

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

FINALIZACIÓN DE TORETES Y VAQUILLAS CON UN β -AGONISTA EN LA DIETA

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

PRESENTA:

OCAÑA CRUZ EDGARDO



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
COMISION DE EXAMENES PROFESIONALES

Enero de 2003, Chapingo, Estado de México.

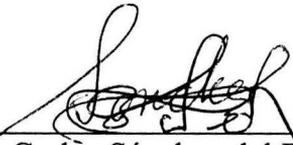
BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

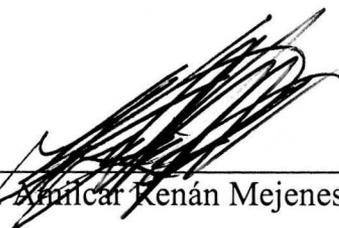
Bib. 98406

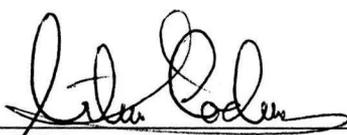
**FINALIZACIÓN DE TORETES Y VAQUILLAS CON UN β -AGONISTA EN LA
DIETA**

Tesis realizada por Ocaña Cruz Edgardo bajo la dirección del Comité Asesor indicado,
aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR 
M.C. Carlos Sánchez del Real

ASESOR 
Dr. Amílcar Kenán Mejenes Quijano

ASESOR 
Dr. José Artemio Cadena Meneses

A. 40403

DEDICATORIA

A Dios, por ser el guía para lograr mis metas y por estar en los momentos más difíciles de mi vida.

A la mujer que admiro y respeto, aquella que me dio el ser, que desde la infancia se preocupó por mí y que siempre llevaré en mi mente: Mi madre Mitelia.

A mi padre Isidro por el apoyo y comprensión que me ha brindado.

A usted, donde quiera que se encuentre, que con el mayor esfuerzo posible me brindó su apoyo cuando más lo necesitaba, por ello estaré siempre muy agradecido: Mi abuelo, Humberto

Por confiar y creer en mí: Mi hermana, Dilery.

A ti Blanca Estela por el apoyo, comprensión y sobre todo el amor que me has brindado, por darme la dicha de tener mis hijos.

A esos pequeños seres que llenan de amor, ilusiones y metas mi vida: Mis hijos.

A la memoria de un gran hombre Sr. Urpiano Sánchez.

A todos mis familiares y amigos que me han motivado en algún momento para lograr mis metas: Gracias.

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.
- A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Zootecnia por darme la oportunidad de realizar los estudios de Maestría.
- Al M.C. Carlos Sánchez del Real por su amistad, confianza, apoyo y entusiasmo para la realización de este trabajo.
- Al Dr. Amilcar Renán Mejenes Quijano por su disponibilidad y colaboración en la realización de este trabajo.
- Al Dr. José Artemio Cadena Meneses por su disponibilidad y orientación en la realización de este trabajo.
- A todos los profesores del Posgrado en Producción Animal por compartir parte de sus conocimientos y experiencias.
- Al M.C. Oscar Almeraya Almeraya y al Ing. Fernando Pacheco López por su participación en la realización del trabajo de investigación.
- Al M.C. Oscar del Razo Rodríguez y M.C. José Luis Vázquez Valladolid por su colaboración y amistad.

DATOS BIOGRÁFICOS

1. DATOS PERSONALES

Nombre	Edgardo Ocaña Cruz
Fecha de Nacimiento	09 de Septiembre de 1974
Profesión	Ingeniero Agrónomo Zootecnista
Cédula Profesional	3337802

2. DESARROLLO ACADÉMICO

1989–1992. Escuela Preparatoria del Estado “Juan Sabines Gutierrez”, Tultepec, Jiquipilas, Chiapas.

1992–1997. Licenciatura en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México.

2000–2002. Maestría en Producción Animal en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

FINALIZACIÓN DE TORETES Y VAQUILLAS CON UN β -AGONISTA EN LA DIETA[§]

Ocaña Cruz Edgardo¹, Carlos Sánchez del Real¹, Amilcar Renán Mejenes Quijano², José Artemio Cadena Meneses¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inclusión del clenbuterol en dietas para bovinos en finalización, sobre características de crecimiento y de la canal. Dos niveles de clenbuterol (0 y 1 ppm) y dos sexos de animales (toretos y vaquillas) fueron comparados, mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2, usando el peso vivo inicial de los animales como covariable. Diferencias de las interacciones entre los factores y niveles fueron comparadas usando contrastes ortogonales. Los animales utilizados fueron 14 toretes y 12 vaquillas Pardo Suizo x Cebú, con pesos iniciales promedio de 380 \pm 38 y 309 \pm 27 kg, respectivamente. La ganancia de peso y conversión alimenticia fueron similares ($P > 0.05$) para vaquillas y toretes alimentados con y sin clenbuterol. Sin embargo, diferencias en consumo de alimento sólo fueron importantes ($P < 0.05$) en toretes que usaron dietas con clenbuterol, donde las estimaciones en estos animales fueron 24% menores que las de los alimentados sin clenbuterol. El rendimiento en canal, la proporción de músculo y el área del ojo de la chuleta de animales alimentados con clenbuterol fueron mayores ($P < 0.05$) en toretes (3.6, 11.2 y 6.1 unidades porcentuales, respectivamente) y vaquillas (2.5, 9.7 y 8.0 unidades porcentuales, respectivamente) alimentados sin clenbuterol. Por el contrario, el grosor de grasa dorsal y la proporción de grasa en la canal fueron menores ($P < 0.05$) en toretes (13.0 y 35.7%, respectivamente) y vaquillas (17.5 y 36.2%, respectivamente) alimentados con clenbuterol. Los cortes específicos de la canal fueron afectados ($P < 0.05$) por el uso de clenbuterol, en forma diferente para toretes y vaquillas. En general, los resultados obtenidos sugieren ventajas por el uso de clenbuterol en la engorda de bovinos en finalización, mejorando el crecimiento y las características de la canal en los animales.

Palabras clave: β -agonista, toretes, vaquillas, comportamiento productivo, canal.

[§] Artículo para su posible publicación en la revista AGROCIENCIA

¹ Programa de Maestría en Producción Animal, Dpto. de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carr. México Texcoco. Chapingo, México. CP 56230. 5959548884, 5959521500 ext. 5082. ccarloss561@aol.com.

² Departamento de Agroindustrias, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carr. México Texcoco. Chapingo, México. CP 56230.

FINALIZATION OF BULLS AND HEIFERS ON DIETS CONTAINING β -AGONIST §

Ocaña Cruz Edgardo¹, Carlos Sánchez del Real¹, Amilcar Renán Mejenes Quijano², José Artemio Cadena Meneses¹

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of including clenbuterol in diets for cattle in finalization on growth and carcass traits. Two clenbuterol levels (0 and 1 ppm) and two sexes of animals (steers and heifers) were compared, using a completely randomized design with factorial array of 2x2 and initial weight of the animals as a covariate. Differences in interaction between factors and levels were compared using orthogonal contrasts. The animals used were 14 steers and 12 heifers Brown Swiss x Zebu, with initial average weights of 380±38 and 309±27 kg, respectively. Daily gain and feed conversion were similar ($P>0.05$) for steers and heifers fed with and without clenbuterol. However, differences in feed intake were only important ($P<0.05$) in steers using clenbuterol, where estimates from animals fed with clenbuterol were 24% lower than animals fed without clenbuterol. Carcass yield, muscle proportion and rib eye area were higher ($P<0.05$) for animals fed with clenbuterol than animals fed without clenbuterol in steers (3.6, 11.2 and 6.1 percent units, respectively) and heifers (2.5, 9.7 and 8.0 percent units, respectively). On the other hand, animals fed with clenbuterol had lower ($P<0.05$) backfat thickness and carcass fat proportion in steers (13.0 and 35.7%, respectively) and heifers (17.5 and 36.2%, respectively). The specific carcass cuts were affected ($P<0.05$) by the use of clenbuterol in different ways for steers and heifers. In general, the obtained results suggest advantages to using clenbuterol for feeding cattle in finalization to improve growth and carcass traits of the animals.

Words key: β -agonist, bulls, heifers, productive performance, carcass.

¹ Programa de Maestría en Producción Animal, Dpto. de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carr. México Texcoco. Chapingo, México. CP 56230. 5959548884, 5959521500 ext. 5082. ccarloss561@aol.com.

² Departamento de Agroindustrias, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carr. México Texcoco. Chapingo, México. CP 56230.

TABLA DE CONTENIDO		Página
Resumen		vii
Summary		viii
Tabla de contenido		ix
Índice de cuadros		xiii
Índice de figuras		xvi
Índice de anexos		xvii
1. INTRODUCCIÓN		1
Objetivo		2
Definición del problema		2
2. HIPOTESIS		4
3. REVISIÓN DE LITERATURA		5
3.1. Generalidades de los β -agonistas		5
3.2. Características estructurales de los β -agonistas		6
3.3. Tipos de receptores β -adrenérgicos		7
3.4. Farmacocinética de los β -agonistas		10
3.4.1. Absorción		10
3.4.2. Distribución		11
3.4.3. Excreción		13
3.4.4. Vida media de los adrenérgicos β -agonistas		13
3.5. Efectos de los β -agonistas		14
3.6. Modo de acción de los β -agonistas		16
3.7. Los β -agonistas y la función inmune		18
3.8. Resultados experimentales		19
3.8.1. Bovinos		20

3.8.2. Ovinos	22
3.8.3. Cerdos	22
3.8.4. Conejos	23
3.9. Uso ilegal de los β -agonistas	23
3.10. Sintomatología de intoxicación por residuos de β -agonistas en humanos	25
4. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1. Localización y Clima	26
4.2. Periodo experimental	26
4.3. Tratamientos	26
4.4. Instalación y Equipo	27
4.5. Diseño experimental	27
4.6. Animales y manejo	28
4.7. Dieta experimental	28
4.8. Manejo de la alimentación	29
4.9. Técnica de sacrificio y disección de los animales	29
4.9.1. Mediciones durante el sacrificio	29
4.9.2. Mediciones después del sacrificio	31
4.10. Variables de respuesta	31
4.10.1. Variables de comportamiento productivo	31
4.10.2. Variables de la canal	32
4.10.3. Mediciones de la canal	33
4.10.4. Proporción de los componentes principales de la canal	33
4.10.5. Componentes primarios de la canal	34
4.10.6. Componentes del cuarto trasero	34
4.10.7. Variables económicas	34
4.11. Modelo estadístico	36

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1. Comportamiento productivo	37
5.1.1. Consumo de materia seca	37
5.1.2. Ganancia de peso y Peso vivo final	38
5.1.3. Conversión Alimenticia	39
5.2. Variable de la canal	41
5.2.1. Peso y rendimiento de la canal	41
5.2.2. Grosor de la grasa dorsal	42
5.2.3. Área del ojo de chuleta	43
5.3. Mediciones de la canal	45
5.3.1. Largo de la canal	45
5.3.2. Largo de pernil	45
5.3.3. Grosor de la canal	45
5.3.4. Ancho de la canal	45
5.3.5. Ancho de pierna	46
5.4. Proporción de los componentes principales de la canal	47
5.5. Componentes primarios en el corte de una media canal	52
5.5.1. Falda	52
5.5.2. Bandera	52
5.5.3. Cuarto delantero	52
5.5.4. Cuarto trasero	53
5.6. Componentes del cuarto trasero	55
5.7. Análisis económico	59
6. CONCLUSIONES	62

7. IMPLICACIONES	63
8. LITERATURA CONSULTADA	64
9. ANEXOS	69

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Clasificación de los β -agonistas en base a los grupos sustituibles en el anillo aromático (Smith, 1998).	6
Cuadro 2. Propiedades de los receptores β -adrenérgicos.	9
Cuadro 3. Influencia del estado de diferenciación sobre la proporción de receptores β -adrenérgicos.	10
Cuadro 4. Farmacocinética de algunos adrenérgicos β -agonistas.	11
Cuadro 5. Residuos radiactivos totales en tejidos en becerros tratados oralmente con clenbuterol (Smith y Paulson, 1997).	12
Cuadro 6. Concentración de clenbuterol base y proporción de residuos en algunos órganos (Smith y Paulson, 1997).	12
Cuadro 7. Vida media de diferentes adrenérgicos β -agonistas.	14
Cuadro 8. Efectos de la administración oral de β -agonistas a mamíferos y aves.	15
Cuadro 9. Respuesta general a la administración dietética de adrenérgicos β -agonistas a animales de granja.	19
Cuadro 10. Efecto de la dosis de clenbuterol y raza sobre variables productivas en conejos.	23

Cuadro 11. Tratamientos experimentales en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.	27
Cuadro 12. Dieta experimental y composición nutritiva estimada*.	30
Cuadro 13. Comportamiento productivo de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.	40
Cuadro 14. Algunas características de la canal de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.	44
Cuadro 15. Mediciones a la canal y algunos componentes de ésta en ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.	46
Cuadro 16. Proporción de músculo, hueso y grasa de la canal de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.	51
Cuadro 17. Componentes principales del corte de una media canal de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.	54
Cuadro 18. Componentes principales de un cuarto trasero y otros órganos de la canal de toretes Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.	56
Cuadro 19. Componentes principales de un cuarto trasero y otros órganos de la canal de vaquillas Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.	57

Cuadro 20. Componentes principales de un cuarto trasero y otros órganos de la canal de ganado (promedio de toretes y vaquillas) Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.	58
Cuadro 21. Análisis económico en la finalización de ganado Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Estructura general de los agonistas β -adrenérgicos, del clenbuterol y epinefrina (Adaptado de NRC, 1994 y Smith, 1998).	7
Figura 2. Estructura proyectada de un receptor β -agonista (tomado de Mersmann, 1998).	8
Figura 3. Modo de acción de los β -agonistas.	17

ÍNDICE DE ANEXOS

Página

Anexo 1. Valor de probabilidad para los contrastes estudiados en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con β -agonista en la dieta.	70
Anexo 2. Valor de probabilidad para los contrastes estudiados de los componentes de un cuarto trasero en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con β -agonista en la dieta.	71
Anexo 3. Valor de probabilidad para los contrastes estudiados para las variables del análisis económico en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con β -agonista en la dieta.	71
Anexo 4. Logotipo de la Norma oficial NOM061-ZOO-1999, que prohíbe el uso de clenbuterol en la alimentación del ganado.	72
Anexo 5. Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-015-Z00-2002, Especificaciones técnicas para el control del uso de beta-agonistas en los animales. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1° de marzo de 2002	73

1. INTRODUCCIÓN

La acumulación de grasa en el cuerpo animal es una de las causas que reduce la eficiencia biológica y económica en la producción animal, además la grasa se relaciona con afectaciones a la salud humana. Tomando en cuenta lo anterior, la tendencia en la engorda de bovinos, ovinos y porcinos es producir carne más magra y con menor grasa, para mejorar la eficiencia económica en la producción animal y disminuir problemas de salud humana.

El uso de aditivos alimenticios y promotores de crecimiento en rumiantes productores de carne, se ha considerado la herramienta de manejo más eficiente que desde el punto de vista económico se ha practicado en los últimos años. En la actualidad, la gran mayoría de animales engordados y en gran medida los que aún están en crecimiento o repasto se manejan como tal. Muchos de los compuestos de este grupo, además de su efecto particular con relación a la nutrición y la digestión, permiten modificaciones fisiológicas o mejoran la salud de los animales, lo que hace a estos aditivos atractivos en la mayoría de los casos, aunque mal utilizados, pueden provocar efectos adversos.

Desde el inicio de los años ochenta se han venido investigando varios análogos de epinefrina y norepinefrina, ya que promueven el crecimiento del músculo esquelético y reducen la cantidad de grasa en la canal de los animales tratados con ellos (NRC, 1994). Tales análogos son los β -agonistas, que corresponden a un grupo de compuestos modificadores de la tasa y/o composición del crecimiento del ganado y otras especies de animales, y que tienen múltiples acciones sobre varios aspectos del metabolismo nutricional, incrementando la cantidad de carne magra y disminuyendo la deposición de grasa, efectos que son más pronunciados en rumiantes que en no rumiantes (Bell *et al.*, 1998). Los β -agonistas más estudiados son el clenbuterol, zilpaterol, cimaterol y el salbutamol. La gran desventaja de estos compuestos, principalmente el clenbuterol, es que tienen gran capacidad para producir intoxicación en la gente que consume alimentos procedentes de los animales alimentados con estas sustancias (Kuiper *et al.*, 1998). Por

tal razón, tanto en Estados Unidos como en Europa se han desarrollado operativos de vigilancia para detectar residuos de estos compuestos en las canales y órganos de animales de consumo humano con resultados satisfactorios.

En México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) publicó en 1999 la Norma “NOM-061-ZOO-1999” y actualizó como emergente en el 2002 la NOM-EM.015.ZOO-2002, de carácter obligatorio, en las cuales explícitamente se prohíbe la distribución, comercialización y uso del clenbuterol como aditivo en la alimentación del ganado. A pesar del lo anterior la utilización del clenbuterol como aditivo en dietas para engorda de bovinos se ha generalizado prácticamente en la mayoría de los corrales de engorda de todo el país, haciendo caso omiso de la norma y de los riesgos legales a los que se exponen por utilizar dicho compuesto, aún, estando conscientes del daño que se provoca a la salud del ganado y daños a la salud de las personas que consumen carne de animales alimentados con clenbuterol en la dieta.

Objetivo

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inclusión del β -agonista clenbuterol en la dieta sobre el comportamiento productivo, rentabilidad económica, rendimiento y características de la canal en toretes y vaquillas en engorda en corral.

Definición del problema

A pesar de las disposiciones legales marcada en la Norma NOM-061-ZOO-1999 ” y actualizada como emergente en el 2002 con clave NOM-EM.015.ZOO-2002 emitidas por el Gobierno Federal a través de la SAGARPA en la que se prohíbe con carácter obligatorio la distribución, comercialización y uso del clenbuterol como aditivo en la alimentación del ganado, se sigue utilizando prácticamente en la mayoría del ganado bovinos que se engorda en el país. Conscientes de los daños, ya comprobados y extensamente difundidos por los medios, que se puede provocar a la salud de las

personas que consuman productos procedentes de ganado engordado con clenbuterol en la dieta, surgen preguntas como las siguientes:

¿ Por qué se sigue utilizando ilegalmente clenbuterol como aditivo en la alimentación de bovinos?.

¿ Por qué no ha dado resultados efectivos la acción de los responsables de vigilar la correcta aplicación de las normas en cuestión?.

¿ Hasta cuándo el consumidor nacional de carnes va a tolerar seguir consumiendo carne de animales engordados con clenbuterol en la dieta, y cambiar, buscando calidad y precio, por otro tipo de carnes, incluyendo carnes de importación?.

¿ En qué medida el uso de clenbuterol afectará la actividad ganadera y la industria de la carne a corto, mediano y largo plazo en México?.

¿ Quiénes realmente se benefician con la utilización de clenbuterol en la engorda de ganado?.

- ◆ ¿ El que distribuye y comercializa al ganadero el clenbuterol?.
- ◆ ¿ El engordador que utiliza el clenbuterol en la engorda de ganado?.
- ◆ ¿ El introductor que compra al engordador el ganado en pie, lo sacrifica y lo comercializa al tablajero o carnicero?.
- ◆ ¿ El carnicero que compra al introductor las piezas de la canal y que a su vez la comercializa al consumidor?.
- ◆ ¿ El consumidor por comprar carne con menos grasa?.
- ◆ ¿ Las autoridades responsables de vigilar la aplicación de la Normas NOM-061_ZOO-1999 ” y la emergente NOM-EM.015.ZOO-2002?.

Con excepción del consumidor final, posiblemente todos los demás elementos que participan en la cadena, resulten beneficiados, solamente así se puede explicar porque

ilegalmente se ha extendido el uso de clenbuterol en la engorda de ganado. El engordador, tal vez por el efecto positivo del compuesto sobre el comportamiento productivo del ganado, el introductor por el mayor rendimiento de la canal y menores mermas por desgrasado y el tablajero por el mayor rendimiento de tejido muscular y menor acumulación de grasa en la canal que se obtiene en el ganado que se alimenta con clenbuterol.

En este marco se planteó la realización del presente estudio y de los objetivos marcados en el mismo, con ello se busca, más que promover el uso de los β -agonistas, el aportar elementos que ayuden a entender por qué continúa y se ha extendido el uso de estos compuestos y tratar de dar respuestas a algunas de las preguntas antes planteadas, y con ello coadyuvar a tomar las medidas más efectivas para erradicar definitivamente el uso de clenbuterol en producción animal.

