



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN CARNE
DE ABASTO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA

ISABEL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ



MÉXICO, D.F.

AÑO 2011



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: Profesor: Eduardo Mendoza Martínez

VOCAL: Profesor: Rodolfo Fonseca Larios

SECRETARIO: Profesor: Edith Ponce Alquicira

1er. SUPLENTE: Profesor: Esmeralda Paz Lemus

2° SUPLENTE: Profesor: Verónica Hernández Briones

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

LABORATORIO S-132, DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.

AVENIDA SAN RAFAEL ATLIXCO NO. 186 COLONIA VICENTINA DELEGACIÓN IZTAPALAPA, MÉXICO D.F. C.P. 09340

ASESOR DEL TEMA:

Dra. Edith Ponce Alquicira

SUPERVISOR TÉCNICO:

M. en B. Luis Humberto López Hernández

SUSTENTANTE (S):

Isabel Hernández Hernández



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACEPTACIÓN DE LA PRUEBA ESCRITA POR EL JURADO

(anexo III)

SR. DIRECTOR DE LA FACULTAD DE QUÍMICA
P R E S E N T E.

LA PRUEBA ESCRITA que presenta:

Isabel Hernández Hernández

de la carrera: Química de Alimentos

cuyo Título es: Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto

dentro de la opción: de Tesis

ES DE ACEPTARSE

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria D.F. Noviembre del 2011.

EL JURADO REVISOR

Profesor Eduardo Mendoza Martínez

Profesor Rodolfo Fonseca Larios

Profesor Edith Ponce Alquicira

Profesor: Esmeralda Paz Lemus

Profesor: Verónica Hernández Briones

*Si es mancomunada, indicar con quien.

ESTE TRABAJO FORMA PARTE DEL PROYECTO “INDICADORES DE CALIDAD EN LA CADENA DE PRODUCCIÓN DE CARNE FRESCA EN MÉXICO” APOYADO POR EL FONDO SECTORIAL DE INVESTIGACIÓN EN MATERIA AGRÍCOLA, PECUARIA, ACUACULTURA, AGROBIOTECNOLOGÍA Y RECURSOS FILOGENÉTICOS.

DEDICATORIAS

A Lety y Raul, mis padres ya que a pesar de los malos tiempos y de las adversidades confiaron en mí y me brindaron su apoyo, gracias por aguantar mi persona y GRACIAS por obsequiarme la mejor herencia: mi educación.

*A mi familia que nunca me abandono y que siempre estuvo conmigo,
Manue, Tía Oli,*

*Linas, Tío Pepe, Carmen, Cris, Nachis y Gordo;
no saben el apoyo que fueron para mí durante todo este tiempo,
aunque no me entendían mucho hacían su mayor esfuerzo,
GRACIAS!!!!*

No tengo tiempo de odiar a quienes me odian, no tengo tiempo para discutir con los que no me entienden, ni preocuparme por los que no les importo...estoy ocupado amando a quienes me aman, hablando con quienes me entienden y agradecido con quien les importo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque me ha prestado la vida y la paciencia durante todo este tiempo, porque no me ha dejado separar la fe de la ciencia.

*A la Dra. Edith Ponce porque me acepto es su equipo de trabajo y me brindó la confianza y el apoyo tanto académico como moral para poder llevar a cabo este proyecto, doctora en verdad la admiro porque siempre está dispuesta a resolver dudas con mucha paciencia y a brindarnos una opinión objetiva de las cosas. Muchas **GRACIAS** por esta gran oportunidad.*

*Al M. en B. Luis López, este proyecto no se habría llevado a cabo sin tu apoyo académico y moral. Gracias por las sesiones de dudas, de regaños, de pláticas, de consejos y muchas otras cosas más... que me ayudaron a crecer como persona y como estudiante, gracias por confiar en mí y por ayudarme a darle un norte a mi vida, gracias por tenerme paciencia con mis mal viajes mentales y por corregirme a tiempo, más que mi técnico académico te convertiste en un gran gran gran amigo muchas **GRACIAS**.*

A mi muy querida Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química.

*A mi otra familia a la que forme en los salones de clase, a las niñas del pirul: Eva Marina Briz, Erika Sánchez, Angélica Díaz, Lilitiana Olvera, Yanet Moreno, Berenice Mejía, Fabiola Guzmán muchas gracias por estar conmigo en las buenas, en las malas y en las peores, no saben cuánto las hecho de menos. Gracias por las tardes de charlas interminables, planes frustrados, locos e imposibles, malos entendidos, enojos, risas, chismes, círculos de estudio y los buenos momentos que vivimos juntas y que sería imposible escribirlos, probablemente otro tesis para contarlos. Gracias por sus palabras, su comprensión, su hombro para llorar o reír, su sonrisa, sus regaños y millones de cosas más. Gracias por aguantarme cuando enloquecía, la vida en la facultad fue más agradable gracias a ustedes y muchas cosas se podrán olvidar menos ustedes, **GRACIAS** por ser parte de este gran proyecto.*

A los compañeros del entonces S-130, Juanito y a los del ahora S-132, Arturín, Isa, Ruth, Luis y Yeny que aparte de que siempre teníamos mucho trabajo nos dábamos un espacio para cumplir con algunas misiones de recreación. Gracias por adoptar me en el laboratorio, la nueva vida que inicie en la UAM-I fue más agradable con su ayuda.

*Y claro muchas **GRACIAS** a los profesores Eduardo Mendoza, Rodolfo Fonseca y Edith Ponce por sus muy acertadas correcciones y comentarios.*

RESUMEN.

La oxidación lipídica es un factor de deterioro de la calidad de la carne, provocando cambios en el color, aroma, sabor, textura y valor nutritivo. La presencia de antioxidantes en el tejido puede retardar la oxidación de los lípidos y se conserven sus propiedades, fisicoquímicas y sensoriales.

El objetivo de este trabajo fue seleccionar y establecer técnicas que permitieran evaluar la capacidad antioxidante endógena por métodos químicos, tales como: FRAP (Capacidad de Reducción Férrica del Plasma), DPPH (2,2-difenil-1 picrilhidrazil) y ABTS [ácido 2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)] y por métodos enzimáticos, determinando la actividad de la catalasa y glutatión peroxidasa (GPX) en carne de cerdo, además de monitorear la estabilidad lipídica mediante la técnica de TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico), los cortes se analizaron al tiempo (t): 1, 5, 8, 12, 15 y 21 días y se almacenaron a 4 y 10°C.

Se llevaron a cabo todas estas pruebas en cortes *M. Longissimus dorsi* provenientes de 12 cortes de Rib eye y 11 cerdos sacrificados en rastro municipal y sin control en la alimentación, rebanados en porciones de 500g y empacados en charola de poliestireno cubiertos con una película permeable al oxígeno.

La susceptibilidad a la oxidación lipídica en carne de ambas especies fue determinada, mediante la técnica de TBARS expresada en mg de malonaldehído/Kg de carne; observándose que a 10°C se produjo una mayor concentración de malonaldehído (MDA) que a 4°C, siendo al día 8 donde se observó esta mayor cantidad ($P \leq 0.05$). Para carne de cerdo la cantidad de MDA fue de 0.461 ± 0.184 mg de MDA/Kg de carne a 10°C, mientras que en res fue de 2.336 ± 0.35 mg de MDA/Kg de carne a la misma temperatura.

En cuanto a la actividad antioxidante (AAn) para DPPH existieron diferencias significativas respecto a temperatura y días de almacén, siendo a 10°C donde se observó la mayor actividad antioxidante, se observaron dos puntos máximos de AAn para carne de res a 4°C en los días 5 y 12 (12.41 ± 5.17 y 16.09 ± 1.64 μM Trolox /100g de carne, respectivamente), a 10°C también se presentaron dos máximos pero a los días 5 y 15 (16.33 ± 6.95 y 17.41 ± 4.79 μM Trolox /100g de carne, respectivamente). En cuanto a la

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

AAAn en cerdo, no se observaron diferencias significativas por efecto de la temperatura pero si por efecto del tiempo. Se observó a 4°C dos máximos al día 1 y 12 con valores de 20.69 ± 5.26 y 21.06 ± 5.84 $\mu\text{M Trolox /100g}$ de carne respectivamente; mientras que las muestras almacenadas a 10°C mostraron valores máximos al día 1 y 15 con valores de 20.69 ± 5.26 y 18.06 ± 2.80 $\mu\text{M Trolox /100g}$ de carne respectivamente.

Para FRAP se observó un decremento gradual de la actividad reductora de Fe^{III} en carne de res para ambas temperaturas sin diferencias estadísticas, desde 7.34 ± 0.78 hasta 3.757 ± 2.08 $\mu\text{M Trolox/100g}$ de carne. Sin embargo en carne de cerdo no hubo diferencias por efecto de la temperatura, pero si con respecto al tiempo siendo la menor actividad al día 5 ($1.209 \pm 0.87 \mu\text{M Trolox /100g}$ de carne), posteriormente se observó un aumento de la actividad reductora al día 12 a ambas temperaturas.

Por otro lado, para la prueba de ABTS se observó un comportamiento parecido a DPPH; encontrando diferencias significativas con respecto a temperatura y tiempo de almacenamiento para carne de res. Los máximos de AAn se desplazaron a los días 8 y 15 para ambas especies, en res se observaron valores desde 50.070 ± 12.23 a 47.735 ± 5.2 y de 57.111 ± 10.47 a 41.784 ± 11.14 $\mu\text{M Trolox/100g}$ de carne para las muestras almacenadas a 4 y 10°C respectivamente. En carne de cerdo únicamente se encontró diferencia significativa con respecto al tiempo de almacenamiento; a 4°C se observan valores de 49.81 ± 7.56 a 50.558 ± 4.81 $\mu\text{M Trolox/100g}$ de carne ($P \leq 0.005$) y para 10°C los resultados van de 50.36 ± 6.74 a 51.28 ± 3.79 $\mu\text{M Trolox/100g}$ de carne.

Respecto a la actividad enzimática únicamente determinada en carne de cerdo, se observó que la actividad de la catalasa fue mayor ($P \leq 0.05$) al día 15 tanto a 4 y 10°C, (136.45 ± 15.43 y 163.84 ± 34.52 U/g de carne respectivamente), mientras que la mayor actividad ($P \leq 0.05$) para la glutatión peroxidasa (GPX) fue al día 8 a 4°C (0.0263 ± 0.005 U/g de carne) y al día 5 a 10°C (0.0267 ± 0.006 U/g de carne). Observándose que la temperatura de almacén afectó la actividad de dichas enzimas, además de que la catalasa necesita elevadas concentraciones de sustrato para poder observar su actividad, mientras que la GPX disminuyó su actividad a partir del día 12 a ambas temperaturas.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Al determinar la capacidad antioxidante en conjunto con la oxidación lipídica se observaron diferentes comportamientos entre las técnicas de DPPH[•], FRAP y TBARS; siendo FRAP la que mejor podría explicar la actividad antioxidante y ser empleada para evaluar la estabilidad lipídica de la carne fresca. Por otra parte también se observó que entre las técnicas empleadas para medir la actividad antioxidante no se encuentran diferencias significativas atribuyéndose principalmente a la variabilidad en los cortes muestreados. Respecto a la actividad enzimática se puede observar como un sistema acoplado que puede minimizar la producción del peróxido de hidrogeno durante el almacenamiento de la carne aunque se recomendaría vigilar la presencia únicamente de la GPX ya que la catalasa al necesitar elevadas cantidades de peróxido de hidrogeno, podría estar metabolizando el peróxido proveniente de la degradación del color y no el procedente de la generación de las especies reactivas al oxígeno cuya producción es más importante.

INDICE GENERAL

1.INTRODUCCIÓN	16
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. ANTECEDENTES	19
3.1 Industria Cárnica en México	19
3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CARNE	21
3.2.1 Proteínas.....	21
3.2.2 Lípidos.....	23
3.2.3 Carbohidratos.....	25
3.2.4 Minerales.....	26
3.2.5 Agua.....	27
3.2.6 Nutrimientos Inorgánicos.....	27
3.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.....	28
3.3.1 pH.....	28
3.4 DEGRADACIÓN OXIDANTE.....	29
3.4.1 Formación de especies reactivas al oxígeno.....	30
3.4.2 Autooxidación lipídica.....	33
3.4.3 Técnicas para medir la oxidación de los lípidos.....	36
3.5 MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	38
4. HIPÓTESIS	39
5. OBJETIVOS.....	40
5.1. Objetivo general.....	40
5.2 Objetivos particulares.....	40
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
6.1 Obtención del extracto para determinar la actividad antioxidante.....	41
6.2 Obtención del extracto para determinar la oxidación lipídica.....	42
6.3 MEDICIÓN DE LA OXIDACIÓN LIPÍDICA MEDIANTE LA DETERMINACION DE SUSTANCIAS REACTIVAS CON EL ÁCIDO TIOBARBITÚRICO (TBARS)....	42
6.4 DETERMINACIÓN DE pH.....	42
6.5 MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE METODOS QUÍMICOS.....	43
6.5.1 Ensayo de DPPH	43
6.5.2 Ensayo de poder de reducción (FRAP).....	43
6.5.3 Ensayo de ABTS.....	44
6.6 MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE TÉCNICAS ENZIMATICAS	44
6.6.1 Determinación de la actividad de la catalasa.....	44
6.6.2 Determinación de la actividad de la Glutación peroxidasa.....	45

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

6.7 DISEÑO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL.	45
7.1 Oxidación lipídica.	46
7.2 pH.....	50
7.3 Determinación de la capacidad antioxidante mediante métodos químicos	52
7.3.1 Prueba del radical DPPH [•]	52
7.3.2 Ensayo de FRAP.	59
7.3.3 Prueba del radical ABTS [•]	66
7.4 Determinación de la capacidad antioxidante enzimática.....	72
7.4.1 Ensayo de la actividad de la catalasa	72
7.4.2 Ensayo de la actividad de la glutatión peroxidasa (GPX).	75
7.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
8. CONCLUSIONES	79
9. BIBLIOGRAFÍA.....	81
10.ANEXOS.....	87
10.1 Gráficos de curvas patrón	87
10.2 Análisis estadístico.....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición general de la carne de diferentes especies	16
Tabla 2. Contenido en aminoácidos (g/100 g de músculo) de las proteínas cárnicas de distintas especies.....	22
Tabla 3. Ejemplos de derivados proteicos, que poseen efectos fisiológicos de beneficio para la salud.....	23
Tabla 4. Contenido en grasa (%) sobre el total de ácidos grasos y colesterol (mg/100 g de carne). 24	
Tabla 5. Contenido en ácidos grasos (g/100 g de carne) de la grasa de diferentes especies.....	25
Tabla 6. Contenido de minerales (mg/100g de carne) de diferentes especies.	26
Tabla 7. Contenido de vitaminas en carne de diferentes especies (mg/100g de carne	28
Tabla 8. Oxígeno activo y especies relacionadas.....	29
Tabla 9. ANOVA de la concentración de TBARS en cortes de res durante el tiempo de almacenamiento	90
Tabla 10. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de res respecto a los días de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).	90
Tabla 11. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).	91
Tabla 12. ANOVA de la concentración de TBARS en cortes de cerdo durante el tiempo de almacenamiento.	91
Tabla 13. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de cerdo respecto a los días de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).	92
Tabla 14. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).	92
Tabla 15. ANOVA del pH en cortes de cerdo durante almacenamiento.....	92
Tabla 16. Comparación de medias de pH en cortes de cerdo respecto a los días de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).	93
Tabla 17. Comparación de medias de pH en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).	93
Tabla 18. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de res durante el tiempo de almacenamiento.....	94
Tabla 19. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de res respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).....	94
Tabla 20. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).....	95
Tabla 21. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de cerdo durante el almacenamiento	95
Tabla 22. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	96
Tabla 23. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	96

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 24. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de res durante el almacenamiento.	96
Tabla 25. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de res respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	97
Tabla 26. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	97
Tabla 27. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de cerdo durante el almacenamiento.	98
Tabla 28. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	99
Tabla 29. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	99
Tabla 30. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de res durante el almacenamiento.	99
Tabla 31. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de res respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	100
Tabla 32. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	101
Tabla 33. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de cerdo durante el almacenamiento.	101
Tabla 34. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	102
Tabla 35. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	102
Tabla 36. ANOVA de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo durante el almacenamiento.	102
Tabla 37. Comparación de medias de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	103
Tabla 38. Comparación de medias de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	103
Tabla 39. ANOVA de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo durante el almacenamiento.	104
Tabla 40. Comparación de medias de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	105
Tabla 41. Comparación de medias de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).	105
Tabla 42. Prueba de correlación para los métodos realizados en carne de res.	105
Tabla 43. Prueba de correlación para los métodos realizados en carne de cerdo.	106

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conformación porcentual de la producción de carne en México (SIAP/SAGARPA, 2009).	19
Figura 2. Producción de carne en México (SIAP/SAGARPA, 2009).	20
Figura 3. Producción de carne de bovino en México (SIAP/SAGARPA, 2009).....	20
Figura 4. Producción de carne de porcino en México (SIAP/SAGARPA, 2009).	21
Figura 5. Etapa de iniciación en el mecanismo de oxidación lipídica.	34
Figura 6. Etapa de propagación en el mecanismo de oxidación lipídica.....	34
Figura 7. Formación de Malonaldehído a partir de productos primarios de oxidación lipídica.....	36
Figura 8. Concentración de TBARS en los cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) de Rib eye durante el almacenamiento a 4 y 10°C.	46
Figura 9. Concentración de TBARS en los cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) durante el almacenamiento a 4 y 10 °C.....	47
Figura 10. Variación del pH en los cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) durante el almacén a 4 y 10°C.	50
Figura 11. Actividad antioxidante por el método DPPH en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) del Rib eye almacenados a 4 y 10°C.....	52
Figura 12. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4°C.	54
Figura 13. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 10°C.	54
Figura 14. Actividad antioxidante en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) por el método DPPH almacenados a 4 y 10°C.	56
Figura 15. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4°C.....	57
Figura 16. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 10°C.....	58
Figura 17. Actividad antioxidante en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) del Rib eye por el método FRAP almacenados a 4 y 10°C.....	60
Figura 18. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4°C.	61
Figura 19. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 10°C.	62
Figura 20. Actividad antioxidante en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) por el método FRAP almacenados a 4 y 10°C.	63
Figura 21. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4°C.....	65

Figura 22. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 10°C.	65
Figura 23. Actividad antioxidante en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) del Rib eye por el método ABTS almacenados a 4 y 10°C.	67
Figura 24. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4°C.	68
Figura 25. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 10°C.	68
Figura 26. Actividad antioxidante en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) por el método ABTS almacenados a 4 y 10°C.	69
Figura 27. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4°C.	70
Figura 28. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 10°C.	71
Figura 29. Variación de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4 y 10°C.	73
Figura 30. Variación de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo (<i>M. Longissimus dorsi</i>) almacenados a 4 y 10°C.	76
Figura 31. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por inhibición del radical DPPH en carne de res.	87
Figura 32. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por reducción de FRAP para carne de res.	87
Figura 33. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por inhibición del radical ABTS para carne de res y cerdo.	88
Figura 34. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por inhibición del radical DPPH en carne de cerdo.	88
Figura 35. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por reducción de FRAP para carne de cerdo.	89

1. INTRODUCCIÓN

A través de la historia, el consumo de carne como alimento ha mantenido una posición prestigiosa, tanto social como económica. La carne es uno de los alimentos más nutritivos para consumo humano debido a su aporte de proteínas de alto valor biológico, lípidos, vitaminas y nutrimentos inorgánicos; provee calorías procedentes de su contenido de lípidos; pero su contribución vital a la dieta son las proteínas, vitaminas del complejo B, ciertos minerales como hierro, zinc, fósforo y ácidos grasos esenciales. Sus componentes fundamentales son bien conocidos, la composición de la carne es relativamente constante en los animales de abasto, las diferencias son debidas principalmente a la cantidad de grasa del corte o porción estudiada, así como a la especie, la raza, la edad y el género (Lawrie, 1998).

Tabla 1. Composición general de la carne de diferentes especies

Tipo de carne	Agua (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Kcal
Res	67.3-70.6	21.8-22.8	6.2-10.6	153-188
Cerdo				
Lomo	69.2-71.3	18.7-19.0	7.2-9.6	145-167
Costillas	63.5-71.8	17.0-19.3	8.28-18.7	157-241
Cordero				
Pierna	60.3-74.4	16.9-20.8	3.8-22.1	123-272
Pollo				
Pechuga	69.5-74.8	20.8-23.1	1.2-9.3	110-172

(USDA, 2004)

El conocimiento detallado de la composición de la carne y la manera en que estos componentes se ven afectados por las condiciones de manipulación, procesamiento y almacenamiento determinarán finalmente su valor nutrimental, la vida de anaquel y el grado de aceptación por parte del consumidor.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

La grasa es el componente más variable de la carne en cuanto a composición; los lípidos presentes pueden variar en su composición de ácidos grasos. Las cadenas de ácidos grasos van de 12 a 20 carbonos de longitud y pueden ser totalmente saturadas, mono-insaturadas o poliinsaturadas. Mientras más insaturado sea un ácido graso, menor será su punto de fusión y más susceptible será a la oxidación y al desarrollo de sabores rancios y olores desagradables.

El músculo dispone de sistemas capaces de controlar los procesos oxidativos derivados del metabolismo celular. Dentro de éstos se encuentran sistemas enzimáticos, grupos de dipéptidos y vitaminas. Entre las enzimas con actividad antioxidante se pueden encontrar la catalasa, la superóxido dismutasa y la glutatión peroxidasa, que constituyen el principal mecanismo de defensa intracelular al daño causado por radicales libres, derivados de las reacciones de autooxidación. Entre las vitaminas se encuentra la vitamina E, la cual se localiza principalmente en las membranas celulares y subcelulares, lugar donde se ha observado que tienen lugar el inicio de las reacciones de oxidación; mientras que los dipéptidos presentes: carnosina y anserina que actúan como antioxidantes naturales debido a su capacidad de secuestrar iones metálicos como el Fe^{2+} y el Cu^{2+} (Descalzo *et al.*, 2008). Así mismo, el glutatión constituye el principal sistema redox de la carne, la proporción de las formas reducida/oxidada (GSH/GSSG) es un indicativo del ambiente reductor en la carne y por lo tanto de su estabilidad a la oxidación. Sin embargo, factores como la línea genética, el programa de alimentación, el estado de nutrición, las condiciones de sacrificio y el manejo post-mortem pueden modificar la estabilidad oxidativa del tejido muscular.

En la carne cruda es de interés conocer su frescura para predecir el momento en que inicia su alteración con la finalidad de evitar pérdidas económicas y prolongar su almacenamiento. La carne se suele analizar para indicar niveles de frescura o determinar el deterioro de lípidos, con pruebas que indican el valor de peróxidos y especies reactivas al ácido tiobarbitúrico. Éstas miden la estabilidad oxidativa del tejido, mientras que las pruebas que determinan los niveles de ácidos grasos libres miden el estado de hidrólisis de la grasa; la carne suele tener un contenido graso que varía desde un 1% hasta un 15%, generalmente depositada en el tejido adiposo y en la grasa intramuscular (Lawrie, 1998).

2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales problemas de la industria cárnica son las elevadas pérdidas a causa de la descomposición de la carne fresca causada principalmente por la acción de los microorganismos. Sin embargo, la oxidación de los ácidos grasos también merece atención ya que genera la aparición de compuestos tóxicos para la salud y disminuye notablemente la vida de anaquel de la carne. Debido a que estas modificaciones en la carne se generan durante el almacenamiento se han instrumentado algunos métodos de prevención para poder prolongar la vida de anaquel y disminuir este tipo de alteraciones. Los estudios que integran los cambios que presenta la carne como el cambio de color, la oxidación de ácidos grasos, la variación de la presencia de antioxidantes durante el almacenamiento y la temperatura son pocos; por lo tanto y debido a que los sistemas antioxidantes presentes en la carne son muy complejos y constan de la actividad de varios componentes se propone evaluar la presencia de antioxidantes mediante métodos enzimáticos, es decir, evaluando la actividad de las principales enzimas antioxidantes la (catalasa y glutatión peroxidasa) en conjunto con métodos químicos (FRAP, DPPH y ABTS) y la oxidación lipídica.

3. ANTECEDENTES

3.1 Industria Cárnica en México.

La evolución de la producción de carne en México durante la última década, es el resultado de la compleja interacción entre las diferentes ramas de la ganadería enfocada a la obtención de ganado para abasto y las preferencias del consumidor, estas últimas, influenciadas por las nuevas tendencias en el consumo de alimentos y en poder adquisitivo. Tres ramas de la ganadería como son: bovina porcina y avícola, concentran el 98% de la producción doméstica de cárnicos (SAGARPA, 2009).

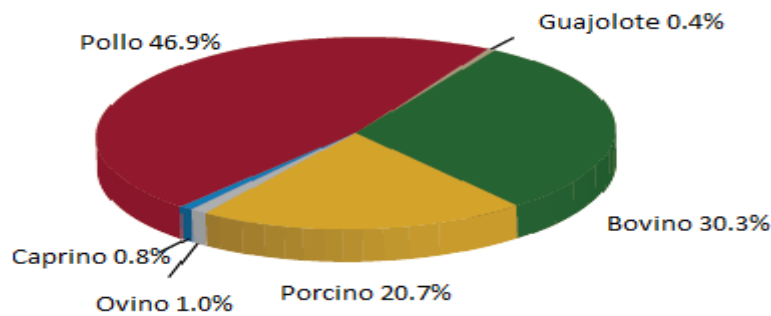


Figura 1. Conformación porcentual de la producción de carne en México (SIAP/SAGARPA, 2009).

