



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**“CURVAS DE CRECIMIENTO DE SEMENTALES DE CINCO RAZAS PURAS
DE REGISTRO EN EL TRÓPICO HÚMEDO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

LUIS ARCADIO PÉREZ CUERVO

ASESOR:

DR. BENITO LÓPEZ BAÑOS

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CURVAS DE CRECIMIENTO DE SEMENTALES DE CINCO RAZAS PURAS DE REGISTRO EN EL TRÓPICO HÚMEDO

Tabla de Contenido.	Páginas.
I. Resumen.	1
II. Introducción.	2
III. Crecimiento.	8
IV. Antecedentes.	19
V. Objetivos.	28
VI. Material y métodos.	29
VII. Análisis estadístico.	29
VIII. Resultados.	31
IX. Discusión.	37
X. Conclusión.	41
XI. Bibliografía.	42

I. RESUMEN.

Curvas de crecimiento de sementales de cinco razas puras de registro en el trópico húmedo.

La presente investigación se realizó en el Estado de Tabasco, el objetivo fue evaluar la curva de crecimiento de cinco diferentes razas de bovinos bajo circunstancias similares de crianza y crecimiento. Se utilizaron los registros de pesos individuales de 44 animales, de los cuales: 8 fueron de la raza Gyr, 6 Brahaman, 9 Pardo Suizo, 10 Nelore y 11 Indobrasil. Se tomaron pesos de estos animales desde el primer día de edad hasta 1008 días con intervalo de 28 días entre pesada y pesada. El clima de esta región se clasifica como tropical húmedo Amw, con una temperatura media anual de 26.7 °C y una precipitación pluvial de 2270mm, con presencia de vientos húmedos en el periodo invernal. El ganado fue pastoreado bajo un sistema pastoreo rotacional de zacate humidicola (*Brachiaria humidicola*), estrella africana (*Cynodon pelctostachyus*), tanzania (*Panicum maximum*) y bermuda (*Cynodon dactylon*). Para evaluar la curva de crecimiento en cada raza, se utilizó la ecuación matemática propuesta por Richerds. Los parámetros de esta ecuación son: A, B, C, D y fueron comparados en cada raza por medio de una prueba de ANDEVA bajo un arreglo Totalmente Aleatorizado desbalanceado. Las diferencias entre medias serán comparadas por pruebas de Tukey. Después de realizada la investigación se determina que las razas cebuinas son las de mejor rendimiento para estas condiciones climáticas. En comparación entre ellas vemos que la que tiene los mejores promedios de peso es la raza Nelore (657 Kg. al término del trabajo), seguidas de las razas Indobrasil y Brahaman (645Kg), Gyr (634 Kg.) y por último la raza Pardo Suizo (549 Kg.). Debido a estos resultados se concluye que esto se debe a la mejor adaptación al clima tropical húmedo que tienen las razas cebuinas sobre las razas europeas.

II. INTRODUCCIÓN

Ganadería en el trópico de México.

La ganadería Mexicana actualmente presenta mayores desafíos, tomando en cuenta los altos precios de los insumos, comparándolos ante los bajos precios de venta de sus productos, además de la poca infraestructura para integrar los eslabones de la cadena agroalimentaria. Estas condiciones se acentúan más en las regiones del trópico y subtropico, en donde la producción de carne y de leche dependen generalmente de la época del año; en la época de lluvias se obtiene mayor disponibilidad de forraje y en las épocas de sequía resultan difíciles las condiciones para mantener el ganado en condiciones productivas (si no se tiene la tecnología y/o los medios para ensilar o henificar el forraje). En la balanza comercial agropecuaria, solo dos productos de origen animal fueron siempre significativos: las exportaciones de becerros en pie y las importaciones de leche descremada en polvo. Los primeros -con el café y los rubros hortifrutícolas- fueron hasta los noventa los principales productos de exportación. Las tradicionales importaciones de la industria lechera, son motivadas por la insuficiencia estructural de la oferta. A estos rubros básicos se agregaban importaciones de distintos insumos, genéticos, sanitarios y progresivamente alimentarios (sorgos, pastas, etc.) y de exportaciones de carne de res y miel (FAO, 1993).

La población bovina tropical nacional es de aproximadamente 12 millones de bovinos (40% del inventario nacional), que produce el 28 y 39% de la leche y carne consumida en la República Mexicana. La población ganadera de Tabasco en 1999 era de 1, 555,087 cabezas mantenidas en una superficie de 1,655,696 hectáreas (ha). De modo que cada hectárea mantiene a 0.9 animales (SAGAR 1999.) Las limitantes para el desarrollo de la ganadería del sureste de México son principalmente de origen ambiental y de transferencia de tecnología (Pereda, et al., 2004).

Las razas Cebuinas están ampliamente difundidas en varios continentes y constituye la base sobre la que se erige la política de cruzamiento de Cuba y México. Su importancia radica en que presenta ciertas características de resistencia y adaptación deseables para las condiciones de explotación en el área tropical y subtropical. Su utilización resulta conveniente no solo como raza pura, sino además en la ejecución de programas de cruzamiento con el

objetivo de mejorar el rendimiento de los rebaños. Dentro de las principales ventajas se encuentran, entre otras, sus bajas tasas de mortalidad e incidencia de crías muertas, alta eficiencia en dietas fibrosas y buena habilidad materna (Ceró, et al., 2000).

El cebú actual está definitivamente incorporado a la ganadería avanzada del área intertropical, siendo sus antecedentes las crecientes exigencias de carne y leche, que indujeron a aplicar una metodología procurando la eficiencia productiva. Las razas productoras de carne, respondiendo a esta dinámica tecnológica, sufrieron un rápido perfeccionamiento atrayendo el interés de los criadores. En la historia ganadera contemporánea, el florecimiento de añejas estirpes índicas en los principales centros pecuarios del mundo es uno de los sucesos más relevantes. Durante las últimas cinco décadas, criadores y estudiosos estadounidenses, brasileños, argentinos, australianos, sudafricanos y de otros países, invirtieron grandes esfuerzos tecnológicos y económicos para convertir algunas pocas razas Cebú puras, en eficientes instrumentos productivos para las vastas áreas intertropicales, siendo muy satisfactorio comprobar que la respuesta resultó sumamente favorable (Helman, 1986).

El mérito de plasmar un tipo de animal índico unido a una conformación para carne, resulta al reconocer la heterocigosis propia de tan diversos materiales genéticos involucrados. Si bien esta variabilidad inicial pudo facilitar la concreción del plan al resultar más maleable a la selección, la heterogeneidad es observable en la desuniformidad de apariencia, tamaño, conformación hasta de pelaje manifestada aún más en la actualidad, a raíz de la incorporación ulterior de otras cepas de Cebú (Helman, 1986).

Características del ganado Brahman.

El patrón racial establecido para la raza Brahman se destaca por su tolerancia en cuanto a los caracteres puramente raciales, tales como pelaje perfil craneano, forma, tamaño y dirección de los cuernos; tamaño y posición de las orejas, y otros detalles sin significado económico; pero es exigente en lo tocante a desarrollo, peso y aptitud para producir carne, y todo el esfuerzo selectivo está encaminado a esa actividad (Alves, S., 1991).

El animal típico Brahman tiene porte grande, cabeza ancha, perfil recto, pescuezo corto y grueso, con barbilla desarrollada; los cuernos son cortos, medianamente gruesos y dirigidos hacia atrás y hacia fuera; las orejas son largas y de tamaño mediano; las costillas deben de

ser arqueadas, dando pecho profundo y ancho; el vientre, voluminoso, denotando gran capacidad (Alves, S., 1991).

Las ventajas del ganado Brahman proceden de algunas de sus características, debiendo ser destacadas:

Adaptación al ambiente. Definida como aptitud de los animales para moderar el área en la que se encuentren, incluye la aptitud para utilizar los recursos alimenticios, caminar grandes distancias en busca de alimentos y agua y soportar las condiciones climáticas dominantes. El Brahman como otros cebuinos, revela acentuada tolerancia al calor, resistencia a las bajas temperaturas, resistencia a varias enfermedades y contra los insectos y parásitos (Alves, S., 1991).

Capacidad de producción. La vida productiva del Brahman y de sus mestizos es acentuadamente mas larga que las de los representantes de las razas europeas. Como todo cebú, el Brahman tiene gran capacidad para caminar en busca de alimentos, garantizando así la supervivencia en los periodos desfavorables (Alves, S., 1991).

Facilidad de aumento de peso. Desarrollada por sus seleccionadores, coloca al Brahman en igualdad de condiciones con las razas europeas y a veces en posición superior, en ciertas regiones del sur de Estados Unidos, de clima caldo y menores recursos alimentarios. Por ese motivo, puede ser engordado y encaminado al matadero bastante pronto, aprovechando bien las raciones de alto valor nutritivo (Alves, S., 1991).

Características del ganado Nelore.

No existió ni existe en la India ninguna raza llamada Nelore; ese nombre corresponde a un sitio en la antigua Presidencia de Madrás, hoy perteneciente al nuevo Estado de Andra, situado en la costa oriental del Coromandel bañada por el Mar de Bengala. Fue en Brasil donde algunos autores comenzaron a denominar Nelore, como sinónimo de Ongole, a un importante grupo étnico introducido desde ese distrito y que los importadores brasileños seleccionaron de entre los mejores ejemplares (Helman, 1986).

En los últimos tiempos la raza Nelore pasó a ocupar el primer lugar en los registros genealógicos, ocupa los puestos de avanzada en las pruebas de aumento de peso y concurso de novillos, se destaca en las exposiciones y fue el ganado de elección en los ambiciosos planes de crianza extensiva y en gran escala emprendidos en la conquista del Amazonas, vasto territorio de cerca de cinco millones de kilómetros cuadrados que representa el 59% de Brasil (Helman, 1986).

La raza Nelore se distingue tanto por el hato, que actualmente es el segundo en lo que atañe a las inscripciones en el Registro Genealógico en Brasil (Helman, 1986).

El Nelore es un animal grande y pesado. Los machos adultos pesan de 1200 a 1500 kilogramos. Tienen el cuerpo largo y el cuello corto, miembros largos y musculosos, canillas pesuñas fuertes y bien hechos, las puntas de los pesuñas delanteros se dirigen bien hacia el frente, y la curva del jarrete no debe ser muy recta ni muy curva. La apariencia general es viva, pero dócil, con buen porte y andar elegante. El color popular es blanco (Alves, S., 1991).

Los becerros machos Nelore nacen pesando 28.1 kilogramos y las hembras 25.2 kilogramos, comparando los pesos de la raza Nelore con los de otras razas cebuinas, se llega a la conclusión de que esta raza pesa menos que los de la raza Indobrasil, son iguales a los Lucera y más pesados que los de la raza Gyr (Alves, S., 1991).

En su país de origen el Nelore es muy apreciado como animal de trabajo y como productor de leche; los bueyes son dóciles, fuertes, eficientes en la labranza y en el transporte de carretas (Alves, S., 1991).

En Brasil, el Nelore es esencialmente una raza productora de carne. De entre las variedades traídas de la India, es en la que se a realizado una mayor selección, teniendo en cuenta la producción de novillos para corte. Tiene a su favor una buena conformación, cabeza pequeña y leve osamenta (Alves, S., 1991).

Los becerros Nelore nacen sanos, fuertes, despiertos y horas después del nacimiento ya se desplazan por el rebaño. Atraen la atención de sus manejadores, puesto que teniendo las vacas pezones pequeños y finos, el amamantamiento se hace con facilidad. La pérdida de becerros es mínima, conocidamente menor a la de otras razas cebuinas, dada su natural

rusticidad, lo que eleva el beneficio del hato. Es un ganado prolífico; los toros y las vacas son bastante fértiles y estas últimas paren con regularidad (Alves, S., 1991).

