas con vino tinto tuvieron pH superiores a 5.7, sin embargo este permaneció constante prácticamente hasta los 16 días de almacenamiento, mostrando independencia de la concentración de gases. Se observa también que las muestras tanto de vino como de vinagre tuvieron una excesiva disminución en su pH a los 20 días de almacenamiento esto debido a la producción de ácido carbónico como resultado del uso de CO₂, disminuyendo el desarrollo de microorganismos como gram negativas pero favoreciendo el crecimiento de bacterias ácido lácticas.

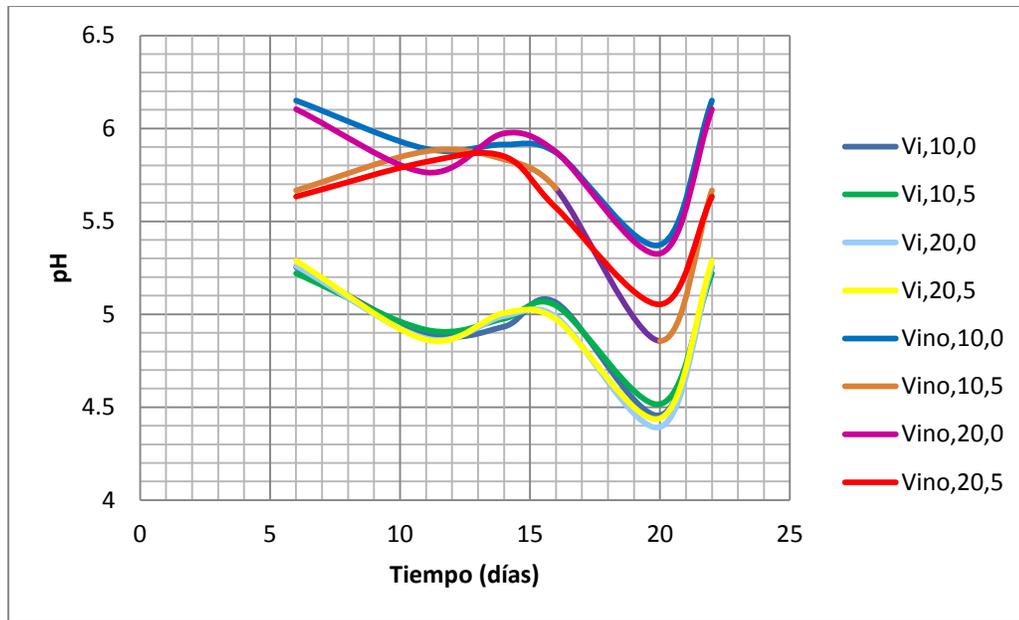


Figura 21: Cambios de pH durante el almacenamiento de pechuga de pollo marinada.

En la figura 22 En la Figura 22 se muestra el gráfico de interacciones correspondiente al comportamiento del pH durante el periodo de almacenamiento. De acuerdo a los valores obtenidos de p para el pH se demostró que la variable de mayor influencia en el parámetro fue el tipo de marinado resultando un valor de p de 0.000 al igual que la temperatura y el tiempo de almacenamiento. En la figura se observa la interacción y la influencia de las diferentes variables, se nota que, como se indico anteriormente el marinado y el tiempo de almacenamiento fueron los parámetros de mayor influencia afectando los resultados finales por encima de la concentración de gases.

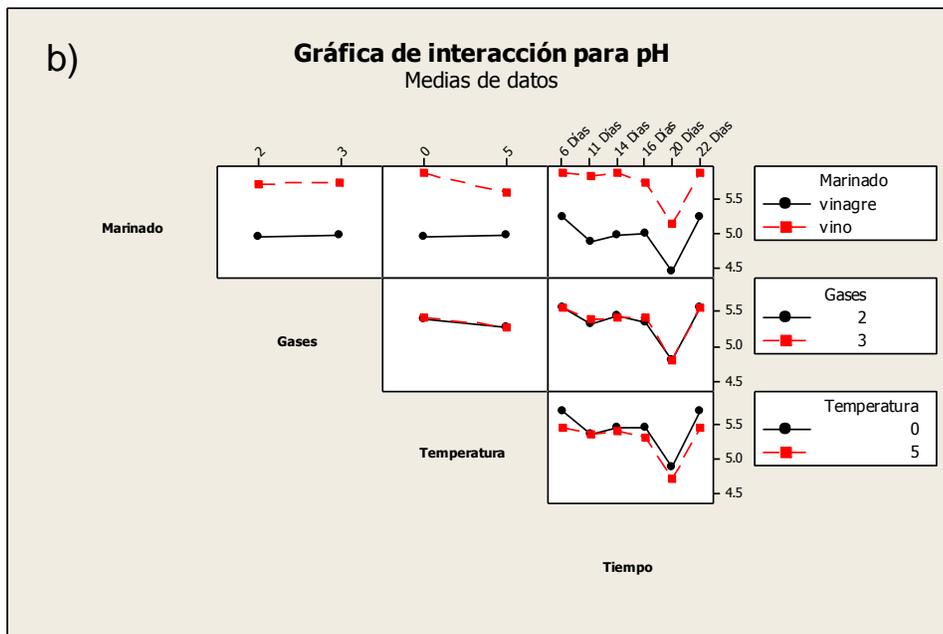
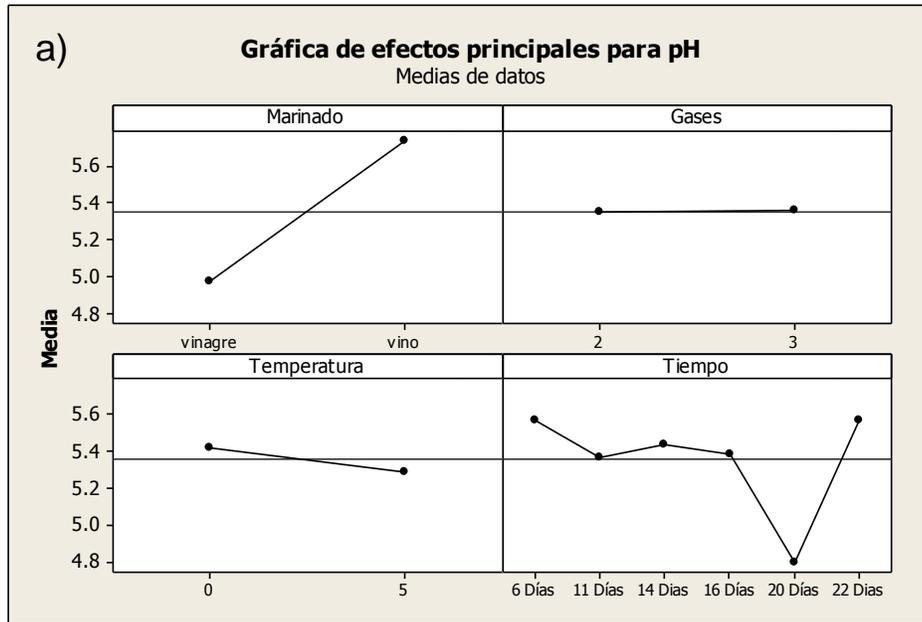


Figura 22: (a) Efectos principales para el pH en la carne de pollo, (b) Gráfica de interacciones principales en los valores de pH.

En la figura 23 se muestran los cambios en % de deformación, la mayor deformación la presentó la pechuga marinada con vinagre, alcanzando la máxima deformación a los aproximadamente 11 días de almacenamiento, atribuido este comportamiento al menor pH de las muestras con vinagre, lo que promovió la solubilización de la fracción proteica de la

pechuga de pollo, provocando la ruptura de las fibras musculares y por ende la disminución de la resistencia a la deformación debido al esfuerzo de compresión. En general la mayoría de las muestras tuvieron un porcentaje de deformación entre un rango de 15 y 20 % siendo al final las muestras a base de vinagre las de mayor deformación.

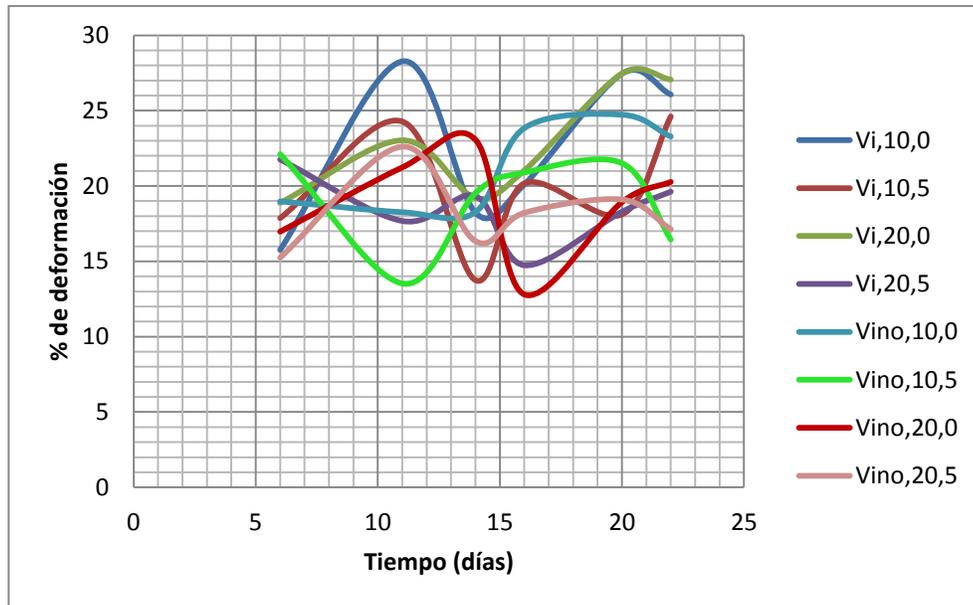
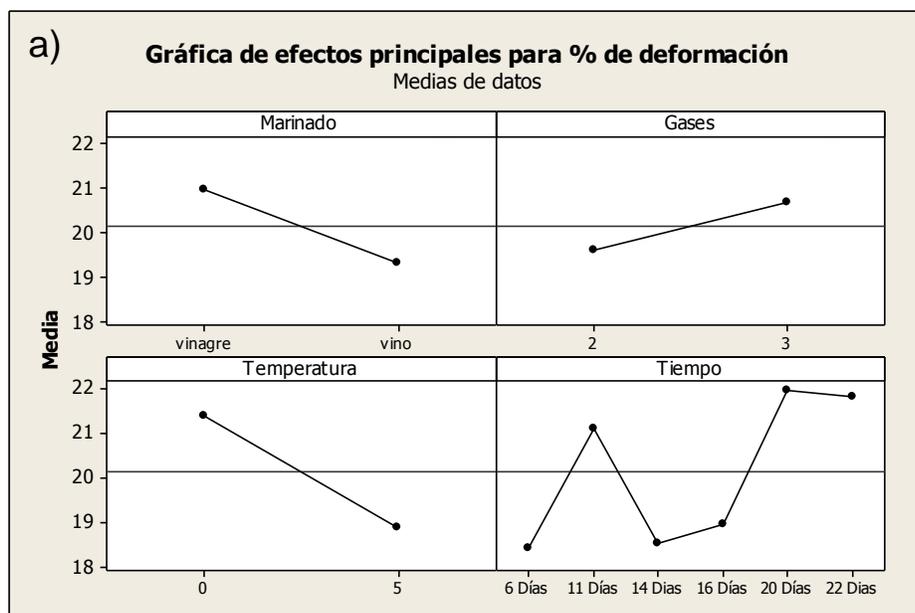


Figura 23: Porcentaje de deformación conforme al tiempo de almacenamiento.



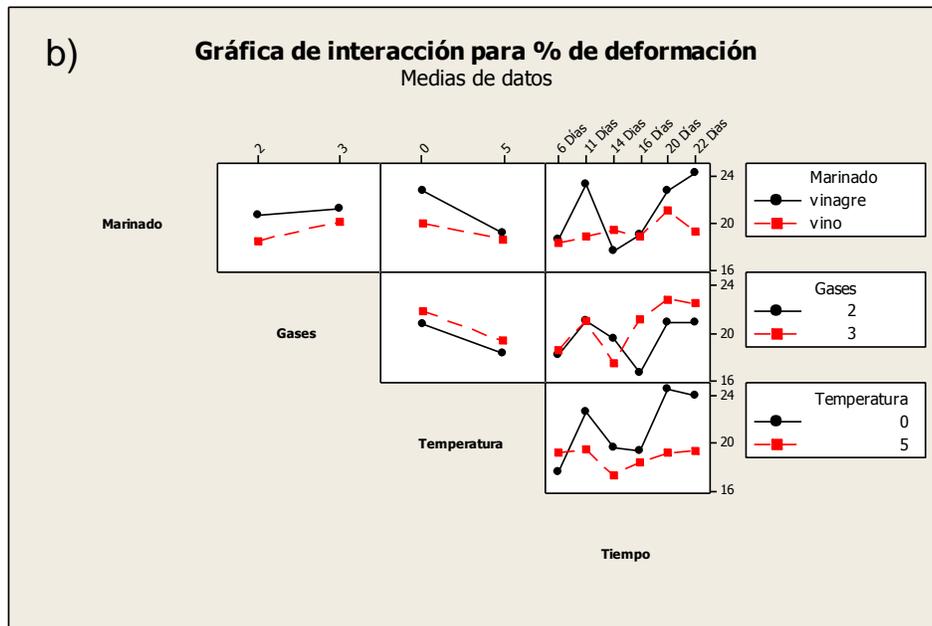


Figura 24: (a) Efectos principales sobre el porcentaje de deformación (b) Gráfica de la interacción de variables en el porcentaje de deformación.

La variable lineal de mayor influencia fue la temperatura de almacenamiento ($p= 0.06$), seguida por el tiempo de exposición o tiempo de almacenamiento y por último el tipo de marinado empleado, sin aparente influencia de la composición de los gases. Mientras que se observa una interacción entre las variables marinado, gas y tiempo de almacenamiento.

En la figura 25 se muestra los resultados del agua liberada con respecto al tiempo de almacenamiento. Se observa que la mayoría de las muestras siguieron un comportamiento parecido y constante respecto al tiempo de almacenamiento manteniendo un % de agua promedio de entre 40% y 60% a excepción de las muestras almacenadas con 2 gases (CO_2 y N_2) almacenadas a 0°C y 5°C marinadas con vino y/o vinagre. Se observa también que en general la mayor pérdida de agua fue durante el día 16 y 17 que fueron también, los días donde se empezó a presentar la mayor disminución del pH en los dos tipos de muestras, esto fue evidenciado en el comportamiento con respecto al pH mostrado en la Figura 21, atribuido a que hubo un incremento en la concentración de ácido carbónico que disminuyó el pH y provocó un encogimiento de la red de cadenas poli peptídicas que conlleva a una disminución de la capacidad de retención de agua.

