



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ZOOTÉCNIA**

**TRABAJO DE TITULACION**  
**TIPO: TRABAJOS EXPERIMENTALES**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

“EFECTO DEL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO (RFI) SOBRE LA  
FERTILIDAD EN TORETES ANGUS Y HEREFORD EN EL ESTADO DE  
CHIHUAHUA, MÉXICO”

**AUTOR:**

LUIS ANDRÉS TELLO FLORES

**Riobamba – Ecuador**

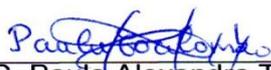
**2017**

Este trabajo de titulación fue aprobado por el siguiente Tribunal



---

Dr. Nelson Antonio Duchí Duchí, Ph.D  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



---

Ing. M.C. Paula Alexandra Toalombo Vargas.  
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**



---

Ing. M.C. Edwin Rafael Oleas Carrilo  
**ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

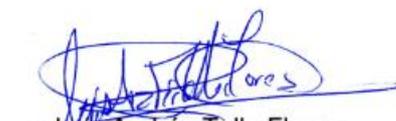
Riobamba, 27 de octubre de 2017.

## **AUTENTICIDAD**

Yo, Luis Andrés Tello Flores con C.I. 060403360-5 declaro que el presente trabajo de titulación, es de mi autoría, y que los resultados del mismo son auténticos y originales, los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 27 de octubre del 2017.



Luis Andrés Tello Flores

## DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo . En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Luis Andrés Tello Flores

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios por haber guiado mis pasos, en segundo lugar, un agradecimiento sincero a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias Pecuarias por abrirme sus puertas y brindarme una sólida formación profesional, al a Ingeniera Paula Toalombo, Directora de Tesis por brindarme su apoyo incondicional y conocimientos, de igual manera al Dr. Nelson Duchi Ph.D. y al Ing. Edwin Oleas como miembros del tribunal.

Un agradecimiento muy especial a mis tíos a los Doctores Iván y Luis Flores Ph.D. por su apoyo y consejo constante y al Ingeniero Hipólito Hernández como formador de conocimiento en Chihuahua, México.

*Luis Andrés Tello Flores*

## DEDICATORIA

Es fácil llegar primeros lo difícil es mantenerse, la constancia y el esfuerzo dedicado jamás se perderá en el espacio de la razón y corazón.

Al finalizar esta etapa de mi vida dedico este trabajo a muchas personas en especial a mis padres Jaime Tello y Mónica Flores que fueron los impulsores de este sueño y meta cumplida, a mí hermano Sebastián que nunca perdió la fe en mí, a mis abuelos Jaime Tello, Visitación Tello, Arnaldo Flores y Gladys Mancheno+ que siempre estuvieron cuando más los necesite.

*Luis Andrés Tello Flores*

## CONTENIDO

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Lista de cuadros	vii
Lista de gráficos	viii
Lista de anexos	ix
<b>I. <u>INTRODUCCIÓN</u></b>	<b>1</b>
<b>II. <u>REVISIÓN DE LITERATURA</u></b>	<b>3</b>
<b>A. BOVINOS</b>	<b>3</b>
1. <u>Escala Zoológica</u>	4
2. <u>Razas</u>	4
3. <u>Características Raciales</u>	5
4. <u>Razas para Carne</u>	5
a) Razas <i>Bostaurus</i>	5
5. <u>Raza Angus</u>	5
6. <u>Raza Hereford</u>	6
<b>B. CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO (RFI)</b>	<b>7</b>
1. <u>Consumo residual de alimento (RFI) en bovinos</u>	7
<b>C. ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL APARATO REPRODUCTOR DEL TORO</b>	<b>9</b>
<b>D. PRUEBAS DE FERTILIDAD EN TORETES</b>	<b>10</b>
1. <u>Método de Extracción de Semen Bovino</u>	10
a) Método del Electroeyaculador	10
b) Colocación del electroeyaculador en el toro	11
c) Régimen de recolección de semen	12
2. <u>Evaluación seminal</u>	13
a) Valoración del eyaculado bovino	13
b) Valoración macroscópica: color, olor y volumen	14
c) Ph	15
d) Índices bioquímicos	16
e) Concentración espermática	16
f) Motilidad espermática	18
g) Motilidad Masal	18
h) Motilidad progresiva o individual	19

E.	SISTEMA DE EVALUACIÓN SEMINAL CASA (SCA)	19
1.	<u>Instrumentación</u>	20
a)	Sperm Class Analyzers (SCA)	20
b)	Análisis de concentración y movilidad	20
c)	Categorías, por velocidad, rectitud y linealidad	21
d)	Análisis de morfología	22
<b>III.</b>	<b><u>MATERIALES Y MÉTODOS</u></b>	<b>24</b>
<b>A.</b>	<b>LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO</b>	<b>24</b>
1.	<u>Condiciones meteorológicas</u>	24
<b>B.</b>	<b>UNIDADES EXPERIMENTALES</b>	<b>24</b>
<b>C.</b>	<b>MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES</b>	<b>25</b>
1.	<u>Materiales</u>	25
2.	<u>Equipos</u>	25
3.	<u>Instalaciones</u>	25
<b>D.</b>	<b>TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL</b>	<b>26</b>
<b>E.</b>	<b>MEDICIONES EXPERIMENTALES</b>	<b>26</b>
<b>F.</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA</b>	<b>26</b>
<b>G.</b>	<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b>	<b>26</b>
<b>H.</b>	<b>METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN</b>	<b>27</b>
1.	<u>Peso al destete, kg</u>	27
2.	<u>Peso al inicio de la prueba, kg</u>	27
3.	<u>Peso al final de la prueba, kg</u>	27
4.	<u>Ganancia diaria promedio, kg</u>	28
5.	<u>Consumo diario, Kg</u>	28
6.	<u>Conversión alimenticia</u>	28
7.	<u>Circunferencia Escrotal, cm</u>	28
8.	<u>Volumen de eyaculado, mm</u>	28
9.	<u>Motilidad espermática, %</u>	28
10.	<u>RFI Calculado</u>	29
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>30</b>
<b>A.</b>	<b>COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE TORETES ANGUS Y HEREFORD</b>	<b>30</b>
1.	<u>Peso al destete, kg</u>	30
2.	<u>Peso inicial ajustado, kg</u>	31
3.	<u>Peso final ajustado, kg</u>	32

4.	<u>Ganancia diaria de peso, kg</u>	33
5.	<u>Consumo diario de materia seca, kg</u>	33
6.	<u>Conversión alimenticia</u>	34
7.	<u>Consumo residual de alimento, kg</u>	35
<b>B.</b>	<b>VARIABLES REPRODUCTIVAS DE TORETES ANGUS Y HEREFORD</b>	36
1.	<u>Circunferencia escrotal, cm</u>	36
2.	<u>Volumen de eyaculado, ml</u>	38
3.	<u>Motilidad estática, %</u>	38
4.	<u>Motilidad progresiva, %</u>	39
5.	<u>Motilidad móvil, %</u>	39
<b>C.</b>	<b>EFFECTO DEL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO SOBRE LAS VARIABLES REPRODUCTIVAS</b>	40
1.	<u>Correlaciones entre el consumo residual de alimento y las variables reproductivas</u>	40
2.	<u>Consumo residual de alimento y motilidad estática</u>	42
3.	<u>Consumo residual de alimento y motilidad móvil</u>	44
<b>V.</b>	<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	47
<b>VI.</b>	<b><u>RECOMENDACIONES</u></b>	48
<b>VII.</b>	<b><u>LITERATURA CITADA</u></b>	49
	<b>ANEXOS</b>	

## RESUMEN

En el Complejo Palomas de la Unión Ganadera Regional de Chihuahua, México, se evaluó el efecto del consumo residual de alimento, sobre la fertilidad de 20 toretes de la raza Angus y 20 toretes de la raza Hereford. Las diferentes variables se evaluaron a través del estadístico T de Student, regresiones y correlaciones, utilizando el software estadístico IBM SPSS v21. Los resultados no mostraron diferencias estadísticas entre razas ( $P>0,05$ ) para el peso al destete de la raza Angus (228,0 kg), respecto a la raza Hereford (213,0 kg), para la ganancia diaria de peso Angus (2,0 kg) Hereford (2,0 kg); para la conversión alimenticia Angus (6,0) Hereford (6,0); y para el consumo residual de alimento (-0,15 kg) Hereford (-0,16 kg). Sin embargo, si se encontraron diferencias estadísticas ( $P<0,05$ ) para las variables peso inicial Angus (320,0 kg) Hereford (284,0 kg); peso final Angus (449,0 kg) Hereford (406,0 kg); y para el consumo diario de materia seca Angus (12,0 kg), Hereford (10,0 kg). Respecto a las variables reproductivas no se reportaron diferencias significativas entre razas ( $P>0,05$ ) para el volumen de eyaculado Angus (1,61 ml) Hereford (2,35 ml); y motilidad progresiva Angus (32,91 %) Hereford (32,44 %). En cambio, se reportaron diferencias significativas para la circunferencia escrotal Angus (34,35 cm) Hereford (31,80 cm); motilidad estática Angus (40,0 %) Hereford (30,5 %); y para la motilidad móvil Angus (61,74 %) Hereford (69,53 %). En conclusión, los toros con alimentación eficiente mostraron disminución de fertilidad, cuando se compara con toros con alimentación menos eficientes.



## ABSTRACT

In the Palomas complex of a Regional Livestock Union of Chihuahua, Mexico, the residual consumption of food was evaluated, on the fertility of 20 bulls of the Angus race and 20 bulls of the Herford race. The different variables were evaluated through the Student T statistical, regressions and correlations, using the statistical software IBM SPSS v21. The results showed no statistical differences between breeds ( $P > 0.05$ ) for the weaning weight of the Angus breed (228.0 kg), compared to the Hereford breed (213.0 kg), for the daily gain of weight Angus (2.0 kg) Hereford (2.0 kg), for the feed conversion Angus (6.0) Hereford (6.0); and for residual food consumption (-0.15) Hereford (-0.16 kg). However, if statistical differences were found ( $P < 0.05$ ) for the initial weight variables Angus (320.0 kg) Hereford (284.0 kg); final weight Angus (449.0 kg) Hereford (406.0 kg), and for daily consumption of dry matter Angus (12.0 kg), Hereford (10.0 kg). Regarding the reproductive variables, no significant differences were reported between races ( $P > 0.05$ ) for the volume of ejaculate Angus (1.61 ml) Hereford (2.35 ml), and progressive motility Angus (32.91%) Hereford (32.44%). Significant differences were reported for scrotal circumference Angus (34.35 cm) Hereford (31.80 cm); Angus static motility (40.0%) Hereford (30.5%); and for mobile motility Angus (61.74%) Hereford (69.53%). In conclusion, bulls with efficient feeding showed decreased fertility, when compared with bulls with less efficient feeding.



**LISTA DE CUADROS**

N°	Pág.
1. RELACIÓN ENTRE EL COLOR DEL SEMEN RECOLECTADO Y SU CONCENTRACIÓN (ESP/ML).	14
2. CONDICIONES METEREOLÓGICAS	24
3. EFECTO DEL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO (RFI) EN VARIABLES PRODUCTIVAS.	30
4. EFECTO DEL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO (RFI) EN VARIABLES REPRODUCTIVAS.	37
5. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON, PARA EL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO Y VARIABLES REPRODUCTIVAS.	41

**LISTA DE GRAFICOS**

N°		Pág.
1	Regresión de la motilidad estática y el consumo residual de alimento.	43
2	Regresión de la motilidad móvil y el consumo residual de alimento.	46

## LISTA DE ANEXOS

N°

1. Masaje de estimulación de la próstata por vía rectal.
2. Electro eyaculador.
3. Estimulación por electro eyaculador.
4. Recolección de semen.
5. CámaraLeja.
6. Evaluación seminal en el sistema automatizado CASA.
7. Análisis de laboratorio de fertilidad.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La FAO ha estimado que la demanda global de alimentos se incrementará en un 70% al 2050 para soportar un crecimiento poblacional (9,1 billones de habitantes aproximadamente). Estas estimaciones proyectan un crecimiento poblacional desmedido, y un decrecimiento en la economía mundial, por lo que el acceso a una alimentación de calidad será cada vez más limitado; según estimaciones realizadas la demanda anual de carne aumentará por encima de 200 millones de toneladas métricas en el 2050 (FAO. 2009).

El consumo de carne de res, según estimaciones de la FAO es de 15,5 Kg/persona. En el hemisferio americano de 33 kg/persona y a la UE, 18,9 kg/persona; estas demandas de proteína de origen animal crecerán desmedidamente y no será posible satisfacer esta demanda (Zartha, J. *et al.* 2015).