Características del ganado Gyr.

Oriunda del oeste de la India, en los campos boscosos de Gyr al sur de la península de Kathiawar, donde existe desde tiempos muy lejanos un ganado Cebú totalmente distinto, caracterizado por perfil craneano superconvexilíneo, cuerpo compacto, amplios pliegues de papada, prepucio y ombligo, y de variados colores de pelaje. Su área geográfica de cría es bastante extensa, desde Kutch al norte hasta los antiguos dominios del Nizan al sur, así como en los estados occidentales de Rajputana. A raíz de los movimientos anuales en búsqueda de campos de pastoreo y el transporte de mercaderías, el Gyr ejerció considerable influencia en la formación de otras razas, suponiéndose inclusive que tuvo influencia en las razas coloradas Sindhi Roja y Sahiwal originadas con el ganado de Afganistán. Incorporada al Brasil se difundió rápidamente en los estados centrales, hasta llegar a constituir el grupo étnico más numeroso dentro del ganado Índico del país, y en determinado momento lo fue también en los libros genealógicos por la cantidad de ejemplares inscritos, valorizándose con el alto nivel de selección y pureza racial en las exposiciones nacionales y regionales. En los comienzos de la selección del Gyr los ganaderos acordaron una atención exagerada a la preservación pura de las características raciales que consideraban eran fundamentales, pero una vez alcanzado ese objetivo, muchos cambiaron de criterio y se dedicaron al perfeccionamiento de linajes con buenas actitudes para la producción de carne y de rendimientos lecheros. Con respecto a esta última condición, se está promoviendo la estabilización de la subraza Gyr lechero (Alves, S., 1991).

Como se expresó, el ganado Gyr encontró muchísimos adeptos en los estados centrales de Brasil, criándose primordially como productor de carne, pero empleando los sistemas menos extensivos en relación a los cuidados especiales que requieren los terneros lactantes. Hace ya bastante tiempo se insinuó también la intención de algunos para explotar las posibilidades lecheras que manifiestan poseer algunos ejemplares, y aunque la atención prestada en ciertos planteles por organismos oficiales y particulares es reciente, sus resultados están alentando a la creación del Gyr lechero, no obstante, la mayoría de los productores permanecen al margen del proceso (Alves, S., 1991).

Características del ganado Indobrasil.

Originada en Brasil por cruzamientos de las razas Guzerat y Gyr, y se formó en el Estado de Minas Gerais, en la región llamada Triángulo Mineiro que tiene por centro a la ciudad de Uberaba. A partir de 1929 los criadores, entusiasmados por el gran tamaño adquirido por los mestizos y por algunas otras características que recuerdan a las estirpes originarias, decidieron estabilizarla en una nueva raza para carne, con la posterior apertura del registro y estipulación del patrón racial. Desde entonces comenzó a estar en boga, aunque el mayor número de criadores estaban circunscritos a los Estados de Minas de Gerais y de Bahía. Los criadores atendieron a las influencias de los compradores, que exigían un tipo de animal más próximos a la raza Gyr y de esqueleto menos grueso, volviendo a utilizar toros Gyr sobre sus vientres Indobrasil, haciendo más difícil fijar los rasgos raciales, esto los desanimó frente a las dificultades que les ofrecía la inestabilidad de los mestizos, frenando el crecimiento inicial. Por su apariencia vigorosa y gran volumen corporal, se parece bastante al Guzerat, del que también heredó el color del pelaje, y del Gyr, denota ciertos caracteres como perfil cefálico algo convexo y los cuernos y orejas típicas (Helman, 1986).

Su mayor valor radica en la velocidad de crecimiento, aptitud en la cual supera a las dos razas que le dieron origen, quizá por razones de heterosis; pero, como ocurre con ellas, la poca vivacidad de los terneros recién nacidos requiere el cuidado del criador y le resta posibilidades para su crianza en métodos extensivos (Helman, 1986).

Características del ganado Pardo Suizo.

El moderno ganado Pardo Suizo europeo procede principalmente del cantón de Schwyz. La conformación de este ganado corresponde más al tipo lechero. Son tranquilos y fáciles de manejar. Hay vacas cuya producción puede exceder de 1000 kg de leche con buenos porcentajes de grasa. Quizá revista aun más, su reconocida adaptabilidad a condiciones climáticas, tanto en su propio país como fuera de él. Respecto a la producción cárnica, el ganado Pardo Suizo europeo posee una buena capacidad de engorde y en experimentos controlados de cebamiento con animales hasta de 17 meses, edad en que pesan 450 kilogramos, se han obtenido promedios de 0,85 kilogramos de ganancia diaria de peso. Se han registrado porcentajes de rendimiento a la canal de 55% para toros jóvenes. La carne es

de buena calidad con relativamente poco tejido adiposo, aunque las canales en su conjunto pueden contener de 20 a 25% de huesos (French, et al., 1969).

La ganadería es una actividad económica importante, ya que representa el 4.2% del PIB en el ámbito nacional. Sin embargo durante los últimos 10 años la actividad ganadera ha estado bajo factores climáticos adversos, que la han puesto en una situación difícil (Mejía, et al., 2003).

III. CRECIMIENTO.

El proceso de crecimiento en uno o más de sus diversos aspectos, sirve de base a los sistemas agropecuarios, ya que no puede haber producción alguna de las plantas o animales si no exhiben crecimiento. En la vida del animal el crecimiento y el desarrollo son procesos fundamentales, por lo que es importante conocer y comprender ambos procesos biológicos. Por tanto, es necesario definir y caracterizar el crecimiento para poder optimizar la utilización y producción de especies pecuarias (González, 1978).

El crecimiento es un proceso fisiológico de enorme trascendencia práctica en todas las especies ganaderas, especialmente en los animales de carnicería, como son los bóvidos de abasto. Un ritmo rápido de crecimiento es la clave del éxito de la explotación de esta especie. Resulta esencial, por tanto, que en el estudio dedicado a las producciones animales se dedique un capítulo a la exposición de este fenómeno tan complejo que es el crecimiento. Expresando de la manera más simple que se pueda decir, el crecimiento es el aumento registrado en un espacio de tiempo determinado de la magnitud de una parte o de todo el organismo sometido a medida. Este concepto es aprovechable desde el punto de vista del análisis cuantitativo, puesto que implica la idea tanto de un aumento de la población como del número de células (talla), del ritmo de desarrollo o del aumento de peso, todo ello siempre en función del tiempo. Quedan excluidas las variaciones debidas a cambios en la alimentación o a estados fisiológicos diversos, como son la gestación o la lactación (Cole, 1973).

Cualquier definición que se proponga del crecimiento es casi seguro que pecará de inexacta, puesto que para no serlo debería compendiar la multitud de acciones y modificaciones relacionadas con el proceso, Brody define el crecimiento como “el cambio relativamente irreversible en el tiempo de la magnitud de las dimensiones y funciones mensurables”.

Expresándolo de manera más simple puede decirse que el crecimiento es el aumento registrado en un espacio de tiempo determinado de la magnitud de una parte o de todo el organismo sometido a medida. Este concepto es aprovechable desde el punto de vista de análisis cuantitativo, puesto que implica la idea tanto de un aumento de la población como el número de células (talla), del ritmo de desarrollo o del aumento de peso, todo ello siempre en función del tiempo. Quedan excluidas las variaciones debidas a cambios en la alimentación o a estados fisiológicos diversos, como son la gestación o la lactación (Cole, 1973)

El crecimiento efectivo, puede describirse como una combinación de diversos procesos fisiológicos de tipo bioquímico y que está caracterizado, dentro de ciertas restricciones, por el acúmulo de sustancia corporal como resultado de una preponderancia de la asimilación sobre la desasimilación en el metabolismo protoplasmático. Por comprender el protoplasma tan solo la producción viva del organismo, esta definición no se refiere a el agua y alimento contenidos en el tracto digestivo ni a los productos todavía por excretar, así como tampoco a sustancias como el glucógeno almacenado en el hígado, la grasa de los depósitos adiposos y el calcio de los huesos. Por tanto, queda entendido que el autentico crecimiento implica exclusivamente la masa del protoplasma (Cole, 1973).

El crecimiento es una característica fundamental de todos los sistemas biológicos. La curva del crecimiento con la forma característica de S de todos los sistemas biológicos, describe el incremento del peso corporal de un animal desde su concepción hasta su madurez o bien el incremento en el número de células de una población de levadura (Brody, 1945). El término crecimiento, cuando se aplica a los animales, puede ser considerado en su forma más simple como un incremento de peso corporal o de altura de un animal joven durante un determinado intervalo en su desarrollo para ser adulto. El crecimiento incluye todos los procesos de multiplicación y diferenciación celular comenzando con el embrión recién formado, y extendiéndose a través del desarrollo fetal, crecimiento y desarrollo postnatal, y hasta ser un individuo adulto. El crecimiento incluye también procesos en tejidos y órganos especializados, por ejemplo, las membranas uterinas y fetales durante la gestación, y la glándula mamaria durante la lactación. La explotación animal requiere un elevado nivel de eficacia en la utilización de recursos. La eficacia viene determinada, en gran medida, por el grado en que el potencial genético de un animal permite alcanzar una tasa máxima de crecimiento mediante aportaciones de factores ambientales tales como nutrición adecuada, control de

enfermedades infecciosas, alojamiento cómodo, y otras prácticas de manejo que estimulan el crecimiento (Pond et. al., 2006).

Cuando un animal se aproxima a su tamaño adulto, la tasa de crecimiento relativo disminuye hacia cero, y cuando alcanza la madurez, cesa el crecimiento y se mantiene constante el peso corporal, a menos que el consumo de energía supere las necesidades de mantenimiento, en cuyo caso aumenta la grasa corporal y el animal sigue ganando peso corporal. Este aumento de peso no es considerado como crecimiento verdadero en el contexto de la producción animal, ya que la mayor deposición de grasa representa, por definición, “crecimiento” del tejido adiposo (Pond et. al., 2006).

Esta curva de crecimiento responde al desarrollo de un modelo matemático (ecuación de Gompertz, 1976), que sólo puede darse como tal en condiciones ambientales ideales. En la práctica, esta curva experimenta notables variaciones, sobre todo al comienzo de la vida postnatal, durante el destete y en cualquier otra situación de estrés que pueda producirse (Swatland, 1991).

Descripción del Crecimiento.

La evolución del aumento del peso vivo a lo largo de la vida de un animal es un fenómeno complejo dependiente del genotipo del animal, de efectos ambientales que persisten a lo largo del tiempo y que tienen un efecto variable con la edad y el desarrollo del animal, y de variaciones aleatorias puntuales que pueden afectar solo a periodos cortos de tiempo. Es difícil representar una ley de crecimiento debido a que incidencias locales pueden hacer variar el peso del individuo de forma aleatoria. Es importante observar la variabilidad de pesos que se encuentran dentro de la población, y como por efecto de escalera esta variabilidad aumenta con el tiempo. Eliminadas las perturbaciones locales al hacer las medias, se observa el típico dibujo sigmoideo de crecimiento: al principio el crecimiento es algo lento, pasa por una etapa de aceleración y luego se va retardando hasta llegar al estado adulto (Blasco, 2007).

Para la mayor parte de los trabajos científicos con animales, no se necesita realizar alguna acrobacia matemática para obtener una estimación razonable del peso adulto o de la edad al sacrificio comercial o a otro peso cualquiera. Sin embargo, en algunas ocasiones (no muchas) puede ser interesante resumir el fenómeno del crecimiento en pocos parámetros descriptivos, preferiblemente que puedan ser interpretados biológicamente (Blasco, 2007).

Curva de crecimiento.