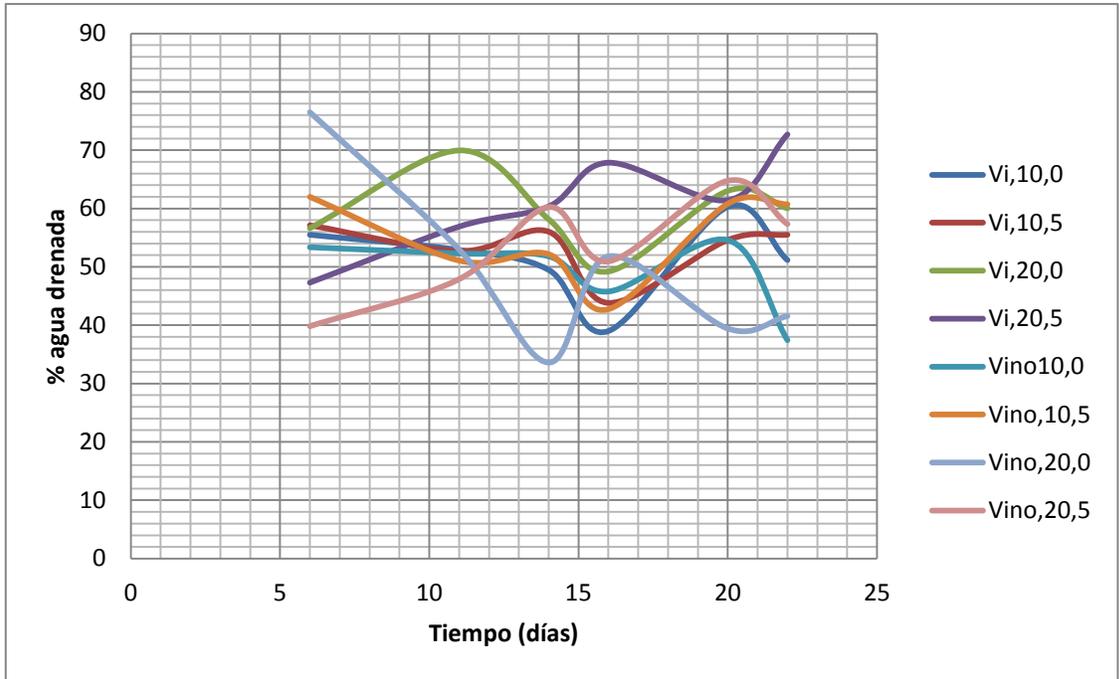
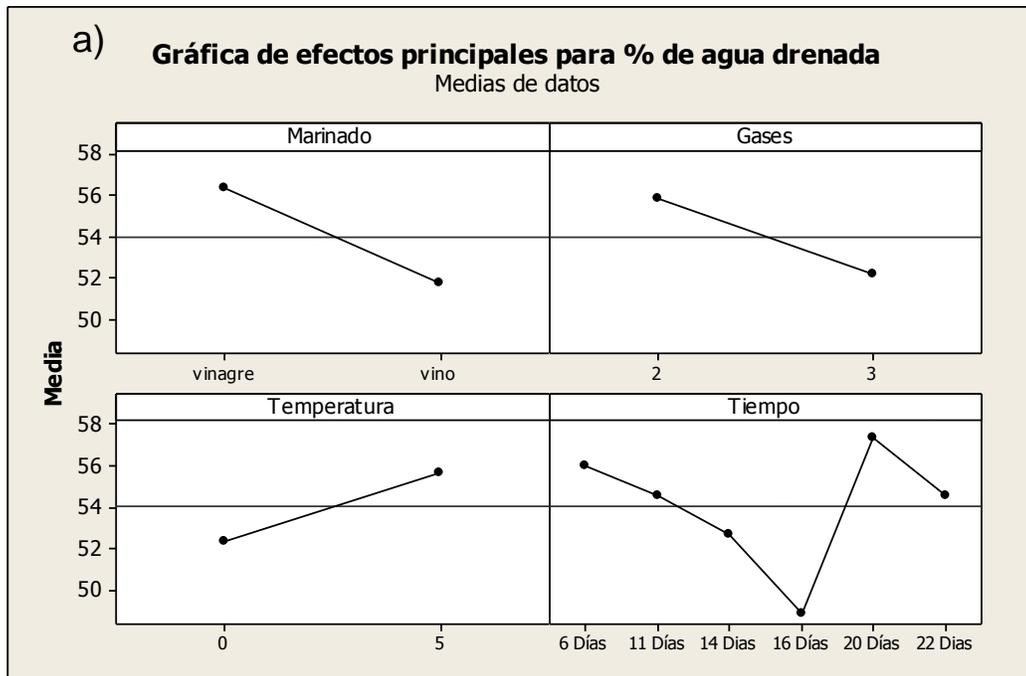


Figura 25: Cambios en el porcentaje de agua drenada con respecto al tiempo de almacenamiento (5°C y 10°C) de las muestras de pechuga de pollo marinadas.



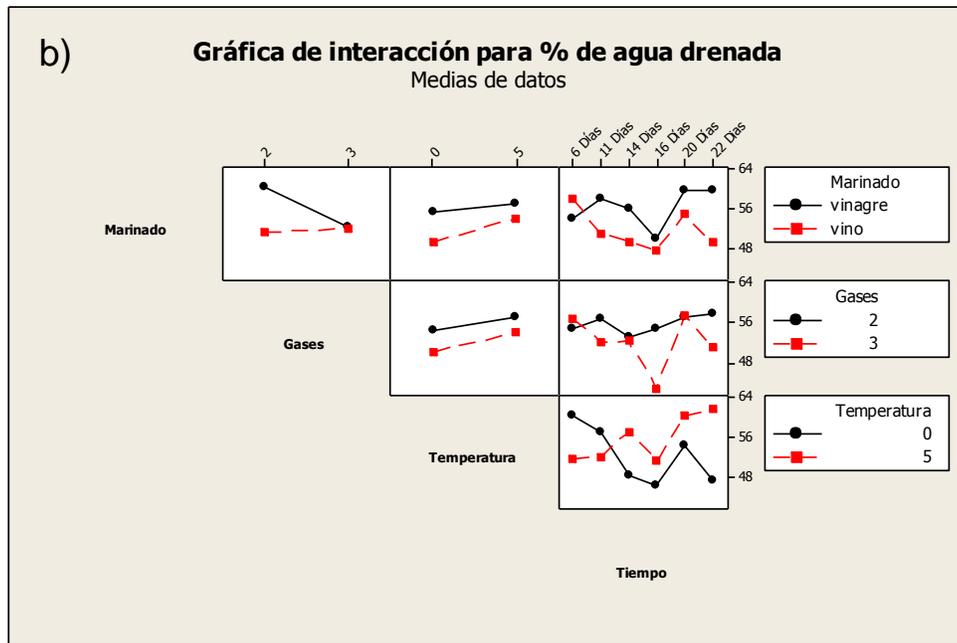


Figura 26: (a) Efectos principales sobre el porcentaje de agua drenada. (b) Interacción de variables sobre el porcentaje de agua drenada.

El porcentaje de agua drenada fue afectado principalmente por el tipo de marinado y la concentración de gases así como la interacción entre estos, obteniendo valores de p muy cercanos a 0 siendo estas las variables lineales de mayor influencia durante el proceso. En la figura se observa como la variable de menor influencia es el tiempo.

3.3 Objetivo particular 3

En la figura 27 se muestra la variación en la concentración de O_2 de la atmósfera alrededor del producto (envase) respecto al tiempo de almacenamiento y se observa que las muestras almacenadas con dos gases (N_2 y CO_2) mantuvieron valores constantes durante el almacenamiento estando en un rango de 0.5 y 1.5 %, este pequeño porcentaje posiblemente se debió a que no hubo una remoción total del aire dentro del envase a la hora del vacío para la inyección de la mezcla. Las muestras que se envasaron con una mezcla de tres gases (CO_2 - N_2 y O_2) presentaron valores constantes durante su almacenamiento al igual que las envasadas con dos gases estando en valores entre 5.0 y 6.0 a excepción de la muestra de vino almacenada a $5^\circ C$ la cual tuvo un exceso de CO_2 durante los últimos 5 días esto pudo haber sido causado por un mal manejo de la muestra durante su envasado o bien por la proliferación

de bacterias ácido lácticas que al no estar bajo una temperatura de almacenamiento tan baja se permitió su reproducción, fermentando los azúcares presentes en el vino, generando con esto una excesiva producción de CO₂ resultando en una disminución casi total del oxígeno inicial de la muestra.

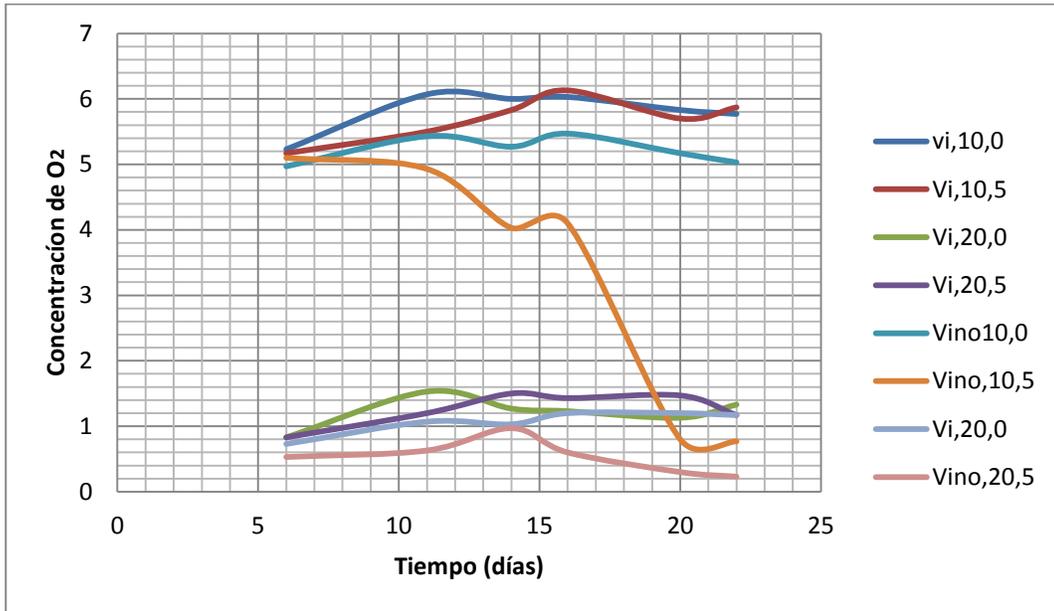
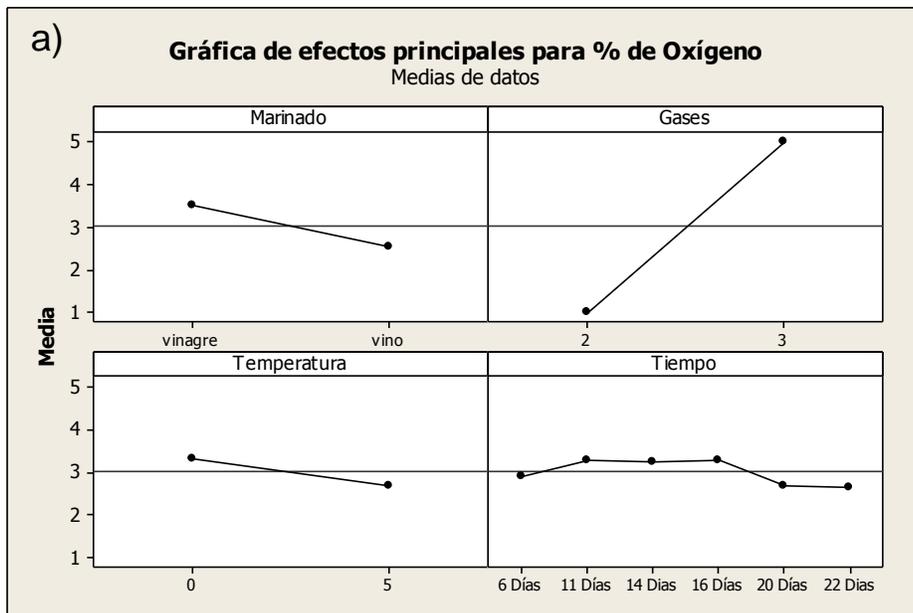


Figura 27: Variación en la concentración de O₂ en las muestras de pechuga marinada en función al tiempo de almacenamiento.



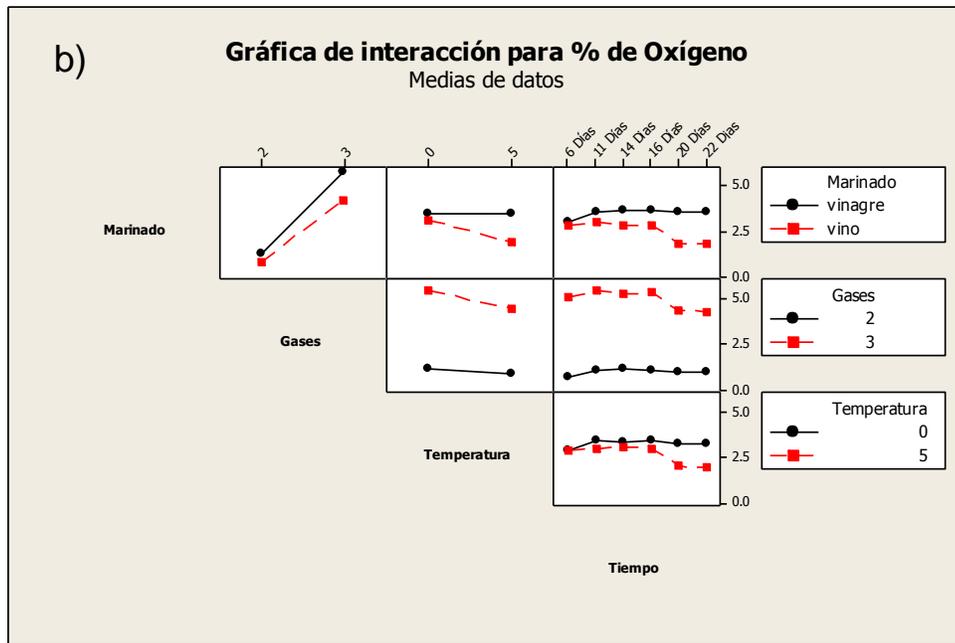


Figura 28: (a) Efectos principales sobre el porcentaje de oxígeno. (b) Interacción de las variables sobre el porcentaje de oxígeno.

Los resultados obtenidos sobre el porcentaje de oxígeno fueron afectados por todas las variables planteadas y la interacción de estas, al realizar el estudio estadístico se obtuvieron valores de p de 0.000 en el efecto causado de las variables, en la figura se puede observar la diferencia tan marcada que existe de las variables y la influencia que tuvieron sobre los resultados.

En la figura 29 se presentan los cambios en la concentración de CO_2 obtenidas durante el almacenamiento de las muestras, en la gráfica comparativa concentración de CO_2 vs tiempo se observa que las muestras que tuvieron una concentración inicial de 20% mantuvieron concentraciones constantes de principio a fin que oscilaron en un rango de 22% a 16% este decremento se debió a la disolución del CO_2 en el agua del producto, disminuyendo su concentración dentro del envase, mientras que las muestras envasadas con una concentración inicial de 10% tuvieron valores de entre 12% y 7%. Se observa que dos muestras tuvieron una alta concentración en CO_2 al final del almacenamiento las cuales fueron las almacenadas a 5°C tanto de vino como de vinagre, debido muy probablemente a la proliferación bacteriana, las cuales al aprovechar los azúcares disponibles generaron una elevada producción de CO_2 , produciendo esos saltos en la gráfica, además de una presentación desagradable del producto.