En el transcurso de los últimos 10 años, la producción total de carne (Figura 2) experimentó un crecimiento para ubicar la oferta interna de carne en 5615 miles de toneladas. Este crecimiento fue superior al incremento de la población humana en México, lo que aseguró una mayor disponibilidad *per cápita* (SAGARPA, 2009).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

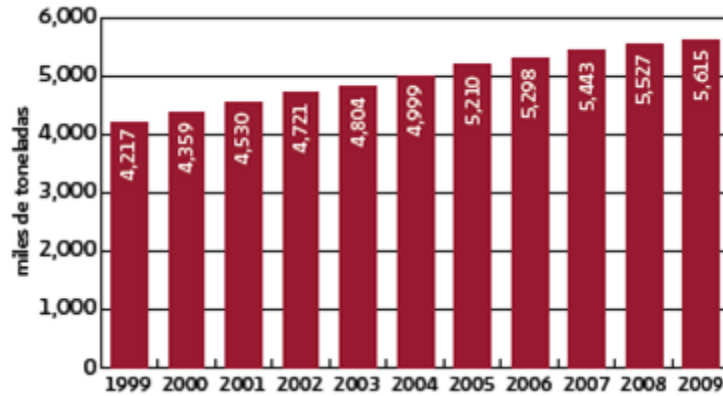


Figura 2. Producción de carne en México (SIAP/SAGARPA, 2009).

La ganadería bovina ha mantenido su segundo lugar en importancia dentro de la oferta de carnes, aportando el 30.3% que en volumen, representa 1700 miles de toneladas y su ritmo de crecimiento indica una tendencia de aumento sostenido, permitiendo asegurar una mayor disponibilidad *per cápita* de carne de bovino de origen nacional (Figura 3). Es importante señalar que independientemente de que la carne de bovino se ubica como la segunda en volumen de producción nacional, continúa marcando la tendencia del mercado de carnes en México además de que es de las que posee el mayor volumen de exportación (SAGARPA, 2009).

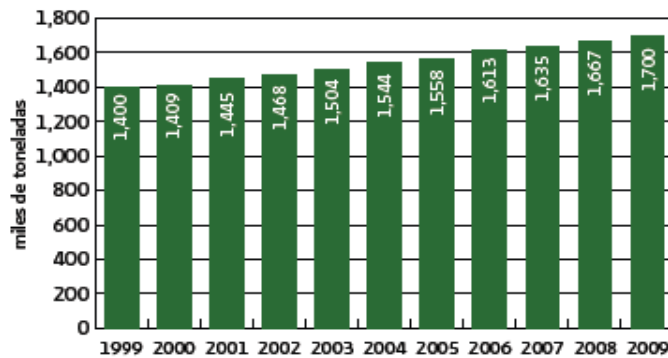


Figura 3. Producción de carne de bovino en México (SIAP/SAGARPA, 2009)

La producción de carne de porcino en los últimos 10 años presentó un crecimiento del 2% alcanzando una oferta de 1162 miles de toneladas (Figura 4). La disminución de su ritmo de expansión respecto a la década pasada, se debe a una fuerte competencia con productos de

importación y más recientemente por su vinculación con la influenza humana. Cabe señalar que en este producto se observa una fuerte presión de los hábitos del consumidor ya que independientemente de considerarse como la de mayor sabor, se le creó una mala imagen debido a su supuesto elevado contenido graso que la ha alejado del gusto del consumidor (SAGARPA, 2010).

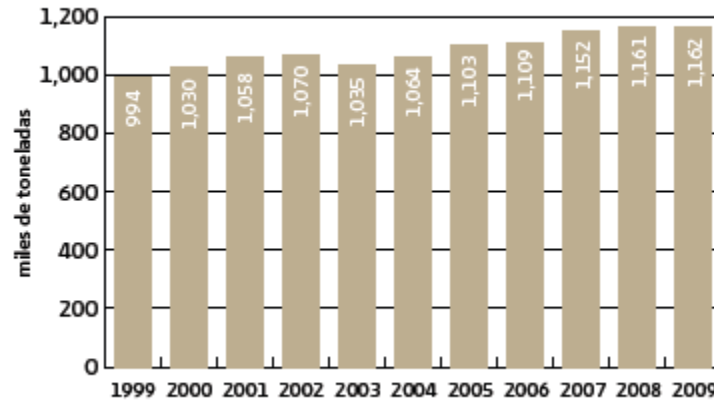


Figura 4. Producción de carne de porcino en México (SIAP/SAGARPA, 2009).

3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CARNE

El concepto carne se define como: la estructura compuesta por fibra muscular estriada, acompañada o no de tejido conjuntivo elástico, grasa, fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos, de las especies animales autorizadas para el consumo humano (Norma Oficial Mexicana NOM-009-ZOO-1994, Proceso sanitario de la carne).

3.2.1 Proteínas.

La carne es una fuente importante de proteínas, su proporción depende de la cantidad de grasa y agua. Son proteínas de alto valor biológico, ya que un 40 % de los aminoácidos que las componen son indispensables (lisina, isoleucina, treonina, valina, leucina, metionina, fenilalanina y triptófano) variando en función de la especie (Tabla 2). Además están en suficiente cantidad y proporción para cubrir las necesidades corporales, el crecimiento y la

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

reconstitución de los tejidos, por ser muy similares a los que componen el tejido humano (Price *et al.*, 1994).

Tabla 2. Contenido en aminoácidos (g/100 g de músculo) de las proteínas cárnicas de distintas especies.

Aminoácidos indispensables	VACUNO	CORDERO	CERDO	POLLO
Triptófano	0.24-0.25	0.19-0.24	0.20-0.24	0.23-0.27
Treonina	0.94-0.99	0.72-0.89	0.73-0.88	0.86-0.97
Isoleucina	0.98-1.02	0.87-1.00	0.75-0.90	1.06-1.22
Leucina	1.72-1.80	1.31-1.62	1.29-1.54	1.53-1.73
Lisina	1.81-1.89	1.49-1.84	1.45-1.73	1.72-1.96
Metionina	0.55-0.58	0.43-0.53	0.42-0.51	0.56-0.63
Valina	1.06-1.10	0.91-1.12	0.87-1.04	1.02-1.14
Fenilalanina	0.85-0.89	0.69-0.85	0.64-0.76	0.81-0.91
Histidina	0.74-0.78	0.53-0.66	0.64-0.77	0.62-0.71
Aminoácidos no indispensables				
Cisteína	0.24-0.25	0.20-0.25	0.20-0.24	0.27-0.29
Arginina	1.37-1.44	1.00-1.24	1.02-1.19	1.28-1.39
Tirosina	0.73-0.76	0.56-0.70	0.52-0.67	0.64-0.79
Alanina	1.31-1.37	1.01-1.25	0.93-1.12	1.18-1.26

(USDA, 2004)

La carne contiene derivados proteicos con efectos fisiológicos benéficos para la salud (Tabla 3), algunos aminoácidos y péptidos poseen capacidad antioxidante, contribuyen a la síntesis de anticuerpos y por lo tanto a la resistencia frente a algunas enfermedades, también algunas proteínas son precursoras de péptidos bioactivos, así ciertos hidrolizados proteicos del músculo y glóbulos rojos de vacuno actúan reduciendo los factores de riesgo de enfermedades hepáticas y cardiovasculares (Gordon *et al.*, 1992).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 3. Ejemplos de derivados proteicos, que poseen efectos fisiológicos de beneficio para la salud.

	Origen y/o efecto fisiológico
ARGININA	Aminoácido con efecto antioxidante por ser el precursor del óxido nítrico. (Cole <i>et al.</i> , 1995).
GLUTATION	Péptido con efecto reductor cuya fuente más importante es la carne. Proporciona protección celular frente a una amplia variedad de procesos toxicológicos también se le considera como el posible responsable de aumentar la absorción del hierro no hemo (Bishop, <i>et al.</i> , 1999).
L-CARNITINA	Péptido que aporta energía y disminuye los niveles de colesterol, ayudando en la absorción del calcio, procede en un 75% de la dieta, principalmente de la carne roja; además posee una capacidad antioxidante así mismo disminuye la aparición del ácido láctico y acelera el quemado de grasas al aumentar la función mitocondrial (Cole, <i>et al.</i> , 1995).
CARNOSINA Y ANSERINA	Péptidos bioactivos con capacidad antioxidante, más abundante en la carne, protegen frente al estrés oxidativo, anti-inflamación y antitumorales (Arihara, 2004).

3.2.2 Lípidos.

Los lípidos son el componente más variable de la canal de los animales de abasto, comprende entre un 3-20% del peso vivo de un animal listo para el mercado. La cantidad de lípidos varía en función de varios factores: especie, raza, edad, género, alimentación, ejercicio y parte anatómica del animal, tal como se puede observar en la Tabla 4 (Price *et al.*, 1994).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 4. Contenido en grasa (%) sobre el total de ácidos grasos y colesterol (mg/100 g de carne).

Tipo de carne	Grasa total	SFA	MUFA	PUFA	Colesterol
Res	6.12-10.5	36.4-40.5	40.4-42.8	4.6-4.2	38-60
Cerdo	7.1-9.6	39.5-37.4	46-47.6	8.9-8.6	49-52
Cordero	3.8-22.1	42.6-44	38.42-41.07	5-7.8	63-76
Pollo	1.2-9.3	26.6-28.7	24.2-41.3	22.6-21.2	58-64

SFA, ácidos grasos saturados

(USDA, 2004)

MUFA, ácidos grasos monoinsaturados

PUFA, ácidos grasos poliinsaturados

Según su localización los lípidos de la carne se pueden agrupar en tres tipos: lípidos del tejido subcutáneo, grasa intermuscular y grasa intramuscular. Los lípidos del tejido subcutáneo y la grasa intermuscular están constituidos mayoritariamente por triglicéridos, neutros, con un bajo contenido de fosfolípidos y una pequeña cantidad de colesterol. Los lípidos intramusculares llamados comúnmente marmoleo están compuestos por triglicéridos (62-68%), fosfolípidos (17-34%) y una pequeña cantidad de fracción insaponificable (Rhee *et al.*, 1992).

Los principales ácidos grasos que se encuentran en la carne son los saturados mirístico (14:0), palmítico (16:0) y esteárico (18:0) y los insaturados palmitoleico (16:1), oleico (18:1), linoleico (18:2), linolénico (18:3) y araquidónico (20:4). El porcentaje de estos ácidos grasos (Tabla 5) puede variar de acuerdo a la especie, tejido, dieta, raza, género y edad (Price *et al.*, 1994).

Tabla 5. Contenido en ácidos grasos (g/100 g de carne) de la grasa de diferentes especies.

	RES	CORDERO	CERDO	POLLO
C10:0	0.02	0.01-0.06	0.010	-
C12:0	0.02	0.01-0.10	0.01-0.02	0.01
C14:0	0.14-0.24	0.08-0.90	0.10-0.23	0.01-0.08
C16:0	1.33-2.42	0.77-4.88	1.82-4.04	0.21-1.95
C18:0	0.68-1.22	0.63-3.60	0.89-2.12	0.10-0.54
SFA	2.27-4.28	1.62-9.73	2.83-6.49	0.33-2.66
C16:1 η -7	0.20-0.45	0.07-0.64	0.26-0.53	0.03-0.50
C18:1 η -9/ η -7	2.23-3.89	1.38-8.15	3.39-7.65	0.25-3.17
C20:1 η -9/ η -11	0.01	-	0.06-0.14	0.01
MUFA	2.52-4.52	1.46-9.08	3.71-8.34	0.30-3.82
C18:2 η -6	0.22-0.30	0.12-1.27	0.72-1.67	0.17-1.74
C20:4 η -6	0.04-0.05	0.02-0.07	0.10-0.11	0.04-0.05
C18:3 η -3	0.01-0.08	0.06-0.40	0.03-0.13	0.01-0.08
C20:5 η -3	-	-	-	0.01
C22:5 η -3	-	-	-	0.01
C22:6 η -3	-	-	-	0.02
PUFA	0.29-0.44	0.19-1.73	0.85-2.00	0.28-1.96

(USDA 2004)

Desde hace tiempo se ha observado la presencia de pequeñas cantidades de fosfolípidos en los tejidos animales, atrayendo la atención su papel estructural y funcional en las membranas y ahora su efecto sobre el aroma y el mantenimiento de la calidad de la carne y de los productos cárnicos. Cuando los fosfolípidos son expuestos al aire ocurren cambios marcados en el aroma, color, y sabor de la carne. Los cambios oxidativos son mucho más intensos en fracciones de tejido ricas en fosfolípidos, aunque sigue siendo variable dependiendo del corte y de la riqueza de la grasa en el músculo (Price *et al.*, 1994).

3.2.3 Carbohidratos.

La cantidad de glucógeno presente en el sacrificio y la velocidad de la glicólisis post-mortem, afectan el color del músculo, la textura, la firmeza, la capacidad de retención de agua, la capacidad de emulsificación y su vida útil (Price *et al.*, 1994). También hay pequeñas cantidades de glucosaminoglicanos y proteoglicanos (presentes en la matriz extracelular del tejido conectivo), además de glicoproteínas (presentes en la sangre), hormonas e intermediarios glucolíticos (el más abundante es la D-glucosa) y glicolípidos (Higgs, 2000).

3.2.4 Nutrientes Inorgánicos.

La carne constituye una fuente importante de minerales esenciales en la dieta (hierro, zinc, cobre, fósforo), además de otros elementos traza, como selenio y magnesio.

Entre los minerales aportados por la carne destaca el hierro, no solo por la cantidad sino por la biodisponibilidad, la cual no se altera cuando la carne es cocinada. Dos terceras partes del hierro se encuentran en forma hemo (presente en la hemoglobina y mioglobina), cuya eficiencia de absorción es de 2 a 3 veces mayor que la del hierro no hemo. La absorción del hierro no hemo es inhibida por la fibra, además de algunos minerales (zinc, cobalto, cobre) y es aumentada por la vitamina C (Price *et al.*, 1994).

Tabla 6. Contenido de minerales (mg/100g de carne) de diferentes especies.

	RES	CORDERO	CERDO	POLLO
Calcio	4-21	4-10	23-27	11-12
Hierro	1.74-2.09	1.61-1.94	0.89-1.02	0.72-0.74
Zinc	2.75-4.10	2.95-4.50	2.56-2.95	0.80-1.5
Potasio	341-383	156-342	302-340	220-255
Fósforo	209-219	159-214	173-191	174-196
Magnesio	20-25	17-26	18-21	25-28
Sodio	50-63	40-81	58-67	63-65
Yodo	2.8-3.0	2.7	7.6	3,0
Cobre	0.07-0,09	0.10-0.20	0.06-0,07	0.03-0.04
Selenio (µg/100g)	20.3-26.7	2.7-22.80	28.2-32.6	-

(USDA, 1994)

La carne es una fuente importante de zinc, el cual participa en reacciones de síntesis o degradación de proteínas, hidratos de carbono, lípidos y ácidos nucleicos. Además interviene en la composición y actividad de más de 200 enzimas, también participa en la estabilización de la estructura de proteínas y de los ácidos nucleicos, además en procesos de transporte, funciones inmunológicas y en la expresión de la información genética. Se considera un elemento importante en la prevención de ciertos tipos de cáncer. La carne es la principal fuente de zinc ya que alrededor del 27% del ingerido en la dieta es de origen cárnico (Hunt *et al.*, 1995).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

El selenio forma parte de la enzima glutatión peroxidasa, que inactiva los peróxidos e hidroperóxidos, por ello el selenio es un importante nutrimento indispensable como antioxidante, la carne proporciona el 25% de este mineral (Higgs, 2000).

El potasio ejerce una acción complementaria a la del sodio en el funcionamiento celular, tiene un papel muy importante en el mantenimiento del balance hidroelectrolítico y la integridad celular, en la transmisión nerviosa y en la contracción muscular. La carne además aporta alrededor del 20-25% de las necesidades de fósforo este mineral participa en importantes funciones bioquímicas en el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas (Higgs *et al.*, 2002)

3.2.5 Agua.

Cuantitativamente el agua es el componente más importante de la carne (Cuadro 1). Su presencia está inversamente relacionada con la grasa y puede condicionar alguna de las propiedades de los productos elaborados (Higgs *et al.*, 2002).

3.2.6 Vitaminas.

La carne es una excelente fuente de vitaminas del grupo B como la B₁ (tiamina), B₂ (riboflavina), B₃ (niacina), B₆ (piridoxina), B₉ (ácido fólico) y B₁₂ (cobalamina). El contenido de estas vitaminas en la carne varía dependiendo de numerosos factores como la especie, tipo de músculo, edad, sexo y el estado general de salud de los animales (Tabla 7). Además, al ser hidrosolubles se encuentran en gran cantidad en carne magra, sin embargo, no son muy estables y puede haber pérdidas durante el cocinado (Higgs, *et al.*, 2002).

La vitamina B₁₂ y B₆ tienen origen animal principalmente, actúan como cofactor de muchas enzimas y en la formación de glóbulos rojos, así como también juegan un papel importante en el mantenimiento del sistema nervioso central (Higgs, 2000).

La vitamina B₁ se encuentra en cantidades importantes en la carne, principalmente en la de cerdo, actúa como cofactor de enzimas que convierten las grasas y los carbohidratos en energía y en una adecuada función del sistema nervioso (Higgs, *et al.*, 2002).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Respecto a la vitamina B₂ actúa como cofactor de enzimas en el ciclo de Krebs, que proporciona energía, aunque existen pérdidas de esta vitamina en los exudados tras la descongelación. El consumo de carne aporta más de un tercio de las recomendaciones de las vitaminas B₁ y B₆ (0.8-1.1 mg /día y 1.6-2.1 mg/día respectivamente), más de un cuarto de las de B₂ (1-1.8 mg/día) y por encima del doble de B₁₂ (Higgs, 2000).

Tabla 7. Contenido de vitaminas en carne de diferentes especies (mg/100g de carne)

	RES	CORDERO	CERDO	POLLO
Vitamina C	-	-	0.7-0.8	1.2
Vitamina B₁	0.08-0.10	0.12-0.15	0.70-0.80	0.06-0.07
Vitamina B₂	0.11-0.19	0.23-0.42	0.24-0.27	0.08-0.09
Vitamina B₃	4.16-6.66	6.34-6.92	3.88-4.32	9.90-11.19
Vitamina B₅	0.34-0.64	0.23-0.50	0.66-0.75	0.80-1.06
Vitamina B₆	0.49-0.65	0.14-0.17	0.41-0.49	0.43-0.55
Vitamina E (µg/100g de carne)	0.30-0.33	0.19-0.22	0.18	0.13-0.31
Vitamina B₉	9-12	18-24	4	4-7
Vitamina B₁₂	1.32-2.84	2.48-2.60	0.75-0.84	0.34-0.38
Vitamina A	-	-	2	6-24

(USDA, 2004)

3.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS.

3.3.1 pH

El pH de la carne está determinado por la cantidad de ácido láctico producido a partir del glucógeno durante la glucólisis anaerobia. La caída de este parámetro en el músculo se da en forma gradual desde valores aproximados a 7, que corresponde al que se presenta en el animal vivo, hasta 5.6-5.7 después de que han transcurrido de 6-8 horas del sacrificio para alcanzar a las 24 horas un pH final de 5.3-5.7 (Lawrie, 1998).

Este pH coincide con el punto isoeléctrico de muchas proteínas, incluyendo las miofibrilares, lo que trae como consecuencia una pérdida de solubilidad y por lo tanto una disminución en la capacidad de retención de agua y en la intensidad del color (Price *et al.*, 1994).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Por otro lado, el pH final de la carne también es determinante en el crecimiento microbiano, ya que la mayoría de las bacterias crecen óptimamente a un pH aproximado de 7, mientras que a valores inferiores a 4 y superiores a 9 hay crecimiento escaso (Lawrie, 1998).

Con relación a los lípidos la oxidación se incrementa conforme el pH disminuye de 7.0. Esto se relaciona con los grupos imidazol de la histidina o amino de las proteínas los cuales juegan un papel importante en la quelación de iones metálicos. A pH menor a 6 hay una ionización de los residuos de histidina lo cual puede alterar la carga y la estructura terciaria de las proteínas lo que redundaría en su capacidad para secuestrar iones que catalizan la oxidación como son: hierro, manganeso, cobalto y cobre (Yasosky *et al.*, 1984)

3.4 DEGRADACIÓN OXIDANTE.

La oxidación se aborda generalmente como la forma más frecuente de deterioro de los lípidos, principalmente de los ácidos grasos poliinsaturados que conduce al desarrollo de enranciamiento, la formación de compuestos que provocan sabores indeseables, polimerización y otro tipo de reacciones que provocan la reducción de la vida útil y el valor nutritivo del alimento. Los dos principales compuestos implicados en la oxidación lipídica son los ácidos grasos insaturados y el oxígeno. La degradación oxidativa de los lípidos puede iniciarse a partir del oxígeno activo, de algunas especies relacionadas más activas (Tabla 8) que las moléculas de oxígeno triplete presentes en el aire y de agentes exógenos como: radiación UV, radiación ionizante y calor (Jan *et al.*, 1995).

Tabla 8. Oxígeno activo y especies relacionadas.

RADICALES	NO RADICALES
$O_2^{\cdot -}$ superóxido	H_2O_2 peróxido de
RO^{\cdot} radical hidroxilo	hidrogeno
ROO^{\cdot} radical peroxilo	1O_2 oxígeno singulete
R^{\cdot} radical lipídico	$LOOH$ hidroperóxido
NO_2^{\cdot} dióxido de nitrógeno	lipídico
$\cdot NO$ oxido nítrico	$Fe=O$ complejos hierro-
P^{\cdot} radical proteico	oxígeno

3.4.1 Formación de especies reactivas al oxígeno.

Uno de los procesos que afectan la calidad de la carne es la oxidación lipídica causada por diversas sustancias reactivas al oxígeno (SRO), conocidas como radicales libres. Los radicales libres suelen ser muy inestables, pues los orbitales que poseen electrones desapareados buscarán completar el par electrónico que anule su campo magnético, favoreciendo la colisión entre moléculas y su aproximación a ellas, razón por la cual las reacciones en las que intervienen suelen ser muy rápidas (Gil, 2010).

Un radical libre que merece especial atención es el llamado anión superóxido (O_2^-) por su alta reactividad y su capacidad para generar nuevas SRO. El anión superóxido es producido por la reducción monovalente del oxígeno molecular (O_2). Otro radical de gran importancia por su alta reactividad es el ión hidroxilo ($OH\cdot$) generado tras la captación de un electrón y un protón por parte del peróxido de hidrógeno. Por su parte el peróxido de hidrógeno si bien no es un radical libre, es considerado también como una SRO, pues se produce fundamentalmente por la oxidación y reducción al mismo tiempo del anión superóxido; proceso mejor conocido como dismutación. Estas tres especies formadas a partir de la reducción del oxígeno son algunas de las llamadas SRO, mismas que tienen su origen en fuentes fisiológicas, entre las que se encuentran la cadena respiratoria mitocondrial, donde entre el 1 y 2% de la reducción del oxígeno a agua en la cadena respiratoria se libera como O_2^- (Gil, 2010).

Cuando la interacción de las SRO con moléculas susceptibles a oxidación, excede a los sistemas de defensa, provoca un estado que se denomina estrés oxidante. Este estado de estrés se produce al generarse una cascada de eventos intracelulares que pueden convertirse en un daño oxidante grave que se puede manifestar por eventos como fragmentación del ADN, inactivación de enzimas e interacción con otras estructuras proteicas u oxidación de lípidos (Gil, 2010).

Para retardar estos procesos se encuentran los sistemas antioxidantes endógenos, la primera línea de antioxidantes consiste en la inhibición de la formación de especies reactivas de oxígeno y de radicales libres a través del secuestro de iones metálicos, por reducción de hidroperóxidos y peróxido de hidrógeno y por captación del superóxido y del oxígeno

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

singulete, mientras que los antioxidantes que actúan como segunda línea de defensa son aquellos que absorben radicales libres, los principales de este grupo son: la vitamina C y la vitamina E, ambas captan radicales e inhiben la reacción en cadena o rompen la reacción de propagación. Los compuestos polifenólicos también pueden actuar como potentes antioxidantes absorbedores de radicales, estos antioxidantes también pueden ser endógenos o bien exógenos, es decir, que ingresan en el organismo a través de la dieta o de suplementos con formulaciones antioxidantes. La tercera línea de defensa son los mecanismos de reparación *de novo* de los lípidos, proteínas y DNA alterados por la oxidación. Varias enzimas como las lipasas, proteasas, enzimas reparadoras de DNA, son responsables de llevar a cabo estos procesos (Jan *et al.*, 1995).

Los antioxidantes endógenos son las enzimas encargadas de neutralizar los radicales libres, las principales enzimas con actividad antioxidante son: catalasa, superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPX).