Si se relaciona el aumento progresivo del carácter objeto de medida con el factor tiempo, se obtiene en términos generales una curva sigmoidea, independiente de que dichos caracteres sean números de individuos (poblaciones) o el peso o la altura de uno solo de éstos. Puede adelantarse que tales curvas tienen un aspecto muy semejante. En una población la unidad viene representada por un organismo en particular y la forma de la curva es reflejo de las frecuencias de las distintas clases de individuos alcanzadas en el curso del tiempo. De igual forma, el aumento de tamaño de un solo organismo o individuo viene expresado por el número de células que lo integran en un momento determinado, aunque el carácter elegido sea una función lineal o ponderal. Consecuentemente, la cuantía del aumento es proporcional al número de unidades capaces de duplicarse en un tiempo dado. Como este incremento no prosigue indefinidamente, las curvas pueden exhibir un descenso gradual resultante de la acción de alguna fuerza neutralizadora. Debemos tener presente, sin embargo, que la forma de la curva depende de los cambios acaecidos durante el proceso de crecimiento de un individuo o población en el curso de toda su existencia. Cuando se limitan artificialmente la edad de un individuo o la amplitud de una población, como sucede en los animales domésticos, la curva pierde su característica forma en "S". El crecimiento puede expresarse matemáticamente de varias maneras: como promedio del aumento por unidad de tiempo del carácter objeto de medida; como porcentaje de aumento por unidad de tiempo de un carácter de magnitud inicial determinada; como un aumento que se va acumulando durante un periodo de tiempo prefijado. El promedio de aumento es la expresión utilizada con más frecuencia por el ganadero, que suele referirse al promedio de aumento diario conseguido por uno o varios animales. Las curvas de crecimiento total muestran en su característica disposición en "S" que el desarrollo es rápido durante la primer etapa de la vida, pero a medida que el animal envejece, el crecimiento se va haciendo más pausado, hasta cesar por completo. Con objeto de facilitar las comparaciones, se suele dividir la curva en tres partes: Fase de autoaceleración, punto de inflexión o inversión y fase de auto inhibición. En la fase de auto aceleración la talla del animal aumenta por la acción de factores distintos en forma susceptible de medida. El carácter exponencial de dicho aumento puede expresarse sin dificultad. Admitiendo que el organismo procede de una sola célula capaz de dividirse en dos, cada una de las cuales, a su vez, dividirse en otras dos, y así, sucesivamente, pero no todas las células se multiplican con la misma frecuencia, así como tampoco las cuantías de peso ganado o

aumento lineal están en función estricta del número total de células en un tiempo dado. El punto en el que cesa la aceleración del crecimiento para iniciarse la deceleración del mismo se conoce con el nombre de *punto de inflexión*; en los animales superiores este punto coincide con la pubertad. La causa de esta variación no está claramente determinada, pero su coincidencia con una época de profundos cambios endocrinos obliga a pensar que la producción de ciertas hormonas ejerza una acción decisiva sobre el proceso de crecimiento. La fase de auto inhibición del crecimiento, al igual que la fase de auto aceleración, puede también definirse matemáticamente, como el grado de desarrollo en esta época es proporcional al crecimiento que falta por conseguirse (Cole, 1973).

Factores que influyen sobre el crecimiento orgánico.

Después de lo expuesto, puede pasarse ya a considerar cómo la velocidad de desarrollo y la composición del cuerpo pueden resultar influenciadas por factores alimenticios y hormonales. Sabido es el efecto retardador del crecimiento que tienen las enfermedades; pero como ello se debe, en última instancia, a un desgaste fisiológico relacionado casi siempre con la disminución del apetito, no es necesario estudiar en particular cada uno de los agentes patológicos con acción sobre el crecimiento (Cole, 1973).

Influencia de la nutrición.

Entre los factores que condicionan el crecimiento, el plan alimenticio ocupa el lugar más destacado (Cole, 1973).

La velocidad del crecimiento.

Su interés económico radica principalmente en la fijación del momento de sacrificio del animal, que (desde el punto de vista económico) no debería sobrepasar excesivamente el momento de máxima tasa absoluta de crecimiento, si bien en ciertas ocasiones no se realiza así por imperativos comerciales (por ejemplo ternera nonata) o por preferir un desarrollo especial de alguna parte de la canal. Su máximo coincide con el punto de inflexión de las curvas de crecimiento (Blasco, 2007).

El momento del sacrificio.

Se ha intentado a veces definir el momento óptimo de sacrificio, en general procurando que se produzca antes de que la velocidad de crecimiento descienda demasiado, y hay intentos de situarlo en el punto de inflexión (máxima velocidad de crecimiento) o en alguna distancia de este punto. Sin embargo, el momento de sacrificio está marcado por el mercado y no es fácil variarlo mucho en la práctica (Blasco, 2007).

Peso corporal como medida del crecimiento.

En la producción práctica de animales, la medida más significativa y útil del crecimiento es el incremento de peso corporal por unidad de tiempo. Cada especie animal tiene su propio crecimiento característico, relacionado con el peso corporal del animal maduro y la tasa media de crecimiento. Rumen, retículo, omaso, abomaso, hígado y riñones presentan incrementos de peso proporcionalmente más rápidos que el organismo completo inmediatamente después del nacimiento. Se sabe que no son idénticas las tasas de crecimiento de las partes del animal. La cabeza y las espaldas alcanzan el tamaño maduro antes que las zonas posteriores del cuerpo. Es decir, en los inicios de la vida, la cabeza y la espalda representan una mayor proporción del peso corporal total, lo cual no sucede en edades más avanzadas. De manera similar, órganos y tejidos individuales crecen según tasas diferentes, y en realidad, tipos de células individuales en el seno de un órgano crecen según tasas diferentes. La proteína y las cenizas, como proporciones del peso corporal total, se mantienen relativamente constantes durante el crecimiento, mientras que la proporción de agua cambia de forma recíproca con la grasa, es decir, cuando aumenta la grasa, disminuye el agua de forma proporcional. Resulta importante reconocer la estrecha relación que existe en los animales productores de alimentos entre el tamaño corporal último (según la especie) y la composición corporal durante el crecimiento. Los animales de una especie que alcanzan la madurez con un peso corporal relativamente bajo alcanzan un contenido deseable de grasa corporal con un menor peso corporal que los animales de mayor tamaño. Por ejemplo, las razas de vacuno con un tamaño medio (por ej., Angus o Hereford) pueden ser comercializadas con menos peso que las razas de mayor tamaño (por ej., Simmental o Chianina). Esto se debe a que su contenido de grasa corporal es suficiente para producir canales con valoración alto con un menor peso corporal que las razas de mayor tamaño (los animales con una estructura grande deben alcanzar un peso corporal mayor para conseguir una concentración de grasa corporal igual que la de los animales con una estructura de tamaño medio (Pond et al., 2006).

Tasa de crecimiento después del destete.

Las correlaciones genéticas entre rasgos nos indican la presencia de una interacción entre genotipo y ambiente, mientras las variaciones entre modelos nos informan sobre la influencia de las condiciones predestete sobre los resultados de la prueba. Cualquiera que sea el modelo de análisis, los efectos de ambiente predestete constituyen una fuente de variación adicional y de gran influencia sobre los resultados finales de cualesquiera la investigación a realizarse (Neves, M. 2005).

Las curvas de crecimiento representan un instrumento poderoso en aplicaciones en la ciencia y en la producción animal, debido a su capacidad para resumir la información correspondiente al comportamiento animal, su capacidad predictiva y por sus posibilidades para comparar respuestas de genotipos y sistemas de alimentación y manejo (Menchaca, 1992).

La representación o simulación de uno o varios sistemas de explotación animal ofrecen la posibilidad de seleccionar las mejores variantes, encontrar fallas en el sistema para mejorar su eficiencia y control una vez implantado, para encontrar desviaciones sobre lo proyectado y hacer las correcciones necesarias (Menchaca, 1992).

El *crecimiento ponderal*. Hace mención a la evolución cuantitativa del organismo y representa el aumento global de peso vivo por unidad de tiempo (Kg./día). Existen diferentes formas para expresar el crecimiento ponderal, aunque las más empleadas son: el crecimiento ponderal absoluto y el relativo (Swatland, 1991).

Suponiendo que se pesa un lote de terneros el día 1 de Diciembre de 1995 y el 31 de Enero de 1996, obteniendo unos pesos vivos medios de 250 Kg. y 355 Kg. Respectivamente. El crecimiento ponderal absoluto es de 105 Kg. (355Kg.-250Kg.) y el crecimiento relativo en relación al tiempo entre pesadas o también llamado ganancia media diaria (GMD) es de 1.693 Kg./día (355 Kg.-250Kg./62 días) (Swatland, 1991).

El crecimiento del feto durante la gestación es continuo y de forma exponencial, este se realiza en el último mes de gestación, a medida que se aproxima el momento del parto. Durante esta fase el crecimiento depende básicamente del potencial genético, de forma que las razas de gran tamaño tienen una velocidad de crecimiento mayor que aquellos otros animales de menor tamaño adulto. A partir del nacimiento, el crecimiento diario del ternero depende directamente de la alimentación y de su situación sanitaria. Si estos dos factores

están correctamente controlados, el peso del ternero evolucionará en función de su edad según una curva típica en la que se puede observar una primera fase con un crecimiento muy acelerado hasta los 300-350 Kg. (9-10 meses de edad), seguida de otra en la que el crecimiento es más lento, tendiendo progresivamente a estabilizarse a medida que el animal alcanza su peso adulto (Swatland, 1991).

Esta curva de crecimiento responde al desarrollo de un modelo matemático (ecuación de Gompertz, 1976), que sólo puede darse como tal en condiciones ambientales ideales. En la práctica, esta curva experimenta notables variaciones, sobre todo al comienzo de la vida postnatal, durante el destete y en cualquier otra situación de estrés que pueda producirse (Swatland, 1991).

Uno de los principales problemas encontrados ha sido el tipificar las pesadas de los terneros para que puedan ser comparables. Hasta el momento, esta tipificación se ha realizado mediante el método tradicional de la interpolación lineal entre dos pesadas consecutivas, método que impone severas restricciones en cuanto al intervalo entre pesadas y determina la eliminación de gran cantidad de registros. Estas restricciones se necesitan para soslayar las diferencias de pendiente (ganancia diaria) en la curva de crecimiento que, de acuerdo con la bibliografía, no se suponía lineal. Para reunir los datos (pesos) requeridos para este trabajo y poder obtener una curva de crecimiento lo más fidedigna posible se realizaron pesajes con intervalo de 28 días, para de esta manera evitar la exclusión de datos relevantes para obtener resultados concluyentes (Molina et. al., 1992).

El uso de modelos étápicos para describir las curvas de crecimiento animal.

El conocimiento de las curvas de crecimiento constituye un aspecto importante para la investigación y para la producción animal.

Las curvas de crecimiento tienen ventajas apreciables sobre la información correspondiente a los puntos individuales peso-edad (De Nise y Brinks 1985). Un resultado peso-edad es un punto en el tiempo que depende de diversos factores aleatorios, tales como: llenado del rumen, excreción fecal y urinaria, manejo y ambiente entre otros. El procedimiento de ajuste de la curva "suaviza" el efecto de estos factores al utilizar todo el rango de variación peso-edad para producir un punto específico. (Menchaca, 1990)

En años recientes se han desarrollado estudios relacionados con aplicación de modelos de crecimiento no lineales, fundamentalmente, las expresiones de Gompertz (1925), Brody (1945) y Richards (1959). En el caso de bovinos se pueden hallar resultados interesantes en los trabajos de Brown, Fitzhugh y Cartwright (1976) y de De Nise y Brinks (1985), donde se comparan algunos de los modelos antes descritos. Los estudios citados y otras aplicaciones parten del ajuste de un modelo que, mediante un conjunto de parámetros describen la curva de crecimiento desde el nacimiento hasta edad madura. Sin embargo, bajo las condiciones de explotación comercial, por ejemplo, pueden existir diferencias de manejo y alimentación en periodos determinados de la vida del animal que ocasionen cambios en su tasa de crecimiento. Como resultante, existe la posibilidad de que la curva de crecimiento nacimiento-edad madura no se pueda representar adecuadamente por uno de los modelos clásicos de crecimiento citados con anterioridad (Menchaca, 1990).