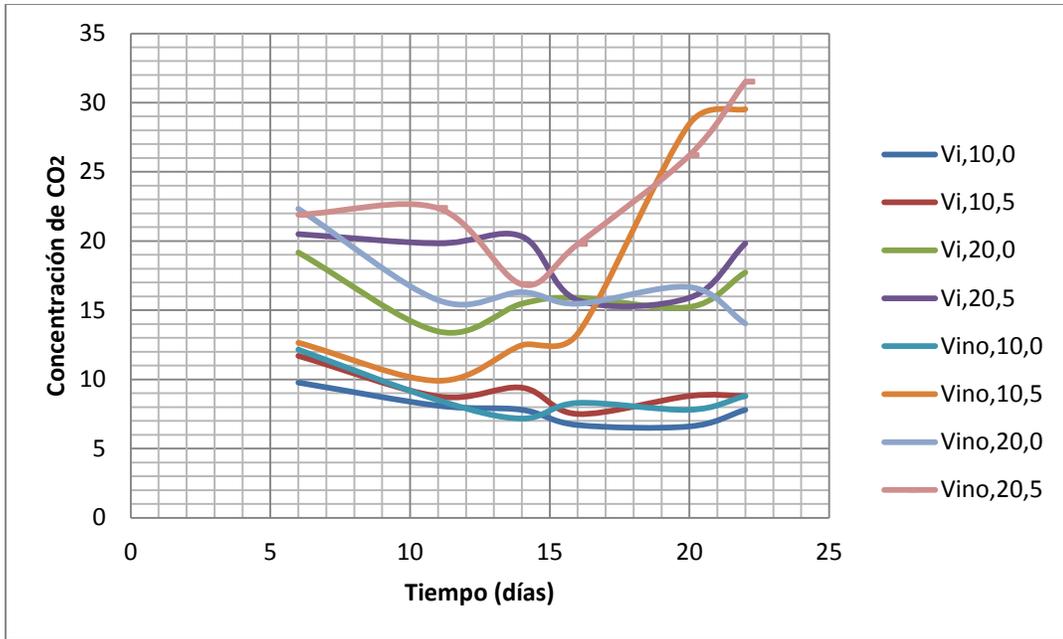
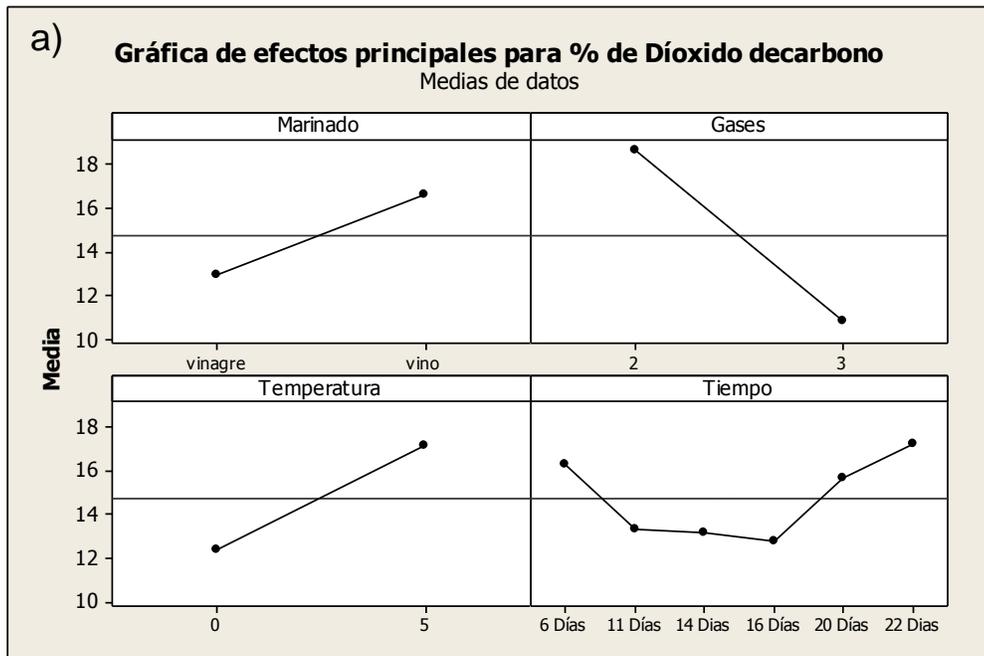


Figura 29: Variación en la concentración de CO₂ en función al tiempo de almacenamiento de las muestras de pechuga de pollo.



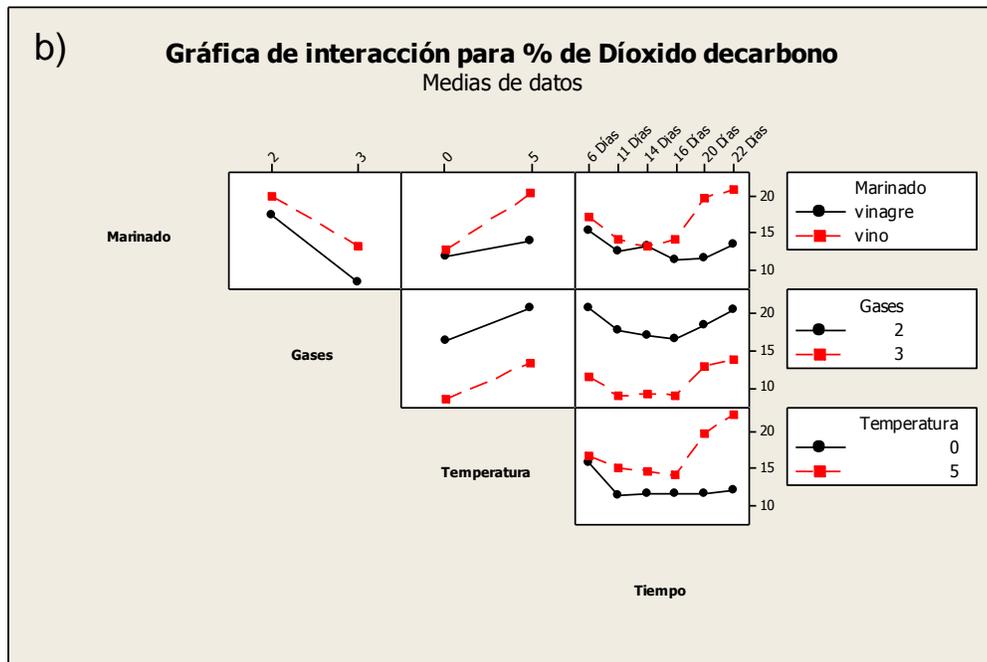


Figura 30: (a) Efectos principales de las variables sobre el porcentaje de dióxido de carbono. (b) Gráfica de interacción de variables sobre la concentración de dióxido de carbono.

La presencia y concentración de dióxido de carbono dentro de la atmósfera se vio afectada principalmente por el efecto de las variables en separado y no por la interacción de estas, como se observa en la figura todas las variables tuvieron una influencia significativa en el proceso obteniendo valores de p de 0.000. La interacción de las tres variables principales (marinado, temperatura y tiempo) fue la que presentó mayor impacto en el proceso, mientras que la interacción provocada entre el tipo de atmósfera inicial y la temperatura fue la de menor relevancia en los datos estadísticos.

En la figura 31 se observan los valores de L^* (luminosidad) para las muestras de pollo envasadas y almacenadas durante un periodo de 22 días. Se observa que los valores de L^* para las muestras de pollo marinadas con vinagre obtuvieron valores más altos, es decir, que estas muestras presentaron más tonalidades blancas (brillantez) respecto a los marinados con vino tinto, esto a causa de diferentes razones tales como la naturaleza de los ingredientes, la variación de pH y el mismo tiempo de almacenamiento. En promedio las muestras presentaron valores entre 60 y 80 sobre la escala de Hunter lab mientras que las muestras marinadas con vino tuvieron valores en un rango de 30 a 60.

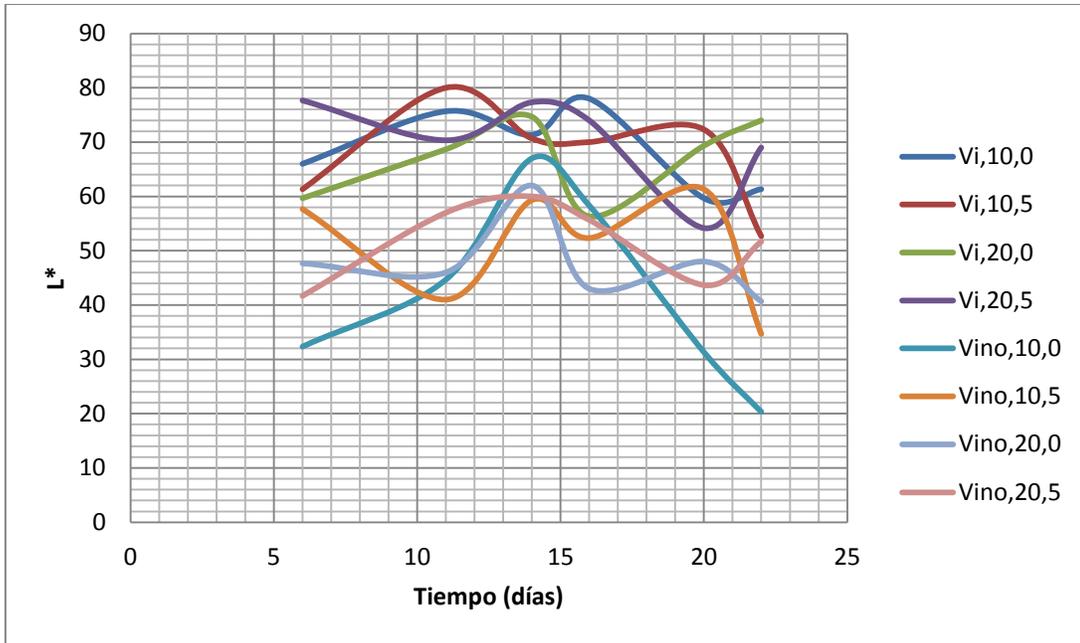
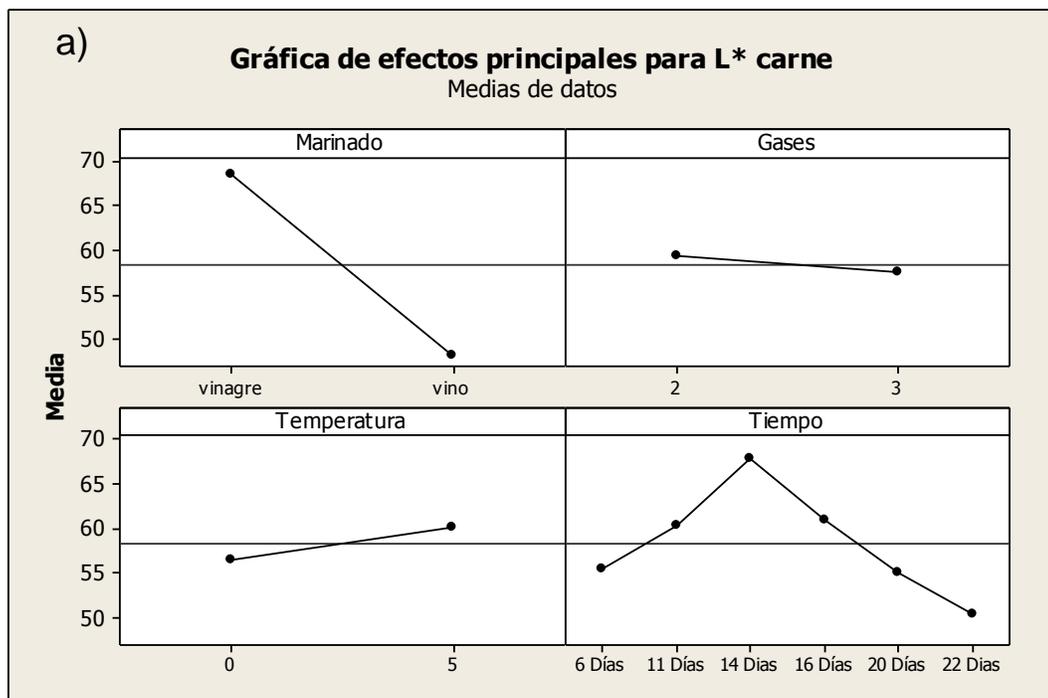


Figura 31: Valores de L* para las muestras de pollo respecto al almacenamiento.



positivos para los dos tipos de muestras, los valores no fueron altos, manteniéndose en un margen de 1 a 11.

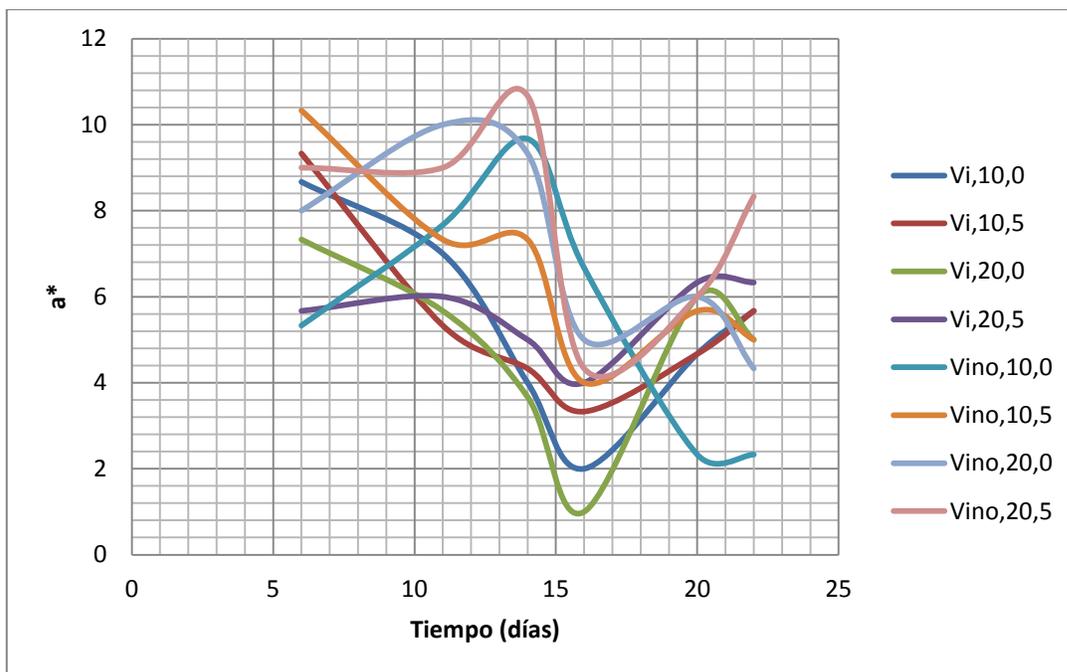
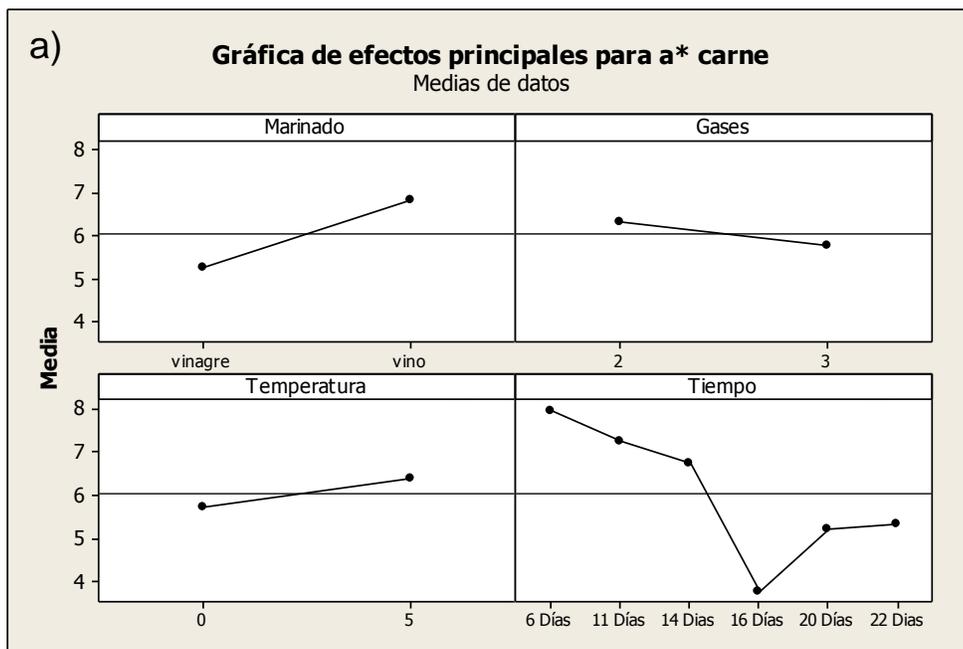


Figura 33: Valores de a* de la pechuga de pollo respecto al tiempo de almacenamiento.