Catalasa (CAT)

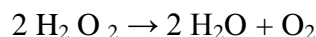
El grupo de las catalasas es uno de los más abundantes ya que están presentes en todas las células eucariotas. La actividad de la catalasa varía en función del tejido. Por ejemplo en hígado y riñones su actividad es más elevada, en tejido conectivo y epitelios más baja y prácticamente nula en tejido nervioso. A nivel celular, la catalasa se encuentra en las mitocondrias, peroxisomas y retículo endoplasmático (Gil, 2010).

La catalasa es una metaloproteína homotetramérica constituida por cuatro subunidades, cada una tiene un grupo prostético de proporfirina IX, unido por interacciones no covalentes; el peso molecular oscila entre los 210 y 350kDa, de los cuales el contenido de hierro representa el 0.09%. (Gil 2010).

Una de las características de la catalasa es su gran capacidad de reacción, descompone aproximadamente 6×10^6 moléculas de H_2O_2 en un minuto además de que posee una baja afinidad por el sustrato. La función de la catalasa como parte del sistema de defensa antioxidante consiste en catalizar la descomposición del peróxido de hidrógeno que se genera durante el metabolismo celular en oxígeno molecular y agua. Esta es su función

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

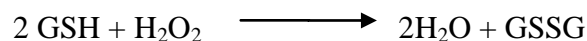
catalítica, en donde el donador es otra molécula de peróxido de hidrógeno y cuya función sólo puede ser realizada por su forma tetramérica (Gil, 2010).



También posee una función peroxidativa en donde el donador puede ser: metanol, etanol, ácido fórmico, fenol o formaldehído. La actividad de CAT puede ser inhibida por el cianuro, la azida, el sulfuro, la hidroxilamina, el paracetamol, la bleomicina, la adriamicina, la benzidina y el paraquat (Aebi, 1984).

Glutación Peroxidasa (GPX)

La glutatión peroxidasa es una metaloenzima, con cofactores como el hierro, selenio, cobre, zinc, manganeso o níquel, que actúa durante la etapa de propagación del mecanismo de oxidación. Está localizada en la mitocondria y en el citosol de las células del músculo. La glutatión peroxidasa cataliza la oxidación de la glutatión peroxidasa reducida (GSH) a su forma oxidada (GSSG) a expensas del peróxido de hidrógeno, mediante la siguiente reacción:



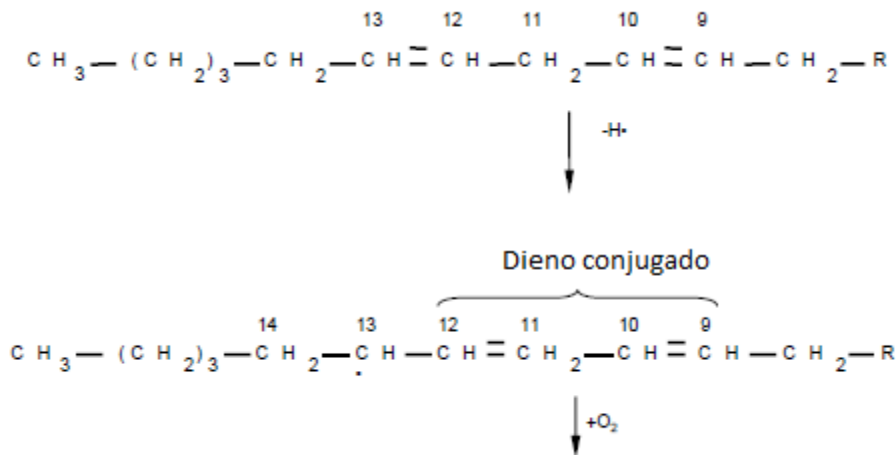
Es una proteína tetramérica de peso molecular de 85 kDa que contiene cuatro átomos de selenio unidos como una selenocisteína los cuales le confieren actividad catalítica. A diferencia de la catalasa la glutatión peroxidasa tienen una elevada afinidad por su sustrato pero baja actividad catalítica (Gil, 2010).

La GPX necesita selenio en su centro activo, por lo tanto algunos estudios en animales ha demostrado que la actividad de la GPX dependiente de selenio está muy relacionada con la ingestión dietética de selenio. En algunas especies se ha observado una correlación lineal positiva entre la actividad de esta enzima dependiente de selenio y el selenio en la sangre además se ha propuesto que la actividad de esta enzima en sangre podría servir como índice del nivel de selenio del animal (DeVore *et al.*, 1982).

3.4.2 Autooxidación lipídica.

El oxígeno molecular se comporta como un birradical al tener dos electrones desapareados (O-O^{\bullet}) en el estado fundamental, en lo que se denomina estado triplete. El mecanismo de autooxidación, provocado por los radicales libres, se desarrolla en tres fases denominadas iniciación, propagación y terminación. La reacción directa entre los lípidos insaturados y el oxígeno triplete no está permitida químicamente por lo tanto la barrera electrónica entre los lípidos y el oxígeno triplete puede superarse gracias a diferentes mecanismos de iniciación que incluye al oxígeno singulete, especies de oxígeno activo parcialmente reducido (H_2O_2 , $\text{O}_2^{\bullet-}$, HO^{\bullet}) así como la descomposición de hidroperóxidos (Jan *et al.*, 1995).

En la etapa de iniciación (Figura5) un radical libre ataca a un grupo metileno de la cadena carbonada del ácido graso, extrayendo un átomo de hidrógeno lo que da lugar a un nuevo radical libre, se requiere de un catalizador para iniciar la formación de los primeros radicales libres, el catalizador puede ser el oxígeno singulete, metales, luz o calor. En los ácidos grasos altamente insaturados esta reacción se ve favorecida debido a la alta reactividad de los grupos metilenos adyacentes a los dobles enlaces. Los radicales libres lipídicos tienden a estabilizarse mediante un reordenamiento interno dando lugar a los dienos conjugados (Fennema *et al.*, 1980).



estables e inactivos. También puede detenerse la reacción mediante la incorporación de un antioxidante, este actúa atrapando radicales libres, el electrón desapareado del antioxidante se deslocaliza dentro de la estructura del anillo aromático lo que estabiliza el compuesto formado (Fennema *et al.*, 1998).

Los hidroperóxidos son los productos primarios de la autooxidación son relativamente inestables e intervienen en numerosas y complejas reacciones de ruptura e interacción, que son las responsables de la producción de compuestos de distintos pesos moleculares, capaces de producir aromas y que son biológicamente significativos. Los hidroperóxidos se rompen en varias etapas dando lugar a una amplia variedad de productos de descomposición, entre los que se encuentran compuestos carbonílicos, hidrocarburos, furanos sustituidos y alcoholes. En las primeras etapas de la autooxidación la velocidad de formación es mayor que la de descomposición, pero en las últimas etapas ocurre lo contrario (Fennema *et al.*, 1998).

La primera etapa de la descomposición del hidroperóxido es la ruptura del enlace oxígeno-oxígeno del grupo hidroperóxido, dando lugar a un radical alcoxilo y a un radical hidroxilo. La segunda etapa de esta descomposición es la ruptura del enlace carbono-carbono a uno u otro lado del grupo alcoxilo (Figura7). En general, la ruptura por el lado ácido da lugar a la formación de un aldehído y un ácido (o un éster) y por el lado hidrocarbonado a un hidrocarburo y a un oxácido (u oxoéster). Los aldehídos insaturados pueden experimentar a su vez la autooxidación clásica mediante un ataque del oxígeno en las posiciones α metilénicas dando lugar a hidrocarburos de cadena corta, aldehídos y di aldehídos, la formación de malonaldehído es el fundamento del conocido método para medir la oxidación de las grasas, utilizando ácido tiobarbitúrico (Fennema *et al.*, 1998).

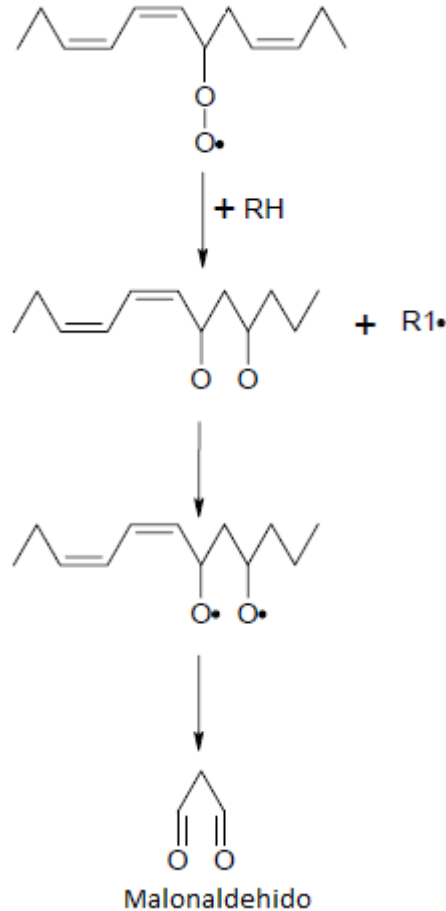


Figura 7. Formación de Malonaldehído a partir de productos primarios de oxidación lipídica.

3.4.3 Técnicas para medir la oxidación de los lípidos.

Puesto que la descomposición por oxidación tiene gran importancia tanto desde el punto de vista de la aceptabilidad como de la calidad nutritiva de los productos alimentarios, se han ideado muchos métodos para valorar la extensión de la oxidación. Uno de los análisis más utilizados para evaluar la extensión de la oxidación de los lípidos es el análisis con ácido tiobarbitúrico (TBA). Los productos de oxidación de los sistemas insaturados dan productos de reacción coloreados debido a la condensación de dos moléculas de TBA con una molécula de malonaldehído; sin embargo el malonaldehído no siempre se encuentra en los sistemas oxidados. Muchos alcanales, alquenes y los 2-4 dienales dan un color amarillo con el TBA, pero solo los dienales dan un color rojo (Fennema *et al.*, 1998).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Las sustancias capaces de reaccionar con el TBA aparecen solo en cantidades sustanciales a partir de la oxidación de los ácidos grasos que contienen tres o más dobles enlaces, por otra parte el malonaldehído también procede de la descomposición de los endoperóxidos relacionados con las prostaglandinas producidas durante la autooxidación de los ácidos grasos poliinsaturados (Fennema *at al.*, 1998).

Diversos compuestos que aparecen en los sistemas oxidados pueden interferir con el análisis característico de TBA, dando lugar al característico pigmento rojo al reaccionar con el reactivo. La sacarosa y algunos componentes del humo de leña dan color rojo al reaccionar con el TBA, por otra parte, pueden obtenerse valores anormalmente bajos debido a que el malonaldehído reacciona con las proteínas en los sistemas oxidados. Sin embargo, en muchos casos, el método de análisis del TBA es aplicable para comparar muestras de un mismo material en diferentes estados de oxidación (Fennema *et al.*, 1998).

3.5 MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.

La captación de radicales es el principal mecanismo de acción de antioxidantes en los alimentos. Se han desarrollado muchos métodos en los que se mide la capacidad antioxidante a través de la captación de radicales libres sintéticos en solventes orgánicos polares, por ejemplo metanol o etanol. Los radicales libres usados son del tipo 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-acido sulfónico) ABTS (Criado *et al.*, 2009).

En el método del DPPH se mide la captación de este radical a través de la disminución de la absorbencia medida a 515nm, que se produce por reducción de un antioxidante o por reacción con especies radicales. Algunos fenoles por ejemplo el α -tocoferol, reaccionan rápidamente con los radicales DPPH, en la mayor parte de los casos el método del DPPH se ha usado para medir la captación de radicales después de 15 o 30 minutos de iniciada la reacción (Jan *et al.*, 1995).

El radical catiónico ABTS es más reactivo que el radical DPPH por lo que la reacción transcurre completamente en 1 minuto. El método más común consiste en el uso de persulfato de potasio para oxidar el ABTS a su radical catiónico. La actividad de captación de radicales por el método del ABTS se expresa en la mayoría de los casos como valor TEAC “capacidad antioxidante equivalente Trolox” (Jan *et al.*, 1995).

La mayoría de las actividades antioxidantes de carácter no enzimático involucran procesos redox. El ensayo de FRAP (ferric reducing antioxidant power), es una técnica sensible que se emplea habitualmente para medir la capacidad antioxidante de diferentes fluidos del organismo y complementos de la dieta. Se basa en la capacidad de los antioxidantes en reducir moléculas de Fe III a Fe II el cual forma un complejo azul con tripiridil triazina (TPTZ) que puede ser cuantificado por absorbencia a 593nm. De este modo el poder antioxidante total puede ser expresado también en equivalentes de antioxidantes conocidos en diferentes concentraciones del mismo ensayo. Los más utilizados son Trolox y ácido gálico (Iris *et al.*, 1999).

4. HIPÓTESIS

Si las condiciones de almacenamiento en refrigeración influyen en la capacidad antioxidante y en la estabilidad oxidante de la carne entonces se esperaría que en la carne almacenada a baja temperatura conserve la capacidad antioxidante para tener una vida de anaquel mayor.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general.

- Seleccionar y establecer técnicas que permitan evaluar la capacidad antioxidante mediante métodos químicos y enzimáticos en carnes de bovino y porcino almacenadas a temperatura de refrigeración (4 ° C) y con abuso de ésta (10 ° C).

5.2 Objetivos particulares.

- Comparar la capacidad antioxidante mediante técnicas químicas tales como: DDPH, FRAP Y ABTS en carne de res y cerdo.
- Comparar la estabilidad lipídica mediante la técnica de TBARS en carne de res y cerdo.
- Determinar la capacidad antioxidante mediante métodos enzimáticos como son: actividad de la enzima catalasa y glutatión peroxidasa en carne de cerdo.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó el músculo *Longissimus dorsi* de 12 reses (Rib eye) y de 12 cerdos con una edad promedio de 18 meses, las cuales fueron sacrificadas en un rastro municipal y almacenadas durante 36-48 h previo al deshuese. Las operaciones de deshuese se realizaron en un obrador local y los cortes de lomos fueron inmediatamente transportados en refrigeración a las instalaciones de la UAM-Iztapalapa donde se realizó la disección del músculo. Cada M. *Longissimus dorsi* fue rebanado en chuletas de aproximadamente 2.5 cm de espesor, las cuales se colocaron individualmente en charolas de poliestireno y se empacaron con una película permeable al oxígeno. Una serie de 6 chuletas se almacenó a $4\pm 1^{\circ}\text{C}$, mientras que la otra serie a $10\pm 1^{\circ}\text{C}$, para simular condiciones normales y de abuso de temperatura, respectivamente. Las muestras se almacenaron durante un período de hasta 15 días extrayendo una muestra de cada uno de los 12 M. L. *dorsi* analizados para cada especie. Se evaluó el contenido de sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (TBARS,) la actividad antioxidante (DPPH, FRAP y ABTS) y la actividad enzimática (catalasa y glutatión peroxidasa) realizándose esta última únicamente en carne de cerdo.

Se emplearon: metanol, ácido tricloroacético, tricloruro de aluminio, ácido tiobarbitúrico, acetato de sodio, persulfato de potasio, ácido acético, cloruro de sodio y cloruro de potasio, todos grado reactivo de J. T. Baker Chemical Co. (N.J., E.U.A). Así como: DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), Trolox, (TPTZ) 2,4,6-Tripiridil-s-triazina, fosfato de sodio monobásico, fosfato de sodio dibásico, ABTS (2,2-azinobis-3etilbenzotiazol-6 ácido sunfónico), NADPH, azida de sodio, glutatión reductasa y glutatión reducido todos grado reactivo de Sigma-Aldrich Co (Alemania).

6.1 Obtención del extracto para determinar la actividad antioxidante.

Porciones de 5 gramos de muestra se homogenizaron con 25 mL de buffer de fosfatos (50 mM pH=7) mediante un homogenizador IKA T 18 Ultra Turrax (Staufen, Alemania). Se centrifugaron durante 30 minutos a 10000 r.p.m. y a 4°C empleando una centrífuga 5810R Eppendorf (Hamburgo, Alemania). Posteriormente se recuperó el sobrenadante y se filtró con papel Wathman del número cuatro, el filtrado se colectó y almacenó en baño de hielo,

para llevar a cabo la determinación antioxidante. Todos los ensayos químicos se realizaron por triplicado.

6.2 Obtención del extracto para determinar la oxidación lipídica.

Se pesaron 5 g de carne, los cuales se homogenizaron mediante un homogenizador IKA T 18 Ultra Turrax (Staufen, Alemania) con 20 mL de una solución de ácido tricloroacético (TCA), al 5% w/v durante 1 min. El homogenizado se centrifugó a 10000 r.p.m. durante 20 min a 4°C. Posteriormente el sobrenadante se filtró a través de papel Whatman del número cuatro, el filtrado se colectó almacenando a temperatura de $4\pm 1^\circ\text{C}$; los ensayos se realizaron por triplicado.

6.3 MEDICIÓN DE LA OXIDACIÓN LIPÍDICA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE SUSTANCIAS REACTIVAS CON EL ÁCIDO TIOBARBITÚRICO (TBARS).

Se tomó 1 mL del extracto obtenido como se describe en el apartado 6.2 y se le adicionaron 1 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) 80mM, aplicando un tratamiento térmico a 94°C durante 30 min, se dejó enfriar y posteriormente se leyó su absorbancia a 530 nm en un espectrofotómetro (Raharjo Sri *et al.*, 1992). Los resultados se informan en mg de malonaldehído (MDA)/kg de carne, utilizando el coeficiente de extinción molar de $1.56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

6.4 DETERMINACIÓN DE pH.

El pH se determinó por duplicado, utilizando un potenciómetro digital HANNA Instruments HI2550 (Rhode Island, USA), previa homogenización de 10 g de carne con 90 mL de agua destilada con un homogenizador IKA T 18 Ultra Turrax (Staufen, Alemania) durante 1 minuto.

6.5 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE MEDIANTE MÉTODOS QUÍMICOS.

6.5.1 Ensayo de DPPH.

El DPPH en su forma radical que es 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH[•]) absorbe a una longitud de onda de 515 nm; la absorbancia disminuye por reducción del radical por efecto de los componentes antiradicalarios presente en la muestra (Brand, *et al.*, 1995). La reacción se realizó conforme a lo informado por Padilla *et al.* (2008) con modificaciones. Se emplearon 975 µL de la disolución de DPPH (0.025g/L en solución metanólica) y 25 µL del extracto de la muestra, obtenido como se describe en el apartado 6.1. Posteriormente se leyó la absorbancia utilizando un lector de placas Biotek Synergy HT (Vermont, USA) a 515nm (A₀) al tiempo cero y después de 30 min. Se efectuó la curva de calibración con Trolox en concentraciones de 300 a 1600 µM; el resultado se expresó como equivalentes de mg de Trolox/100g de carne.

Se calculó el porcentaje de inhibición del radical DPPH[•] de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{Inhibición del radical} = \frac{[(\text{absorbancia inicial del DPPH}^{\bullet}) - (\text{absorbancia del DPPH}^{\bullet})_{t=30}]}{[(\text{absorbancia inicial del DPPH}^{\bullet})]} * 100$$

6.5.2 Ensayo del poder de reducción de hierro (FRAP).

Este método se basa en la reducción del complejo $[\text{Fe(III)(TPTZ)}_2]^{3+}$ a $[\text{Fe(II)(TPTZ)}_2]^{2+}$ por efecto de los compuestos reductores presentes en la muestra. La determinación se realizó acorde al método propuesto por Descalzo *et al.* (2007) con modificaciones. Se tomó una alícuota de 7µL del extracto de la muestra obtenido como se describe en el apartado 6.1, al cual se le adicionarán 273µL de una disolución de FRAP, compuesta por 2.5mL de TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina 10mM) en HCl (40mM), 2.5mL de FeCl₃ (20mM) y 25 ml de buffer de acetatos (0.3mM, pH 3.6). Se utilizó un blanco espectro el cual contenía únicamente TPTZ y un blanco reacción el cual estaba compuesto por la disolución de FRAP y el buffer con el que se homogenizó la muestra. Las absorbancias se determinaron a 593 nm y las lecturas se tomaron a los 6 min de iniciada la reacción utilizando un lector de

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

placas Biotek Synergy HT (Vermont, USA). La curva estándar se realizó con Trolox de 20 a 150 μM . Los resultados se expresaron como equivalentes μM de Trolox/100g de carne (Wong, 2006).

6.5.3 Ensayo de ABTS.

En este ensayo se empleó una mezcla de ABTS (7mM) y persulfato de potasio (2.45mM), esta mezcla se incubó en la oscuridad de 12-16 h para generar el radical libre ABTS[•], siguiendo el método informado por Descalzo *et al.* (2007). Previo al análisis, la solución se ajustó con la solución salina (PBS) a pH 7.4, hasta que la absorbancia fue de 0.70 a 734nm. Posteriormente, se tomó una alícuota de 10 μL de extracto, se le adicionaron 990 μL de la dilución del radical ABTS[•], la absorbancia se leyó utilizando un espectrofotómetro Varian 50 Bio (Nueva Jersey, USA) exactamente 6 min después de iniciada la reacción. El blanco espectro utilizado fue metanol. La curva estándar se llevó a cabo en una concentración de 200 a 1200 μM . Los resultados se expresaron como equivalentes μM de Trolox/100g de carne.

6.6 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE ENZIMAS ANTIOXIDANTES

6.6.1 Determinación de la actividad de la catalasa.

El peróxido de hidrógeno absorbe en el intervalo ultravioleta, la descomposición del peróxido de hidrógeno que se puede medir por una disminución de la absorbancia de 240 nm, formándose burbujas en la superficie debido a la liberación de O₂ (Aebi, 1983). La actividad de la catalasa se realizó de acuerdo a Aebi (1983). Del extracto obtenido como se describe en el apartado 6.1, se tomó 0.1mL y se hizo reaccionar con 2.9mL de H₂O₂ (11 mM), la reacción se vigiló a 240 nm, hasta que se completaron 2 minutos utilizando un espectrofotómetro Varian 50 Bio (Nueva Jersey, USA); el blanco contenía buffer de fosfatos (50 mM, pH=7) en lugar de extracto. Se observó una disminución de la absorbancia respecto a la absorbancia inicial. Una unidad de catalasa se define como la cantidad necesaria para descomponer 1 μmol de H₂O₂ por min, para determinar dicha actividad se utilizó el coeficiente de extinción molar del peróxido de hidrogeno que es de 0.0436 $\text{mM}^{-1} \text{cm}^{-1}$ (Sigma Aldrich).

6.6.2 Determinación de la actividad de la Glutación peroxidasa.

La actividad de la enzima glutación peroxidasa (GSH) se determinó de acuerdo al método de De Vore (1982). El método se basa en la medida de la disminución de la absorbancia del NADPH a 340nm por acción de dicha enzima en presencia de peróxido de hidrógeno.

La mezcla de reacción se preparó colocando 880µL con el buffer de fosfato de potasio (40mM, pH= 7), en EDTA (0.5Mm) y NaN₃ (1mM), posteriormente se añadieron 16.6µL de GSH (glutación reducido, 1mM), 16.6µL de glutación reductasa (1.5 U/ml) y 50µL de extracto obtenido como se describe en el apartado 6.1.

Los tubos se incubaron en baño maría durante 5 min a 35°C, pasado este tiempo se añadió 16.6µL de NADPH (0.15mM) y se inició la reacción adicionando peróxido de hidrógeno (0.15mM) a las muestras o el mismo volumen de muestra de reacción al blanco. Se leyó la absorbancia utilizando un espectrofotómetro Varian 50 Bio (Nueva Jersey, USA) a 340 nm después de 15 segundos de iniciada la reacción y se vigiló cada 10 segundos hasta completar un minuto. Se uso el coeficiente de extinción molar ($6.22 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) para calcular la concentración de NADPH. Una unidad de GSH es definida como la cantidad de extracto requerido para oxidar 1µmol de NADPH por minuto.

6.7 DISEÑO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se llevo a cabo mediante el paquete estadístico para Windows xLSTAT 2011 v. 4.02 (Addinsoft SARL, New York., USA). Se aplicó un procedimiento de modelo lineal generalizado (GLM).

Las variables respuesta fueron los resultados obtenidos de la actividad antioxidante química (DPPH, FRAP y ABTS), de la actividad antioxidante enzimática (catalasa y GPX) y de oxidación lipídica (TBARS) y las variables independientes fueron los días de almacén (1, 5, 8, 12, 15 y 22) y las temperaturas (4 y 10°C) de almacén.

Posteriormente se llevó a cabo una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$) y se realizó una prueba de correlación entre las variables. Se informaron los promedios y desviación estándar de las réplicas por determinación.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Oxidación lipídica.

Numerosos factores influyen en las reacciones de oxidación de productos cárnicos, tales como: la luz, la concentración de oxígeno, la temperatura, la presencia de agentes anti- y pro-oxidantes, el grado de insaturaciones en los ácidos grasos y la presencia de enzimas, entre otros. Existen sustancias capaces de reaccionar con el ácido tiobarbitúrico (TBA), las cuales aparecen sólo en cantidades sustanciales a partir de la oxidación de los ácidos grasos que contienen tres o más dobles enlaces, sin embargo el malonaldehído (MDA) procede en gran parte de la descomposición de los endoperóxidos, dando una coloración roja al reaccionar con el TBA (Descalzo, 2008).