A partir de estos criterios tomando en consideración las características de explotación comercial del ganado en una Empresa en Cuba, es que el objetivo del presente trabajo consiste en obtener un modelo que permita describir la curva de crecimiento animal, tomando en consideración etapas de la vida que tienen diferencias en alimentación-manejo que influyen en su tasa de crecimiento (Menchaca, 1990).

Las curvas de crecimiento total muestran en su característica disposición en S que el desarrollo es rápido durante la primera etapa de la vida, pero a medida que el animal envejece, el crecimiento se va haciendo más pausado, hasta cesar por completo. Con objeto de facilitar las comparaciones, se suele dividir la curva en tres partes: fase de autoaceleración, punto de inflexión o inversión y fase de autoinhibición (Cole, 1973).

Fase de autoaceleración.

La talla del animal aumenta por la acción de factores distintos en forma susceptible de medida. El carácter exponencial de dicho aumento puede expresarse sin dificultad. Admitiendo que el organismo procede de una sola célula capaz de dividirse en dos, cada una de las cuales puede, a su vez, dividirse en otras dos, y así, sucesivamente (Cole, 1973).

Punto de inflexión.

El punto de inflexión de la curva representa el momento en el que el crecimiento deja de acelerarse y empieza a retardarse hasta llegar al peso adulto. Coincide, por tanto, con el máximo de la velocidad de crecimiento. Aparentemente es un punto importante en la descripción del crecimiento, pero la curva logística tiene el punto de inflexión a la mitad del crecimiento y la de Gompertz a $1/3$, y ambas se ajustan bien a los datos. La función de Richards permite determinar el punto de inflexión, según el valor del parámetro 'm', sin embargo, frecuentemente los errores de estimación de este parámetro son muy grandes, y ello es debido a la forma de las curvas de crecimiento en animales (en humanos la situación es diferente, porque hay un periodo muy prolongado de infancia). En animales lo que ocurre en realidad es que pasan por un periodo prolongado de crecimiento prácticamente lineal, lo que hace imposible detectar bien un punto de inflexión. Por consiguiente, es algo más bien arbitrario el uso de un modelo de crecimiento u otro. El hecho es que en animales los datos mueven a considerar un breve periodo de crecimiento exponencial en los primeros estadios de vida, un largo periodo lineal de crecimiento, y un periodo final de rápida desaceleración, para los que se podrían ajustar curvas diferentes si el interés del trabajo se centrara en uno u otro periodo (Blasco, 2007).

Fase de autoinhibición.

Se considera como el grado de desarrollo que en esta etapa es proporcional al crecimiento que falta por conseguirse (Cole, 1973).

Debido al complejo carácter de los procesos biológicos, todo intento de expresar sus cambios en términos que aspiren a ser exactos, indicándose a menudo las relaciones existentes con complicadas formas matemáticas, resulta siempre de difícil interpretación. Por esta razón, el uso de cálculos numéricos aproximados para expresar la velocidad del crecimiento o los equivalentes de edad puede resultar tan útil como una compleja ecuación. Un ejemplo de este tipo lo proporciona el cálculo de la edad fisiológica. Como los animales de distinta raza o estirpe no alcanzan el estado adulto con la misma rapidez, conviene en ocasiones verificar las comparaciones sobre la base de la edad fisiológica en vez de la cronológica (Cole, 1973).

Aunque las edades fisiológicas pueden compararse mediante complicados cálculos matemáticos, estos métodos no aventajan en mucho a la simple relación con las edades adultas de los diferentes tipos de animales. Por ejemplo, si un novillo Holstein alcanza el

estado adulto a los 24 meses y otro de raza Hereford a los 18, la proporción $18/24$ o 0.75 , puede utilizarse como constante para equiparar con cierta aproximación las edades de los animales de estas razas. Así, un novillo Holstein de 12 meses tiene la misma edad fisiológica que otro de raza Hereford de 9 meses (Cole, 1973).

III. CRECIMIENTO.

El proceso de crecimiento en uno o más de sus diversos aspectos, sirve de base a los sistemas agropecuarios, ya que no puede haber producción alguna de las plantas o animales si no exhiben crecimiento. En la vida del animal el crecimiento y el desarrollo son procesos fundamentales, por lo que es importante conocer y comprender ambos procesos biológicos. Por tanto, es necesario definir y caracterizar el crecimiento para poder optimizar la utilización y producción de especies pecuarias (González, 1978).

El crecimiento es un proceso fisiológico de enorme trascendencia práctica en todas las especies ganaderas, especialmente en los animales de carnicería, como son los bóvidos de abasto. Un ritmo rápido de crecimiento es la clave del éxito de la explotación de esta especie. Resulta esencial, por tanto, que en el estudio dedicado a las producciones animales se dedique un capítulo a la exposición de este fenómeno tan complejo que es el crecimiento. Expresando de la manera más simple que se pueda decir, el crecimiento es el aumento registrado en un espacio de tiempo determinado de la magnitud de una parte o de todo el organismo sometido a medida. Este concepto es aprovechable desde el punto de vista del análisis cuantitativo, puesto que implica la idea tanto de un aumento de la población como del número de células (talla), del ritmo de desarrollo o del aumento de peso, todo ello siempre en función del tiempo. Quedan excluidas las variaciones debidas a cambios en la alimentación o a estados fisiológicos diversos, como son la gestación o la lactación (Cole, 1973).

Cualquier definición que se proponga del crecimiento es casi seguro que pecará de inexacta, puesto que para no serlo debería compendiar la multitud de acciones y modificaciones relacionadas con el proceso, Brody define el crecimiento como “el cambio relativamente irreversible en el tiempo de la magnitud de las dimensiones y funciones mensurables”. Expresándolo de manera más simple puede decirse que el crecimiento es el aumento registrado en un espacio de tiempo determinado de la magnitud de una parte o de todo el organismo sometido a medida. Este concepto es aprovechable desde el punto de vista de análisis cuantitativo, puesto que implica la idea tanto de un aumento de la población como el número de células (talla), del ritmo de desarrollo o del aumento de peso, todo ello siempre en función del tiempo. Quedan excluidas las variaciones debidas a cambios en la alimentación o a estados fisiológicos diversos, como san la gestación o la lactación (Cole, 1973)

El crecimiento efectivo, puede describirse como una combinación de diversos procesos fisiológicos de tipo bioquímico y que está caracterizado, dentro de ciertas restricciones, por el acúmulo de sustancia corporal como resultado de una preponderancia de la asimilación sobre la desasimilación en el metabolismo protoplasmático. Por comprender el protoplasma tan solo la producción viva del organismo, esta definición no se refiere a el agua y alimento contenidos en el tracto digestivo ni a los productos todavía por excretar, así como tampoco a sustancias como el glucógeno almacenado en el hígado, la grasa de los depósitos adiposos y el calcio de los huesos. Por tanto, queda entendido que el autentico crecimiento implica exclusivamente la masa del protoplasma (Cole, 1973).

El crecimiento es una característica fundamental de todos los sistemas biológicos. La curva del crecimiento con la forma característica de S de todos los sistemas biológicos, describe el incremento del peso corporal de un animal desde su concepción hasta su madurez o bien el incremento en el número de células de una población de levadura (Brody, 1945). El término crecimiento, cuando se aplica a los animales, puede ser considerado en su forma más simple como un incremento de peso corporal o de altura de un animal joven durante un determinado intervalo en su desarrollo para ser adulto. El crecimiento incluye todos los procesos de multiplicación y diferenciación celular comenzando con el embrión recién formado, y extendiéndose a través del desarrollo fetal, crecimiento y desarrollo postnatal, y hasta ser un individuo adulto. El crecimiento incluye también procesos en tejidos y órganos especializados, por ejemplo, las membranas uterinas y fetales durante la gestación, y la glándula mamaria durante la lactación. La explotación animal requiere un elevado nivel de eficacia en la utilización de recursos. La eficacia viene determinada, en gran medida, por el grado en que el potencial genético de un animal permite alcanzar una tasa máxima de crecimiento mediante aportaciones de factores ambientales tales como nutrición adecuada, control de enfermedades infecciosas, alojamiento cómodo, y otras prácticas de manejo que estimulan el crecimiento (Pond et. al., 2006).

Cuando un animal se aproxima a su tamaño adulto, la tasa de crecimiento relativo disminuye hacia cero, y cuando alcanza la madurez, cesa el crecimiento y se mantiene constante el peso corporal, a menos que el consumo de energía supere las necesidades de mantenimiento, en cuyo caso aumenta la grasa corporal y el animal sigue ganando peso corporal. Este aumento de peso no es considerado como crecimiento verdadero en el contexto de la producción animal, ya que la mayor deposición de grasa representa, por definición, "crecimiento" del tejido adiposo (Pond et. al., 2006).

Esta curva de crecimiento responde al desarrollo de un modelo matemático (ecuación de Gompertz, 1976), que sólo puede darse como tal en condiciones ambientales ideales. En la práctica, esta curva experimenta notables variaciones, sobre todo al comienzo de la vida postnatal, durante el destete y en cualquier otra situación de estrés que pueda producirse (Swatland, 1991).

Descripción del Crecimiento.

La evolución del aumento del peso vivo a lo largo de la vida de un animal es un fenómeno complejo dependiente del genotipo del animal, de efectos ambientales que persisten a lo largo del tiempo y que tienen un efecto variable con la edad y el desarrollo del animal, y de variaciones aleatorias puntuales que pueden afectar solo a periodos cortos de tiempo. Es difícil representar una ley de crecimiento debido a que incidencias locales pueden hacer variar el peso del individuo de forma aleatoria. Es importante observar la variabilidad de pesos que se encuentran dentro de la población, y como por efecto de escalera esta variabilidad aumenta con el tiempo. Eliminadas las perturbaciones locales al hacer las medias, se observa el típico dibujo sigmoideo de crecimiento: al principio el crecimiento es algo lento, pasa por una etapa de aceleración y luego se va retardando hasta llegar al estado adulto (Blasco, 2007).

Para la mayor parte de los trabajos científicos con animales, no se necesita realizar alguna acrobacia matemática para obtener una estimación razonable del peso adulto o de la edad al sacrificio comercial o a otro peso cualquiera. Sin embargo, en algunas ocasiones (no muchas) puede ser interesante resumir el fenómeno del crecimiento en pocos parámetros descriptivos, preferiblemente que puedan ser interpretados biológicamente (Blasco, 2007).

Curva de crecimiento.