2. HIPOTESIS

La inclusión del β -agonista clenbuterol en la dieta para la engorda de ganado bovino mejora los parámetros productivos del ganado (ganancia de peso y conversión alimenticia), mejorando con ello la rentabilidad económica del proceso de engorda. También se mejoran el rendimiento de la canal, la proporción de músculo y de algunas piezas de la canal de mayor interés comercial; y se reduce la proporción de grasa de la canal, con ello es de esperar que se incrementen los ingresos netos del productor engordador, del introductor y tablajero. Lo anterior puede ocurrir tanto en toretes como en vaquillas en engorda en corral.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Generalidades de los β -agonistas

Los β -agonistas que de manera natural se encuentran en los mamíferos son las catecolaminas norepinefrina y epinefrina. El primero, es un neurotransmisor del sistema nervioso simpático que circula a concentraciones relativamente altas. La segunda, es sintetizada y secretada en la glándula adrenal por metilación de la norepinefrina y circula a una concentración más baja aunque en situaciones de estrés se eleva considerablemente (Mersmann, 1998). Las catecolaminas son las responsables de la estimulación de glicógeno fosforilasa y de la inhibición de glicógeno sintasa estimulando la generación de glucosa a partir de los almacenes de glucógeno. De la misma forma, también estimulan la lipólisis liberándose ácidos grasos libres a partir de los almacenes de triacilglicerol del tejido adiposo, por lo que controlan las concentraciones plasmáticas de los dos sustratos oxidativos primarios, glucosa y ácidos grasos libres (Smith, 1998).

Existe una amplia gama de compuestos sintéticos que ejercen actividad β -agonista y provocan efectos notables en el crecimiento y metabolismo del músculo esquelético y tejido adiposo. Estos compuestos presentan alguna similitud estructural y funcional con las catecolaminas anteriormente mencionadas (NRC, 1994; Smith, 1998), las cuales, por la presencia de sus receptores (receptores β -adrenérgicos) en la mayoría de los órganos corporales, regulan las respuestas fisiológicas en muchos tejidos regulando a la vez el metabolismo, dentro de las cuales están: regulación de la velocidad y fuerza de contracción del corazón, motilidad y actividad secretora de varias porciones del tracto gastrointestinal, broncodilatación, secreción de las glándulas salivales y de la insulina pancreática, constricción y dilatación de los vasos sanguíneos, contracción uterina y contracción de la cápsula esplénica (Smith, 1998).

El interés médico sobre los β -agonistas ha sido el producir compuestos que estimulen los receptores β de la musculatura broncoatraqueal para causar la relajación y dilatación de

las rutas aéreas (para el tratamiento de asma) o cambiar la función cardiovascular moderando la velocidad y contractilidad del corazón o presión sanguínea (Mersmann, 1998).

Dentro de los β -agonistas más estudiados se encuentran clenbuterol, cimaterol, zipalterol, salbutamol, terbutalina, mabuterol, metaproterenol, isoproterenol, bambuterol, ractopamina, dobutamina, ritrodina, fenoterol, L-644,969 y salmeterol. Éstos, se dividen en categorías (Cuadro 1) dependiendo de los grupos presentes en las partes sustituibles A, B y C (Figura 1) del anillo aromático (Smith, 1998).

Cuadro 1. Clasificación de los β -agonistas en base a los grupos sustituibles en el anillo aromático (Smith, 1998).

Categoría	Ejemplo	Grupo sustituible en el anillo aromático		
		A	B	C
Fenoles	Ractopamina	-H	-OH	-H
Resorcinoles	Fenoterol	-OH	-H	-OH
Catecoles	Isoproterenol	-OH	-OH	-H
Saligenos	Salbutamol	-CH ₂ OH	-OH	-H
Halógenos	Clenbuterol	-Cl	-H ₂ N	-Cl

3.2. Características estructurales de los β -agonistas

Los compuestos con actividad β -agonista están constituidos por: a) un anillo aromático donde pueden descansar diversos grupos (A, B y C), b) un grupo hidróxido unido al carbono β , c) un nitrógeno cargado positivamente en la cadena lateral etilamina, y d) una gran parte sustituible R sobre el nitrógeno alifático (Figura 1 y Cuadro 1). Estos elementos, a excepción de la parte sustituible R, son comunes también para los neurotransmisores adrenérgicos naturales epinefrina y norepinefrina (Smith, 1998). Para ejercer su acción, los β -agonistas se unen a los receptores específicos β_1 o β_2 (Bell *et al.*, 1998) precisamente en el ámbito de grupo β -hidróxilo, nitrógeno alifático y anillo

aromático, por lo que un cambio o sustitución en cualquiera de ellos altera completamente la actividad agonística del compuesto (Smith, 1998).

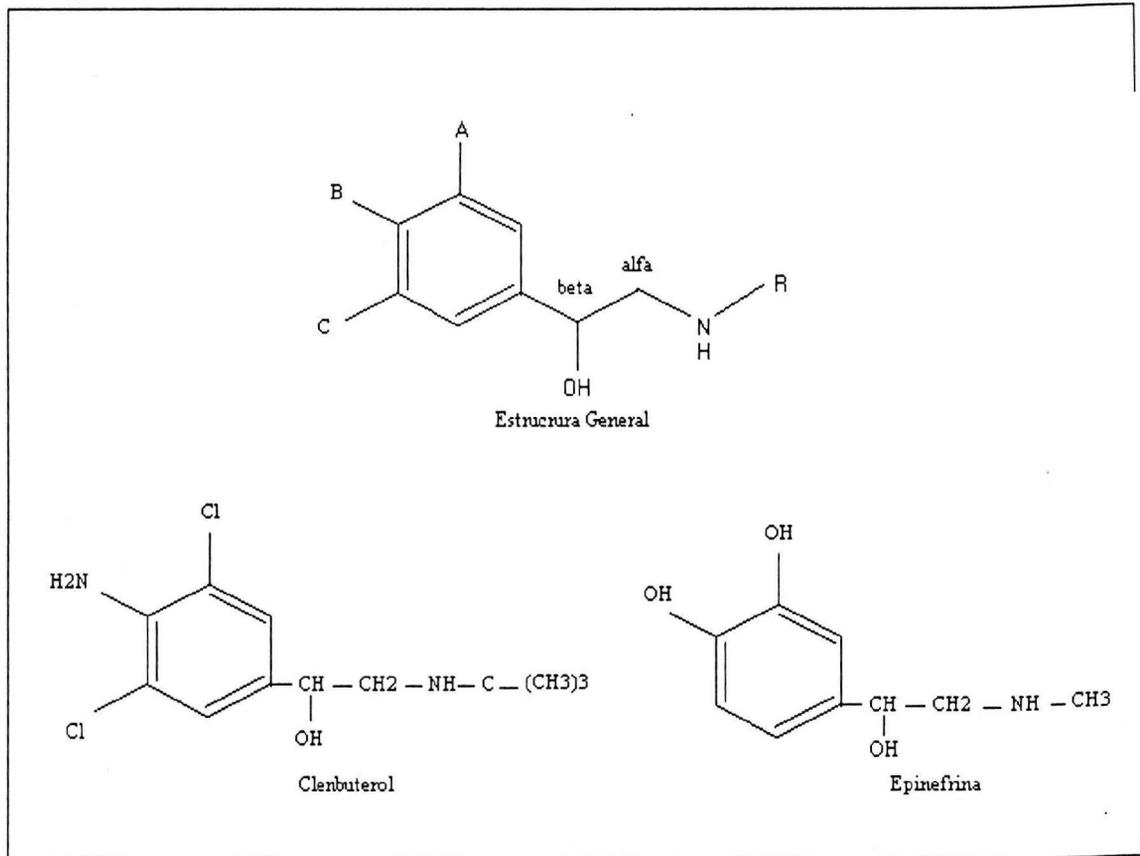
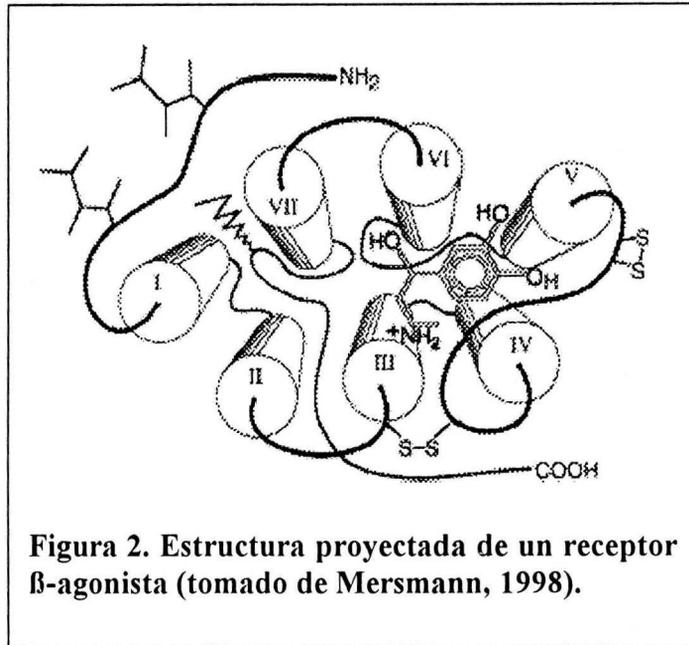


Figura 1. Estructura general de los agonistas β -adrenérgicos, del clenbuterol y epinefrina (Adaptado de NRC, 1994; Smith, 1998).

3.3. Tipos de receptores β -adrenérgicos

Casi todos los tipos de células en los mamíferos tienen en su membrana plasmática receptores β adrenérgicos, los cuales tienen más de 400 aminoácidos en cadena continua. Estos receptores tienen 7 fracciones transmembranales relativamente hidrofóbicas que fijan el receptor a la membrana y están enlazadas entre sí (Figura 2). La unión del ligando (β -agonista) se da en el centro de las 7 fracciones, en lo que juegan un importante papel sus aminoácidos (Mersmann, 1998).



A finales de los años cuarenta se clasificó a los receptores adrenérgicos como α y β , ambos estimulados por norepinefrina y epinefrina, sin embargo epinefrina es más selectivo para los α y norepinefrina para los β (Mersmann, 1998). Estos dos tipos de receptores adrenérgicos controlan varias funciones fisiológicas y metabólicas en los diferentes órganos de los mamíferos (NRC, 1994).

Posteriormente, a los receptores adrenérgicos del tipo β se les clasificó en los subtipos β_1 y β_2 , y a mediados de los años setenta surgió la evidencia de un tercer subtipo, el β_3 (Mersmann, 1998). Esta clasificación surgió por el desarrollo de una gran variedad de análogos de norepinefrina los cuales estimulan preferencialmente, o inhiben, una función particular. Así mismo intenta codificar las respuestas biológicas de tal forma que las complejas y abundantes funciones de las estructuras químicas puedan ser integradas dentro de un patrón racional (NRC, 1994). En el Cuadro 2 se presentan algunas características de los receptores adrenérgicos β .

Cuadro 2. Propiedades de los receptores β -adrenérgicos.

Propiedad	β_1	β_2	β_3
Tejido prototipo	Corazón de rata	Tráquea de hamster	Adipositos de rata
Agonista selectivo	--	Fenoterol	CGP 20,712A
Antagonista selectivo	CGP 20,712A	ICI 118,551	SR 59,230A
Peso molecular glucosilado	65,000	65000	65,000
No. de aminoácidos (en humano)	477	413	408
Sitios de fosforilación	Sí	Sí	Pocos o ninguno

Tomado de (Mersmann, 1998).

Los β -agonistas se unen predominantemente a los receptores β ubicados en las membranas celulares, siendo marcada la especificidad por los receptores β_2 mostrada por muchos de los β agonistas utilizados en la ganadería como clenbuterol y cimaterol, mientras que ractopamina prefiere a los β_1 . En el músculo cardíaco están presentes receptores β_1 y β_2 , sin embargo su contracción es estimulada por los receptores β_1 adrenérgicos. Tanto el músculo esquelético como el tejido adiposo tienen receptores β -adrenérgicos, predominando los receptores β_2 sobre los β_1 en el músculo esquelético, mientras que en tejido adiposo no está claro que subtipo predomina ya que algunos estudios indican que predominan los β_1 , otros indican que son los β_2 y otros señalan a los β_3 como los predominantes (Cuadro 3), lo cual puede ser resultado de las diferentes especies animales, agonistas y antagonistas, y metodologías usadas (NRC, 1994). Los receptores β_3 también se encuentran en algunas regiones del intestino y quizá en músculo esquelético y cardíaco, y es poco fosforilado (inactivado) y en algunos casos diversos antagonistas de β_1 y β_2 son agonistas para β_3 (Mersmann, 1998).

Los tres subtipos de receptores β adrenérgicos tienen aproximadamente 50% de similitud en su secuencia de aminoácidos dentro de cada especie, mientras que cada subtipo tiene 75% o más de similitud entre especies. Además, la población de estos subtipos de β receptores puede cambiar con el estado de diferenciación de una célula o con el ambiente hormonal dado en la célula (Cuadro 3; Mersmann, 1998).

Cuadro 3. Influencia del estado de diferenciación sobre la proporción de receptores β -adrenérgicos.

Estado de diferenciación	β_1	β_2	β_3
	-----	%	-----
Células no diferenciadas	90	algunos	ninguno
Células diferenciadas	algunos	pocos	90
Diferenciación con dexametazona	--	>80	--

3.4. Farmacocinética de los β -agonistas

3.4.1. Absorción

En humanos, el nivel pico de los β -agonistas en plasma se da dentro de las primeras tres horas después de la administración oral. En los animales de granja se da un patrón similar (Cuadro 4). Aparentemente el clenbuterol muestra acumulación a través del tiempo ya que se han observado dos picos en el nivel plasmático, uno a las pocas horas de suministrado y otro varios días después (Smith, 1998).

La mayoría de los β -agonistas muestran una rápida y extensiva absorción tanto en ganado como en humanos y animales de laboratorio, como en el caso del clenbuterol que alcanza una absorción hasta del 76 % en bovinos (Smith, 1998).

Los sitios de absorción de los β -agonistas no son bien conocidos ni demostrados, sin embargo se ha planteado que el mabuterol se absorbe en intestino delgado en ratas y terbutalina en duodeno en humanos. Aparentemente el pH del tracto gastrointestinal determina el sitio de absorción, ya que el bajo pH del estomago (no rumiantes) o abomaso (rumiantes) limita su absorción en estos sitios por la formación de cationes con el nitrógeno fenetanolamino, mientras que por la mayor neutralidad de las porciones

intestinales se reduce esta ionización incrementándose la absorción pasiva de estos compuestos (Smith, 1998).

Cuadro 4. Farmacocinética de algunos adrenérgicos β -agonistas.

β -Agonista	Especie	Dosis ($\mu\text{gkg PC}^{-1}$)	Pico Máximo (h)	Nivel en Plasma (ngmL^{-1})
Clenbuterol	Beceros	5 ^a	2-7	0.5
Clenbuterol	Beceros	-- ^b	4	1.1
Clenbuterol	Vacas en lactación*	5	5-7 días	5-5.5
Clenbuterol	Vacas en lactación*	5	1-3 días	2.0
Clenbuterol	Beceros	10	10 días	--
Salbutamol	--	78 ^c	3-4	4.8
Salbutamol	--	-- ^d	3-4	4.0
Salbutamol	Vacas en lactación*	50	--	6.0
Terbutalina	Vacas en lactación*	50	--	<0.5-4.0
Terbutalina	Pollos	10ppm	--	42.8

*Dos veces al día; ^a Día cero ; ^b 21 días después; ^c Día cero; ^d 10 días después.

3.4.2. Distribución

En el Cuadro 5 se muestran las concentraciones de residuos radiactivos en diferentes tejidos de becerros tratados oralmente con clenbuterol marcado radiactivamente. Estos residuos son clenbuterol y sus metabolitos. De la misma forma, en el Cuadro 6 se presenta la concentración de clenbuterol en hígado, riñones, corazón y pulmones.

La acumulación de los β -agonistas está muy relacionada a los tejidos que contienen melanina como el pelo negro y los ojos pigmentados. Por tal razón se sugiere de estos

componentes corporales para el análisis de residuos de clenbuterol y otros β -agonistas, aunque en el caso del pelo debe considerarse la diferencia en pigmentación en los diferentes animales (Dürsch *et al.*, 1995).

Cuadro 5. Residuos radiactivos totales en tejidos de becerros tratados oralmente con clenbuterol (Smith y Paulson, 1997).

Tejido	Promedio (ppm)	Tejido	Promedio
Sangre	0.60	Intestino grueso, ppm	4.00
Corazón	1.40	Músculo esquelético, ppm	1.00
Pulmones	8.40	Bilis, ppm	12.50
Vaso	2.60	Piel blanca, ppm	0.70
Hígado	5.00	Piel oscura, ppm	4.00
Riñones	5.90	Remanentes de la canal, ppm	1.00
Cerebro	1.90	Canal completa, %	52.30
Tejido Adiposo	1.10	Orina, %	41.50
Estomago	2.30	Heces, %	2.40
Intestino delgado	3.20	Total recuperado, %	96.20

Cuadro 6. Concentración de clenbuterol base y proporción de residuos en algunos órganos (Smith y Paulson, 1997).

Órgano	Clenbuterol base (ppm)	Proporción de los residuos (%)
Pulmones	6.8	80.95
Hígado	2.2	44.00
Riñones	3.7	62.71
Corazón	0.9	64.28

para fenoterol hasta 24 horas para clenbuterol. También la especie y el modo de administración de un β -agonista contribuyen a la variación de la vida media de estos compuestos en el organismo (NRC, 1994). De manera general, los β -agonistas halogenados (clenbuterol y mabuterol) tienen mayor vida media por arriba de las 20 horas, mientras que otros β -agonistas con grupos hidróxido en su anillos aromáticos (fenoterol, salbutamol y ritodrina) varían de 1 a 5 horas (Cuadro 7; Smith, 1998).

Cuadro 7. Vida media de diferentes adrenérgicos β -agonistas.

β -agonista	Vida media (h)
Cimaterol	0.91
Clenbuterol	9.0 a 57
Fenoterol	0.6 a 4.9
Mabuterol	20 a 30
Ritrodina	1.3 a 2
Salbutamol	0.68 a 3.9
Terbutalina	11 a 18

Tomado de Smith, 1998.

3.5. Efectos de los β -agonistas

Los β -agonistas son modificadores metabólicos oralmente activos. Sus efectos son mediados directamente por la unión del compuesto a los receptores adrenérgicos β_2 o β_1 en el músculo. Así, los principales efectos pueden resumirse en (NRC, 1994):

- Incremento en el músculo esquelético de la canal
- Reducir tejido adiposo en la canal
- Hay poco o nulo efecto sobre el hueso
- Puede observarse un incremento en la tasa de crecimiento (ganancia de peso) y mayor eficiencia alimenticia

3.4.3. Excreción

La mayoría de los compuestos β -agonistas se excretan entre las 24 a 96 horas después de su administración oral o intravenosa. Sus vías de excreción comunes son orina, heces y bilis, lo cual depende de la especie y del compuesto en sí (Smith, 1998).

Smith y Paulson (1997) usando clenbuterol marcado en becerros encontraron una marcada superioridad de la orina sobre las heces en cuanto a la eliminación del compuesto. Así mismo, observaron que dentro de las 48 horas después de la administración oral tan sólo se había excretado el 41.5% de lo que se había administrado, lo cual es bajo con relación a lo que sucede en perros, conejos y ratas, donde en ese tiempo la eliminación es por arriba del 50%.

Algunos β -agonistas han sido encontrados en la leche de vaca y humana, como el salbutamol, clenbuterol y terbutalina en la primera y terbutalina en la segunda (Smith, 1998).

Aparentemente, los β -agonistas sufren altas tasas de biotransformación, donde el intestino y el hígado juegan un papel importante, seguida de una rápida eliminación vía orina o bilis, lo cual limita su biodisponibilidad y sus efectos clínicos. Esta biotransformación para los β -agonistas fenólicos, resorcinolicos, catecolicos y saligénicos están dada por dos procesos: una conjugación en los grupos hidroxilos aromáticos con ácido glucorónico y sulfato, los cuales facilitan una rápida excreción, y otra a través de una oxidación alifática como en el caso de salbutamol. Clenbuterol es metabolizado por ambas rutas (Smith, 1998).