La FAO (2013) reportó que la producción mundial de carne en 2011 fue de 593 millones de Tm, mientras que en 2000 de 458 millones de toneladas métricas: 27,7% de cerdo; 17,2% de pollo; 11,6% bovino; 1,7% ovino; 1,2 % caprino y el resto otras. Asia aportó 41,9%, América 31,6% (Callejas, M. *et al.* 2014).

La ganadería bovina en México se desarrolló durante décadas, a través de un modelo extensivo con un fuerte impacto ecológico. Su crecimiento y rentabilidad se fundaron en la extensión de la superficie de pastoreo. Sin embargo, la continua fragmentación de unidades de producción tiene impactos negativos en el sistema productivo (Callejas, M. *et al.* 2014).

La ganadería bovina, en Chihuahua, es propicia bajo el sistema de pastoreo extensivo, que consiste en utilizar grandes extensiones de agostaderos, inversiones en pie de cría, bajos insumos, reducido capital fijo y mínima fuerza de trabajo (Callejas, M. *et al.* 2014).

La producción de carne en corral, implica la provisión de un ambiente artificial en el que los animales se colocan en un área confinada y obligados a consumir una

dieta pre-determinada para el propósito de la producción. En sistemas de producción estabulados, el de bovinos carne utiliza 3,70 veces menos alimento que en pastoreo para producir la misma cantidad de carne (Callejas, N. *et al.* 2017).

Grandes esfuerzos han sido tomados en los últimos años para mejorar la eficiencia alimenticia en el ganado vacuno. A pesar de que existen varios estudios sobre factores relacionados con este rasgo, se sabe poco sobre las relaciones potenciales entre la fertilidad y el ganado vacuno (Awda, B. *et al.* 2013).

Todos los años, antes de comenzar el servicio, es fundamental, realizar en todos los toros del rodeo, una minuciosa revisión, denominada "Examen de fertilidad". El hecho de tener excelentes porcentajes de preñez no nos exime de la revisión de los toros. Es más, gracias a realizar esto, sumado a otros factores, es lo que le permitirá al criador mantener elevadas tasas de preñez a lo largo de muchos ciclos reproductivos (Awda, B. *et al.* 2013).

A pesar del hecho de que el plano de la nutrición es importante para asegurar la fertilidad del toro (no hay pruebas que indiquen que los rasgos de rendimiento pueden ser antagónicas. Esta información indica que las mejoras genéticas en la eficiencia de los piensos deben estudiarse cuidadosamente para evitar posibles efectos negativos sobre la fertilidad. Por lo tanto, las relaciones entre la eficiencia de los piensos (RFI) y de indicadores de fertilidad (circunferencia escrotal, y la calidad del semen de toros de carne) en los jóvenes.

Por lo señalado se planteó los siguientes objetivos:

- Determinar si existe una correlación entre el consumo residual de alimento y la fertilidad en toretes Angus y Hereford al final de una prueba de comportamiento de 70 d.
- Examinar la relación entre el RFI e indicadores de fertilidad (circunferencia escrotal y calidad seminal) en toretes Angus y Hereford.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### A. BOVINOS

Rafaelli, P. *et al.* (2012), comenta que el ganado bovino ha desempeñado un papel fundamental en la vida del ser humano. Se sabe desde los tiempos más remotos, los primitivos, mediante la cacería, aprovechaban la carne, las pieles y los huesos de estos animales. En el continente americano, los bovinos existen desde la llegada de los españoles. En 1493, en el segundo viaje de Cristóbal Colón, llegó el primer embarque de vacunos para proveer de alimento a los colonizadores.

La inquietud del ser humano al observar los beneficios que podía obtener de los bovinos, lo ha llevado a realizar diferentes cruces para mejorar los resultados en la producción y conformación de los animales. Para alcanzar estos objetivos, se ha valido de ciencias como la genética y, al mismo tiempo, ha tenido que mejorar los sistemas de alimentación y de manejo sanitario, tema más conocido como interacción genotipo/ambiente. Los países que han profundizado más en la selección de animales de alta producción son: Inglaterra, Holanda, Suiza, Alemania, Francia, Estados Unidos y Canadá. Es así como alrededor de la ganadería se ha creado una gran industria, de la cual se obtienen beneficios como:

- Empleo de los desechos orgánicos como el estiércol y la orina, que son utilizados para preparar abonos orgánicos que mejoran la calidad y fertilidad del suelo.
- Producción de alimentos de gran interés nutritivo (carne y leche), los cuales se utilizan industrialmente para la elaboración de otros productos con fines de comercialización y bienestar del ser humano.
- La utilización de subproductos de cosecha (algodón, caña de azúcar, oleaginosas, entre otras) para la alimentación del ganado.
- El uso de tierras no aptas para el cultivo”.

## 1. Escala Zoológica

La siguiente reseña indica la posición básica del bovino domesticada en la escala zoológica:

- **“Reino animal:** animales en forma colectiva
- **Tipo Cordado:** Uno de los veintiún tipos, aproximadamente del reino animal, en los cuales hay una columna vertebral un rudimento de ella la ceda dorsal.
- **Clase mamíferos:** animales de sangre caliente con pelo que paren a sus crías vivas y las amamantan durante un periodo variable.
- **Familia bovinos:** rumiantes que tienen placenta policotiledónea, cuernos huecos no deciduos, doblados hacia arriba y la presencia casi universal de la vesícula biliar.
- **Genero Bos:** cuadrúpedos rumiantes, es decir bovinos en estado salvaje y doméstico, que se distinguen por su cuerpo robusto y cuernos huecos y curvados que parten lateralmente del cráneo.
- **Especie *Bos Taurus*:** incluye a los antecesores del bovino europeo y de la mayoría de cuantos se encuentran en EE.UU.
- **Especie *BosIndicus*:** está representado por el bovino con joroba y de la India y de África y por la raza de brahmán de EE.UU.

## 2. Razas

Acosta, C. (2002), dice “cada raza es una población de individuos que resulta luego de diversos cruces o mezclas de animales, pero que tienen unas características externas, morfológicas y fisiológicas similares”.

### **3. Características Raciales**

Se entiende por fenotipo el grupo de características que ofrece el animal tanto en su apariencia externa (color del pelaje o capa, conformación, alzada, etcétera), como en su producción (producción de leche, calidad de la leche, velocidad de crecimiento, calidad de la carne, etcétera). Se conoce como genotipo el conjunto de genes (los cuales llevan la información hereditaria) que un individuo es capaz de transmitir a sus hijos o descendientes” (Rafaelli, P. *et al.* 2012).

### **4. Razas para Carne**

Aunque todas las razas bovinas rinden carne y su fin es siempre el matadero, se prefieren algunas razas por ser más ventajosas en la calidad de la carne que de ellas se obtiene, en los rendimientos de las canales y, en general, en la precocidad elevada. En el grupo de las razas para carne se mencionarán aparte aquellas que pertenecen al grupo Bosindicus y las del grupo Bos Taurus (Rafaelli, P. *et al.* 2012).

#### **a) Razas *Bostaurus***

Estas razas, originarias del llamado Viejo Continente, son reconocidas en todo el mundo por sus altos rendimientos cárnicos y la precocidad de las crías. Proviene principalmente de Inglaterra, Francia e Italia y han sido la base para la creación de nuevos tipos raciales en países como Estados Unidos. Las principales razas son las siguientes: la francesa Charolaise las italianas Chianina y Romagnola; y aquellas razas de reciente formación: Santa gertrudis, Beef master, Brangus, entre las más mencionadas” (Rafaelli, P. *et al.* 2012).

### **5. Raza Angus**

Los ejemplares de esta raza son negros y sin cuernos (“polled”). Las vacas maduras, de rebaños comerciales, pesan alrededor de 450 -500Kg, y tienen una mayor producción de leche que la raza Hereford, la otra raza británica más distribuída en el mundo. Las hembras Angus superan a otras razas de carne en fertilidad y facilidad de parto. La raza es casi pura para la característica “polled”, y se puede esperar que los toros Angus originen el 100% de las crías sin cuernos. La pigmentación oscura de la piel provee de alguna resistencia contra el cáncer de ojo y la queratoconjuntivitis, que afectan en mayor medida al Hereford (Pereyra, P. *et al.* 2015).

Los terneros Angus tienen un peso de nacimiento de 35 – 38kg, engordan rápidamente, y poseen más grasa intramuscular (“marbling”) que otras razas de carne, lo que significa que su calidad de carne es a menudo mayor que la de otras razas. Por esta razón, en E.E.U.U. muchos industriales pagan un precio mejor por novillos Angus o cruza de Angus con otras razas. En Chile, los novillos Angus se han faenado entre los 400 – 450kg, y las vaquillas, entre los 350-400 kg. Esto contrasta con la realidad de E.E.U.U. donde se faenan de 550 kg (Pereyra, P. *et al.* 2015).

La docilidad del ganado Angus es considerada tan buena o mejor que la de la mayoría de las razas exóticas europeas, pero no tan dócil como el Shorthorn o Hereford. En general, la raza es relativamente libre de defectos como ubres pendulosas, pezones hinchados y prolapsos uterinos. Esta raza porta un gen recesivo para color rojo en una baja frecuencia (menos del 10%). Cuando dos Angus portadores del gen rojo se aparean, hay un 25% de probabilidad de que la cría que nazca sea de color rojo. En E.E.U.U., los criadores de Angus Rojo trabajan en forma separada del Angus negro y tienen su propia asociación (Pereyra, P. *et al.* 2015).

## **6. Raza Hereford**

El país de origen de esta raza es Gran Bretaña. Se caracteriza por su notable capacidad para el aprovechamiento de pastos y forrajes, se adapta fácilmente a las llanuras semiáridas, sus extremidades son de tamaño adecuado y su cuerpo

de líneas suaves y moderadamente largo, se distingue por el color rojizo de su cuerpo y su cara blanca (Pereyra, P. *et al.* 2015).

## **B. CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO (RFI)**

El Consumo de alimento residual (RFI, sigla tomada del inglés Residual FeedIntake) es actualmente reconocida como una medida de selección por eficiencia precisa, ya que, a diferencia del criterio de selección por conversión alimenticia (unidad de alimento consumido por unidad de ganancia de peso), tiende a elegir animales de menores consumos y/o menores requerimientos de mantenimiento, sin alterar el peso adulto o las ganancias de peso (Peñagaricano, F. *et al.* 2015).

El RFI, además de ser fenotípicamente independiente del tamaño y del crecimiento (por su definición), presenta características interesantes para ser usado en selección: es moderadamente heredable, 0,28 a 0,58 presenta variación genética dentro de poblaciones y entre diferentes rodeos se mantiene a lo largo de la vida del animal (alta correlación entre RFI medido en hembras postdestete y en las mismas hembras adultas,) y presenta mínimos antagonismos con otras características de importancia económica). Sin embargo, una de las principales limitaciones para la adopción de esta medida como criterio de selección fenotípica es el alto costo (en tiempo y dinero) que insume su medición. El RFI es una característica poligénica en la que intervienen numerosos genes (Peñagaricano, F. *et al.* 2015).

### **1. Consumo residual de alimento (RFI) en bovinos**

El consumo de alimento se podría ajustar para el peso corporal y el aumento de peso (o cualquier otro disipador de rasgo de producción o energía identificado), particionar eficazmente el consumo de alimento en 2 componentes:

- El consumo de alimento esperado para el nivel dado de producción;
- Una porción residual.

La porción residual de la ingesta de alimento se puede utilizar para identificar a los animales que se desvían de su consumo de alimento esperado, con los animales eficientes que tienen valores más bajos (negativo) RFI.

Por lo tanto, el consumo de alimento residual se define como la diferencia entre el consumo de alimento real de un animal y su consumo de alimento esperada en función de su tamaño y el crecimiento durante un período especificado. El cálculo del RFI requiere la estimación del consumo de alimento se esperaba. Esto se puede predecir a partir de los datos de producción mediante el uso de alimentación de normalización fórmulas (por ejemplo, la NRC, 1996), o por regresión utilizando datos de prueba de alimentación real (Merchan, J. 2015).

Aunque las correlaciones genéticas entre las diferentes formas de RFI pueden ser altos, sus relaciones con otros rasgos pueden ser diferentes.

Para este trabajo, se utilizarán sólo los datos de RFI calculada por regresión, ya que este procedimiento hace RFI fenotípicamente independiente de las características de producción utilizados para calcular el consumo de alimento esperada, y así permite la comparación entre los individuos que difieren en el nivel de la producción durante el periodo de medición. La independencia de RFI de la producción ha llevado a algunos autores a sugerir que RFI puede representar variación inherente en los procesos metabólicos básicos que determinan la eficiencia (Merchan, J. 2015).

Índice de conversión, que se define como el consumo de alimento por unidad de ganancia de peso, se ha utilizado tradicionalmente como una medida de eficiencia de la alimentación, y será utilizado de vez en cuando como comparación con RFI en este documento. Para ambos caracteres, animales eficientes tienen los valores más bajos en relación a los animales ineficientes (Merchan, J. 2015).