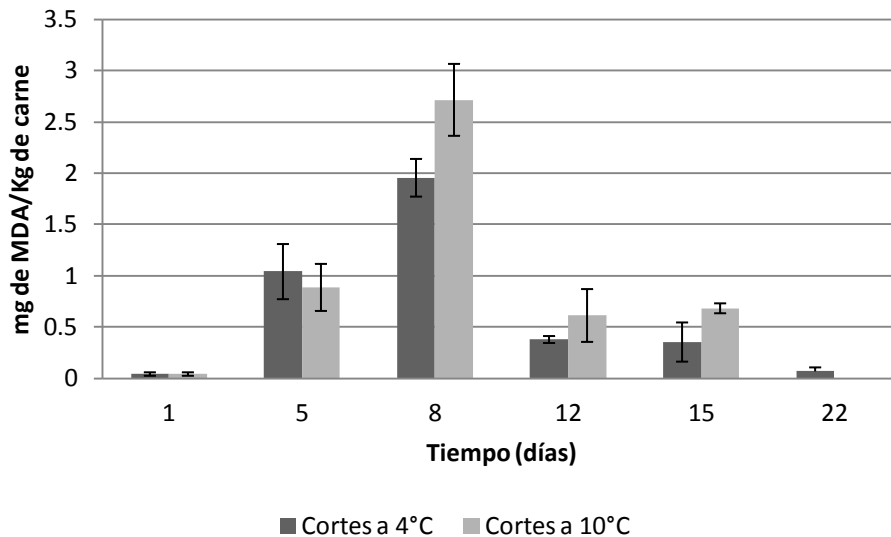


Figura 8. Concentración de TBARS en los cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) de Rib eye durante el almacenamiento a 4 y 10°C.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo, Tabla 9) se observó que para esta prueba únicamente hay diferencias significativas por efecto del tiempo de almacén.

Para esta prueba no hubo diferencias entre las temperaturas (Anexo, Tabla 11) pero si entre días ($P \leq 0.05$), observándose en la Figura 8 que a 4°C en el día 1 se obtuvo la cantidad de MDA más baja (0.041 ± 0.017 mg de MDA/Kg de carne), al día 5 y 8 hay un aumento significativo hasta 1.040 ± 0.26 y 1.955 ± 0.18 mg de MDA/Kg de carne, respectivamente,

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

observándose al día 8 la mayor cantidad de MDA, mientras que en los días 12, 15 y 22 se observó una disminución de MDA. Respecto a los cortes almacenados a 10°C se observa que al día 5 y 8 hay un aumento significativo respecto al día 1 en la cantidad de MDA (0.886 ± 0.22 y 2.715 ± 0.35 mg de MDA/Kg de carne, respectivamente) siendo al día 8 la mayor cantidad, posteriormente la concentración de MDA disminuye.

Al realizar la prueba de correlación (Anexo, Tabla 42) de esta técnica con las técnicas para evaluar la capacidad antioxidante se obtuvo una correlación negativa con el método de FRAP y ABTS, en donde la actividad antioxidante disminuye conforme la concentración de TBARS aumenta pero únicamente observándose este efecto durante los primeros días.

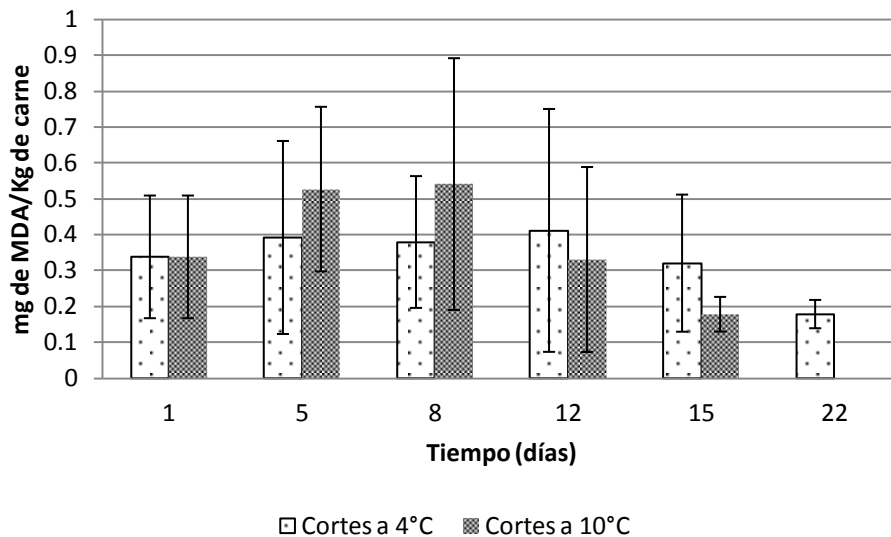


Figura 9. Concentración de TBARS en los cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) durante el almacenamiento a 4 y 10 °C.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo, Tabla 12) se observó que hay diferencia significativa durante el tiempo de almacenamiento en la carne de cerdo. Pero al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 14), se observó que para esta prueba la temperatura de almacenamiento en la carne no es significativa.

En la Figura 9 se observó que a temperatura de almacén de 4°C, en el día 1 la cantidad de MDA fue de 0.338 ± 0.171 mg de MDA/Kg de carne, a los días 5 y 8 hubo un aumento

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

significativo (0.392 ± 0.269 , 0.379 ± 0.184 mg de MDA/Kg de carne, respectivamente) observándose al día 12 la mayor cantidad (0.41 ± 0.33 mg de MDA/Kg de carne). Respecto a los cortes almacenados a 10°C se observó que a los días 5 y 8 también hay un aumento significativo (0.527 ± 0.229 , 0.541 ± 0.35 mg de MDA/Kg de carne, respectivamente) siendo a este último día la mayor generación de MDA, posteriormente para ambos casos durante los días 15 y 22 la cantidad de MDA disminuyó siendo estadísticamente igual al primer día.

Al realizar la prueba de correlación (Anexo, Tabla 43) de la concentración de TBARS con las técnicas para evaluar la capacidad antioxidante se obtuvo una correlación negativa con el método de FRAP y ABTS, en donde la actividad antioxidante disminuye conforme la concentración de TBARS aumenta pero únicamente observándose este efecto durante los primeros días. Sin embargo para la actividad enzimática de la catalasa se observó una correlación negativa, es decir, conforme transcurrió el tiempo la concentración de TBARS, aumenta y la actividad enzimática de esta enzima disminuyó, debido a que la catalasa necesita elevadas cantidades de sustrato para manifestar su actividad, tendencia que se observó después del día 8 de almacenamiento, sin embargo la correlación de TBARS con la actividad enzimática de la glutatión peroxidasa fue positiva ya que esta enzima mostró su mayor actividad durante los primeros días y también la concentración de TBARS fue mayor durante este tiempo. Finalmente la correlación para el pH y la concentración de TBARS fue negativa, observándose que mientras disminuye el pH la concentración de TBARS aumenta, pero este efecto solo se muestra principalmente al día 8 y al día 12 a 4 y 10°C respectivamente, en los cortes de carne almacenados.

Como se observa en las Figuras 8 y 9, la concentración de TBARS generado a lo largo del tiempo de almacén fue mayor en la carne de res, esto podría deberse a que los músculos con mayor cantidad de mioglobina que podrían actuar como pro-oxidante se asocian a mayor nivel de oxidación, caracterizándose por el deterioro del color rojo y mayor formación de metamioglobina (Descalzo *et al*; 2008). Algunos estudios sugieren que durante la oxidación de la oximioglobina se produce mayor cantidad de peróxido de hidrógeno, el cual puede reaccionar con la metamioglobina y producir ferrimioglobina ya que esta puede iniciar la oxidación lipídica; además de que durante el almacenamiento algunas sustancias reductoras como el ascorbato pueden actuar liberando hierro desde su forma quelada. La

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

mioglobina es la principal fuente de este hierro siendo su liberación causa de la oxidación lipídica (Min *et al*; 2008).

Además del MDA se generan otros compuestos como por ejemplo hexanal, heptanal, 5-hidroxi metil 2-furfural, hexadienal, entre muchos otros que también pueden reaccionar con el TBA produciendo pigmentos amarillos o anaranjados, por lo tanto es mejor referirse a la prueba como sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (Sun *et al*; 2001).

Min *et al*. (2008) han reportado 0.30 mg de MDA/kg para carne fresca de res y 2.10 mg de MDA/kg de carne después de 7 días de almacenamiento, mientras que para cerdo reportaron 0.12 mg de MDA/Kg de carne fresca de cerdo y 0.25 mg de MDA/Kg de carne al día 7 de almacenamiento; en este trabajo se encontró una tendencia y cantidades de MDA parecidas. Para los cortes de carne de res se encontró que al día 8 fue la mayor generación de MDA con una cantidad de 2.335 ± 0.35 mg de MDA/Kg de carne y para los cortes de carne de cerdo fue de 0.461 ± 0.184 mg de MDA/Kg de carne al día 8. Esto se podría deber a la variación entre las especies como edad, genero, raza y tipo de alimentación; así como al tipo de corte que se está utilizando ya que al ser un corte completo no se rompe el tejido muscular y no se mezcla el contenido celular con el oxígeno, de esta forma los pro-oxidantes no acceden hasta los ácidos grasos quedando protegidos los fosfolípidos de la membrana, que es donde se cree que inician las reacciones de autooxidación lipídica (Descalzo *et al*; 2008).

Es difícil alterar la composición del ganado vacuno a través de la dieta ya que estos animales son rumiantes, pero Descalzo *et al*. (2008) han estudiado la incorporación de α -tocoferol en la dieta de los animales encontrando que con una concentración de acetato de tocoferilo de entre 2000-3000 mg por día durante 135 días hay un incremento de tocoferol en la carne resultante y una disminución de la oxidación lipídica.

Por otra parte la estabilidad de la carne de los animales monogástricos puede afectarse más fácilmente a través de la dieta, Buckeley *et al*. (1996) han investigado la suplementación de la dieta con 200 mg de acetato de tocoferilo durante 35 días encontrando mayor estabilidad en las membranas y en la calidad de la carne y por lo tanto disminuyendo la oxidación lipídica en los tejidos. Esta suplementación aumenta la presencia de antioxidantes

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

endógenos como la carnosina y enzimas antioxidantes, los cuales actúan retardando la oxidación lipídica (Gatellier *et al*; 2005).

La mayor concentración de malonaldehído se presentó al día 8 para ambos tipos de carne siendo en res donde fue mayor significativamente, posteriormente la concentración disminuyó. Diversos autores han señalado que el contenido de MDA disminuye, debido a que la carne al ser una matriz muy compleja produce muchos tipos de compuestos durante el almacenamiento, entre los más importantes están los carbonilos provenientes de la oxidación de las proteínas, obstruyendo la interacción con el TBA y así ocasionando una disminución en la concentración del MDA determinado (Badui, 2009).

Otro factor importante a considerar es que en los animales de los cuales se obtuvieron las muestras, no hubo control en la dieta que se les proporcionó además de que también pudieron haber intervenido las condiciones de sacrificio del animal, la toma, envío y almacenamiento de la muestra antes de la prueba (Insani *et al*; 2008).

7.2 pH.

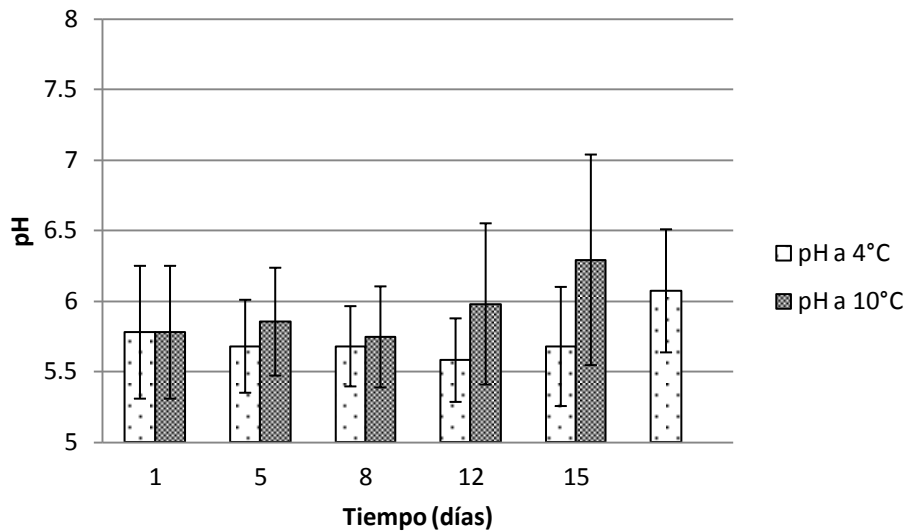


Figura 10. Variación del pH en los cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) durante el almacén a 4 y 10°C.

En el análisis de varianza (Anexo, Tabla 15), se observó que hay diferencia significativa por efecto de el tiempo de almacenamiento en la carne de cerdo y al realizar la comparación

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

de medias (Anexo, Tabla17) se observó que para esta prueba por efecto de la temperatura de almacén en la carne también hay un efecto significativo. Siendo de manera general los mayores valores de pH a 10°C ($P \leq 0.05$).

En la prueba de correlación (Anexo, Tabla 43) se observó una correlación positiva con la técnica de TBARS, esto quiere decir que si el pH disminuye la concentración de TBARS aumenta, observándose este efecto durante los primeros días de almacenamiento de la carne, también se observó una correlación positiva con la actividad enzimática de la catalasa y de la glutatión peroxidasa, sin embargo el pH únicamente aumento a partir del día 15 siendo un aumento mayor en la carne a 10°C que a 4°C, esto pondría en evidencia que la actividad enzimática no se altera por efecto del pH.

En la Figura 10 se muestran los valores de pH para cada día de muestreo, a 4°C el pH inicia con 5.713 ± 0.470 sin diferencias significativas durante los días 5, 8, 12 y 15, con un aumento al día 22 (6.056 ± 0.43) observándose a este día el mayor pH. Respecto a 10°C al día 5 y 8 aumentó el pH (5.834 ± 0.38 y 5.756 ± 0.35 , respectivamente) a comparación del día 1 y posteriormente al día 15 otra vez aumentó observándose en este día el mayor valor de pH (6.437 ± 0.74). En este trabajo se encontró que el día que el pH disminuyó más a 4°C fue al día 12 siendo el mismo día que la cantidad de TBARS fue mayor y para 10°C el pH más bajo fue al día 8 y la cantidad de TBARS también fue mayor para este día, posteriormente el pH aumenta y con esto la disminución en la cantidad de TBARS. Esto podría coincidir con lo reportado por Yasosky *et al.* (1984) los cuales comentan que la oxidación de los lípidos se incrementa conforme el pH disminuye debido a que a pH menores a 6 hay una ionización de los residuos de histidina, que puede alterar la estructura terciaria de las proteínas redundando en su capacidad para secuestrar iones que catalizan la oxidación. A pesar de que durante la oxidación de los ácidos grasos se forman compuestos como aldehídos y cetonas que incrementan el pH en este trabajo se observó un aumento en el pH pero no un aumento de TBARS, esto probablemente por un abundante crecimiento bacteriano. Sin embargo Hansen *et al.*, (2004) observó que en carne PSE de cerdo los niveles de TBARS aumentan rápidamente, en este estudio no se trabajó con carne PSE ya que el pH inicial fue de 5.7, por lo tanto la cantidad de TBARS no aumentó rápido.

7.3 Determinación de la capacidad antioxidante mediante métodos químicos.

La capacidad antioxidante de un alimento se puede definir como: la habilidad de un compuesto para inhibir o retardar la degradación oxidante, principalmente la peroxidación lipídica. La inhibición o retardo de los procesos oxidantes están guiados principalmente por los antioxidantes, estos pueden ser endógenos o exógenos; dentro de los endógenos se encuentran compuestos liposolubles e hidrosolubles (vitamina E, pro-vitamina A, vitamina C y glutatión) y las enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa y catalasa. Mientras que entre los exógenos se encuentran la ubiquinona, carotenoides y el α -tocoferol (Giampiero *et al*; 2008).

7.3.1 Prueba del radical DPPH[•].

El método se basa en la reducción del radical DPPH[•] por los antioxidantes presentes en la muestra, la coloración púrpura se pierde progresivamente cuando reaccionan las sustancias antioxidantes, la técnica fue calibrada mediante patrones de Trolox (Anexo, Figuras 31 y 34) y los resultados se expresaron en equivalentes de micromoles de Trolox en 100g de carne.

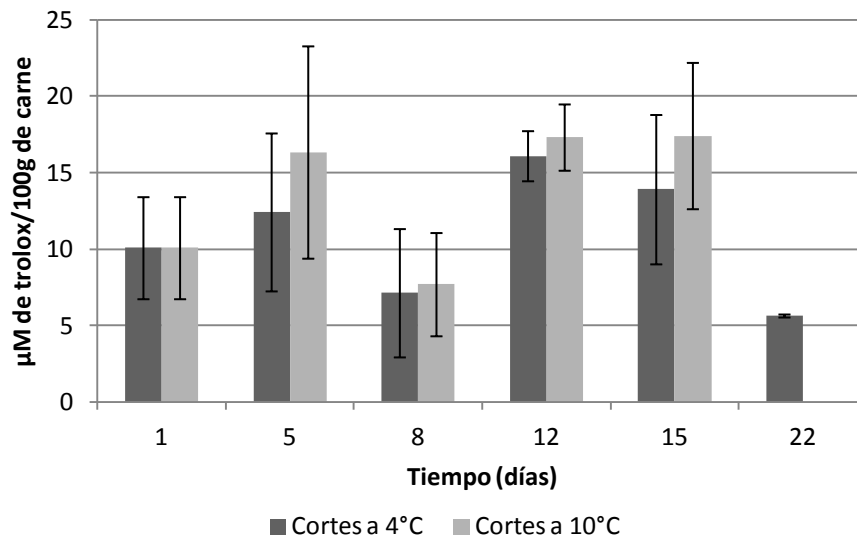


Figura 11. Actividad antioxidante por el método DPPH en cortes de res (*M.Longissimus dorsi*) del Rib eye almacenados a 4 y 10°C.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Al llevar a cabo el análisis de varianza (Anexo, Tabla 18), se observó que hay diferencias significativas por efecto del tiempo de almacén en la carne de res y al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 20) se observó que por efecto de la temperatura de almacén también hubo un efecto significativo. Siendo la mayor actividad antioxidante a 10°C ($P \leq 0.05$).

El la figura 11 se muestra la actividad antioxidante en μM de Trolox en 100 gramos de carne para cada día de muestreo y temperatura. A 4 y 10°C hay poca actividad ($10.0723 \pm 3.34 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne), la mayor actividad ($P \leq 0.05$) antioxidante se presentó en el día 12 para 4°C ($16.091 \pm 1.64 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) con respecto al día 1 y la menor actividad antioxidante al día 22 ($5.634 \pm 0.99 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne), mientras que para los demás días no se presentó una variación significativa. Respecto a 10°C, al día 12 aumentó ($P \leq 0.05$) en comparación con el día 1, observándose la mayor actividad al día 15 ($17.416 \pm 4.79 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) sin ser diferente al día 12.

Al llevar a cabo la prueba de correlación (Anexo, Tabla 42) con los otros dos métodos para medir la actividad antioxidante se obtuvo una correlación negativa con las técnicas de FRAP y ABTS, es decir, mientras la actividad antioxidante por este método disminuye la actividad antioxidante por los otros dos métodos aumenta, sin embargo la actividad antioxidante determinada por DPPH disminuye pero observándose principalmente al día 8, por lo tanto su uso estaría limitado a los primeros días de almacenamiento.

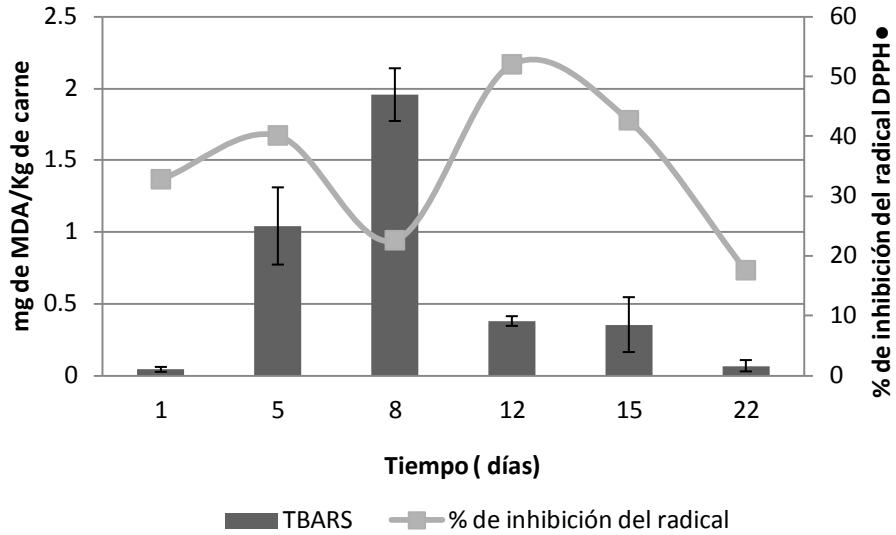


Figura 12. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4°C.

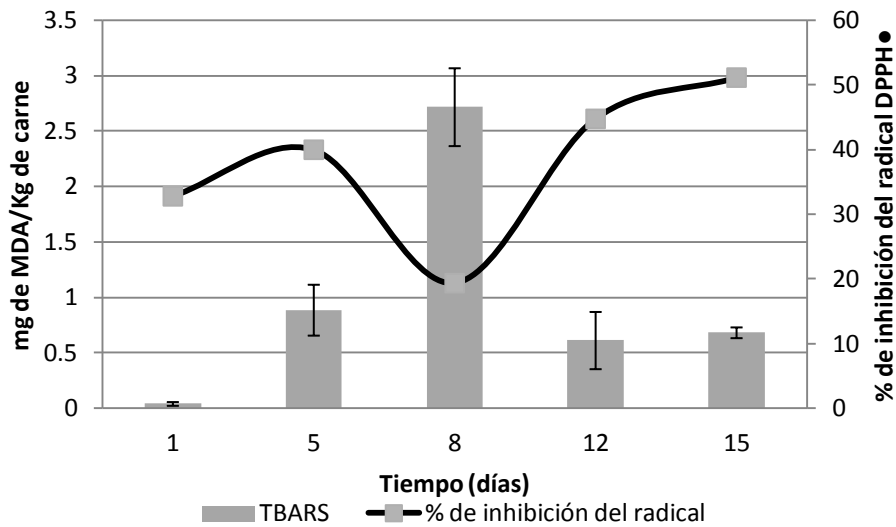


Figura 13. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 10°C.

Las Figuras 12 y 13 muestran la tendencia que presentaron los cortes de res, con el porcentaje de inhibición del radical DPPH• comparada con la oxidación lipídica. Al inicio la inhibición como actividad antioxidante es de 32.19% ($10.07 \pm 3.34 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) para ambas temperaturas. Al día 8 a 4°C disminuye hasta un 22.59% ($7.12 \pm 4.20 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) y finalmente baja el porcentaje de inhibición hasta un 17.58%

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

(5.63 ± 0.009 μM de Trolox/100g de carne) al día 22 a la misma temperatura, no existió un aumento de la cantidad de malonaldehído. Para los cortes almacenados a 10°C se observa también que al día 8 disminuye la actividad antioxidante significativamente pero es mayor en comparación a 4°C . Al día 12 y al día 15 no hay generación de TBARS en cantidades considerables, esto probablemente a que se observa que hay un aumento de la actividad antioxidante; sin embargo, a 4°C no hay generación de TBARS pero si disminución de la actividad antioxidante; esto se podría deber a que los productos provenientes de la descomposición de la carne son diversos y podrían estar reaccionando con el radical DPPH^\bullet ocasionando un incremento en la actividad de la muestra (Hansen *et al.*, 2004).

Min *et al.* (2008) encontraron en lomo de res porcentajes de inhibición al día 1 de 61.92%, al día 3 de 63.27% y al día 7 de 58.20%; en este trabajo se encontraron menores porcentajes de inhibición del radical, pero conservando la misma tendencia para estos tres días, al día 8 se observó el menor porcentaje de inhibición del radical y la mayor generación de TBARS ($P \leq 0.05$), lo cual puede ser explicado debido a que si la capacidad antioxidante disminuye la oxidación lipídica aumenta; por otra parte esto también se podría deber a que inicialmente actúan los antioxidantes preventivos que comprenden las enzimas antioxidantes y que se encargan de suprimir la formación de radicales libres. Sin embargo, mientras pasa el tiempo estos antioxidantes disminuyen su actividad comenzando a actuar los que captan radicales libres, tales como son: vitamina C, vitamina E, flavonoides, entre otros; por lo tanto estos comienzan a actuar después del día 8 y por lo tanto se incrementa la actividad antioxidante (Jan *et al.*; 1995)

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

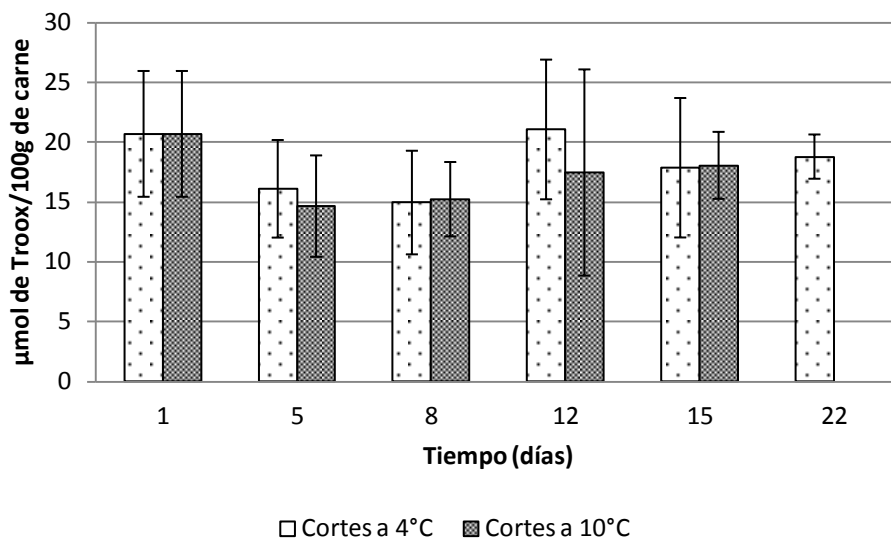


Figura 14. Actividad antioxidante en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) por el método DPPH almacenados a 4 y 10°C.