Si se relaciona el aumento progresivo del carácter objeto de medida con el factor tiempo, se obtiene en términos generales una curva sigmoidea, independiente de que dichos caracteres sean números de individuos (poblaciones) o el peso o la altura de uno solo de éstos. Puede adelantarse que tales curvas tienen un aspecto muy semejante. En una población la unidad viene representada por un organismo en particular y la forma de la curva es reflejo de las frecuencias de las distintas clases de individuos alcanzadas en el curso del tiempo. De igual forma, el aumento de tamaño de un solo organismo o individuo viene expresado por el

número de células que lo integran en un momento determinado, aunque el carácter elegido sea una función lineal o ponderal. Consecuentemente, la cuantía del aumento es proporcional al número de unidades capaces de duplicarse en un tiempo dado. Como este incremento no prosigue indefinidamente, las curvas pueden exhibir un descenso gradual resultante de la acción de alguna fuerza neutralizadora. Debemos tener presente, sin embargo, que la forma de la curva depende de los cambios acaecidos durante el proceso de crecimiento de un individuo o población en el curso de toda su existencia. Cuando se limitan artificialmente la edad de un individuo o la amplitud de una población, como sucede en los animales domésticos, la curva pierde su característica forma en "S". El crecimiento puede expresarse matemáticamente de varias maneras: como promedio del aumento por unidad de tiempo del carácter objeto de medida; como porcentaje de aumento por unidad de tiempo de un carácter de magnitud inicial determinada; como un aumento que se va acumulando durante un periodo de tiempo prefijado. El promedio de aumento es la expresión utilizada con más frecuencia por el ganadero, que suele referirse al promedio de aumento diario conseguido por uno o varios animales. Las curvas de crecimiento total muestran en su característica disposición en "S" que el desarrollo es rápido durante la primer etapa de la vida, pero a medida que el animal envejece, el crecimiento se va haciendo más pausado, hasta cesar por completo. Con objeto de facilitar las comparaciones, se suele dividir la curva en tres partes: Fase de autoaceleración, punto de inflexión o inversión y fase de auto inhibición. En la fase de auto aceleración la talla del animal aumenta por la acción de factores distintos en forma susceptible de medida. El carácter exponencial de dicho aumento puede expresarse sin dificultad. Admitiendo que el organismo procede de una sola célula capaz de dividirse en dos, cada una de las cuales, a su vez, dividirse en otras dos, y así, sucesivamente, pero no todas las células se multiplican con la misma frecuencia, así como tampoco las cuantías de peso ganado o aumento lineal están en función estricta del número total de células en un tiempo dado. El punto en el que cesa la aceleración del crecimiento para iniciarse la deceleración del mismo se conoce con el nombre de *punto de inflexión*; en los animales superiores este punto coincide con la pubertad. La causa de esta variación no está claramente determinada, pero su coincidencia con una época de profundos cambios endocrinos obliga a pensar que la producción de ciertas hormonas ejerza una acción decisiva sobre el proceso de crecimiento. La fase de auto inhibición del crecimiento, al igual que la fase de auto aceleración, puede también definirse matemáticamente, como el grado de desarrollo en esta época es proporcional al crecimiento que falta por conseguirse (Cole, 1973).

Factores que influyen sobre el crecimiento orgánico.

Después de lo expuesto, puede pasarse ya a considerar cómo la velocidad de desarrollo y la composición del cuerpo pueden resultar influenciadas por factores alimenticios y hormonales. Sabido es el efecto retardador del crecimiento que tienen las enfermedades; pero como ello se debe, en última instancia, a un desgaste fisiológico relacionado casi siempre con la disminución del apetito, no es necesario estudiar en particular cada uno de los agentes patológicos con acción sobre el crecimiento (Cole, 1973).

Influencia de la nutrición.

Entre los factores que condicionan el crecimiento, el plan alimenticio ocupa el lugar más destacado (Cole, 1973).

La velocidad del crecimiento.

Su interés económico radica principalmente en la fijación del momento de sacrificio del animal, que (desde el punto de vista económico) no debería sobrepasar excesivamente el momento de máxima tasa absoluta de crecimiento, si bien en ciertas ocasiones no se realiza así por imperativos comerciales (por ejemplo ternera nonata) o por preferir un desarrollo especial de alguna parte de la canal. Su máximo coincide con el punto de inflexión de las curvas de crecimiento (Blasco, 2007).

El momento del sacrificio.

Se ha intentado a veces definir el momento óptimo de sacrificio, en general procurando que se produzca antes de que la velocidad de crecimiento descienda demasiado, y hay intentos de situarlo en el punto de inflexión (máxima velocidad de crecimiento) o en alguna distancia de este punto. Sin embargo, el momento de sacrificio está marcado por el mercado y no es fácil variarlo mucho en la práctica (Blasco, 2007).

Peso corporal como medida del crecimiento.

En la producción práctica de animales, la medida más significativa y útil del crecimiento es el incremento de peso corporal por unidad de tiempo. Cada especie animal tiene su propio crecimiento característico, relacionado con el peso corporal del animal maduro y la tasa media de crecimiento. Rumen, retículo, omaso, abomaso, hígado y riñones presentan incrementos de peso proporcionalmente más rápidos que el organismo completo inmediatamente después del nacimiento. Se sabe que no son idénticas las tasas de crecimiento de las partes del animal. La cabeza y las espaldas alcanzan el tamaño maduro antes que las zonas posteriores del cuerpo. Es decir, en los inicios de la vida, la cabeza y la espalda representan una mayor proporción del peso corporal total, lo cual no sucede en edades más avanzadas. De manera similar, órganos y tejidos individuales crecen según tasas diferentes, y en realidad, tipos de células individuales en el seno de un órgano crecen según tasas diferentes. La proteína y las cenizas, como proporciones del peso corporal total, se mantienen relativamente constantes durante el crecimiento, mientras que la proporción de agua cambia de forma recíproca con la grasa, es decir, cuando aumenta la grasa, disminuye el agua de forma proporcional. Resulta importante reconocer la estrecha relación que existe en los animales productores de alimentos entre el tamaño corporal último (según la especie) y la composición corporal durante el crecimiento. Los animales de una especie que alcanzan la madurez con un peso corporal relativamente bajo alcanzan un contenido deseable de grasa corporal con un menor peso corporal que los animales de mayor tamaño. Por ejemplo, las razas de vacuno con un tamaño medio (por ej., Angus o Hereford) pueden ser comercializadas con menos peso que las razas de mayor tamaño (por ej., Simmental o Chianina). Esto se debe a que su contenido de grasa corporal es suficiente para producir canales con valoración alto con un menor peso corporal que las razas de mayor tamaño (los animales con una estructura grande deben alcanzar un peso corporal mayor para conseguir una concentración de grasa corporal igual que la de los animales con una estructura de tamaño medio (Pond et al., 2006).

Tasa de crecimiento después del destete.

Las correlaciones genéticas entre rasgos nos indican la presencia de una interacción entre genotipo y ambiente, mientras las variaciones entre modelos nos informan sobre la influencia de las condiciones predestete sobre los resultados de la prueba. Cualquiera que sea el modelo de análisis, los efectos de ambiente predestete constituyen una fuente de variación adicional y de gran influencia sobre los resultados finales de cualesquiera la investigación a realizarse (Neves, M. 2005).

Las curvas de crecimiento representan un instrumento poderoso en aplicaciones en la ciencia y en la producción animal, debido a su capacidad para resumir la información correspondiente al comportamiento animal, su capacidad predictiva y por sus posibilidades para comparar respuestas de genotipos y sistemas de alimentación y manejo (Menchaca, 1992).

La representación o simulación de uno o varios sistemas de explotación animal ofrecen la posibilidad de seleccionar las mejores variantes, encontrar fallas en el sistema para mejorar su eficiencia y control una vez implantado, para encontrar desviaciones sobre lo proyectado y hacer las correcciones necesarias (Menchaca, 1992).

El *crecimiento ponderal*. Hace mención a la evolución cuantitativa del organismo y representa el aumento global de peso vivo por unidad de tiempo (Kg./día). Existen diferentes formas para expresar el crecimiento ponderal, aunque las más empleadas son: el crecimiento ponderal absoluto y el relativo (Swatland, 1991).

Suponiendo que se pesa un lote de terneros el día 1 de Diciembre de 1995 y el 31 de Enero de 1996, obteniendo unos pesos vivos medios de 250 Kg. y 355 Kg. Respectivamente. El crecimiento ponderal absoluto es de 105 Kg. (355Kg.-250Kg.) y el crecimiento relativo en relación al tiempo entre pesadas o también llamado ganancia media diaria (GMD) es de 1.693 Kg./día (355 Kg.-250Kg./62 días) (Swatland, 1991).

El crecimiento del feto durante la gestación es continuo y de forma exponencial, este se realiza en el último mes de gestación, a medida que se aproxima el momento del parto. Durante esta fase el crecimiento depende básicamente del potencial genético, de forma que las razas de gran tamaño tienen una velocidad de crecimiento mayor que aquellos otros animales de menor tamaño adulto. A partir del nacimiento, el crecimiento diario del ternero depende directamente de la alimentación y de su situación sanitaria. Si estos dos factores están correctamente controlados, el peso del ternero evolucionará en función de su edad según una curva típica en la que se puede observar una primera fase con un crecimiento muy acelerado hasta los 300-350 Kg. (9-10 meses de edad), seguida de otra en la que el crecimiento es más lento, tendiendo progresivamente a estabilizarse a medida que el animal alcanza su peso adulto (Swatland, 1991).

Esta curva de crecimiento responde al desarrollo de un modelo matemático (ecuación de Gompertz, 1976), que sólo puede darse como tal en condiciones ambientales ideales. En la práctica, esta curva experimenta notables variaciones, sobre todo al comienzo de la vida

postnatal, durante el destete y en cualquier otra situación de estrés que pueda producirse (Swatland, 1991).

Uno de los principales problemas encontrados ha sido el tipificar las pesadas de los terneros para que puedan ser comparables. Hasta el momento, esta tipificación se ha realizado mediante el método tradicional de la interpolación lineal entre dos pesadas consecutivas, método que impone severas restricciones en cuanto al intervalo entre pesadas y determina la eliminación de gran cantidad de registros. Estas restricciones se necesitan para soslayar las diferencias de pendiente (ganancia diaria) en la curva de crecimiento que, de acuerdo con la bibliografía, no se suponía lineal. Para reunir los datos (pesos) requeridos para este trabajo y poder obtener una curva de crecimiento lo más fidedigna posible se realizaron pesajes con intervalo de 28 días, para de esta manera evitar la exclusión de datos relevantes para obtener resultados concluyentes (Molina et. al., 1992).

El uso de modelos etápicos para describir las curvas de crecimiento animal.

El conocimiento de las curvas de crecimiento constituye un aspecto importante para la investigación y para la producción animal.

Las curvas de crecimiento tienen ventajas apreciables sobre la información correspondiente a los puntos individuales peso-edad (De Nise y Brinks 1985). Un resultado peso-edad es un punto en el tiempo que depende de diversos factores aleatorios, tales como: llenado del rumen, excreción fecal y urinaria, manejo y ambiente entre otros. El procedimiento de ajuste de la curva "suaviza" el efecto de estos factores al utilizar todo el rango de variación peso-edad para producir un punto específico. (Menchaca, 1990)

En años recientes se han desarrollado estudios relacionados con aplicación de modelos de crecimiento no lineales, fundamentalmente, las expresiones de Gompertz (1925), Brody (1945) y Richards (1959). En el caso de bovinos se pueden hallar resultados interesantes en los trabajos de Brown, Fitzhugh y Cartwright (1976) y de De Nise y Brinks (1985), donde se comparan algunos de los modelos antes descritos. Los estudios citados y otras aplicaciones parten del ajuste de un modelo que, mediante un conjunto de parámetros describen la curva de crecimiento desde el nacimiento hasta edad madura. Sin embargo, bajo las condiciones de explotación comercial, por ejemplo, pueden existir diferencias de manejo y alimentación en periodos determinados de la vida del animal que ocasionen cambios en su tasa de crecimiento. Como resultante, existe la posibilidad de que la curva de crecimiento nacimiento-

edad madura no se pueda representar adecuadamente por uno de los modelos clásicos de crecimiento citados con anterioridad (Menchaca, 1990).

A partir de estos criterios tomando en consideración las características de explotación comercial del ganado en una Empresa en Cuba, es que el objetivo del presente trabajo consiste en obtener un modelo que permita describir la curva de crecimiento animal, tomando en consideración etapas de la vida que tienen diferencias en alimentación-manejo que influyen en su tasa de crecimiento (Menchaca, 1990).

