

00528  
52



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE QUÍMICA

EFFECTO DEL pH EN LA CINÉTICA DE CURADO DE  
CARNE DE AVESTRUZ (*Struthio camelus*) Y SU  
APLICACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE  
UN PRODUCTO PROCESADO.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**QUÍMICA DE ALIMENTOS**  
P R E S E N T A  
**ROCÍO DE TERESA KURI ROJAS**



MEXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA

2003



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.

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** Prof. Zoila Nieto Villalobos  
**Vocal:** Prof. Mercedes Palao Rincón  
**Secretario:** Prof. Edith Ponce Alquicira  
**1er. Suplente:** Prof. Daniel Luis Pedrero Fuehrer  
**2º. Suplente:** Prof. Juan Guzmán Calderón

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

Laboratorio del Área de Bioquímica de Macromoléculas  
Departamento de Biotecnología  
U. A. M. Iztapalapa

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Edith Ponce Alquicira

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Marcelo Signorini

**SUSTENTANTE:**

  
\_\_\_\_\_  
Rocío de Teresa Kuri Rojas

**A mi mamá Victoriana Rojas Valle por que me has enseñado a vivir  
de manera digna, a valorar mis esfuerzos y dar lo mejor de mí.**

**A mis abuelos Sylvia Valle Flores (Química Industrial) y Rutilo Rojas Pinedo  
(Ingeniero Químico y Químico) porque aunque somos pocos, somos suficientes.**

A mi abuelita Sylvia por el apoyo que me brindaste durante estos años, por las pláticas en la cena, por aguantar mis desvelos y angustias, por tu dedicación y por tu amor.

A mi abuelito Rutilo por tu apoyo aunque estés lejos, por las pláticas que tuvimos y por las que pudimos tener. Te extraño.

A mi mamá por el amor, la aceptación y el apoyo incondicionales que he recibido de ti y he podido retribuirte. Por la vida tan agradable que hemos tenido juntas, por ser tú conmigo y permítirme ser yo contigo.

A ti porque me has ayudado a ser una mejor persona, por tu amistad y porque te quiero, ... Gracias por compartir conmigo un poco de tu tiempo, de tu experiencia y de tu excelente gusto. Gracias por participar en esto y enorgullecerte con esto que es mi mayor logro.

Al Ingeniero Encarnación Lara por el cariño que nos has brindado en estos años, por tu apoyo y por tu interés en que estemos bien.

A Carito porque además del tiempo que hemos compartido, siempre he encontrado apoyo en ti aunque en pocas ocasiones he podido retribuirlo; porque hemos crecido juntas y nos hemos divertido haciéndolo. Gracias por tu cariño. Te quiero tanto...

A mi papá y a mis hermanos Antonio y Alejandra por los años que hemos compartido y porque el tiempo no cambia la importancia que tienen en mi vida, los quiero mucho.

A

A Jessy y a Nahibe espero que este trabajo les sirva de ejemplo. Nunca dejen sueños inconclusos, den su máximo esfuerzo y valoren su trabajo. Las quiero mucho.

A mis tías Silvia, Julia, Meche y Chary, a mis tíos Rutilo, Enrique y Chuy, también a mis primos que como son muchos no los enlisto. A todos ustedes, gracias por hacerme sentir parte de esta familia que, además de ser muy grande, es una gran familia. Perdón por la ausencia pero como verán lo urgente no deja tiempo para lo importante. A Esther y Mariano que me han enseñado lo bella que puede ser la otra cara de la moneda. A María Esther, bienvenida.

A mis amigas Isela, Evelyn y Sabyne por permitirme ser amiga con ustedes y de ustedes, por brindarme su confianza, por sus consejos, por su cariño y por todos los recuerdos que conservamos. A Iselita porque además de la amistad, de ti recibí apoyo y compañerismo; espero haber correspondido en la misma medida. A Gaby porque compartimos muchas experiencias aunque seguimos caminos diferentes. A Tavo por tu amistad y por tus sabios consejos. Por el orgullo que siento al conocer personas tan decididas y constantes como ustedes.

A Iván por que las experiencias que tuvimos juntos nos han permitido crecer como personas y ser testigos de ello, por tu valiosa amistad, por tu paciencia en los tiempos difíciles y porque sin tu apoyo hubiera soltado la cobija hace mucho tiempo, gracias.

A todos aquellos que escapan a mi memoria pero que han participado directa o indirectamente en el cumplimiento de esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS:**

A la Universidad Nacional Autónoma de México. A todas las personas que colaboran día a día por que sea una institución que promueva la calidad en el desarrollo profesional de los que formamos parte de ella. A todos los profesores que participaron de manera indirecta en el desarrollo de este proyecto mediante su enseñanza en las aulas.

A la Doctora Edith Ponce Alquicira por la confianza que tuvo en este proyecto y por el apoyo que me brindo durante el desarrollo del mismo, gracias.

Al Doctor Marcelo Signorini por sus enseñanzas y aclaraciones. Por ayudarme a dar forma a lo que aquí se expresa y por su enorme paciencia, gracias.

A todos los que colaboran en el laboratorio S – 130 no solo por su participación en las pruebas sensoriales, sino por su amistad y por compartir conmigo su espacio de trabajo.

A los profesores que forman parte del jurado asignado para la evaluación de este proyecto. Muy en especial a Juan Guzmán por su valiosa aportación en lo que se refiere a la cinética del proceso y por su colaboración durante la revisión de esta Tesis.

A los profesores del departamento de Alimentos por su apoyo y por su interés. En especial a Lulú, Lucy y Agustín Reyó que siempre me han preguntado por los avances de este proyecto.

Al Licenciado Guillermo Álvarez de "Rancho Avestruz" por la ayuda que me proporcionó para conseguir la carne empleada en este proyecto. A Gloria Orihuela y a Antolín Jiménez por sus atenciones y la respuesta que obtuve de todos ustedes. Deseándoles la mejor de las suertes en la industria del avestruz.

6

## INDICE GENERAL

	Página
Resumen	1
Introducción	2
Objetivos	3
Hipótesis	3
1 Antecedentes	4
1.1 Industrialización del avestruz	4
1.2 Situación en México	5
1.3 Características generales del avestruz	6
1.3.1 Manejo y sacrificio	7
1.3.2 Productos y subproductos	9
1.4 La carne de avestruz	10
1.4.1 pH	10
1.4.2 Color	12
1.4.3 Textura y ternura	14
1.4.4 Capacidad de retención de agua	15
1.4.5 Propiedades químicas y nutricionales	17
1.4.6 Microbiología de la carne	18
1.5 El proceso de curado	19
1.5.1 Bioquímica del curado	20
1.5.2 Proceso	22
1.5.3 Evaluación del desarrollo del curado	25



2	Desarrollo experimental	26
2.1	Diseño experimental	26
2.2	Metodología	27
2.2.1	Caracterización de la muestra	27
2.2.1.1	Análisis proximal	28
2.2.1.2	Pruebas microbiológicas	29
2.2.1.3	Pruebas de funcionalidad	29
2.2.1.4	Determinación de los parámetros del color	30
2.2.1.5	Actividad de agua	31
2.2.2	Efecto del pH en la cinética de curado	31
2.2.3	Prueba sensorial	34
2.2.4	Análisis estadístico	36
3	Resultados y discusión	39
3.1	Caracterización de la muestra	39
3.2	Efecto del pH en la cinética de curado	41
3.3	Prueba sensorial	63
4	Conclusiones	66
	Bibliografía	68
	ANEXO 1: Análisis estadístico	72

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Clasificación taxonómica	6
Tabla 1.2 Características productivas del avestruz	7
Tabla 1.3 Productos y subproductos derivados de la industria del avestruz	9
Tabla 1.4 Ligandos más frecuentes unidos a la sexta posición de la mioglobina	13
Tabla 1.5 Comparación de la composición entre carne de avestruz y carnes convencionales	17
Tabla 1.6 Comparación del contenido en sodio y hierro de la carne de tres especies	18
Tabla 2.1 Parámetros empleados en la prueba de Warner- Bratzler	30
Tabla 2.2 Formulación de la salmuera empleada para evaluar el efecto del pH en la cinética del curado	32
Tabla 2.3 Porcentaje de adición de fosfatos para el ajuste del pH de la salmuera	32
Tabla 2.4 Formulación empleada en la elaboración de los productos para la prueba sensorial	35
Tabla 3.1 Análisis proximal y pruebas funcionales en la carne fresca de avestruz	39
Tabla 3.2 Análisis microbiológico de la carne fresca de avestruz	40
Tabla 3.3 Constantes empleadas en el cálculo de la concentración de nitritos en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera	53
Tabla 3.4 Constantes empleadas en el cálculo de la concentración de nitritos en función del pH de la salmuera	55
Tabla 3.5 Constantes empleadas en el cálculo del pH cárnico en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera	57
Tabla 3.6 Constantes empleadas en el cálculo del pH cárnico en función del pH de la salmuera	58
Tabla 3.7 Determinaciones realizadas en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	59

Tabla 3.8 Determinaciones realizadas en los productos elaborados para la prueba sensorial	63
Tabla A.1.1 pH cárnico del producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	72
Tabla A.1.2 Contenido de nitritos en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	72
Tabla A.1.3 Luminosidad (L*) en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	73
Tabla A.1.4 Tonalidad (H*) en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	73
Tabla A.1.5 Cromaticidad (C*) en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	73
Tabla A.1.6 Pérdidas por cocción del producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	73
Tabla A.1.7 Textura del producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera	74
Tabla A.1.8 Análisis de correlación entre los parámetros evaluados durante el proceso de curado	74
Tabla A.1.9 Análisis de correlación entre los parámetros evaluados en el producto curado y cocido	74
Tabla A.1.10 Análisis estadístico de la prueba afectiva	75
Tabla A.1.11 Prueba de ordenamiento por rangos para los productos evaluados en la prueba sensorial	75

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Línea de sacrificio de las aves —————	9
Figura 1.2 Reacciones de nitrosación de la mioglobina en diferentes estados químicos ———	21
Figura 1.3 Proceso de elaboración de un producto curado y cocido mediante masajeo mecánico —	23
Figura 2.1 Cuestionario aplicado durante la prueba de evaluación sensorial (primera hoja) ———	37
Figura 2.2 Cuestionario aplicado durante la prueba de evaluación sensorial (segunda hoja) ———	38
Figura 3.1 Curso temporal del pH de la carne durante el curado —————	42
Figura 3.2 Curso temporal de la difusión de nitritos durante el curado —————	44
Figura 3.3 Curso temporal de la Luminosidad ( $L^*$ ) durante el curado —————	45
Figura 3.4 Curso temporal del valor de Tonalidad ( $H^*$ ) durante el curado —————	47
Figura 3.5 Curso temporal del valor de Cromaticidad ( $C^*$ ) durante el curado —————	48
Figura 3.6 Curso temporal del curado mediante el Índice de Nitrosación (IN) —————	49
Figura 3.7 Curso temporal del porcentaje de reflectancia para la nitrosomioglobina ———	50
Figura 3.8 Curso temporal del curado mediante el Índice de Decoloración (ID) —————	51
Figura 3.9 Curso temporal del curado mediante el Índice de Transformación de Pigmentos (ITP) —	51
Figura 3.10 Curso temporal del porcentaje de reflectancia a 630 nm —————	52
Figura 3.11 Cinética: Concentración de nitritos en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera —————	54
Figura 3.12 Concentración de nitritos en el estado estable en función del pH de la salmuera —	56
Figura 3.13 Cinética: Ajuste del pH de la carne en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera —————	57
Figura 3.14 Ajuste del pH de la carne en el estado estable en función del pH de la salmuera ———	59
Figura 3.15 Cambios en el color de la carne debidos al proceso de curado —————	62
Figura 3.16 Influencia del pH de la salmuera en el color de la carne curada y cocida ———	63
Figura 3.17 Gráfica de atributos de las muestras evaluadas en la prueba sensorial ———	65
Figura A.1.1 Curva de calibración para la determinación de nitritos en la carne —————	72

## RESUMEN

Considerando que la carne fresca de avestruz presenta una coloración roja oscura asociada al pH de la misma y que el pH de la carne puede modificarse añadiendo mezclas de fosfatos, la metodología general consistió en llevar a cabo el proceso de curado de la carne de avestruz por inmersión en una salmuera a la cual se ajustó el pH a cuatro valores (4.7, 5.23, 6.17 y 8.5) mediante fosfato monobásico de potasio y fosfato dibásico de sodio. Asimismo se aplicó un quinto tratamiento agregando una mezcla comercial de fosfatos marca Hamine® que ajusta el pH de la salmuera al valor de 7.14. Durante este proceso se evaluó el color y el pH del producto, así como la difusión de nitritos en función del tiempo de inmersión. También se evaluó el desarrollo del curado a partir del índice de nitrosación, del índice de decoloración y del índice de transformación de pigmentos. Posteriormente se elaboró un producto curado y cocido a cada pH de la salmuera y se determinó la influencia de ambos procesos en el pH cárnico, el color, la textura y las pérdidas por cocción, seleccionando el pH de la salmuera al cual el producto presentó los mejores parámetros. Por último se aplicó una prueba sensorial en la cual los jueces evaluaron dos productos elaborados con carne de avestruz a los valores de pH de la salmuera seleccionados (pH 4.7 y 5.23) comparándolos con un producto similar de carne de res.

## INTRODUCCIÓN

El avestruz es un animal originario del continente africano que ha sido explotado desde finales del siglo pasado debido a su larga vida productiva, su capacidad para adaptarse a diversos ecosistemas, su resistencia a enfermedades, su tamaño y su rápido desarrollo hasta la madurez. Actualmente constituye una de las principales alternativas de la ganadería diversificada, existiendo explotaciones de este animal en África y en un gran número de países del mundo, en donde además de la carne se aprovechan otros subproductos como las plumas, la piel, el huevo infértil, las pestañas, las córneas y los tendones.

En México, la cría y producción del avestruz inicia en 1991 con el establecimiento de un criadero intensivo en el Estado de Tamaulipas. A la fecha, esta industria ha alcanzado un notable desarrollo; sin embargo, la difusión de la información relativa a las investigaciones realizadas en este ámbito, así como la vinculación entre investigadores, pequeños y medianos productores, dependencias relacionadas e instituciones de educación superior son deficientes, lo cual dificulta el avance de esta alternativa de producción.

El color de la carne es de especial importancia ya que constituye el primer atributo observado por el consumidor y por lo tanto el que influye en mayor medida en su decisión de compra. A este respecto, la carne de avestruz presenta una coloración oscura que puede atribuirse al pH final que la caracteriza (aproximadamente 6.1 – 6.2) el cual permite su uso en la elaboración de productos procesados ya que éstos adquieren una coloración agradable sin la necesidad de adicionar colorantes artificiales y poseen una óptima capacidad de retención de agua; sin embargo el sabor y la vida de anaquel de los mismos pueden verse afectados. Además del pH característico, la carne de esta especie contiene una alta concentración de mioglobina lo cual también influye en el color de la misma.

## **OBJETIVOS**

### **General:**

- **Determinar el efecto que el pH de la salmuera tiene sobre los parámetros evaluados durante el curado de la carne de avestruz.**

### **Específicos:**

- **Medir el proceso de difusión de la sal de cura a cada pH de la salmuera, así como la modificación del color y el pH de la carne durante el curado.**
- **Establecer la influencia del pH de la salmuera en el color, la textura y las pérdidas por cocción de un producto curado y cocido elaborado con carne de avestruz.**
- **Verificar la aceptación por parte del consumidor del producto elaborado al pH de la salmuera que presente los mejores parámetros.**

## **HIPÓTESIS**

**Al aplicar el curado en carne fresca de avestruz, se observará un efecto positivo en el color de la misma, sin afectar sus propiedades funcionales y sensoriales.**

## 1 ANTECEDENTES

Los primeros indicios de la existencia del avestruz se localizan en el continente africano durante la era Paleozoica (hace 60 millones de años). Originada del *Archaeopteryx*<sup>1</sup> se caracteriza porque, debido a la evolución y selección natural, se ha convertido en un ave resistente a condiciones climáticas extremas y tolerante a enfermedades y parásitos. Aun cuando estas aves tienen miles de años ligadas a la historia del hombre<sup>2</sup>, no es sino hasta 1850 cuando surge la explotación de granjas de avestruz en Sudáfrica, floreciendo rápidamente en éste y otros países como Alemania, Francia y Australia. A mediados del siglo XIX las poblaciones de avestruces de Sudáfrica comenzaron a disminuir por una excesiva presión sobre las poblaciones silvestres, hecho que impulsó el avance en las técnicas de explotación ganaderas, desarrollándose así el proceso de domesticación. Otro aspecto que favoreció esta industria fue la invención de la incubadora artificial para avestruces en 1896 (Blanco, 1998; López, 2001; Sayas, 2000b).

### 1.1 Industrialización del avestruz

La industrialización del avestruz se puede dividir en tres etapas: (Blanco, 1998; López, 2001).

a) La primera corresponde a la producción de plumas (en el siglo XIX) para su uso en la elaboración de artículos ornamentales, abrigos y como relleno de almohadas, siendo el principal productor Sudáfrica.

---

<sup>1</sup> Primera ave conocida que poseía plumas pero presentaba características de reptil como la cola ósea y un pico con dientes, siendo esta un ave cazadora.

<sup>2</sup> Se han descubierto jeroglíficos pertenecientes a la cultura Egipcia donde se muestra a la reina Arisonoe montando una avestruz así como restos óseos en la tumba de la XVIII Dinastía egipcia.



b) La segunda etapa constituye la producción de piel y de plumas. Se inició después de la segunda guerra mundial (1950) en Sudáfrica, Portugal, Francia y Australia.

c) La tercera etapa es la de obtención de carne, de plumas y de piel; da comienzo a mediados de la década de los 80 también en Sudáfrica, constituyéndose así en una industria diversificada con un enorme potencial de comercialización.

## 1.2 Situación en México

La cría y producción de esta ave tiene sus orígenes en el estado de Tamaulipas en 1991. En 1992 se establece el segundo criadero intensivo en Coahuila y en 1993 el tercero en Sonora. A causa de los resultados observados en la industria de los avestruces, se fundó la Asociación Nacional de Criaderos de Avestruz (ANCA) en 1994, confirmándose como una actividad ganadera generadora de divisas, empleos y una opción aplicable en diferentes regiones agroecológicas. Para 1995 existían ya 25 granjas aprobadas por la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y la industria se empezaba a diversificar hacia la obtención de carne y piel, sacrificando el 50% de los animales existentes menores a dos años (López, 2000).

Aunque la industria del avestruz ha tenido un buen desarrollo en los últimos años, existe una gran desinformación entre pequeños y medianos productores, lo cual dificulta su expansión y el control de calidad de los productos que se obtienen de ella. Dichos productos se ofrecen a precios inaccesibles para el común de la población ya que son considerados como exóticos o de novedad. A pesar de esto, se observa una tendencia a bajar su precio conforme aumenta la oferta (López, 2000).

### 1.3 Características generales del avestruz

Las avestruces son aves corredoras que pertenecen al grupo de las **rátites**<sup>3</sup>, orden Struthioniformes (tabla 1.1). Se caracterizan por tener el esternón plano y carecer de musculatura pectoral. Son aves de gran tamaño (en la etapa adulta alcanzan un peso de hasta 200 kg y una altura de 2.75 m), incapaces de volar, tienen el cuello largo con un pelo o vellón que cubre su piel, patas largas cubiertas de escamas y con dos dedos en cada una, plumas largas y frondosas que cubren su cuerpo, alas cortas que les sirven para airearse y para las expresiones agresivas o de cortejo. No tienen glándulas sebáceas ni sudoríparas por lo que disipan el calor a través de jadeo con el pico abierto; sin embargo pueden adaptarse tanto a climas áridos y semiáridos, característicos de las llanuras de África, así como a climas fríos (Blanco, 1998; López, 2000; Montaña, 2000; Sayas, 2000 b).