### **C. ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA DEL APARATO REPRODUCTOR DEL TORO**

El aparato reproductivo del toro va a tener dos funciones principales: Uno, la producción de las células masculinas encargadas de fertilizar a la célula femenina y que se llaman espermatozoides y dos, depositar estos espermatozoides en el lugar apropiado del aparato reproductor de la hembra; entonces, todas las partes del ART contribuyen a que dicho proceso se lleve a cabo en forma adecuada. El ART está conformado básicamente por tres partes (De la Torre, J.1999).

La primera consiste en los dos órganos sexuales primarios que son los testículos; estos son dos cuerpos de forma ovalada, que se encuentran fuera del cuerpo del toro, suspendidos en una bolsa de piel denominada escroto; los testículos de un toro maduro, miden de 10 a 12 cm de largo, por 5 a 6,5 cm. de grosor y pesan alrededor de 500 g. A la palpación, los testículos se sienten de una consistencia turgente y firme, es decir no son ni de consistencia aguada ni tampoco deben estar muy duros, como empedernidos (De la Torre, J. 1999).

Por dentro los testículos contienen miles de pequeños tubos, donde se lleva a cabo la producción de los espermatozoides; también Rumen Pene Uretra Conducto deferente Testículo Escroto Epidídimo Glándulas Bulbo - uretrales o Músculo retractor del pene ahí se encuentran las células encargadas de producir una sustancia llamada hormona testosterona, gracias a la cual el toro desarrolla sus características masculinas y tiene deseos de montar hembras (De la Torre, J. 1999).

La segunda está conformada por un sistema de conductos que van a ser los encargados de llevar a los espermatozoides desde los testículos, hasta su salida al exterior, cuando el toro eyacula (se entiende por eyaculado cuando el toro expulsa por el orificio del pene, semen masturba). Estos conductos, empezando desde la salida del testículo hasta el pene, se llaman: Vasos eferentes, epidídimo, vasos deferentes ámpula de Henle, la uretra y el pene (De la Torre, J.1999).

La tercera y última parte, la conforman un conjunto de glándulas accesorias, que son las encargadas de producir sustancias con propiedades de preservar vivos a los espermatozoides y que en su conjunto se les da el nombre de plasma seminal. Estas glándulas son las vesículas seminales, la próstata y las glándulas bulbo uretrales. El plasma seminal se mezcla con los espermatozoides, durante el camino de salida de estos, en el lugar conocido como ámpula de Henle, entonces cuando se mezclan los Espermatozoides y el plasma seminal, se tiene el semen y eso es lo que el toro va a eyacular(De la Torre, J.1999).

## **D. PRUEBAS DE FERTILIDAD EN TORETES**

### **1. Método de Extracción de Semen Bovino**

#### **a) Método del Electroeyaculador**

Este método se hace uso de un electro eyaculador que no es más que un electrodo conectado a una batería que genera estimulaciones rítmicas provocadas por descargas no mayores a 20 voltios(Rangel, P. 2007).

Los electros eyaculadores están diseñados para estimular los nervios pélvicos simpáticos y parasimpáticos con impulsos de bajo voltaje y amperaje y de esta forma pueden inducir erección peneana y eyaculación. Un sistema de electroeyaculación está constituido por los siguientes componentes: la caja de transporte, la sonda rectal, la unidad de control, el cargador de batería, el cable de energía, el cable de conexión de la sonda, el mango, el cono y el envase de colección.

La técnica de electroeyaculación consiste en dar pulsos eléctricos muy leves en la próstata y vesículas seminales para que el animal presente erección y eyaculación.

La utilización del electroeyaculador, como método para la recolección de semen, la eyaculación es un proceso bifásico, primero ocurre la emisión y continúa con la

erección y la eyaculación propiamente dicha. Cuando se produce la estimulación adecuada, esta viaja vía nervio pudendo interno hacia los centros lumbosacros de la columna vertebral, desde allí parte la respuesta vía nervios simpáticos lumbares (nervio erigente del plexus hipogástrico), lo cual estimula la contracción de la musculatura lisa que recubre la próstata, glándulas vesiculares y conductos deferentes, asegurando la progresión de la masa espermática hacia la uretra pélvica (emisión)(Morillo,M. *et al.*, 2012).

La respuesta nerviosa viaja vía nervios parasimpático para provocar la contracción de la musculatura estriada del tracto uretral (músculo isquiocavernoso, bulbo esponjoso y uretral), lo cual que resulta en la erección del pene y la eyaculación propiamente dicha. Antes de la utilización del electroeyaculador se procede a la preparación del animal, lo cual incluye: recortar los pelos del orificio prepucial y limpiarlo, si es necesario se debe lavar y secar cuidadosamente el área. Un ayudante procede a limpiar el recto y a estimular mediante masaje transrectal las glándulas accesorias (glándulas vesiculares y ampollas de los conductos deferentes) y, posteriormente, se introduce el electrodo adecuado(Morillo,M. *et al.* 2012).

#### **b) Colocación del electroeyaculador en el toro**

Primero se asegura que las tres líneas metálicas o electrodos ubicados ventralmente, estén limpios y libres de corrosión. Posteriormente se retira el exceso de heces del recto, se levanta la cola del toro hasta hacerla horizontal, se lubrica el electrodo y se introduce en el recto, dirigiéndolo ligeramente hacia abajo y haciendo movimientos rotatorios. Una vez insertado completamente el electrodo, se coloca la cola en el medio del mango (en forma de “U”) de este y se sujeta con la misma mano que sujetaba la cola. Cuando se utiliza la electroeyaculación se inician los estímulos a mínima intensidad y rítmicamente se incrementa, de acuerdo con la reacción del animal, cada estímulo debe durar menos de un segundo y se deben aplicar entre cinco y 10 estímulos por cada grado de intensidad. Las reacciones son muy variables entre animales y aun en el mismo animal(Morillo,M. *et al.*, 2012).

Para la extracción de semen por electroeyaculador se recomienda tener una manga de 76 cm de ancho que puede albergar a la mayoría de los animales grandes. Se debe colocar detrás del individuo un poste fuerte a una altura ideal entre 71 y 76 cm y otro a 30 cm del suelo como corrector durante el procedimiento, dado que es posible que los animales pierdan el equilibrio. Si es posible los animales deben estar parados libremente y la manga debe tener un buen piso. Los animales que son agarrados de la cabeza, comúnmente se arrodillan y luego durante la electroeyaculación se echan, y en estos casos un cinturón por debajo del tórax puede ser de utilidad (Pezzone, N. 2008).

Es muy importante destacar que la cantidad de estimulación debe ser estimada a través de las respuestas del animal y no prestando atención al voltaje del equipo. La primera estimulación debe ser pequeña hasta que el macho demuestre una mínima respuesta. Las estimulaciones sucesivas deben ir siendo incrementadas, con una duración de uno o dos segundos y luego discontinuarse por medio segundo antes de comenzar con la siguiente estimulación. El fluido pre-seminal no debe recolectarse porque diluye el eyaculado y puede originar falsos resultados. Cuando éste comienza a tornarse más opaco y espeso comienza la colección en el cono o tubo de examinación colocado directamente en el pene (Pezzone, N. 2008).

### **c) Régimen de recolección de semen**

El intervalo de recolección de semen es de suma importancia, debido a que una alta frecuencia puede afectar la concentración espermática y la madurez de los espermatozoides. Por el contrario, una baja frecuencia de colección puede afectar la motilidad espermática y su vitalidad (Morillo, M. *et al.* 2012).

El recolector debe ser capaz de reconocer la fracción pre-espermática y sólo recolectar la segunda fracción rica en espermatozoide. Para la recolección del eyaculado se utiliza un aparato, el cual consiste en un aro de plástico con mango que sostiene un embudo de látex o plástico y un tubo graduado para la recolección del eyaculado, este último se protege con un envase plástico y agua a 37 ° C (Morillo, M. *et al.* 2012).

Se debe tener preparado con anticipación el material a utilizar para la recolección del semen (un embudo colector que conducirá el semen a una bolsa estéril o tubo de ensayo estéril). La primera porción del eyaculado incolora no se debe colectar, se colectará cuando sea de color cremoso u opalescente. Posteriormente de haberlo recolectado se evitará que los rayos de luz le den directamente, mientras se traslada al laboratorio(Rangel, P.2007).

Si se cuenta con reproductores de alto valor genético y se desea obtener el mayor número de dosis de semen de alta calidad a fin de transmitir esas cualidades a un mayor número de descendientes, se dispone de dos recursos para aumentar el número de espermatozoides recogidos por unidad de tiempo, ellos son: la preparación sexual previa a la colección, cuyas ventajas son reconocidas y el aumento de la frecuencia de eyaculación(Morillo,M. *et al.* 2012).

## **2. Evaluación seminal**

### **a) Valoración del eyaculado bovino**

El conocimiento de la fertilidad o de la capacidad fecundante de cada toro es uno de los principales objetivos en la producción de semen bovino. De una cuidadosa valoración de la fertilidad dependerá la utilización futura del material seminal y el grado de aprovechamiento de los eyaculados obtenidos a lo largo de su vida reproductiva. Es decir, las dosis producidas por eyaculado están en función del nº de espermatozoides viables y, en definitiva, de su mayor o menor rentabilidad. Muchos investigadores en el área de la reproducción animal están tratando de diseñar el “análisis seminal ideal”, que valore adecuadamente y prediga la fertilidad de una muestra seminal. El análisis de semen ideal sería aquel que de forma sencilla y eficaz permitiera predecir la capacidad fecundante de un eyaculado concreto. Las cualidades que deben tener los espermatozoides de un eyaculado fecundante son: motilidad progresiva, morfología normal, metabolismo energético activo, capacidad para desarrollar una motilidad hiperactivada, integridad estructural y funcionalidad de la membrana, integridad de las enzimas asociadas con la fecundación, capacidad de penetración y transferencia óptima del material genético (Hidalgo, A.*et al.* 2005).

Cabe destacar que hasta el momento no se ha conseguido un método de evaluación seminal *in vitro*, que al utilizarlo solo o en combinación con otros sea capaz de predecir de forma segura la capacidad fecundante de una muestra de semen. Por ello, para considerar a un toro como apto desde el punto de vista reproductivo, asumiendo que es un animal clínicamente sano, este debe cumplir con tres requisitos básicos: buena libido, buen estado clínico reproductivo y buena calidad espermática. La evaluación del semen es un elemento importante para la certificación de la aptitud reproductiva en un toro (García, J. 2013).

### **b) Valoración macroscópica: color, olor y volumen**

La evaluación macroscópica del semen debe incluir los parámetros siguientes: color y olor (Morillo, M. *et al.* 2012).

EL color del semen bovino es de color blanco. Las muestras más densas serán de color y aspecto más cremoso, mientras que las más diluidas serán de aspecto lechoso y hasta completamente claro y transparente, como es el caso de aquellos animales con oligospermia o azoospermia. En el cuadro 1 se muestra la relación entre el color del semen recolectado y su concentración (esp/ml). En algunos toros se pueden observar eyaculados de color amarillento; esto se corresponde con un pigmento llamado riboflavina que se produce en las glándulas seminales y que es inocuo. También se puede observar una coloración rojiza, la cual indica la presencia de sangre fresca, mientras que un color pardo señala la presencia de sangre más vieja (hemolizada), denominándose ambos tipos como hemospermia. Una coloración gris indica suciedad. Los eyaculados con muy pocos espermatozoides tienen una coloración amarillo-verdosa. Circunstancialmente puede aparecer en el semen flóculos de pus, indicio de una infección en los genitales masculinos (Morillo, M. *et al.* 2012).

Cuadro 1. RELACIÓN ENTRE EL COLOR DEL SEMEN RECOLECTADO Y SU CONCENTRACIÓN (ESP/ML).

Color	Concentración espermática (esp/ml)
-------	------------------------------------

Blanco Cremoso	$\geq 1000000$
Blanco Lechoso	800000 – 600000
Blanco Acuoso	$< 50000$

Fuente: Morillo, M. et al. (2012).

El olor de las muestras de semen recogidas higiénicamente de toros sanos y fértiles tienen un olor catalogado como *sui generis*, es decir, un débil olor aromático como a yema de huevo. Son motivo de rechazo un olor urinosopútrido, que se produce tras una contaminación de la muestra con materia fecal, por ejemplo (Morillo, M. et al. 2012).

El volumen de un toro joven tiene en promedio un volumen mayor a 2 ml, mientras que un toro adulto tiene un volumen mayor a 4 ml. Las pruebas con electroeyaculador indican valores normales volúmenes superiores a 5-7 ml (Morillo, M. et al. 2012).