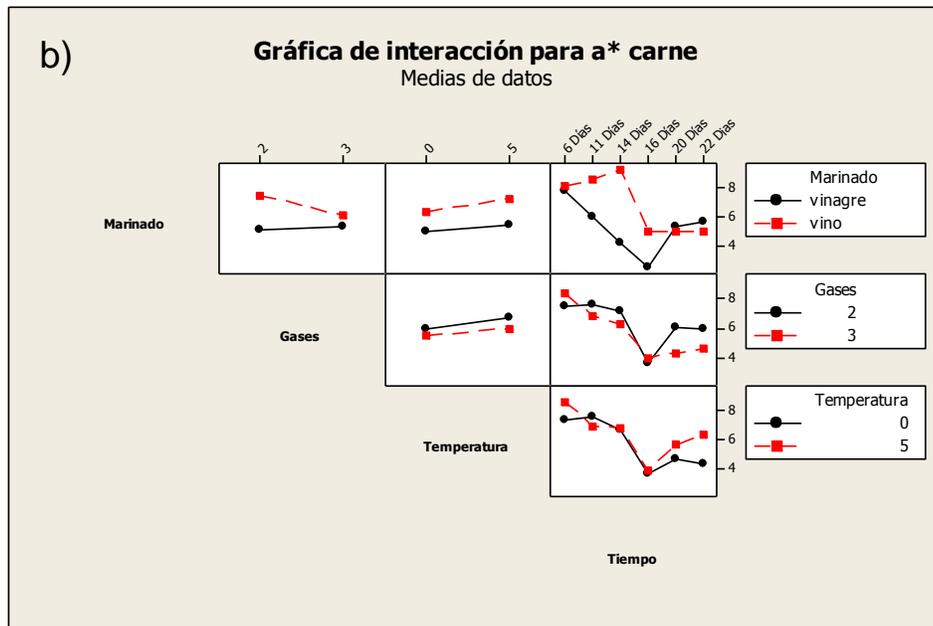


Figura 34: (a) Efectos principales de las variables sobre el parámetro a* en la carne. (b) Gráfica de la interacción de variables sobre el parámetro a* en la carne.

El mayor efecto causado sobre el parámetro a* al igual que con el parámetro L* fue el producido por el tiempo de almacenamiento y el tipo de marinado empleado así como la interacción de estos, como se muestra en la figura estas dos variables fueron las de mayor influencia en el proceso provocando grandes cambios en el color y en los parámetros evaluados teniendo valores de p de 0.000, mientras que la temperatura y el tipo de atmósfera empleado no tuvieron gran efecto en color viéndose reflejado esto en valores de p de 0.121 en adelante.

La figura 35 muestra los datos obtenidos de los parámetros b* (eje azul-amarillo) para las muestras de pechuga de pollo marinadas y almacenadas durante 22 días. Se manifiesta muy claramente que las muestras marinadas con vinagre presentaron valores más altos (casi el doble) con respecto a los valores obtenidos para las muestras marinadas con vino y esto nos representa la cantidad de cuadrantes azules (escala hunter lab) presentes en la muestra. Esto es atribuible como ya se menciona anteriormente a la diferente naturaleza de los ingredientes o bien a la posición de captura de la imagen.

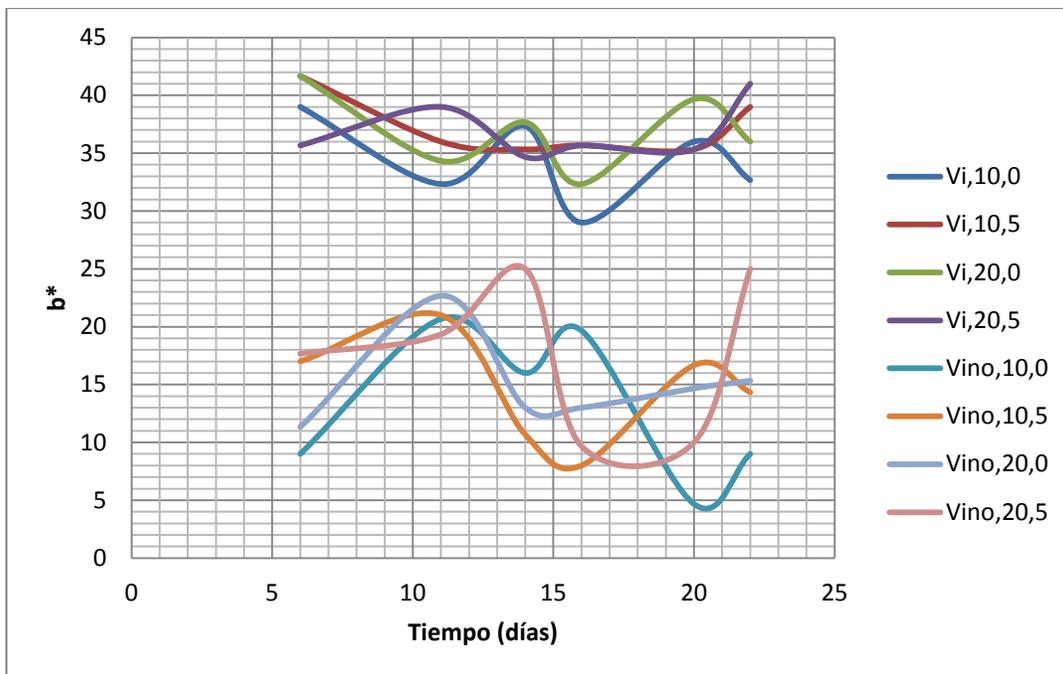
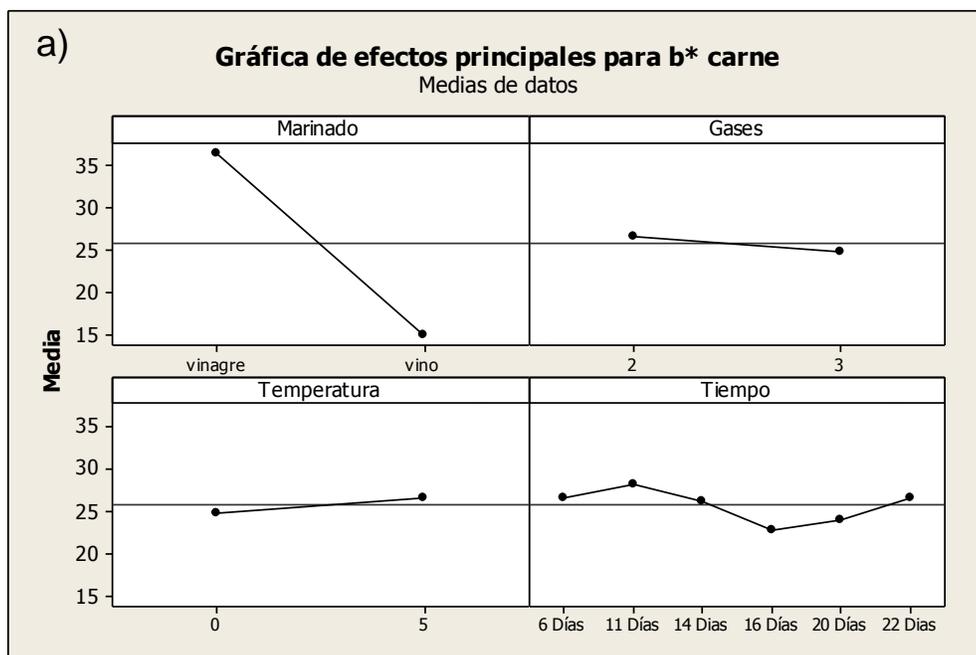


Figura 35: Valores de b^* de la pechuga de pollo respecto al tiempo de almacenamiento.



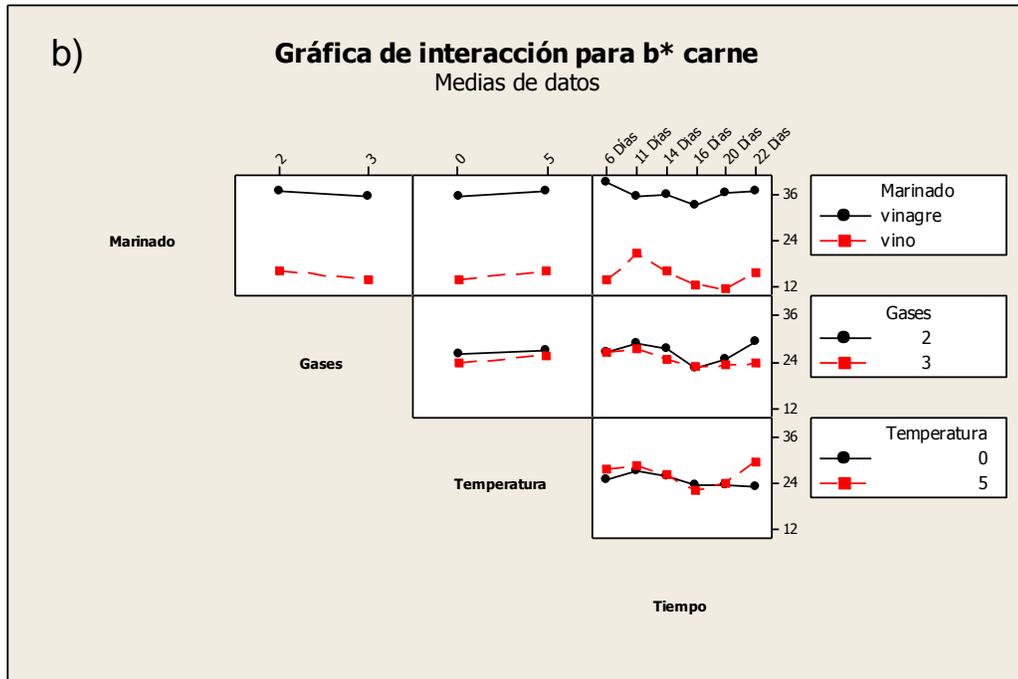


Figura 36: (a) Efectos principales de las variables sobre el parámetro b^* en la carne. (b) Gráfica de interacción de las variables sobre el parámetro b^* en la carne.

Los valores obtenidos para b^* fueron muy parecidos a los obtenidos para a^* al igual que en esta las variables de mayor influencia durante el proceso fueron el tiempo de almacenamiento y el tipo de marinado empleado y la interacción entre estos como ya se menciono anteriormente esto en gran parte a la naturaleza de los ingredientes empleados en la elaboración de estos.

La figura 37 muestra los diferentes valores obtenidos del parámetro L^* (luminosidad) para los marinados obtenidos de las muestras. Se manifiesta claramente que los marinados obtenidos de las muestras con vinagre al igual que la carne presentaron valores por encima de los obtenidos para los marinados de las muestras con vino, teniendo un comportamiento en general ascendente conforme el transcurso del tiempo. Se observa también que los marinados obtenidos de muestras de vino presentaron valores muy cercanos a 0 lo que nos indica un líquido altamente oscuro y casi nulo de brillantez generando una imagen poco agradable al consumidor, esto se debió en gran parte a la naturaleza de los ingredientes que conformaron el marinado así como a la posible precipitación de proteínas de parte del pollo hacia el marinado.

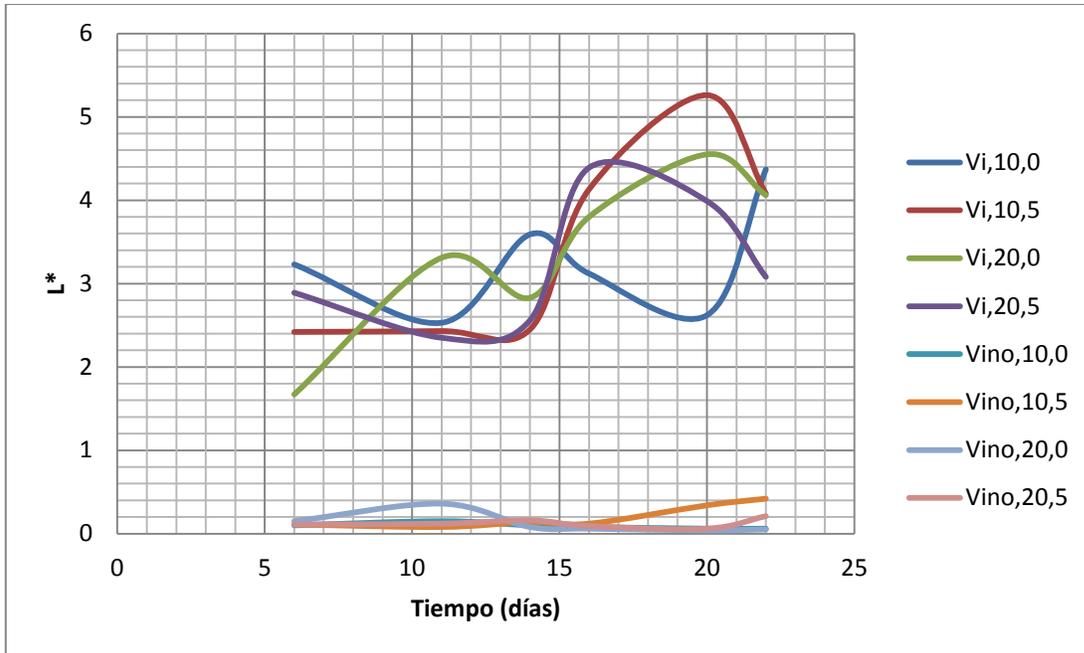
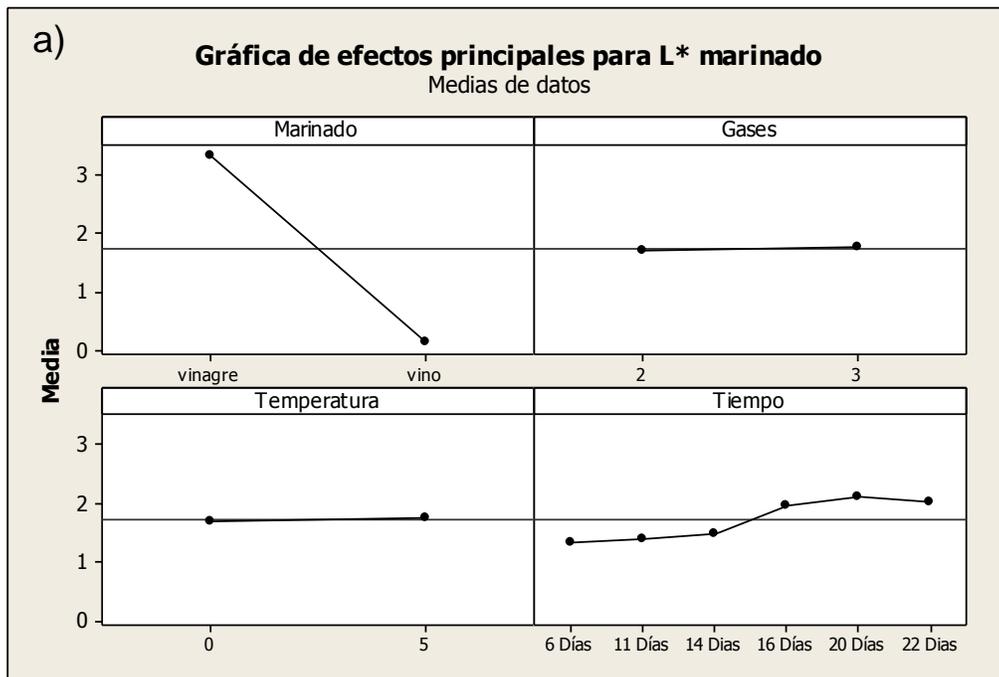


Figura 37: Valores de L* de los marinados respecto al tiempo de almacenamiento.