Tabla 1. 1 Clasificación Taxonómica.

Clase	Aves
Orden	Struthioniformes
Suborden	Struthioni
Familia	Struthionidae
Género	Struthio
Especie	camelus

Fuente. Sayas B. E, Fernández, L. J., Pérez, A. J. A. (2000 b)

Son animales omnívoros<sup>4</sup> que, dada la excelente capacidad de obtener energía metabolizable de los alimentos, pueden multiplicar su peso 30 a 40 veces el primer año de vida. Sus requerimientos energéticos son muy bajos y poseen la capacidad de digerir la hemicelulosa en un 66% y la celulosa en un 38%. Su composición corporal con respecto al peso vivo es: 40% músculo, 2% plumas, 14% vísceras, 7% grasa, 7% piel y 30% huesos. Pueden correr hasta 70 km por hora durante 20 a 30 minutos, siendo ésta su primera reacción de ataque o protección (Blanco, 1998; López, 2000; Montaña, 2000; Sayas, 2000 b).

<sup>3</sup> Derivado de *rattis*, vocablo latino que significa balsa plana.

<sup>4</sup> En estado silvestre se alimentan con hojas de arbustos, pastizales, hojas frescas, flores, frutos y semillas tiernas, insectos, reptiles y roedores.

A continuación se mencionan las principales características productivas de esta especie (tabla 1.2), haciendo evidente las ventajas de estos animales como son: el obtener una mayor cantidad de carne y cuero que el ganado vacuno, su índice de fertilidad y alta conversión alimenticia, además de que ocupan poco espacio y poseen una larga vida útil (Blanco, 1998; Sayas, 2000 b).

**Tabla 1. 2** Características productivas del avestruz.

PARÁMETROS	PROMEDIO
Longevidad	70 años
Vida productiva	40 años
Especie/ unidad reproductiva	500 m <sup>2</sup>
Consumo diario de alimento	1 – 1.5 kg
Conversión alimenticia	4:1
Relación hembra: macho	2:1
Tiempo de reproducción	Marzo- Octubre
Producción anual de huevos	40 – 60 huevos
Periodo de incubación	39 - 42 días
% de fertilidad del huevo	80%
% de nacimientos (huevos fértiles)	80%
Producción de plumas	1 – 4 kg por año
Edad al sacrificio	12 – 14 meses
Peso al sacrificio	90 – 110 kg
Producción de piel	1.2 – 2 m <sup>2</sup>
Producción de carne en canal	47 – 53% del peso vivo
Producción de carne sin hueso	37% del peso vivo
Producción de carne de primera	25 – 30% del peso vivo

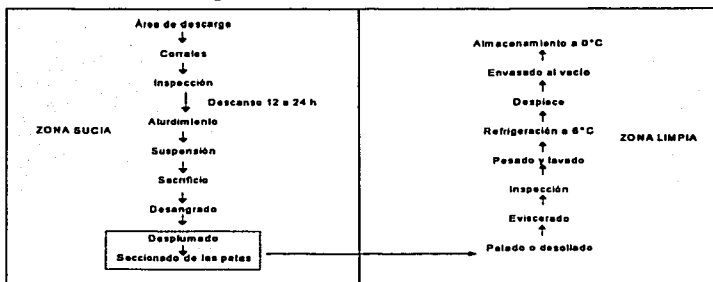
Fuente. Sayas B. E., Fernández, L. J., Pérez, A. J. A. (2000 b)

### 1.3.1 Manejo y Sacrificio

La carencia de líneas de sacrificio especializadas ha obligado a los criadores a modificar las líneas empleadas para bovinos con la diferencia de que la fase de desplumado se debe realizar en un área aislada del resto de la producción (Figura 1.1). La movilización de los animales se debe realizar de noche proporcionándoles el alimento y el agua necesarios, sobre todo si las distancias de transporte son largas. Se debe evitar el castigo o manipulación con objetos punzocortantes, así como la agresión, ruidos o movimientos bruscos que les ocasionen estrés (Lambooi, 1999a; Lambooij, 1999b; López, 2000; Sayas 2000b; Wotton, 2002).

En el matadero, los animales son descargados y llevados a los corrales de espera donde se mantienen por 12 a 24 horas con suficiente agua pero sin alimentación. El día en que son sacrificados se realiza la inspección ante - mortem (IAM) que consiste en observar al animal de pie tanto estático como en movimiento; los animales que se vean tristes o que presenten dificultades al caminar son regresados al criadero de origen. Los que son aceptados para el sacrificio se dirigen al área de aturdimiento donde se lleva a cabo la insensibilización mediante electroshock o empleando una pistola de perno cautivo. Los animales aturridos deben amarrarse y suspenderse en el riel de faenado lo más rápidamente posible para evitar traumatismos, hematomas o hemorragias. Se procede a sacrificarlos por exanguinación, cuidando que esta etapa se lleve a cabo en el menor tiempo posible debido a la capacidad de coagulación que caracteriza a esta especie. Ya desangrado se secciona la cabeza, se lava y se almacena para su posterior inspección. El cuerpo se separa del área de sacrificio para proceder al desplumado, se seccionan las patas y se regresa. El desollado o pelado se debe realizar con sumo cuidado evitando hacer cortes que desmeriten la calidad de la piel, así como la contaminación de los tejidos expuestos. Primero se realiza un corte rodeando la cloaca y se lleva a cabo el amarre del recto para separar la piel; en seguida se hace una incisión en la línea media abdominal, se extraen las vísceras verdes (intestinos y proventrículo), se corta el esternón y se extraen las vísceras rojas (corazón, hígado, pulmón, traquea, bazo y riñones). Por último se lava la canal para retirar restos de sangre que la puedan contaminar. Para la inspección post- mortem (IPM) se observa la canal y las vísceras; en la canal se buscan adherencias, hemorragias, golpes y malos olores; en las vísceras se verifican los bordes de cada órgano, el color, la textura y la presencia de adherencias. También se observan los órganos reproductores para determinar la edad de los animales y desechar los más viejos. Las canales que pasan la inspección son almacenadas en cámaras de oro (6°C) por 12 a 24 horas para permitir la correcta maduración. Las que son rechazadas se retienen para su incineración. Por último se realiza el despique de las masas musculares que son empacadas al alto vacío y congeladas para su almacenamiento y distribución.

Figura 1. 1 Línea de sacrificio de las avesestruces.



Fuente: Sayas B. E., Fernández, L. J., Pérez, A. J. A. (2000 b)

### 1.3.2 Productos y subproductos

Los productos derivados de la industria del aveestruz destinados al consumo o servicio del hombre se enlistan en la tabla 1.3 (Blanco, 1998; López, 2000; Montañó, 2000; Sayas, 2000 b).

Tabla 1. 3 Productos y subproductos derivados de la industria del aveestruz.

Plumas	La producción de plumas es una actividad que puede reutilizar hasta los 35 años de edad del aveestruz y no implica ningún tipo de daño o laceración. Es la única especie cuyas plumas no tienen resina y poseen carga estática neutra por lo tanto pueden emplearse como material de limpieza de aparatos electrónicos y equipos de computación. También son empleadas en la industria automotriz en un proceso de limpieza previo a la aplicación de la pintura en los autos; para la confección de abrigos y como relleno de almohadas. Rinde 1- 4 kg de plumas por año.
Piel	Para su producción, el aveestruz debe ser sacrificado entre los 10 y 12 meses de edad ya que la textura de la piel es muy resistente y flexible por la presencia de aceites naturales. La cantidad de piel que produce un aveestruz varía de 1.2 a 2 m <sup>2</sup> al año de edad. Este es un subproducto demandado en el mercado y considerado como una de las pieles de mayor calidad empleándose para la confección de diversos objetos ornamentales, bolsas, chamarras y bolsos. La piel de las patas también se retira, se corta y se emplea en la elaboración de artículos de menor tamaño como zapatos o recubrimiento de plumas estilográficas.
Carne	La carne de aveestruz es de color rojo, con un aspecto visual oscuro debido al alto contenido de mioglobina y al pH final que alcanza durante la maduración (aproximadamente 6.2). Es muy similar en apariencia, consistencia y sabor al de la carne de vacuno por lo que debería competir con este sector y no con la carne de aves; posee bajos niveles de grasa, calorías y colesterol, pero la misma cantidad y calidad de proteínas. Cada animal rinde entre 40 y 50 kg de carne comestible deshuesada y sin grasa que proviene principalmente de las patas y los muslos (38% del peso vivo). El 66 a 80% de ésta se obtiene como cortes enteros, bisteces o fajitas y el resto se emplea como recortes y para elaboración de productos procesados (pestrami, prosciutto, cecina y salchichas).
Otros productos	El huevo infértil se emplea como alimento (principalmente en repostería) y en la elaboración de artesanías. Con las pestañas se hacen brochas finas y el pico y las uñas se utilizan en joyería. Por otra parte, se han realizando investigaciones con respecto al uso de los tendones del aveestruz en humanos tanto por su relación de fuerza como consistencia y longitud. Asimismo se encontró que el cerebro produce una enzima benéfica que puede ser empleada en el tratamiento del Alzheimer y se está experimentando con el trasplante de córneas también en humanos.

Fuente: López, L. C. (2001)

## 1.4 LA CARNE DE AVESTRUZ

La carne de avestruz presenta una coloración roja con un aspecto visual oscuro tanto por su alto contenido de hemopigmentos como por el pH final que alcanza durante la maduración. Posee bajos niveles de sodio, grasa, calorías y colesterol, pero la misma cantidad y calidad de proteínas. La terneza de esta carne es muy similar a la de bovino, así como su sabor y apariencia general (Blanco, 1998; López, 2000; Sayas, 2000 b). Algunos de los atributos de la carne que resultan de mayor importancia tanto para su calidad como para su transformación industrial son: el pH, el color, la capacidad de retención de agua, la textura y terneza de la misma, así como sus cualidades nutricionales y su estabilidad microbiológica.

### 1.4.1 pH

Cuando el aporte de oxígeno en el músculo es insuficiente o nulo por muerte del animal, sucede la glucólisis anaerobia irreversible o glucólisis post-mortem en la cual el glucógeno es convertido en ácido láctico. Como la circulación sanguínea no puede sacar el ácido de las células, éste se acumula ocasionando el descenso del pH en el músculo. La glucólisis post-mortem continúa hasta que el pH alcanza el valor en el que las enzimas glucolíticas son inactivadas o bien hasta que se da la degradación total de glucógeno o resulta inaccesible o insensible al ataque; este valor es conocido como pH final. En el músculo de los mamíferos, el pH desciende de 7.1 hasta alrededor de 5.4 - 5.5, que es el punto isoelectrico de muchas de las proteínas musculares incluyendo las miofibrillas. Tanto la velocidad como la extensión de caída del pH post-mortem dependen de factores intrínsecos (como la especie y su susceptibilidad al estrés, la variabilidad intra especie, el tipo de músculo y su posición en la carcasa) y extrínsecos (manejo pre-mortem, administración de drogas y anabólicos, temperatura ambiental). El descenso del pH afecta el color, la terneza y la capacidad de retención de agua de la masa muscular de tal manera que cuando cae

rápidamente, la acumulación de ácido láctico y la alta temperatura corporal ocasionan la desnaturalización de las proteínas. Asimismo se favorece la formación de actomiosina, disminuyendo la capacidad de retención de agua, lo cual tiene un efecto negativo en la terneza y el rendimiento de los productos. La dispersión de la luz aumenta por efecto de la estructura muscular y por lo tanto hay una menor interacción de esta con las sustancias cromógenas dando un aspecto pálido al color de la carne. Por otro lado, si el pH no declina la estructura muscular se mantiene intacta (volumen miofibrilar máximo) dándole firmeza y dado que el pH está lejano al punto isoelectrico de las proteínas, su capacidad de retención de agua es alta. La luz incidente puede penetrar en la masa muscular una profundidad considerable y ser absorbida por la mioglobina, afectando además su estado químico ya que posee una baja capacidad de oxigenación; como consecuencia la carne se ve oscura (Lawrie, 1991; Pérez-Álvarez, 2000; Pérez-Chabela, 2000a; Pérez-Chabela 2000b).

La carne de avestruz posee un pH final alto por lo que se clasifica entre normal ( $\text{pH} < 5.8$ ) y DFD extrema ( $\text{pH} > 6.2$ ). Esto favorece su uso en la elaboración de productos procesados por su elevada capacidad de retención de agua; sin embargo, limita el tiempo de conservación, afecta su sabor y puede ocasionar dificultades durante el curado. El descenso del pH durante la conversión de músculo a carne se ve fuertemente influenciado por las condiciones de transporte y presacrificio a las que se somete el animal ya que el estrés ocasiona un descenso del glucógeno ante-mortem con la consecuente reducción en la producción de ácido láctico, aunado a que la carne de avestruz presenta un descenso de pH muy rápido (Angulo, 2001; Blanco, 1998; Hoffman, 2001; Horbañczuk, 1998; Lambooi, 1999a; López, 2001; Otremba, 1999; Paleari, 1998; Sales, 1998; Sales, 1996; Sayas, 2000b).

## 1.4.2 Color

El color es una sensación subjetiva resultado de una serie de respuestas fisiológicas y psicológicas a la radiación electromagnética de las longitudes de onda comprendidas en el intervalo de 400 a 700 nm. En la mayoría de los alimentos, el color se define a partir de aspectos físicos y químicos; considerándola desde el punto de vista físico, el color de la carne es un fenómeno de superficie de un sólido opaco en el cual la luz incidente sufre fenómenos de reflexión, absorción o dispersión y generalmente una escasa transmisión. Químicamente, resulta del efecto producido por sustancias cromóforas de origen hemínico e isoprenoide (carotenos) que contiene. Tanto el color como la decoloración de los alimentos resultan atributos importantes en su comercialización. Aunque no necesariamente reflejan las propiedades nutricionales, funcionales y de sabor, están relacionadas con la preferencia del consumidor basada en la apariencia del producto (Lawrie, 1991; Pérez-Álvarez, 2000).

La mioglobina es un hemopigmento intracelular sarcoplásmico, de coloración rojiza y soluble en agua. Está distribuida en los tejidos de vertebrados e invertebrados siendo su papel fisiológico la participación en la cadena de la fosforilación oxidativa en los músculos. Es una proteína globular, ordenada y plegada específicamente cuya estructura está dividida en grupo proteico y grupo hemo. El grupo hemo es la porción coloreada ya que está constituido por una estructura anular (protoporfirina) enlazada a un átomo de hierro en estado ferroso (Fe II) que presenta seis enlaces de coordinación, cuatro de los cuales están unidos al nitrógeno de cada una de las unidades pirrólicas que lo conforman y el quinto a un residuo de histidina de la cadena polipeptídica de la globina. El sexto ligando se encuentra libre y por lo tanto puede enlazarse con el agua y algunos gases (oxígeno, óxido nítrico, monóxido de carbono u otro) proporcionando una coloración característica en cada caso (tabla 1.4).



**Tabla 1. 4** Ligandos más frecuentes unidos a la sexta posición de la mioglobina.

Pigmento	Ligando en posición 6	Coloración
Mioglobina	Vacía	Rojo púrpura (obscura)
Oximoglobina	Oxígeno	Rojo brillante o cereza
Metamioglobina	Agua (hierro en estado férrico (Fe III))	Marrón obscuro
Carboximioglobina	Bióxido de carbono	Rojo cereza
Nitrosomioglobina	Oxido nítrico	Rojo rozado
Sulfomioglobina*	Ácido sulfúrico	Verdosa
Colemioglobina*	Ascorbato	Verdosa

\* Pigmentos indeseables en la carne que resultan de la acción bacteriana o del procesamiento inadecuado.

Fuente: Pérez, A. J. A., Fernández, L. J., Sayas B. E (2000) y Lawrie (1991).

La mioglobina posee propiedades químicas que se basan en la capacidad de formar complejos iónicos o covalentes con otras moléculas. La interacción de ésta con los diversos gases y con el agua depende del estado de oxidación del hierro, ya sea férrico (Fe III) o ferroso (Fe II). Al oxidarse, el hierro adquiere una carga positiva facilitándose el enlace con ligandos cargados negativamente (nitritos) o con el agua (metamioglobina), siendo incapaz de enlazarse con el oxígeno. Aunque los consumidores asocian el color de la carne fresca al color rojo brillante o rojo cereza proporcionado por la oximioglobina, este parámetro depende de la relación existente entre las concentraciones de mioglobina, oximioglobina y metamioglobina; la intensidad del color depende de la concentración, mientras que el tono depende de su estado químico. La formación de metamioglobina constituye un problema de calidad de la carne; se favorece por valores de pH bajos (acidificación), presencia de aniones, altas temperaturas de procesamiento, contaminación microbiológica y por actividad de enzimas endógenas (Lawrie, 1991; Pérez-Álvarez, 2000; Sayas, 2000b).

El color de la carne de avestruz, tanto cruda como cocida, es similar al de la carne de res. El pH final de ésta ocasiona que las fibras contráctiles se encuentren unidas lo cual impide la difusión de la luz a través de ellas presentando un aspecto oscuro que se corrobora con los valores de luminosidad y tonalidad. Este parámetro se ve afectado por la edad del animal, siendo más roja y oscura en los animales viejos ya que hay una mayor concentración de mioglobina que en la carne de animales jóvenes (Hoffman, 2001; Horbańczuk, 1998; Otremba, 1999; Paleari, 1998; Sales, 1998; Sayas, 2000b).

### 1.4.3 Textura y ternura

La ternura de la carne está relacionada con tres categorías de proteínas en el músculo: las del tejido conectivo (colágeno, elastina, reticulina y mucopolisacáridos de la matriz proteínica), las de la miofibrilla (actina, miosina y tropomiosina) y las del sarcoplasma (proteínas sarcoplásmicas y retículo sarcoplásmico). La elastina es más resistente al calor y a la degradación durante la cocción, sin embargo el contenido de ésta en la mayoría de los músculos es pequeño y por lo tanto resulta un factor de menor importancia en la dureza de la carne; las mucoproteínas, en la que se suspenden las fibras de colágeno y elastina, también son un componente menor. Este parámetro es un reflejo de la capacidad de retención de agua (del contenido de agua que es retenido por las proteínas musculares y de la consecuente capacidad de absorción de las fibras a altos valores de pH). Los cambios que puede sufrir la masa muscular en la distribución de agua en los espacios intra y extracelulares, así como la contracción de las miofibrillas y la naturaleza y orientación del tejido conectivo, son factores determinantes (Aguirre, 1999b; Lawrie, 1991).

La especie influye considerablemente sobre este parámetro ya que se modifica el grado de aspereza en las fibras musculares. Se han observado diferencias debido a la raza que no se asocian al grosor del tejido conectivo sino a otros factores en los que la naturaleza química y la cantidad del mismo están implicadas. La ternura de la carne disminuye con la edad del animal ya que aumenta la estabilidad del colágeno al calor por formación de enlaces entrecruzados que afectan la fuerza de tensión del músculo, resultando una carne más dura que la de los animales jóvenes. Difiere considerablemente entre músculos ya que cada uno posee diferentes proporciones de tejido conectivo en el epimisio, perimisio y endomisio además de que están caracterizados por diferentes tipos de colágeno, esto ocasiona cambios en la cadena polipeptídica con respecto a la formación de enlaces y por consiguiente, cambios en la sensibilidad al calor y en la ternura de la masa muscular. También se ve influenciada por el pH final de la carne de tal manera

que a valores cercanos al punto isoelectrico de las proteínas (pH 5.5), la ternura desciende y a valores mayores se incrementa. Cabe señalar que la cocción de la carne con pH cercano a 5.0 aumenta su dureza debido a una elevada desnaturalización de las proteínas miofibrilares y a un excesivo acortamiento del colágeno (Lawrie, 1991).