La concentración espermática varía en función de la especie, edad, raza, estado fisiológico del individuo, método de recolección, estado nutricional, frecuencia de la recolección, excitación sexual, época del año y peso vivo del animal y con el volumen total del semen recolectado. Cuando se obtiene un segundo eyaculado a los 15-20 min después del primero, puede llegar a ser más voluminoso, pero esta diferencia podría no existir en el caso de una muy buena excitación antes de la primera recolección. En general, los animales bovinos de razas lecheras dan un eyaculado de mayor volumen que aquellos de raza carnífera (Muiño, R. et al. 2006).

También es sabido que, con el uso del electroeyaculación, el volumen y la densidad del eyaculado sufren variaciones, que no han de ser consideradas como alteraciones en la producción de semen del animal (Vera, C. 2011).

### c) Ph

El test de pH, generalmente, se incluye en los análisis de rutina como un parámetro orientador. El pH viene dado por el resultado de las secreciones ácidas

provenientes de la próstata y las secreciones alcalinas de las vesículas seminales (Morillo, M. *et al.* 2012).

El líquido seminal tiene un pH alcalino, oscilando entre 7,2 y 8. El pH en el semen del toro oscila entre 6,6 y 6,9 hasta 7 como valor normal. Si el pH excede de 8 se puede sospechar de algún tipo de infección y probablemente, en ese caso, disminuya la secreción de productos ácidos de la próstata, como el ácido cítrico. Se pueden registrar también valores de pH anormales en el caso de eyaculación incompleta. Valores de pH extremadamente ácidos (<6,5) se encuentran en casos de agénesis u oclusión de las glándulas vesiculares. La determinación del pH debe hacerse relativamente pronto porque se va alcalinizando con el tiempo (Vera, C. 2011).

#### **d) Índices bioquímicos**

Los estudios bioquímicos del semen se desarrollaron con el fin de medir de forma objetiva la calidad del semen, pero tienen como limitación los requisitos de tiempo, instrumentación y de personal especializado que los hacen costosos. Aun cuando estos ensayos son una medida más objetiva de la muestra seminal, las correlaciones con la fertilidad obtenidas hasta el momento no han sido muy consistentes por lo que la utilización de estas técnicas ha quedado relegada a los estudios experimentales (Vera, C. 2011).

Se han estudiado los procesos metabólicos del semen, realizando análisis enzimáticos y cuantificando los constituyentes químicos del semen y del plasma seminal. Pero todos estos estudios son poco eficaces en cuanto a lo oneroso de su ejecución y la poca información que proporcionan (Vera, C. 2011).

#### **e) Concentración espermática**

Existe una variabilidad muy grande en la concentración de un eyaculado a otro, y de un toro a otro, siendo importante conocer el nº de espermatozoides por eyaculado, ya que de este parámetro depende el nº de dosis seminales que se obtendrán. Así, aportan datos de concentración de  $2 \times 10^8$  esp/ml en toros

jóvenes y  $1,8 \times 10^9$  esp/ml en adultos. Los toros de alta fertilidad deben de tener concentraciones entre  $0,8$  y  $2 \times 10^9$  esp/ml; ofrecen medias de  $2,16 \times 10^9$  esp/ml; de  $0,3-2 \times 10^9$  esp/ml y de  $1,2 - 1,8 \times 10^9$  esp/ml (Contri, A. *et al.* 2010).

Existen diferentes métodos para determinar la concentración espermática en el semen. Una forma puede ser la utilización de hemocitómetros. Éstos se basan en realizar una dilución (1:100; 1:200) de la muestra de semen con solución salina formolada, para finalmente observarse en un microscopio óptico (40 X). Otro procedimiento técnico para determinar la concentración espermática es mediante fotometría. Encontramos equipos que miden la concentración del semen puro a partir de una gota ( $5 \mu\text{l}$ ), así como los que miden la muestra por opacidad (Accucell®, IMV, Francia). La valoración de la opacidad mostrada por una muestra de semen requiere la dilución en solución salina formolada o suero fisiológico (Contri, A. *et al.* 2010).

La posibilidad de estudiar adecuadamente la concentración espermática es un factor importante, tanto en el ámbito de la investigación andrológica como en la aplicación en el campo de la IA. Las técnicas más utilizadas son el recuento en cámaras hemocitométricas y la utilización de espectrofotómetros, ya que los contadores de partículas, los métodos fluorométricos y los sistemas de análisis de semen asistidos por ordenador son más complejos y lentos. El primero de ellos es el más utilizado por su bajo coste y su alta precisión, ya que se realiza una medición directa del nº de espermatozoides presentes en una cámara de volumen conocido. Aun siendo el método más preciso, presenta elevados coeficientes de variación ( $\pm 10\%$ ) entre replicados. Estas variaciones son debidas a distribuciones no homogéneas de las células dentro de la cámara y a imprecisiones en el proceso de dilución (Contri, A. *et al.* 2010).

El contador de partículas y las técnicas de análisis automatizados de imagen permiten medir muy rápidamente un gran nº de partículas por unidad de volumen. Por otra parte, es necesario calibrar adecuadamente el instrumental para asegurar que el recuento de partículas sea correcto (Contri, A. *et al.* 2010).

Otra técnica que se encuentra en desarrollo, es la medición por técnicas fluorométricas del nº de células por cuantificación de la cantidad de ADN. Es un método sencillo si se dispone del instrumental adecuado, ya que el ADN teñido específicamente con un fluorocromo (H33258) puede ser medido con gran precisión porque la cantidad de ADN presente en un espermatozoide es un valor constante (Contri, A. *et al.* 2010).

#### **f) Motilidad espermática**

Este parámetro ha sido el más utilizado para valorar la calidad de un eyaculado o de una dosis seminal, al ser ésta una de las más importantes expresiones de la función espermática, que, según algunos autores, puede ser uno de los factores que mejor se correlaciona con la fertilidad (Muiño, R. 2013).

El movimiento activo de los espermatozoides es imprescindible para la colonización del oviducto durante la fase de transporte espermático sostenido en el tracto genital de la hembra, y para que tenga lugar la fecundación. Además, la motilidad es una manifestación de vitalidad espermática y de integridad celular. Un eyaculado con un porcentaje bajo de espermatozoides móviles, o ausencia de motilidad, automáticamente será descartado para el procesado posterior. La motilidad espermática, normalmente se valora de forma subjetiva mediante la observación de una muestra de semen utilizando un microscopio óptico sobre platina calentadora a 37°C (Muiño, R. 2013).

#### **g) Motilidad Masal**

En el eyaculado de los rumiantes, dada su elevada concentración espermática, se puede valorar la motilidad masal, definida como el movimiento en remolinos del total de espermatozoides de la muestra. La valoración de la onda de movimiento es el sistema más simple para determinar la motilidad del semen fresco. La motilidad masal, únicamente evaluable en eyaculaciones de mamíferos con concentraciones espermáticas muy elevadas como en el toro, se determina depositando una gota de la muestra seminal sin diluir sobre un portaobjetos atemperado en una placa térmica, y visualizando sobre la muestra en un microscopio óptico a 10 X (Vallecio, A. 2011).

Se evalúa de forma subjetiva el movimiento de las células espermáticas en su conjunto, y se les da una valoración de 0 a 5, con una puntuación de 5 cuando se observan oleadas o remolinos con movimiento rápido y vigoroso, y de 0 cuando no se observan movimientos en ondas (Vallecio, A. 2011).

#### **h) Motilidad progresiva o individual**

La motilidad progresiva es uno de los parámetros más importantes de un análisis seminal. Este parámetro es el más utilizado para valorar la calidad de un eyaculado o de una dosis seminal. Tras la dilución del eyaculado, o la descongelación de dosis de semen congelado, se estima el porcentaje de espermatozoides individuales que están en movimiento y el tipo de movimiento que realizan (progresivo o no progresivo). Las dosis descongeladas con una motilidad progresiva inferior al 40% se descartan para IA. La motilidad individual puede evaluarse de forma subjetiva o mediante un sistema de imágenes asistido por ordenador (Vallecio, A. 2011).

### **E. SISTEMA DE EVALUACIÓN SEMINAL CASA (SCA)**

Los parámetros espermáticos clásicos que se consideran en un análisis de calidad seminal incluyen en general la motilidad, concentración y vitalidad espermática; así como, las anomalías morfológicas (Hernández, L. 2013).

El desarrollo de nuevas tecnologías in vitro como la citometría de flujo o los sistemas C.A.S.A. (ComputerAssistedSperm Análisis), permite el estudio de múltiples características funcionales y morfológicas de los espermatozoides para intentar predecir su capacidad fecundante (Quintero, A. *et al.* 2011).

El C.A.S.A. fue propuesto por Foster y en la actualidad es usado en centros de andrología humana y veterinaria. El porcentaje de espermatozoides móviles únicamente proporciona una estima cuantitativa de la fertilidad y su uso se limita cuando se alcanzan valores superiores. Broekhuijse, M. *et al.* (2012), mostraron correlaciones negativas en algunos parámetros C.A.S.A. vs la fertilidad. La mayor

velocidad resultante es lo mejor, pero no existe una evidencia biológica. Se ha reportado que diferentes parámetros tienen efectos opuestos sobre los índices de preñez y el número de animales nacidos. Así como, la velocidad curvilínea (VCL) y la frecuencia de batido de cabeza (BCF) explican la variación en los índices de preñez, mientras que la velocidad media (VAP), índice de linealidad (VSL).

## 1. Instrumentación

### a) **SpermClassAnalyzers (SCA)**

Sistema de análisis computarizado de semen (CASA) es una herramienta importante para evaluar la cinética de espermatozoides, proporcionar información precisa, objetiva y alta repetibilidad. Sin embargo, algunos factores que podrían afectar la motilidad y la velocidad medida por el SpermClassAnalyzer (Aguiar, C. *et al.* 2017).

- **Hardware:** ordenador, cámara digital de video Basler (*Vision-Technology*, Alemania), 25 imágenes por segundo, microscopio óptico de contraste de fase positivo Nikon E-200 (Japón) con platina termostaticada a 37 °C.
- **Software:** SCA. Programa informático compuesto por distintos módulos: movilidad y concentración, morfología, control base de datos e informes, vitalidad, fragmentación de ADN y contador celular. El sistema SCA permite al operador cambiar las condiciones de medida y otorgar validez a las imágenes digitales.

### b) **Análisis de concentración y movilidad**

Los parámetros básicos del estudio del semen, movilidad, morfología y concentración, son mediciones realizadas en toda la población de espermatozoides eyaculados, por tal razón dichos parámetros no son capaces de

garantizar la capacidad fertilizante de los pocos gametos que llegan al sitio de la fecundación; sin embargo, proporcionan información esencial sobre el estado clínico de un individuo y constituyen una herramienta útil para inferir la función reproductiva del macho (Chenlo, P. *et al.* 2013).

El análisis de la concentración y la movilidad, con el sistema CASA - SCA, se efectúa en forma simultánea. Se capturarán un mínimo de 400 espermatozoides y por medio del *software* del SCA se analizan 25 imágenes digitalizadas por segundo de cada espermatozoide de la muestra de semen. Se calcula para cada espermatozoide la velocidad curvilínea (VCL: velocidad promedio de una cabeza espermática en su trayectoria curvilínea real), la velocidad rectilínea (VSL: velocidad promedio de una cabeza espermática en su trayectoria rectilínea entre su posición inicial y final) y la velocidad promedio (VAP: velocidad promedio de una cabeza espermática a lo largo de su trayectoria promedio)(Chenlo, P. *et al.* 2013).

Relacionando la VSL con la VCL y con la VAP se obtuvieron los índices de progresión: Linealidad (LIN, linealidad de la trayectoria curvilínea,  $VSL/VCL$ ) y Rectitud (STR, linealidad de la trayectoria promedio  $VSL/VAP$ ).

Los datos obtenidos del sistema SCA requieren de una edición por parte del operador, que consiste en verificar que la imagen analizada corresponda a una célula espermática. En todas las muestras se llevó a cabo este procedimiento por medio de un especialista altamente entrenado.

En base a las velocidades y sus respectivas progresiones, el *software* del equipo clasificó a los espermatozoides en diferentes categorías, por velocidad, rectitud y linealidad en "grados a, b, c y d" (Chenlo, P. *et al.* 2013).

### **c) Categorías, por velocidad, rectitud y linealidad**

Para la categorización de los espermatozoides en grado (a) y grado (a+b) se trabajó con muestras, las que serán analizadas en forma simultánea por velocidad curvilínea (VCL) y velocidad promedio (VAP) (Chenlo, P. *et al.* 2013).

Para los cálculos de precisión se trabajó con muestras de semen de diferentes niveles de concentraciones y movilidad, las que se analizan entre 10 y 20 veces en dos tipos de cámaras: Leja 10 (altura 10  $\mu\text{m}$ ) y Porta-Cubreobjetos (altura 20  $\mu\text{m}$ ). La repetibilidad y reproducibilidad se determinaron como el coeficiente de variación (CV%) intra cámara y entre cámaras, respectivamente (Chenlo, P. *et al.* 2013).