3.4.4. Vida media de los adrenérgicos β -agonistas

Dada la diferencia en el metabolismo y eliminación de los β -agonistas, estos compuestos presentan diferencias en su vida media biológica variando desde alrededor de 2 horas

- Sin incremento en la masa de los tejidos viscerales y la mayoría de los órganos, aunque en ocasiones se ha dado una reducción en la masa del hígado

En el Cuadro 8, se muestra la magnitud que en ganado bovino en crecimiento, gallinas, cerdos y borregos se tiene con la administración oral de β -agonistas. Los β -agonistas incrementan masa muscular y disminuyen grasa, habiendo, en algunos casos, un incremento en la ganancia de peso y mejora en la eficiencia alimenticia (Mersmann, 1998).

Cuadro 8. Efectos de la administración oral de β -agonistas a mamíferos y aves.

Especie	Ganancia de	Consumo de	Eficiencia	Músculo	Grasa
	peso	alimento	alimenticia		
	----- % -----				
Bovinos	+10	-5	+15	+10	-30
Gallinas	+2	-	+2	+2	-7
Cerdos	+4	-5	-5	+4	-8
Borregos	+15	+2	+15	+25	-25

Tomado de (Mersmann, 1998)

Los efectos son mayores en rumiantes, mínimos en aves e intermedios en cerdos. Ésto debido probablemente a la intensa selección de algunas especies (aves y cerdos) para tasa de crecimiento, reduciéndose su potencial para incrementar de forma extra el crecimiento. También probablemente a que un β -agonista puede ser más efectivo en una especie que en otra por afinidad al receptor. Además, los receptores β en los tejidos blando pueden ser rápidamente inactivadas, o unas especies pueden tener un número limitado de β -receptores en el órgano blando, reduciéndose la respuesta (Mersmann, 1998).

Las respuestas a los β -agonistas son menores en animales predestete o en animales jóvenes en crecimiento rápido comparativamente a animales más grandes o de mayor edad. En estos animales la tasa de deposición lipídica es menor, así mismo el incremento en el crecimiento del músculo esquelético es menor (NRC, 1994).

La respuesta sobre músculo esquelético a los β -agonistas puede depender del nivel de glucocorticoides en el animal (Mersmann, 1998).

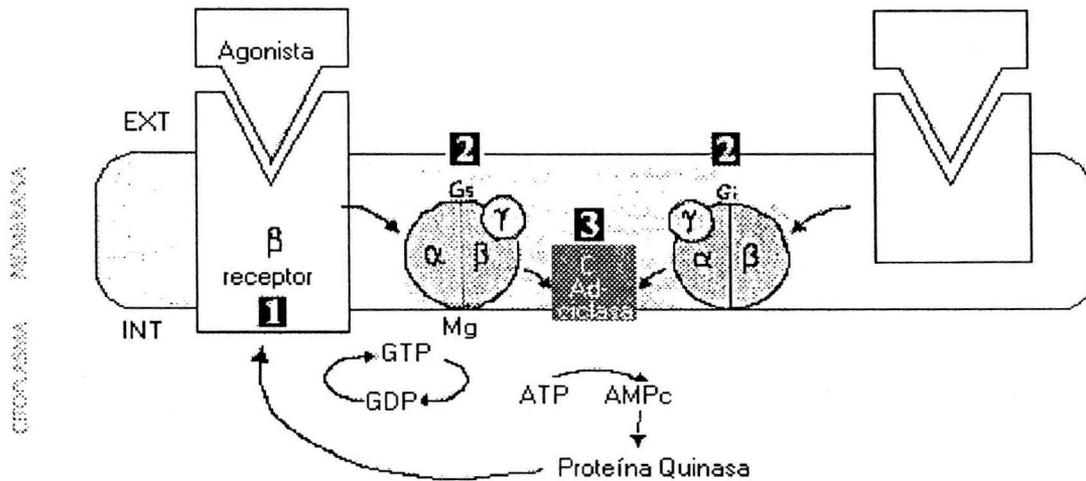
El efecto de los β -agonistas sobre la reducción de grasa en la canal es tan claro y persistente en los estudios como en el caso del músculo esquelético. *In vitro* se estimula la degradación de triacilglicerol de los adipocitos e inhibe la síntesis de ácidos grasos y de triacilglicerol, sin embargo hay reportes que niegan este efecto. No en todos los casos se incrementa la actividad lipolítica con la administración de un β -agonista, aunque hay elevación plasmática de ácidos grasos no esterificados que indica la activación del sistema lipolítico (Mersmann, 1998).

3.6. Modo de acción de los β -agonistas

El modo de acción exacto de los β -agonistas no está bien claro, sin embargo se han planteado dos vías de acción: 1) incrementando la síntesis proteínica y la abundancia de RNAm para proteínas musculares específicas; y 2) la mayor parte, sino todo, el incremento en la acumulación de proteína neta se debe a la reducción en la degradación proteínica por los sistemas proteolíticos; y 3) por ambas (Bell *et al.*, 1998; Mersmann, 1998).

El β -agonista se une al receptor β (Figura 3) con lo cual se activa una proteína llamada G_s que activa a la adenil ciclase la cual produce Adenosin Monofosfato Cíclico (AMPc, -mensajero secundario-). El AMPc activa a la unidad reguladora de la proteína kinasa A para liberar la subunidad catalítica que entonces fosforila un gran número de proteínas intracelulares. Los animales tratados con β -agonistas incrementan el ARN de

transcripción para muchas proteínas musculares (p. e. miosina de cadena ligera y actina; Mersmann, 1998).



Representación esquemática de un receptor beta-adrenérgico: sitio receptor de reconocimiento agonista y antagonista: 2) proteína reguladora de nucleótidos estimuladora (Gs) o proteína reguladora de nucleótidos inhibidora (Gi); 3) unidad catalítica (C) conteniendo adenilciclasa.

Figura 3. Modo de acción de los β -agonistas.

En gran parte, la acumulación de proteína del músculo esquelético, está dada por acciones directas del β -agonista sobre el músculo, como lo demostraron Byrem *et al.* (1998) al administrar cimaterol a vaquillas Holstein.

El β -agonista puede ser removido, degradado o inactivado por diversos mecanismos para evitar que la activación del receptor sea indefinida. Después de la unión con el β -agonista, el receptor puede ser fosforilado por una kinasa específica con el fin de inactivarse. También puede suceder que haya remoción del receptor de la membrana en condiciones de estimulación crónica disminuyendo la respuesta por reducción de su disponibilidad (Mersmann, 1998).

Otros mecanismos probablemente involucrados incluyen (Mersmann, 1998):

1. Los β -agonista incrementan el flujo sanguíneo en ciertas regiones del cuerpo con lo cual es mayor el aporte de sustratos y fuentes de energía para la síntesis de proteína. Así mismo, este mayor flujo sanguíneo en el tejido adiposo se lleva lejos los ácidos grasos no esterificados incrementándose de alguna manera la degradación lipídica.
2. Modulando la concentración de algunas sustancias endocrinas. Se han observado incrementos plasmáticos de hormonas tiroideas en ovinos pero no en bovinos, e incremento de catecolaminas en cerdos. Sin embargo, los efectos se han visto también cuando hay remoción de tiroides e hipófisis, y en ratas diabéticas (NRC, 1994).
3. Llegando hasta el sistema nervioso central afectando quizá el consumo de alimento observado en algunas especies y en algunos experimentos.

De esta manera, los mecanismos mencionados pueden actuar individualmente o en combinación resultando en una amplia posibilidad de efectos que dependen de la especie, edad, genética, condiciones de producción y manejo alimenticio (Mersmann, 1998).

3.7. Los β -agonistas y la función inmune

Hay evidencia de que el uso de β -agonistas como promotores de crecimiento tiene un fuerte efecto supresivo sobre la habilidad de producir anticuerpos humorales específicos, incrementándose el riesgo por parte del animal a contraer infecciones y presentar un bajo comportamiento productivo. Lo anterior lo concluyen Spencer y Oliver (1996) al suministrar clenbuterol a ovinos obteniendo una significativa depresión de la respuesta inmune. Estos autores hallaron que los animales tratados con este compuesto muestran en promedio 30 y 10% menos peso del timo y vaso, respectivamente, que animales no

tratados, lo cual da cierta evidencia de la supresión del sistema inmune por los β -agonistas.

Sin embargo, hay experimentos que no indican algún efecto sobre la respuesta inmune en otras especies, como gallinas (Takahashi *et al.*, 1993; citados por Spencer y Oliver, 1996) al utilizar β -agonistas. Tal controversia entre hallazgos puede ser debida a las diferencias existentes entre especies de animales, inmunógenos usados, duración de los tratamientos y respuesta inmune evaluada (Spencer y Oliver, 1996).

3.8. Resultados experimentales

Como se muestra en el Cuadro 9, todos los animales presentan efectos similares pero variables entre ellos, aparentemente la mayor respuesta se observa en rumiantes, aun en becerros con rumen no completamente funcional, que en los no rumiantes. Probablemente los animales jóvenes y los no rumiantes no muestren respuesta significativa al tratamiento con algún β -agonista debido la presencia de pocos receptores, baja afinidad por los mismos y un desarrollo rápido de resistencia hacia el compuesto (NRC, 1994).

Cuadro 9. Respuesta general a la administración dietética de adrenérgicos β -agonistas a animales de granja.

Variable	Respuesta		
	Aves	Rumiantes	Cerdos
	-----%-----		
Tasa de crecimiento	4	0 a 20	0 a 10
Conversión alimenticia	5	0 a 20	0 a 15
Proteína en la canal	6	5 a 25	4 a 15
Lípidos en la canal	-4 a -8	-15 a -40	-5 a -25

Tomado de NRC, 1994

Aparentemente, las respuestas a los β -agonistas son diferentes entre genotipos, observándose mayor respuesta en cerdos de genotipo superior (NRC, 1994).

El hecho de que las aves muestren menor respuesta que los mamíferos puede deberse a una diferencia en el metabolismo del tejido adiposo y al tipo de receptores encontrados. Sin embargo, el efecto de sexo en aves es importante ya que en hembras de pollo de engorda se ha reducido en 10% el contenido de grasa en la canal mientras que en machos sólo se redujo en un 5% con el uso de cimaterol. Lo anterior quizá se deba a que las hembras acumulan naturalmente mayor cantidad de grasa que los machos (NRC, 1994).

3.8.1. Bovinos

En vaquillas se ha reportado un incremento del 65% en la acumulación de proteína muscular con la administración intravenosa de clenbuterol por 21 días (Bell *et al.*, 1998).

Allen *et al.* (1986), evaluaron el efecto de 0, 33 y 49.5 mg novillo⁻¹ día⁻¹ del β -agonista cimaterol en novillos Holstein y observaron que el cimaterol incrementa la tasa de crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento en 30%, el peso de la canal se incrementó en 30 kg, el rendimiento de músculo se incrementó en 17% y el área del ojo de chuleta se mejoró en 42%. El grado de marmoleo por menor grasa y mejor conformación se mejoró en 0.7 y 1.0 puntos, respectivamente. La acumulación de grasa en la canal, riñonada y grasa en el músculo *logissimumus dorsi* se redujo en 30 %. Entre las distintas dosis de cimaterol evaluadas no observaron diferencias consistentes para composición, características y calidad de la canal, sin embargo el mejor comportamiento productivo se observó con 49.5 mg de cimaterol.

Boucqué *et al.* (1986) reportaron que al incluir 4 ppm de cimaterol en la dieta de novillos Bellanblue observaron incrementos ($P>0.05$) en la ganancia de peso de 5.1%, disminuciones en el consumo de materia seca de 1.3% y en contenido de grasa en la

canal de 6.2% . También observaron aumento del pH, y en el contenido de ácido acético y propiónico en líquido ruminal y disminución del contenido de ácido butírico.

Garza (1998) al evaluar el efecto de zilpaterol a dosis de 0.15 mg kg de peso vivo⁻¹ día⁻¹ en la finalización de novillos y vaquillas a nivel comercial observó mejoras en la ganancia de peso del 12.2 al 14.8%, en conversión alimenticia de 4.3 hasta 10.7%. Sin efecto del zilpaterol sobre el consumo de alimento.

Montgomery (1998) reportó incrementos en el peso de la canal caliente y en frío, rendimiento de la canal y área del ojo de chuleta al incluir clorhidrato de zilpaterol a dosis de 0.10, 0.15 y 0.20 mg kg de peso corporal⁻¹ en novillos comerciales. En cuanto al nivel de grasa no se observó diferencia significativa entre los tratamientos. A nivel comercial al mismo autor reportó que vaquillas tratadas con clorhidrato de zilpaterol mejoraron el rendimiento de la canal de 1.38 a 2.11 unidades porcentuales, el ojo de la chuleta de 7.33 a 10.9%. Mientras que el marmoleo y grosor de grasa no fueron afectados significativamente. Mientras que en toretes, el rendimiento en canal se mejoró en 1.07 unidades porcentuales, el área del ojo de chuleta se mejoró en 8.38%. En novillos a los que se les proporcionó zilpaterol en la dieta el mismo autor observó que el rendimiento de la canal caliente y en frío se mejoró en 1.75 y 1.77 unidades porcentuales, el área del ojo de chuleta se incrementó en 15.31%, mientras que el grosor de la grasa disminuyó.

Plascencia *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la adición de 6 ppm de Clorhidrato de zilpaterol en dietas para la finalización de novillos Cebú*Charolais*Angus, observaron incrementos de 26.8% en ganancia de peso ($P<0.01$), de 2.6% en área del ojo de chuleta ($P<0.01$) y de 3.4 % en el rendimiento en canal ($P<0.01$), sin efecto sobre consumo de alimento. También reportaron un beneficio económico extra por uso del zilpaterol de \$369.00 por animal.

3.8.2. Ovinos

Shackelford *et al.* (1995), al suministrar el β -agonista L_{644,969} a ovejas preñadas, observaron

que la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia de éstas no fueron afectadas. Así mismo, no hubo efecto sobre la sobrevivencia del embrión o del feto. De los órganos pesados, solamente el peso del corazón fue afectado, siendo más pesado en los corderos expuestos en útero al β -agonista. No hubo efecto de tratamiento sobre el peso de los componentes de la canal o músculos individuales. De la misma forma, no fue afectado el tipo de fibras musculares. El efecto sobre el peso del corazón indica que L_{644,969} atraviesa la placenta, habiendo un potencial efecto sobre el desarrollo del cordero, aunque en este trabajo no se encontraron efectos del tratamiento sobre el crecimiento muscular y terneza de la canal.

Tierrablanca y Vergara en el 2000 encontraron efecto positivo de los β -agonistas clenbuterol y zipalterol sobre ganancia diaria de peso (10.7 y 16.3%, respectivamente), peso final, utilidad económica, relación beneficio-costo, rendimiento en canal de (7.15 %) y reducción en grasa dorsal (18.4%). También observaron disminución de grasa de los intestinos, reducción en el peso de las vísceras, vaso e intestino delgado.

3.8.3. Cerdos

En cerdos de 10 a 60 kg de peso vivo el cimaterol no mostró efecto, pero en animales de 60 a 105 kg de peso vivo produjo una reducción del 10% en grasa y un aumento del 10% en músculo esquelético del la canal. Por su parte la ractopamina, en otro experimento, provocó, dependiendo de la dosis, de 5 a 20% de mejora en el crecimiento, de 8 a 20% más masa muscular y 4 a 37% menos tejido adiposo (Jones *et al.*, 1985; Moser *et al.*, 1986; citados por NRC, 1994).

Por su parte Aguirre y Escandón (1997) al usar 10 ppm de clenbuterol en cerdos de engorda únicamente encontraron efecto de éste sobre consumo de alimento y grasa

dorsal, habiendo una disminución de ambos. Estos autores mencionan que probablemente se hubiera encontrado efecto sobre ganancia de peso con una cantidad de proteína dietética mayor para un mejor reparto de nutrimentos y síntesis de proteína muscular.

3.8.4. Conejos

Olivares y Peña (1995), trabajando con conejos en engorda tratados con clenbuterol, encontraron diferencias significativas en cuanto a efecto de tratamiento y de raza. La mejor dosis fue la de 10 ppm y los animales de raza Chinchilla mostraron mejor comportamiento (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la dosis de clenbuterol y raza sobre variables productivas en conejos.

Variable	10 vs 0 ppm	10 vs 5 ppm	Chinchilla vs California
Consumo de alimento	-10.46	-7.53	--
Ganancia de peso	+16.80	+0.57	+12.53
Peso final	+8.45	+5.46	+4.25
Conversión alimenticia	-23.34	-8.04	-3.12
Eficiencia alimenticia	+30.45	+8.77	+3.25

3.9. Uso ilegal de los β -agonistas

Los β -agonistas, como el clenbuterol, tienen dos efectos: 1) un efecto deseable comprende el hecho de que estos compuestos tienen la habilidad de incrementar la masa muscular de tipo más magra y reducir la acumulación de grasa en tejido corporal en animales productores de carne; y un efecto indeseable que es concerniente a la salud pública de la gente que consume esa carne debido a que produce síntomas de

intoxicación debido a los residuos de estos compuestos que quedan en las partes comestibles de los animales (Mitchell y Dunnavan, 1998).

Algunos acontecimientos sobre la trayectoria del uso ilegal de β -agonistas como modificadores del crecimiento incluyen (Kuiper *et al.*, 1998; Mitchell y Dunnavan, 1998):

- 1986. El uso ilegal de los β -agonistas cobró gran importancia en la Comunidad Europea luego de la prohibición de los esteroides anabólicos en la producción animal.
- 1988. A partir de este año, en Europa se empiezan con los monitoreos del uso de sustancias ilegales dentro de las que estaban los β -agonistas.
- En este mismo año, el uso ilegal del clenbuterol llamó la atención de los oficiales de salud pública y de inspección de la carne en Estados Unidos y Canadá.
- 1989. En el laboratorio St. Louis del Servicio de Inspección de Seguridad de los Alimentos (FSIS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) inició con el desarrollo de un método de detección de residuos de clenbuterol, cimaterol, salbutamol y fenoterol en hígado de becerros y cerdos.
- 1991. El FSIS finalizó con la validación de un método a base de cromatografía de gases con espectrometría de masas capaz de detectar 1 ppb de residuos en hígado.
- En este mismo año la Administración de Alimentos y Drogas (FDA) en Estados Unidos envió comunicados a todos los estados informando de la posibilidad del uso ilegal de clenbuterol en animales domésticos y de sus efectos adversos a la salud pública si estos residuos estaban presentes en los productos alimenticios provenientes de esos animales.

- 1994. En Estados Unidos la FDA organizó una conferencia para decidir los medios de validación de un ensayo para detectar residuos de clenbuterol en la retina del ojo, ya que en este tejido se puede detectar este compuesto hasta 20 semanas después de haber sido retirado el clenbuterol, mientras que en hígado sólo se detecta hasta el día 56 y en orina hasta el día 7.
- En este mismo año, se llevó a cabo una extensiva vigilancia sobre los promotores de crecimiento en 12 países miembros de la Comunidad Europea, en la cual se analizaron bistecs e hígados comprados en tiendas al menudeo, para detectar hormonas anabólicas y β -agonistas, resultando el 10% de los hígados analizados positivos a β -agonistas.
- 1995. Ya se tenía validado el método para determinar clenbuterol en la retina, con la cual en ese mismo año hubo serias descalificaciones de exhibidores de ganado en ferias y competencias de varias partes de Estados Unidos.
- En México, en marzo de 2002 se publica con carácter obligatorio la norma que prohíbe la preparación, distribución y uso de clenbuterol en producción animal.

3.10. Sintomatología de intoxicación por residuos de β -agonistas en humanos

Los principales síntomas de intoxicación en humanos descritas por Salleras *et al.* (1995), Mitchell y Dunnavan (1998) y Kuiper *et al.* (1998) son temblores musculares y palpitaciones, dolores de cabeza, taquicardia, nerviosismo, agitación, mareo, indisposición, vómito, fiebre y escalofríos. En la mayoría de los casos los análisis dan positivo a clenbuterol y la principal fuente de intoxicación es el hígado de bovino.

Los síntomas anteriores aparecen variablemente dentro de un rango de 30 minutos a 6 horas después de la ingestión y la recuperación puede darse de 1 a 3 días (Kuiper *et al.*, 1998).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización y Clima

La investigación se realizó en el Módulo de Bovinos para Carne ubicado en la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia y en el Taller de Procesamiento de Cárnicos del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México; situada entre las coordenadas 19° 21' de Latitud Norte y 98° 53' Longitud Oeste, a una altura de 2250 msnm. El clima predominante en la región de acuerdo a la clasificación climática propuesta por Köppen modificada por García (1982), es C(W0)(W)b(i)g, que corresponde a un clima templado subhúmedo, con una precipitación media anual de 644.8 mm; con 5 % de lluvias de tipo invernal.