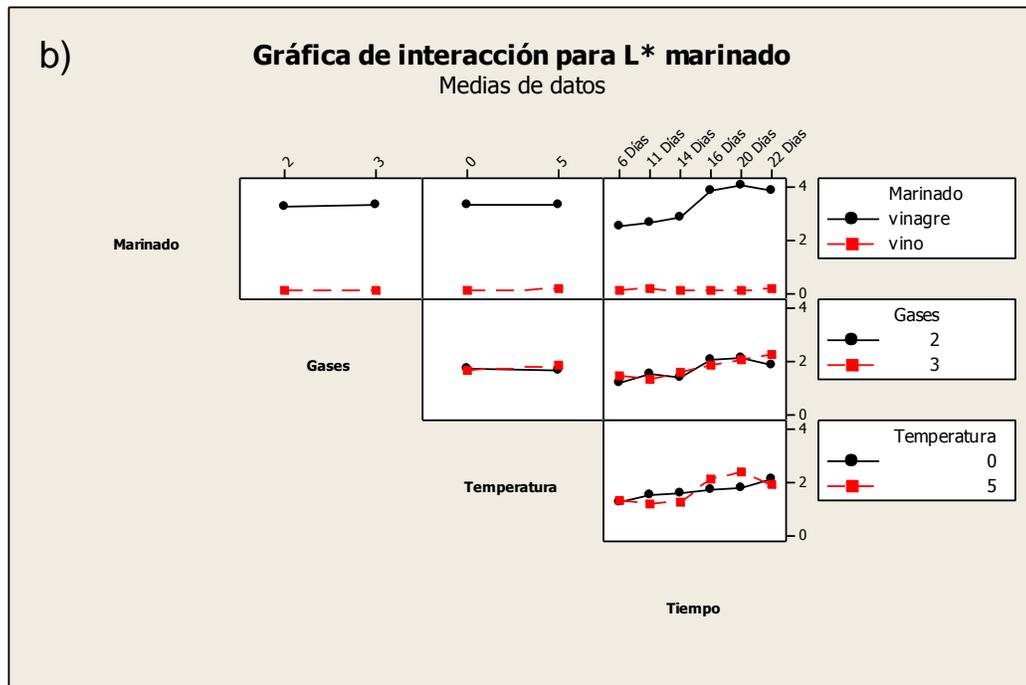


Figura 38: (a) Efectos principales de las variables sobre el parámetro L* en los marinados. (b) Gráfica de interacción para el parámetro L* en los marinados.

El parámetro L* en el marinado se vio afectado por todas las variables, estadísticamente se presentaron valores de 0.000 y la influencia que tuvieron sobre los resultados fue bastante alta tanto por separado como en conjunto generando un sinergismo que afectó durante todo el proceso.

Los valores de a* del marinado obtenidos durante un almacenamiento de 22 días se observan en la figura 39. Se observa que los marinados de vinagre obtuvieron valores mucho más altos que los de vino presentando resultados que oscilaron entre los 5 y 11, mientras que los marinados de vino su máximo valor fue de 1. Al igual que con la brillantez (L*) esto se debió en gran parte a la naturaleza de los ingredientes empleados para la realización del marinado, una diferencia importante a resaltar es que los valores fueron contrarios a los obtenidos en la carne esto se atribuye a diferentes factores como a la posible desnaturalización que hubo de proteínas conforme al tiempo, la variación de temperaturas de almacenamiento o bien a la posible liberación de compuestos grasos de la carne hacia el marinado que con el tiempo modificaron el color inicial generando más tonos verdes-rojos que en la carne misma. Otro factor importante a mencionar es que el análisis de color de los marinados se realizó mediante

el uso de un espectrofotómetro a diferencia del de la carne que se realizó con ayuda de un programa computacional.

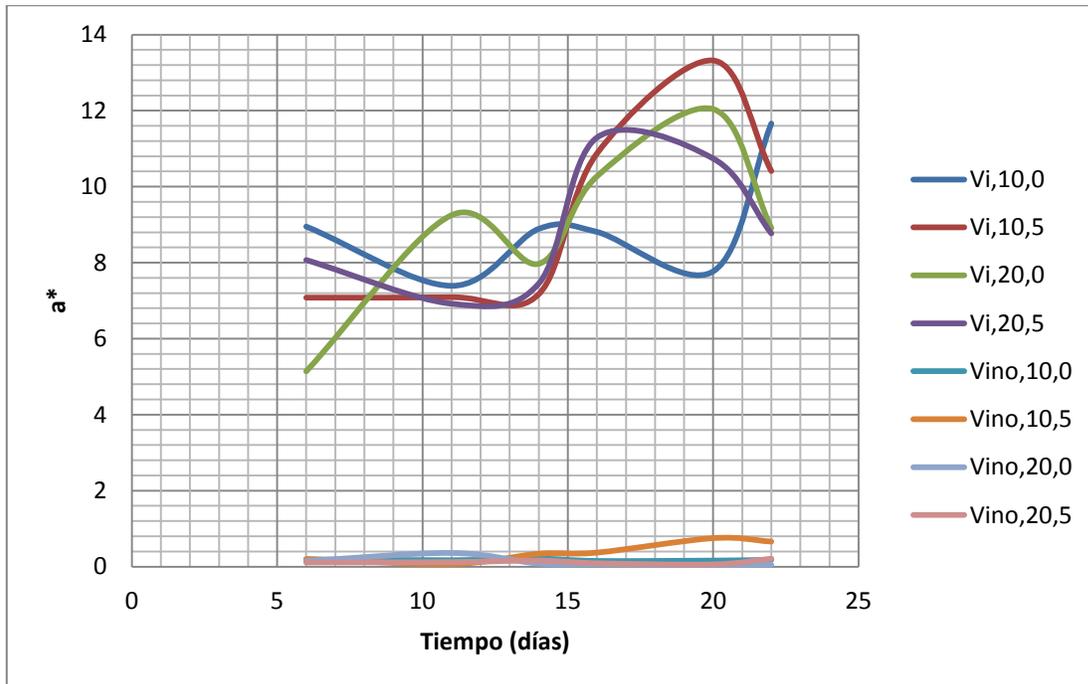
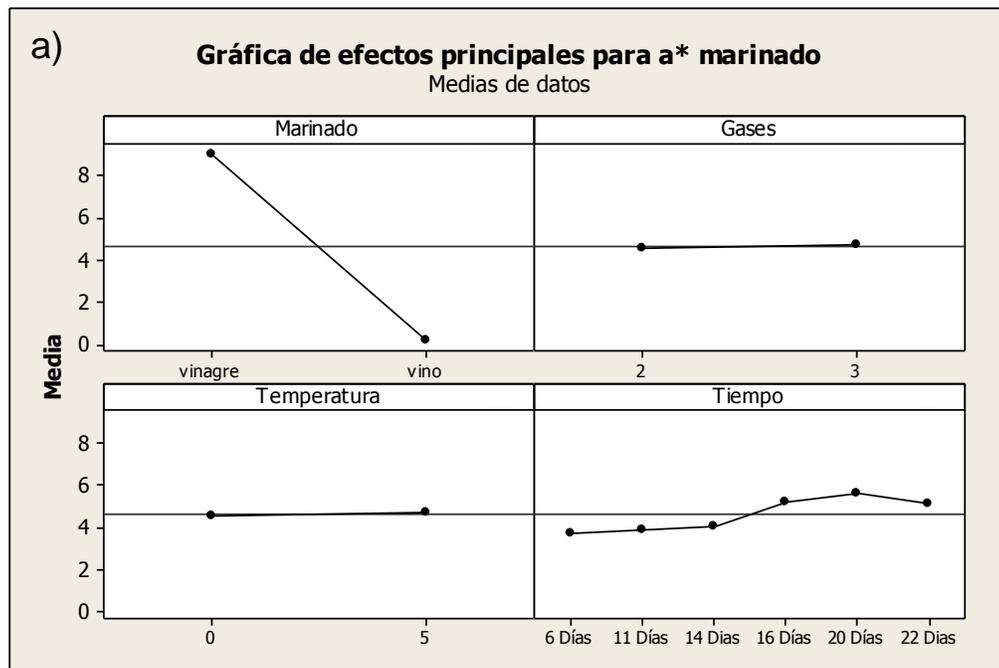


Figura 39: Valores de a^* de los marinados de las muestras respecto al tiempo de almacenamiento.



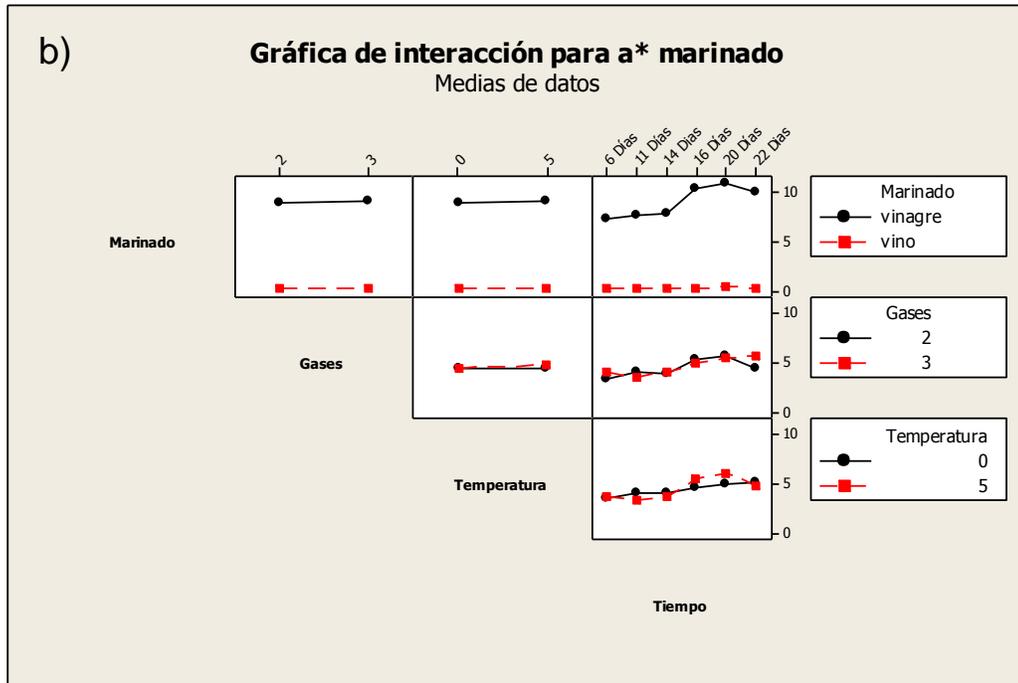


Figura 40: (a) Efectos principales de las variables sobre el parámetro a^* en el marinado. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el parámetro a^* en el marinado.

El parámetro de a^* en el marinado se vio afectado principalmente por el tipo de marinado pero al igual que con el parámetro L^* la influencia que tuvieron las variable sobre los resultados finales fue demasiado alta provocando que los resultados estadísticos se vieran afectados en gran medida, obteniendo valores de p de 0.000, se observa en la figura 40 las principales interacciones que se tuvieron entre la temperatura y la concentración de gases y la concentración de gases con el tiempo de almacenamiento.

En la siguiente figura 41 se muestran los valores obtenidos de b^* de los diferentes marinados con respecto al tiempo de almacenamiento, estos al igual que los valores de a^* y L^* fueron obtenidos mediante un espectrofotómetro, se encuentra que los marinados con vinagre obtuvieron valores mas altos que los de vino, esto nos indica que hubo una mayor presencia de tonos azules que amarillos en las muestras de vinagre y esto en gran parte se atribuye a la modificación que se dio durante el almacenamiento gracias a los diferentes factores que rodearon la muestra, observamos que los valores fueron aumentaron conforme transcurrió el tiempo y este aumento fue progresivo. Al igual que en los otros parámetros podemos atribuir estos cambios a las diferentes interacciones que se dieron entre los ingredientes del marinado y las proteínas de la carne, así como a la posible proliferación de microorganismos que se haya

tenido debido a un mal manejo de la muestra ya que como se observo en las graficas de pH hubo un momento en el que las muestras alcanzaron valores de pH muy bajos debido a la alta proliferación que hubo de bacterias ácido lácticas generando un consumo de los carbohidratos presentes en las muestras que a su vez produjeron un efecto reversible en el color inicial del marinado y la carne.

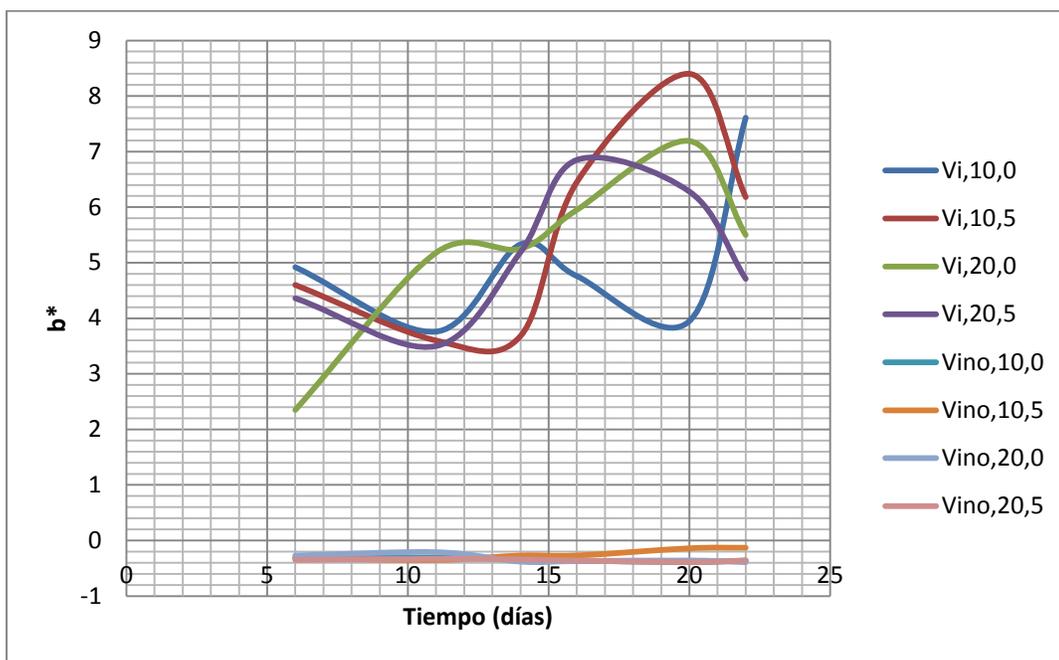
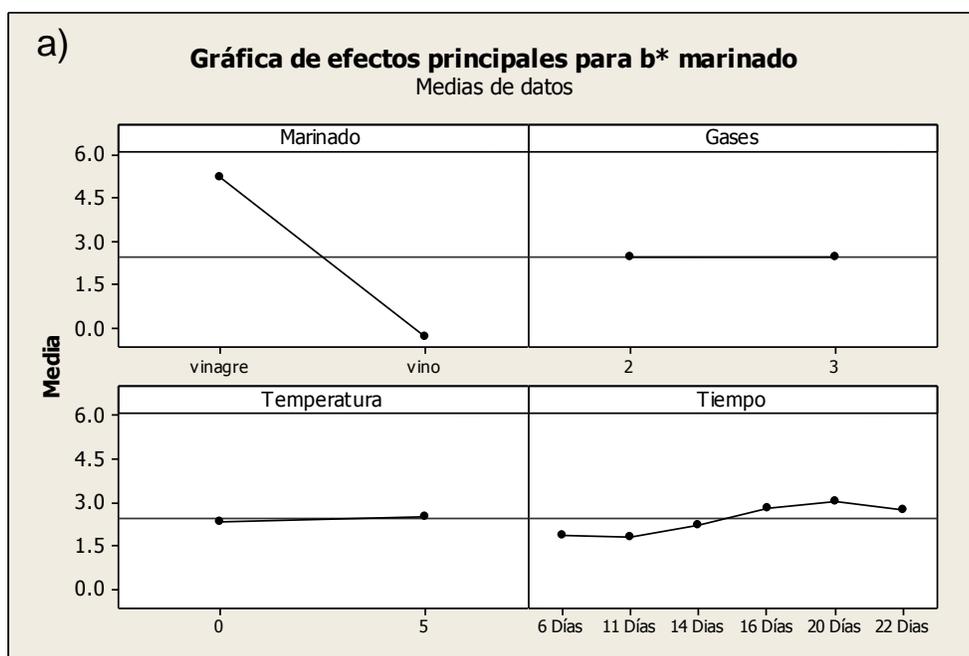


Figura 41: Valores obtenidos de b^* de los marinados respecto al tiempo de almacenamiento.