Para evaluar el efecto de la profundidad de la cámara en la movilidad espermática, las muestras de semen de diferentes concentraciones y movilidades, se efectúa el análisis objetivo por duplicado empleando cámaras Lejas de 10 y 20  $\mu\text{m}$  de profundidad (Chenlo, P. *et al.* 2013).

Para la estimación del límite de detección (LD) y límite de cuantificación (LQ) se emplean muestras azoospermicas (n: 13), (9) (10). El LD se calculado como la media del blanco +3 DE (desvío estándar) y el LQ como 3 veces el LD (Chenlo, P. *et al.* 2013).

Para determinar el Intervalo de medición, una muestra de semen de elevada concentración (125 mill/mL) se diluye diluida progresivamente empleando pipeta automática de presión positiva con plasma seminal autólogo libre de células (centrifugado y filtrado), hasta llegar a una concentración de 1 mill/mL (Chenlo, P. *et al.* 2013).

La comparación entre métodos se llevó a cabo con 100 muestras procesadas simultáneamente en forma subjetiva y objetiva para movilidad y concentración (Chenlo, P. *et al.* 2013).

#### **d) Análisis de morfología**

El SCA, además del parámetro del porcentaje de espermatozoides normales, presenta el cálculo automatizado de parámetros morfológicos, como los índices de teratozoospermia, la deformidad<sup>5</sup> y la presentación de los valores morfo métricos medios de los 100 espermatozoides estudiados (longitud, anchura,

tamaño del acrosoma, ángulo de inserción medio de la cola, etc.) (Chenlo, P. *et al.* 2013).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO

La presente investigación se realizó en el Complejo Palomas de la UGRCH, ubicado en el km 35 de la carretera Chihuahua – Cuauhtemoc, en el municipio de General Trías.

Tuvo una duración de 90 días, los cuales fueron distribuidos de acuerdo con las actividades a realizarse como: Recolección de Datos de sistema GrowSafe, recolección de muestras, etc. Las condiciones meteorológicas de la zona se detallan en el cuadro 2.

#### 1. Condiciones meteorológicas

Cuadro 2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Parámetro	Promedio
Altitud, msnm	1560,0
Temperatura, °C	25,0
Humedad relativa, %	40,0
Viento, km/h	8,0
Precipitación, mm	0,0

Fuente: Estación Chihuahua Universitaria. (2017).

#### B. UNIDADES EXPERIMENTALES

Para la presente investigación se utilizaron 20 toretes de la raza Angus y 20 toretes de la raza Hertford con una edad promedio de 12 meses.

## **C. MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES**

Los animales fueron distribuidos en dos corrales de (15,24 m de ancho x 30,48 m de largo) con cuatro comederos (nodos) cada uno de los corrales de la Unión Ganadera Regional de Chihuahua.

### **1. Materiales**

- Escrotímetro.
- Electro eyaculador.
- Guantes de latex.
- Guantes de inseminación.
- Vagina artificial.
- Porta objetos.
- Cubre objetos.
- Tubos graduados de recolección de semen.
- Cámaras desechables de Leja.
- Micro pipetas.
- Diluyente.

### **2. Equipos**

- Computadora.
- Sistema GrowSafe.
- Sistema automatizado de evaluación automática CASA SCA®.
- Platina termostatizada a 37°C.
- Microscopio.

### **3. Instalaciones**

En el presente estudio se utilizó las instalaciones del Centro de Biotecnologías Reproductivas de la Unión Ganadera Regional de Chihuahua.

## **D. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se aplicó una estadística descriptiva Tstudent ( $P < 0,05$ ), regresión y correlación a los datos obtenidos.

## **E. MEDICIONES EXPERIMENTALES**

- Peso al destete (ajustado a 205 días).
- Peso al inicio de la prueba Ajustado (kg).
- Peso al final de la prueba Ajustado (kg).
- Ganancia diaria promedio (Kg).
- Consumo diario (Kg).
- Conversión alimenticia.
- RFI calculado.
- Circunferencia Escrotal (cm).
- Volumen de eyaculado (mm).
- Motilidad espermática (%).

## **F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA**

Los resultados experimentales serán sometidos a los siguientes análisis estadísticos:

- T - student.
- Regresión.
- Correlación.

## **G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Para la presente investigación en primer lugar se calculó el RFI de los datos obtenidos del sistema automatizado de medición de consumo GrowSafe(GrowSafeSystems Ltd., Airdrie, AB, Canadá) de una prueba de 70 días

con 20 toretes de la raza Angus y 20 toretes de la raza Hereford con una edad promedio de 12 meses de edad.

Posteriormente se hará extracción de semen por medio de electro eyaculador y se realizarán pruebas de fertilidad a los toretes donde las muestras serán analizadas en el sistema automatizado de evaluación automática CASA SCA®.

## **H. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

### **1. Peso al destete, kg**

Estos pesos eran registrados lo más cercanos a los 205 días de edad. Para obtener este peso se considerará el peso promedio de dos días consecutivos, para la cual se utilizará una balanza para este fin.

### **2. Peso al inicio de la prueba, kg**

Los animales serán sometidos a un periodo de acostumbramiento de 20 días, con la finalidad que los animales se acostumbren al régimen de alimentación y manejo y minimizar las diferencias ambientales. después de este periodo el peso se considerará el peso promedio de dos días consecutivos, para la cual se utilizó una balanza para este fin.

### **3. Peso al final de la prueba, kg**

Los animales serán pesados dos días seguidos al final de la prueba se considera el promedio de los dos pesajes para lo cual se utilizará una balanza para este fin. Las tasas de crecimiento de cada animal se modelarán con una regresión lineal del peso corporal de los días de pesaje a través de la prueba, usando el procedimiento y los coeficientes de regresión se utilizarán para calcular las ganancias diarias de peso.

#### **4. Ganancia diaria promedio, kg**

Las tasas de crecimiento de cada animal se modelarán con una regresión lineal del peso corporal de los días de pesaje a través de la prueba, usando el procedimiento y los coeficientes de regresión se utilizó para calcular las ganancias diarias de peso.

#### **5. Consumo diario, Kg**

Mediante los registros en GrowSafe de la presencia en el comedero de cada torete se medirá la cantidad de alimento consumido en cada evento de consumo y a partir de esto se calculó el consumo diario individual durante la prueba.

#### **6. Conversión alimenticia**

La conversión alimenticia se calcula con la cantidad de alimento adquirido en relación con la cifra de peso vivo (kg).

#### **7. Circunferencia Escrotal, cm**

La medida se tomó en la parte de mayor diámetro, para lo cual se usó una cinta metálica flexible disponible a nivel comercial para este fin. los testículos se posicionaron lado a lado y la cinta se tensó en la posición indicada en dos ocasiones. Si la medida es similar, se tomará el promedio de ambas mediciones.

#### **8. Volumen de eyaculado, mm**

Se realizar una estimulación manual en la próstata del torete para lograr que desenvaine el pene, después de procederá a la utilización del electro eyaculador, el semen será recolectado en un tubo graduado.

#### **9. Motilidad espermática, %**

El análisis del semen se realizará en el sistema de automatizado de evaluación automática CASA SCA®. Donde se obtendrán los valores de motilidad espermática estática, motilidad espermática móvil y motilidad espermática progresiva, estos valores estarán dados en porcentaje.

#### **10. RFI Calculado**

El RFI se calculará como la diferencia entre el consumo observado de materia seca (MS) y el esperado de acuerdo a su PMM y su ganancia de peso diaria (GDP). Para ello, el consumo esperado se modelará mediante la regresión del consumo de materia seca (CDMS) vs el PMM y la GDP durante la prueba con PROC GLM de SAS (SAS.Inst.Inc.). El análisis se correrá por separado para cada raza.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **A. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE TORETES ANGUS Y HEREFORD**

Los resultados obtenidos después de haber realizado los diferentes análisis estadísticos, se muestran en el cuadro 3.

#### **1. Peso al destete, kg**

Al analizar el peso al destete, no se reportó diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre razas (cuadro 3), obteniendo una media de peso para la raza Angus de  $228,00 \pm 30,00$  kg y para la raza Hereford un peso de  $213,00 \pm 43,00$  kg.

Dañobeytia, I. *et al.* (2015), evaluaron el peso de razas Angus y Hereford, en pastoreo extensivo, reportando pesos al destete de 156,00 kg y 132,00 kg respectivamente, siendo pesos inferiores en comparación a la presente investigación.

Al contrario UGRCH (Unión Ganadera Regional de Chihuahua). (2016), reporta pesos al destete superiores, en comparación a los pesos de la presente investigación, obteniendo una media de 261,00 kg para la raza Angus y para la raza Hereford un peso al destete de 234,00 kg. Esto se debe a factores genéticos, ya que difieren en su magnitud relativa, según la zona agroecológica, unidad de producción y constitución genética de la población en estudio. Sin embargo, es importante valorar el grado con el cual estos factores afectan a una determinada población (Torres, C. *et al.* 2015).

Cuadro 3. EFECTO DEL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO (RFI) EN VARIABLES PRODUCTIVAS.

Variable	Angus	Hereford	T - student (P>0,05)	Prob.	E.E
Peso al destete, kg	228,00 ± 30,00	213,00 ± 43,00	1,215	0,12	5,89
Peso inicial ajustado, kg	320,00 ± 31,00	284,00 ± 37,00	3,803	0,003	6,11
Peso final ajustado, kg	449,00 ± 40,00	406,00 ± 46,00	2,803	0,006	7,60
Ganancia diaria de peso, kg	2,00 ± 0,21,00	2,00 ± 0,23	1,44	0,083	0,035
Consumo diario de materia seca, kg	12,00± 1,53,00	10,00 ± 1,07	3,562	0,001	0,245
Conversión alimenticia	6,00 ± 0,90,00	6,00± 0,67	0,019	0,049	0,132
Consumo residual de alimento, kg	-0,15	-0,16	0,02	0,49	0,181

Probabilidad > 0,05: No existen diferencias significativas (ns).

Probabilidad < 0,05: Existen diferencias significativas (\*).

Probabilidad < 0,01: Existen diferencias altamente significativas (\*\*).

## 2. Peso inicial ajustado, kg

Al analizar el peso inicial, se reportó diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ), entre razas (cuadro 3), obteniendo una media de peso inicial para la raza Angus de  $320,00 \pm 31,00$  kg y para la raza Hereford un peso de  $284,00 \pm 37,00$  kg.

En investigaciones similares (UGRCH. 2016) reporta pesos de  $310,00 \pm 36,00$  kg para Angus y para Hereford  $250,00 \pm 61,00$ , estos valores son superiores a los reportados en la presente investigación, debido principalmente a la genética de los animales y a factores ambientales.

(Tomarelli, C. *et al.* 2015), señalan que, para analizar los pesos vivos de los animales, la edad es uno de los factores determinantes que se debe tomar en cuenta para que las estimaciones de los factores genéticos sean confiables. Cualquier comparación entre pesos vivos de los animales, que se base sobre índices genéticos o directamente sobre los mismos pesos, impone la necesidad de que los pesos detectados a diferentes edades sean comparables. Este problema puede ser solucionado multiplicando los pesos por específicos coeficientes de ajuste que buscan eliminar de los datos productivos la variabilidad debida a la edad.

Estas medias deben ser calculadas tomando en cuenta los diferentes factores ambientales que condicionan el peso y también el efecto genético del animal (Tomarelli, C. *et al.* 2015).

Esto permite controlar, por lo tanto, el crecimiento del animal y hacer evaluaciones zootécnicas. Permite también obtener indicaciones sobre la precocidad, entendida tanto como precocidad de crecimiento como precocidad sexual (Tomarelli, C. *et al.* 2015).

Cruz, C. (2015), menciona que los pesos iniciales serán registrados lo más cerca de los 205 días de edad. Para obtener este peso, es necesario considerar el peso promedio de dos días consecutivos y será necesario que los animales sean

sometidos a un periodo de adaptación mínimo 21 días, con la finalidad, que los animales se acostumbren al régimen de manejo y alimentación y minimizar las diferencias ambientales

### **3. Peso final ajustado, kg**

Al analizar el peso final, se reportó diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre razas (cuadro 3), obteniendo una media de peso final para la raza Angus de  $449,00 \pm 40,00$  kg y para la raza Hereford un peso de  $406,00 \pm 46,00$  kg.

Al analizar los datos de UGRCH. (2016), bajo las mismas condiciones de manejo se reporta para la raza Angus un peso final de  $411,91 \pm 47,88$  kg y para la raza Hereford un peso final de  $341,50 \pm 67,24$  kg, al compararlos con los datos de la presente investigación son superiores debido a factores genéticos y a la edad de los animales.

Rivadeneira, W. (2007), menciona que todo comportamiento productivo de una especie animal depende de factores genéticos y medio ambientales como la especie, raza, peso vivo, edad, sexo, desarrollo gastrointestinal, actividad nictemeral, además conjugándose factores como la palatabilidad del alimento, la estructura física, la forma de distribución de las comidas, la disponibilidad de agua, la temperatura ambiental, etc.