En la carne de avestruz, la ternura está determinada por el bajo contenido y la baja solubilidad del colágeno cuando la carne se cocina en condiciones adecuadas lo cual, relacionado con una alta cantidad de proteínas, proporciona una carne con mayor digestibilidad que la de res (Paleari, 1998; Sayas, 2000b).

#### **1.4.4 Capacidad de retención de agua**

La mayoría del agua en el músculo se encuentra en los espacios entre los filamentos gruesos de miosina y los filamentos delgados de actina/ tropomiosina, cuyo tamaño está influenciado por el pH, la longitud de los sarcómeros, la fuerza iónica, la presión osmótica y la condición pre o post-rigor del músculo. Únicamente el 5% del contenido total de agua del músculo puede enlazarse directamente a los grupos hidrofílicos de las proteínas, mientras que la mayoría del agua en el músculo es retenida por fuerzas capilares entre los filamentos. La disminución de la capacidad de retención de agua, con respecto a sus valores *in vivo*, se manifiesta como exudación de fluido en la carne que no ha sido congelada, como goteo en carne descongelada no cocida y como acortamiento en carne cocida lo que se deriva tanto de fuentes acuosas como lipídicas y de tejido conectivo (Lawrie, 1991).

La capacidad de retención de agua está relacionada directamente con el pH final de la carne. La glicólisis post-mortem de un músculo típico procede normalmente hasta un pH de 5.5 por lo tanto se observa un descenso inevitable de la capacidad de retención de agua debida a la muerte del animal. Parte

de la capacidad de retención de agua se debe a las proteínas sarcoplásmicas, las cuales son especialmente afectadas por la velocidad de descenso del pH, ocasionando su desnaturalización. La pérdida de ATP y la subsecuente formación de actomiosina durante el rigor ocasiona pérdida de la capacidad de retención de agua a cualquier pH; esto sucede tanto porque la capacidad de retención de agua de la actomiosina es menor que la de los filamentos separados, como porque el contenido de ATP ocasiona la desnaturalización de las proteínas que requieren energía para su funcionamiento *in vivo* (Lawrie, 1991).

Cuando la carne es sumergida en soluciones salinas como en el proceso de curado, el hinchamiento de las miofibrillas por introducción de agua se debe al incremento del espacio interfilamental, no solo por influencia de las cargas negativas generadas sino por un efecto restrictivo de la sal a la formación de enlaces entre actina y miosina; si dichos enlaces se mantienen, la carne no puede aumentar su volumen considerablemente. Por su parte los productos procesados exudan en mayor grado ya que durante el proceso se destruye la estructura muscular, afectando la retención física de los fluidos; esto sucede aunque la capacidad de retención de agua sea elevada. La naturaleza de estos productos permite manipular directamente este parámetro de manera artificial, por ejemplo con adición de sales de ácidos fuertes como el cloruro de sodio, de sales de ácidos débiles como los fosfatos o bien de una mayor proporción de agua (relación 2:1 con respecto al peso de la carne a la cual se ha demostrado que el porcentaje de retención es mayor). El cloruro de sodio y el pirofosfato afectan tanto el espacio interfilamental (por incremento de componentes con cargas negativas) como las fuerzas que determinan el arreglo regular de los filamentos. Las sales de fosfatos y polifosfatos aumentan la capacidad de retención de agua por efecto en la fuerza iónica y el cambio de pH (Aguirre, 1999a; Aguirre, 1999b; Lawrie, 1991).

La capacidad de retención de agua de la carne de avestruz es menor al compararse con cerdo y pollo y de valores cercanos a los de res y temera; por lo tanto debe considerarse como materia prima de productos similares elaborados con la carne de estas dos especies, ya que ésta es un parámetro que influye notablemente en la calidad del producto final. (Paleari, 1998; Sayas, 2000b).

#### 1.4.5 Propiedades Químicas y Nutricionales

En la tabla 1.5 se indica la composición química de la carne de varias especies. Se observa que la calidad proteínica de la carne de avestruz es similar a la de res y cordero, por lo cual resulta una fuente muy nutritiva en este aspecto. Asimismo, posee un bajo contenido de grasa intramuscular (< 5%) lo que la hace una carne saludable y atractiva para el consumidor; sin embargo, afecta el sabor, la palatabilidad y la jugosidad de la misma, así como su estabilidad microbiológica (Paleari, 1998; Sayas, 2000b).

**Tabla 1. 5** Comparación de la composición entre carne de avestruz y carnes convencionales.

Tipo de carne	Proteínas (%)	Grasa (%)	Colesterol (g/kg)	Calorías (kcal)
Avestruz	23.2	2.0	0.49	97
Pollo	27.0	3.0	0.73	140
Pavo	25.0	3.0	0.59	135
Res	23.0	15.0	0.77	240
Cordero	22.0	13.0	0.78	205
Cerdo	24.0	19.0	0.84	275

Fuente: Sayas B. E, Fernández, L. J., Pérez, A. J. A. (2000 b)

Es de especial importancia el bajo contenido de grasa total y de colesterol de esta carne, ya que resulta una fuente de alimentación ideal para personas con problemas cardiacos y arterioesclerosis. Investigaciones en varias especies indican que a mayor edad se observa un aumento en la grasa intramuscular, en la saturación de los lípidos, en la concentración de mioglobina y en la dureza de la carne por cambios en la naturaleza del tejido conectivo (Hoffman, 2001; Horbafczuk, 1998; Paleari, 1998; Sales, 1998; Sales, 1999; Sayas, 2000b).

También resulta importante mencionar el contenido en minerales de la carne de esta especie (Tabla 1.6). Aunque no se ha realizado una investigación exhaustiva a este respecto, se encontró que el contenido de sodio es menor que el determinado para la carne de pollo y de res, lo cual hace de esta una alternativa de consumo para las personas con problemas cardíacos. Por su parte, también poseen un mayor contenido de hierro con respecto a las especies antes mencionadas, aumentando su valor nutritivo, ya que el hierro de origen cárnico es asimilado por el organismo de manera más completa que el proveniente de algunas verduras y su consumo evita la posibilidad de contraer enfermedades como la anemia (López, 2001; Sayas 2000b).

Tabla 1. 6 Comparación del contenido en sodio y hierro de la carne de tres especies.

Especie	Contenido de sodio (mg/100g)	Contenido de hierro (mg/100g)
Avestruz	43	213
Pollo	77	173
Vacuno	63	180

Fuente. Sayas B. E, Fernández, L. J., Pérez, A. J. A. (2000 b)

#### 1.4.6 Microbiología de la carne (Jay, 1992)

La contaminación de la carne se puede dar por contacto con las piezas sucias (patas, piel, contenido intestinal), por una limpieza deficiente de la maquinaria, de la zona de almacenamiento o de proceso; por el empleo de agua contaminada o a través del aire. Las bacterias entran en el organismo por el sistema sanguíneo, por lo que resulta de especial importancia la desinfección de cuchillos, ganchos y otros utensilios empleados en el seccionamiento de la carne. Otra fuente de contaminación importante es la ropa de los operadores, las manos y la misma limpieza con la que realizan su trabajo. La composición de la flora refleja las fuentes de contaminación y la efectividad de las medidas de higiene. Los microorganismos de alteración más comunes durante la evisceración son *Staphylococcus* no patógenos, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, levaduras y hongos, así como microorganismos fecales y del suelo. Los estreptococos fecales, las bacterias ácido lácticas, *Micobacterium*, algunas especies de bacilos, las levaduras y los

hongos deben estar en números bajos. Las bacterias del género *Pseudomonas*, *Acinetobacter* y *Moraxella*, son la flora predominante de la carne no procesada, refrigerada y no empacada al vacío, mientras que *Brochetrix thermosphacta* crece en la carne empacada. Entre los microorganismos patógenos que pueden encontrarse en las canales están *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium perfringens* y *C. Botulinum*, *Campilobacter jejuni*, coliformes fecales y estreptococos fecales. Estos dos últimos se hallan con frecuencia e indican contaminación por contacto con el tracto gastrointestinal. Los microorganismos psicrótrofos son sensibles al calentamiento por lo que resultan de nula importancia en los productos cocidos. Cabe señalar que el número inicial de bacterias está muy relacionado con el tiempo de descomposición lo cual debe controlarse incluso en la carne destinada a la producción.

La carne de avestruz, congelada y empacada al alto vacío, almacenada en refrigeración debe consumirse en el transcurso de 10 días. Otremba y colaboradores (1999) evaluaron el crecimiento microbiano en carne fresca envasada al vacío, congelada, y almacenada en refrigeración por 28 días. Encontraron que no hay cambio significativo en la cuenta total así como de microorganismos psicrótrofos hasta el séptimo día. Con respecto a las bacterias lácticas, observaron un crecimiento gradual que decae a partir del día 21 lo que indica la fase de muerte. Además se observaron cambios en el aroma con la generación de notas indeseables a partir del día 14. Aunque no se evaluó el sabor de la carne, éste está muy relacionado con el aroma y por lo tanto se esperaría que resultara desagradable a partir del día 14.

### **1.5 EL PROCESO DE CURADO**

El curado consiste en adicionar sales nitrificantes (nitrato de potasio y nitrito de sodio en una mezcla con cloruro de sodio) hasta una concentración de 100- 150 ppm, que es la cantidad máxima permitida en los productos curados y cocidos a la cual se inhiben algunos microorganismos patógenos (principalmente

*Clostridium botulinum*) además de las bacterias causantes de adulteración. Tiene dos objetivos fundamentales: el primero es lograr la estabilidad del producto por disminución de la actividad de agua mediante la adición de cloruro de sodio durante el curado. El segundo es desarrollar las características sensoriales específicas como consecuencia de fenómenos enzimáticos, tanto proteolíticos como lipolíticos, que liberan productos de bajo peso molecular dando al producto el sabor y el aroma característicos (Frey, 1983; Lawrie, 1991; Sayas, 2000a).

### 1.5.1 Bioquímica del curado

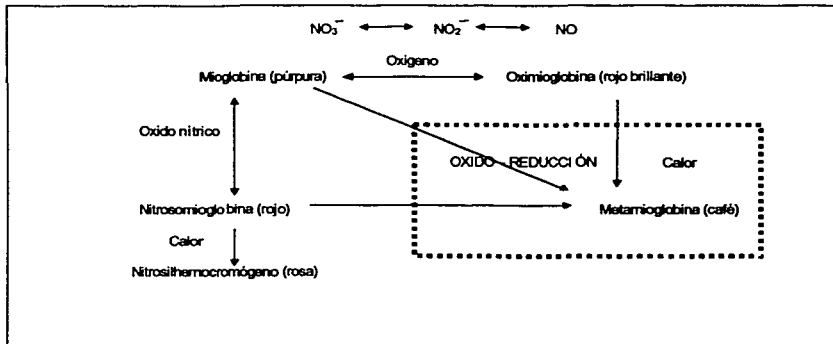
El mecanismo fue investigado por primera vez en 1930 por Callow y fue rectificado en 1988 por Knight y Parsons. Cuando se sumerge la carne en la salmuera, la superficie de la pieza es expuesta a una concentración de sal mucho mayor a la que se establece después de llegar al equilibrio osmótico por lo que se observa una liberación inicial de agua y proteínas solubles del músculo hacia la salmuera debido al aumento en la presión osmótica causado por esta última. Por otro lado, el interior de la pieza está sujeta a un lento incremento de sal desde los valores fisiológicos hasta el valor alcanzado en el equilibrio. Conforme transcurre el tiempo de curado este fenómeno se revierte ya que la sal forma un complejo con las proteínas que tiene una mayor presión osmótica que la salmuera. Normalmente la difusión de cloruro de sodio en el músculo es rápida, estableciéndose el equilibrio en aproximadamente 48 horas con 25% de salmuera. El complejo proteico formado por la difusión de sal al interior posee una mayor capacidad de retención de agua que la carne fresca, lo cual puede deberse a una estructura más extendida o hinchada. El pH de la pieza afecta la difusión de sal de tal manera que en la carne DFD es más rápida; sin embargo, aunque influye de manera positiva en las características sensoriales y en la ternura de la carne además de que disminuye las pérdidas por cocción, se observan defectos en el color y adquiere una consistencia pegajosa. Por su parte el uso de carne PSE en el curado resulta inadecuado ya que la baja capacidad de



retención de agua afecta el proceso por una pobre absorción de sal y excesiva eliminación de agua, confiriendo una consistencia reseca y fibrosa. Además el aumento en la capacidad de retención de agua que se da por la incorporación de sal al interior, no se alcanza debido a daños causados en las proteínas musculares durante la glicólisis post- mortem. Además el curado con salmuera a pH ácido (aproximadamente 4.5) incrementa la desaparición de nitrato, precipita las proteínas en la salmuera y afecta la calidad de los productos curados (Lawrie, 1991).

El característico color rojo de los productos curados crudos, se debe a la formación de nitrosomioglobina (Figura 1.2). *In Vitro*, los nitratos y nitritos agregados se transforman en óxido nítrico, que se combina con la mioglobina de manera directa, aunque el mecanismo es un poco más complicado. La oxidación de oximioglobina a metamioglobina y de nitrato a óxido nítrico se debe probablemente a los sistemas enzimáticos activos del músculo (Lawrie, 1991).

Figura 1. 2 Reacciones de nitrosación de la mioglobina en diferentes estados químicos.



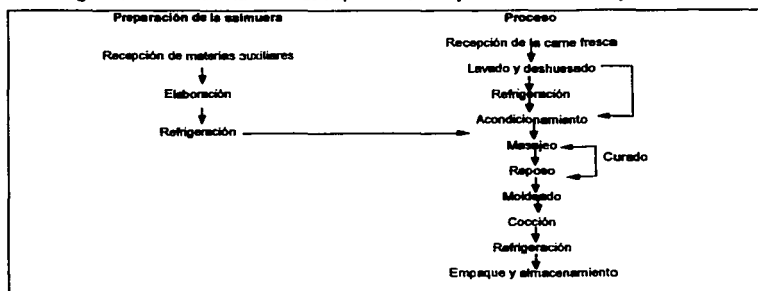
Fuente: Lawrie, R. A. (1991).

La formación de nitrosomioglobina sucede de la siguiente manera: primero el nitrito reacciona con oximioglobina para formar metamioglobina lo cual es acelerado por aquellos factores que ocasionen la desnaturalización de la proteína, por la ausencia de agentes reductores o por una baja tensión de oxígeno (estos mismos factores favorecen la estabilidad del color de los productos curados). Posteriormente, el nitrito oxida al ferrocitocromo C a nitroso- ferricitocromo C, catalizado por la citocromo oxidasa. El grupo nitroso es transferido del nitroso- ferricitocromo C a la metamioglobina mediante la citocromo C reductasa con NADH como cofactor, produciendo nitroso- metamioglobina que es reducida a nitroso- mioglobina por el sistema enzimático remanente en el músculo (mitocondrias) o por autorreducción en condiciones anaerobias; en presencia de oxígeno se degrada a metamioglobina. La estabilidad del color curado es mayor cuando la nitrosomioglobina se convierte en nitrosilhemocromógeno por desnaturalización de la fracción proteínica por ejemplo durante la cocción (Lawrie, 1991; Pérez – Álvarez, 1998).

### **1.5.2 Proceso**

Antiguamente la sal se dispersaba sobre la superficie de la carne o bien, sumergiendo las piezas en soluciones de sal o salmueras; ambos métodos siguen aplicándose en la actualidad. Otros métodos desarrollados en los últimos años incluyen el bombeo vascular y la inyección múltiple de soluciones salinas. Cuando el proceso de curado se lleva a cabo mediante inmersión (figura 1.3) la salmuera se adiciona en un 15 a 20 %, seguido de un proceso de masajeado y malaxado. La correcta elección de la materia prima y la utilización de las sustancias curantes, así como la tecnología aplicada en cada etapa permiten obtener buenos productos que satisfagan tanto al fabricante como al consumidor (Sayas, 2000a).

Figura 1.3 Proceso de elaboración de un producto curado y cocido mediante masaje mecánico.



Fuente: Sayas, B. E., Fernández, L. J., Pérez - Álvarez, A. J. (2000 a)

Amasado y malaxado: el tratamiento mecánico ocasiona mejoras en la calidad del producto, en especial en la blandura, la jugosidad y la cohesión de los fragmentos; también influye en el rendimiento del producto cocido. La diferencia entre amasado y malaxado estriba en la intensidad del tratamiento mecánico, siendo la primera una operación más suave. Tanto el tiempo como la intensidad deben ser controladas ya que el sobreprocesamiento confiere una apariencia pastosa. Esta etapa se lleva a cabo en refrigeración (máximo 8°C) para evitar el calentamiento de la porción tratada lo que ocasiona una mala cohesión de los fragmentos, una insuficiente coloración y poca estabilidad del color; además las altas temperaturas favorecen la proliferación de microorganismos. Por otra parte, el malaxado a muy bajas temperaturas ocasiona deficiencias en el curado, requiriendo mayores tiempos de aplicación (Frey, 1983; Lawrie, 1991; Sayas, 2000a).

Cocción: debe programarse de manera que se compaginen la capacidad de conservación, el desarrollo y la estabilidad del color, la textura, el sabor y el rendimiento del producto. Para ello se controla el tiempo, la temperatura de cocción y la temperatura interna de la pieza. Por lo general, la cocción se aplica hasta

alcanzar una temperatura interna de  $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . El calentamiento por debajo de la temperatura interna requerida ocasiona deficiencias en la formación de color y en la estabilidad del mismo, mientras que el calentamiento excesivo (mayor a  $75^{\circ}\text{C}$ ) da una consistencia reseca y estoposa, con elevadas pérdidas de peso y alteraciones en la superficie del producto (Frey, 1983; Lawrie, 1991; Sayas, 2000a).

**Almacenamiento y empaque:** durante esta etapa, el producto debe mantenerse jugoso y por lo tanto se deben evitar pérdidas de peso por resequedad de la superficie. Se recomienda conservar las piezas en refrigeración ( $0$  a  $10^{\circ}\text{C}$ ) y emplear empaques impermeables al oxígeno y sellados al vacío (Frey, 1983; Lawrie, 1991; Sayas, 2000a).

Los productos curados y cocidos son valorados por las características sensoriales que adquieren tras el proceso y no por su capacidad de conservación, que por lo general es de dos semanas en refrigeración. Deben presentar un sabor suavemente condimentado con un típico aroma a carne; un color estable bien enrojecido; consistencia tierna y jugosa, además de un rendimiento aceptable. El deterioro de estos productos durante el almacenamiento sucede primero por decoloración, segundo por rancidez oxidativa de las grasas y por último debido a cambios ocasionados por contaminación microbiana. La estabilidad de este producto se logra por aumento de la temperatura durante la cocción y almacenamiento en refrigeración, por el efecto neto de la adición de sales y el procesamiento en el descenso de la actividad de agua, además del uso de conservadores y en algunos casos el desarrollo de flora competitiva (Frey, 1983; Lawrie, 1991; Liestner, 1995; Sayas, 2000a).

### 1.5.3 Evaluación del desarrollo del curado

A partir del espectro de reflexión se pueden calcular índices o cocientes de longitudes de onda que determinan el grado de modificación del color por el proceso de curado y el estado químico de la mioglobina que predomina en la carne, sin alterar la muestra. Dado que la determinación del color por espectrofotometría de reflectancia puede ser afectada por la estructura del músculo, la orientación de las fibras, la humedad de la superficie, el contenido de grasa y tejido conectivo además de la concentración de pigmentos, estos índices disminuyen la variación debida a dichos factores (Hunt, 1991; Kropf, 1984).