Las curvas de crecimiento total muestran en su característica disposición en S que el desarrollo es rápido durante la primera etapa de la vida, pero a medida que el animal envejece, el crecimiento se va haciendo más pausado, hasta cesar por completo. Con objeto de facilitar las comparaciones, se suele dividir la curva en tres partes: fase de autoaceleración, punto de inflexión o inversión y fase de autoinhibición (Cole, 1973).

Fase de autoaceleración.

La talla del animal aumenta por la acción de factores distintos en forma susceptible de medida. El carácter exponencial de dicho aumento puede expresarse sin dificultad. Admitiendo que el organismo procede de una sola célula capaz de dividirse en dos, cada una de las cuales puede, a su vez, dividirse en otras dos, y así, sucesivamente (Cole, 1973).

Punto de inflexión.

El punto de inflexión de la curva representa el momento en el que el crecimiento deja de acelerarse y empieza a retardarse hasta llegar al peso adulto. Coincide, por tanto, con el máximo de la velocidad de crecimiento. Aparentemente es un punto importante en la descripción del crecimiento, pero la curva logística tiene el punto de inflexión a la mitad del crecimiento y la de Gompertz a $1/3$, y ambas se ajustan bien a los datos. La función de Richards permite determinar el punto de inflexión, según el valor del parámetro 'm', sin embargo, frecuentemente los errores de estimación de este parámetro son muy grandes, y ello es debido a la forma de las curvas de crecimiento en animales (en humanos la situación es diferente, porque hay un periodo muy prolongado de infancia). En animales lo que ocurre en realidad es que pasan por un periodo prolongado de crecimiento prácticamente lineal, lo que hace imposible detectar bien un punto de inflexión. Por consiguiente, es algo más bien

arbitrario el uso de un modelo de crecimiento u otro. El hecho es que en animales los datos mueven a considerar un breve periodo de crecimiento exponencial en los primeros estadios de vida, un largo periodo lineal de crecimiento, y un periodo final de rápida desaceleración, para los que se podrían ajustar curvas diferentes si el interés del trabajo se centrara en uno u otro periodo (Blasco, 2007).

Fase de autoinhibición.

Se considera como el grado de desarrollo que en esta etapa es proporcional al crecimiento que falta por conseguirse (Cole, 1973).

Debido al complejo carácter de los procesos biológicos, todo intento de expresar sus cambios en términos que aspiren a ser exactos, indicándose a menudo las relaciones existentes con complicadas formas matemáticas, resulta siempre de difícil interpretación. Por esta razón, el uso de cálculos numéricos aproximados para expresar la velocidad del crecimiento o los equivalentes de edad puede resultar tan útil como una compleja ecuación. Un ejemplo de este tipo lo proporciona el cálculo de la edad fisiológica. Como los animales de distinta raza o estirpe no alcanzan el estado adulto con la misma rapidez, conviene en ocasiones verificar las comparaciones sobre la base de la edad fisiológica en vez de la cronológica (Cole, 1973).

Aunque las edades fisiológicas pueden compararse mediante complicados cálculos matemáticos, estos métodos no aventajan en mucho a la simple relación con las edades adultas de los diferentes tipos de animales. Por ejemplo, si un novillo Holstein alcanza el estado adulto a los 24 meses y otro de raza Hereford a los 18, la proporción $18/24$ o 0.75 , puede utilizarse como constante para equiparar con cierta aproximación las edades de los animales de estas razas. Así, un novillo Holstein de 12 meses tiene la misma edad fisiológica que otro de raza Hereford de 9 meses (Cole, 1973).

IV. ANTECEDENTES

Importancia de un modelo estadístico.

El contar con un modelo matemático confiable para poder tener una visión a futuro sobre el desarrollo de las diferentes razas y con esto tener una selección de los sementales a utilizar dentro de la explotación que se encuentran en el trópico, es de suma importancia, ya que de esta manera podemos contar con las herramientas suficientes para tomar decisiones que nos favorezcan, proyectar las ganancias de peso, para con esto planear el tiempo que tardarán nuestros animales en llegar al peso de venta, ya sea para rastro o para su venta a edades tempranas y posterior engorde en diferentes lugares de la República. En nuestro país el modelo del crecimiento de los bovinos aun no se ha desarrollado, aunque en la literatura existen diversos trabajos en los cuales se há utilizado modelos matemáticos para analizar y predecir patrones de crecimiento y sus relaciones durante las diferentes fases del desarrollo animal. El modelo de cuatro parámetros de Richards tiene un ajuste más preciso para los cálculos necesarios para su ajuste se requiere más trabajo que los modelos de tres parámetros. El modelo de Richards, el cual tiene un punto de inflexión variable, es más apropiado para ajustar datos peso-edad especialmente hasta los diez meses de edad. La producción de bovinos para carne debe ser un proceso económico y racional, es decir, planificado, desarrollado y controlado de manera objetiva y precisa; por ello es necesario disponer de herramientas que permitan evaluar este proceso adecuadamente, permiten formular modelos de simulación que proporcionen elementos necesarios para tomar decisiones en cualquiera de los subprogramas que comprende el programa productivo: manejo, sanidad, pastos, alimentación y genética. Además junto con los respectivos registros económicos, dichos modelos sirven para la evaluación económica del proceso de producción. Desarrollar este tipo de sistemas es importante no solo para la investigación científica, sino para el desarrollo de herramientas que sean útiles para el progreso del sector ganadero en nuestro país. El análisis y modelado del crecimiento de los bovinos productores de carne es vital tanto para el investigador como para el productor. El enfoque de sistemas y la simulación puede ocupar un papel importante para el desarrollo pecuario debido a la carencia en nuestro país de herramientas que permitan evaluar el crecimiento de manera objetiva y precisa (Pereda, 2003).

El desarrollo de la teoría y técnicas para el apropiado crecimiento de las curvas debe ser trazado tanto en tiempo como a través de disciplinas científicas. En particular, la teoría y metodología del crecimiento apropiado de las curvas debido a los muchos modelos matemáticos, el demográfico y el economista. El término curva de crecimiento, usualmente evoca la imagen de una curva sigmoidea representando la secuencia de tiempo de vida, la media del tamaño, usualmente el cuerpo del cuerpo. La terminología más general sería curvas de tamaño-edad (ejemplo peso-edad, cadera altura-edad, corazón circunferencia-edad), como un recordatorio de que la distancia debe ser hecha entre las medias del tamaño (Fitzhugh, 1976).

El conocimiento de las curvas de crecimiento constituye un aspecto importante para la investigación y para la producción animal. Las curvas de crecimiento tienen ventajas apreciables sobre la información correspondiente a los puntos individuales peso-edad (Menchaca, 1990).

Se han hecho estudios comparativos con los modelos matemáticos para describir las relaciones de peso-edad en bovinos, mismas que permitirían hacer ajustes económicos en los efectos de medio ambiente ya mencionados. El modelo de cuatro parámetros de Richards descrito por Pereda (2003), tiene un ajuste más preciso y requiere de cálculos de mayor fineza para su ajuste que los modelos de tres parámetros (Pereda et al., 2004).

Pereda (2003), menciona que Richards fue el primero en proponer la ecuación de crecimiento desarrollada por Bertalanffy. Esta ecuación se considera flexible y útil para el análisis biológico del crecimiento y es una función de cuatro parámetros que tiene un punto de inflexión variable. En estudios comparativos sobre el uso de modelos no lineales para describir el crecimiento, el modelo de Richards fue mas preciso aunque requirió un tiempo de proceso mayor que aquellos modelos que constan de tres parámetros (Pereda, 2003).

Las curvas de crecimiento representan un instrumento poderoso en aplicaciones en la ciencia y en la producción animal, debido a su capacidad para resumir la información correspondiente al comportamiento animal, su capacidad predictiva y por sus posibilidades para comparar respuestas de genotipos y sistemas de alimentación y manejo (Menchaca, 1992).

La representación o simulación de uno o varios sistemas de explotación animal ofrecen la posibilidad de seleccionar las mejores variantes, encontrar fallas en el sistema para mejorar

su eficiencia y control una vez implantado, para encontrar desviaciones sobre lo proyectado y hacer las correcciones necesarias (Menchaca, 1992).

Los parámetros del modelo no lineal están abiertos a la interpretación biológica y pueden ser usados para calcular estimaciones confiables de las características de crecimiento, como un máximo o un promedio de tasa de crecimiento post-natal (López, et al. 2000).

Pereda, (2003) evalúa varios modelos matemáticos para ajustar la curva de crecimiento de los bovinos y propone que el mejor modelo para evaluarla es la ecuación de Richards. Es por este motivo que se utilizará en el presente trabajo, buscando comparar los parámetros de las curvas de crecimiento de las razas: Brahman, Gyr, Indobrasil, Nelore y Pardo Suizo Europeo, con el fin de proporcionar a los productores de las zonas tropicales información útil que les permita elegir dentro de las razas más comunes, la mas apropiada para los fines que mejor les convenga.

Métodos para expresar el crecimiento.

La curva de crecimiento con su forma característica de S de todos los sistemas biológicos se aplica a sistemas diversos tales como al número de células de levadura en una población y al incremento de peso de una planta o de un animal. El crecimiento, considerado según el incremento de peso corporal, puede ser expresado como la ganancia absoluta en un determinado periodo de tiempo (por ej., gramos/día) o como ganancia relativa (o porcentaje de ganancia) (Pond et al., 2006).

La tasa de crecimiento absoluto

Peso mayor - peso inferior/tiempo final menos tiempo inicial

Puede conducir a error en el sentido de que el valor medio puede no representar el valor real en un determinado momento de tiempo. Por ejemplo, un ternero que pesó 40 Kg. al nacer y 400 Kg. al ser sacrificado con 720 días de edad tendría una ganancia diaria media de 400 gramos desde el nacimiento hasta el sacrificio:

400 Kg. - 40Kg.: 720 días = 400 gramos/día.

Podría suceder que este ternero nunca hubiese ganado 400 gramos exactamente durante más de uno o unos pocos días. La ganancia absoluta de peso en el día siguiente a la concepción puede haber sido de uno poco microgramos, seguida de una ganancia de 50 gramos durante el día siguiente a su nacimiento, y de 1.000 gramos en el día anterior al sacrificio. No obstante, la ganancia diaria media absoluta de peso hasta el sacrificio es una medida práctica importante del crecimiento cuando se aplica en un sentido amplio (Pond et al., 2006).

La tasa de crecimiento relativo

Peso mayor - peso menor/peso menor

desciende de forma constante según el animal va ganando peso. Por ejemplo, un bovino recién nacido podría pesar 40.000 gramos al nacer y 44.000 gramos con dos días de edad:

$44.000 \text{ gramos} - 40.000 \text{ gramos} : 40.000 \text{ gramos} = 10\%$ tasa de crecimiento relativo.

Por el contrario, un bovino con peso de mercado podría pesar 400 Kg. dos días antes del sacrificio y 408 Kg. al ser sacrificado:

$408 \text{ Kg.} - 400 \text{ Kg.} : 400 \text{ Kg.} = 2\%$ tasa de crecimiento relativo.

Cuando un animal se aproxima a su tamaño adulto, la tasa de crecimiento relativo disminuye hacia cero, y cuando alcanza la madurez, cesa el crecimiento y se mantiene constante el peso corporal, a menos que el consumo de energía supere las necesidades de mantenimiento, en cuyo caso aumenta la grasa corporal y el animal sigue ganando peso corporal. Este aumento de peso no es considerado como crecimiento verdadero en el contexto de la producción animal, ya que la mayor deposición de grasa representa, por definición, "crecimiento" del tejido adiposo (Pond et al., 2006).