La composición del peso variará con la necesidad del animal, en consecuencia, las necesidades se centrarán en la producción y luego en el mantenimiento corporal (Rivadeneira, W. 2007).

UGRCH. (2016), sostiene que al igual como ocurre con el peso al destete, estas mediciones deben estar ajustadas a una edad o peso en común.

#### **4. Ganancia diaria de peso, kg**

Para ganancia diaria de peso, no reportó diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre razas (cuadro 3), obteniendo una media de ganancia diaria de peso para la raza Angus de  $2,00 \pm 0,21$  kg y para la raza Hereford un peso de  $2,00 \pm 0,23$  kg.

Dañobeytia, I. et al. (2015), en condiciones de pastoreo, reportaron ganancias diarias de peso de 0,60 y 0,58 kg/día para terneros Angus y Hereford respectivamente. Los datos de la presente investigación son notablemente superiores, debido a que el medio ambiente es un factor que afecta la eficiencia productiva por diversas causas, como son el permanente estrés calórico, pasturas pobres, escasez o exceso de agua, aspectos todos relacionados con épocas y fases críticas del animal y también a la edad de los animales.

UGRCH. (2016), reportan ganancias diarias de peso para Angus de  $1,50 \pm 0,30$  kg y para Hereford de  $1,30 \pm 0,20$ . Al realizar la comparación con los datos de la presente investigación, estos son superiores debido a factores genéticos propios de los animales, ya que las investigaciones fueron realizadas en las mismas condiciones de manejo y puede ser atribuido a la capacidad que tenga el animal para adaptarse por poseer características de mayor rusticidad y adaptabilidad al medio.

UGRCH. (2016), sostienen que al igual como ocurre con el peso al destete, estas mediciones deben estar ajustadas a una edad o peso en común.

Cruz, C. (2015), reporta que las ganancias diarias durante la prueba deberían ser de 1,500 kg, pero existen extremos excepcionales con ganancias superiores a 2 kg e inferiores a 1 kg.

#### **5. Consumo diario de materia seca, kg**

Al analizar la ganancia diaria de peso, reportó diferencias altamente significativas ( $P < 0,05$ ), entre razas (cuadro 3), obteniendo una media de ganancia diaria de

peso para la raza Angus de  $12,00 \pm 1,53$  kg y para la raza Hereford un peso de  $10,00 \pm 1,07$  kg; siendo mayor el consumo diario de materia seca en la raza Angus.

Al analizar los datos de la UGRCH. (2016), reporta un consumo diario promedio de materia seca para la raza Angus de  $10,30 \pm 1,30$  kg y para la raza Hereford un consumo diario promedio de materia seca  $7,90 \pm 1,10$  kg. Los valores de la presente investigación son superiores debido a que la calidad del alimento, influye en la ingesta del mismo (Iglesias, J. 2015).

La determinación del consumo voluntario de materia seca por los animales, es indispensable para determinar su capacidad productiva y su estado nutricional. El incremento en degradabilidad ruminal de la dieta, puede explicar el aumento de consumo de MS en bovinos. La ingestión máxima de MS se produce cuando la digestibilidad de la dieta se encuentra entre el 66 y el 68 % (Faria, V. y Mattos, W. 1995). Aunque es posible mejorar el consumo de materia seca en los animales, incrementando la digestibilidad de las fracciones potencialmente digeribles o la velocidad de paso de las fracciones no digeribles en rumen.

## **6. Conversión alimenticia**

Al analizar la conversión alimenticia, no reportó diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre razas (cuadro 3), obteniendo una conversión alimenticia para la raza Angus de  $6,00 \pm 0,90$  kg y para la raza Hereford un peso de  $6,00 \pm 0,67$  kg.

Al analizar los resultados de la UGRCH. (2016), reportan una conversión alimenticia para la raza Angus de  $6,90 \pm 1,00$  y una conversión alimenticia para la raza Hereford de  $6,00 \pm 0,50$ . Los valores de las dos investigaciones practicante son similares esto se debe que son animales de la misma especie y raza.

Los resultados obtenidos en la presente investigación son más eficientes a los obtenidos por Intriago, J. (2011), quien reportó que en el cebamiento de toretes Brahmán mestizos en pastoreo con suplementación, obtuvo la mejor respuesta

con el empleo de la torta de soya como suplemento, por cuanto requiere 22,97 kg de alimento en materia seca por kg de ganancia de peso.

## **7. Consumo residual de alimento, kg**

Al analizar el consumo residual de alimento, no reportó diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre razas (cuadro 3), obteniendo un consumo residual de alimento para la raza Angus de -0,15 kg y para la raza Herefordde -0,16 kg.

Al realizar el análisis de los datos de Briones, D. *et al.* (2014), reportan en su investigación un consumo residual de alimento para la raza Angus de -0,12. Los resultados de la presente investigación demuestran que los animales son más eficientes debido a el factor genético.

Después de analizar los resultados obtenidos por UGRCH. (2016), reporta en una prueba de comportamiento para la evaluación de la eficiencia alimenticia un consumo residual de alimento con animales con un peso promedio de 416,00 kg para la raza Angus de 0,12 y un consumo residual de alimento con animales con un peso promedio de 341,00kg para la raza Hereford de 0,59. Los resultados de la presente investigación demuestran que los animales son más eficientes debido al factor genético.

El RFI es la diferencia entre el consumo esperado y observado. Animales con el RFI negativo (consumo por debajo de lo esperado) se consideran más eficientes, en comparación con los animales RFI positivo (consumo por encima de lo esperado). El ganado con divergencia en la eficiencia de alimentación muestra metabolismo diferencias fundamentalmente relacionadas con la partición de energía.

## B. VARIABLES REPRODUCTIVAS DE TORETES ANGUS Y HEREFORD

### 1. Circunferencia escrotal, cm

Al analizar la circunferencia escrotal, presentó diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ), entre razas (cuadro 4), obteniendo una circunferencia escrotal para la raza Angus de 34,35cm y para la raza Herefordde 31,80cm; siendo la circunferencia escrotal de la raza Angus superior a la circunferencia de la raza Hereford.

Awda, B. *et al.* (2013), en su investigación sobre la relación entre los rasgos de eficiencia alimentaria y fertilidad en toros jóvenes con animales de  $13,90 \pm 2,50$  reporta una circunferencia escrotal de  $37,20 \pm 2,74$  cm, los resultados de esta investigación son menores debido a la genética de los animales.

UGRCH. (2016), al evaluar la eficiencia alimenticia de animales de 12 meses de edad, reporta una circunferencia escrotal para la raza Angus de  $34,30 \pm 3,20$  cm y una circunferencia escrotal para la raza Hereford de  $30,80 \pm 2,60$  cm. Los resultados de esta investigación son superiores en las dos razas debido a que los animales reportan un promedio de 14 meses.

La circunferencia escrotal es uno de los tres componentes del examen de fertilidad potencial de los toros y la característica individual más importante para mejorar la eficiencia reproductiva en los sementales seleccionados. La circunferencia escrotal es una medida muy fácil de tomar, repetitiva, altamente heredable y está relacionada con parámetros reproductivos muy importantes como edad a la pubertad y edad al primer parto en las hembras (Espitia, A. *et al.* 2006).

Cuadro 4. EFECTO DEL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO (RFI) EN VARIABLES REPRODUCTIVAS.

Variable	Angus	Hereford	t student (P>0,05)	Prob.	E.E.
Circunferencia escrotal, cm	34,35 ± 1,68	31,80 ± 2,65	2,93	0,004	0,402
Volumen de eyaculado, ml	1,61 ± 1,28	2,35 ± 1,24	-1,707	0,052	0,205
Motilidad estática, %	40,01 ± 14,05	30,48 ± 12,01	2,12	0,02	2,18
Motilidad Progresiva, %	32,91 ± 14,16	32,44 ± 12,19	0,13	0,45	2,06
Motilidad móvil, %	61,74 ± 14,62	69,53 ± 12,01	-1,88	0,04	0,081

Probabilidad > 0,05: No existen diferencias significativas (ns).

Probabilidad < 0,05: Existen diferencias significativas (\*).

Probabilidad < 0,01: Existen diferencias altamente significativas (\*\*).

La circunferencia escrotal es un buen indicador de producción espermática y se debe realizar en animales jóvenes, ya que no es una medida confiable en animales seniles debido a los cambios anatómicos que se presentan por la edad como lo es la disminución del epitelio seminífero sin tener cambios morfológicos en el tamaño testicular. Ya que es un indicador directo de gran importancia para la parte reproductiva de cualquier hato, teniendo en cuenta la selección de animales con una buena CE (mayor a 30cm) (Valencia, M. 2016).

## **2. Volumen de eyaculado, ml**

La variable volumen de eyaculado, no presentó diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre razas (cuadro 4), obteniendo un volumen de eyaculado para la raza Angus de 1,61ml y para la raza Herefordde 2,35ml.

Torrado, I, *et al.* (2016), en su investigación de la aptitud reproductiva potencial del toro en sistemas extensivos, utilizó razas limunsina, charolesa y retinta comprendidos de 1 a 5 años de edad, reportan un volumen de eyaculado de  $4,55 \pm 1,93$  ml, se evidencia que son superiores a la presente investigación, ya que los animales son de edades superiores y de raza diferente.

## **3. Motilidad estática, %**

La variable motilidad estática, presentó diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ), entre razas (cuadro 4), obteniendo una motilidad estática para la raza Angus de 40,01% y para la raza Herefordde 30,48%, siendo la motilidad estática de la raza Angus superior respecto a la raza Hereford.

Al realizar la comparación de resultados en donde Torrado, I, *et al.* (2016), evaluaron la aptitud reproductiva potencial del toro en sistemas extensivos y reportan una motilidad estática de  $16,32 \pm 16,56$  %. Los valores de la presente investigación son superiores esto se debe al factor edad y su capacidad de producir espermias de óptima calidad.

#### **4. Motilidad progresiva, %**

La variable motilidad progresiva, no presentó diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre razas (cuadro 4), obteniendo una motilidad progresiva para la raza Angus de 32,91% y para la raza Herefordde 32,44%.

Rubio, J. et al. (2007), en su evaluación de semen de toros adultos, reportan una motilidad progresiva de  $62,91 \pm 1,40$  %. Y Torrado, I, et al. (2016), evaluaron la aptitud reproductiva potencial del toro en sistemas extensivos y reportan una motilad progresiva de  $57,26 \pm 16,03$  %. Los valores de la presente investigación son inferiores esto se debe al factor edad y su capacidad de producir espermatozoides de óptima calidad.

#### **5. Motilidad móvil, %**

La variable motilidad móvil, presentó diferencias estadísticas ( $P < 0,05$ ), entre razas (cuadro 4), obteniendo una motilidad móvil para la raza Angus de 61,74% y para la raza Herefordde 69,53%, siendo esta última raza la que presentó una motilidad móvil mayor.

Al realizar comparación de los datos obtenidos por Rubio, J. et al. (2007), en su evaluación de fertilidad en semen fresco en toros adultos reporta una motilidad móvil de  $92,95 \pm 0,59$  y Torrado, I, et al. (2016), evaluaron la aptitud reproductiva potencial del toro en sistemas extensivos y reportan una motilidad móvil de  $75,82 \pm 20,61$  %. Los valores de la presente investigación son inferiores esto se debe al factor edad y su capacidad de producir espermatozoides de óptima calidad.

## **C. EFECTO DEL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO SOBRE LAS VARIABLES REPRODUCTIVAS**

### **1. Correlaciones entre el consumo residual de alimento y las variables reproductivas**

Las diferentes correlaciones de Pearson, realizadas entre el consumo residual de alimento las variables reproductivas se pueden observar en el cuadro 5.

De acuerdo a los análisis realizados entre el consumo residual de alimento y las variables reproductivas, presentó correlaciones bajas ( $r < 0,6$ ) con la motilidad estática, y correlaciones negativas con la motilidad móvil, Para las variables circunferencia escrotal y motilidad progresiva, no se encontraron correlaciones significativas ( $P < 0,05$ ).

Cuadro 5. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON, PARA EL CONSUMO RESIDUAL DE ALIMENTO Y VARIABLES REPRODUCTIVAS.

Variables	Consumo residual de alimento	Circunferencia escrotal	Motilidad estática	Motilidad progresiva
Consumo residual de alimento	1,000			
Circunferencia escrotal	0,180 0,265	1,000		
Motilidad estática	0,436 0,029	0,061 0,708	1,000	
Motilidad progresiva	-0,238 0,139	0,060 0,711	-0,469 0,002	1,000
Motilidad móvil	-0,324 0,041	-0,054 0,740	-0,927 0,000	0,588 0,000

## **2. Consumo residual de alimento y motilidad estática**

El análisis de regresión del consumo residual de alimento respecto a la motilidad estática, presentó diferencias ( $P < 0,05$ ); a medida que aumenta el consumo residual de alimento, la motilidad estática aumenta, de acuerdo al coeficiente de correlación ( $r = 0,436$ ). El coeficiente de determinación ( $R^2$ ), indica que el 11,99 % de la varianza del consumo residual de alimento está explicada por la motilidad estática, mientras que el 88,01 % restante, está en dependencia de factores externos.