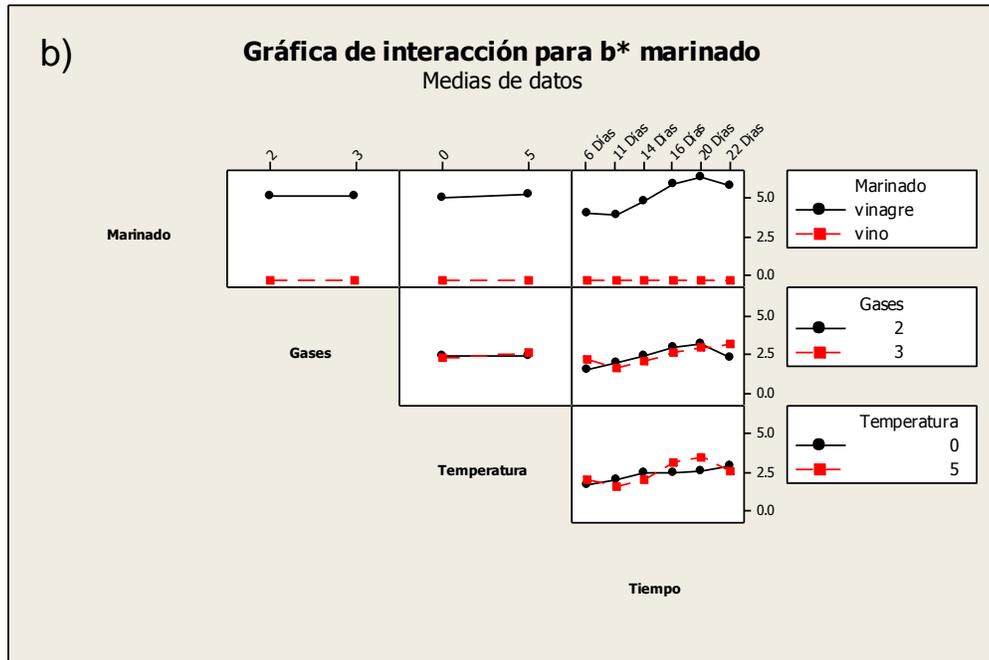


Figura 42: (a) Efectos principales de las variables sobre el parámetro b^* en el marinado. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el parámetro b^* del marinado.

A diferencia de las variables anteriores el parámetro b^* se vio afectado principalmente por dos factores solamente, el tiempo de almacenamiento y el tipo de marinado como se observa en la figura estas dos variables fueron las de mayor peso en los resultados finales generando grandes cambios en el producto. Se observa que las mayores interacciones se tuvieron entre el tiempo y el tipo de atmósfera inicial en el envase así como la generada entre el tiempo de almacenamiento y la temperatura.

La figura 43 muestra un comparativo entre los drenados obtenidos de las diferentes muestras con respecto al tiempo, se observa que la cantidad de drenado en las muestras marinadas con vinagre fue aumentando a diferencia de las muestras de vino donde la cantidad de drenado se fue disminuyendo, este punto está íntimamente ligado con la CRA (capacidad de retención de agua) que mostraron las diferentes muestras demostrando que las muestras marinadas con vinagre tendieron a la pérdida de agua conforme paso el tiempo migrando esta del interior de las redes peptídicas hacia el marinado. Contrario a esto las muestras marinadas con vino no se deshidrataron durante el almacenamiento, otro factor a influir fue la temperatura, como se observó en la gráfica anterior en relación con el porcentaje de agua drenada se manifiesta que

las muestras almacenadas a una temperatura de 0°C tuvieron un mayor porcentaje de agua retenida que las que se mantuvieron a 5°C.

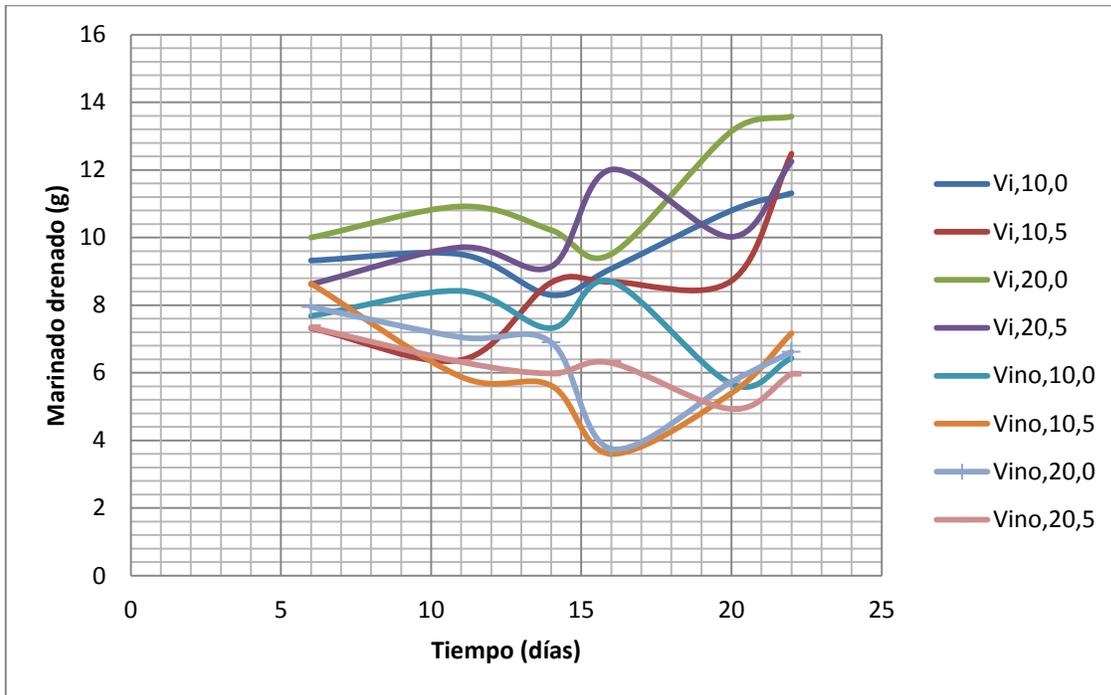
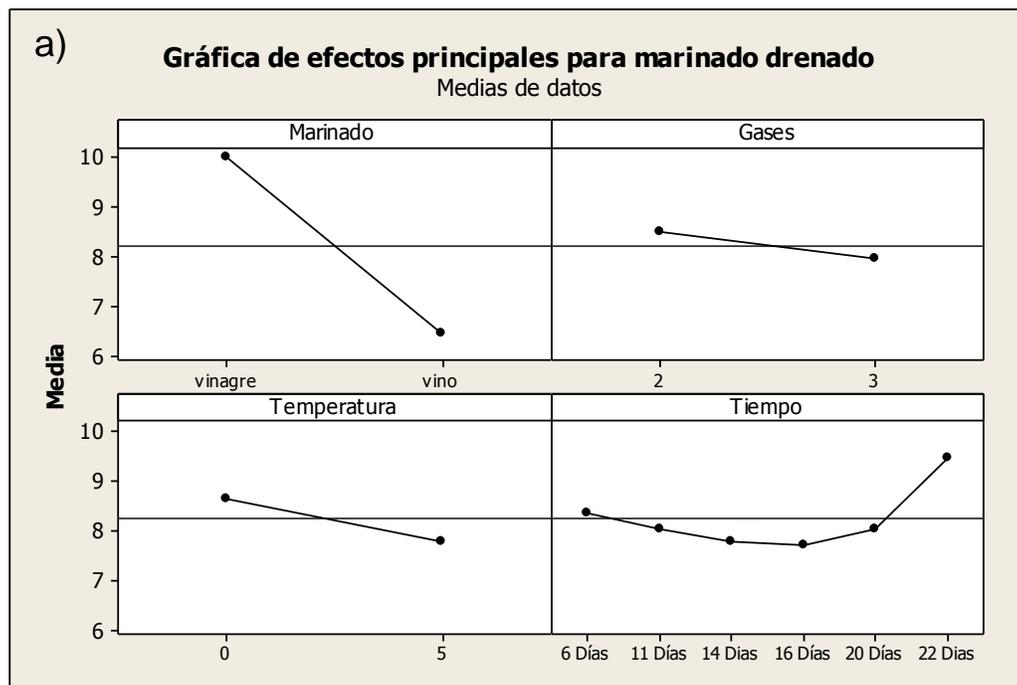


Figura 43: Valores del marinado drenado de las muestras de pechuga de pollo respecto al tiempo de almacenamiento.



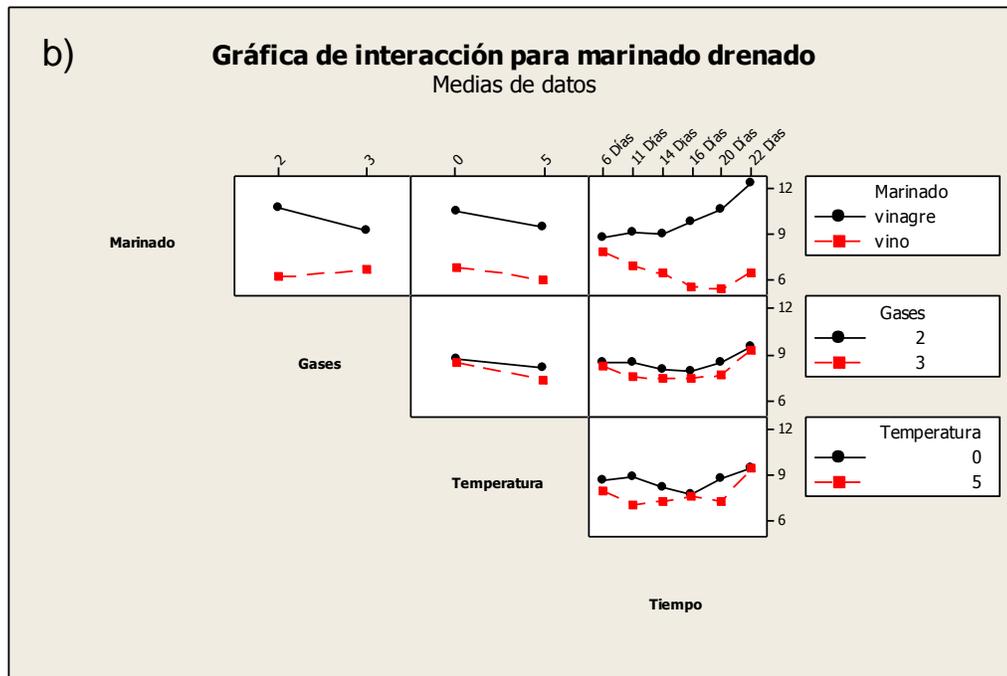


Figura 44: (a) Efectos principales de las variables sobre el marinado drenado. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el % de marinado drenado.

Para la cantidad de marinado drenado, como ya se explicó anteriormente nos referimos a la cantidad de marinado remanente en el envase después de cierto tiempo de almacenamiento. Se obtuvo que la variable de mayor influencia al igual que en la mayoría de los aspectos evaluados fue el tipo de marinado y el tiempo de almacenamiento teniendo valores estadísticos de p de 0.000 y 0.004 respectivamente. Las variables de menor influencia fueron la combinación entre el marinado y la temperatura de almacenamiento y el marinado con el tipo de atmósfera inicial.

En la figura 45 se observa que los valores de HUE de la carne que se marino con vinagre resultaron en valores mucho mas elevados que los que se obtuvieron para la carne marinada con vino, oscilando en valores de entre 20 y 25 a comparación de los de la carne con vinagre que solo alcanzaron valores máximos de 13 presentando una disminución conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, Como ya se menciono anteriormente el HUE es el espectro de colores que puede tener un objeto, en base a esto se interpreta que la carne que se marino con vino presento un mayor rango de coloración que la que se marino con vinagre, esto debido a diferentes factores tales como, la naturaleza de los ingredientes y las condiciones fisicoquímicas en las que se almaceno el producto. Se observa también que las muestras

marinadas con vinagre presentaron valores pequeños durante se dio la mayor acidificación del producto y de acuerdo a la imagen del gráfico podemos decir que tanto la temperatura como la concentración de gases no fueron factores que influyeron de gran manera en los valores obtenidos ya que presentaron valores similares.

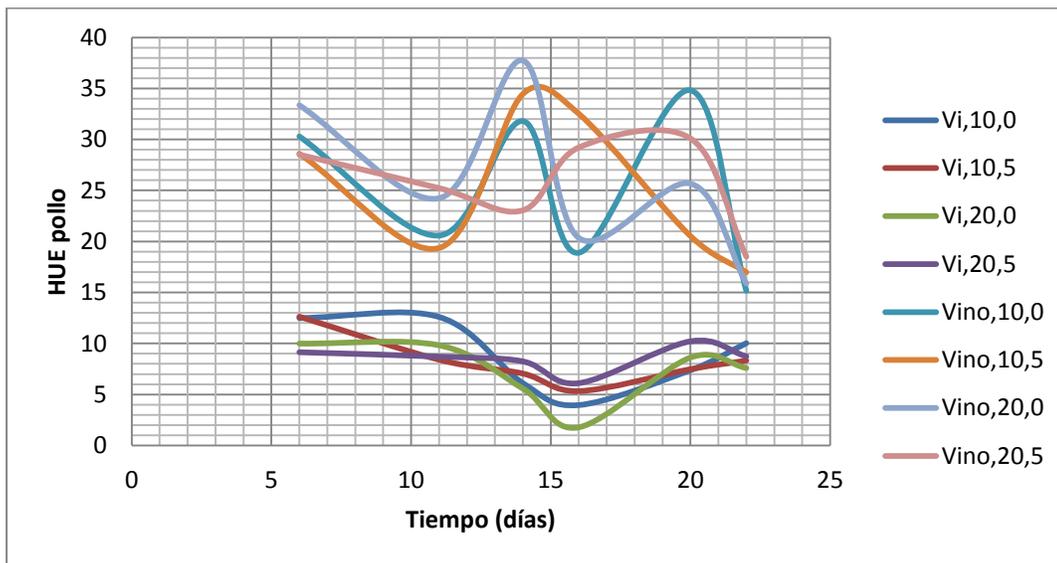
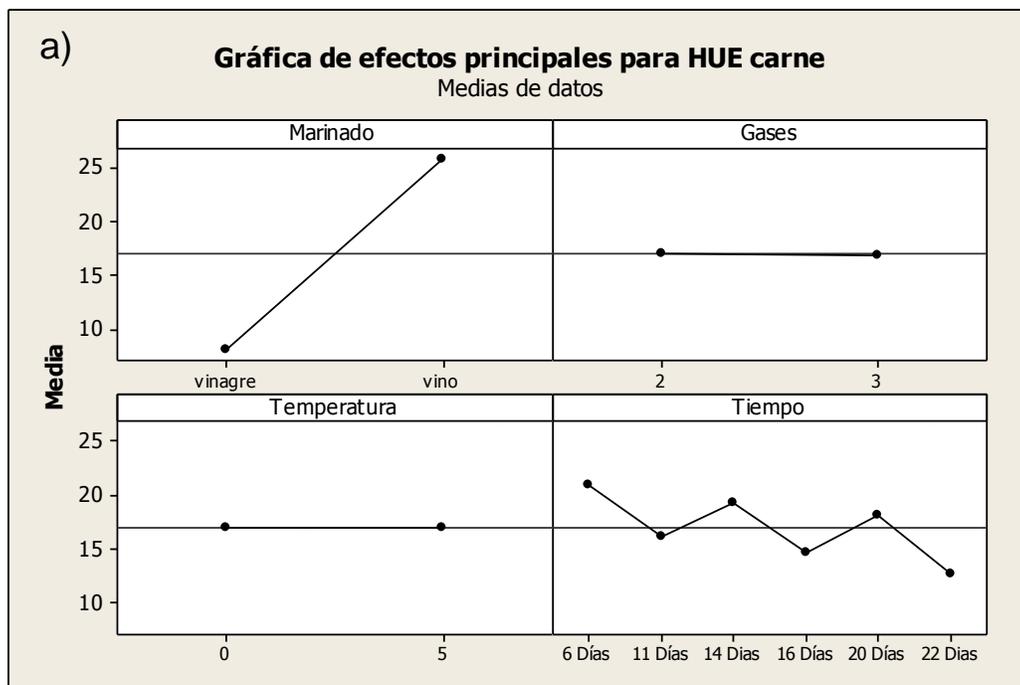


Figura 45: Valores de HUE de las muestras de pollo respecto al tiempo de almacenamiento.