4.2. Periodo experimental

La fase experimental en campo se realizó entre julio y octubre de 2001; durante un periodo de 90 días; de los cuales, 15 días correspondieron a la fase de adaptación del ganado a la dieta y el resto, 75 días, a la toma de datos y sacrificio de los animales al final del experimento.

4.3. Tratamientos

El estudio consistió en evaluar el efecto de la inclusión del β -agonista clenbuterol y la interacción de éste con el sexo en la finalización de toretes y vaquillas de engorda en corral. Los tratamientos se indican en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Tratamientos experimentales en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.

Tratamiento	Sexo	β -agonista (ppm)
1 (T1)	Hembra (Vaquilla)	0
2 (T2)	Hembra (Vaquilla)	1
3 (T3)	Macho (Torete)	0
4 (T4)	Macho (Torete)	1

4.4. Instalación y Equipo

Para la evaluación del comportamiento productivo se utilizaron 26 corraletas individuales bajo techo, con superficie de 4 m², con fosa de recolección de heces, bebederos automáticos y comederos fijos tipo canoa. Una bascula con capacidad de 1000 kg, así como una prensa y corral para el manejo general de los animales. Para la elaboración del alimento se utilizó un molino de martillos y revoladora horizontal con capacidad de 750 kg localizados en la bodega de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Para la evaluación de las canales, los animales se sacrificaron en el rastro comercial de los Arcos, ubicado en el municipio de los Reyes, Edo. México, posteriormente, las canales fueron llevadas al Taller de Procesamiento de Cárnicos del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se realizaron las mediciones necesarias.

4.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 * 2 de los tratamientos. El peso vivo inicial de los animales se utilizó como covariable. Un factor de estudio

correspondió al sexo a dos niveles, machos (toretos) y hembras (vaquilla); mientras que el otro factor de estudio consistió en el nivel de inclusión del β -agonista a 0 y 1 ppm en la dieta. La unidad experimental consistió en un torete o vaquilla confinado en una corraleta individual. Para los tratamientos con toretos se tuvieron siete repeticiones y para los tratamientos con vaquillas fueron seis.

4.6. Animales y manejo

Se utilizaron 14 toretos Pardo Suizo*Cebú, procedentes de Yecapixtla, Morelos, con un peso vivo promedio al inicio del estudio de 380.1 ± 38.4 kg y 12 vaquillas Pardo Suizo*Cebú con un peso promedio de 309.5 ± 27.5 kg procedentes del rancho el Gargaliote, ubicado en Tamuín, San Luis Potosí.

Los toretos y vaquillas utilizados fueron adaptados a las corraletas y a la alimentación por un período de 15 días. Al inicio de este período el ganado se sometió al siguiente manejo de recepción: Desparasitación vía subcutánea con Ivermectina a dosis de 1 ml por cada 50 kg de peso vivo (Euro Fino^{MR}), vitaminación con A, D y E vía intramuscular con dosis de 6 ml por animal (Vigantol^{MR}) y vacunación con bacterina triple a razón de 5 ml por animal vía subcutánea; se identificaron individualmente con aretes al inicio del experimento y se asignaron al azar a los tratamientos y corraletas. Los animales se pesaron al inicio y después cada 21 días durante la fase experimental, con previo ayuno de 12 h, utilizando una bascula individual con capacidad de 1000 kg y divisiones mínimas de 500 g.

4.7. Dieta experimental

La dieta experimental se formuló en base a granos, la composición y valor nutritivo estimado se indican en el Cuadro 12.

4.8. Manejo de la alimentación

El alimento se ofreció en forma integral y *ad libitum* proporcionando 10 % más de lo consumido el día anterior. El grano se ofreció molido en un molino de martillos con una criba de 1/8 de pulgada de diámetro, mientras que el rastrojo se molió con la criba de 1 pulgada de diámetro. El alimento se proporcionó dos veces al día, por la mañana (07:00 h) y por la tarde (16:00 h), diariamente se peso el alimento ofrecido y el alimento rechazado una vez por semana.

4.9. Técnica de sacrificio y disección de los animales

Los toretes se sacrificaron de acuerdo a la metodología para evaluar calidad de la canal propuesta por Owen *et al.* (1977). El cual se divide en tres etapas:

- ◆ Mediciones corporales previas al sacrificio (no se realizó en el presente estudio).
- ◆ Mediciones durante el sacrificio.
- ◆ Mediciones después del sacrificio.

4.9.1. Mediciones durante el sacrificio

El sacrificio de los animales se realizó mediante el procedimiento descrito por Ventanas *et al.* (1986), de acuerdo al siguiente procedimiento:

- a) Pesado. Cada animal se peso después de 24 h de ayuno para ser conducido posteriormente a la sala de matanza.
- b) Insensibilización. Los animales fueron insensibilizados separando la unión de la médula espinal con el cerebro.
- c) Izamiento. Después de la insensibilización se montó al animal en las cadenas de faenado.

Cuadro 12. Dieta experimental y composición nutritiva estimada*

Ingredientes	Unidad	<u>β-agonista</u>	
		0 ppm	1 ppm
Grano de sorgo	%	64.5	64.5
Rastrojo de maíz	%	20.0	20.0
Pasta de soya	%	5.0	5.0
Harina de carne	%	3.0	3.0
Salvado de trigo	%	6.0	6.0
Mezcla mineral**+ β -agonista		0.0	1.5
Mezcla mineral**	%	1.5	0.0
Composición nutritiva estimada			
Materia seca***	%	89.57	89.57
Energía metabolizable	Mcal kg ⁻¹	2.758	2.758
Energía neta de mantenimiento	Mcal kg ⁻¹	1.792	1.792
Energía neta de ganancia	Mcal kg ⁻¹	1.162	1.162
Proteína cruda	%	12.89	12.89
Proteína degradable en rumen	%	7.80	7.80
Proteína no degradable en rumen	%	5.09	5.09
Fibra cruda	%	9.92	9.92
Fibra detergente ácida	%	9.20	9.20
Fibra detergente neutro	%	15.97	15.97
Extracto etéreo	%	2.79	2.79
Calcio	%	0.77	0.77
Fósforo	%	0.53	0.53
Potasio	%	0.76	0.76

* NRC (1996).

** La mezcla mineral estuvo compuesta de Ca, 27.0 %; P, 3.0%; Mg, 0.75%; Na, 7.95%; Cl, 12.13%; K, 0.03%; S, 0.14%; Mn, 1000 ppm; Fe, 913 ppm; Zn, 3000 ppm; Cu, 50 ppm; I, 50 ppm; Se, 20 ppm; Co, 15 ppm; y lasolacida 2000 ppm.

***El contenido de materia seca se determino en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

d) Desangrado. Los animales fueron desangrados, recolectando la sangre.

e) Despatado, decapitado y desollado. Se separaron las patas, la cabeza y la piel del cuerpo.

f) Eviscerado. Se obtuvieron todas las vísceras de la cavidad torácica y abdominal, separando el montalayo (corazón, pulmones, traquea, hígado, bazo), retículo-rumen, omaso, abomaso, intestino delgado, intestino grueso y cola.

g) Formación de medias canales. La canal se dividió longitudinalmente en la línea media de la columna vertebral para obtener dos medias canales, las cuales inmediatamente fueron pesadas y refrigeradas a 4 °C por 24 horas.

4.9.2. Mediciones después del sacrificio

La media canal se dividió a la vez en dos cuartos, cortando entre la 5ª y 6ª costilla, para después obtener los cortes primarios de la canal.

4.10. Variables de respuesta

4.10.1. Variables de comportamiento productivo

a) **Consumo de materia seca (MS).** Diariamente se pesó el alimento ofrecido, mientras que el material rechazado se acumuló y pesó cada 7 días. Se recolectaron muestras de alimento ofrecido y material rechazado, a las cuales se les determinó en el Laboratorio de Nutrición De Rumiantes, Departamento de Zootecnia el contenido de materia seca. El consumo de MS se registró restando al alimento ofrecido el rechazo acumulados durante 7 días, dividido entre 7, para reportarlo en $\text{kg MS animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$; también se relacionó con el peso metabólico para calcular el consumo metabólico el cual se reporta en g de MS $(\text{kg PV}^{.75})^{-1}$, en ambos casos como promedio durante la fase experimental.

b) Ganancia diaria de peso. La ganancia diaria de peso se estimó como la diferencia entre el peso vivo final menos el peso vivo inicial entre el número de días transcurridos durante la fase experimental, para reportarlo en $\text{kg torete}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

c) Conversión alimenticia. Se calculó al dividir consumo de materia seca entre ganancia de peso promedios, por día durante toda la fase experimental.

d) Peso vivo final. El peso vivo en pie de los animales al final de la fase experimental se consideró como el peso vivo final, se reporta en kg.

4.10.2. Variables de la canal

a) Peso de la canal caliente: Después de obtenidas las medias canales, estas fueron pesadas en una báscula para obtener el peso de la canal caliente, expresándolo en kg. El peso de la canal caliente correspondió a la suma del peso de las dos medias canales.

b) Rendimiento en canal: También identificado como rendimiento comercial se obtuvo a partir de la relación entre el peso de la canal caliente y el peso vivo del animal, se expresó en porcentaje.

c) Grosor de grasa dorsal: Corresponde al espesor de la grasa subcutánea y se midió directamente en el décimo segundo espacio intercostal, a 12 cm de las hipófisis espinosas correspondientes (Burson, 1997).

d) Área del ojo de chuleta. El músculo *longissimus* fue medido en la 12^a costilla usando una rejilla expresada en pulgadas cuadradas, que mide un trazo del ojo de chuleta (Burson, 1997). La medición obtenida se transformó a cm^2 .

4.10.3. Mediciones de la canal

Con auxilio de un flexómetro se realizaron mediciones a la canal y algunos componentes de ésta. Estas medidas se reportan en cm.

- a) **Largo de la canal.** Distancia medida desde el borde anterior parte media de la 1^a costilla al borde anterior de la sínfisis del pubis.
- b) **Largo del pernil.** Es la distancia medida a partir de la parte media de la articulación del tarso metatarso y el borde anterior de la sínfisis del pubis.
- c) **Grosor de la canal.** Corresponde a la distancia medida a nivel del pernil de la canal colgada entre la cara interna y la cara externa de la canal a la altura de la pierna.
- d) **Ancho de la canal.** Es la distancia comprendida del punto medio del canal raquídeo entre la 5^a y 6^a vértebra dorsal y el borde posterior del cartílago del esternón.
- e) **Ancho de la pierna.** Corresponde a la distancia horizontal del punto medio entre la cara interna y la cara externa de la pierna de la canal colgada.

4.10.4. Proporción de los componentes principales de la canal

Corresponde a la proporción de músculo, hueso y grasa, las cuales se estimaron mediante la Técnica "**diseción del ojo de la costilla**"- **Estándar Norteamericano**. La técnica inicia con el pesaje de la canal completa (sin corte alguno), y consiste en realizar cortes en la interfaces de la 12^a y 13^a costilla. Estas secciones de la costilla son separadas físicamente en cuatro componentes, **Músculo, Hueso, Grasa y Mezcla de grasa + músculo**. Este último componente es subsecuentemente separado en grasa y músculo y el pesaje de éstos en lo individual, son sumados a sus respectivos tejidos (Hankins y Howe, 1946, citados por Lunt *et al.*, 1985).

El porcentaje de músculo, hueso y grasa de la sección del ojo de costilla se promedia para la canal completa para eliminar el efecto de partición de la canal.

4.10.5. Componentes primarios de la canal

Los cortes de la canal se realizaron mediante la técnica denominada “Tipo Comercial” (músculo con hueso). Se obtuvieron directamente al separar cada uno de los siguientes principales piezas, los cuales se pesaron para reportarse en kg, correspondiente a una media canal.

- a) **Falda**
- b) **Bandera**
- c) **Cuarto delantero**
- d) **Cuarto trasero**

4.10.6. Componentes del cuarto trasero

El cuarto trasero se seccionó en **Hueso de la cadera, Chambarete, Copete, Tapaguayon, Tapa de centro, Empuje, Aguayon, Bola, Centro, Contracuete, Hueso de la pelvis y fémur y Grasaguasa**. Además se registraron los pesos del **Riñón** y el **Filete**.

4.10.7. Variables económicas

a) Egresos

Se consideraron como egresos los costos por concepto de compra de animales, alimentación, manejo inicial y medicamentos.

b) Ingresos

Se consideraron como ingresos el precio por concepto de venta de los animales, suponiendo la venta de acuerdo al peso vivo al finalizar la fase experimental.

c) Balance

Los ingresos como los egresos se relacionaron para estimar las siguientes variables:

- ◆ Utilidad por animal engordado: ingreso – egreso.
- ◆ Utilidad por kg de peso vivo ganado: $(\text{ingreso} - \text{egreso}) (\text{peso vivo final} - \text{peso vivo inicial})^{-1}$.
- ◆ Utilidad por día: $(\text{ingreso} - \text{egreso}) (\text{periodo de engorda})^{-1}$
- ◆ Relación beneficio:costo: $\text{ingreso} \text{ egreso}^{-1}$.

El análisis económico se realizó considerando los costos de mercado para noviembre de 2002, mismos que se indican a continuación:

- ◆ Costo de la dieta con 0 ppm de β -agonista = \$ 1.647 kg
- ◆ Costo de la dieta con 1 ppm de β -agonista = \$ 1.971 kg
- ◆ Costo de vaquilla a la compra = \$ 12.80 kg en pie
- ◆ Costo de torete a la compra = \$ 13.80 kg en pie
- ◆ El costo de manejo inicial y medicamentos se consideró de \$ 60.00 por animal independientemente de tratamientos.
- ◆ Precio a la venta de vaquilla = \$ 14.50 con 0 ppm de β -agonista en la dieta
- ◆ Precio a la venta de vaquilla = \$ 15.00 con 1 ppm de β -agonista en la dieta
- ◆ Precio a la venta de torete = \$ 15.00 con 0 ppm de β -agonista en la dieta
- ◆ Precio a la venta de torete = \$ 15.50 con 1 ppm de β -agonista en la dieta

4.11. Modelo estadístico

Las variables de respuesta fueron analizadas utilizando el paquete estadístico SAS (1999), mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + S_j + (TS)_{ij} + PV(X_{ij}) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde :

Y_{ijk} = Variable de respuesta.

μ = Media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos.

T_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor β -agonista, $i = 1$ y 2 .

S_j = Efecto del j -ésimo sexo, $j = 1$ y 2 .

$(TS)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel del β -agonista y el j -ésimo sexo.

$PV(X_{ij})$ = Covariable de peso vivo inicial.

ε_{ijk} = Error experimental $\varepsilon_{ijk} \sim NI(0, \sigma^2)$.

Para evaluar el efecto del β -agonista en toretes, en vaquillas y en ambos a la vez se realizaron los siguientes contrastes ortogonales:

- 1) T_1 vs T_2 (efecto del β -agonista en vaquillas).
- 2) T_3 vs T_4 (efecto del β -agonista en toretes).
- 3) $T_1 + T_3$ vs $T_2 + T_4$ (efecto del β -agonista promedio en vaquillas y toretes).

Los datos de las variables rendimiento en canal y, composición de músculo, hueso y grasa en canal se transformaron a raíz cuadrada (Steel y Torrie, 1988) para poder ser sujetas al análisis de varianza. Para el resto de las variables los datos fueron directamente analizados.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento productivo

5.1.1. Consumo de materia seca

El consumo de alimento promedio de toretes y vaquillas, expresado en kg día^{-1} disminuyó ($P < 0.01$) en 20.90 % con 1 ppm en comparación a 0 ppm de β -agonista en la dieta (Cuadro 13). Esta reducción en el consumo al incluir β -agonista en la dieta se manifestó de manera significativa solamente en toretes, en los cuales el consumo se redujo ($P < 0.01$) en 24.20 %; mientras que en las vaquillas el consumo de alimento se redujo de manera numérica ($P > 0.05$) en 7.75 % al adicionar 1 ppm de β -agonista a la dieta (Cuadro 13).

Cuando el consumo de materia seca se calculó de forma metabólica las tendencias fueron similares a las antes indicadas. En promedio, el ganado a los que se les proporcionó la dieta con 1 ppm de β -agonista consumió 15.83 % menos ($P < 0.01$) alimento que aquellos a los que se les ofreció la dieta con 0 ppm de β -agonista. Diferencia que se mantuvo significativa solamente en toretes, con 21.85%, mientras que en vaquillas fue de 8.87 % sin efecto ($P = 0.0968$) del β -agonista evaluado (Cuadro 13).

La reducción del consumo de alimento puede ser el efecto más importante que perciba el engordador del ganado al incluir 1 ppm de β -agonista en la dieta. Un ahorro de alimento de 2.70 y 0.74 kg día^{-1} en toretes y vaquillas, respectivamente (promedio = 1.8 kg día), y al parecer, sin afectar la ganancia diaria de peso del ganado, puede ser, por un lado, la forma en que el engordador de ganado ve compensado el costo de incluir en la dieta 1 ppm del β -agonista clenbuterol (aproximadamente el costo del kilogramo de alimento se incrementa en 20% al adicionar el β -agonista). Por otro lado, el ahorro que el engordador tiene de alimento representa un fuerte estímulo para seguir utilizando este tipo de compuestos, aún consciente de que su uso es ilegal de acuerdo a las normas

oficiales NOM-061-ZOO-1999 y NOM-EM.015.ZOO-2002 que prohíben el uso de clenbuterol en la alimentación del ganado.

Mersmann (1998) maneja como posible mecanismo de acción de los β -agonista el efecto en el sistema nervioso central alterando de esta manera quizá el consumo de alimento observado en varios estudios y confirmado en el presente.

5.1.2. Ganancia de peso y Peso vivo final

La ganancia de peso fue en promedio de $1.246 \text{ kg animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ sin efecto ($P>0.05$) de los niveles del β -agonista evaluados en toretes ni en vaquillas (Cuadro 13). Cabe indicar que al utilizar 1 ppm del β -agonista en la dieta la ganancia de peso mantuvo la tendencia a ser menor en 9.6 % en toretes, mientras que en vaquillas la tendencia fue a ser mayor en 20.1 % (Cuadro 13). Tampoco se observó efecto ($P>0.05$) del nivel de β -agonista sobre el peso vivo final de toretes y vaquillas o promedio de ambos (Cuadro 13).

En el presente estudio, la ganancia de peso se redujo en toretes y se incremento en vaquillas, siendo lo contrario en toretes y coincidiendo en la tendencia con lo observado por Mersmann (1998), al reportar incrementos en la ganancia de peso en bovinos del orden del 10% por efecto del uso de algún β -agonista en la dieta. Mientras que Boucqué *et al.* (1986) observaron incrementos ($P>0.05$) en la ganancia de peso de 5.1% y disminuciones en el consumo de materia seca de 1.3% con 4 ppm de cimaterol en la dieta de novillos.

Plascencia *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la adición de 6 ppm de clorhidrato de zilpaterol en dietas para la finalización de novillos Cebú*Charolais*Angus, observaron incrementos ($P<0.05$) de 26.8% en ganancia de peso, sin efecto sobre consumo de alimento.

5.3. Conversión Alimenticia

La conversión alimenticia promedio de toretes y vaquillas fue de 8.43 y 6.79 kg alimento kg ganancia⁻¹ para 0 y 1 ppm de β -agonista, respectivamente, sin efecto ($P>0.05$) del β -agonista. En toretes la conversión alimenticia se mejoró ($P>0.05$) en aproximadamente 17.29 %, mientras que en vaquillas la conversión alimenticia se mejoró ($P=0.0771$) en 22.30 %, al adicionar 1 ppm de β -agonista a la dieta (Cuadro 13).

El efecto del β -agonista sobre conversión alimenticia, es resultado del efecto conjunto del compuesto sobre el consumo de alimento y ganancia de peso. En toretes, el β -agonista a una dosis de 1 ppm en la dieta provocó que el consumo de alimento se redujera de manera significativa (11.15 vs 8.45 kg día⁻¹), pero también se redujo de manera numérica la ganancia de peso (1.395 vs 1.260 kg día⁻¹). Por lo anterior, junto con la alta desviación estándar observada en la variable conversión alimenticia dio como resultado que las diferencias para esta variable no fueran significativas ($P>0.05$).