Al realizar el análisis de varianza (Anexo, Tabla 21) se observó que hay diferencias significativas por efecto del tiempo de almacenamiento en la carne de cerdo. Pero al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 23) se observó que para esta prueba el efecto de la temperatura de almacén no es significativa.

La Figura 14 muestra la actividad antioxidante expresada en μM de Trolox en 100 gramos de carne para cada día de muestreo a ambas temperaturas. En carne de cerdo se observó a 4°C al día 1 la mayor actividad antioxidante ($20.69 \pm 5.26 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne), al día 5 y 8 la actividad disminuyó significativamente (16.10 ± 4.08 y $14.95 \pm 4.33 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne respectivamente), observándose la menor actividad al día 8, posteriormente la actividad aumentó al día 12, 15 y 22 pero sin diferencia significativa durante esos días. En la carne almacenada a 10°C se observó un aumento significativo al día 5 y 8 (14.65 ± 4.24 y $15.23 \pm 3.11 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne respectivamente) observándose la menor actividad al día 5, posteriormente aumentó al día 12 y 15 pero sin diferencia significativa.

Al realizar la prueba de correlación (Anexo, Tabla 43) se obtuvo una correlación positiva con las pruebas antioxidantes de FRAP y ABTS, lo cual podría ser adecuado ya que para

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

carne de cerdo se podrían utilizar las tres pruebas para determinar la capacidad antioxidante utilizando inicialmente esta prueba y conforme pasa el tiempo de almacenamiento las otras dos, sin embargo para la actividad enzimática de la catalasa y de la glutatión peroxidasa se obtuvo una correlación negativa, es decir la actividad antioxidante por medio de DDPH disminuye y la actividad enzimática aumenta, lo cual se observó principalmente durante el día 8 para la glutatión peroxidasa.

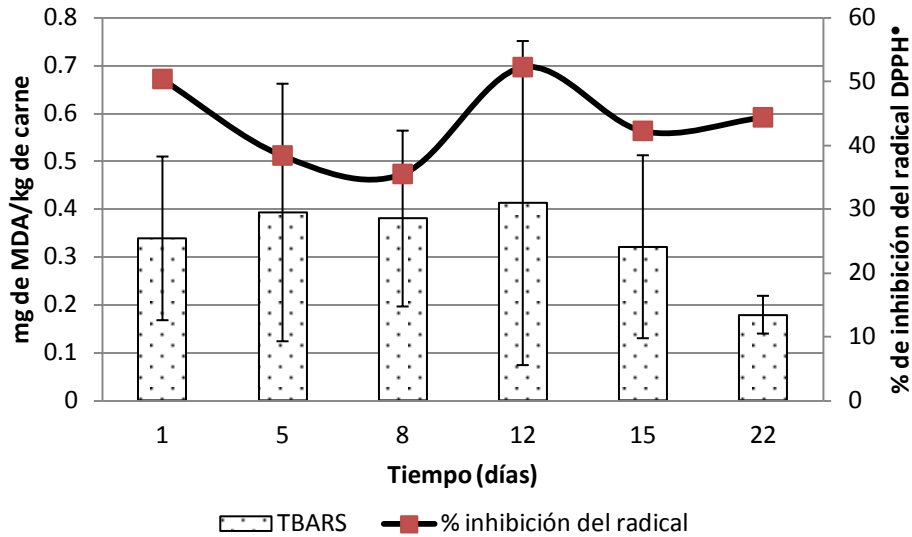


Figura 15. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4°C.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

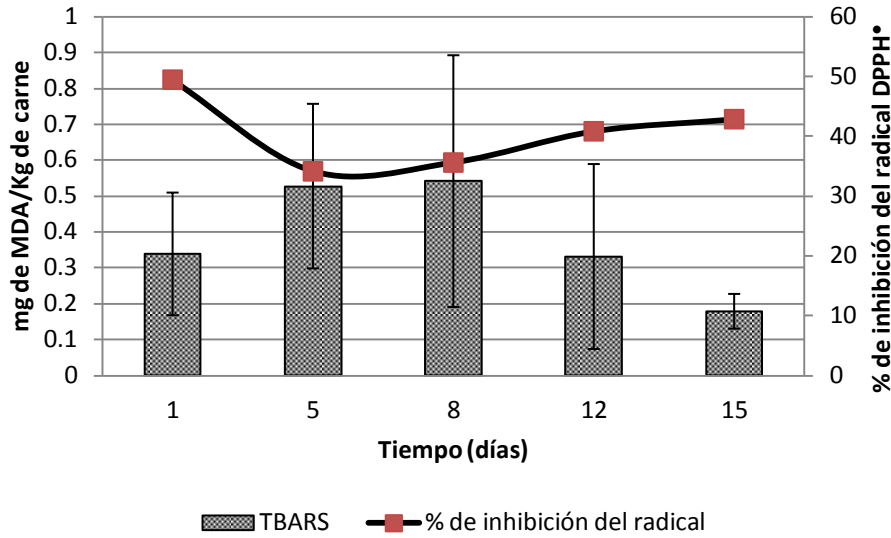


Figura 16. Variación de la actividad antioxidante comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 10°C.

En las Figuras 15 y 16 se observa la tendencia que presentaron los cortes de cerdo, con el porcentaje de inhibición del radical DPPH[•] comparado con la oxidación lipídica. Al inicio la actividad fue de 49.43% (20.69±5.26µM de Trolox/100g de carne) para ambas temperaturas. Al día 8 se presentó una ligera disminución hasta 35.47% a 4°C y de 35.83% a 10°C, generándose una mayor cantidad de TBARS. Min *et al.* (2008) encontraron en lomo de cerdo al día 1 un porcentaje de inhibición de 69.24%, al día 3 de 63.77% y al día 7 de 60.11%; observándose que en este trabajo el porcentaje de reducción también tendió a disminuir. En el trabajo de Min *et al.* (2008) se observó que el porcentaje de inhibición al inicio es mayor que el que se obtuvo en este trabajo, posiblemente debido a que no se tuvo control sobre la alimentación de los animales, ni control de la raza, edad, género y condiciones de sacrificio; por lo tanto, los agentes reductores no se manifestaron de igual manera.

En este trabajo también se observa que el porcentaje de inhibición del radical DPPH[•] disminuyó de manera más notable en la carne de res, esto podría ser a causa de que los niveles de pro-oxidantes como el hierro proveniente del grupo hemo que están en mayor cantidad en la carne de res que en la de cerdo, además de que en esta última la actividad de la enzima catalasa fue mayor y por lo tanto se disminuyó la producción de ferrimioglobina que también se considera como un agente pro-oxidante (Halliwell *et al.*; 1999).

En general para ambos tipos de cortes se observa que al día 8 hay un menor porcentaje de inhibición y posteriormente aumentó, esto podría deberse a dos causas, la primera: que los antioxidantes primarios como las enzimas antioxidantes están actuando, en este caso la glutatión peroxidasa mostró actividad al día 5 a 10°C y día 8 a 4°C y posteriormente actúan los antioxidantes captadores de radicales libres como la vitamina E, vitamina C, entre otros y por lo tanto la actividad antioxidante aumenta; la segunda posibilidad sería que la carne es una matriz extremadamente compleja y que durante su descomposición genera diversos compuestos y estos probablemente estén reaccionado con el DPPH (Halliwell *et al*; 1999).

Finalmente cabe mencionar que este método es más adecuado para medir la actividad antioxidante en extractos vegetales y otros alimentos, ya que si se emplea para medir la actividad en plasma o suero las proteínas sarcoplásmicas precipitan con el metanol del medio de reacción, por lo tanto la bibliografía es escasa respecto al uso de este método (Brand-Williams *et al*: 1995).

7.3.2 Ensayo de FRAP.

La técnica de FRAP (capacidad reductora del hierro en el plasma) determina la capacidad de la muestra para reducir por medio del tripiridil-s-triazina (TPTZ) de la forma férrica a la ferrosa el hierro; esta capacidad sobre el hierro se considera un índice del poder antioxidante de la muestra (Descalzo *et al*; 2007). El método fue calibrado mediante patrones de Trolox (Anexo Figuras 32 y 35) y los resultados se expresaron en equivalentes de μM de Trolox en 100g de carne.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

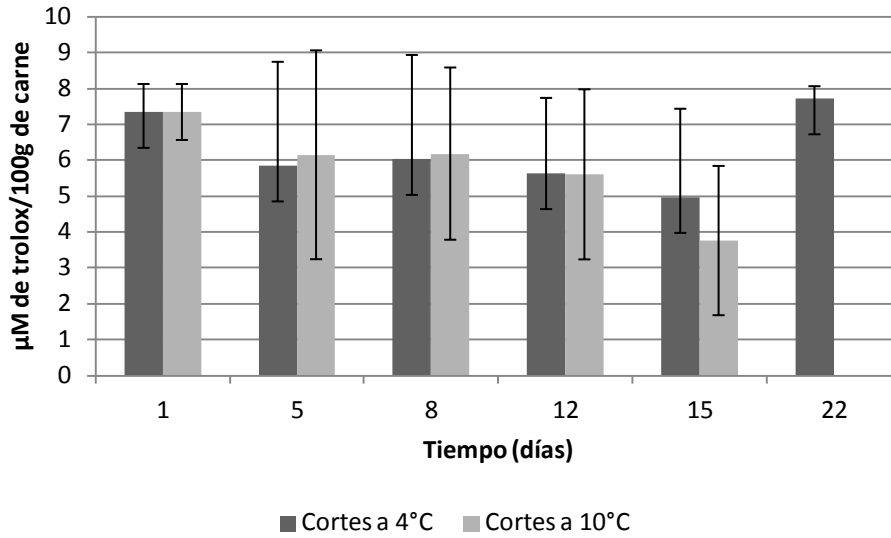


Figura 17. Actividad antioxidante en cortes de res (*M.Longissimus dorsi*) del Rib eye por el método FRAP almacenados a 4 y 10°C.

Al llevar a cabo el análisis de varianza (Anexo, Tabla 24), se observó que por efecto del tiempo de almacén si hubo diferencias significativas pero al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 26) se observó que por efecto de la temperatura de almacén no hubo diferencias significativas.

Como se puede observar en el figura 17 a temperatura de 4°C, el día 1 presentó la mayor capacidad reductora ($7.34 \pm 0.78 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) significativamente; mientras que para los días 5, 8 12 y 15 disminuyó la actividad pero sin diferencias entre días, observándose que la menor actividad se presentó en el día 15 ($4.97 \pm 2.46 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne). Para los cortes almacenados a 10°C, el día que presentó mayor actividad antioxidante es el día 1 ($7.34 \pm 0.78 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne), posteriormente ésta variable disminuyó gradualmente, al último día se presentó la menor actividad reductora ($3.75 \pm 3.08 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne). Esta tendencia podría coincidir con lo reportado por Descalzo *et al.* (2008) ya que obtuvieron $5.009 \mu\text{M}$ de Fe^{II} /100g de carne al día 1 y para el día 25 de almacenamiento disminuyó hasta $5.003 \mu\text{M}$ de Fe^{II} /100g de carne, sin embargo para esta prueba solo se puede comparar la tendencia ya que las cantidades se reportaron en unidades distintas a las que se usaron en este trabajo.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

En la prueba de correlación (Anexo, Tabla 42) para esta técnica con respecto a los otros métodos para determinar la capacidad antioxidante se obtuvo una correlación negativa con DPPH y positiva con ABTS, esto debido a que la actividad antioxidante por medio de DPPH disminuye durante los primeros días y la actividad antioxidante por medio de ABTS se incrementa conforme pasa el tiempo, por lo tanto si se podría complementar con ambos métodos para evaluar la capacidad antioxidante, la correlación con TBARS fue negativa observándose la disminución gradual de la capacidad reductora conforme la cantidad de TBARS aumento.

Por otra parte Min *et al.* (2008) reportaron al día 1 en lomo de res 7.03 μg de ácido ascórbico/g de carne, al día 3 fue de 7.72 μg de ácido ascórbico/g de carne y al día 7 la cantidad de 4.43 μg de ácido ascórbico/g de carne, esta tendencia también se observa en este trabajo ya que conforme pasa el tiempo el porcentaje de reducción disminuye.

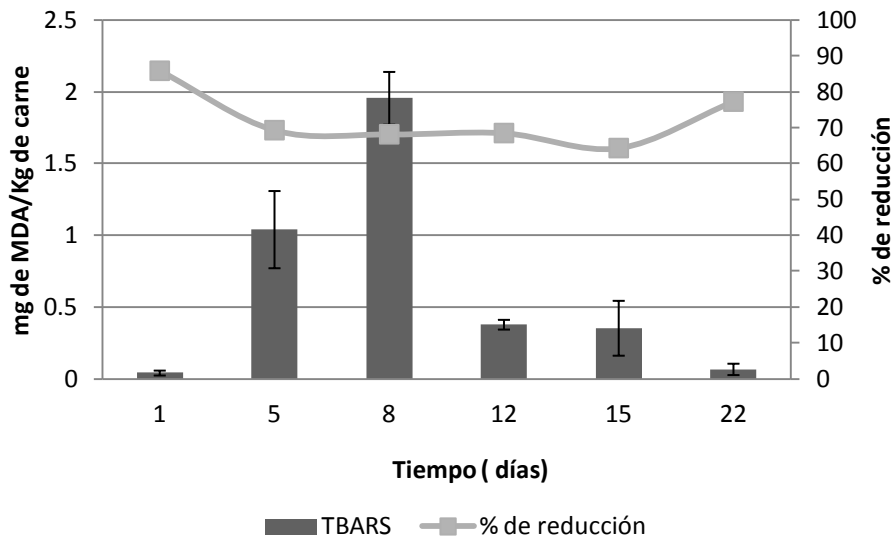


Figura 18. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4°C.

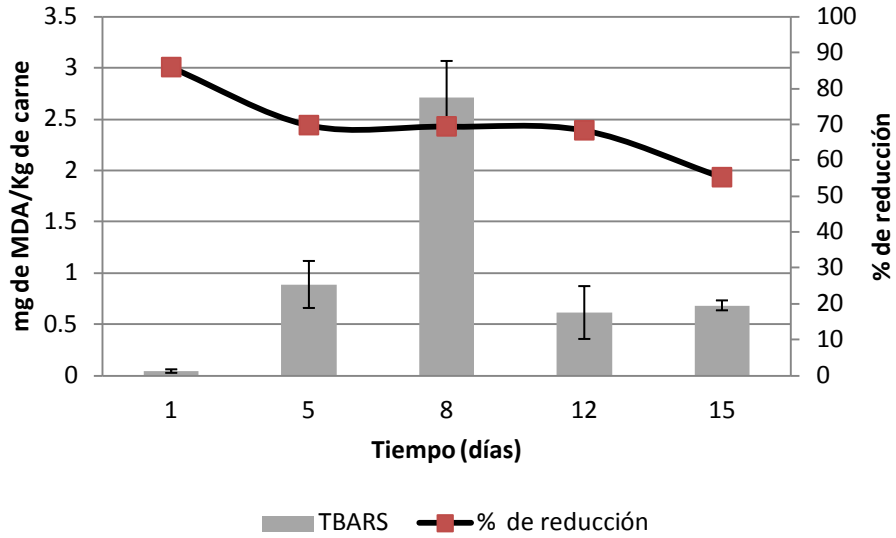


Figura 19. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 10°C.

En las Figuras 18 y 19, se observa que para el día 15 en ambas temperaturas hay una disminución del porcentaje de reducción de 59.79% con respecto al día 1 (85.90%) esto con un aumento en la concentración de TBARS, pero únicamente observándose este aumento del día 1 al 8 ($P \leq 0.05$). El cambio en la capacidad reductora se puede deber a la metamioglobina ya que tiene mayor poder como agente pro-oxidante, algunos autores señalan que la oxidación de la oximioglobina a metamioglobina, está ligada a la generación de aldehídos insaturados como 4-hidroxiacetaldehído y el malonaldehído (Hui *et al*; 2006).

Por otra parte, la disminución del porcentaje de reducción, podría deberse a que cuando se emplea esta técnica en plasma o suero no es capaz de detectar la actividad antioxidante por grupos sulfidrilo que se encuentran en el sistema glutatión, por lo que daría valores ligeramente más bajos de los reales (Iris *et al*; 1999).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

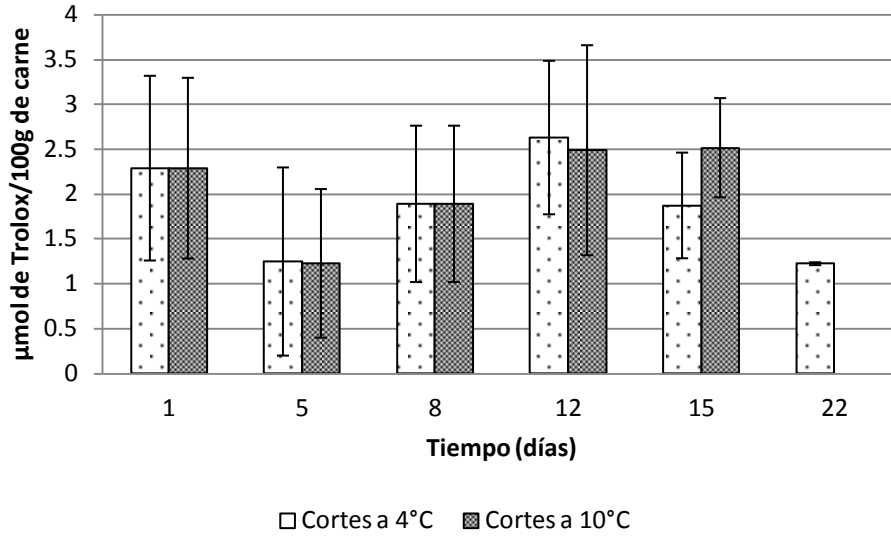


Figura 20. Actividad antioxidante en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) por el método FRAP almacenados a 4 y 10°C.

En el análisis de varianza (Anexo, Tabla 27) se observó que hay diferencias significativas por efecto del tiempo de almacén en la carne de cerdo pero al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 29) se observó que para esta prueba no hay diferencias significativas por efecto de la temperatura de almacén.

Como se puede observar en la Figura 20, para ambas temperaturas hay una disminución de la actividad reductora en los cortes de cerdo conforme pasa el tiempo, esto podría coincidir con lo reportado por Min *et al.* (2008) ya que obtuvieron 6.75µM de ácido ascórbico/g de carne fresca y para el día 7 de almacenamiento disminuyó hasta 6.24µM de ácido ascórbico/g de carne. Para los cortes almacenados a 4°C, el día 5 presentó la menor actividad reductora ($1.226 \pm 0.82 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) y la mayor actividad reductora al día 12 ($2.628 \pm 0.85 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne), respecto a los cortes almacenados a 10°C el día 12 presentó la mayor capacidad reductora ($2.487 \pm 1.17 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne); mientras que para los días 5 y 8 disminuyó la actividad significativamente (1.226 ± 0.82 y $1.899 \pm 0.086 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne, respectivamente) observándose que la menor actividad se presentó en el día 5.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

En la prueba de correlación (Anexo, Tabla 43) para esta técnica con las demás pruebas antioxidantes se obtuvo una correlación positiva con la técnica de DPPH y ABTS, lo cual indica que las tres pruebas se pueden usar para medir la capacidad antioxidante en carne de cerdo, respecto a la técnica de TBARS se obtuvo una correlación negativa, es decir la capacidad reductora disminuye gradualmente conforme la concentración de TBARS aumenta, la correlación con la actividad enzimática fue negativa para la actividad de la catalasa y de la glutatión peroxidasa, eso pudiendo deberse a que los sistemas antioxidantes endógenos actúan inicialmente como fue el caso de la actividad de la glutatión peroxidasa, sin embargo la capacidad reductora continuó disminuyendo durante el almacenamiento.

En este tipo de prueba participan varios compuestos reductores como el ácido ascórbico, NADPH y los compuestos tiol como el glutatión, están presentes en las células biológicas y son los principales responsables de la capacidad reductora del hierro, pero el más importante es el ácido ascórbico ya que dependiendo de la concentración en que se encuentre puede servir como un antioxidante o un pro-oxidante, se ha sugerido que a bajas concentraciones es más probable que promueva la oxidación de los lípidos en tejidos musculares mientras que a altas concentraciones tiende a inhibir la oxidación de los lípidos por la regeneración de antioxidantes como el alfa tocoferol en la membrana celular (Min *et al*; 2005).

La variación de la actividad reductora en este trabajo se pudo deber a que el ácido ascórbico es uno de los principales responsables de la reducción del hierro ya que puede servir como donador de electrones en procesos mediados por radicales libres; sin embargo, al ser hidrosoluble probablemente su presencia se perdió en el exudado que presentaron algunas muestras y el remanente no fue suficiente para producir porcentajes de reducción mayores.

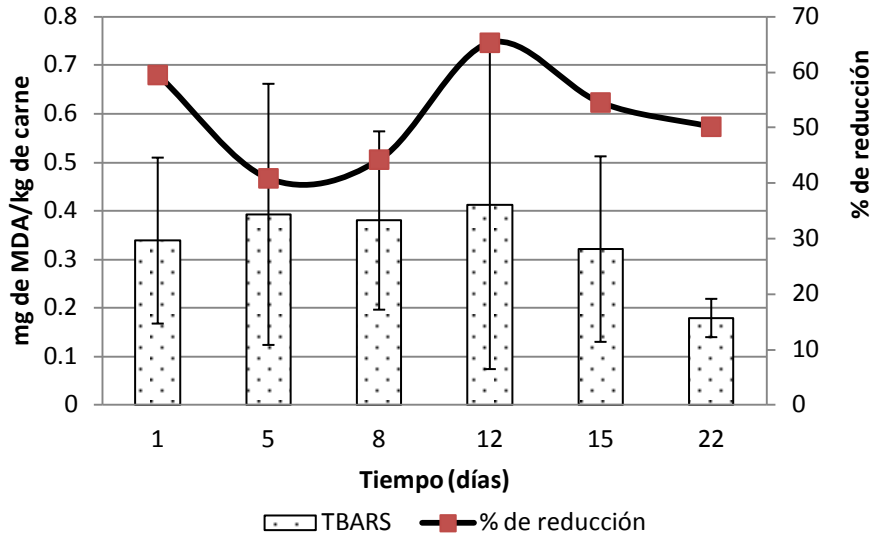


Figura 21. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4°C.

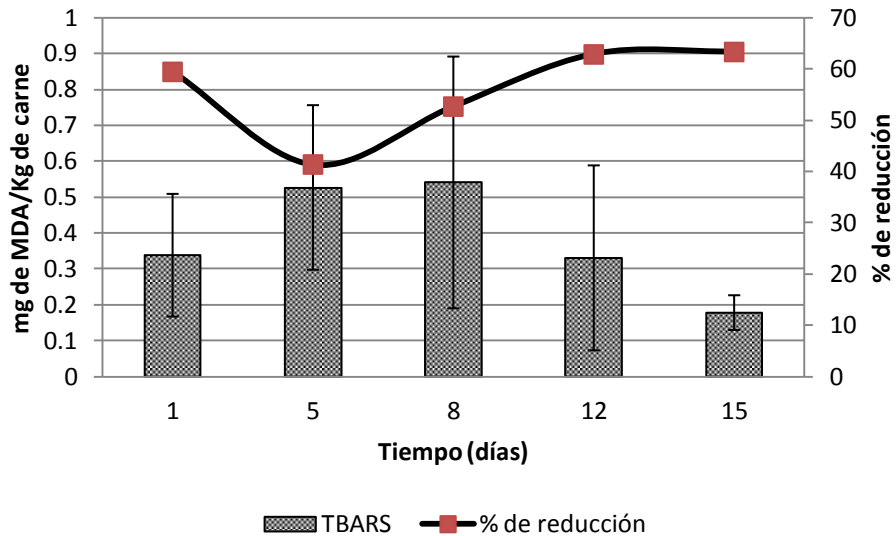


Figura 22. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 10°C.