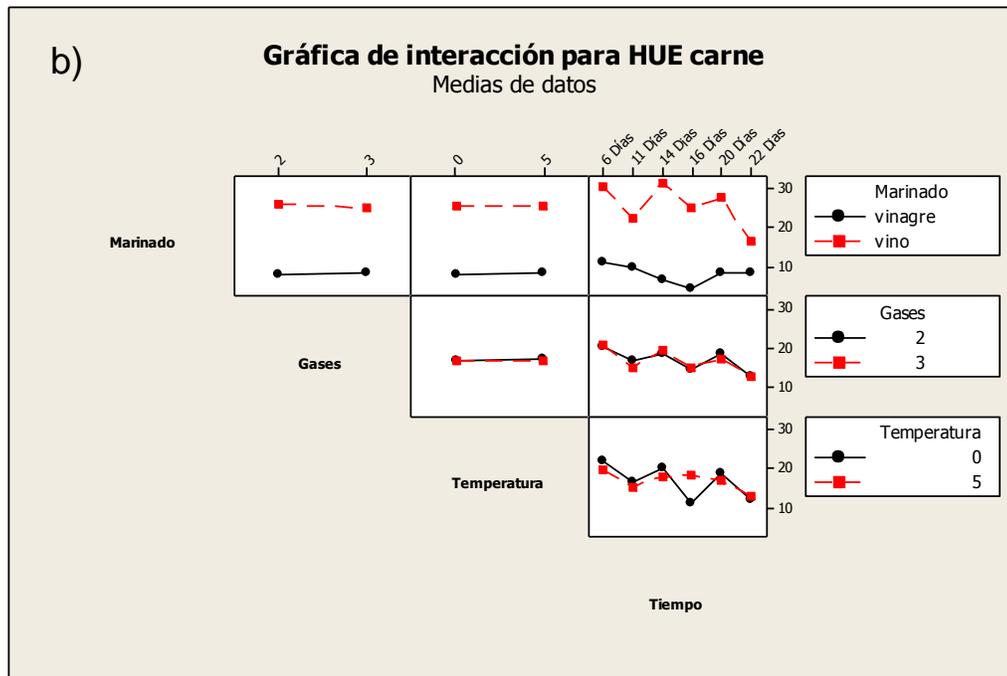


Figura 46: (a) Efectos principales de las variables sobre el HUE de la carne. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el HUE en la carne de pollo.

El valor de HUE se vio afectado principalmente por el tipo de marinado y el tiempo de almacenamiento como se observa en la figura el marinado provoco grandes cambios en los parámetros del color en general siendo esta la variable de mayor influencia en general. Las variables que menos influyeron como se puede observar fueron la temperatura de almacenamiento y el tipo de atmósfera inicial teniendo estadísticamente valores de hasta 1.000 y 0.976 respectivamente. Se observa que la mayor interacción se tuvo entre la relación del tiempo y el tipo de marinado.

Al igual que en la figura 45 en la siguiente figura (47) se observa una comparación entre los valores obtenidos del HUE pero esta vez del marinado con respecto al tiempo y al igual que en la carne se puede apreciar esa gran diferencia entre los valores de las muestras marinadas con vino y las muestras marinadas con vinagre. Las muestras marinadas con vino obtuvieron valores que oscilaron entre los 120 y los 160 mientras que las muestras marinadas con vinagre mantuvieron un comportamiento casi constante durante todo el almacenamiento que no vario mucho oscilando en su mayor parte entre los 59 y 61 en todas las muestras y a las dos temperaturas utilizadas. Es interesante hacer mención que solo una muestra presento un comportamiento muy diferente al resto, presentando una disminución notoria conforme al

transcurso del almacenamiento la cual fue la muestra de vino con una atmósfera de tres gases y almacenada a 5°C, que a su vez fue la muestra que presento mayor disminución de pH y por tanto mayor producción de CO₂ causada por la proliferación que se dio de bacterias ácido-lácticas, provocando cambios en el ambiente alrededor del producto que repercutieron en las características organolépticas y sensoriales de las muestras.

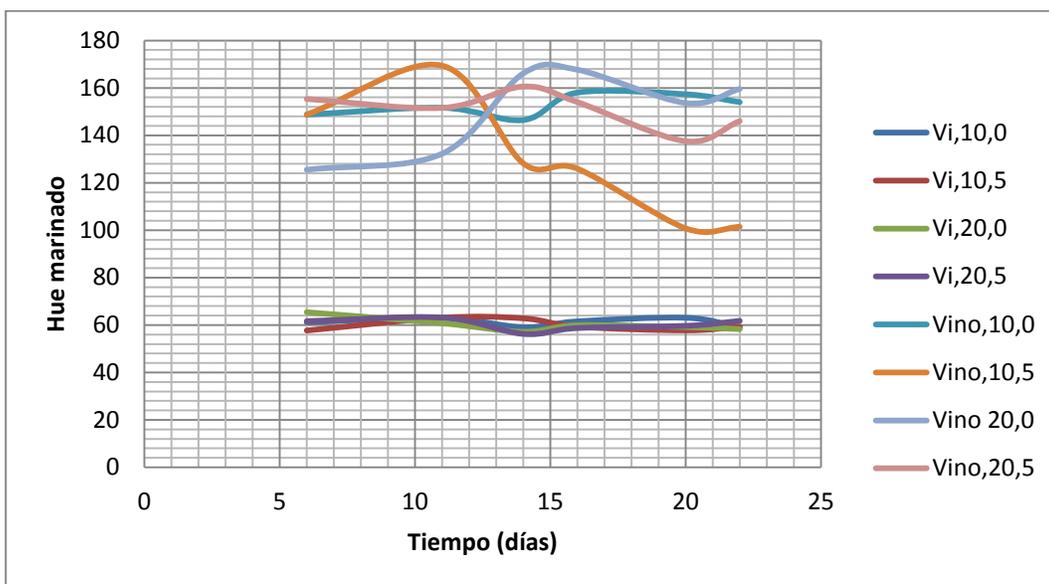
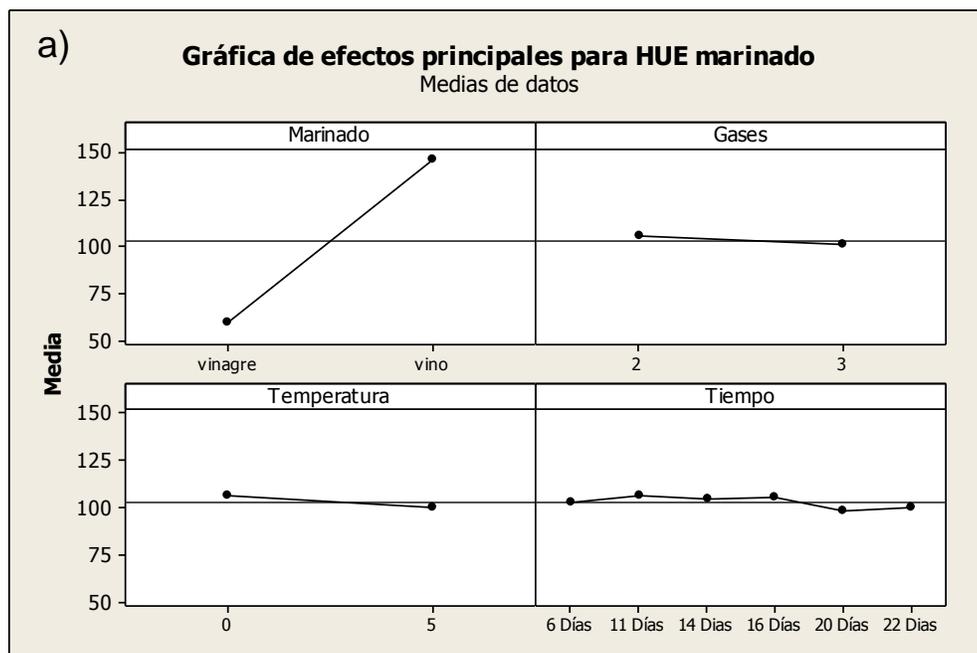


Figura 47: Valores de Hue del marinado respecto al tiempo de almacenamiento.



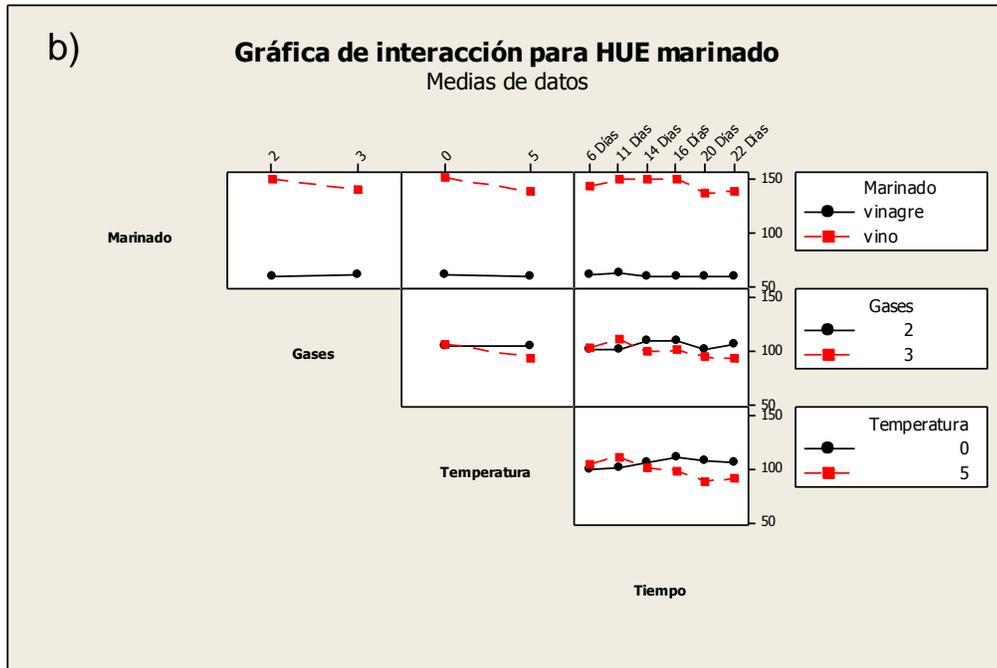


Figura 48: (a) Efectos principales de las variables sobre el HUE del marinado. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el HUE de marinado.

A diferencia que el HUE de la carne el HUE del marinado si se vio afectado por las diferentes variables empleadas en y durante el proceso, como se observa en la figura de efectos principales el de mayor relevancia al igual que en todo el proceso fue el tipo de marinado pero estadísticamente se obtuvieron valores de 0.000 en todas las variables que se utilizaron la mayor interacción entre variables se tuvo entre el tipo de atmósfera, el tiempo de almacenamiento y la temperatura.

En la siguiente figura 49 se muestran los resultados de croma para la carne de las diferentes muestras a evaluar que se tuvieron y se nota que las muestras marinadas con vinagre presentaron valores de saturación mas altos que las muestras que se marinaron con vino, generando colores mas intensos en comparación con los obtenidos de las muestras marinadas con vino generando con esto una apariencia de mayor frescura hacia el consumidor que las muestras marinadas con vino. El croma de las diferentes muestras tanto para las muestras de carne como de marinado se obtuvieron a través de los valores de a^* y b^* .

En la figura 51 al igual que en la figura anterior observamos una comparación de los valores de croma con respecto al tiempo pero esta vez de los marinados y observamos que como en la carne, los marinados también presentaron valores mas altos en el caso de las muestras de

vinagre en comparación con las muestras de vino presentando una tendencia de incremento conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, a diferencia de las muestras marinadas con vino que presentaron valores casi constantes durante todo el tiempo de almacenamiento que oscilaron en un rango de 0.3 – 0.7.

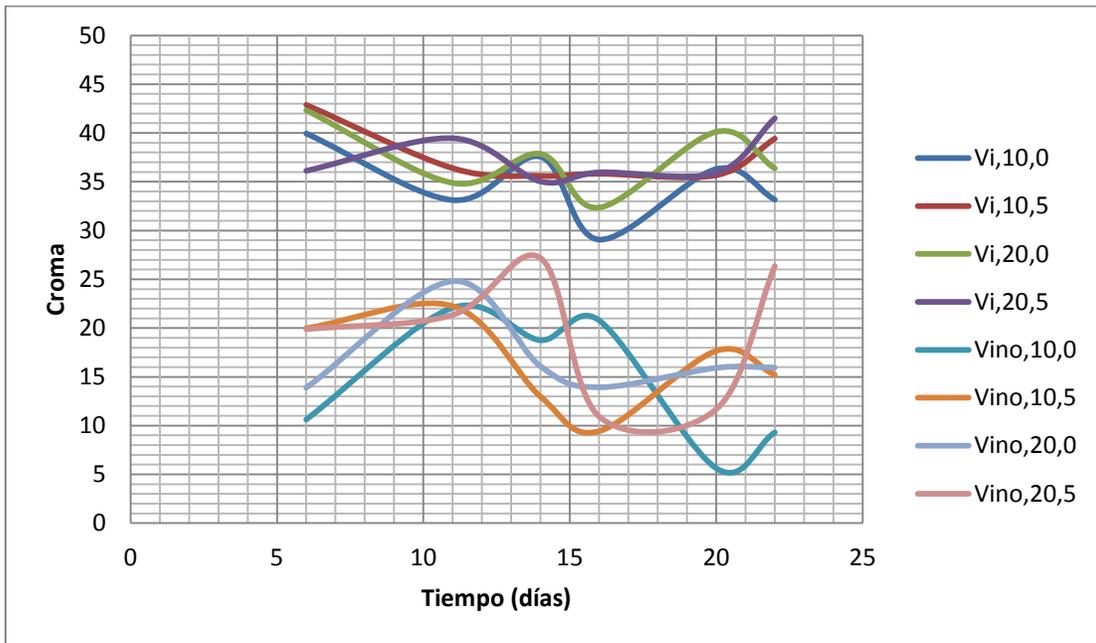
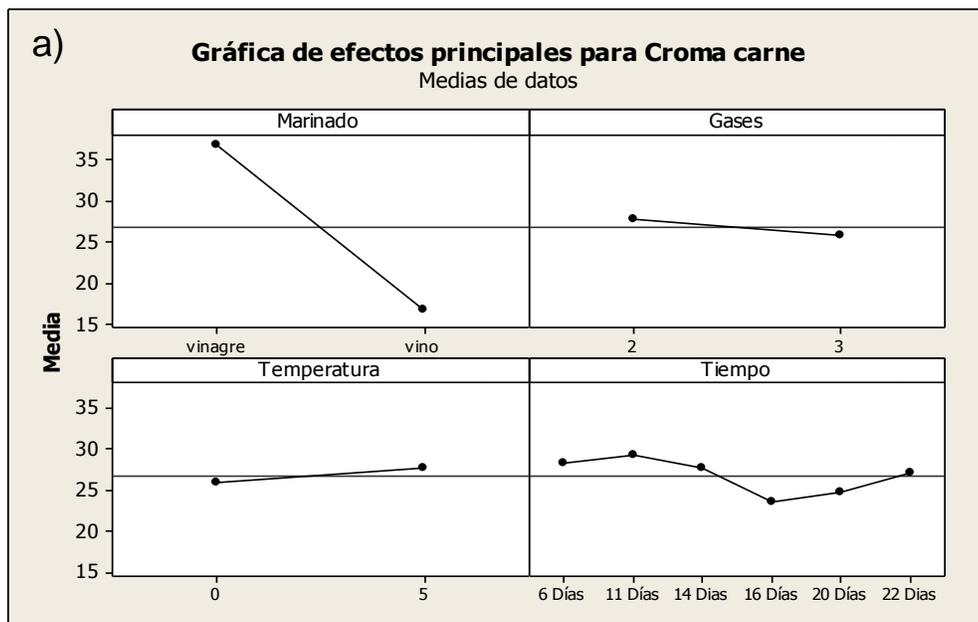


Figura 49: Valores de cromas de las muestras de pollo respecto al tiempo de almacenamiento.