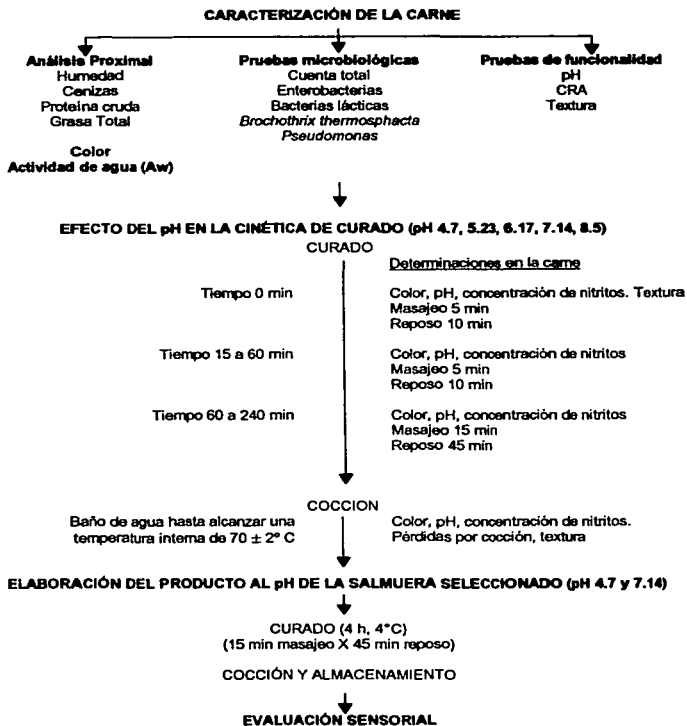
Índice de Nitrosación ( $IN = \%R560 / \%R500$ ): indica la relación entre el contenido de mioglobina y nitrosomioglobina ( $IN = Mb/NOMb$ ), por lo tanto es una medida de la eficiencia del proceso. Cuanto menor es este índice mayor es la proporción de nitrosopigmentos (color rojo brillante) y por el contrario, cuanto mayor es el índice menor es la proporción de dichos pigmentos (color rojo marrón).

Índice de decoloración ( $ID = \%R650 / \%R570$ ): permite estimar la proporción de pigmentos  $Fe^{2+}$  ( $Mb$  y  $NOMb$ ) y los pigmentos  $Fe^{3+}$  ( $MeMb$ ) ( $ID = (Mb + NOMb)/MeMb$ ). La disminución de este cociente indica la oxidación de la mioglobina nativa a metamioglobina debido a la alteración de los pigmentos ferrosos que no están suficientemente estabilizados; es particularmente sensible a la intensidad de desarrollo del color curado e indica también pérdidas de color en el producto.

Índice de transformación de pigmentos ( $ITP = \%R630 / \%R580$ ): ( $ITP = OMb/MeMb$ ) es un buen indicador de los cambios de color en la carne fresca y de los cambios del marrón al rojo en la carne cocida. También se ha aplicado en estudios del color en productos crudo curados.

## 2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1 Diseño Experimental



## 2.2 Metodología

La materia prima provino de un criadero de avestruces ubicado en Monterrey, N. L. que se dedica tanto a la cría y reproducción de los animales como a su sacrificio y elaboración de productos procesados (se desconoce la razón social). Se sabe que los animales fueron sacrificados entre los 12 y 14 meses de edad pero no se conoce el método de sacrificio. También se sabe que la canal se sometió a refrigeración por 15 horas a 4°C, transcurrido el tiempo se llevó a cabo la separación de las masas musculares y el empaque de las mismas al alto vacío. No se conoce el régimen alimenticio, el sexo del animal o la edad exacta de sacrificio; tampoco se pudo controlar la manipulación de las piezas desde el criadero en Monterrey, N. L. hasta el intermediario. Se trabajó con cuatro piezas de aproximadamente 1 kg, provenientes todas del mismo animal. De acuerdo con el diagrama empleado por la Canadian Ostrich Association (Sayas, 2000b) corresponderían a las masas musculares *M. iliofibularis* y *M. gastrocnemius*, aunque esto no pudo ser corroborado. Los paquetes empacados al vacío y congelados fueron transportados en una hielera desde el establecimiento del intermediario (Rancho Avestruz; Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.) hasta el laboratorio de Bioquímica de Macromoléculas (UAM Iztapalapa, D.F.) donde se almacenaron en congelación hasta 24 horas antes de su uso, permitiendo una descongelación lenta a 4°C.

### 2.2.1 Caracterización de la muestra

Primero se realizó la caracterización de las muestras empleadas con el fin de garantizar su calidad nutritiva y microbiológica para lo cual se llevó a cabo tanto el análisis proximal como la determinación de la actividad de agua y pruebas microbiológicas específicas. Asimismo, se evaluó el color de la carne antes del proceso y las propiedades funcionales más importantes para el mismo como son: el pH, la textura y la capacidad de retención de agua. Todas estas pruebas se describen a continuación.

### 2.2.1.1 Análisis proximal

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y se calculó la media y desviación estándar de los datos obtenidos.

**Humedad:** Se determinó mediante diferencia de peso, retirando la humedad de la carne por calentamiento en un horno de convección RIOSSA HS – 41 (Ríos Rocha S. A., D. F., México) a la temperatura de evaporación del agua (90-100° C) durante veinticuatro horas.

**Cenizas totales:** Se calcinó la muestra a 550° C en una mufla Lindberg (Lindberg, D. F., México) para degradar la materia orgánica hasta peso constante (aproximadamente 2 horas) considerando como cenizas todo el material inorgánico que no sufrió un proceso de combustión. El contenido de cenizas se determinó por diferencia de peso.

**Proteína cruda (micro-Kjeldahl):** Se llevó a cabo la oxidación de la materia orgánica por adición de ácido sulfúrico y calentamiento a 300-360° C; el nitrógeno liberado se retuvo como sal de sulfato de amonio. Posteriormente se agregó un álcali fuerte (Sosa concentrada 1:1) para ocasionar el desprendimiento del amoniaco y su retención en una solución de ácido bórico, empleando un equipo de micro – Kjeldahl marca Labconco (Proveedor Científico S. A., D. F., México). Por último, se determinó la concentración del borato de amonio por titulación directa con ácido clorhídrico 0.1 N.

**Grasa cruda:** Se llevó a cabo la extracción del material lipídico con una mezcla de hexanos empleando un aparato Soxtec – system HT2 (Tekator, Höganäs, Suiza). Posteriormente se cuantificó el contenido graso mediante métodos gravimétricos para lo cual se evaporó la mezcla disolvente y el residuo se calentó en un horno de convección RIOSSA mod. HS – 41 (Ríos Rocha S. A.; México, D. F.) a 75-80° C.



### 2.2.1.2 Pruebas Microbiológicas

Estas pruebas se realizaron por duplicado empleando una sola pieza de carne de avestruz. Para ello se homogenizaron 10 g de carne con 90 mL de agua destilada estéril empleando una licuadora convencional (Oster, Bartlesville, E. U. A.). A partir de esta dilución ( $10^{-1}$ ) se realizaron diluciones seriadas empleando agua destilada estéril como diluyente. Para la cuenta microbiana se inocularon 0.1 mL de las diluciones pertinentes en la superficie de los siguientes medios de cultivo: agar para el recuento total en placa (Bioxon, Cuautitlán Izcalli, México), agar Bilis Rojo Violeta (Bioxon, Cuautitlán Izcalli, México) para el recuento de enterobacterias, agar MRS (Merck, Dramstadt, Alemania) para bacterias lácticas, medio selectivo GSP para *Pseudomonas* con la adición de 10,000 U. I de penicilina G sódica por litro de medio (Stainer et al, 1966) y agar STAA (Gardner, 1966) para la enumeración de *B. thermosphacta*. Todos los medios se incubaron en una incubadora Felisa 133 ( Fabricantes de Equipos para Laboratorio e Industria S. A., Guadalajara, México) a una temperatura de 35 a 37 °C por 24 horas a excepción del medio para *Pseudomonas* que demandó 48 horas de incubación a temperatura ambiente.

### 2.2.1.3 Pruebas de funcionalidad

Determinación del pH: Se homogenizaron 5g de carne con 50mL agua destilada y se midió el pH empleando un potenciómetro Beckman (Beckman, Fullerton, E. U. A.) previamente calibrado con las soluciones de referencia (pH 4.0 y pH 7.0).

Capacidad de retención de agua: Se determinó mediante centrifugación a 4,000 rpm por 20 minutos en una centrífuga Centra CL3 – R (International Equipment Company, E. U. A.) y decantación del sobrenadante no retenido de un homogenizado de carne (5g) en solución de cloruro de sodio 0.6 M (8 mL) el cual se colocó en un baño de hielo por 30 minutos, calculando la cantidad de solución retenida por 100 g de muestra.

Textura (esfuerzo al corte medido en Newton (N)). Las muestras se analizaron con un texturómetro TX-2 (Texture Technologies, Corp., Nueva York, E. U. A.) acoplado al software Texture Expert v1.2 (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, Inglaterra) para lo cual se sometieron a un tratamiento térmico en baño de agua hasta alcanzar una temperatura interna de  $70 \pm 2^\circ\text{C}$ , se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se cortaron en cubos de 1 cm de lado. Finalmente, se realizó una prueba de esfuerzo al corte en sentido perpendicular a las fibras musculares, empleando una navaja de Warner-Bratzler. Los parámetros que se consideraron en esta prueba se muestran en la tabla 2.1

**Tabla 2.1** Parámetros empleados en la prueba de Warner-Bratzler

Parámetro	Valor
Forma de la muestra	Cubos (1 cm de lado)
Carga de carga	5000 g
Tiempo	30 segundos
Velocidad	1 mm/s
Temperatura interna de la muestra	Temperatura ambiente
Aplicación de la fuerza con respecto a las fibras musculares	Perpendicular

#### 2.2.1.4 Determinación de los parámetros del color

Para evaluar el color de la carne de avestruz se empleó un colorímetro Hunter Lab modelo 11491 (*Color Flex*, E. U. A.) calibrado con estándares a  $L^* = 94.35$ ,  $a^* = 1.0$  y  $b^* = 1.9$ . Las muestras se analizaron por cuadruplicado, rotando el portamuestras  $90^\circ$  en cada lectura. A continuación, los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , se transformaron a coordenadas polares con el fin de obtener los valores de cromaticidad y tonalidad de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Tonalidad} &= \tan^{-1}(b/a) \\ \text{Cromaticidad} &= (a^2 + b^2)^{1/2} \\ \text{Donde } a: & \text{ coordenada de color (rojo - verde)} \\ b: & \text{ coordenada de color (amarillo - azul)} \end{aligned}$$

Del espectro de reflectancia se obtuvieron los valores correspondientes para el cálculo del índice de nitrosación ( $IN = \%R560 / \%R500$ ), del índice de decoloración ( $ID = \%R650 / \%R570$ ) y del índice de transformación de pigmentos ( $ITP = \%R630 / \%R580$ ).

### 2.2.1.5 Actividad de agua (Aw)

Se cubrió el fondo de un portamuestra con la carne molida y se determinó la relación entre la presión de vapor de la carne y la presión de vapor del agua empleando el equipo de medición de la actividad de agua Decagon CX – 1 (Decagon Inc., Pullman, Washington, E. U. A.).

### 2.2.2 Efecto del pH en la cinética de curado

En una segunda etapa se aplicó el proceso de curado ajustando el pH de la salmuera a cuatro valores (4.7, 5.23, 6.17 y 8.5) seleccionados de manera aleatoria de acuerdo con una mayor o menor capacidad de retención de agua. Para ello se agregó fosfato monobásico de potasio y fosfato dibásico de sodio de acuerdo con los siguientes cálculos:

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{B}]}{[\text{HB}]} \dots\dots\dots (1)$$

donde:

$$\text{pH} = \text{valor seleccionado para la salmuera (4.7, 5.23, 6.17 u 8.5)}$$

$$\text{pKa} (\text{H}_2\text{PO}_4/\text{HPO}_4^{2-}) = 7.2$$

[B] = Concentración Molar de fosfato dibásico de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) (mol / L)

[HB] = Concentración Molar de fosfato monobásico de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) (mol / L)

(El ajuste del pH de la salmuera al valor de 7.14 se hizo mediante la adición de la mezcla comercial de fosfatos marca Hamine®)

despejando la ecuación 1 se tiene la expresión para la concentración molar de la base (ecuación 2):

$$[\text{B}] = [\text{HB}] * 10^{(\text{pH} - \text{pKa})} \dots\dots\dots (2)$$

Para obtener la ecuación (2) expresada en porcentaje de adición se convierte la concentración molar a g / L mediante el peso molecular.

$$\text{P. M. } (\text{KH}_2\text{PO}_4) = 136.09 \text{ g/ mol}$$

$$\text{P. M. } (\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 142.00 \text{ g/ mol}$$

Considerando el volumen final de la salmuera y la cantidad de carne a la cual se aplicará el proceso de curado en ambos términos de la ecuación (2) se tiene que:

$$B = \text{HB} * (136.09/142.00) * 10^{(\text{pH} - \text{pKa})} \dots\dots\dots (3)$$

Se sabe que la concentración de fosfatos máxima permitida es de 0.5% por lo tanto:

$$B + \text{HB} = 0.5 \text{ g/100 g muestra} \dots\dots\dots (4)$$

Para obtener los valores de B y de HB (en porcentaje de adición) se sustituye la ecuación 3 en la ecuación 4.

La salmuera se preparó considerando los porcentajes de adición de los ingredientes enlistados en la tabla 2.2, midiendo el pH de la misma antes de verterla junto con la carne en la masajeadora. Para los tratamientos en los que se ajustó el pH de la salmuera se agregó fosfato monobásico de potasio y fosfato dibásico de sodio de acuerdo con la tabla 2.3.

**Tabla 2.2** Formulación de la salmuera empleada para evaluar el efecto del pH en la cinética del curado.

Ingrediente	Porcentaje de adición (g / 100 g de carne)
Sal de mesa	1
Azúcar	0.5
Fosfatos	0.5
Eritorbato de sodio	0.045
Nitrito de sodio	0.015
agua	30

**Tabla 2.3** Porcentaje de adición de fosfatos para el ajuste del pH de la salmuera.

pH de la salmuera	Fosfato monobásico de potasio (%) *	Fosfato dibásico de sodio (%) *	Mezcla comercial de fosfatos (Hamine) (%)	pH real
4.7	0.4985	0.0015	—	4.71±0.01
5.23	0.4949	0.0051	—	5.24±0.04
6.17	0.4590	0.0410	—	6.15±0.02
7.14	—	—	0.5	7.16±0.03
8.5	0.0249	0.4755	—	8.49±0.01

\*Se agregó fosfato monobásico de potasio y fosfato dibásico de sodio hasta una concentración de 0.5 g / 100 g de carne.

El proceso se llevó a cabo mediante inmersión separando porciones de 150 g de carne de avestruz que se cortaron en cubos de 10 g cada una, utilizando una porción de carne fresca como control. Se colocaron las piezas restantes en una masajeadora casera y se agregó la salmuera. A continuación se aplicó el masajeo por 5 min a la velocidad mínima y 10 min de reposo hasta completar la primera hora. Cada 15 minutos se retiró una pieza de carne para realizar las determinaciones de color, de pH y de nitritos. Después de la primera hora, los intervalos de masajeo y reposo se extendieron a 15 y 45 minutos respectivamente hasta cumplir las cuatro horas de proceso, retirando una pieza de carne al término de

cada etapa de reposo para realizar las determinaciones antes mencionadas. Terminado el mismo se llevó a cabo la cocción de las piezas sobrantes (hasta  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  en baño de agua) para evaluar el efecto de esta operación en el color, el pH, la concentración de nitritos, la textura y las pérdidas por cocción de la carne.

**Determinación de nitritos:** (Laboratorio Nacional de Salud Pública, 1989) La muestra molida se homogenizó con agua libre de nitritos y se calentó a  $80^\circ\text{C}$  por espacio de 2 horas, se llevó al aforo a 100 mL y se tomó una alícuota de 2.5 mL a la que se agregó el reactivo de Griess en relación (25:1), se dejó reposar y exactamente 20 minutos después, se determinó la absorbancia a 520 nm con un espectrofotómetro Beckman DU - 650 (Beckman, Fullerton, E. U. A.). La lectura de absorbancia se comparó contra una curva de calibración (Anexo 1, Figura A. 1. 1) preparada con una solución estándar de nitrito de sodio (empleando reactivo de Griess diluido como blanco) y la concentración de nitritos en la carne se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{ppm de nitritos} = \frac{L(\text{mg})}{2.5\text{mL}} \cdot \frac{100\text{mL}}{\text{p.m. (g)}} \cdot \frac{1000\text{g}}{\text{kg}}$$

donde L: lectura obtenida de la curva de calibración (mg)  
p.m.: Peso de la muestra (g)

**Pérdida por cocción:** se colocó la carne en bolsas de plástico y se determinó el peso inicial. Se aplicó el proceso de cocción en baño de agua hasta alcanzar la temperatura de  $70 \pm 2^\circ\text{C}$ , el peso final se determinó en frío después de decantar la fase líquida. La pérdida por cocción se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Pérdidas por cocción} = \frac{\text{Peso carne fresca} - \text{Peso carne cocida}}{\text{Peso carne fresca}} \cdot 100$$

Cinética de difusión de nitritos: Para evaluar el efecto del pH de la salmuera en la difusión de nitritos y el pH de la carne durante el proceso de curado se trabajó con el promedio de pH cárnico y concentración de nitritos de las tres muestras evaluadas en función del tiempo de inmersión. Se empleó el paquete de simulación Sigma Plot versión 5.0 (SPSS Inc., E. U. A. ) el cual proporciona la o las ecuaciones que describen la tendencia de los datos experimentales en función del tiempo de inmersión además de gráficas tridimensionales teóricas, calculadas mediante la ecuación seleccionada modificando el tiempo de inmersión y el pH de la salmuera a los valores que no se consideraron en el diseño experimental. A partir de los datos teóricos que proporciona el programa se obtienen los valores de concentración de nitritos y pH cárnico en el estado estable (después de 100 minutos) con los cuales se seleccionan las respectivas ecuaciones que permiten predecir el contenido final de nitritos y el pH cárnico final, ambos en función del pH de la salmuera.

### **2.2.3 Prueba Sensorial**

Se elaboraron dos productos curados y cocidos con carne de avestruz, uno ajustando el pH de la salmuera al valor de 4.7 y el otro agregando la mezcla comercial de fosfatos marca Hamine® (ajuste de pH al valor de 7.14) empleando una formulación más completa (Tabla 2.4). La carne se cortó en porciones de 10 g y se vertió junto con la salmuera en la masajeadora casera. El proceso se aplicó mediante masajeo discontinuo de 15 min por 45 minutos de reposo hasta completar cuatro horas. Terminado este tiempo se llevó a cabo el forjado cubriendo la carne con una manta y golpeando el molde para extraer el aire ocluido. La cocción se aplicó en baño de agua hasta alcanzar una temperatura interna de  $70 \pm 2$  °C. Al término de esta etapa las piezas se sacaron de la forja y se refrigeraron hasta que se aplicó la prueba sensorial (aproximadamente 18 horas).