En la Figuras 21 y 22, se observa que para el día 5 de manera general en ambas temperaturas hay una disminución del porcentaje de reducción, de 41.11% (0.063±0.05µM de Trolox/100g de carne); esto con un aumento de TBARS en ambos casos, pero únicamente observándose este aumento del día 1 al día 8 ($P \leq 0.05$).

Los efectos de la concentración de las sustancias reductoras en la oxidación de los lípidos también varía dependiendo de la concentración de hierro presente; por lo tanto, los porcentajes de inhibición fueron menores en la carne de cerdo que en la carne de res, por ello se asume que la capacidad del ión férrico observado en este trabajo puede considerarse como un antioxidante o un pro-oxidante ya que durante algunos días se encuentra mas activo el ión mientras que en otros días se encuentra con menor actividad (Min *et al*., 2005).

Por otra parte, la disminución del porcentaje de reducción podría deberse a que cuando se emplea esta técnica en plasma o suero no es capaz de detectar la actividad antioxidante por grupos sulfidrilo que se encuentran en el sistema glutatión, el cual constituye el mejor amortiguador redox en los tejidos animales por lo que dará valores ligeramente más bajos de los reales (Iris *et al*; 1999).

Estos resultados muestran que no todos los antioxidantes tienen la capacidad de reducir un compuesto común y que una sola medición no debe utilizarse para indicar el estado oxidante en los músculos (Descalzo *et al*; 2007).

7.3.3 Prueba del radical ABTS[•].

El ensayo con ABTS se hace reaccionar con persulfato de potasio para generar el radical libre y posteriormente se determina la inhibición del radical ABTS[•] observándose una disminución en la absorbancia y una decoloración de la sustancia (Descalzo *et al*; 2007). El método fue calibrado mediante patrones de Trolox (Anexo, Figura 33) y los resultados fueron expresados en equivalentes de micromoles de Trolox en 100g de carne.

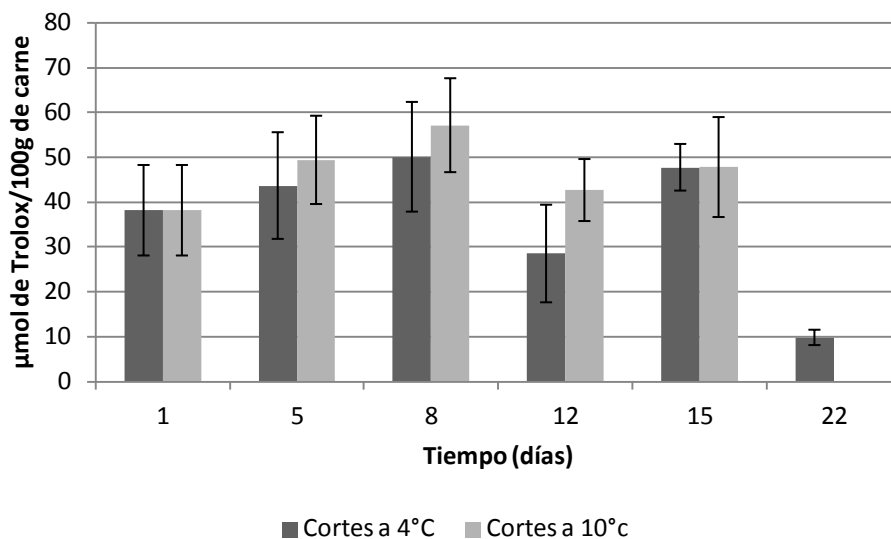


Figura 23. Actividad antioxidante en cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) del Rib eye por el método ABTS almacenados a 4 y 10°C.

En el análisis de varianza (Anexo, Tabla 30), se observó que hay diferencia significativa por efecto del tiempo de almacenamiento en la carne de res y al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 32) se observó que por efecto de la temperatura de almacenamiento también hay diferencia. Observándose mayor actividad antioxidante a 10°C ($P \leq 0.05$).

En la figura 23 se observa que para la temperatura de 4°C, el día 1 presentó una actividad antioxidante de $37.561 \pm 10.09 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne, con la mayor actividad al día 8 ($50.07 \pm 12.23 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne), presentando su menor acción al día 22 con actividad de $9.79 \pm 1.71 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne ($P \leq 0.05$). Para 10°C, la actividad también inicia con $37.561 \pm 10.09 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne, con un aumento al día 5 y 8, observándose que la mayor actividad se presentó en el día 8 ($57.11 \pm 10.47 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) a partir del día 12 la actividad vuelve a ser estadísticamente igual al día 5.

En la prueba de correlación (Anexo, Tabla 42) con las demás métodos antioxidantes se obtuvo una correlación negativa con DPPH y positiva con FRAP, por lo tanto se puede utilizar durante los primeros días la prueba de DPPH debiéndose a que durante los demás días de almacenamiento pueda haber interferencia de sustancias provenientes de la descomposición de la carne con el medio de reacción, sin embargo para FRAP si se podría

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

utilizar como método complementario para evaluar la capacidad antioxidante, respecto a la correlación con TBARS es negativa, es decir si la capacidad antioxidante disminuye la concentración de TBARS aumenta, lo cual solo se observó hasta el día 8.

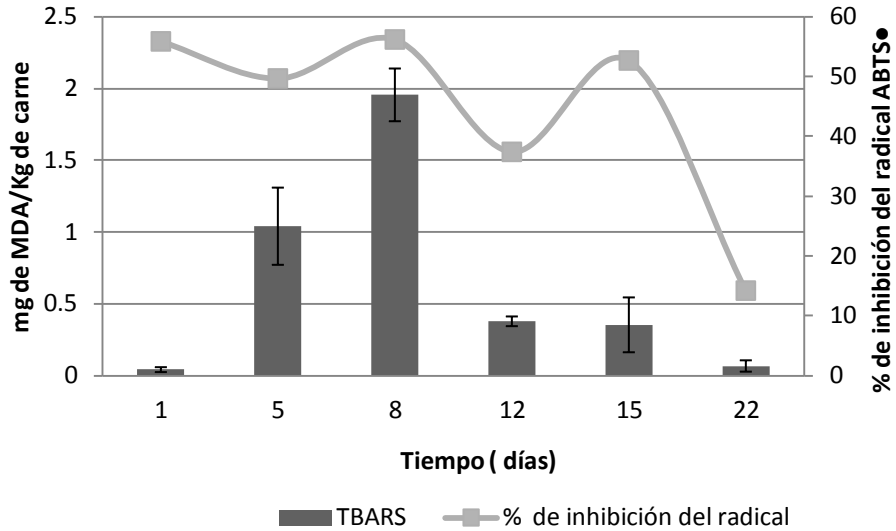


Figura 24. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4°C.

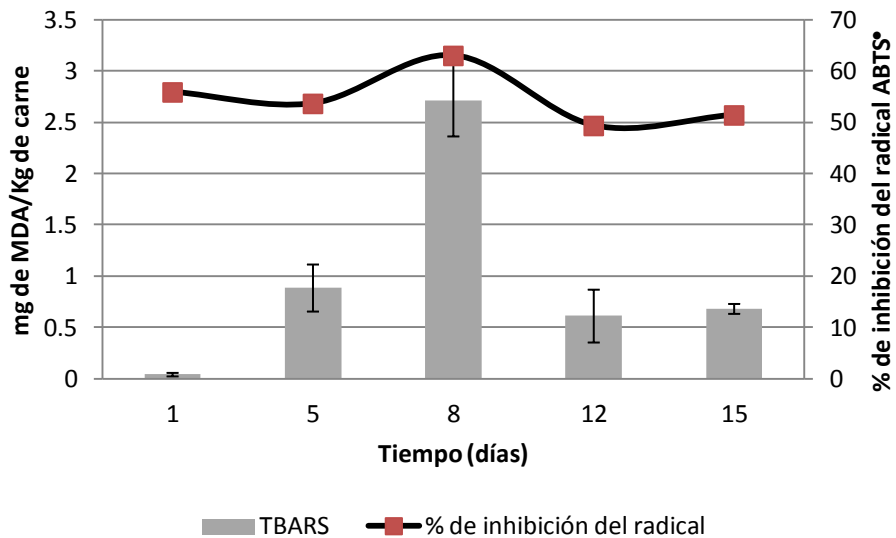


Figura 25. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de res (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 10°C.

En las Figuras 24 y 25 se muestran las tendencias de actividad antioxidante con respecto a la generación de MDA; en donde el porcentaje de inhibición del radical disminuyó del día 1

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

al 5 y posteriormente aumentó al día 8 y 15; para ambas temperaturas. En un estudio realizado por Gatellier *et al.* (2004) entre reses alimentadas con pasto y con granos no hay diferencia significativa, pero si se determinó una mayor actividad antioxidante en las reses alimentadas con pasto; por este mismo método reportan alrededor de 250 μ moles equivalentes de Trolox/100g de carne, mientras que en este trabajo la mayor cantidad de equivalentes Trolox fue menor atribuyéndolo principalmente a que no se controló la dieta de los animales que se utilizaron.

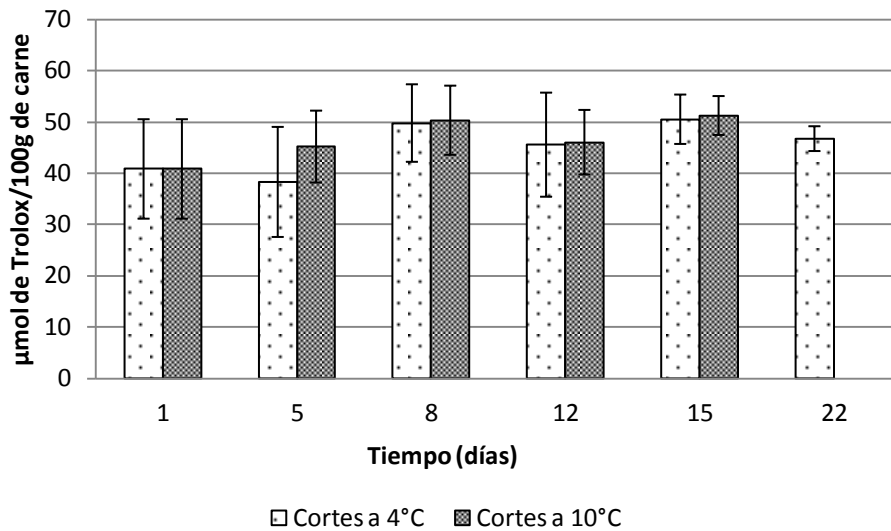


Figura 26. Actividad antioxidante en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) por el método ABTS almacenados a 4 y 10°C.

En el análisis de varianza (Anexo, Tabla 33), se observó que hay diferencia significativa por efecto del tiempo de almacenamiento en la carne de cerdo pero al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 35), se observó que para esta prueba el efecto de la temperatura de almacén en la carne no es significativa.

En la Figura 26 se observa que para cortes de cerdo almacenados a 4°C, el día 1 presentó una actividad antioxidante de $40.69 \pm 9.69 \mu$ M de Trolox/100g de carne, con un aumento al día 8 ($49.81 \pm 7.56 \mu$ M de Trolox/100g de carne), además presentó su mayor actividad al día 15 con $50.55 \pm 4.81 \mu$ M de Trolox/100g de carne ($P \leq 0.05$) mientras que no hay cambio significativo en los días 12 y 22. Respecto a los cortes almacenados a 10°C al día 8 también

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

presentó un aumento ($50.36 \pm 6.74 \mu\text{M}$ de Trolox/100g de carne) y posteriormente al día 12 la actividad disminuye pero vuelve a ser estadísticamente igual al día 1 y al día 5.

En la prueba de correlación (Anexo, Tabla 43) con los demás métodos para evaluar la capacidad antioxidante se obtuvo una correlación positiva con FRAP y DPPH, por lo tanto los tres métodos se pueden utilizar como métodos complementarios para evaluar dicha actividad, respecto a la correlación con TBARS fue negativa, es decir si la actividad antioxidante disminuye cuando la concentración de TBARS aumenta, observándose este efecto al día 8 de almacenamiento, respecto a la actividad enzimática de la catalasa y de la glutatión peroxidasa se observa una correlación positiva con este método, ya que la actividad antioxidante aumenta después del día 12 pero esta actividad antioxidante no podría ser propiamente de la muestra ya que tal vez podrían estar interfiriendo compuestos no relacionados con antioxidantes en el medio de reacción, por lo tanto el uso de este método se limitaría a los primeros días de almacenamiento.

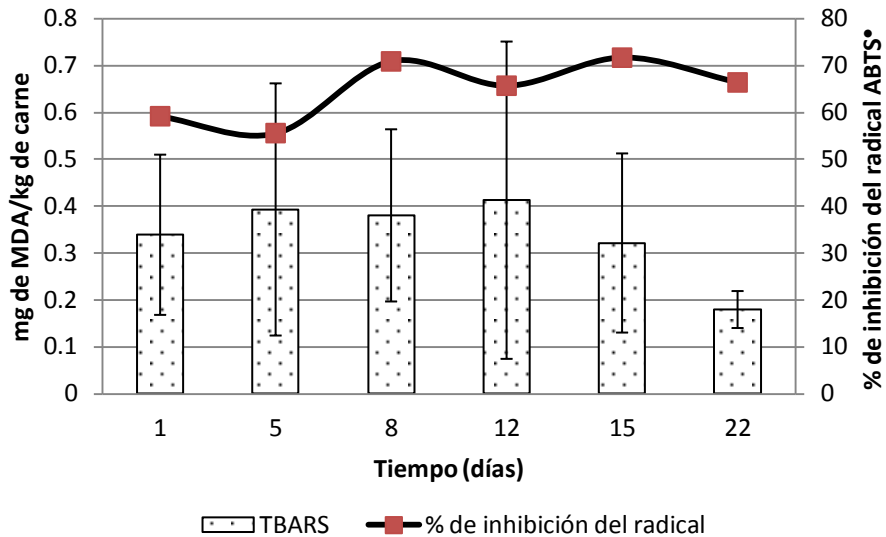


Figura 27. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4°C.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

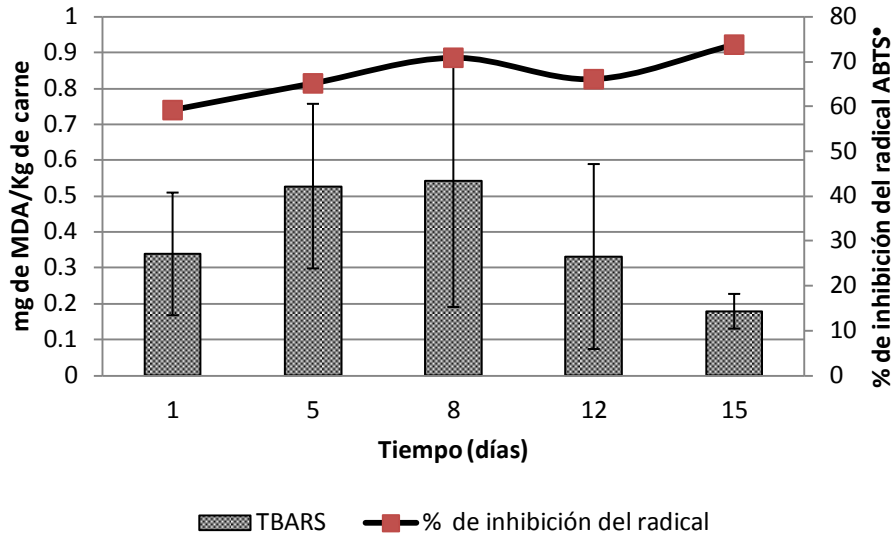


Figura 28. Variación de la actividad reductora comparada con la oxidación lipídica en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 10°C.

En las Figuras 27 y 28, se muestran las tendencias de actividad antioxidante con respecto a la generación de TBARS; en donde el porcentaje de inhibición del radical para ambas temperaturas disminuye del día 1 al día 5 y posteriormente aumentó al día 8 y 15. Es poca la bibliografía que reporta el uso de este método en carne de cerdo, pero Sacchetti *et al.* (2008), utilizaron este método para medir la capacidad antioxidante en carne de pollo, llevando a cabo la prueba en dos extractos (lipofílico e hidrofílico); encontrando que en los extractos hidrofílicos había mayor actividad antioxidante, por lo tanto concluyen que en carne de pollo la actividad antioxidante la aportan los antioxidantes hidrofílicos, reportan valores de 8.68 hasta 11.62 μmol de Trolox/ g de carne y en muslo de pollo cantidades de 8.16 hasta 12.3 μmol de Trolox/ g de carne, pero no realizaron el estudio al pasar los días, con estos resultados concluyen que sus cifras son pequeñas debido a que este método no cuantifica la actividad antioxidante que aporta la carnosina.

Este método es rápido para poder medir la actividad antioxidante en las muestras sin embargo, la interferencia generada por otras biomoléculas a la longitud de onda utilizada en el ensayo puede incrementar la absorbencia, por otra parte la generación de la metamioglobina podría estar compitiendo con la oxidación del radical ABTS^{\bullet} incrementando los porcentajes de reducción en los últimos días del muestreo (Halliwell, 1999).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Al observar todas las figuras de actividad antioxidante, se puede decir que por esta técnica la actividad antioxidante es la que posee valores numéricos más altos; esto podría deberse a que se están reduciendo otras especies no relacionadas con antioxidantes o con el deterioro de vitaminas, como podrían ser: metales, ácido úrico o bilirrubina, las cuales se liberan con el paso de los días en la carne y afectan la actividad reductora (Descalzo, 2008). También podría deberse a que el ABTS[•] no es selectivo para el α -tocoferol, debido a que en sus anillos aromáticos posee un grupo hidroxilado, el cual dona un átomo de hidrógeno para reducir los radicales libres; por lo tanto el radical ABTS[•] también podría reaccionar con cualquier compuesto aromático hidroxilado, independientemente de su potencial antioxidante real (Descalzo y Sancho, 2008).

7.4 Determinación de la capacidad antioxidante enzimática

Se ha estudiado que cuando los animales se exponen a una situación de estrés oxidante reaccionan mediante la inducción de la actividad de antioxidantes endógenos (Renerre *et al.*; 1999). Diversos autores han propuesto que si la dieta del animal es a base de pasto, se podría modificar notablemente la actividad de las enzimas antioxidantes en comparación con animales alimentados con granos; debido a esto y con la finalidad de observar la presencia de dichas enzimas se determinaron las actividades enzimáticas de la glutatión peroxidasa (GPX) y catalasa.

7.4.1 Ensayo de la actividad de la catalasa. La actividad de la enzima catalasa se determinó únicamente en carne de cerdo; esta prueba es de interés debido a que algunos estudios indican que los antioxidantes enzimáticos endógenos, especialmente la catalasa, puede minimizar la rancidez oxidante a lo largo del almacenamiento debido a que es una enzima bastante estable desactivándose únicamente por la temperatura (Pradhan *et al.*; 2000).

Al llevar a cabo el análisis de varianza (Anexo, Tabla 36) se observó que hay diferencias significativas por efecto del tiempo de almacenamiento en la carne de cerdo y al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 38) también se observa que el efecto de la

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

temperatura de almacenamiento en la carne si influye significativamente, observándose mayor actividad enzimática a 10°C ($P \leq 0.05$).

En la prueba de correlación (Anexo, Tabla 43) para la actividad enzimática de la catalasa respecto a las pruebas antioxidantes mediante métodos químicos, la correlación fue negativa para FRAP y DPPH, esto debido a que esta enzima necesita que su sustrato se encuentre en cantidades elevadas para que presente actividad, sin embargo para la concentración de TBARS fue una correlación negativa, debido a que en un inicio el sustrato para la catalasa no fue suficiente para manifestar su actividad, respecto al pH la correlación fue positiva esto quiere decir que si el pH aumenta no habrá modificación de la actividad enzimática. Sin embargo la correlación con la actividad enzimática de la GPX fue positiva.

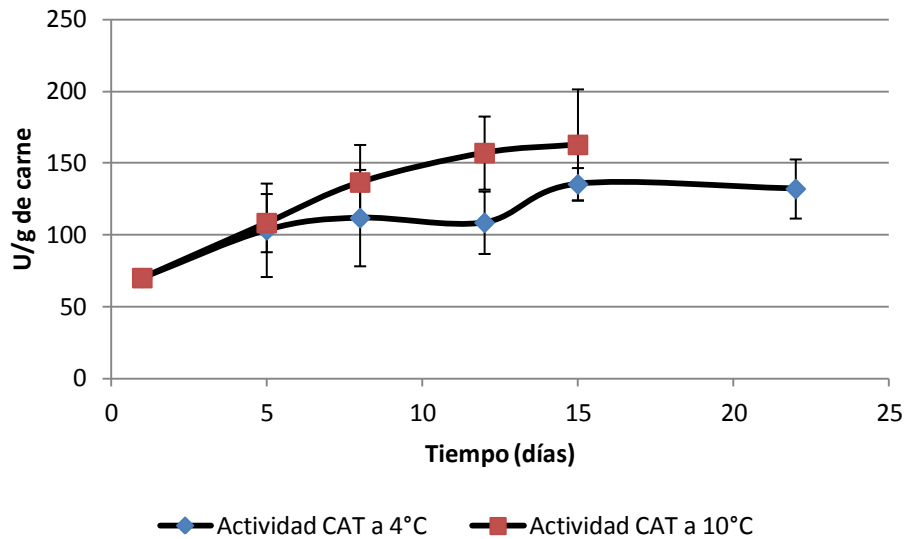


Figura 29. Variación de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4 y 10°C.

En la Figura 29 se observa que hay una mayor actividad enzimática en cortes almacenados a 10°C, esto se podría deber a que la temperatura óptima de actividad en una enzima es mayor mientras se aproxime a la temperatura *in vivo*. Por lo tanto, se observa que a 10°C se produce mayor cantidad de peróxido de hidrógeno y por lo tanto la actividad enzimática es mayor. También en esta figura se observa la actividad de esta enzima a dos diferentes temperaturas, la menor actividad se muestra al día 1 (70.58 ± 6.026 U/g de carne) es decir, hay poca actividad debido a que no hay una cantidad elevada de peróxido de hidrógeno que

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

pueda utilizar dicha enzima como sustrato, aunque existió un aumento durante los días 5, 8 y 12, siendo solo significativo al día 1 y 15 (70.58 ± 6.026 y 136.45 ± 15.43 U/g de carne, respectivamente) además de que se observa la mayor actividad de esta enzima al día 15, lo cual sería lo esperado ya que la cantidad de peróxido de hidrógeno proveniente de la descomposición de la carne y de la oxidación del color se genera al paso de los días. A 10°C se observa que todos los días son diferentes ($P \leq 0.05$) excepto el día 12 y 15 que son iguales; además se observa que la actividad se incrementa de manera gradual al pasar los días, siendo la mayor actividad al día 15 (163.84 ± 34.52 U/g de carne), esta tendencia sería lo esperado ya que la temperatura incrementó la generación de peróxido de hidrógeno y por lo tanto la actividad de la enzima.

Los valores de la actividad de la enzima catalasa determinados en este trabajo oscilan entre 70.58 y 126.75 U/g de carne, los cuales tuvieron la misma tendencia y cercanos a los obtenidos por Hernández *et al.* (2004) que son de 187 y 381 U/g de carne.

Los reportes acerca de la actividad antioxidante de la catalasa son escasos a pesar de que se trata de una enzima crítica que se mantiene estable durante el almacenamiento de la carne fresca refrigerada (Pradhan *et al.*; 2000). En realidad la glutatión peroxidasa posee mucha más afinidad por el peróxido de hidrógeno que la catalasa, sugiriendo que en condiciones normales la mayor parte del peróxido de hidrógeno es degradado por la enzima glutatión peroxidasa. En general, se considera que bajas concentraciones de peróxido de hidrógeno estimulan la actividad de la glutatión peroxidasa mientras que altas concentraciones son preferentemente catalizadas por la catalasa (Avanzo *et al.*; 2001). Esto se observa claramente al día 15 de almacenamiento, que es al día que se observa mayor actividad de la enzima catalasa.

Además, el hecho de que las especies reactivas al oxígeno (ERO) se generan principalmente en las mitocondrias, las cuales no poseen actividad catalasa, indica el importante papel de la glutatión peroxidasa en la reducción de peróxido de hidrógeno (Pradhan *et al.*; 2000).

La actividad de la catalasa depende en gran medida de la especie animal que se este considerando para el estudio. Renerre *et al.* (1999) observaron una actividad inferior en

carne de pavo en comparación con otras carnes como la de cerdo o ternera y de acuerdo con Pradhan *et al.* (2000) la actividad catalasa en el músculo de cerdo es el doble que en el músculo de ternera.

Por otra parte, la actividad enzimática también se ve influida por el tipo de grasa en la dieta animal, de forma que al aumentar el grado de insaturación se observa un incremento de la actividad de la catalasa (Renner *et al.*; 1999).

Según Rhee *et al.* (1996) la mayor actividad catalasa detectada en el músculo tiene que ver con el contenido de pigmentos, ya que la autooxidación de la oximioglobina genera metamioglobina y el oxígeno producido por esta reacción podría formar peróxido de hidrógeno, esto podría explicar el hecho de que los músculos más pigmentados presenten un mecanismo de mayor protección, es decir una mayor actividad de la catalasa en comparación con los músculos con menor contenido de pigmentos. Hernández *et al.* (2001) determinaron una mayor actividad de la enzima en pierna que en lomo de cerdo.