Hay publicadas una cantidad verdaderamente considerable de ecuaciones que pueden ser ajustadas para representar este comportamiento de evolución del peso vivo, cada una de ellas creada a partir de argumentos biológicos distintos. En la práctica casi todas las curvas propuestas ajustan muy bien a los datos experimentales –lo que resulta un tanto desconcertante, pues se basan en leyes diferentes-, por lo que la ecuación de un modelo se

suele basar en conveniencias de tipo práctico más que en deseos de averiguar cuál es la ley que rige el crecimiento de estos animales (Blasco, 2007).

Algunos modelos estadísticos.

- *Función exponencial.*

Se considera a la velocidad de crecimiento proporcional al crecimiento ya efectuado:

$$dy/dt = ky$$

o lo que es lo mismo, que la tasa relativa de crecimiento es constante:

$$(1/y) (dy/dt) = k$$

Integrando, da la ecuación exponencial

$$y = a \cdot \exp (ky)$$

en la que a es el valor de y para t = 0; es decir, la medida de partida. Esta ecuación describe bien las fases iniciales del crecimiento, por ejemplo el crecimiento embrionario en los primeros estadios.

- *Función de Brody.*

Se considera a la velocidad de crecimiento proporcional al crecimiento que queda por efectuar:

$$dy/dt = k (A-y)$$

Siendo A la medida final (peso adulto). Integrando, da la ecuación monomolecular o función de Brody.

$$y = A[1 - b \cdot \exp (-kt)]$$

Coincide con la de una reacción química "monomolecular" de primer orden en donde 'A' es la sustancia inicial e 'y' la cantidad desaparecida en un tiempo t. En esta ecuación A es el valor de y para $t = \infty$, y b una constante de integración. Para $t=0$, $y=A(1-b)$. Describe bien la fase final del crecimiento, y es útil en especies como el vacuno en el que los animales nacen a una edad fisiológica relativamente tardía, con lo que han superado la fase inicial que describía la función exponencial.

- *Función logística*

La función logística se aproxima en su primer tramo a la exponencial y en su segundo a la de Brody. El supuesto en este caso es que la velocidad de crecimiento es proporcional al producto del crecimiento efectuado y el que queda por efectuar.

$$dy/dt = k \cdot y \cdot (A - y) / A$$

Bien que la tasa relativa de crecimiento es igual al que queda por efectuar:

$$(1/y) (dy/dt) = k \cdot (A - y) / A$$

Integrando,

$$y = A [(1 + b \cdot \exp(-kt))^{-1}]$$

Esta curva es sigmoidea y simétrica (el punto de inflexión está en la mitad de la curva, $y=A/2$), con asíntotas en $y = 0$ para $t = -\infty$; $y = A$ para $t=\infty$. Para $t=0$, $y=A/(1+b)$. El nombre de logística se lo dio Verhulst en 1838 y la utilizó para expresar la ley de crecimiento poblacional humano. A veces se usan ciertas variantes de esta curva con más parámetros, que permiten adaptar mejor la forma de la curva a los datos observados, es lo que se denomina curvas logísticas generalizadas.

- *Función de Gompertz*

La función de Gompertz se basa en que la tasa de crecimiento relativo decrece de forma exponencial,

$$(1/y) (dy/dy) = \exp(-k \cdot t)$$

Integrando,

$$y = A \cdot \left[\exp[-b \cdot \exp(-k \cdot t)] \right]^y$$

Esta curva es sigmoidea aunque no simétrica (el punto de inflexión está en $y=A/e \approx A/3$), con asíntotas en $y = 0$ para $t = -\infty$; $y = A$ para $t=\infty$. Para $t=0$, $y = A \exp(-b)$. Esta curva fue propuesta por Gompertz en 1825 para estudiar las leyes de natalidad y mortalidad humanas, y fue propuesta para estudios de crecimiento en animales por Sewall Wright, en 1926. Se ajusta bastante bien a datos de ratón, pollo, conejo y cerdo, de forma que se ha convertido en una curva de crecimiento estándar en estas especies.

- *Función de von Bertalanfly.*

Esta función ofrece el atractivo de intentar deducir la ecuación a partir de las tasas de anabolismo y catabolismo del animal, que idealmente se obtendrían mediante experiencias de laboratorio:

$$(dy/dt) = a \cdot y^m - b \cdot y^n$$

siendo a y b las tasas de anabolismo y catabolismo respectivamente. Suelen utilizarse los valores $n = 1$ y $m = 2/3$ por consideraciones fisiológicas, dada la dificultad que supondría el averiguar los valores verdaderos en la población.

Resolviendo la ecuación diferencial, la curva que se obtiene es

$$w = A \cdot [1 - b \cdot \exp(-k \cdot t)]^3$$

Esta función fue propuesta por el conocido filósofo de sistemas von Bertalanfly en 1938.

- *Función de Richards.*

La función de crecimiento más general y que engloba a todas las demás es la desarrollada por Richards (1959):

$$y = A \cdot [1 \pm b \cdot \exp(-k \cdot t)]^m$$

La constante m define, junto al signo + ó -, la forma de la curva. Si $m = 1$, y el signo es negativo, tenemos la función de Brody. Si $m = -1$, y el signo es positivo, tenemos la logística. Si $m = 3$ y el signo es negativo, tenemos la de von Bertalanfly, y si $m \rightarrow \infty$, tenemos la función de Gompertz. Suele reparametrizarse como

$$y^{1-n} = A^{1-n} [1 \pm b \cdot \exp(-k \cdot t)]$$

porque valores de n entre 0 y 1 dan curvas entre la de Brody y la de Gompertz, y valores entre 1 y 2 entre la de Gompertz y la logística (Blasco, 2007).

Elección de una curva.

Como ya he dicho anteriormente, todos los modelos se ajustan bien a los datos, si seguimos criterios de ajuste global (por ejemplo, la R^2 del modelo o la desviación residual estándar (RSD) si usamos criterios frecuentistas, o el factor de Bayes si usamos criterios bayesianos). La causa es que la mayor parte de la variación se encuentra al final de la curva, con lo que curvas que no se ajustan bien al principio, pueden dar buenos ajustes globales. Se han hecho varias propuestas para recoger mejor la bondad del ajuste, por ejemplo se ha propuesto medir el mayor error estimado, relativo al peso estimado correspondiente; es decir, si

$$y = f(t) + e$$

donde $f(t)$ es cualquiera de las curvas expuestas en el apartado anterior, la medida propuesta para examinar la bondad del ajuste es escoger el mayor de los

$$\hat{e}_i / y_i = (y_i - f(t_i)) / y_i$$

donde e_i es la estima del error correspondiente a la observación y_i en el momento t_i

Otra forma más elaborada es calcular la densidad marginal posterior de los e_i , considerando 'error excepcional', o si se quiere 'outlier' al que sitúa la observación fuera del 95% de probabilidad de esa distribución. Es decir; se calcula la probabilidad de que cada error correspondiente a una observación tenga un valor determinado, y si ese valor se encuentra por encima de lo esperado con un 95% de probabilidad, se considera que ese punto está mal ajustado (Blasco, 2007).

Por uno u otro método, se pueden recoger los puntos que se consideran particularmente mal estimados y examinar si hay algún fenómeno común a ellos (por ejemplo, familias que sistemáticamente producen esos errores, o alguna causa externa no considerada). Se observa cómo la curva de crecimiento no se ajusta bien en las primeras semanas de vida. Los animales destetados al poco tiempo de vida comienzan con una dieta sólida por medio del

creep feeding, por tanto el brusco cambio que se observa en las medias se debe a un cambio de dieta, no a un cambio adscribible a la biología del animal en sí (Blasco, 2007).

Este último punto es importante, puesto que dado que el crecimiento es un fenómeno observado a lo largo de un periodo prolongado, pudiera ser más adecuado realizar ajustes a varias curvas en lugar de a una sola, particularmente si el objetivo del ajuste no requiere una única ecuación de predicción; en el ejemplo anterior, a una curva predestete y a otra postdestete. Depende en todo caso de lo que se pretenda obtener al realizar el ajuste. Si sólo se está interesado en estimar el peso adulto del animal y su velocidad de crecimiento durante el engorde, puede prescindirse de ajustar la curva durante las primeras semanas. Si se está interesado también en el crecimiento durante esas semanas, pero no necesariamente en concatenarlo con el crecimiento posterior, tampoco hay razón para buscar una curva única (Blasco, 2007).

Reproducción de bovinos bajo condiciones tropicales.

Una gran riqueza económica lo constituye la ganadería en las áreas tropicales, por lo que todo factor que afecte positiva o negativamente éste renglón de producción pecuaria tendrá un impacto de ingresos económicos en las explotaciones ganaderas y fuentes de empleo para una numerosa población económicamente activa. El fenómeno de crecimiento de los bovinos, es el resultado de todo un desarrollo previo que requieren condiciones especiales frente a un medio complejo dinámico. El comportamiento de crecimiento bovino en condiciones de trópico, varía de acuerdo a la raza, número de parto, efectos de clima, época del parto, el tipo de parto, etc. (Alves, S., 1991).

V. OBJETIVOS

Comparar los parámetros de las curvas de crecimiento de las razas puras: Brahman, Gyr, Indobrasil, Nelore y Pardo Suizo, bajo condiciones de manejo similares en el trópico húmedo de Tabasco.

VI. MATERIAL Y METODOS

El presente trabajo es un estudio retrospectivo observacional descriptivo (Mendez et al., 1993).

Localización.

Se utilizaron datos del rancho "La Racha", ubicado sobre el kilómetro 26 de la carretera federal Emiliano Zapata-Tenosique, en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco, ganadería dedicada a la producción de pie de cría de registro.

Clima.

El clima de esta región se clasifica como tropical húmedo Amw (García, 1976), con una temperatura media anual de 26.7°C y una precipitación pluvial de 2270 mm, con presencia de vientos húmedos en el periodo invernal.

Nutrición.

El ganado fue pastoreado bajo un sistema de pastoreo rotacional de zacate humidicola (*Brachiaria humidicola*), estrella africana (*Cynodon plectostachyus*), tanzania (*Panicum maximum*) y bermuda (*Cynodon dactylon*) con aproximadamente 1300 U.A. (unidades animales). Se suplementa con sales minerales todo el año en todos los lotes.

VII. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

El estudio se realizó en 46 sementales de cinco razas bovinas: 7 Brahman, 8 Gyr, 11 Indobrasil, 11 Nelore y 9 Pardo Suizo Europeo, los cuales fueron pesados al nacimiento y cada 28 días hasta alcanzar aproximadamente 36 meses de edad

Para obtener la curva de crecimiento en cada raza, se utilizó la ecuación matemática de la familia de los modelos de Richards (Pereda, et al., 2004):

$$P = \frac{A}{(1 + \text{EXP}(B - C * T)^{(1/D)})}$$

Donde:

P = variable dependiente que representa el peso medido al tiempo T; A = parámetro que representa el peso maduro que puede alcanzar el animal al llegar a su madurez sexual y se determina cuando la curva se hace asintótica y va de T hasta infinito; B = parámetro que denota el punto de inflexión (constante de integración); C = parámetro de tasa a la cual la función logarítmica de peso cambia linealmente por unidad de tiempo; T = variable independiente que representa la edad en días; D = parámetro de inflexión (punto variable).

Los parámetros de la ecuación son: A, B, C, D y fueron analizados por medio de una prueba de ANDEVA bajo un arreglo Totalmente Aleatorizado desbalanceado:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_j$$

Donde:

Y_{ij} es cualquiera de los cuatro parámetros del modelo A, B, C y D y μ es una media general obtenida de la i-ésima raza t con el j-ésimo error aleatorio.

Las diferencias entre medias fueron comparadas por pruebas de Tukey. Todos los cálculos fueron estimados con el programa SAS (1991).

VIII. RESULTADOS

CUADRO No. 1. Razas de sementales y número de animales estudiados.

Raza	Número de sementales
Brahaman	6
Gyr	8
Indubrasil	11
Nelore	10
Pardo Suizo	9
Total	44

CUADRO No. 2. Pesos reales promedios obtenidos para cada raza por cada 28 días de edad de los sementales.