**Tabla 2. 4** Formulación empleada en la elaboración de los productos para la prueba sensorial.

Ingrediente	Porcentaje máximo permitido** (g/100 g de carne)	Porcentaje de adición (g/100 g de carne)
Sal de mesa	BPM	1.0
Azúcar	2.0	0.5
Fosfatos*	0.5	0.5
Condimento para jamón	BPM	0.7
Carragenina	1.5	0.3
Extensor (harina de trigo)	10.0	8.0
Estabilizador de sodio	0.05	0.045
Nitrito de sodio	0.0156	0.015
agua	—	30

\*Para la muestra a pH de la salmuera de 4.7 se agregó fosfato monobásico de potasio y fosfato dibásico de sodio en los mismos porcentajes considerados en la etapa anterior (tabla 2.3).

\*\* NOM - 122 - SSA1 - 1994 para productos de la carne. Productos curados y cocidos.

Se aplicó una prueba afectiva a 30 jueces. Las muestras evaluadas fueron: salchichón de res y cerdo marca Tangamanga®, el producto elaborado con carne de avestruz al pH de la salmuera de 4.9 y el producto elaborado también con carne de avestruz al pH de la salmuera de 7.14 (mezcla comercial de fosfatos marca Hamine®). Las muestras se sirvieron a la temperatura de refrigeración (4 - 7° C) en vasos transparentes, empleando galletas saladas como medio de enjuague; cada muestra se codificó y se colocó en la charola de manera aleatoria. Se proporcionó a los jueces agua de tomar y el cuestionario de las figuras 2.1 y 2.2. En dicho cuestionario se pidió que evaluaran los atributos enlistados (apariencia general, color, aroma, suavidad y sabor) de acuerdo con su nivel de preferencia, marcando con una cruz sobre una escala no estructurada de 10 cm. También se incluyó una prueba de ordenamiento por rangos en la cual se pidió a los jueces que ordenaran las muestras de mayor a menor de acuerdo con su preferencia.

Los resultados de la prueba afectiva se analizaron mediante el cálculo del rango de proporcionalidad para lo cual se sacó la diferencia de las calificaciones obtenidas para cada atributo, comparando cada producto elaborado con la carne de avestruz contra el producto comercial y después entre ellos. Ya obtenida la diferencia se realizó el conteo de los valores positivos y negativos que se generaron. A continuación se obtuvo el valor de proporcionalidad mediante el siguiente cálculo:

$$(P = \Sigma \text{ signos positivos } / n)$$

donde:  
 P = proporcionalidad  
 n = número de jueces

Por último se aplicó el estadístico de prueba, considerando que si el valor de  $P = 0.5$  cae dentro del rango calculado entonces no existe diferencia significativa entre los productos para el atributo evaluado. Si el rango de C es menor a 0.5 el producto elaborado con la carne de avestruz resulta deficiente y si es mayor a 0.5, entonces el producto comercial es deficiente.

$$C = P \pm 1.96 \left( \sqrt{\frac{0.25}{n}} \right)$$

donde:  
 C = Rango de proporcionalidad  
 P = proporcionalidad  
 n = número de jueces

En cuanto a la prueba de ordenamiento por rangos se aplicó el análisis estadístico de acuerdo con lo reportado por Newell y Mac Farlane (1987).

#### 2.2.4 Análisis estadístico

Para determinar el efecto del pH en la cinética de curado se analizaron los parámetros evaluados en tres muestras de aproximadamente 10g por tiempo de inmersión, todas provenientes de la misma pieza de carne. Para ello se aplicó un diseño aleatorio simple obteniendo la correlación entre todos los parámetros mediante la prueba de Pearson. Con respecto al producto curado y cocido, se analizaron los parámetros de pH, color, concentración de nitritos, pérdidas por cocción y textura en tres muestras por tratamiento; se aplicó la prueba de análisis de varianza y se determinó la diferencia entre los tratamientos mediante la técnica de Duncan (comparación múltiple de medias). El análisis se realizó empleando el paquete estadístico SPSS para Windows, versión 8.0 (SPSS Inc., E. U. A.)



**CUESTIONARIO**

Producto: Producto cárnico curado y cocido tipo Jamón.

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: 9 de Agosto de 2002

Edad: \_\_\_\_\_

Frente a usted tiene cuatro muestras, evalúe los atributos que se enlistan de acuerdo a su preferencia y marque con una cruz la distancia a la que se encuentra de acuerdo con la escala que se le proporciona. Coma un poco de galleta entre cada muestra para evitar la saturación.

Muestra número: \_\_\_\_\_

**APARIENCIA GENERAL**

\_\_\_\_\_

**COLOR**

\_\_\_\_\_

**AROMA**

\_\_\_\_\_

**SUAVIDAD**

\_\_\_\_\_

**SABOR**

\_\_\_\_\_

Muestra número: \_\_\_\_\_

**APARIENCIA GENERAL**

\_\_\_\_\_

**COLOR**

\_\_\_\_\_

**AROMA**

\_\_\_\_\_

**SUAVIDAD**

\_\_\_\_\_

**SABOR**

\_\_\_\_\_

**Figura 2. 1** Cuestionario aplicado durante la prueba de evaluación sensorial (primera hoja).

Muestra número: \_\_\_\_\_

APARIENCIA GENERAL		
COLOR	Muy mala	Muy buena
AROMA	Muy malo	Muy bueno
SUAVIDAD	Muy malo	Muy bueno
SABOR	Muy dura	Muy blanda
	Muy malo	Muy bueno

Muestra número: \_\_\_\_\_

APARIENCIA GENERAL		
COLOR	Muy mala	Muy buena
AROMA	Muy malo	Muy bueno
SUAVIDAD	Muy malo	Muy bueno
SABOR	Muy dura	Muy blanda
	Muy malo	Muy bueno

A continuación por favor ordene las cuatro muestras de mayor a menor, de acuerdo con su preferencia, marcando en cada línea la clave correspondiente. Recuerde comer un poco de galleta entre cada muestra.

\_\_\_\_\_  
 Mayor agrado \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ Menor agrado.

¡Muchas gracias!

Figura 2. 2 Cuestionario aplicado durante la prueba de evaluación sensorial (segunda hoja).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Caracterización de la muestra

##### Análisis proximal y pruebas funcionales

Como se observa en la tabla 3.1, la carne empleada en este proyecto experimental posee un pH adecuado para la elaboración de productos curados y cocidos. Por otra parte el contenido de humedad y el contenido de ceniza son menores a lo reportado en la literatura mientras que el contenido de proteína total y grasa son mayores corroborándose las propiedades nutricionales de la carne de esta especie (Sayas, 2000b). Esta carne posee altos valores de actividad de agua por lo tanto es susceptible de contaminación microbiológica. Asimismo presenta valores de luminosidad, tonalidad y cromaticidad mayores a los reportados anteriormente lo cual puede ser un reflejo de la alimentación, del método de sacrificio y de la manipulación de las piezas ya que dependen del estado químico de la mioglobina (Paleari, 1998; Sales, 1998; Sayas, 2000b). La capacidad de retención de agua es menor al 50 % por lo que se deben esperar bajos rendimientos después de aplicar la cocción. Por último la fuerza requerida para realizar un corte en la carne cocida es elevada lo cual tiene relación con el pH cármico que ocasiona la disminución del volumen miofibrilar por formación de enlaces entre actina y miosina afectando la capacidad de retención de agua y la dureza de la misma ya que las proteínas se mantienen intactas; además el contenido de colágeno ejerce una influencia negativa en este aspecto al aplicar el proceso de cocción (Lawrie, 1991).

Tabla 3. 1 Análisis proximal y pruebas funcionales en la carne fresca de avestruz.

Parámetro	Promedio de los datos reportados en la literatura*	Promedio de los datos experimentales
pH	6.00±0.18	6.08±0.02
Humedad (%)	76.10±0.93	75.81±0.17
Proteína (N <sub>t</sub> * 6.25) (%)	20.27±2.47	26.21±0.43
Grasa Total (%)	1.52±0.07	1.98±0.06
Cenizas (%)	0.96±0.58	0.93±0.07
Actividad de agua (a <sub>w</sub> )	—	0.97±0.003
C. R. A. (%)	—	46.73±4.31
L*	29.55±7.13	37.51±1.28
H*	23.62±8.39	47.88±0.51
C*	14.67±8.67	18.68±1.24
Textura (esfuerzo al corte, N)	—	26.79±1.87

\*Fuente: Fisher, (2000); Hoffman, (2001); Horbańczuk, (1998); Otremba, (1999); Paleari, (1998); Sales, (1998); Sayas, (2000b).

## Análisis Microbiológico

Con respecto a la calidad microbiológica (tabla 3.2) los valores obtenidos para la cuenta total y para las bacterias lácticas fueron similares; esto se debe a que las condiciones de almacenamiento (empaquete al vacío y refrigeración) favorecen el crecimiento de estas últimas sobre otros microorganismos. Con respecto a la determinación de *Pseudomonas*, el crecimiento de este tipo de bacterias alterantes indica una mala manipulación de la carne en el empaque (deficiencias en el sellado) y una mala refrigeración ya que ambas condiciones detienen su crecimiento cuando son aplicadas correctamente. Esta es una especie que comúnmente se encuentra en la carne fresca y los niveles de crecimiento no indican que la muestra haya sido manipulada de manera incorrecta, desgraciadamente ninguna de las determinaciones aquí realizadas se incluyen en alguna Norma Mexicana que pudiera servir como referencia. En cuanto a las bacterias coliformes se observan bajos niveles de crecimiento con respecto a la cuenta total y a las bacterias lácticas, sin embargo no se sabe qué especies son las predominantes requiriéndose la determinación de bacterias como *Salmonella* o *E. coli*. Por último no se observó crecimiento de *B. thermosphacta* que es otra bacteria causante de alteración en carne envasada al vacío.

Tabla 3. 2 Análisis microbiológico de la carne fresca de avestruz.

Determinación	Promedio de los datos experimentales	
	UFC/ g	log UFC/g
Cuenta Total	1.00E+03	3.0
<i>Pseudomonas</i>	2.00E+1	1.3
Coliformes	2.10E+1	1.32
Bacterias lácticas	1.00E+3	3.0
<i>Brochoitrix thermosphacta</i>	Negativo en 10 g	Negativo en 10 g

### 3.2 Efecto del pH en la cinética de curado

El descenso del pH ocasiona la desnaturalización de las proteínas por la acumulación de ácido láctico y la alta temperatura corporal además de que favorece la contracción muscular lo cual tiene un efecto negativo en la terneza y en el rendimiento de los productos (disminución de la capacidad de retención de agua). Asimismo afecta la dispersión de la luz por efecto de la contracción muscular observándose una menor interacción de esta con las sustancias cromógenas dando un aspecto pálido al color de la misma. Por el contrario, cuando el pH no declina la estructura muscular se mantiene intacta dándole firmeza y manteniendo una alta capacidad de retención de agua. La luz incidente penetra en la masa muscular una profundidad considerable y es absorbida por la mioglobina proporcionando una coloración oscura a la carne (Pérez – Álvarez, 2000).

#### pH del producto curado crudo

En la figura 3.1 se observa que el pH de la salmuera influye notablemente en el pH de la carne durante el proceso de curado presentándose una correlación significativa ( $p > 0.001$ ) entre ambos parámetros, así como entre el pH cárnico y la difusión de nitritos ( $p > 0.001$ ) aun cuando no se ve afectado por el tiempo de inmersión ( $p > 0.511$ ) (Anexo 1, tabla A.1.8). En todos los casos la modificación del pH cárnico sucede durante la primera hora de proceso, manteniéndose constante en las siguientes tres horas. Asimismo se observa un efecto amortiguador en un intervalo de 5.9 a 7.1 debido a la composición de la carne. Por otra parte el curado a los valores de pH de 4.7 y 5.23 proporcionan un producto que supone una menor susceptibilidad al ataque microbiano (esto no fue comprobado) ya que el pH cárnico desciende hasta 5.9 y la mayoría de los microorganismos crecen en un rango de pH de 6.6 a 7.5 (Jay, 1992). Sin embargo se ve afectada su textura y presentan mayores pérdidas por cocción por descenso de la capacidad de retención

de agua. El ajuste de la salmuera al valor de 8.5 ocasiona un aumento considerable del pH cárnico (7.0 – 7.1) comprometiendo su durabilidad pero no su rendimiento. Por último, las muestras curadas al pH de 6.17 y 7.14 presentan valores similares durante todo el proceso. El descenso del pH cárnico ocasiona la desnaturalización y la agregación de las proteínas lo cual tiene un efecto adverso en la retención de agua no solo por pérdida de la matriz proteica sino por descenso de la retención física de los fluidos afectando la textura y el rendimiento de los productos elaborados. El color también se ve influenciado por el pH de la salmuera ya que a valores ácidos se favorece la oxidación de la mioglobina y la reacción de la metamioglobina con el óxido nítrico, además de que hay una mayor dispersión de la luz (Lawrie, 1991; Pérez-Álvarez, 2000; Pérez – Chabela, 2000a; Pérez– Chabela 2000b).

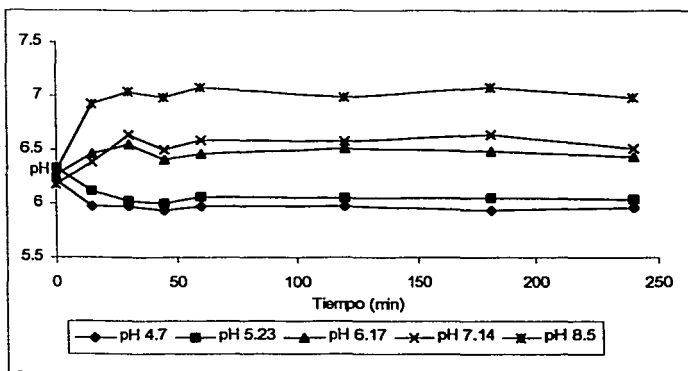


Figura 3. 1 Curso temporal del pH de la carne durante el curado.

### **Concentración de nitritos**

El proceso de difusión de nitritos resultó más eficiente en las muestras al pH de 7.14 y 8.5, lo cual está relacionado con la alta capacidad de retención de agua que favorece la difusión de las sales al interior de la masa muscular (figura 3.2) sobrepasando por mucho la concentración máxima permitida en los productos curados y cocidos (150 ppm). Dado que las muestras curadas al pH de 4.7, 5.23 y 6.17 también sobrepasan el límite mencionado, se debe hacer un ajuste de la cantidad de sal de cura agregada a la salmuera considerando que la cocción ocasiona el descenso de nitritos en la carne. Aun cuando la concentración de estas sales en las piezas es excesivo, por los valores del índice de nitrosación se observa que no toda está reaccionando con la mioglobina ya que aumentan en función del tiempo de inmersión y del pH de la salmuera; es decir que la hemoproteína es el reactivo limitante o bien que no es accesible para la reacción por ejemplo por una menor transformación en metamioglobina debido a la influencia del pH. Esto implica que aunque a pH ácido la absorción de nitritos es menos efectiva, la reacción de éstos con la mioglobina es mayor que a pH alcalino (Pérez – A., 1998). Cabe mencionar que la máxima velocidad de difusión se observa en la primera hora del proceso, volviéndose asintótica hacia el final del mismo. Con respecto al análisis estadístico (Anexo 1, tabla A.1.8) se corrobora una correlación significativa entre la difusión de nitritos y el pH de la salmuera ( $p > 0.001$ ), el tiempo de inmersión ( $p > 0.001$ ) y el pH de la carne ( $p > 0.001$ ), siguiendo una tendencia positiva en los tres casos.

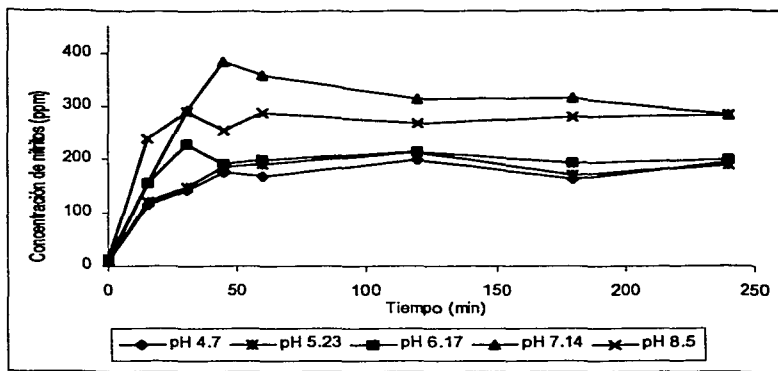


Figura 3. 2 Curso temporal de la difusión de nitritos durante el curado.

### Luminosidad

La luminosidad (figura 3.3) depende del grado de compactación de la estructura muscular y su efecto en la interacción con la luz (Pérez – A., 2000). Se correlaciona positivamente con el tiempo de inmersión ( $p > 0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.8) aumentando considerablemente durante la primera hora y mostrando un decremento al final del proceso (excepto al pH de 5.23). Por otra parte se observa una correlación negativa entre el pH de la salmuera y la luminosidad ( $p > 0.001$ ), y por consiguiente entre ésta y el pH de la carne ( $p > 0.001$ ). La luminosidad presenta una tendencia inversa al pH de la salmuera debido a que el aumento del volumen miofibrilar disminuye la dispersión de la luz por la matriz cármica, confiriendo una coloración más oscura (Lawrie, 1991; Pérez – A., 2000). Sin embargo se observa un aumento en función del tiempo de inmersión ya que la difusión de la sal al interior de la carne restringe la interacción de la luz con la



mioglobina, aun cuando el efecto iónico que tiene la adición de sal sobre la capacidad de retención de agua ocasiona el aumento del volumen miofibrilar. La concentración de nitritos en la carne no modifica la luminosidad de la misma ( $p > 0.084$ ) (Anexo 1, tabla A.1.8) ya que ésta tiene relación con la dispersión de la luz y no con el estado de la mioglobina (Pérez – A., 1998).

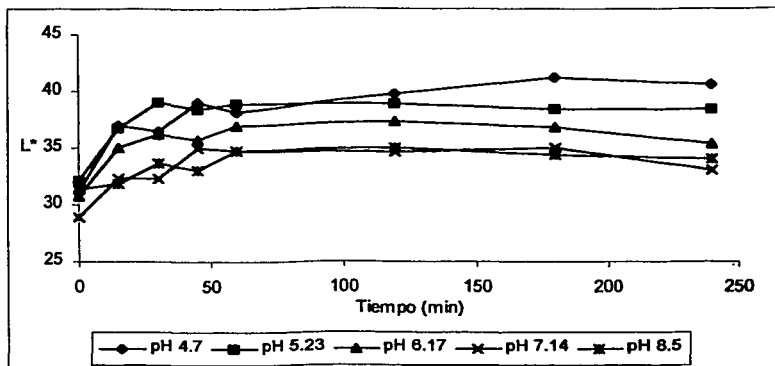


Figura 3. 3 Curso temporal de la Luminosidad (L\*) durante el curado.