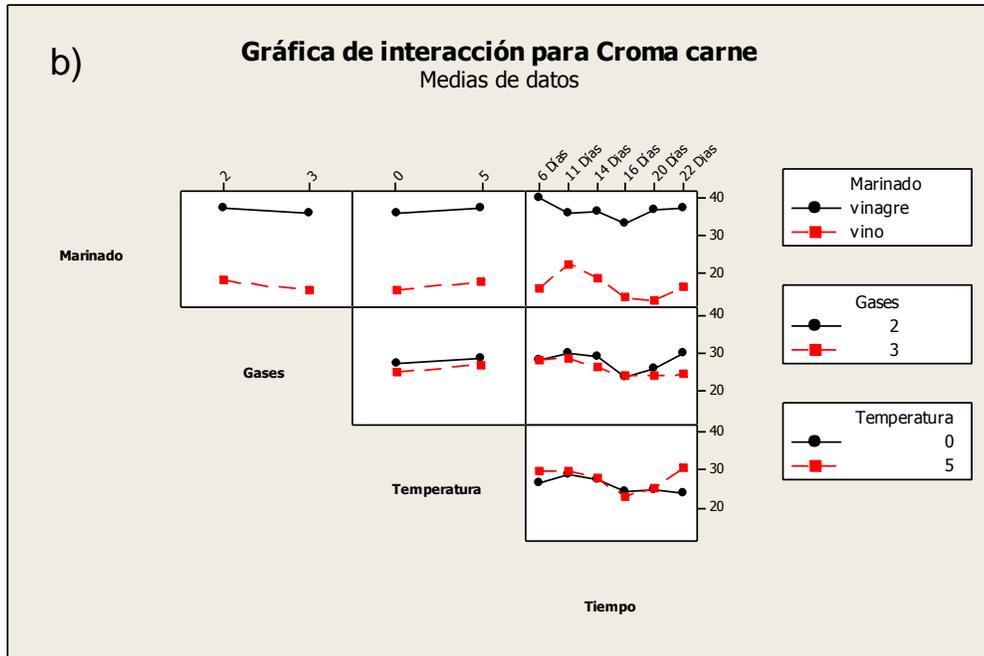


Figura 50: (a) Efectos principales de las variables sobre el croma de la carne de pollo. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el croma de la carne de pollo.

El croma de la carne se vio afectado principalmente por el tipo de marinado y el tiempo de almacenamiento, se observa en la figura 50 que el efecto de mayor grado fue el producido por el marinado, mientras que las otras dos variables (temperatura y tipo de atmósfera inicial) no tuvieron tanta influencia en el proceso. Las interacciones más significativas durante el proceso se presentaron entre las variables de atmósfera, tiempo y temperatura.

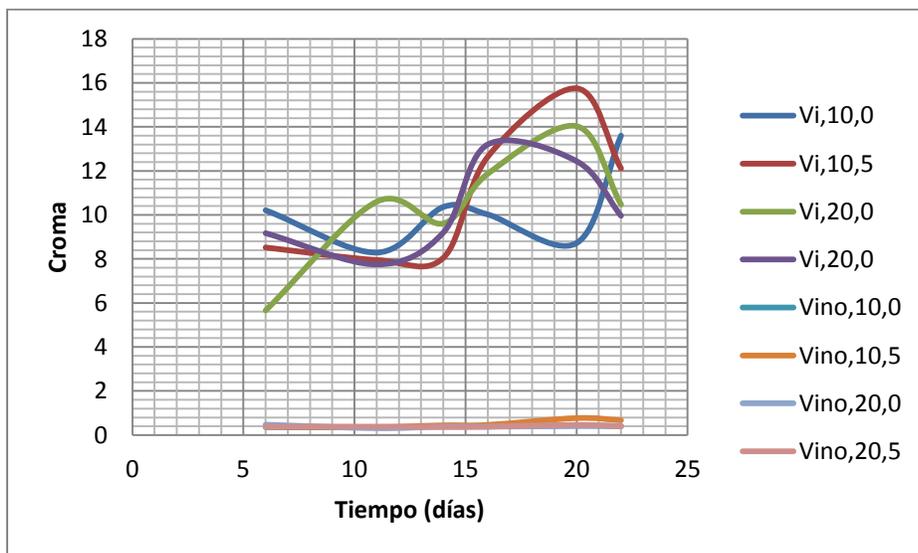


Figura 51: Valores de croma del marinado respecto al tiempo de almacenamiento.

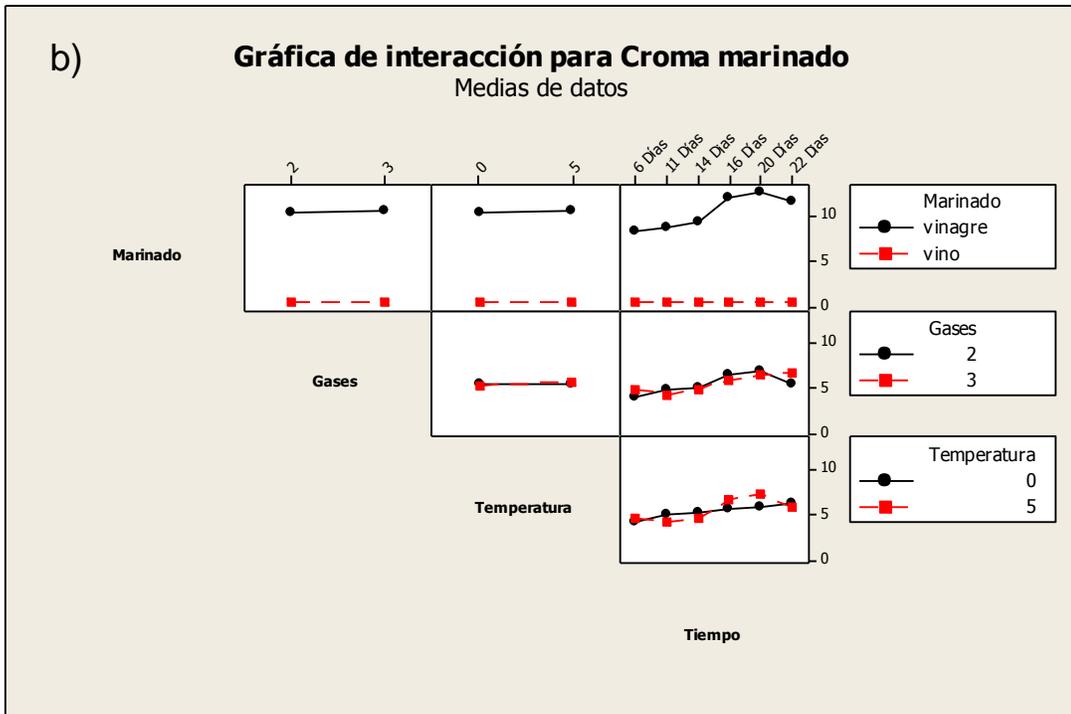
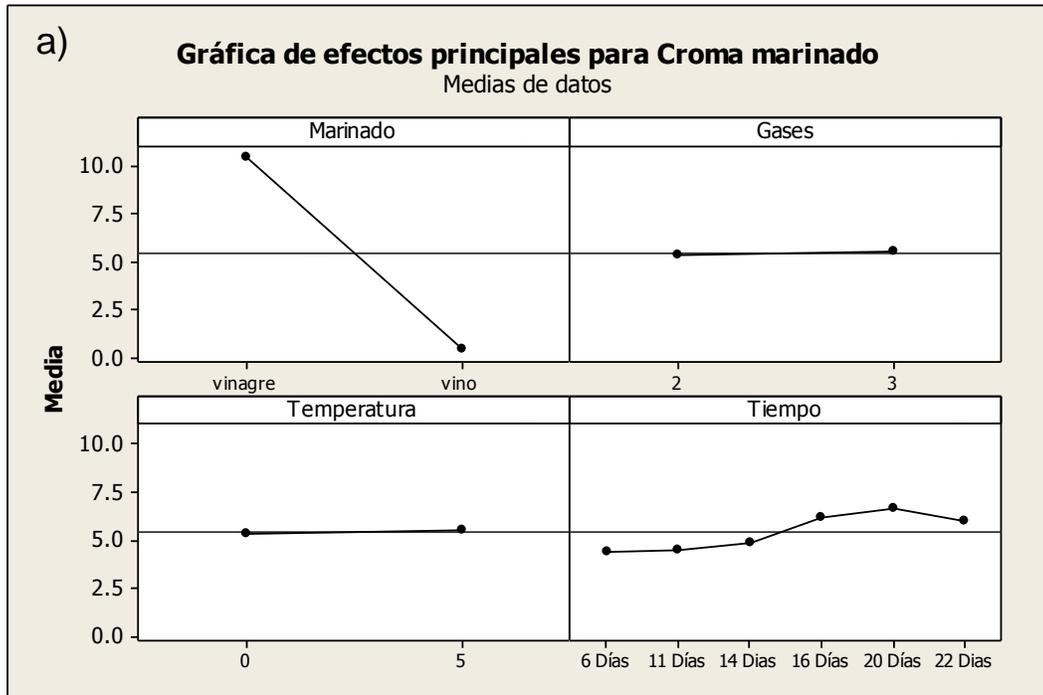


Figura 52: (a) Efectos principales de las variables sobre el croma del marinado y las interacciones de las variables. (b) Gráfica de la interacción de las variables sobre el croma del marinado.

El croma del marinado a diferencia del croma de la carne se vio afectado en gran manera por la mayoría de las variables al igual que el HUE estadísticamente la variable de menor

influencia fue el tipo de atmósfera inicial teniendo un valor de p de 0.016. La interacción con mayor influencia en el proceso fue la del tipo de atmósfera inicial y la temperatura así como la que se presentó entre el tiempo y la temperatura.

CONCLUSIONES

- Las muestras marinadas con vinagre presentaron mejores resultados respecto a las muestras marinadas con vino, ya que mantuvieron mejor el pH, la cantidad de agua perdida y el color durante el tiempo de almacenamiento, reflejándose en valores muy cercanos a las propiedades iniciales del producto.
- Las variables de mayor influencia fueron el tipo de marinado y el tiempo de almacenamiento las cuales influyen durante todo el proceso modificando notoriamente los resultados esperados en un inicio, a diferencia de la temperatura y el tipo de atmósfera que no tuvieron un efecto tan significativo en los resultados. Se observó que la diferencia en la concentración de gases iniciales no repercutió ni en las características sensoriales ni fisicoquímicas del producto en medida a lo esperado y estudiado en investigaciones anteriores.
- Se presentaron mejores resultados a temperaturas bajas, la presencia de CO₂ y la disminución de temperatura generaron cierto sinergismo que ayudo a preservar mejor las características iniciales por ende modificando menor la estructura del musculo y las propiedades organolépticas, además de disminuir en gran parte la posible proliferación de microorganismos.
- Se corroboró que la generación de una atmósfera modificada inicial compuesta por gases alargó el tiempo de vida útil de pechuga de pollo marinada permitiendo la conservación de las propiedades sensoriales del producto durante más tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, B. (2010), *Proceso de marinado por inyección a pierna de pavo* Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, Universidad Nacional Autónoma de México, FES Cuautitlán, Estado de México, pp. 10-15.
- A.A.P.P.A (2007), *Introducción a la tecnología de alimentos*, 2ed. Limusa Editores, México pp.71-75.
- Brody, A.L and Thailer C. (1996) *Argon and other noble gases to enhance MAP', in proceedings of food*, Conference on Advanced Packaging Technology, vol. 20 Illinois USA pp. 85-92.
- Devlieghere, F. (2000) *Predictive modeling of the spoilage and the microbial safety of modified atmosphere packaged cooked meat products*. Thesis of University of Ghent, Belgicapp 20-25.
- Fernández, S. (2007), *Evaluación de los cambios fisicoquímicos de carne de bovino congelada-descongelada y almacenada en refrigeración* Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, Universidad Nacional Autónoma de México, FES Cuautitlán, Estado de México, pp. 8-20.
- Church, N. (1994), *Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies*, Trends Food Sci.Technology 5 (11): 345-352.
- García, E. (2006), *Tecnología de envasado en atmósferas modificadas*, Informe de Vigilancia Tecnológica (1): 25.48.
- Genot, C. (2003), *Congelación y calidad de la carne*, Edit. Acribia, España, pp 60-62.
- Gordon, L. R. (2010) “*Food Packaging and Shelf life*”, Edit. CRC, USA, pp 17-29, 31-50, 259-279.
- Gutiérrez, J. (1998) *Ciencia y tecnología culinaria*, Edit. Edigrafos, Madrid España pp. 95-98.
- Ibarz, A. (2005), *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*, Edit. Mundi-Prensa, Madrid España pp. 71-75.
- Legarreta Isabel, (2010), *Handbook of poultry science and technology*, Wiley, (2): 81-100, 311-320, and 389-400.

- Leisther, L. and Gorris (1995), *Food preservation by hurdle technology*, Trends Food Sci Technology pp. 41-46.
- Lemos, A.L (1998), *Optimization of the still-marinating process of chicken parts*, Center of Technology Meats, Meat Science, Campinas Brazil, (52): 227-234.
- López L. (2008), *Envasado a vacío y en atmósfera modificada y utilización potencial de los envases activos e inteligentes en la carne de aves*, Revista del Comité Científico de la AESAN, Madrid España, (7): 45-53.
- Madrid et. Al, (2010), *Refrigeración, congelación y envasado de los alimentos*, Mundi-Prensa, Madrid España, pp. 27-32, 169-183, 195-201.
- McDougall D.B (2002), *Color in Foods*, 1era edición, Boca Ratón, Florida, New York.
- McMillin, K. (2008), *where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meet*, School of Animal Sciences, University Agricultural Center. Meet Science, (80): 43-65.
- Mead, G. C. (2004), *Poultry meat processing and quality*, Edit CRC, Florida USA, pp.164-181, 283-290.
- Mendoza, M. and Aguilera J.M. (2004), *Application of image analysis for classification of ripening bananas*, Food Engineering and physical properties, Journal of Food Science E471,(69) N° 9.
- Moreno, R. (2005), *Calidad de la carne de pollo*, Revista Nutreco R&D, Toledo, (1): 15-24.
- Oppel, S. (1996), *Elaboración casera de carnes y embutidos*, Cap. Conservación de la carne y de los productos cárnicos, Edit. Acribia, Zaragoza España pp.237-243, 251-255.
- Ospina, M. (2008), *La atmosfera modificada una alternativa para la conservación de alimentos*, Revista la Sallista de Investigación, número 2, (5): 112-123.
- Pereda, O. (1998), *Tecnología de alimentos*, Alimentos de origen animal, Ed. Síntesis, España (2): 45-60.
- Pereira, C.A (2009), *Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos segmentadas y promediadas en coordenadas CIE-L*A*B**, Universidad Simón Rodríguez, núcleo Valencia de Posgrado, Posgrado de Biotecnología Alimentaria, Agronomía Costarricense, pp. 284-299.
- Ranken, M.D (2003), *Manual de la industria de carne*, Ed. Mundi-Prensa, España pp. 20-34.

- Reyna, J. (2001) *Cambios fisicoquímicos y bioquímicos de la carne y productos cárnicos*, Instituto Superior de Calkini, Campeche, pp. 11-19.
- ReyhanIrkin (2009), *The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological, criteria, color oxidation values of minced beef meat*. Department of Food Engineering, Meat Science, Izmir Turquia, (8): 221-226.
- Spencer, K. (1999) *Fresh cut produce: application of noble gases*, in Proceedings of the International Conference on Fresh-cut produce, Campden and Chorleywood food.
- Trejo, A. (2010) *Atmósferas controladas: Una técnica complementaria de la refrigeración* (en línea), consultado el 2 Octubre de 2011, México disponible en <http://www.slideshare.net/postcosecha/atmosferas-controladas>
- UNA-Unión Nacional de Avicultores de México (2010), *Consumo per cápita de pollo y su producción en México (en línea)*, consultado el 26 de Septiembre de 2011, México disponible en <http://www.una.org.mx/index.php>.
- Vermeiren, L. (1999), *Developments in the active packaging of foods*, Trends Food Sci Technology 77-86.
- Yosup, S. (2009), *Effect of marinating time and low pH on marinade performance and sensory acceptability of poultry meat*, Department of Food and Nutritional Sciences, University College Cork, Meat science, Ireland, (85): 657-663.
- Zeuthen P. (2003), *Food preservation techniques*, Boston New York USA, CRC Publishings pp. 115-125.