La NRC (1994) y Mersmann (1998) resumen los efectos de los β -agonistas en el alimento sobre el comportamiento productivo de algunas especies de interés zootécnico. En bovinos, la NRC (1994) reporta mejoras en ganancia de peso y conversión alimenticia en un rango de 0 a 20%. Mientras que Mersmann (1998) reporta incrementos en ganancia de peso del 10%, y en eficiencia de utilización del alimento en 15 % en bovinos. Este último autor señala que el efecto de los β -agonistas sobre estas variables son mayores en rumiantes, intermedios en cerdos y mínimos en aves. Probablemente la diferencia está asociada a la intensa selección de algunas especies (aves y cerdos) para tasa de crecimiento, reduciendo el potencial para por otra vía incrementar el crecimiento. También probablemente a que un β -agonista puede ser más efectivo en una especie que en otra por afinidad al receptor.

Allen *et al.* (1986) observaron, en novillos Holstein, que por efecto del β -agonista cimaterol a dosis de 33 y 49.5 mg novillo⁻¹ día⁻¹ la ganancia de peso y la eficiencia de utilización del alimento se mejoraron en 30%.

Cuadro 13. Comportamiento productivo de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.

Variable	Unidad	β -agonista	
		0 ppm	1 ppm
Torete			
Peso vivo inicial	Kg	382.571 (19.881)*	377.714 (40.326)
Peso vivo final	Kg	466.714 ^{a**} (26.278)	438.285 ^a (47.995)
Consumo de alimento	kg día ⁻¹	11.154 ^a (0.922)	8.4507 ^b (1.122)
	gMS (kg PV ^{0.75}) ⁻¹	123.101 ^a (10.248)	96.2071 ^b (11.578)
Ganancia de peso	kg día ⁻¹	1.395 ^a (0.141)	1.260 ^a (0.546)
Conversión alimenticia	Consumo ganancia ⁻¹	8.089 ^a (1.297)	6.690 ^a (2.819)
<hr/>			
Vaquilla			
Peso vivo inicial	Kg	308.000 (28.509)	311.000 (22.627)
Peso vivo final	Kg	367.166 ^a (36.113)	379.333 ^a (28.640)
Consumo de alimento	kg día ⁻¹	9.521 ^a (0.931)	8.783 ^a (1.122)
	gMS (kg PV ^{0.75}) ⁻¹	124.128 ^a (8.603)	113.106 ^a (13.216)
Ganancia de peso	kg día ⁻¹	1.046 ^a (0.344)	1.257 ^a (0.281)
Conversión alimenticia	Consumo ganancia ⁻¹	9.069 ^a (2.280)	7.046 ^a (2.018)
<hr/>			
Promedio			
Peso vivo inicial	Kg	319.700 (42.41)	316.80 (46.12)
Peso vivo final	Kg	420.77 ^a (59.63)	411.08 ^a (49.28)
Consumo de alimento	kg día ⁻¹	10.403 ^a (1.227)	8.604 ^b (1.088)
	gMS (kg PV ^{0.75}) ⁻¹	123.575 ^a (9.145)	104.007 ^b (14.720)
Ganancia de peso	kg día ⁻¹	1.234 ^a (0.303)	1.259 ^a (0.426)
Conversión alimenticia	Consumo ganancia ⁻¹	8.432 ^a (1.925)	6.792 ^a (2.387)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal en común no son diferentes (P>0.05).

Garza (1998) observó, al evaluar el efecto de zilpaterol a dosis de 0.15 mg kg de peso vivo⁻¹ día⁻¹ en la finalización de novillos y vaquillas, mejoras en la ganancia de peso del 12.2 al 14.8%, en conversión alimenticia de 4.3 hasta 10.7%, sin efecto del zilpaterol sobre el consumo de alimento.

5.2. Variable de la canal

5.2.1. Peso y rendimiento de la canal

El peso de la canal de vaquillas, toretes y promedio de toretes y vaquillas no fue diferente ($P>0.05$) entre los niveles del β -agonista evaluado (Cuadro 14). Sin embargo, con 1 ppm de β -agonista en la dieta, el rendimiento en canal se incrementó en 2.458 ($P>0.05$), 3.55 ($P=0.0474$) y 3.24 ($P=0.0632$) unidades porcentuales en vaquillas, toretes y promedio de vaquillas y toretes, respectivamente (Cuadro 14).

Allen *et al.* (1986) observaron en novillos Holstein que por efecto del β -agonista cimaterol a dosis de 33 y 49.5 mg novillo⁻¹ día⁻¹ el peso de la canal se incrementó en 30 kg y el rendimiento de la canal en 17%.

Reportes de literatura, publican que el mayor rendimiento en canal constituye el principal efecto de los β -agonistas, el cual es más significativo en ganado comercial, o ganado con dominancia de razas Cebú, tanto así, que éstos con β -agonista en la dieta igualan el rendimiento en canal que se obtiene con razas Europeas.

El efecto significativo del β -agonista sobre rendimiento en canal de toretes y promedio de vaquillas y toretes, puede ser el principal beneficio extra que obtenga el introductor, al comprar el ganado en pie al engordador y venderlo en canal al obrador o tablajero. Dicho beneficio para el introductor se traduce en la comercialización de 15 a 20 kg más de canal para un torete de 450 a 500 kg de peso vivo final. Lo anterior puede llegar a explicar por qué algunos introductores presionan al engordador para que utilice clenbuterol en la dieta para engordar el ganado, la presión puede ser desde un

sobrepeso de hasta \$ 1.00 por kilogramo en pie en ganado finalizado con β -agonista en la dieta o no comprar ganado engordado sin este tipo de compuestos.

5.2.2. Grosor de la grasa dorsal

El grosor de la grasa dorsal fue menor ($P < 0.05$) en vaquillas (3.60 vs 2.97 mm), toretes (3.28 vs 2.85 mm) y promedio de vaquillas y toretes (3.49 vs 2.97 mm) por efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta (Cuadro 14).

La reducción en el grosor de la grasa dorsal es resultado de la lipólisis de los β -agonistas (Mersmann, 1998). Lo que puede estar asociado a que los β -agonistas incrementan el flujo sanguíneo en ciertas regiones del cuerpo con lo cual es mayor el aporte de substratos y fuentes de energía para la síntesis de proteína. Así mismo, este mayor flujo sanguíneo en el tejido adiposo se lleva lejos los ácidos grasos no esterificados incrementándose de alguna manera la degradación lipídica.

Boucqué *et al.* (1986) observaron disminuciones en el contenido de grasa en la canal de 6.2% con 4 ppm de cimaterol en la dieta de novillos.

El menor rendimiento de grasa en la canal y el mayor rendimiento en canal constituyen dos puntos de interés para los introductores, al reducir mermas por el desgrasado de la canal y la canal al rendir de 15 a 20 kg más de peso. Interés que también beneficia al tablajero y que ambos tratan de convencer al público consumidor de carne, de este supuesto beneficio, a partir de los efectos negativos que se atribuyen a las grasas sobre la salud humana, particularmente en personas adultas. Efecto que resulta insignificante en comparación a los daños potenciales que puede tener una persona al consumir productos cárnicos procedentes de ganado que se alimentó con clenbuterol.

5.2.3. Área del ojo de chuleta

El área del ojo de chuleta o “ojo de costilla” se incrementó en 6.65, 9.56 y 7.73 % por efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta de vaquillas ($P \leq 0.05$), toretes ($P = 0.0628$) y promedio de vaquillas y toretes ($P < 0.05$), respectivamente (Cuadro 14).

Las áreas del ojo de chuleta reportadas en literatura son muy variables, dependiendo del peso vivo, razas y régimen alimenticio. Para las razas Charoláis, Shorthorn y Pardo Suizo se reportaron áreas de ojo de costilla de 83.6, 83.3 y 81.1 cm², respectivamente (Gregory *et al.*, 1975; Alenda *et al.*, 1980; Comenford *et al.*, 1988). Almeraya (2002) reportó áreas del ojo de chuleta de 71.03, 83.45, 88.96 y 89.46 cm² en toretes Holstein a 388, 489, 524 y 569 kg de peso vivo al sacrificio.

Allen *et al.* (1986) observaron, en novillos Holstein que por efecto del β -agonista cimaterol a dosis de 33 y 49.5 mg novillo⁻¹ día⁻¹ el rendimiento de músculo se incrementó en 17% y el área del ojo de chuleta se mejoró en 42%. La acumulación de grasa en la canal, la riñonada y grasa en el músculo *logisiumus dorsi* se redujo en 30%.

Garza (1998) observó mejoras en el rendimiento en canal de 1.38 a 2.11 unidades porcentuales y en el ojo de la chuleta de 7.3 a 10.9% al adicionar zilpaterol a dosis de 0.15 mg kg de peso vivo⁻¹ día⁻¹ en la finalización de vaquillas. En toretes el rendimiento en canal se mejoró en 1.07 unidades porcentuales y el área del ojo de chuleta se mejoró en 8.3%. En novillos a los que se les proporcionó zilpaterol en la dieta el mismo autor observó que el rendimiento de la canal caliente y en frío se mejoró en 1.75 y 1.77 unidades porcentuales, el área del ojo de chuleta se incrementó en 15.31%, mientras que el grosor de la grasa disminuyó sin señalar la magnitud.

Plascencia *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la adición de 6 ppm de Clorhidrato de zilpaterol en dietas para la finalización de novillos Cebú*Charoláis*Angus, observaron incrementos de 2.6% en área del ojo de chuleta ($P < 0.01$) y de 3.4 % en el rendimiento en canal ($P < 0.01$).

Cuadro 14. Algunas características de la canal de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.

Variable	Unidad	β -agonista	
		0 ppm	1 ppm
Torete			
Peso de la canal	kg	271.401 ^a (19.37)*	270.221 ^{***} (29.324)
Rendimiento de canal	%	58.10 ^b (0.90)	61.65 ^a (0.50)
Grosor de grasa dorsal	mm	3.2894 ^a (0.288)	2.8545 ^b (0.209)
Área del ojo de la costilla	cm ²	90.88 ^b (8.46)	96.93 ^a (1.42)
Vaquilla			
Peso de la canal	kg	209.538 ^a (22.122)	226.798 ^a (28.278)
Rendimiento de canal	%	57.00 ^a (6.50)	59.45 ^a (3.34)
Grosor de grasa dorsal	mm	3.6040 ^a (0.3125)	2.9738 ^b (0.3690)
Área del ojo de la costilla	cm ²	80.32 ^b (1.35)	88.00 ^a (2.26)
Promedio			
Peso de la canal	kg	241.58 ^a (37.84)	248.50 ^a (16.62)
Rendimiento de canal	%	57.30 ^a (2.65)	60.55 ^a (3.20)
Grosor de grasa dorsal	mm	3.491 ^b (0.308)	2.977 ^a (0.328)
Área del ojo de la costilla	cm ²	86.65 ^b (8.35)	93.35 ^a (5.12)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal en común no son diferentes (P>0.05).

5.3. Mediciones de la canal

5.3.1. Largo de la canal

Por efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta se observó, que el largo de la canal se redujo ($P < 0.05$) en 3.5 cm en vaquillas y en 2.4 cm en el promedio de vaquillas y toretes. Mientras que el largo de la canal en toretes fue en promedio de 125.16 cm sin efecto ($P > 0.05$) del nivel de β -agonista evaluado (Cuadro 15).

5.3.2. Largo de pernil

El largo de pernil en toretes, vaquillas y promedio de toretes y vaquillas fue de 79.5, 78.5 y 79.1 cm respectivamente, sin efecto del β -agonista evaluado a 1 ppm en la dieta (Cuadro 15). Cabe resaltar que en vaquillas se observó una reducción ($P = 0.0863$) de 4 cm en el largo de pernil debido al efecto de 1 ppm del β -agonista.

5.3.3. Grosor de la canal

El grosor de la canal en toretes fue de 22.66 cm con 1 ppm de β -agonista, mayor ($P \leq 0.05$) a los 21.66 cm del grosor de la canal de toretes con 0 ppm del β -agonista (Cuadro 15). En cambio, en vaquillas y promedio de vaquillas y toretes el ancho de canal fue de 22.07 y 22.00 cm, respectivamente, sin efecto ($P > 0.05$) de los niveles del β -agonista evaluados (Cuadro 15).

5.3.4. Ancho de la canal

El ancho de la canal fue en promedio de 42.99, 40.50 y 42.00 cm en toretes, vaquillas y promedio de toretes y vaquillas, respectivamente, sin diferencia ($P > 0.05$) entre los niveles de β -agonista evaluado (Cuadro 15).

5.3.5. Ancho de pierna

Por efecto de 1 ppm de β -agonista el ancho de pierna no fue diferente en toretes, ni en vaquillas, pero al analizar el efecto en el promedio de toretes y vaquillas se observó un incremento ($P<0.05$) de 2.6 cm en el ancho de pierna de los animales que se les proporcionó 1 ppm de β -agonista en la dieta (Cuadro 15).

Cuadro 15. Mediciones a la canal y algunos componentes de ésta de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.

Variable	Unidad	β -agonista	
		0 ppm	1 ppm
Torete			
Largo de la canal	cm	126.00 ^a (3.605)*	124.33 ^{***} (5.03)
Largo del pernil	cm	79.00 ^a (1.10)	80.00 ^a (2.64)
Grosor de la canal	cm	21.66 ^b (3.21)	22.66 ^a (0.57)
Ancho de la canal	cm	44.33 ^a (4.04)	41.66 ^a (2.31)
Ancho de pierna	cm	27.66 ^a (3.21)	30.66 ^a (0.57)
Vaquilla			
Largo de la canal	cm	120.50 ^a (0.70)	117.00 ^b (1.414)
Largo del pernil	cm	80.50 ^a (2.12)	76.50 ^a (0.71)
Grosor de la canal	cm	22.00 ^a (1.42)	22.15 ^a (1.15)
Ancho de la canal	cm	41.00 ^a (1.15)	40.00 ^a (1.18)
Ancho de pierna	cm	25.50 ^a (0.71)	27.50 ^a (2.12)
Promedio			
Largo de la canal	cm	123.80 ^a (3.96)	121.40 ^b (5.41)
Largo del pernil	cm	79.60 ^a (1.51)	78.60 ^a (2.70)
Grosor de la canal	cm	21.80 ^a (0.44)	22.20 ^a (1.48)
Ancho de la canal	cm	43.00 ^a (3.39)	41.00 ^a (1.87)
Ancho de pierna	cm	26.80 ^b (2.58)	29.40 ^a (2.07)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal en común no son diferentes ($P>0.05$).

5.4. Proporción de los componentes principales de la canal

La inclusión del β -agonista en la dieta afectó ($P < 0.05$) la proporción de músculo, hueso y grasa de la canal. Por efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta, la proporción de músculo en canal se incrementó en 11.24, 9.68 y 9.87 unidades porcentuales en toretes ($P < 0.05$), vaquillas ($P < 0.05$) y promedio de toretes y vaquillas ($P < 0.05$), respectivamente (Cuadro 16). En cambio, la proporción de grasa se redujo en 8.41, 9.79 y 8.93 unidades porcentuales en toretes ($P < 0.05$), vaquillas ($P < 0.05$) y promedio de toretes y vaquillas ($P < 0.05$), respectivamente (Cuadro 16). También se observó que 1 ppm de β -agonista afectó la proporción de hueso en canal, pero solamente en toretes, en los cuales la proporción de hueso se redujo ($P < 0.05$) en 1.55 unidades porcentuales. Mientras que la proporción de hueso en vaquillas y promedio de vaquillas y toretes fue de 16.88 y 17.54 % con 0 ppm de β -agonista y de 16.94 y 16.98% con 1 ppm de β -agonista en la dieta, respectivamente, sin diferencia ($P > 0.05$) entre los niveles evaluados del factor β -agonista (Cuadro 16).

Estas observaciones coinciden con lo señalado por la NRC (1994) al indicar que entre los principales efectos de los β -agonistas se encuentran incrementos en el músculo esquelético, reducción del tejido adiposo y poco o nulo efecto sobre el hueso de la canal. Esta fuente reporta reducciones en la acumulación de lípidos en la canal de 15 a 40% e incrementos en la acumulación de proteína de 5 a 25 % en rumiantes por efecto del uso de algún β -agonista en la dieta.

El incremento en la proporción de músculo de la canal no está claramente definido en la literatura, se han planteado tres vías posibles de acción: 1) Por incremento de la síntesis proteínica y la abundancia de RNAm para proteínas musculares específicas; 2) la mayor parte, sino todo, el incremento en la acumulación de proteína neta se puede deber a la reducción en la degradación proteínica por los sistemas proteolíticos; y 3) por ambas (Bell *et al.*, 1998; Mersmann, 1998).

Los animales tratados con β -agonistas incrementan el ARN de transcripción para mucha proteína muscular (p. e. miosina de cadena ligera y actina; Mersmann, 1998).

En gran parte, la acumulación de proteína del músculo esquelético, está dada por acciones directas del β -agonista sobre el músculo como lo demostraron Byrem *et al.* (1998) al administrar cimaterol a vaquillas Holstein.

El β -agonista puede ser removido, degradado o inactivado por diversos mecanismos para evitar que la activación del receptor sea indefinida. Después de la unión con el β -agonista, el receptor puede ser fosforilado por una kinasa específica con el fin de inactivarse. También puede suceder que haya remoción del receptor de la membrana en condiciones de estimulación crónica disminuyendo la respuesta por reducción de su disponibilidad (Mersmann, 1998).

Otros mecanismos probablemente involucrados citados por Mersmann (1998) son los siguientes:

1. Los β -agonista incrementan el flujo sanguíneo en ciertas regiones del cuerpo con lo cual es mayor el aporte de substratos y fuentes de energía para la síntesis de proteína. Así mismo, este mayor flujo sanguíneo en el tejido adiposo se lleva lejos los ácidos grasos no esterificados incrementándose de alguna manera la degradación lipídica.
2. Modulando la concentración de algunas sustancias endocrinas. Se han observado incrementos plasmáticos de hormonas tiroides en ovinos pero no en bovinos, e incremento de catecolaminas en cerdos. Sin embargo, los efectos se han visto también cuando hay remoción de tiroides e hipófisis, y en ratas diabéticas (NRC, 1994).
3. Llegando hasta el sistema nervioso central afectando quizá el consumo de alimento observado en algunas especies y en algunos experimentos.

De esta manera, los mecanismos mencionados pueden actuar individualmente o en combinación resultando en una amplia posibilidad de efectos que dependen de la especie, edad, genética, condiciones de producción y manejo alimenticio, o bien a diferencias en el metabolismo del tejido adiposo asociado al tipo de receptores (Mersmann, 1998). El efecto sexo también es significativo a la respuesta de los β -agonistas, donde normalmente las hembras responden más significativamente a una reducción en la acumulación de grasa, dado que las hembras acumulan naturalmente mayor cantidad de grasa que los machos (NRC, 1994).

La respuesta a los β -agonistas es menor en animales predestete o en animales jóvenes en crecimiento rápido que en animales más grandes o de mayor edad. En estos animales la tasa de deposición lipídica es menor, así mismo el incremento en el crecimiento del músculo esquelético es menor (NRC, 1994).

La respuesta sobre músculo esquelético a los β -agonistas puede depender del nivel de glucocorticoides en el animal (Mersmann, 1998). El efecto de los β -agonistas sobre la reducción de grasa en la canal no es tan claro y persistente en los estudios como en el caso del músculo esquelético. *In vitro*, se estimula la degradación de tricilglicerol de los adipocitos e inhibe la síntesis de ácidos grasos y de tricilglicerol, sin embargo hay reportes que niegan este efecto. No en todos los casos se incrementa la actividad lipolítica con la administración de un β -agonista, aunque hay elevación plasmática de ácidos grasos no esterificados que indica la activación del sistema lipolítico (Mersmann, 1998).

Koch *et al.* (1983) estimaron que la proporción de músculo, hueso y grasa de la canal fue de 71.3, 13.9 y 14.8%, respectivamente en novillos Simmental * Hereford, los cuales son mayores a las proporciones de músculo y hueso, y similar al de grasa estimados en el presente estudio. Mientras que Camargo (1985) observó proporciones de músculo, hueso y grasa de la canal de 72.95, 14.82 y 12.19 % en toretes Simmental * Pardo Suizo; y de 71.40, 15.10 y 13.50% en toretes Pardo Suizo * Angus, respectivamente, los cuales,

en ambos grupos raciales son mayores en músculos y menores en hueso y grasa a las proporciones observadas en el presente estudio.