La ecuación de regresión (motilidad estática, % = 4,1672 consumo residual de alimento + 35,89), indica que, cada vez que el consumo residual de alimento aumenta en 1 unidad; la motilidad estática aumenta en 4,2 %; como se puede observar en el gráfico 1.

La correlación reportada entre la motilidad estática y el consumo residual de alimento, se aplica únicamente a los toretes evaluados, y no se pueden generalizar, debido a diferentes causas de variación como: edad, raza, peso corporal, nivel nutricional, y su relación con la producción espermática, características seminales y la pubertad. Principalmente la edad del toro es el factor que tiene mayor efecto sobre la motilidad espermática, varios estudios señalan desde los 6 hasta los 24 meses de edad, como el periodo de mayor crecimiento (Coulter, G. 1986).

Wang *et al.* (2012), sugirió que una mayor proporción de los toros jóvenes que fallaron en la evaluación de la motilidad del esperma fueron clasificados como con eficiente alimentación. Esta evidencia fue apoyada por Awda, B. *et al.* (2013), quienes observaron mejor motilidad y motricidad progresiva en menos jóvenes con alimentación eficiente. Además, Haflaet, A. *et al.* (2012), observaron una negativa asociación entre la eficiencia de alimentación y la calidad del semen basada en evaluación de la morfología del esperma, una observación también reforzada por Awda, B. *et al.* (2013).

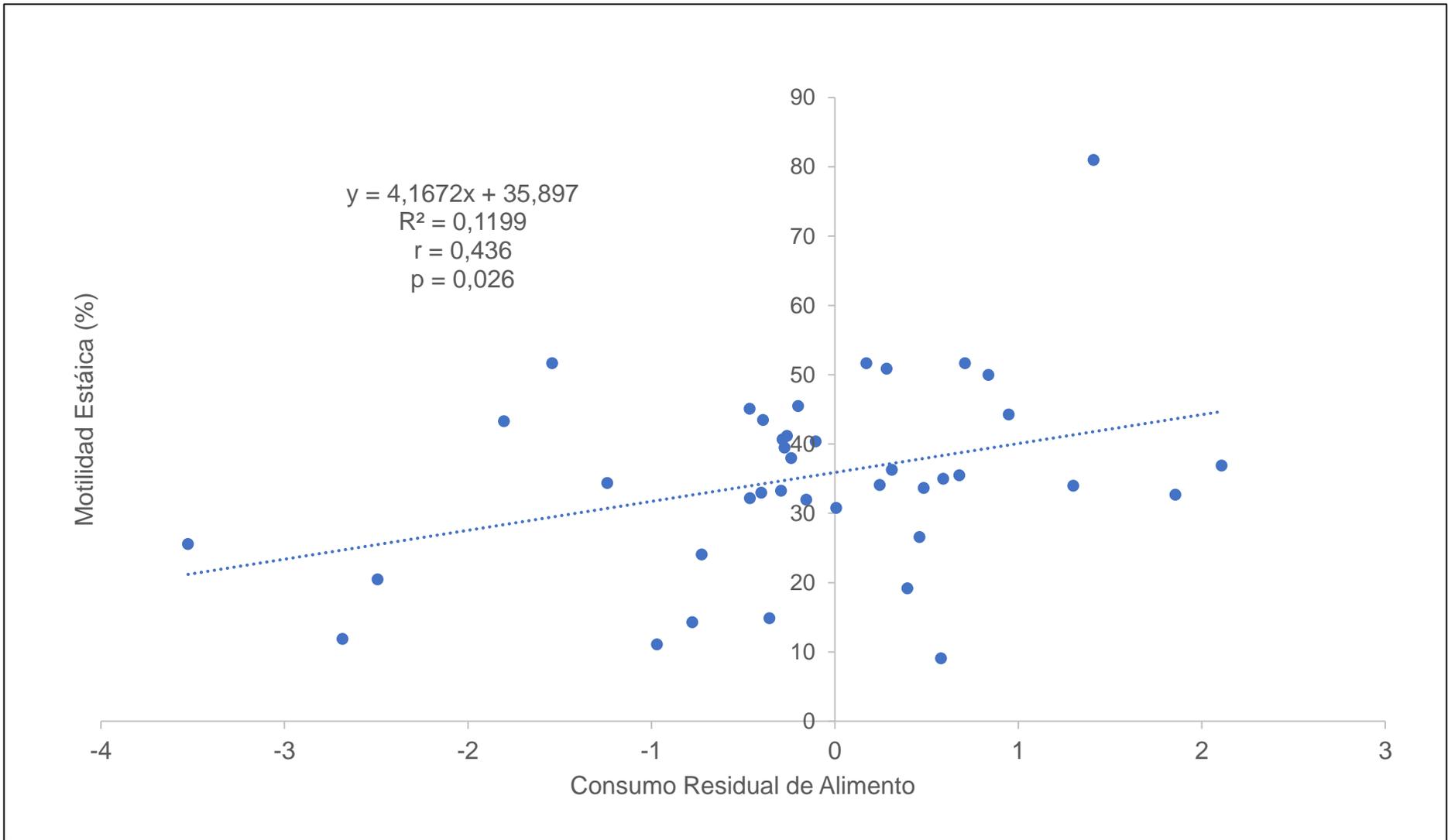


Gráfico 1. Regresión de la motilidad estática y el consumo residual de alimento. 37

### **3. Consumo residual de alimento y motilidad móvil**

El análisis de regresión del consumo residual de alimento respecto a la motilidad estática, presentó diferencias ( $P < 0,05$ ); a medida que disminuye el consumo residual de alimento, la motilidad móvil aumenta, de acuerdo al coeficiente de correlación ( $r = -0,324$ ). El coeficiente de determinación ( $R^2$ ), indica que el 10,50 % de la varianza del consumo residual de alimento está explicada por la motilidad estática, mientras que el 89,50 % restante, está en dependencia de factores externos.

La ecuación de regresión (motilidad móvil =  $-3,9026$ , %, consumo residual de alimento +  $65,018$ ), indica que, el consumo residual de alimento aumenta en 1 unidad; la motilidad móvil disminuye en  $-3,9$  %; como se puede observar en el gráfico 2.

Wang *et al.* (2012,) sugirió que una mayor proporción de los toros jóvenes que fallaron en la evaluación de la motilidad del esperma fueron clasificados como que tienen una eficiencia de alimentación superior. Esta evidencia fue apoyada por Awda, B. *et al.* (2013), quienes observaron mejor motilidad y motricidad progresiva en menos jóvenes con alimentación eficiente. Además, Hafla, A. *et al.* (2012), observaron una negativa asociación entre la eficiencia de alimentación y la calidad del semen basada en evaluación de la morfología del esperma.

Las eficiencias de la alimentación varían según la edad, por lo que se evalúan los toros jóvenes rendimiento mientras todavía está en el período de desarrollo sexual podría mostrar diferencias en la eficiencia de la alimentación y en la reproducción parámetros como la biometría de órganos, la calidad del semen.

Fontoura, A. *et al.* (2016), sostienen que la histomorfometría es una medida potencial de madurez sexual y medidas relacionadas con la fecundidad en el contexto de eficiencia de alimentación, Basados en este estudio, una mayor eficiencia de alimentación (bajo RFI) el toro tendría una motilidad del semen y motilidad progresiva más baja, más defectos del esperma, menor capacidad de

escroto en termorregulación, menor intensidad de píxel y mayor tamaño del conducto seminífero, toros con alimentación eficiente muestran características de retraso madurez sexual y evaluación de las mediciones relacionadas con la fertilidad.

Fontoura, A. *et al.* (2016), afirman que los toros con alimentación eficiente (RFI bajo) mostraron características de disminución fertilidad cuando se compara con toros menos eficientes (alto RFI), que en conjunto pueden interpretarse como retraso sexual madurez. Las asociaciones entre madurez sexual y las medidas relacionadas con la fertilidad también proporcionan evidencia de la intrincada asociación biológica entre los parámetros evaluados, que puede tener relevancia en aplicaciones comerciales para refinar la evaluación sexual en toros.

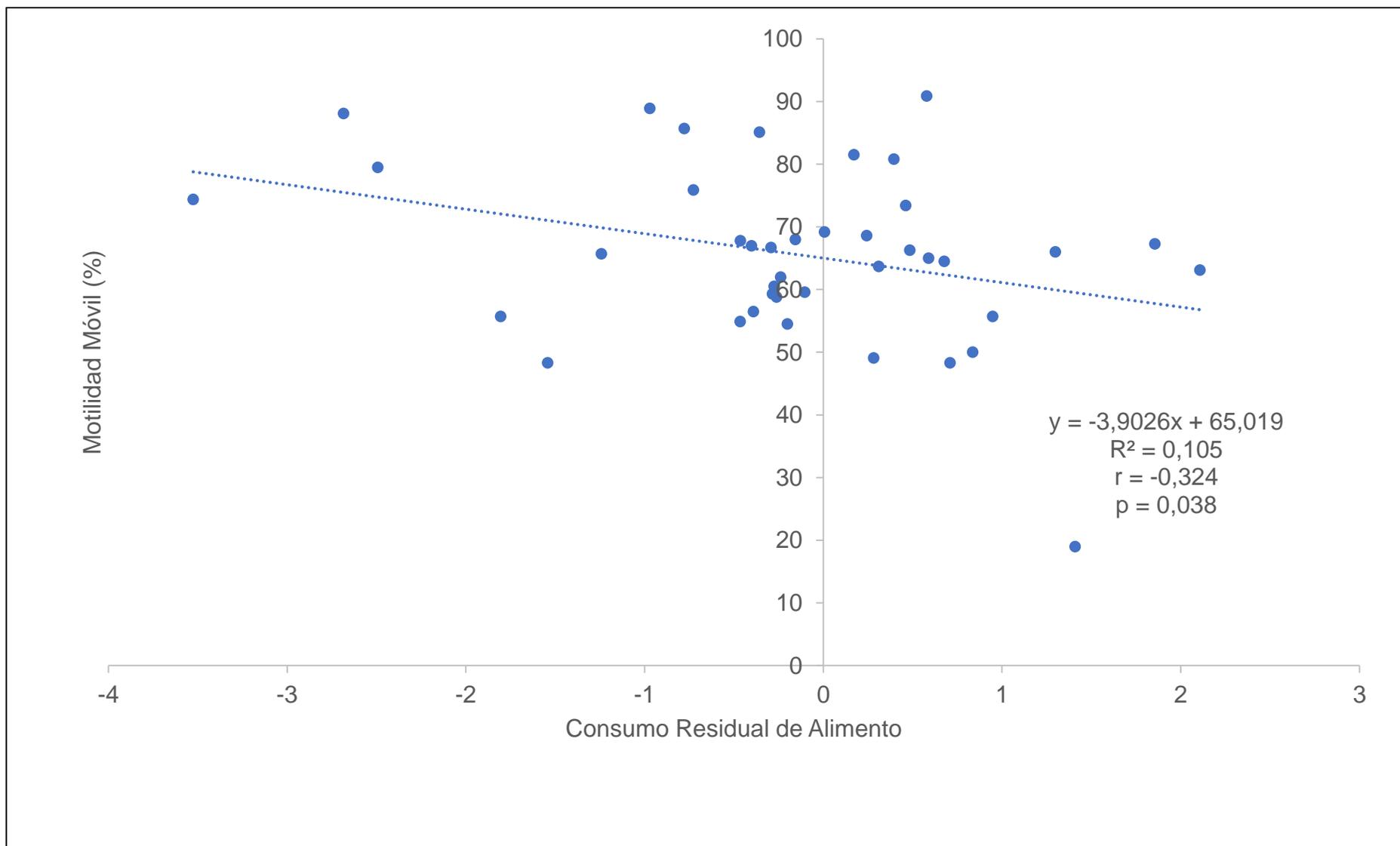


Gráfico 2. Regresión de la motilidad móvil y el consumo residual de alimento.