### Tonalidad

El valor de tonalidad ( $H^*$ ) aumenta hasta la tercera hora de curado en todos los tratamientos (figura 3.4). Después se observa una disminución sin descender hasta los valores observados en la carne fresca, excepto en la muestra al pH de 8.5 cuyos valores se mantienen prácticamente constantes. La tonalidad se correlaciona significativamente con el pH de la carne ( $p > 0.044$ ) pero no existe correlación entre éste y el

pH de la salmuera ( $p>0.401$ ) debido a que la variabilidad de los datos es muy grande especialmente al pH de 8.5. El descenso de pH de la carne ocasiona cambios en el estado químico de la mioglobina favoreciendo la reacción de ésta con el óxido nítrico y la estabilización del color (Lawrie, 1991; Pérez – A., 1998; Sayas, 2000a) observándose la misma tendencia en las muestras curadas al pH de 4.7 y 5.23. Por otra parte se ve afectado positivamente por el tiempo de inmersión ( $p>0.001$ ) y por la difusión de nitritos ( $p>0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.8) indicando que la adición de sal de cura afecta el estado químico de la mioglobina dando mayor estabilidad al color durante el proceso por producción de nitrosomioglobina; por lo general durante el curado se observa el cambio del color del rojo cereza de la oximioglobina al rojo rosado de la nitrosomioglobina lo cual implica el amarronamiento de la carne aumentando la tonalidad de la misma. Resultan interesantes los valores de tonalidad para las muestras a pH de 4.7 y 8.5, ya que al final del proceso son muy cercanos; en el primer caso se favorece la oxidación de la mioglobina y por lo tanto la producción de nitrosomioglobina, mientras que al pH de 8.5 es más factible la formación de oximioglobina; ambas sustancias confieren una coloración muy similar en la carne. Cabe mencionar que el efecto del curado en la estabilización del color se observa después de aplicar el proceso de cocción ya que se ocasiona la desnaturalización de la nitrosomioglobina (Lawrie, 1991).

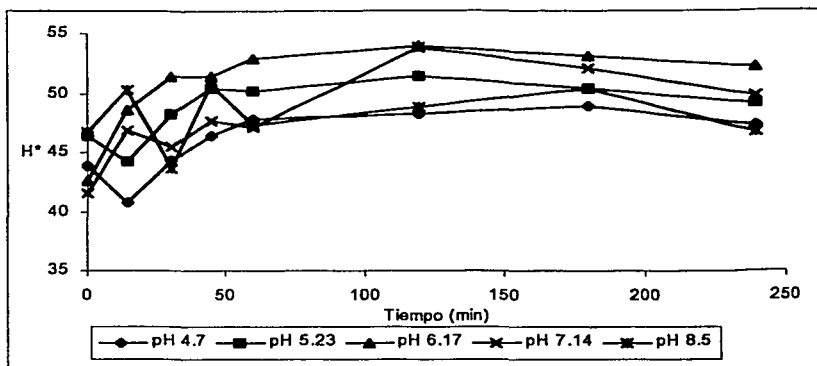


Figura 3. 4 Curso temporal del valor de Tonicidad (H\*) durante el curado.

### Cromaticidad

Con respecto al valor de cromaticidad (C\*) se observa una disminución considerable para las muestras a pH de 6.17, 7.14 y 8.5, mientras que en las muestras a pH de 4.7 y 5.23 el valor a las cuatro horas es prácticamente el mismo al determinado para la carne fresca aun cuando disminuye durante el proceso (figura 3.5). La disminución de estos valores implica una mayor opacidad de las piezas cárnicas por lo que resulta menos recomendable el curado a pH > 6.0. Para todos los tratamientos se observa la máxima modificación de este parámetro durante la primera hora de curado, siendo menor el efecto en las muestras a pH de 4.7. La cromaticidad presenta una correlación negativa con el pH de la salmuera ( $p > 0.001$ ), con el tiempo de inmersión ( $p > 0.027$ ) y con la difusión de nitritos ( $p > 0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.8). Al igual que la

tonalidad, la tendencia de  $C^*$  con respecto al proceso de curado y al efecto del pH de la salmuera se explica en términos del estado químico de la mioglobina (Lawrie, 1991; Pérez – A.,2000).

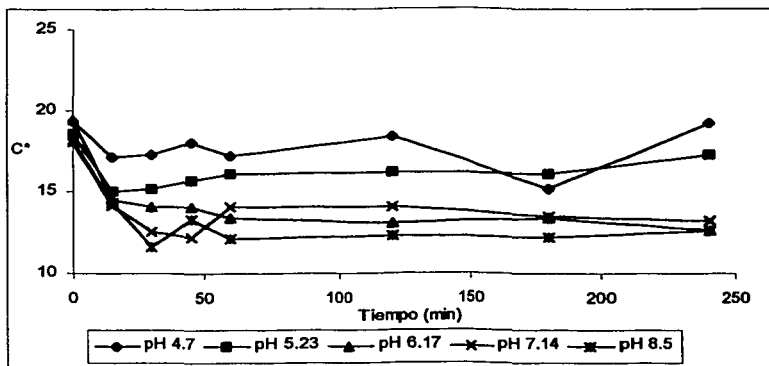


Figura 3. 5 Curso temporal del valor de Cromaticidad ( $C^*$ ) durante el curado.

### Índice de Nitrosación

En los tratamientos a pH de 4.7, 6.17 y 7.14 el índice de nitrosación (IN) aumenta durante el proceso mientras que para las muestras al pH de 5.23 y 8.5 se observa una ligera disminución (figura 3.6). El IN presenta una correlación positiva con el pH de la salmuera ( $p > 0.001$ ) y la difusión de nitritos ( $p > 0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.8). Esto podría deberse a que el aumento de la concentración de nitritos en la carne no necesariamente implica la producción de nitrosomioglobina. A pH ácido se observa una mayor nitrosación porque la mioglobina está más accesible para reaccionar con el óxido nítrico, ya sea por desnaturalización

o por producción de metamioglobina (Pérez – A., 1998). En la muestra a pH 5.23 se corrobora la producción de nitrosomioglobina por descenso del IN desde los valores iniciales mientras que en la muestra a pH de 4.7 el descenso no es evidente ya que parte de valores de IN muy bajos sin embargo presenta la máxima producción de nitrosomioglobina (figura 3.7). A pH alcalino hay menor producción de nitrosomioglobina lo que hace pensar que la oxigenación de la mioglobina es favorecida y por lo tanto no se modifica la tonalidad de la carne. Este parámetro no se ve afectado por el tiempo de inmersión ( $p>0.334$ ) lo que implica que el tiempo de procesamiento puede ser reducido a máximo dos horas.

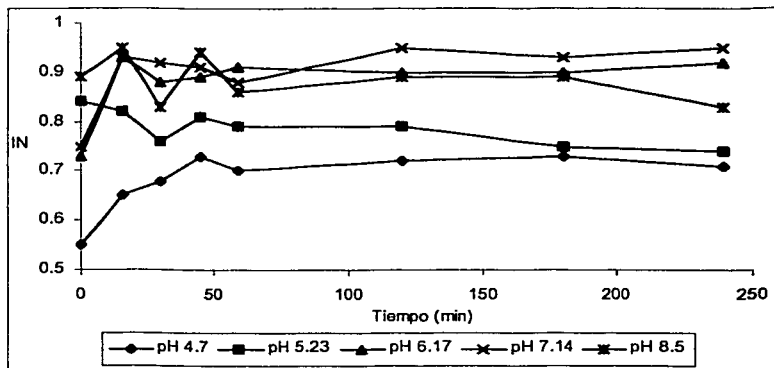


Figura 3. 6 Curso temporal del curado mediante el Índice de Nitrosación (IN).

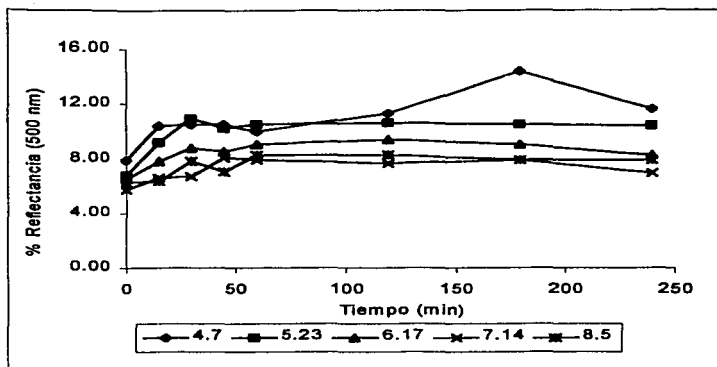


Figura 3. 7 Curso temporal del porcentaje de reflectancia para la Nitrosomioglobina.

### Índice de decoloración e Índice de transformación de pigmentos

Con respecto a los índices de decoloración (figura 3.8) y de transformación de pigmentos (figura 3.9) el efecto debido al pH de la salmuera es la disminución de ambos valores con respecto a los iniciales, presentándose los valores más bajos en las muestras a pH alcalino. Esto se debe a que a las longitudes de onda mayores a 600 nm son varios los estados de la mioglobina responsables de la reflexión de la luz (incluso la nitrosomioglobina) (Pérez – A, 1998) ocasionando el aumento del porcentaje de reflectancia a estas longitudes (figura 3.10) y por lo tanto el descenso de ID e ITP lo cual no necesariamente implica la producción de oximioglobina a expensas de la nitrosomioglobina. Ambos se correlacionan de manera negativa con el pH de la salmuera ( $p > 0.001$ ), con el tiempo de inmersión ( $p > 0.006$  y  $p > 0.017$ ,

respectivamente) y con la difusión de nitritos ( $p>0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.8) por lo que se corrobora una mayor producción de nitrosomioglobina y una mayor eficiencia del proceso a valores ácidos de pH.

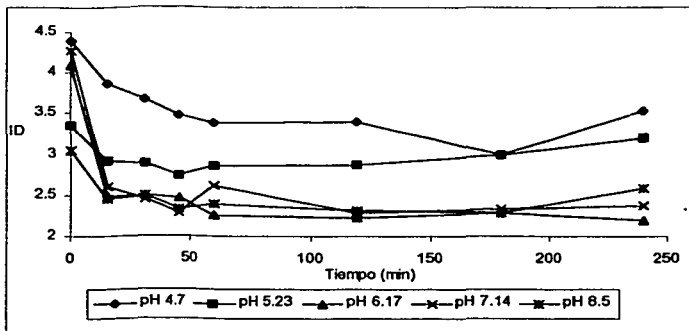


Figura 3. 8 Curso temporal del curado mediante el Índice de Decoloración (ID).

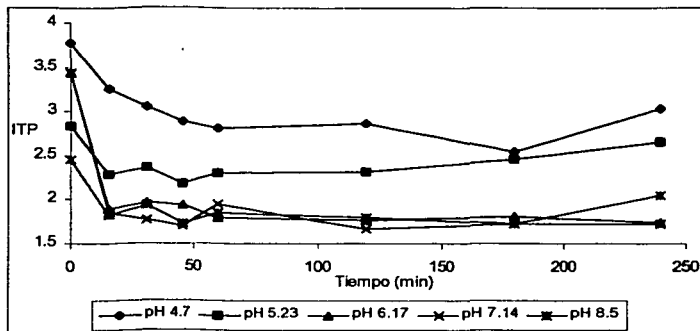


Figura 3. 9 Curso temporal del curado mediante el Índice de Transformación de Pigmentos (ITP).

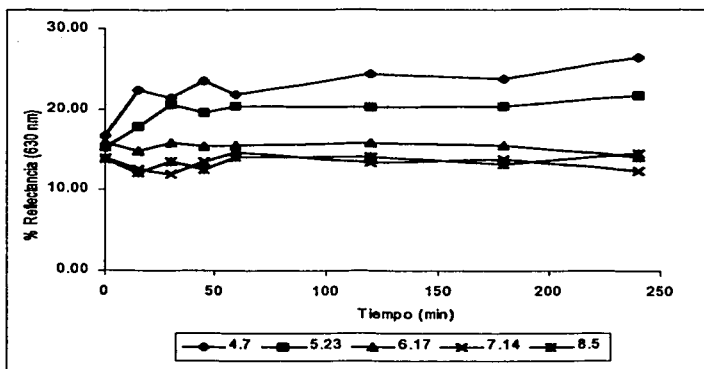


Figura 3. 10 Curso temporal del porcentaje de reflectancia a 630 nm.

### Cinética de curado

Para poder establecer la ecuación que describa la absorción de nitritos en la matriz cárnica fue necesario hacer una predicción del contenido de nitritos en la carne en función del tiempo y del pH de la salmuera, obteniendo la gráfica de la figura 3.11. El comportamiento observado para la difusión de nitritos en función del tiempo de inmersión es de orden cero (lineal) para todos los valores de pH de la salmuera evaluados. Aun cuando este comportamiento no resulta evidente, la máxima difusión de nitritos se da en los primeros 50 minutos de procesamiento, observándose a partir de este tiempo y hasta los 240 minutos una tendencia prácticamente lineal. La ecuación que describe este comportamiento es:



$$[\text{NO}_2^-] = [\text{NO}_2^-]_0 + a \cdot (1 - e^{-b \cdot t})$$

donde:

$[\text{NO}_2^-]$  = Concentración de nitritos en función del tiempo de inmersión (ppm)

$[\text{NO}_2^-]_0$  = concentración de nitritos en la carne fresca no procesada (ppm)

a = diferencia entre la máxima concentración de nitritos y la concentración inicial (ppm)

b = coeficiente que indica el punto de inflexión en el proceso ( $\text{min}^{-1}$ )\*\*

t = tiempo inmersión (min)

$$**b = -\ln(0.5)/(x50 - x0)$$

x50 = tiempo al cual la concentración de nitritos es la mitad de la máxima concentración

x0 = tiempo al cual la concentración de nitritos en la carne sería 0 ppm

Dado que las constantes empleadas en la ecuación cambian para cada valor de pH de la salmuera, sus valores se incluyen en la tabla 3.3

Tabla 3. 3 Constantes empleadas en el cálculo de la concentración de nitritos en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera

pH de la salmuera	Coefficiente de correlación	$[\text{NO}_2^-]_0$ (ppm)	a (ppm)	b ( $\text{min}^{-1}$ )
4.7	0.9614	11.4839	171.9701	0.0540
5.23	0.9593	10.5698	181.3176	0.05682
6.17	0.9501	12.2546	191.1194	0.1095
7.14	0.893	-4.5438	334.9205	0.06421
8.5	0.9829	13.5132	262.8851	0.1346

En la gráfica de la figura 3.11 se observa la máxima difusión de nitritos al pH de la salmuera de 7.5. Hacia valores ácidos se ve un aumento en la eficiencia del proceso entre pH 6.0 y 7.5 comparado con la eficiencia a pH menor a 6.0. También se observa que a pH de la salmuera mayor a 7.5 la difusión resulta más efectiva que a pH ácido. Esto se debe a la alta capacidad de retención de agua que posee la carne a pH mayor a 6.0 lo cual ocasiona un aumento de la presión osmótica y por lo tanto favorece la absorción de las sales a estos valores. A pH ácido, las proteínas se desnaturalizan por lo que retienen una menor cantidad de agua y afectan la introducción de las sales curantes por efecto en la presión osmótica. Para todos los tratamientos se observa que a partir de la primera hora el contenido de nitritos en la carne se estabiliza por lo que el tiempo de procesamiento podría reducirse a dos horas.

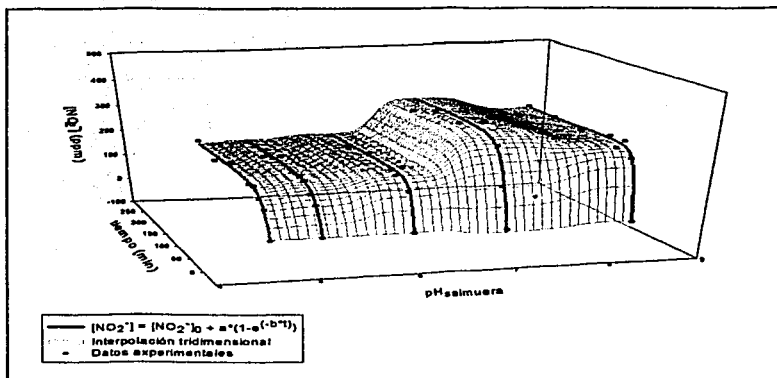


Figura 3. 11 Cinética: Concentración de nitritos en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera.

Mediante la predicción de los datos en el estado estable (100 – 240 min) se obtuvo la ecuación que describe el cambio de la concentración de nitritos en función del pH de la salmuera en un intervalo de 4.7 a 8.5 al porcentaje de sal de cura agregado que fue de 483 ppm. Dicha ecuación se escribe:

$$[NO_2^-] = [NO_2^-]_0 + a * \left( e^{-0.5 * \left( \frac{\ln \frac{pH}{pH_0}}{b} \right)^2} \right)$$

donde:

$[NO_2^-]$  = Concentración de nitritos en función del pH de la salmuera (ppm)

$[NO_2^-]_0$  = mínima concentración de nitritos en el estado estable (ppm).

$a$  = diferencia entre la máxima y la mínima concentración de nitritos en el estado estable (ppm)

$pH_0$  = pH de la salmuera en el cual se observa la máxima difusión

$b$  = coeficiente que indica el punto de inflexión en el proceso\*\*

$$**b = \ln(x_0)/2.2$$

$x_0$  = mínimo valor al cual se puede ajustar el pH de la salmuera ( $x_0 = 1.233$ )

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los valores de las constantes de la ecuación se incluyen en la tabla 3.4, siendo válidos para cualquier pH de la salmuera en el intervalo de 4.7 a 8.5. Aun cuando matemáticamente es posible aplicar esta ecuación para valores de pH de la salmuera que estén fuera del rango, no es recomendable ya que experimentalmente no se evaluó el comportamiento de este parámetro y por lo tanto se podrían hacer aseveraciones inciertas o erróneas.

**Tabla 3. 4** Constantes empleadas en el cálculo de la concentración de nitritos en función del pH de la salmuera

Parámetros	Valor promedio
$[\text{NO}_2]_0$	187.5335
a (ppm)	177.4608
pH <sub>0</sub>	7.6015
b (adimensional)	0.095

En la figura 3.12 se observa que a pH menor a 6.0 la concentración de nitritos permanece constante aunque resulta mayor a los límites permitidos para los productos curados y cocidos (156 ppm) mientras que a valores mayores a 6.0 el proceso es más eficiente y por lo tanto la concentración de nitritos excede dichos límites. Aunque estos datos se determinaron antes de aplicar el proceso de cocción, la concentración de esta especie química en la carne curada y cocida también resulta excesiva. Como se mencionó la poca absorción de nitritos en las muestras curadas al pH de la salmuera menor a 6.0 se debe a la baja capacidad de retención de agua que posee la carne a estos valores, sin embargo se debe recordar que esto no implica que el proceso en sí sea deficiente ya que en condiciones ácidas se favorece la reacción de nitritos con la mioglobina. Además cabe mencionar que éste no es un modelo que describa correctamente el curado en la carne de avestruz ya que se requiere aplicar dicho proceso en más de una pieza de carne además de ajustar el pH de la salmuera a otros valores incluyendo los que aquí se evaluaron, considerando una menor adición de sal de cura a pH mayor a 6.0.

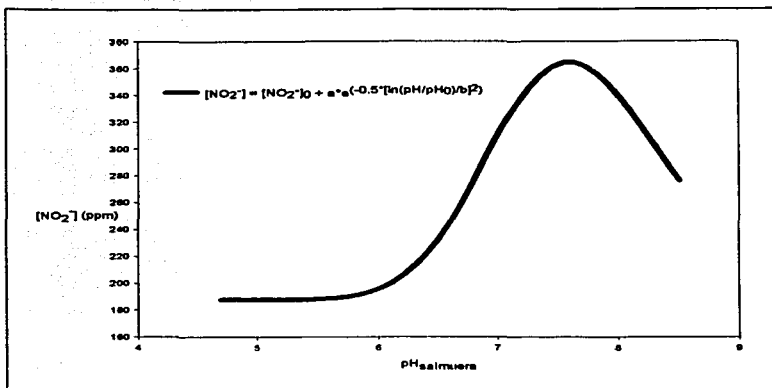


Figura 3. 12 Concentración de nitritos en el estado estable en función del pH de la salmuera.