Muñoz (1990) reportó proporciones de músculo, hueso y grasa en canal de 65.1, 17.1 y 19.9 %, respectivamente en novillos Angus, y de 64.6, 18.8 y 17.4 %, respectivamente en novillos Pardo Suizo.

La grasa es el componente más variable de la canal, en promedio las canales de bovinos contienen 18 %, mientras que de músculo el valor promedio es de 60 %. La relación óptima entre grasa:músculo es de 1:5 (Ventanas *et al.*, 1986). En el presente estudio, en el promedio de toretes y vaquillas la proporción de grasa y músculo fue de 25.87 y 56.16 %, respectivamente, con una relación grasa:músculo de 1:2.17, con 0 ppm de β -agonista, menor a los valores óptimos considerados en la literatura; y de 16.94 y 66.03 %, respectivamente con una relación grasa:músculo de 1:3.89 con 1 ppm de β -agonista, considerados dentro de los promedios normales, pero aún menores a la relación óptima grasa:músculo reportada en literatura (Ventanas *et al.*, 1986).

Además de la importancia cuantitativa de la grasa en la canal, la grasa ejerce una influencia notable sobre la calidad de la canal en función de su distribución anatómica. La grasa se puede localizar en tejido subcutáneo, entre los músculos, en las cavidades torácicas, abdominal y pelviana y entre las haces de las fibras musculares con una distribución aproximada de 20, 30, 40 y 10 % respectivamente del total de la grasa del bovino. Estas proporciones dependen del genotipo, sexo, edad, régimen alimenticio, entre otros factores (Ventanas *et al.*, 1986).

La mayor proporción de músculo y menor proporción de grasa en la canal observada en el presente estudio, por efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta puede representar para el obrador o tablajero que comercializa el producto al consumidor, mayor cantidad de carne vendible y menor merma por grasa, lo que puede ayudar a explicar que el obrador o tablajero influya en el introductor para que éste a su vez presione al engordador del ganado para utilizar β -agonista en la dieta de engorda. Por otro lado, la menor

proporción de grasa en canal y en el músculo es utilizada por el tablajero “carnicero” para convencer al cliente consumidor de que dicha carne procedente de ganado alimentado con β -agonista, es de mejor calidad, al tener menor cantidad de grasa, por los daños que ésta puede ocasionar a la salud humana. En este sentido es posible que inicialmente el consumidor haya preferido esta carne, y con ello inconscientemente también promovió la utilización de β -agonista en la engorda de ganado.

Cuadro 16. Proporción de músculo, hueso y grasa de la canal de ganado Pardo Suizo* Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.

Componente	β -agonista	
	0 ppm	1 ppm
	-----%-----	
Torete		
Músculo	56.37 ^b (0.99)*	67.61 ^{***} (2.45)
Hueso	18.78 ^a (0.35)	17.23 ^b (1.80)
Grasa	23.56 ^a (0.18)	15.15 ^b (1.50)

Vaquilla		
Músculo	56.05 ^b (2.88)	65.73 ^a (1.60)
Hueso	16.88 ^a (0.35)	16.94 ^a (0.06)
Grasa	27.03 ^a (2.55)	17.24 ^b (1.74)

Promedio		
Músculo	56.16 ^b (2.23)	66.03 ^a (2.23)
Hueso	17.54 ^a (2.11)	16.98 ^a (2.15)
Grasa	25.87 ^a (1.97)	16.94 ^b (1.89)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal distinta son diferentes (P<0.05).

5.5. Componentes primarios en el corte de una media canal

5.5.1. Falda

El peso de la falda de la media canal de vaquillas y promedio de toretes y vaquillas no fue afectado ($P>0.05$) por los niveles del β -agonista evaluado, siendo en promedio de 6.48 y 6.66 kg, respectivamente. En cambio, en toretes, el peso de la falda en una media canal fue menor ($P<0.05$) en 0.965 kg en los toretes a los que se les proporcionó 1 ppm de β -agonista en la dieta (Cuadro 17).

5.5.2. Bandera

En lo que corresponde a la pieza identificada comercialmente como bandera, tampoco se observó efecto de los niveles del β -agonista estudiado en vaquillas y promedio de vaquillas y toretes, siendo la media de 19.26 y 20.05 kg, respectivamente. En cambio, en toretes el peso de la bandera de una media canal fue de 18.07 kg, con 1 ppm de β -agonista, el cual resultó menor ($P\leq 0.01$) al peso de la bandera de los toretes con 0 ppm de β -agonista en la dieta que fue de 23.51 kg (Cuadro 17).

5.5.3. Cuarto delantero

El cuarto delantero de una media canal fue más pesado en toretes ($P<0.01$), vaquillas ($P<0.01$) y promedio de vaquillas y toretes ($P\leq 0.05$) en 2.01, 3.22 y 2.61 kg respectivamente por efecto de 1 ppm del β -agonista en la dieta (Cuadro 17).

Un cuarto delantero representó en toretes y vaquillas el 11.80 y 10.47 % del peso vivo al sacrificio con 0 ppm de β -agonista, y se incrementó ($P<0.05$) a 13.02 y 10.98 % al adicionar 1 ppm de β -agonista a la dieta que se ofreció al ganado. Estas proporciones son similares a las estimadas por Almeraya (2002) de 11.82 % del peso vivo de toretes de la raza Holstein.

5.5.4. Cuarto trasero

Al nivel de 1 ppm de β -agonista en la dieta se afectó el peso del cuarto trasero en toretes y promedio de vaquillas y toretes, sin efecto en vaquillas. En toretes con 1 ppm del β -agonista el cuarto trasero de una media canal peso 14.6% más ($P < 0.05$) en comparación al nivel de 0 ppm del β -agonista (46.62 vs 40.67 kg), representando en el primer caso el 10.63% y en el segundo caso el 8.71% del peso vivo al sacrificio del ganado. Para el promedio de vaquillas y toretes por efecto del 1 ppm de β -agonista el cuarto trasero peso 13.32 % más ($P \leq 0.01$) en comparación al nivel de 0 ppm de β -agonista (41.85 vs 36.93 kg), representando para el primer caso el 10.18% y para el segundo caso el 8.77% del peso vivo al sacrificio (Cuadro 17) del ganado. En vaquillas, el cuarto trasero de una media canal peso 40.66 y 34.57 kg para 0 y 1 ppm de β -agonista en la dieta, respectivamente, con una diferencia numérica ($P = 0.1044$) entre ellos del orden de 6.09 kg a favor de 1 ppm de β -agonista en la dieta.

Las proporciones del cuarto trasero con relación al peso vivo al sacrificio estimados en el presente estudio, son similares a los reportados por Almeraya (2002) que fue en promedio de 9.0% en toretes Holstein.

El mayor pesaje del cuarto trasero observado en toretes y promedios de toretes y vaquillas por efecto del β -agonista en el presente estudio, está asociado al efecto visual más distintivo al proporcionar al ganado clenbuterol en la dieta. Aproximadamente a los 7 días de que se empezó a proporcionar alimento con clenbuterol al ganado, se observa en éste, principalmente en las extremidades posteriores a la altura de la piñata un desarrollo más pronunciado de esta pieza, así como también en la parte dorsal posterior del animal se aprecia un desarrollo mayor al normal, simulando una canaleta. Estas dos características son retomadas como criterio visual del uso de clenbuterol por el introductor al comprar el ganado al engordador.

Cuadro 17. Componentes primarios del corte de una media canal de ganado Pardo Suizo*Cebú en finalización con un β -agonista en la dieta.

Variable	β -agonista	
	0 ppm	1 ppm
Torete	-----kg-----	
Falda	7.3888 ^b (0.827)*	6.4225 ^{a**} (0.697)
Bandera	23.5111 ^a (1.735)	18.0781 ^b (1.962)
Cuarto delantero	55.0724 ^b (4.393)	57.0890 ^a (6.195)
Cuarto trasero	40.6724 ^b (2.804)	46.6225 ^a (5.059)

Vaquilla		
Falda	6.2951 ^a (0.8500)	6.5745 ^a (0.8702)
Bandera	19.3345 ^a (2.6418)	19.1946 ^a (2.3831)
Cuarto delantero	38.4586 ^b (3.5746)	41.6778 ^a (5.3435)
Cuarto trasero	34.5698 ^a (3.4797)	40.6683 ^a (5.2552)

Promedio		
Falda	6.724 ^a (1.029)	6.599 ^a (0.797)
Bandera	20.945 ^a (3.405)	19.166 ^a (2.176)
Cuarto delantero	44.528 ^a (9.960)	44.261 ^a (8.483)
Cuarto trasero	36.935 ^b (4.923)	41.858 ^a (5.738)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal distinta son diferentes (P<0.05).

5.6. Componentes del cuarto trasero

La inclusión de 1 ppm de β -agonista en la dieta que se proporcionó al ganado afectó ($P < 0.05$) los pesos de algunos componentes del cuarto trasero en toretes (Cuadro 18), vaquillas (Cuadro 19) y promedio de toretes y vaquillas (Cuadro 20).

En toretes, el hueso de la cadera, chambarete, empuje, aguayon, bola y contracnete del cuarto trasero fueron 13.37, 18.85, 36.71, 27.59, 26.54 y 13.25 % de mayor peso con 1 ppm en comparación a 0 ppm de β -agonista en la dieta. En cambio, la tapaguayon, tapa de centro y la grasaguasa del cuarto trasero se redujeron en 13.37, 18.85 y 233.00 % por efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta (Cuadro 18). No se observó efecto ($P > 0.05$) del nivel del β -agonista evaluado sobre los pesos del copete, centro, hueso de pelvis y fémur del cuarto trasero, como tampoco sobre los pesos del riñón y del filete (Cuadro 18).

En vaquillas, por efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta proporcionada, los pesos de chambarete, empuje, aguayon y centro de un cuarto trasero se incrementaron ($P < 0.05$) en 23.10, 40.98, 23.05 y 20.92 %, respectivamente, mientras que los pesos del hueso de la cadera, hueso de la pelvis y fémur y grasaguasa se redujeron ($P < 0.05$) en 6.17, 4.31 y 259.00 %, respectivamente, sin efecto ($P > 0.05$) sobre los componentes copete, tapaguayon, tapa de centro, bola y contracnete del cuarto trasero, como tampoco sobre el peso del riñón y del filete (Cuadro 19).

En el promedio de vaquillas y toretes, 1 ppm de β -agonista en la dieta aumentó ($P < 0.05$) el peso de los componentes chambarete, empuje, aguayon, bola, centro y contracnete; y redujo ($P < 0.05$) el peso de los componentes hueso de cadera, hueso de pelvis y fémur y grasaguasa; sin efecto sobre copete, tapaguayon y tapa de centro del cuarto trasero, como tampoco afectó el peso del riñón y del filete (Cuadro 20).

Cuadro 18 . Componentes principales de un cuarto trasero y otros órganos de la canal de toretes Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.

Componente	β -agonista	
	0 ppm	1 ppm
	-----kg-----	
Hueso de cadera	3.446 ^b (0.174)*	3.900 ^{a**} (0.402)
Chambarete	1.893 ^b (0.210)	2.250 ^a (0.232)
Copete	1.956 ^a (0.301)	2.450 ^a (0.252)
Tapaguayon	1.783 ^a (0.332)	1.300 ^b (0.134)
Tapa de centro	2.076 ^a (0.150)	1.780 ^b (0.183)
Empuje	1.280 ^b (0.264)	1.750 ^a (0.180)
Aguayon	3.566 ^b (0.550)	4.551 ^a (0.469)
Bola	4.743 ^b (0.595)	6.002 ^a (0.619)
Centro	6.066 ^a (0.637)	8.811 ^a (0.908)
Contracuete	6.983 ^b (0.720)	7.908 ^a (0.815)
Hueso de pelvis y fémur	4.783 ^a (0.621)	5.503 ^a (0.567)
Grasaguasa	2.000 ^a (1.03)	0.600 ^b (0.061)
Peso del riñón	0.620 ^a (0.23)	0.493 ^a (0.19)
Peso del filete	2.566 ^a (0.43)	2.766 ^a (0.451)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal distinta son diferentes (P<0.05).

Cuadro 19. Componentes principales de un cuarto trasero y otros órganos de la canal de vaquillas Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.

Componente	β -agonista	
	0 ppm	1 ppm
	-----kg-----	
Hueso de cadera	2.7713 ^a (0.3254)*	2.6096 ^{b**} (0.3443)
Chambarete	1.4546 ^b (0.1351)	1.7895 ^a (0.2263)
Copete	1.6651 ^a (0.1742)	2.2021 ^a (0.3535)
Tapaguayon	1.1681 ^a (0.1983)	1.7995 ^a (0.2459)
Tapa de centro	1.4105 ^a (0.3036)	1.8856 ^a (0.4462)
Empuje	0.9103 ^b (0.0841)	1.2836 ^a (0.1624)
Aguayon	2.8230 ^b (0.4123)	3.4763 ^a (0.4752)
Bola	3.8170 ^a (0.3821)	5.3701 ^a (0.6667)
Centro	5.4078 ^b (0.7885)	6.5316 ^a (0.8416)
Contracuete	5.4860 ^a (0.5818)	7.1350 ^a (0.9053)
Hueso de pelvis y fémur	4.0336 ^a (0.3981)	3.8678 ^b (0.5708)
Grasaguasa	2.5106 ^a (0.3517)	0.6998 ^b (0.1722)
Peso del riñón	0.465 ^a (0.049)	0.510 ^a (0.2900)
Peso del filete	2.720 ^a (0.820)	2.494 ^a (0.8060)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal distinta son diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 20. Componentes principales de un cuarto trasero y otros órganos de la canal de ganado (promedio de toretes y vaquillas) Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.

Componente	β -agonista	
	0 ppm	1 ppm
	-----kg-----	
Hueso de cadera	2.996 ^a (0.433)*	2.794 ^{b**} (0.570)
Chambarete	1.600 ^b (0.265)	1.855 ^a (0.270)
Copete	1.762 ^a (0.250)	2.237 ^a (0.336)
Tapaguayon	1.373 ^a (0.383)	1.728 ^a (0.293)
Tapa de centro	1.632 ^a (0.417)	1.870 ^a (0.409)
Empuje	1.033 ^b (0.236)	1.350 ^a (0.230)
Aguayon	3.070 ^b (0.565)	3.629 ^a (0.594)
Bola	4.125 ^b (0.628)	5.460 ^a (0.653)
Centro	5.627 ^b (0.773)	6.855 ^a (1.151)
Contracuete	5.985 ^b (0.951)	7.244 ^a (0.875)
Hueso de pelvis y fémur	4.283 ^a (0.579)	4.101 ^b (0.807)
Grasaguasa	2.243 ^a (0.312)	0.649 ^b (0.187)
Peso del riñón	0.550 ^a (0.185)	0.500 ^a (.202)
Peso del filete	2.628 ^a (0.517)	2.656 ^a (0.535)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal distinta son diferentes ($P < 0.05$).

5.7. Análisis económico

El clenbuterol se comercializa ilegalmente en presentaciones de 30 kg por bulto, con una concentración de 1 gramo del compuesto activo y el resto (29.999 kg) corresponde al vehículo. Normalmente como vehículo se utiliza alguna sal mineral, de ahí que comúnmente se identifiquen como “sales milagrosas”, “sales mágicas”, “sales diabólicas”, entre otros varios nombres, sin tener realmente que ver con una mezcla mineral balanceada. El bulto se comercializa a \$ 400.00 y el productor engordador usa un bulto por tonelada de alimento. Por lo anterior, la tonelada de alimento al que se le adiciona clenbuterol se incrementa en \$ 324.00, aproximadamente 20% más del costo original. Este costo extra se puede pensar que junto a las disposiciones legales funcionaría como freno para que el engordador no utilizará este compuesto, sin embargo, no es así, en mucho debido a que el costo extra por el uso de clenbuterol se compensa con las mejoras que se obtienen en la conversión alimenticia, como resultado de la fuerte reducción en el consumo de alimento sin afectar aparentemente la ganancia de peso del ganado; además, de la presión que ejerce, de alguna forma, el “introducido” para que el engordador utilice este compuesto en la dieta para la engorda del ganado, ya sea al pagar un sobrepeso de \$0.50 a \$ 1.0 más por kilogramo de peso vivo en pie del ganado.

Al realizar el análisis económico solamente en el proceso de engorda se observó efecto estadístico ($P < 0.05$) de 1 ppm del β -agonista en los ingresos, utilidad por kg de peso vivo ganado y en la relación beneficio:costo en vaquillas; y solamente para la variable utilidad por kg de peso vivo ganado en el promedio de vaquillas y toretes, mientras que en toretes no se observaron diferencias ($P > 0.05$) en dichas variables económicas (Cuadro 21). Aún así, en toretes, vaquillas y promedio de toretes y vaquillas las tendencias numéricas de las demás variables, que no fueron afectadas ($P > 0.05$) favorecieron el nivel de 1 ppm del β -agonista evaluado.

En vaquillas, la utilidad por animal ($P=0.099$), la utilidad por kg de peso vivo ganado ($P<0.05$), la utilidad por día de engorda ($P=0.098$) y la relación beneficio:costo ($P=0.069$) se mejoraron de \$ 381.89 a \$ 683.39; de \$ 4.50 a \$ 7.04; de \$ 5.09 a \$ 9.11; y, de 1:1.080 a 1:1.139, respectivamente, por efecto de 1 ppm del β -agonista en comparación a 0 ppm en la dieta (Cuadro 21).

En toretes, el efecto de 1 ppm de β -agonista en la dieta no afectó ($P>0.05$) ninguna de las variables económicas estimadas en el presente estudio. Aún así, los toretes a los que se les proporcionó alimento con 1 ppm de β -agonista mostraron mejor tendencia. La utilidad por animal engordado, la utilidad por kg de peso vivo ganado, la utilidad por día de engorda y la relación beneficio:costo se mejoraron ($P>0.05$) de \$ 566.16 a \$ 704.40, de \$ 5.29 a \$ 6.55, de \$ 7.54 a 9.39, y de 1:1.09 a 1:1.12, respectivamente, por efecto asociado al uso de 1 ppm de β -agonista en la dieta (Cuadro 21).

En el promedio de toretes y vaquillas solamente se observó efecto ($P\leq 0.05$) de 1 ppm de β -agonista sobre la utilidad por kg de peso vivo ganado al mejorarse de \$ 4.93 a \$ 6.78. Para el resto de las variables económicas la tendencia de igual forma favoreció al nivel de 1 ppm del β -agonista en la dieta, la utilidad por animal engordado se mejoró de \$ 481.10 a 694.70, la utilidad por día de engorda por torete se mejoró de \$ 6.41 a \$ 9.26, y la relación beneficio:costo se mejoró de 1:1.085 a 1:1.129 (Cuadro 21).

Plascencia *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la adición de 6 ppm de clorhidrato de zilpaterol en dietas para la finalización de novillos Cebú*Charolais*Angus, y reportaron un beneficio económico extra por uso del zilpaterol de \$369.00 por animal.

Cuadro 21. Análisis económico en la finalización de ganado Pardo Suizo*Cebú con un β -agonista en la dieta.

Variable	β -agonista	
	0 ppm	1 ppm
Torete	-----\$-----	
Egresos	6434.55 ^a (524.17)*	6053.02 ^{***} (697.02)
Ingresos	7000.71 ^a (394.18)	6757.42 ^a (690.61)
Utilidad por animal	566.16 ^a (213.85)	704.40 ^a (560.48)
Utilidad por kg PV ganado	5.29 ^a (1.71)	6.55 ^a (3.54)
Utilidad por día	7.54 ^a (2.85)	9.39 ^a (7.47)
Relación beneficio:costo	1.090 ^a (0.038)	1.12 ^a (0.100)
Vaquilla		
Egresos	4847.77 ^a (404.35)	5006.60 ^a (465.64)
Ingresos	5229.66 ^b (424.79)	5690.00 ^a (429.60)
Utilidad por animal	381.89 ^a (257.01)	683.39 ^a (252.47)
Utilidad por kg PV ganado	4.50 ^b (1.37)	7.04 ^a (1.52)
Utilidad por día	5.09 ^a (3.42)	9.11 ^a (3.36)
Relación beneficio:costo	1.080 ^b (0.057)	1.139 ^a (0.058)
Promedio		
Egresos	5702.19 ^a (939.89)	5570.06 ^a (792.50)
Ingresos	6183.30 ^a (998.67)	6264.80 ^a (788.75)
Utilidad por animal	481.10 ^a (243.98)	694.70 ^a (428.66)
Utilidad por kg PV ganado	4.93 ^b (1.55)	6.78 ^a (2.70)
Utilidad por día	6.41 ^a (3.25)	9.26 ^a (5.71)
Relación beneficio:costo	1.085 ^a (0.046)	1.129 ^a (0.081)

*Media (desviación estándar).