## V. CONCLUSIONES

- El consumo residual de alimento y la fertilidad en toretes Angus y Hereford, presentó correlación baja ( $r < 0,6$ ) con la motilidad estática, y correlación negativa con la motilidad móvil, para las circunferencia escrotal y motilidad progresiva, no se encontraron correlaciones significativas.
- Los toros con alimentación eficiente (RFI bajo) mostraron características de disminución fertilidad cuando se compara con toros menos eficientes (RFI alto), que en conjunto pueden interpretarse como retraso sexual madurez.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Cuantificar y caracterizar las correlaciones genéticas entre el RFI y la fertilidad esto puede ayudar a mejorar el rendimiento de la eficacia de la alimentación mientras que al mismo tiempo mejorara la fertilidad
- Realizar la selección de nuestros futuros reproductores en base a pruebas de comportamiento que estén asociadas con evaluación de la fertilidad de esta manera se conseguirá mayor eficiencia y rentabilidad en nuestros hatos, ya que estamos seleccionado más halla que el fenotipo sino genéticamente.

## VII. LITERATURA CITADA

1. Aguiar, C. Pessoa, H. Barros, S. Machado, W. Allaman, I. Y Snoeck, P.(2017). Effect of frame acquisition rate and different viewing chambers on equine sperm kinematics parameters measured by the SCA. *Animal Reproduction*.pp 252-255.
2. Awda, B. Montanholi, Y. Miller, S. Voort, G. Calwell, T. Buhr, M. Y Swanson, K. (2013). The relationship between feed efficiency traits and fertility in young beef bulls. *Canadian Journal of Animal Science*.pp 185-192.
3. Briones, D. Pérez, C. Rodríguez, F. Anchondo, A. Hernández, H. Y Flores, A. (2014). Evaluación genética preliminar de bovinos Angus en México mediante valores de cría genómicos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*.pp 181-187.
4. Broekhuijse, M. Sostaric, E. Feitsma, H. Y Gadella, M.(2012). Application of computerassisted semen analysis to explain variations in pig fertility. *Journal of animal science*.pp 779-789.
5. Callejas, N. Rebollar, S. Ortega, J. Y Domínguez, J. (2017). Parámetros bioeconómicos de la producción intensiva de la carne de bovino en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.pp 129-138
6. Callejas, M. Aranda, H. Rebollar, S. Y De la Fuente, M.(2014). Situación económica de la producción de bovinos de carne en el estado de Chihuahua, México. *Agronomía Mesoamericana*.25(1).pp 133-139.
7. Chenlo, P. Ariagno, J. Pugliese, M. Repetto, H. Sardi, L. Mendeluk, G. Y Curi, S. (2013). Estudio del semen humano: implementación de un método objetivo. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*.pp 61-69.
8. Cruz, C. (2015). Prueba de comportamiento de ganancia diaria de peso en toretes charoláis corral y agostadero. Recuperado el 12 julio 2017 de :

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6093/comportamiento%20de%20ganancia%20diaria%20de%20peso%20en%20toretas%20charolais%20corral%20y%20agostadero.pdf?sequence=1>

9. Contri, A. Valorz, C. Faustini, M. Wegher, L. Y Carluccio, A. (2010). Effect of semen preparation on casa motility results in cryopreserved bull spermatozoa. *Theriogenology*, 74(3).pp 424-435.
10. Dañobeytia, I. Niel, F. Y Rossi, G. (2015). Curvas de crecimiento en terneros Hereford, A. Angus y cruzas, desde el nacimiento hasta los seis meses de edad. Recuperado el 20 de junio del 2017 de: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/bitstream/123456789/8798/1/3991dan.pdf>
11. De laTorre, J.(1999). Breve descripción de la anatomía y fisiología del aparato reproductor del toro. Evaluación de sementales bovinos. Folleto técnico. p 2.
12. DosSantos, M. Nogueira, H. Ferreira, R. Dos Santos, P. Leao, D. DeOliveira, A. Y Santana, J. (2015). Quality of bovine meat finished in grazing. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*.pp 109-114.
13. Espitia, A., Prieto, E. Y Cardozo, J.(2006). Pubertad y circunferencia escrotal en toros Holstein x Cebú, Cebú y Romosinuano. *Revista MVZ Córdoba*.
14. Faria, V. Y Mattos, W. (1995). Nutrição de bovinos: conceitos básicos e aplicados. FEALQ Piracicaba. pp 199-222.
15. Fontoura, B. Montanholi, Y. De Amorin, M. Foster, R. Chenier, T. Y Miller, S. (2016). Associations between feed efficiency, sexual maturity and fertility-related measures in young beef bulls. *Animal*.pp 96-105.

16. Gaczarzewicz, D. (2015). Influence of chamber type integrated with computer-assisted semen analysis (CASA) system on the results of boar semen evaluation. *Polish journal of veterinary sciences*.pp 817-824.
17. García, J. (2013). Valoración de la aptitud reproductiva de toros de monta natural. Área de Genética y Reproducción. Centro de Biotecnología Animal. SERIDA–Gijón. Tecnología Agroalimentaria. Boletín Informativo del SERIDA.pp 33-38.
18. Hernández, L. Nivia, A. Hernández, D. Rubio, J. Y Quintero, A. (2013). Evaluación de la motilidad espermática a través del sistema CASA de semen caprino criopreservado bajo diferentes medios diluyentes. pp 16-27.
19. Hidalgo, A. Tamargo, C. Y Díez, C. (2005). Análisis del semen bovino. *Tecn Agro*.pp 39-43.
20. Iglesias, J. García, L. Y Toral, O. (2015). Comportamiento productivo de diferentes genotipos bovinos en una finca comercial. *Ceba final. Pastos y Forrajes*.pp 185-193.
21. Merchan, A. (2015). Fisiología e Implicaciones Productivas del Consumo Residual de Alimento en Bovinos. *Zoociencia*. Recuperado el 25 de junio del 2017 de : <https://revistas.udca.edu.co/index.php/zoociencia/article/view/58>
22. Morillo, M. Salazar, S. Y Castillo, E. (2012). Evaluación del potencial reproductivo del macho bovino. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado el 22 de junio del 2017 de:[http://mutante.inia.gob.ve/pdfpnp/Eval\\_poten\\_repro\\_macho%20bovino.pdf](http://mutante.inia.gob.ve/pdfpnp/Eval_poten_repro_macho%20bovino.pdf)
23. Muiño, R. Fernández, M. Viana, J. Fernández, A. Peña, A. (2006). Influencia de la raza y la pubertad en parámetros cinéticos de eyaculados bovinos. *ITEA*. pp 55-56.

24. Muiño, R. (2013). Evaluación de la motilidad y viabilidad del semen bovino mediante el uso de sistemas CASA y citometría de flujo: identificación de subpoblaciones espermáticas. Univ Santiago de Compostela.pp 8-28
25. Octaviano, F. Silva, C. Y Fabbri, S. (2016). Using the SCAS strategy to perform the initial selection of studies in systematic reviews: an experimental study. In Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. ACM, p 25.
26. Peñagaricano, F. Carriquiry, M. Y Chilbroste, P. (2015). Asociación de SNPs en genes que codifican para NPY, leptina e IGF-1 con consumo. Eficiencia alimenticia en Bovinos de Carne en Pastoreo.p 2.
27. Pereyra, F. Urioste, S. Gimeno, D. Peñagaricano, F. Bentancur, D. Y Espasandi, A. (2015). Parámetros genéticos en la etapa de cría para el cruzamiento entre Hereford y Angus en campo natural. Agrociencia Uruguay, 19(1).pp 140-149.
28. Quintero, A. Rubio, J. González, D. Gutiérrez, J. Madrid, N. Y López, J.(2011). Identification of cryodamage on plasma membrane Integrity in bull spermatozoa and its relationship With field fertility. Revista Científica. FCV-LUZ, 11(5).pp 403-407.
29. Rafaelli, P. Melendez, S. Larrosa, O. Pérez, A. Cateli, J. Y Raspo, C. (2012). Bovinos de Carne. Recuperado el 12 de junio del 2017 de : <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/4009>
30. Rangel, L. (2007). Evaluación de la salud de sementales bovinos. Reproduccion.p 11.
31. Rubio, J. Gonzáles, D. González, Y. Madrid, N. Y Quintero, A.(2007). ¿Puede el ORT complementar las pruebas clásicas de valoración seminal y

- predecir la fertilidad en toros. Arch. Latinoam .Prod. Anim, 15(1).p 329.
32. Tomarelli, C. Caroli, A. Rizzi, R. Y Álvarez, J. (2015). Estimación de factores de ajuste para el peso y la edad en hembras de la raza Carora. Revista de la Facultad de Agronomía, 4(32).pp 443-453.
33. Torrado, I. Aranda, M. Gómez, V. Bravo, J. Y Constantino, J. (2016). Utilización de la electroeyaculación para la evaluación de la aptitud reproductiva potencial del toro en sistemas extensivos en la comunidad autónoma de Extremadura. Archivos de Zootécnia(265), 251.pp 327-332
34. Torres, C. Pérez, G. Dos Santos, A. Martínez, L. Y Recupero, J. (2015). Factores ambientales que afectan el peso al destete en el Noroeste de Santiago del Estero. 35(1).pp 110.
35. Vallecio, A. (2011). Caracterización reproductiva de toros de la raza Marismeña como base a su conservación. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Recuperado el 25 junio del 2017 de :<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=56759>
36. Varlamoff, N. Cipolini, M. Jacobo, R. Martínez, D. Y Ragazzi, A. (2015). Ganancia de peso en terneros Brahman y Brangus 1/4, 3/8 y 5/8 desde el nacimiento al destete en Corrientes (Argentina). Revista Veterinaria, 1(22).pp 60-63.
37. Vera, C. (2011). Evaluación de la validéz de la cría y análisis de semen para predecir la fertilidad del toro. Bachelor's thesis. Recuperado el 26 de junio del 2017 de :  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3054/1/mv191.pdf>
38. Zарtha, J. Vélez, G. Y Herrera, J. (2015). Diseño de un modelo para la evaluación del comportamiento del consumo de carne bovina usando

dinámica de sistemas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2(5).pp  
118-125.

**ANEXOS**

Anexo 1. Masaje de estimulación de la próstata por vía rectal.



Anexo 2. Electro eyaculador



Anexo 3. Estimulación por electroeyaculador



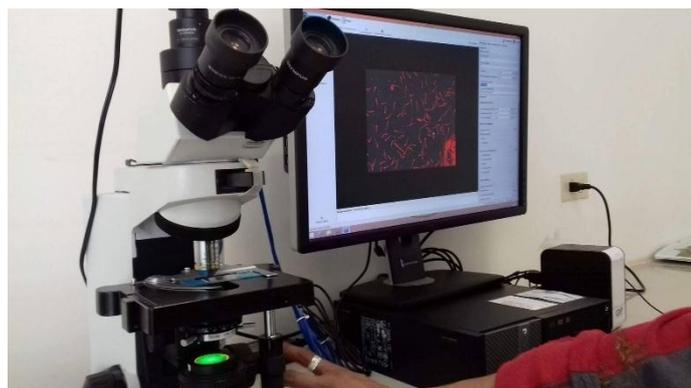
#### Anexo 4. Recolección de semen



#### Anexo 5. Camara Leja



#### Anexo 6. Evaluación seminal en el sistema automatizado CASA



## Anexo 7. Análisis de laboratorio de fertilidad

**ID Animal** 1663.-D101  
**Raza** AN  
**Fecha y hora del análisis** 25/03/2017 15:18:29  
**Propietario**  
**Técnico de colección** Javier Antillon  
**Técnico de laboratorio** CEROS-2 Spanish

**Centro**  
**de Biotecnología**  
 Carretera Cuahutémoc Km 35.5  
**Análisis de Fertilidad**



### Motilidad

	Conteo	Muestra M	Concentración M/ml	Porcentaje total
<b>Total</b>	406	13	21.15	100
<b>Estáticos</b>	180	6	9.38	44.3
<b>Progresivos</b>	89	3	4.64	21.9
<b>Móviles</b>	226	7	11.77	55.7
<b>Lentos</b>	91	3	4.74	22.4

### Morfología

	Conteo	Muestra M	Concentración M/ml	Porcentaje total
<b>Colas dobladas</b>	67	2	3.49	16.5
<b>Colas enroscadas</b>	32	1	1.67	7.9
<b>DMR</b>	1	0	0.05	0.2
<b>Gota distal</b>	13	0	0.68	3.2
<b>Gota proximal</b>	3	0	0.16	0.7
<b>Fracción normal</b>			<b>74.9</b>	<b>%</b>

### Dosis

<b>Volumen del eyaculado (ml)</b>	0.6	<b>Muestra seleccionada</b>	Total
<b>Muestra:Diluyente1:</b>	2	<b>% Colas dobladas</b>	16.5
<b>Espermatozoides por dosis (M) :</b>	20	<b>% Colas enroscadas</b>	7.9
<b>Volumen de dosis (ml) :</b>	0.55	<b>% DMR</b>	0.2
<b>Volumen utilizable (ml)</b>	0.5	<b>% Proximal</b>	0.7
<b>Volumen de diluyente (ml) :</b>	-0.36	<b>% Distal:</b>	3.2
<b>Número de dosis:</b>	0	<b>Concentración ajustada:</b>	53.42