7.4.2 Ensayo de la actividad de la glutatión peroxidasa (GPX).

La glutatión peroxidasa se determinó con el objetivo de comprobar su presencia en la carne de cerdo y si la temperatura afectaba su actividad.

Al llevar a cabo el análisis de varianza (Anexo, Tabla 39), se observó que hay diferencias significativas por efecto del tiempo de almacenamiento en la carne de cerdo y al realizar la comparación de medias (Anexo, Tabla 41), se observó que para esta prueba el efecto de la temperatura de almacenamiento en la carne si es significativa, observándose mayor actividad enzimática a 10°C ($P \leq 0.05$).

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

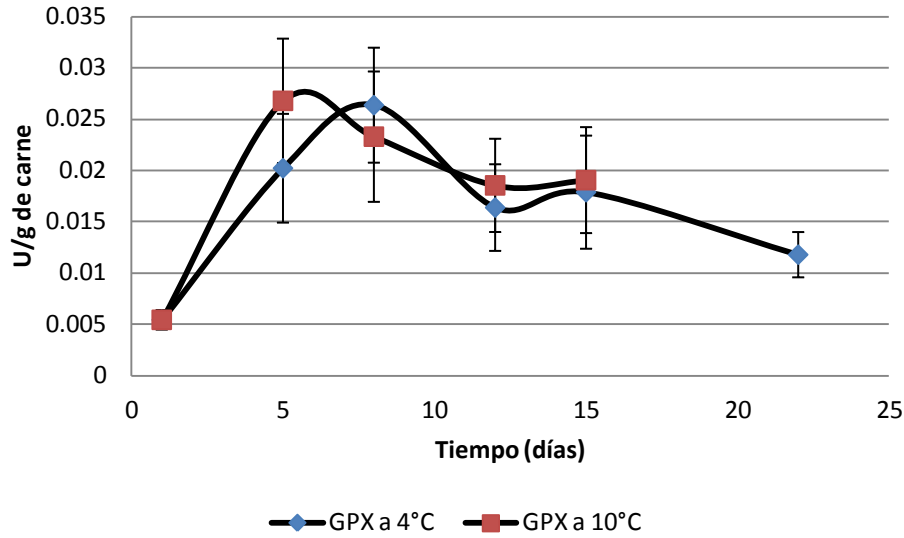


Figura 30. Variación de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo (*M. Longissimus dorsi*) almacenados a 4 y 10°C.

En la Figura 30 se observa la actividad enzimática de la GPX a 4°C donde el día 1 tiene la menor actividad (0.0054 ± 0.00094 U/g de carne) pero al día 5 y 8 existe un aumento ($P \leq 0.05$) siendo su mayor actividad al día 8 (0.0263 ± 0.005 U/g de carne); sin embargo, durante los días 12, 15 y 22 hay una disminución de la actividad presentando la menor al día 22 (0.0125 ± 0.022 U/g de carne).

En la prueba de correlación (Anexo, Tabla 43) para la actividad enzimática de la glutatión peroxidasa respecto a las pruebas antioxidantes mediante métodos químicos, la correlación fue negativa para FRAP y DPPH, respecto a la concentración de TBARS la correlación fue positiva, es decir, si la concentración de TBARS aumenta la actividad enzimática también observándose este efecto al día 8 a 10°C y al día 5 a 4°C, respecto al pH la correlación fue positiva esto quiere decir que si el pH aumenta no habrá modificación de la actividad enzimática, finalmente la correlación con la actividad enzimática de la catalasa fue positiva.

Respecto a los cortes que se almacenaron a 10°C, se observa que en los días 1 y 5 (0.00054 ± 0.00094 y 0.0267 ± 0.0060 U/g de carne, respectivamente) hay un aumento significativo, posteriormente al día 8 hay una disminución ($P \leq 0.05$) respecto al día 5, esta

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

disminución continua durante el día 12 y 15, presentando su menor actividad al día 12 (0.0185 ± 0.0045 U/g de carne).

En ambos casos, se observa que en los días 12, 15 y 22 en cortes almacenados a 4°C y para los días 12 y 15 en cortes a 10°C, la actividad enzimática disminuyó, pudiendo deberse a una inhibición por sustrato, ya que Flohé *et al.* (1984) reportaron que las condiciones del ensayo pueden influir en la saturación de la enzima, saturándose más rápidamente con peróxido de hidrógeno que con algún otro sustrato como el terbutil-hidroperóxido.

A 10°C hay mayor actividad al día 5, mientras que a 4°C hay mayor actividad al día 8, este comportamiento es el esperado ya que a 4°C hay mayor inhibición sobre la aparición de peróxido de hidrogeno por efecto de la temperatura y aparece de forma más lenta.

Por otra parte, la disminución de la actividad a partir de los días 12,15 y 22 para 4°C y 15 y 22 para 10°C, se podría deber a que el sistema glutatión GSH/GSSG, es uno de los mayores sistemas redox en los tejidos animales y se utiliza para manifestar la actividad de la GPX, por lo tanto si no se encuentra en cantidades significativas, como en el caso de animales alimentados con pasto; su presencia disminuye durante el almacenamiento por medio del exudado en la carne (Descalzo *et al*; 2007).

Los valores de la actividad de la GPX obtenidos en este trabajo oscilaron entre 0.0054 y 0.0192 U/g de carne, los cuales son numéricamente menores a los obtenidos por Hernández *et al.* (2004) ellos reportaron resultados entre 0.177-0.227 U/g de carne esto podría deberse a que tuvieron control en la raza de los animales. Además de que pudieron existir variaciones en la preparación de los reactivos o bien en las condiciones del análisis.

La actividad de la GPX depende de distintos factores, en primer lugar de la especie animal que se emplee para el estudio. Mei *et al.* (1994) encontraron en músculo de pollo una actividad enzimática superior a la encontrada en el músculo de cerdo y estos datos son hasta seis veces mayores en ternera que en cerdo.

El selenio es un elemento esencial para la actividad de la GPX ya que funciona como cofactor, algunos estudios demuestran que la actividad de esta enzima está afectada de

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

forma significativa por el contenido de selenio en la dieta de los animales (DeVore *et al*; 1982).

Otro factor importante a destacar es que la grasa en la dieta del animal influye en la actividad de dicha enzima, en general, se observa un incremento en la actividad al aumentar el grado de insaturación de las grasas y por lo tanto la susceptibilidad a la oxidación del tejido animal (Rennerre *et al*; 1999).

También se ha descrito la variación de la actividad de la enzima GPX dentro de una misma especie alimentada con una dieta en función del tejido estudiado, en la mayoría de los casos la actividad de la GPX en músculos rojos fue superior a la de los músculos blancos. Lauridsen *et al*. (1999) han encontrado que en músculo proveniente de la pierna del cerdo hay una mayor actividad de la GPX en comparación de la determinada en lomo de cerdo, esto debiéndose probablemente a que se produce una inducción de la actividad de la enzima en los tejidos sensibles al estrés oxidante, estas evidencias conducen a señalar que la enzima GPX actúa como un mecanismo de protección celular frente al daño oxidante.

8. CONCLUSIONES

En la carne al ser una matriz biológicamente compleja se llevan a cabo demasiadas reacciones que pueden intervenir con la capacidad antioxidante, por lo tanto se puede decir que los métodos más adecuados para monitorear la capacidad antioxidante podrían ser FRAP y DPPH, sin embargo ABTS también se podría utilizar pero puede estar sobre-expresado, debido a que el reactivo puede interaccionar con otro tipo de moléculas y también su uso está limitado a los primeros días de almacenamiento, por lo tanto se podrían utilizar como métodos complementarios.

- La carne de res fue más susceptible a la oxidación lipídica mostrando una mayor ($P \leq 0.05$) cantidad de MDA al día 8 a 10°C (2.336 ± 0.35 mg de MDA/kg de carne) en comparación con la carne de cerdo al día 8 a 10°C (0.461 ± 0.184 mg de MDA/Kg de carne de cerdo).
- El pH principalmente afectó la oxidación lipídica y la actividad de las enzimas antioxidantes no se afectó por la variación en el pH.
- La capacidad antioxidante dentro de los cortes de carne de res fue afectada por efecto de la temperatura, observándose únicamente en las pruebas de DPPH y ABTS; sin embargo, para las tres pruebas de capacidad antioxidante si existió efecto durante el tiempo de almacenamiento.
- Por el contrario, la capacidad antioxidante en los cortes de carne de cerdo no fue afectada por efecto de la temperatura, pero si durante el almacenamiento.
- La actividad enzimática fue afectada por la temperatura y por el tiempo de almacenamiento en la carne de cerdo, observándose que la actividad de la enzima GPX a 4°C es mayor al día 8 y a 10°C al día 5. La enzima catalasa mostró mayor actividad al día 15 a ambas temperaturas.

Con base en lo anterior:

Se logró establecer una relación entre la prueba para determinar oxidación lipídica y la capacidad antioxidante empleando la prueba de FRAP para carne de res y para carne de cerdo FRAP y DPPH, sugiriendo su uso solo hasta el día 8, que es el día al cual se observa una mejor tendencia. Respecto a la actividad enzimática se podrían utilizar estas pruebas

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

enzimáticas como sistemas acoplados, ya que una actúa durante los primeros días (GPX) y la otra continua activa (catalasa) en los días posteriores. De esta forma se podrían utilizar de manera parcial estas pruebas como indicadores de la estabilidad oxidante en la carne, aunque cabe mencionar que no hay establecido ninguno de manera oficial.

9. BIBLIOGRAFIA.

- Aebi, H. 1984. *Catalase in vitro*. Methods in enzymology. 105: 121-126
- Arihara, K. 2004. *Functional foods*. Encyclopedia of Meat Science. Vol. I. Elsevier Science, London, Pp. 492-499.
- Arnold, R.M., Arp.S.C., Scheller, K.K., Shaefer, D. M. 1993. *Tissue equilibration and subcellular distribution of vitamin E relative to myoglobin and lipid oxidation in displayed beef*. Journal of Animal Science. 71: 105
- Avanzo, J., De Mendoza, C., Piccoli, S.M. 2001. *Effect of vitamin E and selenium on resistance to oxidative stress in chicken superficial pectoralis muscle*. Comparative Biochemistry and Physiology. 129:163-173
- Bender, A. 1977. *Nutrición y alimentos dietéticos*. 2da Edición. Editorial Acribia Zaragoza. España. Pp: 279-285
- Bishop, S., Olsen, C., Bulloch, S. 1999. *B.O.B. glycolysis Krebs cycle and electron transport chain*. Methods in enzymology 107:122-135
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. 1995. *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity*. Lebensm-Wissenschaft and Technologie. 28: 25-30.
- Cole, D.J. A., Lawrie, R.A. 1975. *Meat Connecticut*. Editorial AVI. Estados Unidos. Pp: 596
- Chacón, A. 2004. *La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial*. Agronomía Mesoamericana. 15(2): 225-243
- Criado, C., Moya, M. 2009. *Vitaminas y antioxidantes*. 2da Edición. Editorial Grupo Saned. Madrid España. Pp:323-350
- Coordinación General de Ganadería SAGARPA. 2009. *Industria cárnica en México*. Claridades Agropecuarias. Noviembre No 207.

Descalzo, A. M., Insani, E. M., Biolatto, A., Sancho, A. M. 2005. *Influence of pasture or grain- based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of argentine beef*. Meat Science. 70: 35-44.

Descalzo, A. M., Rossetti, L., Grigioni, G., Irurueta, M., Sancho, A. M. 2007. *Antioxidant status and odour profile in fresh beef from pasture or grain-fed cattle*. Meat Science. 75: 299-307.

Descalzo, A. M., Sancho, A. M. 2008. *A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina*. Meat Science. 79: 423-426.

Descalzo, A. M., Rossetti, L., Sancho, A. M., García, P. T., Biolatto, A., Carduza, F., Grigioni, G. M. 2008. *Antioxidant consumption and development of oxidation during ageing of buffalo meat produced in Argentina*. Meat Science. 79:582-588.

DeVore, R. V., Greene E.B. 1982. *Glutathione peroxidase in post-rigor bovine semitendinosus muscle*. Journal of food science. 47: 1406-1409

Fennema, R. O. 1998. *Química de los alimentos*. Editorial ACRIBIA S.A., Zaragoza España. Pp: 199-223

Flohé L., Günzler W. 1984. *Assays of glutathione peroxidase*. Methods in enzymology. 105: 114-120

García, B., Onel, G. 1995. *Enzimas que participan como barreras fisiológicas para eliminar los radicales libres: I. Superóxido dismutasas*. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. Ciudad de la Habana, Revista Cubana de Investigación Biomédica. Pp: 14-22

Gatellier, P., Mercier, Y., Juin, H., Renerre, M. 2004. *Effect of finish mode (pasture-or mixed-diet) on antioxidant status of charolais bovine meat*. Meat Science. 67:385-394.

Gatellier, P., Mercier, Y., Juin, H., Renerre, M. 2005. *Effect of finish mode (pasture-or mixed-diet) on lipid composition, colour stability and lipid oxidation in meat from Charolais Cattle*. Meat Science. 69:175-186.

Gil, A. 2010 *Tratado de nutrición: bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición*. Tomo I. 2da edición. Editorial Médica Panamericana. Pp: 468-470

Gordon, A., Barbut, S. 1992. *Mechanisms of meat batter stabilization: a review*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 32(4): 299 - 332.

Halliwell, B., Gutteridge, J. 1994. *Free radicals in biology and medicine*. 4ta Edición. Oxford University Press, New York. Pp: 81-110, 336-340.

Hansen, E., Juncher, D., Henckel, P., Karlsson, A., Bertelsen, G., Skibsted, L. 2004. *Oxidative stability of chilled pork chops following long term freeze storage*. Meat Science. 68:479-484.

Hernández, P., Park, D., Soon K. 2001. *Chloride salt type/ionic strength, muscle site and refrigeration effects on antioxidant enzymes and lipid oxidation in pork*. Meat Science 61:405-410

Hernández, P., Zomeño, L., Ariño, B., Blasco, A. 2004. *Antioxidant, lipolytic and proteolytic enzyme activities in pork meat from different genotypes*. Meat Science. 66:525-529.

Higgs, J. D. 2000. *The changing nature of red meat: 20 years of improving nutritional quality*. Trends in Food Science and Technology. 11(3): 85-95.

Higgs, J. D., Mulvihill, B. 2002. *The nutritional quality of meat. Meat processing. Improving quality*. Editorial Woodhead Publishing. Inglaterra. Pp. 65-104

Hiu, Y.A., Legarreta, A. I. 2006. *Ciencia y tecnología de carnes*. Editorial Limusa, México D. F. Pp. 212-223.

Hunt, J. R., Gallagher, S. K., Johnson, L. K., Lykken, G. I. 1995. *High- versus low meat diets: effects on zinc absorption, iron status, and calcium, copper, iron, magnesium, manganese, nitrogen, phosphorus and zinc balance in postmenopausal women*. American of Clinical Nutrition, 62: 621-632.

Insani, E. M., Eyherabide, A., Grigioni, G., Sancho, A. M., Pensel, N. A., Descalzo, A. M. 2008. *Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina*. Meat Science. 79: 444-452.

Iris, F., Benzie, F., Strain, J. 1999. *Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidants activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration*. Methods in Enzymology. 299:15-27.

Jadhav, S. J., Nikbalkar, S. S., Kulkarni, A. D. y Madhavi, D. L. 1996. *Lipid oxidation in biological and food systems*. En: *Food Antioxidants. Technological, Toxicological and Health Perspectives*. Marcel Dekker. Nueva York, pp. 5 - 64.

Jan P., Yanishlieva, N., Gordon M. 1995. *Antioxidantes en los alimentos aplicaciones prácticas*. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza España. Pp: 23,45, 69-71, 141-145.

Juniper D., Phipps R., Ramos-Morales E., Bertin G. 2009. *Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs*. Animal Feed Science and Technology. 149: 228-239

Lauridsen, C., Holm Nielsen, J., Henckel, P., Sorensen, M. 1999. *Antioxidative and oxidative status in muscles of pigs fed rapeseed oil, vitamin E and copper*. Journal of animal science. 77:105-115

Lawrie, R. A. 1998. *Ciencia de la carne*. 3ª Edición. Editorial. ACRIBIA S.A., Zaragoza, España. Pp:57-67,93-100,103-104,175-183

López B. C. 2004. *Control mediante la alimentación animal de la composición de la carne*. Tesis de Maestría en Ciencias Pecuarias, Universidad Complutense, España.

Madsen, H. L. y Bertelsen, G 1995. *Spices as antioxidants*. Trends in Food Science and Technology. 6: 271-277.

Mateo, J. 2007. *Estabilidad del color de la carne fresca*. Nacameh. 1:67-74

Mei, L., Crum, A. D., Decker, E.A. 1994. *Development of lipid oxidation and inactivation of antioxidant enzymes in cooked pork and beef*. Journal of Food Lipids. 1:272-283.

Min, B., Nam, K.C., Cordray, J., Ahn, D.U. 2008. *Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats*. Journal of Food Science. 73:439-446.

Min, B., Ahn, D. U. 2005. *Mechanism of lipid oxidation in meat and meta products. A review*. Food Science Biotechnology 14:152-163.

Mc Clements, D. J. y Decker, E. A. 2000. *Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems*. Journal of Food Science. 65(8): 1270 –1282.

Muller H., Tobin G. 1991. *Nutrición y ciencia de los alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. Pp: 29-31

Molyneux, P. 2004. *The use of the stable free radical diphenylpicryl-hidrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity*. Journal of Science and Technology 26(2): 211-219.

NORMA OFICIAL MEXICANA- 009-ZOO-1994. Proceso Sanitario de la Carne.

Padilla, F. C., Rincón, A. M., Bou-Rached, L. 2008. *Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces*. Archivos latinoamericanos de nutrición. 58: 303-308.

Paoletti, F., Mocali, A. 1990. *Determination of superoxide dismutase activity by purely chemical system based on NAD(P)H oxidation*. Methods in enzymology. 186: 209-220

Papas, A. M., 1999. *Diet and antioxidant status*. Food Chemistry and Toxicology. 37: 999-1007

Porter, N.A. 1984. *Chemistry of lipid peroxidation*. Methods Enzymology. 105, 273-82.

Pradhan, A., Rhee, K.S., Hernández P. 2000. *Stability of catalase and its potential role in lipid oxidation in meat*. Meat Science. 54:385-390

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Price, J. Schweigert, B. 1994. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. 2da Edición. Editorial ACRIBIA S. A., Zaragoza, España. Pp. 57-109, 175-188.

Raharjo, S., Sofos, J. N., Schmidt, G. R. 1992. *Improved Speed, Specificity and Limit of Determination of an Aqueous Acid Extraction Thiobarbituric Acid C18 Method for Measuring Lipid Peroxidation in Beef*. J. Agric. Food Chem. 40(11): 2182-2185

Renner, M., Dumont, F., Gatellier, P. 1996. *Antioxidant enzymes activities in beef in relation to oxidant of lipid and myoglobin*. Meat Science 43(2):111-121

Rhee, K. S. 1992. *Fatty acids in meats and meat products. Fatty Acids in Foods and their Health Implications*. Marcel Dekker, Nueva York, pp. 65 – 93.

Rhee, K. S., Anderson, L. M., Sams, A. R. 1996. *Lipid oxidation potential of beef, chicken and pork*. Journal of food Science. 61:8-12

Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., Martino, G. 2008. *Application of a radical scavenging activity test to measure the total antioxidant activity of poultry meat*. Meat Science 80:1081-1085.

Shahidi, F., Janitha, P. K. y Wanasundara, P. D. 1992. *Phenolic antioxidants*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 32(1): 67-103.

Skrivanová E., Marounek M., De Smet S., Raes K. 2007. *Influence of dietary selenium and vitamin E on quality of veal*. Meat Science. 76:495-500

Sun, Q., Faustman, C., Senecal, A., Wilkinson, L.A., Furr, H. 2001. *Aldehyde reactivity with 2-thiobarbituric acid and TBARS in freeze-dried beef during accelerated storage*. Meat Science. 57:55-60.

Yasosky, J. J., Aberle, E. D., Peng, I. C., Mills, E. W. y Judge, M. D. 1984. *Effects of pH and time of grinding on lipid oxidation of fresh ground pork*. Journal of Food Science. 49: 1510 – 1512.

Zheng, W. y Wang, S. Y. 2001. *Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49(11): 5165 - 5170.

10. ANEXOS

10.1 Gráficos de curvas patrón

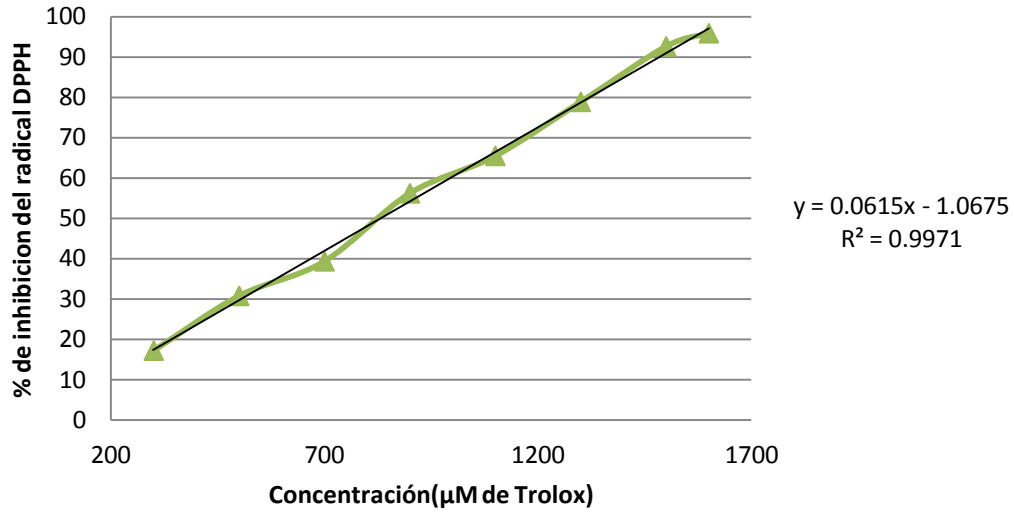


Figura 31. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por inhibición del radical DPPH en carne de res.

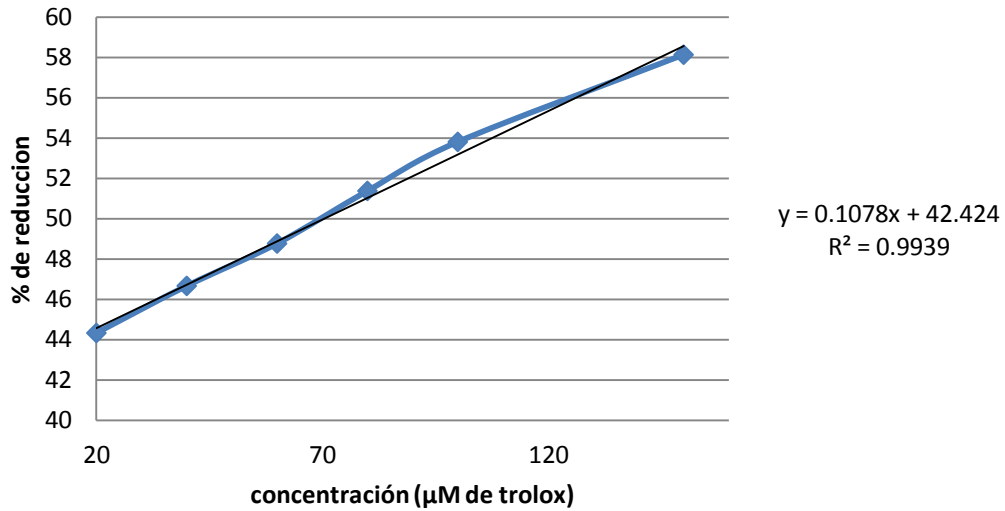


Figura 32. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por reducción de FRAP para carne de res.

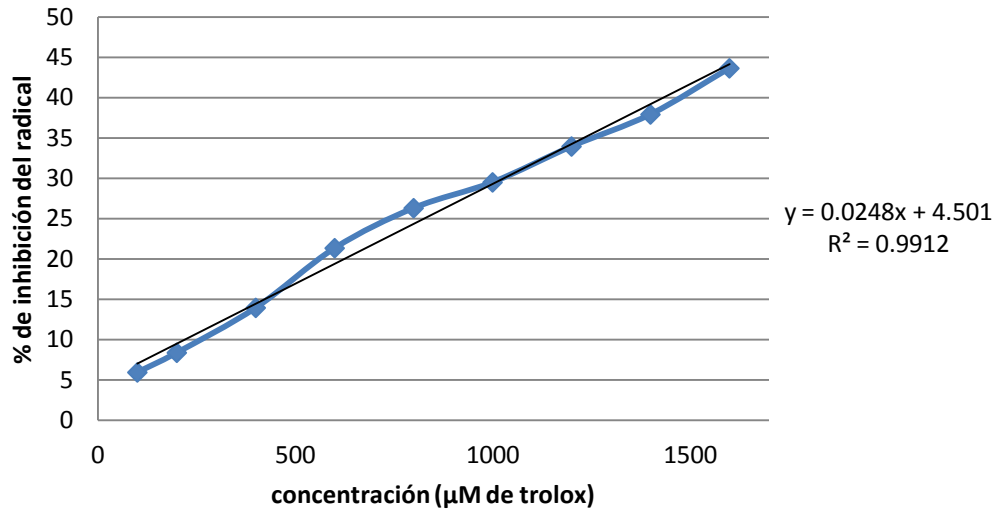


Figura 33. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por inhibición del radical ABTS para carne de res y cerdo.