**Medias dentro de hileras con una literal en común no son diferentes ($P > 0.05$).

Considerando costos a noviembre de 2002.

Costo de la dieta con 0 ppm de β -agonista = \$ 1.647 kg.

Costo la la dieta con 1 ppm de β -agonista = \$ 1.971 kg.

Costo de vaquilla a la compra = \$ 12.80 kg en pie.

Costo de torete a la compra = \$ 13.80 kg en pie.

Precio a la venta de vaquilla = \$ 14.50 con 0 ppm de β -agonista en la dieta.

Precio a la venta de vaquilla = \$ 14.50 con 1 ppm de β -agonista en la dieta.

Precio a la venta de torete = \$ 15.00 con 0 ppm de β -agonista en la dieta.

Precio a la venta de torete = \$ 15.50 con 1 ppm de β -agonista en la dieta.

6. CONCLUSIONES

Por efecto de la inclusión de 1 ppm del β -agonista clenbuterol en la dieta de toretes de engorda, el consumo de alimento disminuyó significativamente en 24%, sin afectar la ganancia de peso y conversión alimenticia; mientras que en vaquillas no se observó efecto del β -agonista para estas tres variables.

El rendimiento y la proporción de músculo en la canal y el área del ojo de la costilla se incrementaron significativamente en 3.55, 11.24 y 6.05 unidades porcentuales en toretes y 2.45, 9.68 y 8.00 unidades porcentuales en vaquillas, respectivamente, mientras que el grosor de grasa dorsal y proporción de grasa en la canal disminuyeron en 13.0 y 35.7% en toretes y, 17.5 y 36.2% en vaquillas, respectivamente, por efecto de 1 ppm del β -agonista evaluado, afectando también el peso de la falda, bandera, cuarto delantero y cuarto trasero, y algunos cortes de este último, tanto en toretes como en vaquillas.

La utilidad por kg de peso vivo ganado en la engorda fue mayor con 1 ppm en comparación a 0 ppm del β -agonista, para las demás variables económicas las tendencias favorecieron el uso del β -agonista en la engorda de toretes y vaquillas.

7. IMPLICACIONES

Los resultados del presente estudio evidencian que el engordador, el introductor y el tablaero en la cadena del proceso productivo-industrial de la producción de carne de bovino se benefician de manera significativa con la utilización del clenbuterol en las dietas de engorda, y en consecuencia también el distribuidor de este compuesto. El engordador por el efecto positivo del compuesto sobre el comportamiento productivo, el introductor por el mayor rendimiento de la canal y el tablaero por el menor rendimiento de grasa en la canal que se obtiene en el ganado. Lo anterior puede ayudar a explicar por qué el clenbuterol se sigue utilizando con frecuencia a pesar de la Normas NOM-061-Z00-1999 y NOM-EM-015-ZOO-2002 que prohíben su utilización en la alimentación del ganado.

8. LITERATURA CONSULTADA

- Alenda R., T. Martín G., J. Lasley F. and M. Ellersieck. 1980. Estimation of genetic and maternal effects in crossbred cattle of Angus, Charolais and Hereford parentaje. II. Postweaning growth, ribeye area and fat cover. *J. Anim. Sci.* 50:235.
- Allen, P., J. F. Quirke and P. V. Tarrant. 1986. Effects of cimaterol on the growth, food efficiency and carcass quality of riesian cattle. In: J. P. Hanrahan (Ed.). *Beta-Agonists and their Effects on animal Growth and Carcass Quality*. Elsevier Applied Science. London. 86 – 92 Pp.
- Almeraya, A. O. 2002. Rendimiento y composición de la canal a diferentes pesos al sacrificio en toretes Holstein. Tesis de Maestría. Programa de Maestría en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. México. 73 p.
- Aguirre C. M. y A. Escandón T. 1997. β -agonistas adrenérgicos (ractopamina y clenbuterol) en fase de finalización de la engorda de cerdos. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 56 p.
- Bell A. W., D. E. Bauman, D. H. Beermann and R. J. Harrell. 1998. Nutrition, development and efficacy of growth modifiers in livestock species. *J. Nutr.* 128:360S-363S.
- Bouqué Ch. V., L. O. Fiem, M. Sommer, B. G. Cottyn and F. X. Buysse. 1986. Effects of the beta-agonist cimaterol on growth, feed efficiency and carcass quality of finishing Belgian White-Blue beef bulls. In: J. P. Hanrahan (Ed.). *Beta-Agonists and their Effects on animal Growth and Carcass Quality*. Elsevier Applied Science. London. 93 – 105 Pp.

- Burson, E. D. 1997. Quality and Yield Grades for Beef Carcasses. University of Nebraska-Lincoln. 6p.
- Byrem T. M., D. H. Beermann and T. F. Robinson. 1998. The β -agonist cimaterol directly enhances chronic protein accretion in skeletal muscle. *J. Anim. Sci.* 76:988- 998.
- Camargo, S., R. 1995. Efecto del genotipo y sexo sobre el rendimiento y composición de la canal de bovinos cruzados de Simmental con Pardo Suizo y Angus. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 105 p.
- Comerford J., W., L. Benyshek I., J. Bertran K. and M. Johnson H. 1988. Evaluation of performance characteristics in a diallel among Simmental, Limousin, Polled Hereford and Brahaman beef cattle. II. Carcass traits. *J. Anim. Sci.* 66:306.
- Dürsch I., H. H. D. Meyer and H. Karg. 1995. Accumulation of the β -agonist clenbuterol by pigmented tissues in rat eye and hair of veal calves. *J. Anim. Sci.* 73:2050-2053.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Tercera edición. Editorial Offset. 246 p.
- Garza, F. J. D. 1998. Comportamiento productivo de bovinos productores de carne en finalización, suplementados con ZILMAX. En: Resúmenes de las Conferencias Presentadas en el Lanzamiento del ZILMAX en México D. F., México. Pp 57-61.
- Gregory K. E., D. D. Dearborn, L.V. Cundiff, and R. M. Koch. 1987. Maternal heterosis and grand maternal effects in beef cattle: Postweaning growth and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 65 : 1180.

- Koch R. M., M. Dickeman E., H. Grodski., J. Crose D. and I. Cundiff. 1983. Individual and maternal genetics effects for beef carcass traits of breeds representing diverse biological types (cycle I). *J. Anim. Sci.* 57: 1124.
- Kuiper H. A., M. Y. Noordam, M. M. H. Van Dooren-Flipsen, R. Schilt and H. Roos. 1998. Illegal use of β -adrenergic agonists: European community. *J. Anim. Sci.* 76:195-207.
- Lunt D. K., G. C. Smith, F. K. McKeith, J. W. Savell, M. E. Riewe, F. P. Horn and S. W. Coleman. 1985. Techniques for predicting Beef Carcass composition. *J. Anim. Sci.* 60: 1201-1207.
- Mersmann H. J. 1998. Overview of the effects of β -adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76:160-172.
- Mitchell G. A. and G. Dunnavan. 1998. Illegal use of β -adrenergic agonists in the United States. *J. Anim. Sci.* 76:208-211.
- Montgomery, H. T. 1998. Efectos del clorhidrato de zilpaterol (ZILMAX) sobre las características de la canal de novillos, vaquillas y toretes. En : Resúmenes de las Conferencias Presentadas en el Lanzamiento del ZILMAX en México D. F., México. Pp 49-54.
- Muñoz, D. J. J. 1990. Heterosis y efectos genéticos individuales y maternos en bovinos Angus y Pardo Suizo. III. Rendimiento y características de la canal. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 122 p.
- NRC. 1994. Metabolic modifiers. Effects on the nutrient requirements of food-producing animals. National Academy Press, Washington, DC. 96 P.

- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Natl. Acad. Sci. Washington, D. C. USA. 242 p.
- Olivares P. R. y R. Peña V. 1995. Evaluación de un β -Agonista adrenérgico (clenbuterol) en el periodo de engorda de conejos. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 60 p.
- Owen, J. E.; Norman, G. A.; Fisher L. I. and Frost, R. A. 1977. Studies on meat production characteristics of Botswana goats and sheep. Part I: Sampling, method and materials, and measurements on the live animals. Meat Sci. 1: 63.
- Plascencia, A.; N. Torrentera y A. Zinn, R. 1998. Influencia de la adición de zilpaterol en dietas de finalización para novillos : comportamiento productivo y características de la canal. En : Resúmenes de las Conferencias Presentadas en el Lanzamiento del ZILMAX en México D. F., México. Pp 57-61.
- SAGARPA, 1999. Norma Mexicana que prohíbe el uso de clenbuterol como aditivo alimenticio para el ganado bovino. NOM-061-ZOO-1999. Dirección General de Normas.
- Salleras, L., A. Domínguez, E. Mata, J. L. Taberner, I. Moro and P. Salva. 1995. Epidemiologic study of an outbreak of clenbuterol poisoning in catalonia, Spain. Pub. Health Rep. 110 (3):338-342.
- SAS. 1999. SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute, Inc., Cary, N. C.
- Shackelford S. D., T. L. Wheeler and M. Koohmaraie. 1995. The effects of *in utero* exposure of lambs to a β -Adrenergic agonist on prenatal and postnatal muscle growth, carcass cutability, and meat tenderness. J. Anim. Sci. 73:2986-2993.

- Smith D. J. 1998. The pharmacokinetics, metabolism, and tissue residues of β -Adrenergic agonists in livestock. *J. Anim. Sci.* 76:173-194.
- Smith D. J. and G. D. Paulson. 1997. Distribution, elimination, and residues of [^{14}C] clenbuterol HCl in Holstein calves. *J. Anim. Sci.* 75:454-461.
- Spencer G. S. G. and M. H. Oliver. 1996. Suppression of immune response in lambs during treatment with the beta-adrenergic agonist clenbuterol. *J. Anim. Sci.* 74:151-153.
- Steel, R. G. D. y Torrie H. J. 1988. *Bioestadística : Principios y procesos*. Ed. Mc Graw Hill. México, D. F. 422 p.
- Tierrablanca C. F. U. y D. Vergara A. 2000. Comportamiento productivo y características de la canal de corderos en engorda con clenbuterol o zipalterol en la dieta. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 83 p.
- Ventanas J. C., C. López y García C. 1986. Obtención de la canal, tecnología del sacrificio y frenado en el ganado vacuno. Bases anatómicas, tecnológicas y comerciales de la carnización del vacuno. Departamento de Anatomía y Embriología. Facultad de Veterinaria de Cáceres. España. 215 P.

9. ANEXOS

Anexo 1 . Valor de probabilidad para los contrastes estudiados en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con β -agonista en la dieta.

Variable	Efecto del β-agonista en hembras	Efecto del β-agonista en machos	Efecto del β-agonista en promedio de machos y hembras
Comportamiento productivo			
Peso vivo final	.3219	.4277	.8478
Consumo de alimento,			
Kg día ⁻¹	.2201	.0001	.0003
GMS (kg PV ^{0.75}) ⁻¹	.0968	.0002	.0003
Ganancia de peso	.3217	.4268	.8484
Conversión alimenticia	.0771	.2929	.1087
Características de la canal			
Peso de la canal	.4250	.1235	.1860
Rendimiento de canal	.3052	.0474	.0632
Grosor de grasa dorsal	.0381	.0281	.0356
Área del ojo de la costilla	.0521	.0628	.0248
Mediciones de la canal			
Largo de la canal	.0490	.1483	.0339
Largo del pernil	.0863	.4136	.4393
Grosor de la canal	.7796	.0591	.7321
Ancho de la canal	.5222	.2231	.1996
Ancho de pierna	.1488	.3005	.0661
Proporción de los componentes principales de la canal			
Músculo	.0439	.0283	.0439
Hueso	.8159	.0323	.1533
Grasa	.0351	.0300	.0519
Componentes primarios del corte de una media canal			
Falda	.8618	.0493	.2382
Bandera	.9435	.0178	.1749
Cuarto delantero	.0039	.0002	.0598
Cuarto trasero	.1044	.0412	.0185

Anexo 2. Valor de probabilidad para los contrastes estudiados de los componentes de un cuarto trasero en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con β -agonista en la dieta.

Componente	Efecto del β -agonista en hembras	Efecto del β -agonista en machos	Efecto del β -agonista en promedio de machos y hembras
Hueso de cadera	.0020	.0087	.0003
Chambarete	.0450	.0069	.0033
Copete	.4326	.1702	.1650
Tapaguayon	.0836	.0040	.0721
Tapa de centro	.7869	.0207	.2433
Empuje	.0194	.0067	.0016
Aguayon	.0535	.0428	.0104
Bola	.3120	.0353	.0497
Centro	.0207	.2603	.0140
Contracuete	.3671	.0160	.0388
Hueso de pelvis y fémur	.0126	.0623	.0038
Grasaguasa	.0038	.0029	.0357
Peso del riñón	.9346	.4564	.6334
Peso del filete	.6267	.7860	.8770

Anexo 3. Valor de probabilidad para los contrastes estudiados para las variables del análisis económico en la finalización de toretes y vaquillas Pardo Suizo*Cebú con β -agonista en la dieta.

Variable	Efecto del β -agonista en hembras	Efecto del β -agonista en machos	Efecto del β -agonista en promedio de machos y hembras
Egresos	.1517	.1740	.9102
Ingresos	.0587	.7772	.2218
Utilidad por animal	.0999	.7988	.1667
Utilidad por kg PV ganado	.0391	.5390	.0548
Utilidad por día	.0999	.7988	.1668
Relación beneficio:costo	.0699	.7541	.1221

Anexo 4. Logotipo de la Norma oficial NOM061-ZOO-1999, que prohíbe el uso de clenbuterol en la alimentación del ganado.



Anexo 5.

NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-015-ZOO-2002, Especificaciones técnicas para el control del uso de beta-agonistas en los animales.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM-015-ZOO-2002, ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL CONTROL DEL USO DE BETA-AGONISTAS EN LOS ANIMALES.

LILIA ISABEL OCHOA MUÑOZ, Coordinadora General Jurídica de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, con fundamento en los artículos 35 fracción IV de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4o. fracciones III y XI, 12, 13, 16, 18, 31, 35, 53 y 54 de la Ley Federal de Sanidad Animal; 40, 41, 43 y 48 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 15 fracciones XXX y XXXI del Reglamento Interior de esta dependencia, y

CONSIDERANDO

Que conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, le corresponde entre otras atribuciones, fomentar y proteger la producción pecuaria mediante la aplicación de medidas zoonosanitarias, tendientes a prevenir, controlar y erradicar enfermedades y plagas de los animales, con la finalidad de proteger la salud de éstos y la del hombre.

Que es necesario establecer acciones tendientes a controlar la presencia y magnitud de residuos tóxicos en los productos de origen animal, a fin de prevenir riesgos para la salud humana.

Que para asegurar la inocuidad de los alimentos de origen pecuario destinados para el consumo humano, es función de la Secretaría combatir el uso ilegal de productos químico-farmacéuticos prohibidos y/o no autorizados por ésta.

Que la contaminación por agentes químicos, microbiológicos, o biológicos de los alimentos para los animales, puede representar riesgo zoonosanitario y/o sanitario.

Que algunos beta-agonistas que no cuentan con la autorización de la Secretaría pueden ser utilizados indebidamente como agentes promotores de crecimiento que fomentan la hipertrofia muscular y reducen la producción de grasa en los tejidos animales.

Que la Secretaría ha identificado un uso cada vez más frecuente de beta-agonistas en la alimentación de los animales, que no cuentan con la autorización de la Secretaría, tal es el caso del clenbuterol, prohibido en su utilización como ingrediente activo y aditivo alimenticio en la formulación de productos alimenticios destinados para el consumo en animales, como lo establece la NOM-061-ZOO-1999, Especificaciones zoonosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de octubre de 2000, con lo cual se incrementa el riesgo hacia la salud animal y pública.

Que el uso de otros beta-agonistas no evaluados, ni registrados por la Secretaría pone en riesgo la salud animal y pública.

Que debido a los riesgos zoonosanitarios y de salud pública que representa el uso de algunos beta-agonistas no evaluados y autorizados por la Secretaría en los productos alimenticios destinados al consumo en animales, es indispensable aplicar medidas de restricción de manera inmediata.

Que de persistir residuos de algunos beta-agonistas en los tejidos animales, éstos pueden representar un riesgo importante en la salud animal y en la salud de las personas que los consumen.

Que el uso indiscriminado, las altas concentraciones y la vida media prolongada de algunos beta-agonistas, pueden provocar consecuencias nocivas en la salud pública.

Que para evitar la producción, manufactura, fabricación, elaboración, preparación, acondicionamiento, transportación, tráfico, comercialización, venta, compra, adquisición, enajenación, importación y el suministro, aun gratuitamente de dichos compuestos, es necesario que la Secretaría fomente, coordine y vigile el cumplimiento de las presentes disposiciones, sancionando su incumplimiento.

Que para conseguir los propósitos enunciados de indudable interés público y social, he tenido a bien expedir la Norma Oficial Mexicana de Emergencia denominada NOM-EM-015-ZOO-2002, Especificaciones técnicas para el control del uso de beta-agonistas en los animales.

ÍNDICE

1. Objetivo y campo de aplicación
2. Referencias
3. Definiciones y abreviaturas
4. Disposiciones generales
5. Laboratorios
6. Verificación y certificación
7. Sanciones
8. Concordancia con normas internacionales
9. Bibliografía
10. Disposiciones transitorias

1. Objetivo y campo de aplicación

1.1. Esta Norma es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y tiene por objeto establecer las especificaciones técnicas para el control del uso de beta-agonistas en los animales.

1.2. Esta Norma es aplicable a todas las personas físicas y/o morales que participen directamente o indirectamente en la actividad ganadera incluyendo los establecimientos destinados al sacrificio de animales y a todos aquellos que produzcan, manufacturen, fabriquen, maquilen, elaboren, preparen, acondicionen, transporten, trafiquen, comercialicen, importen, suministren y/o utilicen, aun gratuitamente beta-agonistas para y en los animales.

1.3. La vigilancia de esta Norma corresponde a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y a los gobiernos de las entidades federativas y del Distrito Federal en el ámbito de sus respectivas atribuciones y circunscripciones territoriales, de conformidad con los acuerdos de coordinación respectivos.

1.4. La aplicación de las disposiciones previstas en esta Norma compete al Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, a través de la Dirección General de Salud Animal y de la Dirección General de Inspección Fitozoosanitaria; la Coordinación General de Ganadería, así como a las Delegaciones de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y a los Gobiernos Estatales en el ámbito de sus respectivas atribuciones y circunscripciones territoriales.

2. Referencias

Para la correcta aplicación de esta Norma deben consultarse las siguientes normas oficiales mexicanas:

NOM-061-ZOO-1999, Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal.

NOM-008-SCFI-1993, Sistema General de Unidades de Medida.

3. Definiciones y abreviaturas

Para efectos de esta Norma, se entiende por:

3.1. **Acta circunstanciada:** Documento administrativo elaborado por personal facultado, en el que se hace constar circunstancias de tiempo, modo y lugar, relacionados con hechos que pueden tener efectos jurídicos, injerencia de esta Norma.

3.2. **Actividad ganadera:** Conjunto de acciones para la explotación racional de especies animales orientadas a la producción de carne y otras de interés zootécnico, así como su comercialización, con la finalidad de satisfacer necesidades vitales o del desarrollo de la actividad.

3.3. **Animal sospechoso:** Aquel que se considera le fue suministrado algún beta-agonista no autorizado, con base en su conformación física y a la carencia de certificado de libre de beta-agonistas.

3.4. **Autorización:** Acto por el cual la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación otorga a una persona física o moral la posibilidad de realizar una actividad específica, competencia de ésta.

3.5. **Beta-agonista:** Compuesto químico del grupo de los beta-adrenérgicos, que confiere a cualquier producto, dilución o mezcla el carácter farmacéutico específico de los mismos, con efectos de promoción de la masa muscular, reductor de la cantidad de grasa corporal y efectos sobre el aparato respiratorio.

3.6. Comercializar: Vender, comprar, adquirir o enajenar algún beta-agonista.

3.7. Constatación: Procedimiento por el cual el laboratorio oficial o designado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación analiza la presencia de beta-agonistas en las muestras obtenidas para la detección de estos compuestos.