En cuanto a la modificación del pH de la carne por efecto del pH de la salmuera (figura 3.13) se corrobora que el ajuste a valores ácidos ocasiona el descenso de este parámetro, mientras que a valores alcalinos el pH de la carne aumenta. También se observa que dicha modificación sucede durante las primera hora de procesamiento llegando al estado estable a partir de este tiempo. Al pH de la salmuera de 6.17 no existe una modificación significativa del pH cárnico ya que se observa un efecto de amortiguamiento por la misma composición de la carne ocasionando un cambio de pendiente. En cuanto al comportamiento de los datos en función del tiempo de inmersión se observa que al pH de la salmuera de 4.7 y 5.23 la tendencia es inversa por lo que la ecuación es de segundo orden mientras que al pH de 6.17, 7.14 y 8.5 los datos aumentan de manera lineal con respecto al tiempo de inmersión indicando que la ecuación es de orden cero. La ecuación que describe el comportamiento del pH de la carne en función del tiempo de inmersión es la siguiente:

$$pH_{carne} = pH_{carne_0} + a \cdot (1 - e^{-(b \cdot t)})$$

donde:

pH carne = pH cármico en función del tiempo de inmersión

pH carne<sub>0</sub> = pH cármico en la carne fresca no procesada

a = diferencia entre el pH final y el pH inicial

b = coeficiente que indica el punto de inflexión en el proceso (min<sup>-1</sup>)<sup>\*\*</sup>

t = tiempo inmersión (min)

$$**b = -\ln(0.5)/(x50 - x0)$$

x50 = tiempo al cual el pH cármico es la mitad del alcanzado a los 240 minutos

(para los tratamientos a pH 4.7 y 5.23, x50 sería el tiempo al cual el pH cármico es la mitad del pH inicial)

x0 = tiempo (menor a cero) al cual el pH cármico es igual al pH inicial

De igual manera se incluyen en la tabla 3.5 los valores de las constantes que deben aplicarse en el cálculo del pH de la carne, observándose que dichos valores cambian para cada tratamiento.

Tabla 3.5 Constantes empleadas en el cálculo del pH cármico en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera

pH de la salmuera	Coficiente de correlación	pH carne <sub>0</sub>	a (adimensional)	b (min <sup>-1</sup> )
4.7	0.9694	6.22	-0.2619	0.2005
5.23	0.9578	6.332	-0.2946	0.0967
6.17	0.7317	6.2699	0.2058	0.2062
7.14	0.8434	6.1713	0.4124	0.0684
8.5	0.9753	6.3096	0.7154	0.1319

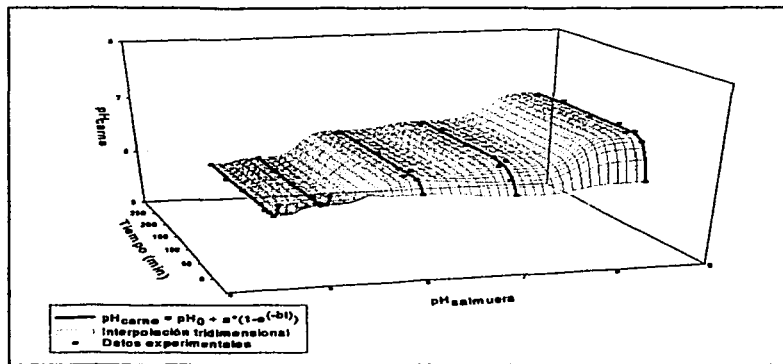


Figura 3. 13 Cinética: Ajuste del pH de la carne en función del tiempo de inmersión para cada pH de la salmuera.

Por último se obtuvieron los valores teóricos del pH cárnico en el estado estable (100 – 240 min) para el intervalo de pH de la salmuera de 4.7 a 8.5, observándose una tendencia logarítmica entre estos parámetros (figura 3.14). A pesar de que los datos experimentales obtenidos para cada pH de la salmuera muestran un comportamiento sigmoïdal, al aplicar las ecuaciones que lo describen, el cálculo del pH cárnico no correspondía al observado de manera experimental ya que dichas ecuaciones no consideran el efecto de amortiguamiento propio de la carne (el ajuste del pH de la salmuera a valores ácidos implica la disminución del pH de la carne de avestruz desde los valores iniciales (aproximadamente 6.2) hasta 5.9 mientras que el ajuste a valores alcalinos ocasiona su aumento hasta 7.1). La ecuación seleccionada si considera el efecto de amortiguamiento, lo cual se corrobora con el valor de  $(\text{pH carne})_0$  (tabla 3.6); dado que este valor resulta menor al mínimo valor de pH cárnico que se obtuvo de manera experimental (5.9), sería recomendable corroborar la precisión de esta ecuación mediante el ajuste del pH de la salmuera al pH de 1. La ecuación que mejor describe el comportamiento del pH cárnico en función del pH de la salmuera es:

$$\text{pH carne} = \text{pH carne}_0 + a * \ln(\text{pH salmuera}) + b * (\ln(\text{pH salmuera}))^2$$

donde:

(pH carne) = pH cárnico en función del pH de la salmuera

$(\text{pH carne})_0$  = pH cárnico observado al mínimo valor de ajuste del pH de la salmuera ( $\text{pH}_s = 1$ )

a = coeficiente que indica el punto de inflexión hacia los valores ácidos de pH de la salmuera

b = coeficiente que indica el punto de inflexión hacia los valores alcalinos de pH de la salmuera

Los valores de  $\text{pH carne}_0$ , a y b se resumen en la tabla 3.6. Como se mencionó tanto a como b son coeficientes que ajustan el cálculo para obtener el valor teórico más cercano al observado experimentalmente.

Tabla 3. 6 Constantes empleadas en el cálculo del pH cárnico en función del pH de la salmuera

Parámetros	Valor promedio
$\text{pH carne}_0$	5.0059
a (adimensional)	-0.2710
b (adimensional)	0.5640

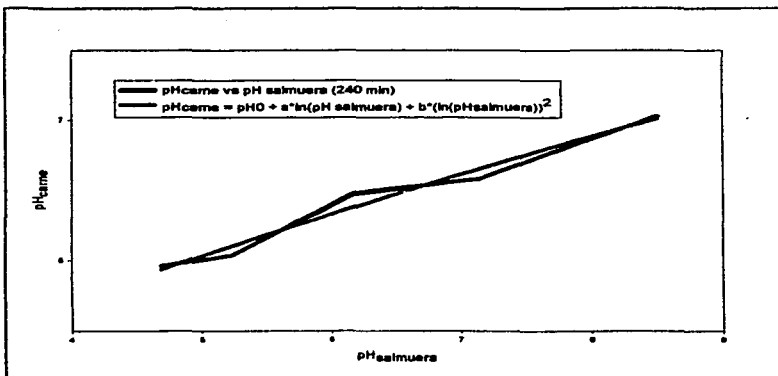


Figura 3. 14 Ajuste del pH de la carne en el estado estable en función del pH de la salmuera.

### Pruebas realizadas en el producto

Después de aplicar el curado la carne que cumplió el tiempo de procesamiento se colocó en bolsas de plástico, se coció en baño de agua hasta alcanzar una temperatura interna de  $70 \pm 2^\circ \text{C}$  y se almacenó en refrigeración para poder llevar a cabo las determinaciones enlistadas en la tabla 3.7, empleando como control carne cocida hasta  $70 \pm 2^\circ \text{C}$ .

Tabla 3. 7 Determinaciones realizadas en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

Parámetro	Carne cocida	4.7	5.23	6.17	7.14	8.5
pH de la salmuera	—	4.71±0.01	5.24±0.04	6.15±0.02	7.16±0.03	8.49±0.01
Peso piezas (g)	—	9.75±0.54	9.80±1.71	10.02±1.97	10.62±2.01	9.95±1.73
pH de la carne	6.46±0.07	6.10±0.03	6.17±0.03	6.46±0.01	6.65±0.01	7.06±0.03
Nitros (ppm)	10.09±2.78	144.84±38.84	175.52±50.51	179.12±15.00	268.46±58.13	242.36±20.83
L*	53.47±0.27	53.69±1.44	55.30±0.7	53.21±0.27	52.91±0.6	51.37±0.35
H*	70.63±0.06	44.36±0.79	44.46±0.65	43.28±0.17	41.46±0.29	50.54±3.90
C*	17.93±0.54	16.86±0.69	16.59±0.50	15.73±0.13	15.86±0.42	14.90±0.19
Pérdidas por cocción (%)	45.81±4.79	34.80±2.14	32.19±1.33	34.19±3.44	15.34±0.72	18.75±2.56
Textura (N)	38.24±2.00	19.75±4.23	18.67±3.20	13.36±1.61	12.62±2.18	11.71±0.81

Se observa que el pH cárnico aumenta debido al proceso de cocción sin embargo las muestras curadas a pH de 4.7 y 5.23 presentan valores más bajos que el obtenido para la carne cocida lo que favorecería su estabilidad microbiológica. En todos los tratamientos los valores de pH cárnico difieren significativamente entre sí ( $p>0.001$ ) aunque el aplicar el proceso al pH de 6.17 no modifica el pH cárnico con respecto al control (Anexo 1, tabla A.1.1). El pH del producto no afecta el grado de compactación del músculo ya que durante la cocción se destruyen las proteínas miofibrilares; sin embargo sí influye en las pérdidas por cocción por efecto directo en el colágeno que sufre un excesivo acortamiento cuando es calentado a pH ácido (Lawrie, 1991). Por esta misma razón las muestras curadas a pH ácido presentan valores de esfuerzo al corte más altos que las curadas a pH alcalino tras aplicar el proceso de cocción.

Por otra parte el contenido de nitritos en el producto curado y cocido es más elevado en las muestras a pH  $> 6.0$  (6.17, 7.14 y 8.5) lo cual es un reflejo directo de la capacidad de retención de agua que ocasiona una menor pérdida de fluidos y sales disueltas durante la cocción (Frey, 1983; Lawrie, 1991). En los tratamientos a pH de 5.23, 6.17, 7.14 y 8.5, el contenido final de nitritos sobrepasa el límite máximo establecido en la Norma oficial NOM- 122- SSA1- 1994 para productos cárnicos curados y cocidos, por lo tanto se debe disminuir la cantidad de sal de cura agregada a la salmuera. La difusión de nitritos presenta una diferencia significativa con respecto al pH de la salmuera con una probabilidad ( $p>0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.2).

Con respecto a la luminosidad se observa que existe diferencia significativa entre la muestra a pH de 8.5 y el control, así como entre este y las muestras a pH de 4.7 y 5.23 ( $p>0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.3). Al pH de 8.5 el volumen miofibrilar es máximo y por lo tanto disminuye la luminosidad con respecto a los demás tratamientos mientras que al pH de 5.23 se observan los máximos valores por efecto contrario en la estructura muscular, siendo recomendable el curado a este pH aun cuando afecte el rendimiento del



producto. Al pH de 4.7 hay una menor luminosidad que al pH de 5.23 por desnaturalización excesiva de las proteínas tras aplicar el proceso de cocción.

La tonalidad ( $H^*$ ) disminuye considerablemente en las muestras curadas a pH de 4.7, 5.23, 6.17 y 7.14 presentando una diferencia significativa con respecto al control y a las muestras a pH de 8.5 pero no entre sí ( $p > 0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.4). El descenso de este valor implica la estabilización del color curado a estos valores de pH por desnaturalización de la nitrosomioglobina en nitrosilhemocromógeno (Lawrie, 1991). El aumento observado para la muestra a pH 8.5 se explica por una menor producción de esta sustancia.

Los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) disminuyen de manera significativa con respecto al control ( $p > 0.001$ ) confiriendo una mayor opacidad a la carne aunque el efecto es menor en los tratamientos a pH ácido. De igual manera se observa que el curado al pH de 8.5 es poco recomendable por su influencia en el color del producto. (Anexo 1, tabla A.1.5)

Se observa una disminución de las pérdidas por cocción entre el control y las demás muestras debido al efecto de la adición de sales sobre la capacidad de retención de agua y particularmente sobre el hinchamiento de las masas musculares. Sin embargo, se obtienen los valores más bajos en las muestras a pH de 7.14 y 8.5 los cuales son significativos con respecto a los tratamientos a pH ácido (6.17, 5.23 y 4.7) y con respecto al control ( $p > 0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.6). Esto es un reflejo no solo de la CRA sino de la degradación de las proteínas a pH ácido y su efecto en la retención de agua, además del excesivo acortamiento de las fibras de colágeno al aplicar la cocción a estos valores de pH (Lawrie, 1991).

Por último la suavidad de la carne se ve favorecida de manera considerable al aplicar el proceso de curado ya que en la carne cocida se obtienen valores de esfuerzo al corte mucho mayores a los de cualquier tratamiento. El curado de la carne de avestruz con salmueras ácidas (pH 4.7 y 5.23) ocasiona un efecto adverso sobre este parámetro ( $p > 0.001$ ) (Anexo 1, tabla A.1.7) debido a que la masa muscular se contrae por acortamiento del colágeno además de que pierde mayor cantidad de fluidos por la baja capacidad de retención de agua y por una mayor desnaturalización de las proteínas (Lawrie, 1991).

En la figura 3.15 se muestra el efecto del curado en el color de la carne de avestruz. El color del control (1) se asemeja al de la carne de res mientras que la carne curada y cocida (2) presenta una coloración similar a los productos tipo jamón de pierna que se comercializan. En cuanto al efecto del pH de la salmuera se concluye que el ajuste a pH ácido modifica en mayor grado el color de la pieza (figura 3.16).



Figura 3. 15 Cambios en el color de la carne debidos proceso de curado.

1. Carne de avestruz cocida a 70± 2°C. 2. Carne de avestruz curada al pH de la salmuera de 7.14 y cocida a 70± 2°C.

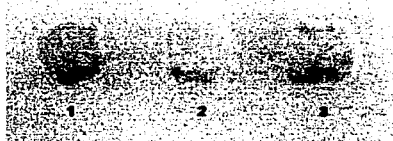


Figura 3. 16 Influencia del pH de la salmuera en el color de la carne curada y cocida.

1. Carne de avestruz cocida a 70± 2°C. 2. Carne de avestruz curada al pH de la salmuera de 4.7 y cocida a 70± 2°C.  
3. Carne de avestruz curada al pH de la salmuera de 7.14 y cocida a 70± 2°C.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Dado que se sabe que el color es un atributo importante para el consumidor y que el ajuste del pH al valor de 4.7 proporciona un producto adecuado en este aspecto, para llevar a cabo la prueba sensorial se elaboró una pieza a este valor aún cuando las pérdidas por cocción fueron elevadas. Sin embargo también se seleccionó la muestra elaborada al pH de la salmuera de 7.14 (ajuste de pH con la mezcla comercial) ya que presentó los mejores parámetros en cuanto a pérdidas por cocción y textura.

### 3.3 Prueba sensorial

Antes de aplicar la prueba afectiva se determinó el rendimiento de las piezas y se retiró una porción para llevar a cabo las pruebas enlistadas en la tabla 3.8

Tabla 3. 8 Determinaciones realizadas en los productos elaborados para la prueba sensorial.

Parámetro	Promedio	
	4.7	7.14
pH de la carne	6.27±0.04	6.45±0.05
Nitritos (ppm)	78.55±14.02	98.60±24.52
L*	50.69±0.50	47.14±0.62
H*	44.45±0.33	44.47±0.69
C*	18.83±0.29	18.91±0.41
Pérdidas por cocción (%)	17.49	6.94
Rendimiento (%)	139.29	141.62
Textura (N)	4.63±1.52	17.58±2.37

Comparando con los datos obtenidos en la etapa anterior (Tabla 3.7) el pH, las pérdidas por cocción y la textura se ven modificados por la adición de condimento, carragenina y harina de trigo. En ambos tratamientos las pérdidas por cocción son menores a las observadas para las muestras correspondientes elaboradas en la etapa anterior ya que el extensor aumenta la capacidad de retención de agua de la carne sin embargo se corrobora que al pH de 4.7 dicho valor es mayor. Por su parte la textura desciende considerablemente para la muestra al pH de 4.7; contrario a lo esperado esto puede tener un efecto adverso en la aceptación por parte del consumidor. En cuanto al pH cárnico se observa un aumento en el valor de la muestra al pH de 4.7 y una disminución en la mezcla comercial lo cual implica algún tipo de

inconsistencia o error en la determinación. Cabe señalar que en estas muestras el contenido de nitritos es menor al límite máximo permitido para los productos curados y cocidos ya que se aplicó un mayor control de la adición de sal de cura en la salmuera.

### **Prueba Afectiva**

En la figura 3.17 se observa que los productos curados y cocidos elaborados con la carne de avestruz presentan un perfil de aceptación por parte de los jueces que resulta deficiente al compararse con el producto comercial (salchichón de res marca Tangamanga®) pero que es muy similar cuando se hace el comparativo entre ellos, corroborándose que la modificación del pH de la salmuera no tiene un efecto negativo en la aceptación por parte del consumidor. Cabe mencionar que la suavidad de los tres productos evaluados es muy similar ya que este atributo se ve favorecido por la adición de la carragenina en los productos elaborados con la carne de avestruz. Mediante la prueba de proporcionalidad (Anexo 1, tabla A.1.10) se demuestra que es necesario adecuar la formulación de los productos curados y cocidos elaborados con la carne de avestruz de tal manera que puedan competir con los productos comerciales y cubran las expectativas del consumidor. Con respecto a la prueba de ordenamiento por rangos (Anexo 1, tabla A.1.11) se observa que los productos elaborados con la carne de avestruz difieren de manera significativa al compararse con el producto comercial. Esto no sucede cuando se lleva a cabo la comparación entre ellos corroborando el efecto del pH de la salmuera en la aceptación de estos productos. Para poder elaborar un producto con la carne de esta especie de tal manera que compita con los que se comercializan sería necesario agregar más condimento para mejorar su sabor o bien glutamato monosódico (la adición del condimento favorece a su vez el aroma del producto); controlar la adición del extensor y la carragenina de tal manera que no resulte un producto demasiado suave y que pierda su forma o demasiado duro. La modificación del color de la carne de esta especie puede darse por adición de

colorantes o por control de la adición de nitritos. Por último el control del proceso, el moldeo adecuado, la correcta cocción y almacenamiento, aunado al control de los atributos evaluados confiere al producto una apariencia agradable al consumidor.

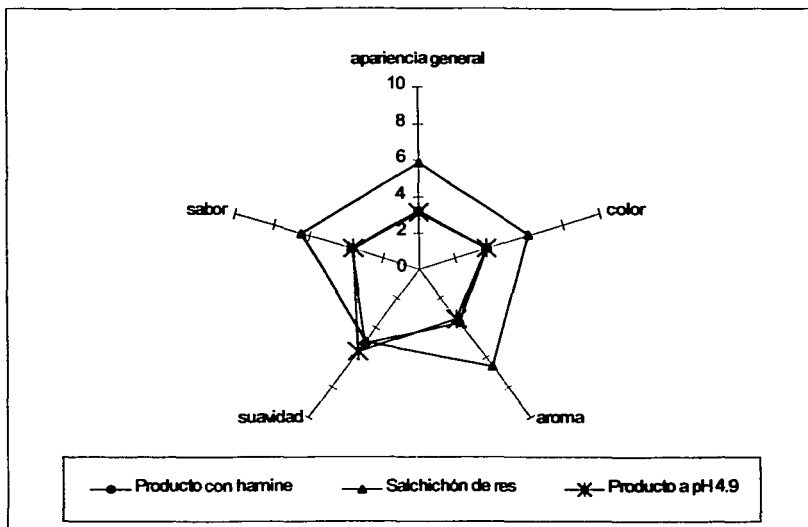


Figura 3. 17 Gráfica de atributos de las muestras evaluadas en la prueba sensorial.