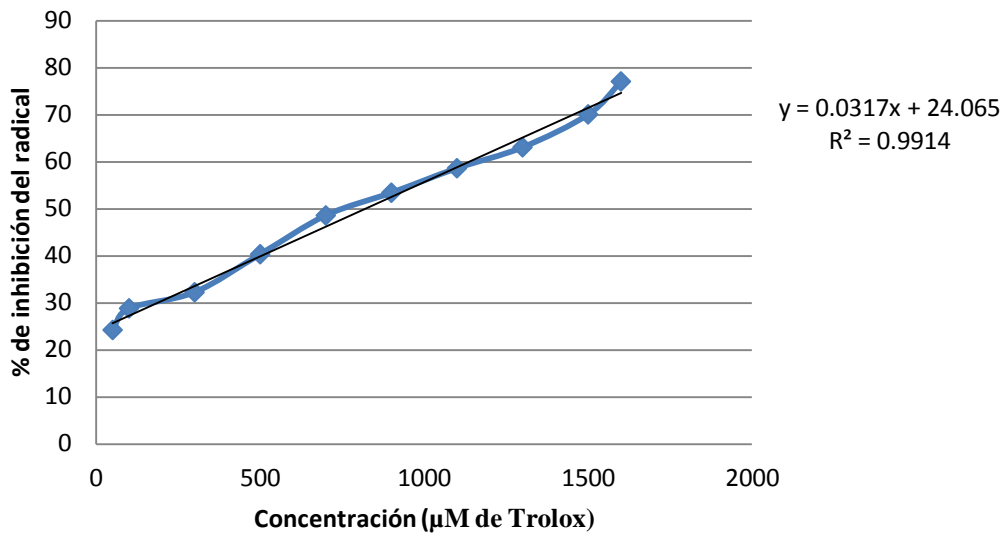


Figura 34. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por inhibición del radical DPPH en carne de cerdo.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

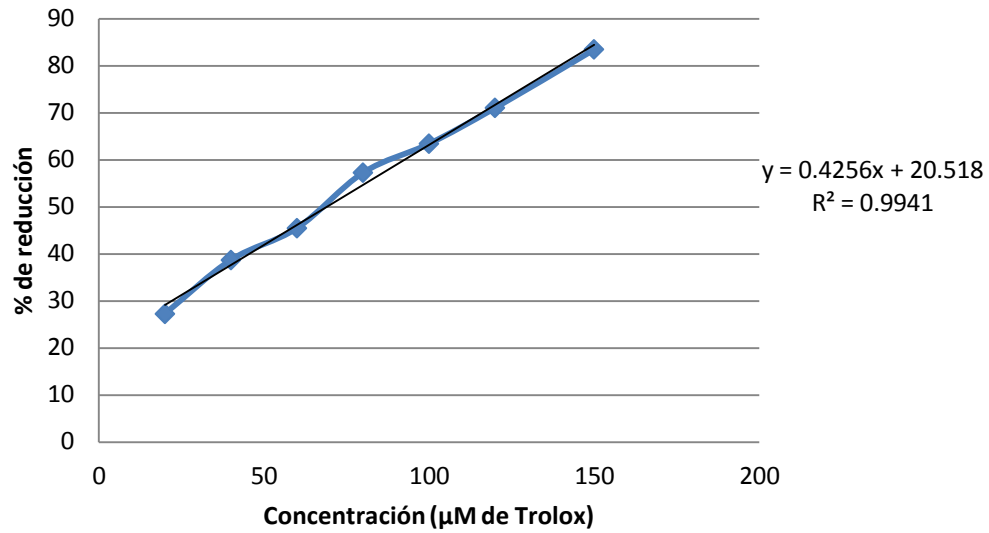


Figura 35. Curva de calibración a partir de Trolox para determinar actividad antioxidante por reducción de FRAP para carne de cerdo.

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

10.2 Análisis estadístico

Tabla 9. ANOVA de la concentración de TBARS en cortes de res durante el tiempo de almacenamiento

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	142.286	23.714	6.283	< 0.0001
Error	205	773.750	3.774		
Total corregido	211	916.035			

Parámetros del modelo (Variable tbars):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	2.181	0.312	6.995	< 0.0001	1.566	2.795
DIA-1	-2.294	0.397	-5.786	< 0.0001	-3.076	-1.512
DIA-12	-1.593	0.443	-3.592	0.000	-2.467	-0.718
DIA-15	-1.425	0.462	-3.082	0.002	-2.337	-0.514
DIA-22	-1.979	0.754	-2.624	0.009	-3.466	-0.492
DIA-5	-1.372	0.397	-3.460	0.001	-2.154	-0.590
DIA-8	0.000	0.000				
TEMPERATURA-10°C	0.311	0.272	1.141	0.255	-0.226	0.848
TEMPERATURA-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO

TBARS= 2.180-2.294*DIA-1-1.59*DIA-12-1.425*DIA-15-1.979*DIA-22-1.372*DIA-5+0.310*TEMPERATURA-10

Tabla 10. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de res respecto a los días de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Res	Temperatura	Cortes de Res
1	4°C	0.041±0.017 ^c	10°C	0.041±0.017 ^c
5	4°C	1.040±0.26 ^b	10°C	0.886±0.22 ^b
8	4°C	1.955±0.18 ^a	10°C	2.715±0.35 ^a
12	4°C	0.378±0.0033 ^{bc}	10°C	0.612±0.25 ^{bc}
15	4°C	0.353±0.191 ^{bc}	10°C	0.682±0.048 ^{bc}
22	4°C	0.067±0.039 ^{bc}	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 12 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 11. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	1.047	A	0.255	No
4°C	0.737	A		

Tabla 12. ANOVA de la concentración de TBARS en cortes de cerdo durante el tiempo de almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	1.325	0.221	3.713	0.002
Error	209	12.430	0.059		
Total corregido	215	13.754			

Parámetros del modelo (Variable tbars):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	0.448	0.040	11.076	< 0.0001	0.369	0.528
DIA-1	-0.122	0.052	-2.348	0.020	-0.225	-0.020
DIA-12	-0.089	0.052	-1.710	0.089	-0.191	0.014
DIA-15	-0.186	0.056	-3.332	0.001	-0.297	-0.076
DIA-22	-0.269	0.107	-2.506	0.013	-0.481	-0.058
DIA-5	-0.001	0.052	-0.013	0.990	-0.103	0.102
DIA-8	0.000	0.000				
temperatura-10°C	0.024	0.034	0.719	0.473	-0.042	0.091
temperatura-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$TBARS = 0.448 - 0.122 * DIA - 1 - 8.89E - 02 * DIA - 12 - 0.186 * DIA - 15 - 0.269 * DIA - 22 - 6.79E - 04 * DIA - 5 + 2.43 - 02 * temperatura - 10$$

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 13. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de cerdo respecto a los días de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Cerdo	Temperatura	Cortes de Cerdo
1	4°C	0.338±0.171 ^b	10°C	0.338±0.171 ^b
5	4°C	0.392±0.269 ^a	10°C	0.527±0.229 ^a
8	4°C	0.379±0.184 ^a	10°C	0.541±0.350 ^a
12	4°C	0.412±0.338 ^{ab}	10°C	0.331±0.25 ^{ab}
15	4°C	0.412±0.191 ^b	10°C	0.178±0.04 ^{ab}
22	4°C	0.179±0.039 ^b	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 11 muestras realizadas por duplicado. ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición. a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 14. Comparación de medias de la concentración de TBARS en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	0.362	A	0.473	No
4°C	0.337	A		

Tabla 15. ANOVA del pH en cortes de cerdo durante almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	5.321	0.887	5.213	< 0.0001
Error	209	35.557	0.170		
Total corregido	215	40.878			

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Parámetros del modelo (Variable pH):						
Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	5.587	0.068	81.595	< 0.0001	5.452	5.722
DIA-1	-0.003	0.088	-0.035	0.972	-0.176	0.170
DIA-12	0.070	0.088	0.799	0.425	-0.103	0.244
DIA-15	0.274	0.095	2.895	0.004	0.087	0.460
DIA-22	0.469	0.182	2.580	0.011	0.111	0.827
DIA-5	0.035	0.088	0.397	0.692	-0.138	0.208
DIA-8	0.000	0.000				
temperatura-10°C	0.258	0.057	4.500	< 0.0001	0.145	0.371
temperatura-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$\text{pH} = 5.58 - 3.068\text{E-}03 * \text{DIA-1} + 7.027\text{E-}02 * \text{DIA-12} + 0.273 * \text{DIA-15} + 0.469 * \text{DIA-22} + 3.488\text{E-}02 * \text{DIA-5} + 0.2580 * \text{temperatura-10}$$

Tabla 16. Comparación de medias de pH en cortes de cerdo respecto a los días de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Cerdo	Temperatura	Cortes de Cerdo
1	4°C	5.713±0.47 ^b	10°C	5.713±0.47 ^c
5	4°C	5.668±0.32 ^b	10°C	5.834±0.38 ^{bc}
8	4°C	5.675±0.28 ^b	10°C	5.756±0.35 ^{bc}
12	4°C	5.567±0.29 ^b	10°C	6.005±0.57 ^b
15	4°C	5.687±0.42 ^b	10°C	6.437±0.74 ^a
22	4°C	6.056±0.43 ^a	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 11 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 17. Comparación de medias de pH en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	5.986	A	< 0.0001	Si
4°C	5.728	B		

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 18. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de res durante el tiempo de almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	2896.640	482.773	22.853	< 0.0001
Error	205	4330.632	21.125		
Total corregido	211	7227.272			

Parámetros del modelo (Variable DPPH):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	6.510	0.738	8.827	< 0.0001	5.056	7.964
DIA-1	2.737	0.938	2.917	0.004	0.887	4.587
DIA-12	9.298	1.049	8.864	< 0.0001	7.230	11.366
DIA-15	7.728	1.094	7.064	< 0.0001	5.571	9.885
DIA-22	-0.876	1.785	-0.491	0.624	-4.395	2.642
DIA-5	6.973	0.938	7.432	< 0.0001	5.123	8.823
DIA-8	0.000	0.000				
TEMPERATURA-10°C	1.785	0.644	2.770	0.006	0.514	3.056
TEMPERATURA-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO

$$\text{DPPH} = 6.510 + 2.736 * \text{DIA-1} + 9.297 * \text{DIA-12} + 7.727 * \text{DIA-15} - 0.876 * \text{DIA-22} + 6.972 * \text{DIA-5} + 1.784 * \text{TEMPERATURA-10}$$

Tabla 19. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de res respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$)

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Res	Temperatura	Cortes de Res
1	4°C	10.07±3.34 ^c	10°C	10.07±3.34 ^b
5	4°C	12.41±5.17 ^{bc}	10°C	16.332±6.95 ^a
8	4°C	7.12±4.20 ^d	10°C	7.682±3.38 ^b
12	4°C	16.09±1.64 ^a	10°C	17.309±2.17 ^a
15	4°C	13.19±4.89 ^{ab}	10°C	17.41±4.79 ^a
22	4°C	5.63±0.099 ^d	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 12 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 20. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$)

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	12.605	A	0.006	Si
4°C	10.820	B		

Tabla 21. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de cerdo durante el almacenamiento

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	de F	Pr > F
Modelo	6	1096.975	182.829	6.695	< 0.0001
Error	209	5707.302	27.308		
Total corregido	215	6804.277			

Parámetros del modelo (Variable DPPH):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	15.589	0.867	17.971	< 0.0001	13.879	17.300
DIA-1	5.599	1.114	5.026	< 0.0001	3.403	7.796
DIA-12	4.168	1.114	3.741	0.000	1.972	6.364
DIA-15	2.694	1.198	2.249	0.026	0.332	5.055
DIA-22	3.205	2.303	1.392	0.166	-1.335	7.745
DIA-5	0.282	1.114	0.253	0.800	-1.914	2.478
DIA-8	0.000	0.000				
temperatura -10°C	-0.982	0.726	-1.353	0.178	-2.414	0.449
temperatura -4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$\text{DPPH} = 15.589 + 5.59 * \text{DIA-1} + 4.168 * \text{DIA-12} + 2.693 * \text{DIA-15} + 3.20 * \text{DIA-22} + 0.281 * \text{DIA-5} - 0.982 * \text{temperatura-10}$$

$$\text{DIA-5} - 0.982 * \text{temperatura-10}$$

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 22. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Cerdo	Temperatura	Cortes de Cerdo
1	4°C	20.69±5.26 ^a	10°C	20.69±5.26 ^a
5	4°C	16.10±4.08 ^c	10°C	14.65±4.24 ^c
8	4°C	14.95±4.33 ^c	10°C	15.23±3.11 ^c
12	4°C	21.06±5.84 ^{ab}	10°C	17.46±8.62 ^{ab}
15	4°C	17.86±5.83 ^b	10°C	18.06±2.80 ^b
22	4°C	18.79±1.85 ^{ab}	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 11 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 23. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de DPPH en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
4°C	18.247	A	0.178	No
10°C	17.265	A		

Tabla 24. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de res durante el almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	529.799	88.300	2.398	0.029
Error	205	7547.296	36.816		
Total corregido	211	8077.095			

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Parámetros del modelo (Variable FRAP):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	6.536	0.974	6.713	< 0.0001	4.616	8.455
DIA-1	2.950	1.239	2.382	0.018	0.509	5.392
DIA-12	-0.487	1.385	-0.352	0.725	-3.217	2.243
DIA-15	-1.756	1.444	-1.216	0.226	-4.603	1.092
DIA-22	1.183	2.356	0.502	0.616	-3.462	5.828
DIA-5	-0.107	1.239	-0.086	0.931	-2.549	2.335
DIA-8	0.000	0.000				
TEMPERATURA 10°C	-0.862	0.851	-1.013	0.312	-2.540	0.815
TEMPERATURA 4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$\text{FRAP} = 6.535 + 2.950 * \text{DIA-1} - 0.487 * \text{DIA-12} - 1.755 * \text{DIA-15} + 1.183 * \text{DIA-22} - 0.106 * \text{DIA-5} - 0.862 * \text{TEMPERATURA-10}$$

Tabla 25. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de res respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Res	Temperatura	Cortes de Res
1	4°C	7.34±0.78 ^a	10°C	7.34±0.78 ^a
5	4°C	5.848±2.89 ^b	10°C	6.147±2.91 ^b
8	4°C	6.029±2.90 ^b	10°C	6.180±2.40 ^b
12	4°C	5.633±2.10 ^b	10°C	5.602±2.37 ^b
15	4°C	4.9704±2.46 ^b	10°C	3.757±2.08 ^b
22	4°C	7.718±0.34 ^{ab}	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 12 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 26. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
4°C	6.833	A	0.312	No
10°C	5.971	A		

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 27. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de cerdo durante el almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	45.863	7.644	9.711	< 0.0001
Error	209	164.518	0.787		
Total corregido	215	210.380			

Parámetros del modelo (variable FRAP):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	1.759	0.147	11.945	< 0.0001	1.469	2.050
DIA-1	0.509	0.189	2.691	0.008	0.136	0.882
DIA-12	0.689	0.189	3.643	0.000	0.316	1.062
DIA-15	0.285	0.203	1.401	0.163	-0.116	0.686
DIA-22	-0.519	0.391	-1.327	0.186	-1.290	0.252
DIA-5	-0.572	0.189	-3.022	0.003	-0.945	-0.199
DIA-8	0.000	0.000				
temperatura-10°C	0.042	0.123	0.340	0.734	-0.201	0.285
temperatura-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$\text{FRAP} = 1.759 + 0.509 \cdot \text{DIA-1} + 0.689 \cdot \text{DIA-12} + 0.2849 \cdot \text{DIA-15} - 0.518 \cdot \text{DIA-22} - 0.571 \cdot \text{DIA-5} + 4.196\text{E-}02 \cdot \text{temperatura-10}$$

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 28. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Cerdo	Temperatura	Cortes de Cerdo
1	4°C	2.287±1.02 ^a	10°C	2.287±1.02 ^a
5	4°C	1.246±1.048 ^c	10°C	1.226±0.82 ^c
8	4°C	1.889±0.87 ^b	10°C	1.899±0.086 ^b
12	4°C	2.628±0.85 ^a	10°C	2.487±1.17 ^a
15	4°C	1.871±0.588 ^{ab}	10°C	2.515±0.55 ^{ab}
22	4°C	1.222±0.016 ^{ab}	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 11 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 29. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de FRAP en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	1.867	A	0.734	No
4°C	1.825	A		

Tabla 30. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de res durante el almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	17030.602	2838.434	26.447	< 0.0001
Error	205	22001.295	107.323		
Total corregido	211	39031.896			

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Parámetros del modelo (variable ABTS):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	51.936	1.662	31.242	< 0.0001	48.658	55.213
DIA-1	-15.500	2.115	-7.330	< 0.0001	-19.669	-11.330
DIA-12	-14.345	2.364	-6.067	< 0.0001	-19.006	-9.683
DIA-15	-8.169	2.466	-3.313	0.001	-13.031	-3.308
DIA-22	-42.136	4.022	-10.476	< 0.0001	-50.067	-34.206
DIA-5	-7.072	2.115	-3.344	0.001	-11.241	-2.903
DIA-8	0.000	0.000				
TEMPERATURA-10°C	3.311	1.453	2.279	0.024	0.446	6.175
TEMPERATURA-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$ABTS=51.93-15.49*DIA-1-14.34*DIA-12-8.169*DIA-15-42.13*DIA-22-7.0718*DIA-5+3.310*TEMPERATURA-10$$

Tabla 31. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de res respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Res	Temperatura	Cortes de Res
1	4°C	38.151±10.09 ^c	10°C	38.151±10.09 ^c
5	4°C	43.657±11.89 ^b	10°C	49.380±9.8 ^b
8	4°C	50.070±12.23 ^a	10°C	57.111±10.47 ^a
12	4°C	28.502±10.88 ^c	10°C	42.656±6.91 ^{bc}
15	4°C	47.735±5.2 ^{ab}	10°C	41.784±11.14 ^{bc}
22	4°C	9.799±1.71 ^d	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 12 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 32. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de res respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	40.709	A	0.024	Si
4°C	37.399	B		

Tabla 33. ANOVA de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de cerdo durante el almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	3911.890	651.982	9.328	< 0.0001
Error	209	14608.665	69.898		
Total corregido	215	18520.556			

Parámetros del modelo (variable ABTS):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	49.356	1.388	35.563	< 0.0001	46.620	52.092
DIA-1	-9.989	1.782	-5.604	< 0.0001	-13.502	-6.475
DIA-12	-4.073	1.782	-2.285	0.023	-7.587	-0.559
DIA-15	0.941	1.917	0.491	0.624	-2.838	4.719
DIA-22	-2.578	3.685	-0.700	0.485	-9.841	4.686
DIA-5	-8.313	1.782	-4.664	< 0.0001	-11.827	-4.799
DIA-8	0.000	0.000				
temperatura-10°C	1.464	1.162	1.260	0.209	-0.827	3.755
temperatura-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$ABTS = 49.356 - 9.988 * DIA-1 - 4.072 * DIA-12 + 0.940 * DIA-15 - 2.577 * DIA-22 - 8.313 * DIA-5 + 1.464 * temperatura-10$$

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 34. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Cerdo	Temperatura	Cortes de Cerdo
1	4°C	40.69±9.69 ^b	10°C	40.69±9.69 ^b
5	4°C	38.32±10.73 ^b	10°C	45.223±7.01 ^b
8	4°C	49.81±7.56 ^a	10°C	50.36±6.74 ^a
12	4°C	45.954±10.15 ^b	10°C	46.077±6.29 ^b
15	4°C	50.558±4.81 ^a	10°C	51.28±3.79 ^a
22	4°C	46.77±2.42 ^{ab}	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 11 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 35. Comparación de medias de la actividad antioxidante por medio del método de ABTS en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	46.819	A	0.209	No
4°C	45.355	A		

Tabla 36. ANOVA de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo durante el almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	163937.196	27322.866	41.356	< 0.0001
Error	209	138080.094	660.670		
Total corregido	215	302017.290			

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Parámetros del modelo (variable catalasa):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	110.036	4.267	25.789	< 0.0001	101.624	118.448
DIA-1	-51.929	5.480	-9.476	< 0.0001	-62.732	-41.125
DIA-12	4.582	5.480	0.836	0.404	-6.221	15.386
DIA-15	27.283	5.893	4.630	< 0.0001	15.667	38.900
DIA-22	16.724	11.328	1.476	0.141	-5.608	39.055
DIA-5	-15.275	5.480	-2.787	0.006	-26.078	-4.471
DIA-8	0.000	0.000				
temperatura-10°C	24.949	3.573	6.983	< 0.0001	17.906	31.991
temperatura-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$\text{CAT} = 110.036 - 51.928 * \text{DIA-1} + 4.58 * \text{DIA-12} + 27.283 * \text{DIA-15} + 16.723 * \text{DIA-22} - 15.274 * \text{DIA-5} + 24.948 * \text{temperatura-10}$$

Tabla 37. Comparación de medias de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Cerdo	Temperatura	Cortes de Cerdo
1	4°C	70.58±6.026 ^d	10°C	70.58±6.026 ^d
5	4°C	104.37±31.81 ^{bc}	10°C	110.09±19.87 ^c
8	4°C	106.42±31.23 ^{bc}	10°C	138.59±25.73 ^b
12	4°C	97.00±26.98 ^c	10°C	157.18±24.71 ^a
15	4°C	136.45±15.43 ^a	10°C	163.84±34.52 ^a
22	4°C	126.75±15.75 ^{ab}	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 11 muestras realizadas por duplicado.

ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición.

a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 38. Comparación de medias de la actividad enzimática de la catalasa en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	131.882	A	< 0.0001	Si
4°C	106.934	B		

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 39. ANOVA de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo durante el almacenamiento.

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	6	0.011	0.002	70.431	< 0.0001
Error	209	0.005	0.000		
Total corregido	215	0.016			

Parámetros del modelo (variable GPX):

Factor	Valor	Desviación típica	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Intersección	0.024	0.001	28.968	< 0.0001	0.022	0.026
DIA-1	-0.019	0.001	-18.150	< 0.0001	-0.022	-0.017
DIA-12	-0.007	0.001	-6.894	< 0.0001	-0.009	-0.005
DIA-15	-0.006	0.001	-5.437	< 0.0001	-0.009	-0.004
DIA-22	-0.012	0.002	-5.229	< 0.0001	-0.016	-0.007
DIA-5	-0.001	0.001	-1.242	0.216	-0.003	0.001
DIA-8	0.000	0.000				
temperatura-10°C	0.001	0.001	2.028	0.044	0.000	0.003
temperatura-4°C	0.000	0.000				

ECUACION DEL MODELO:

$$GPX = 2.411E-02 - 1.940E-02 * DIA-1 - 7.368E-03 * DIA-12 - 6.249E-03 * DIA-15 - 1.1554E-02 * DIA-22 - 1.327E-03 * DIA-5 + 1.413E-03 * temperatura-10$$

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 40. Comparación de medias de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo respecto al tiempo de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Tiempo (días)	Temperatura	Cortes de Cerdo	Temperatura	Cortes de Cerdo
1	4°C	0.0054±0.00094 ^c	10°C	0.0054±0.00094 ^d
5	4°C	0.0202±0.0055 ^b	10°C	0.0267±0.0060 ^a
8	4°C	0.0263±0.005 ^a	10°C	0.0232±0.0063 ^b
12	4°C	0.0163±0.0042 ^{cd}	10°C	0.0185±0.0045 ^c
15	4°C	0.0178±0.0055 ^{bc}	10°C	0.0192±0.0051 ^c
22	4°C	0.0125±0.022 ^d	10°C	ND

Se muestran los resultados promedio y la desviación estándar obtenidos de 11 muestras realizadas por duplicado. ND= no determinado, la carne presentó signos severos de descomposición. a,b,c.....superíndices iguales no son significativamente diferentes

Tabla 41. Comparación de medias de la actividad enzimática de la GPX en cortes de cerdo respecto a la temperatura de almacenamiento (Prueba Duncan, $P \leq 0.05$).

Categoría	Media estimada	Grupos	Pr > Dif	Significativo
10°C	0.018	A	0.044	Si
4°C	0.016	B		

Tabla 42. Prueba de correlación para los métodos realizados en carne de res.

TBARS	DPPH	FRAP	ABTS
1.000			
0.019	1.000		
-0.037	-0.212	1.000	
-0.022	-0.120	0.081	1.000

Determinación de la capacidad antioxidante en carne de abasto.

Tabla 43. Prueba de correlación para los métodos realizados en carne de cerdo.

DPPH	FRAP	ABTS	TBARS	CAT	GPx	ph
1.000						
0.522	1.000					
0.360	0.283	1.000				
0.018	-0.280	-0.065	1.000			
-0.250	-0.111	0.146	-0.016	1.000		
-0.426	-0.262	0.142	0.084	0.412	1.000	
-0.040	0.063	0.087	-0.131	0.155	0.008	1.000