3.8. DGSA: Dirección General de Salud Animal.

3.9. Engordador: Persona física o moral cuya actividad ganadera comprende la engorda y/o finalización de los animales destinados al abasto.

3.10. Explotación pecuaria: Unidad de producción dedicada a la engorda y/o finalización de animales destinados al abasto.

3.11. Laboratorio designado: Establecimiento reconocido por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, para realizar servicios de constatación de la presente Norma.

3.12. Laboratorio oficial: Centro Nacional de Servicios de Constatación en Salud Animal.

3.13. Lote: Grupo de animales pertenecientes a una persona física o moral.

3.14. Médico Verificador: Médico Veterinario oficial de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación o autorizado por la misma, para realizar la constatación documental, física o comprobación mediante muestreo para análisis de laboratorio oficial o designado para el cumplimiento de esta Norma.

3.15. Medidas zoonositarias: Conjunto de disposiciones para asegurar que los animales, sus productos y subproductos no presentan residuos de beta-agonistas.

3.16. Rastro: Establecimiento dedicado al sacrificio y faenado de los animales para abasto. Incluye los privados y los del Servicio Público Municipal ya sea que cuenten o no con la certificación Tipo Inspección Federal.

3.17. Residuo: Es la presencia de un beta-agonista o sus metabolitos en un animal, sus productos y subproductos, determinado por los métodos analíticos oficiales.

3.18. Responsable solidario: Persona física o moral que por omisión se vuelve copartícipe en el incumplimiento de la normatividad y por lo tanto es sujeto a las mismas sanciones que se impongan por incumplimiento al infractor original.

3.19. Secretaría: La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

3.20. SENASICA: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

3.21. Visitado: Persona física o moral sujeta a un proceso de verificación por parte de la Secretaría para comprobar la aplicación de esta Norma.

4. Disposiciones generales

4.1. Con excepción de aquellos productos beta-agonistas que cuenten con el registro y autorización de la Secretaría para su uso o consumo por animales, queda prohibida la producción, manufactura, fabricación, elaboración, preparación, acondicionamiento, transportación, tráfico, comercialización, importación, suministro y/o utilización de los siguientes principios activos como ingredientes activos, aditivos, alimenticios y/o medicamentos en formulación de productos alimenticios destinados para consumo y uso en animales, tales como:

- Bromobuterol
- Carbuterol
- Cimaterol
- Cimbuterol
- Clenbuterol
- Fenoterol
- Isoproterenol
- Mabutrolde
- Mapenterol
- Orciprenaline
- Pirbuterol

- Ractopamina
- Salbutamol
- Terbutaline
- Zilpaterol

La lista anterior tiene una finalidad enunciativa mas no limitativa e incluye a cualquier beta-agonista conocido o de nueva creación.

4.2. La Secretaría, a petición de parte, expedirá la certificación de libre de residuos de beta-agonistas, para los animales de los engordadores que lo soliciten y cumplan con las disposiciones establecidas en esta Norma.

4.3. Para mantener la certificación debe cumplir con el programa de monitoreo establecido en esta Norma. Esta certificación quedará sin efectos cuando se modifiquen las condiciones que dieron origen a la misma.

4.4. Los engordadores que cuenten con la certificación de libre de residuos de beta-agonistas, deben presentar el original y entregar una copia de la certificación de su ganado al comprador y/o administrador del rastro.

4.5. Con el fin de vigilar y supervisar permanentemente las disposiciones previstas en esta Norma, los participantes en la actividad ganadera, deben otorgar las facilidades necesarias al Médico Verificador, para realizar debidamente sus funciones.

4.6. Las personas físicas o morales que participen en la comercialización e introducción del ganado, sus productos y subproductos serán responsables solidarios del engordador.

4.7. La Secretaría promoverá el consumo de carne y productos de origen animal, proveniente de explotaciones pecuarias que cuenten con la certificación de libre de residuos de beta-agonistas.

4.8. Las organizaciones ganaderas, Comités Estatales de Fomento y Protección Pecuaria, engordadores, y otros del subsector pecuario, deben coadyuvar con la Secretaría en la difusión de las disposiciones de esta Norma.

5. Laboratorios

5.1. Para la constatación de la presencia o ausencia de residuos de beta-agonistas en animales, sus productos y subproductos, así como en productos químico-farmacéuticos y alimenticios para uso en animales y consumo por éstos, las muestras deben ser procesadas en el laboratorio oficial y/o designados por la Secretaría para la observancia de esta Norma.

5.2. Los métodos analíticos oficiales para la detección de los beta-agonistas, son cualquiera de los siguientes:

- a) Ensayo inmuno enzimático
- b) Cromatografía de gases
- c) Cromatografía de líquidos de alta resolución

5.3. Los métodos analíticos oficiales establecidos en esta Norma para la detección de beta-agonistas, deben ser validados bajo la supervisión del laboratorio oficial.

5.4. Los resultados de los análisis que emitan los laboratorios designados, deben ser informados exclusivamente a la Secretaría, dicho incumplimiento será sancionado conforme a la Ley Federal de Sanidad Animal.

6. Verificación y certificación

6.1. Verificación.

El cumplimiento de las especificaciones y lineamientos establecidos en esta Norma, será inspeccionado por Médicos Verificadores.

6.1.1. Verificación en Rastros.

Todo establecimiento de sacrificio de animales estará sujeto a un muestreo aleatorio ante y post mortem, mediante lo siguiente:

- a) Durante el desarrollo de la visita a que se refiere el presente punto, el Médico Verificador debe recabar y hacer constar los siguientes datos: identificación de los animales, nombre y ubicación de la explotación pecuaria de origen y nombre del propietario de la explotación pecuaria de origen. La información señalada debe asentarse en el acta circunstanciada correspondiente.

- b) Se debe llevar a cabo el muestreo por lote, considerando el número de animales sacrificados por mes en el rastro.
- c) Las muestras a tomar durante el examen ante mortem de los animales deben ser de pelo, lana o pluma.
- d) Las muestras post mortem se deben tomar de globo ocular, hígado o músculo.

Obtención de muestras:

Los procedimientos de colecta, empaque, registro de datos, documentación requerida y envío de casos al laboratorio oficial o designado, será responsabilidad directa del Médico Verificador.

Se debe evitar contaminación y cambios en la composición y características físicas de las muestras por lo que es importante llevar a cabo un adecuado manejo de las mismas de acuerdo al "Apéndice A" (Normativo).

En animales vivos y sacrificados las muestras se deben tomar por duplicado de acuerdo al siguiente cuadro:

TIPO DE ANIMAL	TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD
Animales vivos	Pelo, lana o pluma	2 gramos aproximadamente.
Animales sacrificados		
- Bovinos, ovinos, caprinos y porcinos	Hígado	200 gramos aproximadamente. Uno
	Globo ocular	
	Músculo	200 gramos aproximadamente. Una
- Aves	Ave completa	

Al visitado se le entregará un tanto de las muestras colectadas y empacadas en forma tal que no sea posible su violación sin dejar huella, similar a las muestras enviadas al laboratorio oficial o designado, de acuerdo a las indicaciones señaladas en el "Apéndice A" (Normativo).

El Médico Verificador debe contar con un registro de las muestras remitidas al laboratorio oficial o designado.

El laboratorio oficial o designado cumpliendo con las disposiciones legales establecidas debe enviar los resultados del análisis a la Delegación de donde proceda la muestra.

En los casos en los que se detecte la presencia de residuos de beta-agonistas, la Delegación debe iniciar el procedimiento administrativo correspondiente y debe aplicar las medidas zoonosanitarias en la explotación pecuaria de origen.

El Médico Verificador podrá tomar muestras de animales sospechosos, para lo cual deberá realizar el procedimiento descrito en este inciso.

6.1.2. Verificación en explotaciones pecuarias, tianguis y exposiciones de ganado, puntos de verificación e inspección zoonosanitaria y/o establecimientos que produzcan, manufacturen, fabriquen, elaboren, preparen, acondicionen, transporten, trafiquen, comercialicen, importen, suministren y/o utilicen productos alimenticios para ganado.

El muestreo se debe realizar de manera aleatoria y de la siguiente manera:

- a) Animales vivos, la toma de muestras se debe realizar de acuerdo a lo señalado en el punto 6.1 de esta Norma.
- b) Alimentos terminados, la verificación se realizará de conformidad con lo establecido en el punto 6, de la Norma Oficial Mexicana NOM-061-ZOO-1999, Especificaciones zoonosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de octubre de 2000.
- c) Cualquier otro producto y subproducto de origen animal, así como los productos químico-farmacéuticos y alimenticios destinados para uso y consumo por animales, debe ser verificado de

acuerdo a las disposiciones que determine la Secretaría en su momento, considerando su forma de presentación.

Al visitado se le debe entregar un tanto de las muestras colectadas y empacadas en forma tal que no sea posible su violación sin dejar huella, similar a las muestras enviadas al laboratorio oficial o designado, de acuerdo a las indicaciones señaladas en el "Apéndice A" (Normativo).

En el acta circunstanciada se deben anotar los datos que permitan correlacionar las muestras tomadas con las muestras recibidas en el laboratorio oficial o designado.

El Médico Verificador debe contar con un registro de las muestras remitidas al laboratorio oficial o designado.

El laboratorio oficial o designado cumpliendo con las disposiciones legales establecidas, debe enviar los resultados del análisis a la Delegación de donde proceda la muestra.

En los casos en los que se detecte la presencia de residuos de beta-agonistas, la Delegación debe iniciar el procedimiento administrativo correspondiente y aplicar las medidas zoonosanitarias procedentes en la explotación pecuaria o establecimiento de origen.

6.2. Certificación.

6.2.1. El engordador debe solicitar en escrito libre a la Delegación de la Secretaría en la entidad federativa correspondiente, a su costa y previo el pago de derechos, la certificación de que su explotación pecuaria, se encuentra libre de residuos de beta-agonistas.

6.2.2. La Delegación debe expedir la orden de visita de verificación al Médico Verificador, para cumplir con lo solicitado.

6.2.3. La determinación del tamaño de muestra se llevará a cabo conforme al cuadro siguiente:

RANGO DE ANIMALES	PORCENTAJE
1-100	2 (mínimo un animal)
101-1000	1
Más de 1000	0.5

6.2.4. Las muestras se deben tomar en animales vivos y por duplicado, de acuerdo al siguiente cuadro:

TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD (aproximada)
Pelo, lana o pluma	2 gramos
Suero sanguíneo y/u orina	5 ml

Al visitado se le debe entregar un tanto de las muestras colectadas, empacadas en forma tal, que no sea posible su violación sin dejar huella, similar a las muestras enviadas al laboratorio oficial o designado, de acuerdo a las indicaciones señaladas en el "Apéndice A" (Normativo).

En el acta circunstanciada se deben anotar los datos que permitan correlacionar las muestras tomadas con las muestras recibidas en el laboratorio oficial o designado.

El Médico Verificador debe contar con un registro de las muestras remitidas al laboratorio oficial o designado.

El laboratorio oficial o designado cumpliendo con las disposiciones legales establecidas debe enviar los resultados del análisis a la Delegación de donde proceda la muestra.

En los casos en los que se detecte la presencia de residuos de beta-agonistas, la Delegación debe iniciar el procedimiento administrativo correspondiente y aplicar las medidas zoonosanitarias en la explotación pecuaria de origen.

6.2.5. Una vez obtenidos los resultados de los análisis del laboratorio oficial o designado, en los casos en que no se haya detectado la presencia de residuos de beta-agonistas, la Delegación que corresponda, debe expedir la certificación correspondiente.

6.2.6. Para continuar siendo sujeto de la certificación referida en el punto anterior, el engordador debe cumplir con el programa de monitoreo periódico, que realicen las Delegaciones de la Secretaría. Un animal será seleccionado al azar de manera mensual, procediendo de acuerdo a lo señalado en el inciso 6.2.4.

6.2.7. La Secretaría puede cancelar la certificación cuando:

- a) Durante una visita de verificación se demuestre el incumplimiento de las normas oficiales mexicanas aplicables.
- b) Se modifiquen las condiciones que dieron origen a la misma.

6.2.8. Para la certificación de lotes o explotaciones pecuarias que emplean un producto beta-agonista autorizado por la Secretaría, las muestras se tomarán dentro del periodo de retiro del producto. Tratándose de porcinos las muestras se tomarán en rastro.

6.3. Medidas Zoonositarias.

Para asegurar el nivel de protección adecuado, la Secretaría debe establecer las medidas zoonositarias, tomando en consideración las características de la zona donde se origina el problema y las de la zona a donde se destinen los animales, sus productos y/o subproductos, así como productos químico-farmacéuticos y alimenticios para animales.

6.3.1. Restricción de la movilización.- Se debe llevar a cabo en animales, sus productos y subproductos, así como en productos químico-farmacéuticos y alimenticios para animales:

- a) Animales.- Cuando se observen animales sospechosos, se debe aplicar la restricción de su movilización en el lugar donde se encuentren, quedando bajo la guarda y custodia del visitado, como medida precautoria. Lo anterior, en tanto se determine la presencia o no de beta-agonistas en los tejidos o fluidos de los animales. Una vez confirmada la presencia de residuos de beta-agonistas, la restricción de la movilización se debe llevar a cabo hasta por 60 días o bien, cuando el poseedor o propietario del ganado demuestre mediante el análisis de laboratorio oficial y/o designado la ausencia de residuos de los mismos.
- b) Productos y subproductos de origen animal, así como productos químico-farmacéuticos y alimenticios para animales. Ante la sospecha de existencia de beta-agonistas en productos no autorizados por la Secretaría se debe aplicar la restricción de su movilización en el lugar donde se encuentre, quedando bajo la guarda y custodia del visitado, como medida precautoria. Lo anterior, en tanto se confirme mediante análisis de laboratorio oficial y/o designado, la presencia de residuos de beta-agonistas. Una vez confirmada su presencia se debe ordenar su destrucción con cargo al poseedor y/o propietario.

7. Sanciones

El incumplimiento a las disposiciones contenidas en esta Norma, se sancionará conforme a lo establecido por la Ley Federal de Sanidad Animal y la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Adicionalmente, ante la presunción de un hecho ilícito, la Secretaría procederá a formular la denuncia correspondiente ante el Ministerio Público Federal.

8. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana de Emergencia no es equivalente con alguna norma internacional al momento de su elaboración.

9. Bibliografía

9.1. H.A. Kuiper, M.Y. Nordam, M.M.H. van Doren-Flipsen, R. Schilt, and A.H. Roos. Illegal use of B-Adrenergic Agonists: European Community. J. Anim. Sci. 1998. 76: 198-207.

9.2. Ley Federal de Sanidad Animal. **Diario Oficial de la Federación.** México, 1993.

9.3. Ley Federal sobre Metrología y Normalización. **Diario Oficial de la Federación.** México, 1999.

10. Disposiciones transitorias

ÚNICA.- Esta Norma entrará en vigor al día siguiente al de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación** y tendrá una vigencia de seis meses, contados a partir del día siguiente de su publicación.

En la Ciudad de México, Distrito Federal, a veintidós de febrero de dos mil dos.- La Coordinadora General Jurídica de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, **Lilia Isabel Ochoa Muñoz.-** Rúbrica.

Apéndice "A" (Normativo)

INSTRUCTIVO DE EMPAQUE, CONSERVACIÓN Y ENVÍO DE MUESTRAS DE TEJIDOS Y ALIMENTOS PARA ANIMALES PARA EL ANÁLISIS DE BETA-AGONISTAS

I. EMPAQUE Y CONSERVACIÓN

1) Músculo, hígado y globo ocular (retina)

Durante la toma, empaque y envío debe cuidarse el no contaminar las muestras especialmente entre diferentes tejidos, fluidos y diferentes animales, casos o lotes.

Una vez obtenidos los tejidos, se envolverán individualmente en papel aluminio, depositándolos en una bolsa de plástico o polietileno, transparente y limpia, de la que se extraerá el aire residual y se sellará con cinta adhesiva o material análogo.

Cada bolsa deberá identificarse individualmente, con los datos indicados en el punto de "identificación de las muestras".

La bolsa identificada debe colocarse en otra bolsa con las mismas características, a la que se extraerá el aire residual y se sellará con cinta adhesiva o material análogo para su envío.

Las muestras que no sean remitidas al laboratorio oficial o designado en un lapso de 72 horas y las muestras de retención, deberá almacenarse y conservarse en congelación.

2) Suero sanguíneo

Durante la toma, empaque y envío debe cuidarse el no contaminar las muestras, especialmente entre las de diferentes animales; asimismo debe cuidarse que los contenedores no se rompan y que las muestras no se derramen.

Después de tomar las muestras de sangre debe separar el paquete globular (coágulo) del suero, y decantar el suero dentro de un tubo de ensayo estéril. El suero decantado será el que se envíe al laboratorio oficial o designado, debiendo colocarse en refrigeración inmediatamente.

Cada muestra deberá identificarse individualmente, con los datos indicados en el punto de "identificación de las muestras".

Las muestras que no sean enviadas al laboratorio oficial o designado en un lapso de 72 horas y las de retención, deberán almacenarse y conservarse en congelación.

3) Orina

Durante la toma, empaque y envío debe cuidarse el no contaminar las muestras especialmente entre las de diferentes animales, debe cuidarse que los tubos de ensayo limpios y estériles, no se rompan o que las muestras se derramen.

Las muestras deben enviarse en recipientes de vidrio o plástico limpios, libres de residuos de sustancias químicas y con tapa de cierre hermético, utilizando un recipiente por cada animal muestreado.

Cada muestra deberá identificarse individualmente, con los datos indicados en el punto de "identificación de las muestras".

Las muestras que no sean remitidas al laboratorio oficial o designado en un lapso de 72 horas y las de retención, deberán almacenarse y conservarse en congelación.

4) Pelo

Las muestras deben enviarse libres de piel, suciedad y otros desechos orgánicos.

Colocar el pelo muestreado en bolsas o sobres de papel cuidando de cerrarlas bien, para que no se abran o se rompan, identificándolas con los datos indicados en el punto de "identificación de las muestras", para posteriormente colocarlas en el interior de una caja para su envío al laboratorio oficial o designado.

Este tipo de muestras no requieren refrigeración, sin embargo deben guardarse en un lugar fresco, evitando posibles contaminaciones.

5) Alimento concentrado y sus ingredientes

Las muestras deben depositarse en bolsas o sobres de papel nuevos, cerrarlas bien, evitando su ruptura y etiquetándolas con los datos indicados en el punto de "identificación de las muestras". Colocarlas en un lugar fresco y seco para su envío.

Este tipo de muestras puede conservarse a temperatura ambiente, teniendo cuidado de evitar que se humedezcan y cuidando que no se presenten condiciones que den lugar a procesos de fermentación o contaminación por microorganismos o plagas.

II. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Cada muestra deberá identificarse individualmente, con los siguientes datos:

- Nombre del solicitante o responsable del caso
- Tipo de muestra (tejido o producto)
- Número de caso
- Número de lote
- Fecha de colecta de la muestra
- Hora de la toma de la muestra
- Fecha de envío de la muestra
- Hora del envío de la muestra

Se puede utilizar un número clave para cada una, acompañando el envío con un registro que contenga los datos señalados para cada muestra.

III. EMPAQUE Y ENVÍO DE MUESTRAS

Para el transporte, las muestras de tejidos y fluidos deberán colocarse en una caja refrigerador, por ejemplo de unicel o cualquier otro material inocuo, que permita conservar la muestra a temperatura de refrigeración o congelación. Las muestras deben acompañarse de refrigerantes o hielo seco que se colocará alrededor de las muestras a efecto de que se conserven en buenas condiciones durante el transporte.

En el caso de muestras de pelo, alimentos para animales o sus ingredientes, pueden conservarse a temperatura ambiente, teniendo cuidado de evitar que se humedezcan o se presenten condiciones que den lugar a procesos de fermentación o contaminación por microorganismos o plagas.

Una vez cerrado el paquete deberá sellarse de tal forma que no sea posible su violación sin dejar huella.

En la superficie de la caja o paquete, debe adherirse una etiqueta con los siguientes datos del remitente:

- Razón social
- Domicilio con código postal
- Número del teléfono y fax
- Nombre del responsable

A los lados de la caja deberán incluirse las siguientes leyendas: "Manéjese con cuidado y manténgase en refrigeración".

IMPRESA ANHER

IMPRESIONES & ENCUADERNACIONES

FRAY PEDRO DE GANTE No. 118-D
TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