#### 4 CONCLUSIONES

- La carne de avestruz resulta un alimento nutritivo, similar a la carne de res o de cerdo ya que contiene la misma cantidad de proteínas pero un menor contenido graso, ajustándose a las necesidades de consumo que imperan actualmente. Es susceptible a la contaminación microbiológica debido al alto pH que alcanza al instaurarse el *rigor mortis*, al contenido de humedad y a los valores de actividad de agua que presenta. Además posee una capacidad de retención de agua menor a 50g/ 100g de carne por lo que se obtienen bajos rendimientos tras aplicar el proceso de cocción. Sin embargo, la adición de extensores dentro de los límites permitidos favorece esta propiedad en los productos que se elaboren con ella. Por otra parte la carne cocida hasta una temperatura interna de  $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$  presenta valores de esfuerzo al corte elevados por lo que resulta una carne dura y poco jugosa tras la masticación.
- En cuanto a la cinética de curado, todos los parámetros evaluados presentan una mayor variabilidad durante la primera hora de proceso y se estabilizan a partir de la segunda hora. Esta observación se contrapone con los tiempos de curado que se han especificado para la carne de cerdo y de res.
- El proceso de curado y la cocción favorecen el color y la textura de la carne de avestruz a cualquier pH de la salmuera además de observarse menores pérdidas por cocción por lo que su aplicación resulta adecuada en términos tecnológicos aunque no sea posible concluir en cuanto a la aceptación de los productos elaborados con ella y en cuanto a su factibilidad económica.
- El ajuste del pH de la salmuera a valores ácidos ( $\text{pH} < 6.0$ ) proporciona un producto con un color curado adecuado pero mayores pérdidas por cocción y mayor dureza con respecto a la carne curada con la salmuera al pH de 7.14 (adición de la mezcla comercial).

- Considerando los valores obtenidos para los Índices de nitrosación, de decoloración y de transformación de pigmentos el curado de la carne de avestruz al pH de la salmuera de 8.5 resulta poco recomendable.
- A valores de pH de la salmuera mayores a 6.0 la difusión de nitritos es más eficiente, siendo un reflejo de la capacidad de retención de agua que posee la carne a estos valores de pH. Por esta razón se debe regular la cantidad de sal de cura añadida a la salmuera ya que sobrepasa los límites establecidos para estas sales en la norma oficial mexicana NOM- 122- SSA1- 1994 para productos curados y cocidos que es de 156 ppm.
- Como principal conclusión se recomienda la elaboración de productos curados y cocidos con la carne de avestruz ajustando el pH de la salmuera a valores ácidos considerando que la adición de extensores y emulsificantes contrarrestan el efecto que tiene dicho ajuste sobre el rendimiento de los productos terminados y sobre la suavidad de los mismos.
- En caso de continuar con este proyecto experimental se recomienda hacer un análisis microbiológico más extenso de la materia prima. Aplicar más tratamientos ajustando el pH de la salmuera a otros valores, considerando que el rango de pH recomendado es de 4.5 a 7.5 u 8.0; también se recomienda hacer el ajuste del pH de la salmuera al valor de 7.14 con fosfato monobásico y fosfato dibásico ya que la adición de pirofosfato (que contiene la mezcla comercial) puede estar influyendo en mayor grado sobre los parámetros evaluados. Se recomienda aplicar otras pruebas de textura y evaluar la vida de anaquel además de la calidad microbiológica y nutricional del producto curado y cocido, incluyendo la determinación del contenido de sodio ya que en la carne fresca de avestruz, este se encuentra en bajas concentraciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, E. S., (1999a) Ingredientes que aumentan la capacidad de retención de agua en productos cárnicos. *CarneTec*, Julio/ Agosto, 32- 37.
- Aguirre, E. S., (1999b) Proteínas y su efecto en la calidad del producto. *CarneTec*, Septiembre/ Octubre, 40 - 45.
- Angulo, R; Angulo, M. (2001) Comer carne de avestruz: ¿Es una alternativa segura?. *Alimentaria*, Noviembre, 51- 54.
- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis of Association of Official Chemists*, 15<sup>o</sup> edn. AOAC Inc., Arlington, VA.
- Blanco, H. A. E. (1998) Manual de generalidades del avestruz (*Struthio camelus*). Tesis Licenciatura, FES Cuautitlán, Cuautitlán, Edo. Méx. pág. 1-11.
- Laboratorio Nacional de Salud Pública (1989). Control fisicoquímico de los productos cárnicos, México.
- Fisher, P., Hoffman, L. C., Mellet, F. D., (2000) Processing and nutritional characteristics of value added ostrich products. *Meat Science* **55**: 251-254.
- Frey, W. (1983) Capítulo IV. Embutidos curados cocidos en Fabricación fiable de embutidos. Ed. Acribia, España, 102- 120.
- Gardner, G. A. (1966). A selective medium for the enumeration of *Micobacterium thermosphactum* in meat and meat products. *Journal Applied Bacteriology*, **29** (3): 455 – 460.
- Giese, J. (1994) Antimicrobials: Assuring Food Safety, *Food Technology*, Junio, 102- 110.
- Herrera, H.; Andújar, G., (1993). Efecto de las condiciones de almacenamiento y de la actividad de agua sobre la durabilidad de los embutidos. *Alimentaria*, Septiembre: 29- 32.
- Hoffman, L. C., Fisher, P., (2001) Comparison of meat quality characteristics between young and old ostriches. *Meat Science* **59**: 335-337.



- Horbañczuk, J., Sales, J., Celeda, T., Konecka, A., Zieba, G., Kawka, P., (1998) Cholesterol content and fatty acid composition of ostrich meat as influenced by subspecies. *Meat Science* **50** (3): 385-388.
- Hunt, M. C.; Acton, J. C.; Benedict, R. C.; Calkins, C. R.; Cornforth, D. P.; Jeremiah, L. E.; Olson, D. P.; Salm, C. P.; Savell, J. W.; Shivas, S. D. (1991) American Meat Science Association Committee on Guidelines for Meat Color Evaluation. In Proceeding of 44<sup>th</sup> Annual Reciprocal Meat Conference. Manhattan (Kansas). American Meat Science Association. National Live Stock and Meat Board.
- Jay, J. M. (1992) *Microbiología moderna de los alimentos*. 4<sup>o</sup> Edn. Editorial Acribia, España.
- Kropf, D. H.; Olson, D. G.; West, R. L. (1984) Objective measures of meat color. In Proceeding of 37<sup>th</sup> Annual Reciprocal Meat Conference. Lubbock (Texas). American Meat Science Association. National Live Stock and Meat Board.
- Lambooij, E., Potgieter, C. M., Britz, C. M., Nortjé, G. L., Pieterse, C., (1999a) Effects of electrical and mechanical stunning methods on meat quality in ostriches. *Meat Science* **52**: 331-337.
- Lambooij, E.; Pieterse, C.; Potgieter, C. M.; Snyman, J. D.; Nortjé, G. L., (1999b) Some neural and behavioral aspects of electrical and mechanical stunning in ostriches. *Meat Science* **52**: 339- 345.
- Lawrie, R. A., (1991), *Meat Science*, 5<sup>o</sup> edn, Pergamon Press, G.B.
- Leistner, L.; Gorris, G. M.; (1995) Food preservation by Hurdle technology, *Trends in Food Science and Technology*, **6**: 41- 45.
- López, L. C., (2001) Recopilación de información de la producción y comercialización del avestruz (*Struthio camelus*). Tesis de Maestría, UNAM, México, D. F. pág. 12-14, 149-158, 177-187.
- Montaña, L. J., (2000) La producción de carne de avestruz, un proyecto de factibilidad en el estado de Querétaro. Tesis de Licenciatura, UNAM, México, D. F., pág. 5-23.
- Newell, G. J.; Mac Farlane, J. D. (1987) Expanded tables for multiple comparison procedures in the Analysis of ranked data. *Journal of Food Science* **58** (8): 1721 – 1725.

NOM – 034 – SSA1 – 1993. Bienes y servicios. Productos de la carne. Carne molida y carne molida moldeada. Envasadas. Especificaciones sanitarias.

NOM – 122 – SSA1 – 1994. Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos curados y cocidos, y curados y emulsionados. Especificaciones sanitarias.

Núñez, M.; (1999) Cálculos para la preparación de salmuera. *CarneTec*, Julio/ Agosto: 50- 51.

Otremba, M. M., Dikeman, M. E., Boyle, E. A. E., (1999) Refrigerated shelf life of vacuum-packaged, previously frozen ostrich meat. *Meat Science* 52: 279-283.

Paleari, M. A., Camisasca, S., Beretta, G., Renon, P., Corsico, P., Bertolo, G., Crivelli, G. (1998) Ostrich Meat Physico- chemical Characteristics and Comparison with Turkey and Bovine Meat. *Meat Science* 48 (3/4): 205-210.

Pérez – Álvarez, A. J.; Fernández, L. J.; Rosmini, M. R. (1998) El color como propiedad física en el control de la calidad de la carne y productos cárnicos. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Departamento de Salud Pública Veterinaria. Curso de posgrado.

Pérez- Álvarez, A. J.; Fernández, L. J.; Sayas, B. E.; Fundamentos físicos, químicos, ultraestructurales y tecnológicos en el color de la carne en Rosmini, M. R.; Pérez- Álvarez, A. J.; Fernández, L. J.; (2000) Nuevas tendencias en la tecnología e higiene de la industria cárnica, editorial Universidad Miguel Hernández, España; pág 51- 66.

Pérez- Chabela, M. L.; Guerrero, L. I.; Ponce, A. E.; Estructura del músculo y conversión en carne en Rosmini, M. R.; Pérez- Álvarez, A. J.; Fernández, L. J.; (2000a) Nuevas tendencias en la tecnología e higiene de la industria cárnica, editorial Universidad Miguel Hernández, España; pág 11- 19.

Pérez- Chabela, M. L.; Guerrero, L. I.; Ponce, A. E.; Maduración. Enzimología de la maduración en Rosmini, M. R.; Pérez- Álvarez, A. J.; Fernández, L. J.; (2000b) Nuevas tendencias en la tecnología e higiene de la industria cárnica, editorial Universidad Miguel Hernández, España; pág 23- 27.

Pomeranz, Y., Meloan, C. E., (1994), Cap 7, Measurement of color. En *Food Analysis. Theory and Practice*, 3° edn, Chapman and Hall. U. S. A., pág. 87-98.

- Sales, J., (1998) Fatty acid composition and cholesterol content of different ostrich muscles. *Meat Science* **49** (4): 489-492.
- Sales, J., Mellet, F. D. (1996) Post mortem pH decline in different ostrich muscles. *Meat Science* **42** (2): 235-238.
- Sales, J., Navarro, J. L., Martella, M. B., Lizurume, M. E., Manero, A., Bellis, L., Garcia, P. T., (1999) Cholesterol content and fatty acid composition of rhea meat. *Meat Science* **53**: 73-75.
- Sayas, B. E.; Fernández, L. J.; Pérez- Álvarez, A. J.; El jamón curado en Rosmini, M. R.; Pérez- Álvarez, A. J.; Fernández, L. J.; (2000a) Nuevas tendencias en la tecnología e higiene de la industria cárnica, editorial Universidad Miguel Hernández, España; pág 153- 163.
- Sayas, B. E.; Fernández, L. J.; Pérez- Álvarez, A. J.; El avestruz como animal de abasto en el siglo XXI en Rosmini, M. R.; Pérez- Álvarez, A. J.; Fernández, L. J.; (2000b) Nuevas tendencias en la tecnología e higiene de la industria cárnica, editorial Universidad Miguel Hernández, España; pág 219- 232.
- Stainer, R. Y., Palleroni, N. J., Doudoroff, M., (1966) The aerobic *Pseudomonas*. A taxonomic study. *Journal Gen Microbiol.*, **42**: 159- 271. En Merck Igoda (1990). Indicaciones, Control de calidad y conservación de medios de cultivo granulados. Cultivos especializados. División de diagnósticos, México.
- Wotton, S.; Sparrey, J.; (2002) Stunning and slaughter of ostriches, *Meat Science* **60**: 389- 394.

## ANEXO 1: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

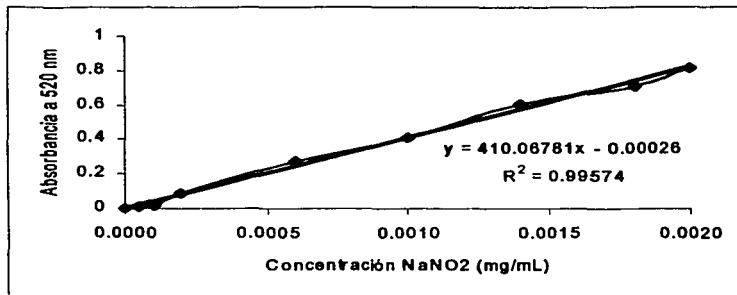


Figura A. 1. 1 Curva de calibración para la determinación de nitritos en la carne.

Tabla A. 1. 1 pH cármico del producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

pH cármico	ANOVA p >	Prueba de Duncan (*)	
		Tratamiento	Media
n = 18 pH de la salmuera g l 5	0.001	Control	6.44 c
		4.7	6.10 a
		5.23	6.17 b
		6.17	6.48 c
		7.14	6.65 d
		8.50	7.06 e

(\*) Los valores con diferentes letras difieren significativamente con una significancia = 0.05

Tabla A. 1. 2 Contenido de nitritos en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

Nitritos	ANOVA p >	Prueba de Duncan (*)	
		Tratamiento	Media
n = 18 pH de la salmuera g l 5	0.001	Control	9.0133 a
		4.7	144.64 b
		5.23	175.52 b, c
		6.17	179.11 b, c
		7.14	288.46 d
		8.50	242.36 c, d

(\*) Los valores con diferentes letras difieren significativamente con una significancia = 0.05

**Tabla A. 1.3** Luminosidad (L\*) del producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

Luminosidad (L*)	ANOVA p >	Prueba de Duncan (*)	
n = 18 pH de la salmuera g l5	0.003	Tratamiento	Media
		Control	53.47 b
		4.7	53.89 b, c
		5.23	55.30 c
		6.17	53.21 b
		7.14	52.90 b
8.50	51.37 a		

(\*) Los valores con diferentes letras difieren significativamente con una significancia = 0.05

**Tabla A. 1.4** Tonalidad o Hue (H\*) en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

Tonalidad (H*)	ANOVA p >	Prueba de Duncan (*)	
n = 18 pH de la salmuera g l5	0.001	Tratamiento	Media
		Control	70.63 c
		4.7	44.39 a
		5.23	44.46 a
		6.17	43.28 a
		7.14	41.46 a
8.50	50.54 b		

(\*) Los valores con diferentes letras difieren significativamente con una significancia = 0.05

**Tabla A. 1.5** Cromaticidad (C\*) en el producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

Cromaticidad (C*)	ANOVA p >	Prueba de Duncan (*)	
n = 18 pH de la salmuera g l5	0.001	Tratamiento	Media
		Control	17.93 d
		4.7	16.89 c
		5.23	16.59 b, c
		6.17	15.73 a, b
		7.14	15.86 a, b
8.50	14.90 a		

(\*) Los valores con diferentes letras difieren significativamente con una significancia = 0.05

**Tabla A. 1.6** Pérdidas por cocción del producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

Pérdidas por cocción	ANOVA p >	Prueba de Duncan (*)	
n = 18 pH de la salmuera g l5	0.001	Tratamiento	Media
		Control	45.81 c
		4.7	34.80 b
		5.23	32.19 b
		6.17	34.19 b
		7.14	15.34 a
8.50	18.75 a		

(\*) Los valores con diferentes letras difieren significativamente con una significancia = 0.05

**Tabla A. 1. 7** Textura del producto curado y cocido a diferentes valores de pH de la salmuera.

Textura		ANOVA p >	Prueba de Duncan (*)			
n = 18			Tratamiento	Control	Media	
pH de la salmuera g l 5		0.001	4.7	34.24 c		
			5.23	19.75 b		
			6.17	18.87 b		
			7.14	13.39 a		
			8.50	12.62 a		
				8.50	11.71 a	

(\*) Los valores con diferentes letras difieren significativamente con una significancia = 0.05

**Tabla A. 1. 8** Análisis de correlación entre los parámetros evaluados durante el proceso.

		pH cármico	Difusión nitritos	I. N.	I. D.	I. T. P.	L*	H*	C*
pH <sub>salmuera</sub>	r	0.887	0.418	0.575	-0.464	-0.516	-0.560	0.077**	-0.570
	p >	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.401	0.001
	n	120	120	120	120	120	120	120	120
Tiempo	r	0.061**	0.375	0.089**	-0.252	-0.217*	0.353	0.365	-0.202*
	p >	0.511	0.001	0.334	0.006	0.017	0.001	0.001	0.027
	n	120	120	120	120	120	120	120	120
pH cármico	r	1.000	0.539	0.540	-0.529	-0.558	-0.449	0.184*	-0.649
	p >		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.044	0.001
	n	120	120	120	120	120	120	120	120
Difusión nitritos	r	0.539	1.000	0.379	-0.563	-0.581	0.158*	0.312	-0.634
	p >	0.001		0.001	0.001	0.001	0.084	0.001	0.001
	n	120	120	120	120	120	120	120	120

La correlación es significativa a un nivel de 0.01.

\* La correlación es significativa a un nivel de 0.05.

\*\* No existe una correlación significativa al nivel de 0.05.

**Tabla A. 1. 9** Análisis de correlación entre los parámetros evaluados en el producto curado y cocido.

		Difusión de nitritos	pH cármico	Pérdidas por cocción	Textura	L*	H*	C*
pH <sub>salmuera</sub>	r	0.887	0.516*	-0.863	-0.949	-0.383**	-0.772	-0.875
	p >	0.001	0.028	0.001	0.001	0.117	0.001	0.001
	n	18	18	18	18	18	18	18
pH cármico	r	0.431**	1.000	-0.590	-0.359**	-0.792	0.091**	-0.631
	p >	0.074		0.010	0.144	0.001	0.718	0.005
	n	18	18	18	18	18	18	18
Difusión de nitritos	r	1.000	0.431**	-0.878	-0.869	0.257**	-0.736*	-0.703
	p >		0.074	0.001	0.001	0.303	0.001	0.001
	n	18	18	18	18	18	18	18

La correlación es significativa a un nivel de 0.01.

\* La correlación es significativa a un nivel de 0.05.

\*\* No existe una correlación significativa al nivel de 0.05.

**Tabla A. 1. 10** Análisis estadístico de la prueba afectiva.

Atributo	Rango de proporcionalidad*		
	Producto pH 7.14 vs. Salchichón	Producto pH 4.7 vs. Salchichón	Producto pH 7.14 vs. Producto pH 4.7
Apariencia general	0.02 – 0.38	-0.05 – 0.3	0.42 – 0.78
Color	0.02 – 0.38	-0.009 – 0.3489	0.25 – 0.61
Aroma	0.02 – 0.38	-0.05 – 0.3	0.35 – 0.71
Suavidad	0.22 – 0.58	0.38 – 0.74	0.12 – 0.48
Sabor	0.05 – 0.41	0.09 – 0.45	0.32 – 0.68

\*La proporcionalidad difiere significativamente si el valor de 0.5 no cae dentro del rango.

**Tabla A. 1. 11** Prueba de ordenamiento por rangos para los productos evaluados en la prueba sensorial

R   Muestras	Ordenamiento por rangos*
Producto a pH 7.14 - salchichón	32
Producto a pH 7.14 - producto a pH 4.7	6
Producto a pH 4.7 - salchichón	38

\* Existe diferencia significativa entre las muestras cuando el valor de  $|R| \geq r(0.05, 3, 30) = 19$ .