Días de pesaje	Brahaman	Gyr	Indubrasil	Nelore	Pardo Suizo
1	32	29	31	32	41
28	50	46	50	49	56
56	68	62	69	67	72
84	86	78	87	85	88
112	103	95	105	101	104
140	120	111	123	117	121
168	137	127	140	134	136
196	152	144	157	151	150
224	168	160	173	168	161
252	184	176	190	182	172
280	197	191	205	192	185
308	207	204	214	203	190
336	214	218	225	213	197
364	221	231	230	227	205
392	232	245	242	235	208
420	233	258	252	243	215
448	237	265	260	250	225
476	246	274	271	262	236
504	254	281	281	275	245
532	266	290	294	291	252
560	295	308	315	311	271
588	322	326	346	333	289
616	350	343	367	357	308
644	372	359	383	378	325
672	393	375	400	395	344
700	420	392	423	412	356
728	437	417	446	431	369
756	450	441	468	453	381
784	468	463	487	477	397
812	489	480	505	501	416
840	511	500	524	524	435
868	532	521	543	547	454
896	554	542	561	569	476
924	576	563	580	591	496
952	597	587	602	613	519
980	619	611	624	635	535
1008	645	634	645	657	549

CUADRO No. 3. Parámetros promedios obtenidos en las cinco razas de sementales estudiadas con el modelo de Richards

Raza	Parámetros
-------------	-------------------

	A*	B	C	D
Brahaman	4598.3 ^{ab}	-0.053547 ^{ab}	36.340000 ^{ab}	0.209641 ^a
Gyr	1846.7 ^{ab}	-0.065287 ^a	36.340000 ^b	0.232724 ^a
Indubrasil	1468.7 ^b	-0.063335 ^a	36.340000 ^b	0.239013 ^a
Nelore	1958 ^{ab}	-0.055220 ^{ab}	36.351000 ^{ab}	0.219440 ^a
Pardo Suizo	5480.5 ^a	-0.043143 ^b	36.364444 ^a	0.206995 ^a

Nota: Literales diferentes entre los parámetros por razas denotan diferencias significativas ($p < 0.10$)

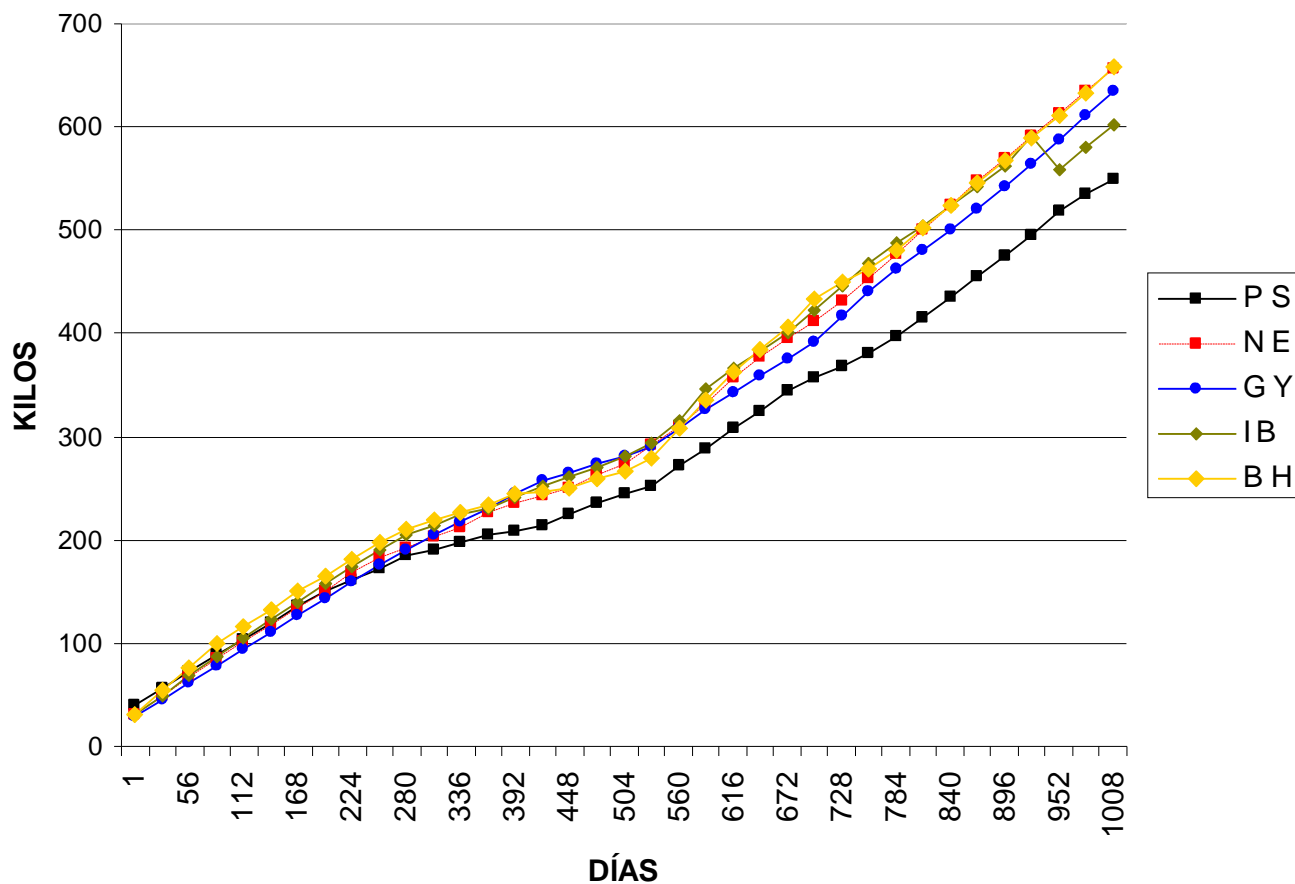
CUADRO No. 4. Pesos promedios (Kg.) de las cinco razas estudiadas ajustadas con los parámetros obtenidos por el modelo de Richards.

Días de pesaje	Brahaman	Gyr	Indubrasil	Nelore	Pardo Suizo
1	74	71	75	76	81
28	81	78	82	83	87
56	88	86	90	91	93
84	96	94	99	100	100
112	105	103	108	109	108

140	114	113	118	118	116
168	124	123	129	129	124
196	134	134	140	140	132
224	145	145	151	151	141
252	156	157	164	163	151
280	168	170	176	176	161
308	180	183	190	189	171
336	193	196	204	203	182
364	207	211	218	218	193
392	221	225	233	233	205
420	236	240	249	248	217
448	251	256	265	265	229
476	267	271	281	282	242
504	283	288	298	299	255
532	300	304	315	317	269
560	317	321	333	335	283
588	335	338	351	354	297
616	353	356	369	374	312
644	371	374	387	394	327
672	390	392	406	414	342
700	410	410	425	435	358
728	429	428	444	456	374
756	450	447	463	477	390
784	470	466	483	499	406
812	491	485	502	521	423
840	512	504	522	543	440
868	534	523	541	565	457
896	555	543	561	588	475
924	578	562	580	611	492
952	600	582	600	634	510
980	623	602	620	657	528
1008	646	622	75	681	546

Nota: Los ajustes se hicieron usando los parámetros del Cuadro No. 3.

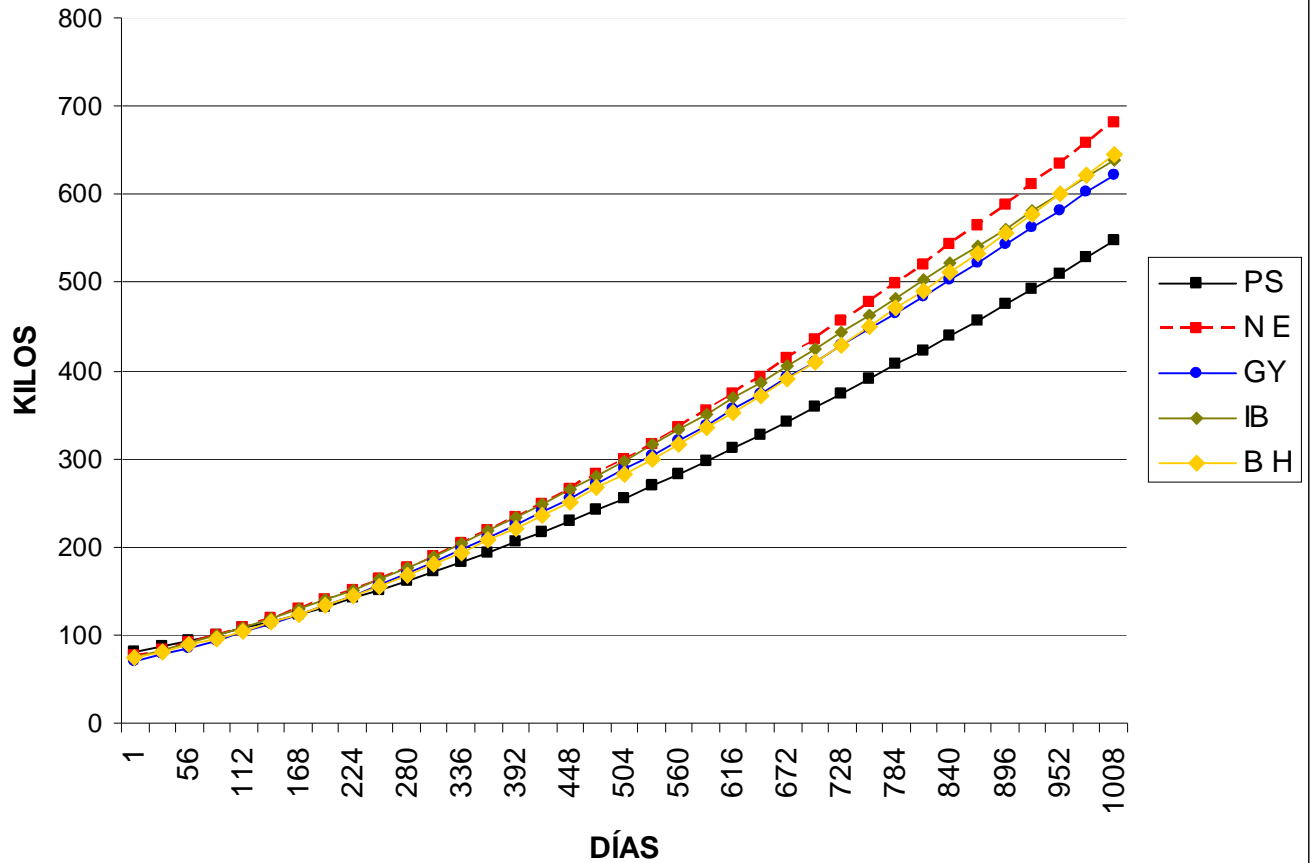
GRÁFICA 1. PROMEDIO DE PESOS REALES ENTRE RAZAS



Nota: Los datos usados en este gráfico se obtuvieron del Cuadro No. 2.

PS: Pardo Suizo, NE: Nelore, IB: Indubrasil, GY: Gyr, BH: Brahman.

GRÁFICA 2. PROMEDIO DE CURVAS DE CRECIMIENTO AJUSTADAS PARA LAS CINCO RAZAS ESTUDIADAS USANDO LOS PARÁMETROS ESTIMADOS POR EL MODELO DE RICHARDS.



Nota: Los parámetros A, B, C, D, usados en esta gráfica se tomaron del Cuadro No. 4.

PS: Pardo Suizo, NE: Nelore, IB: Indubrasil, GY: Gyr, BH: Brahaman.

IX. DISCUSIÓN.

En el Cuadro No.1, se muestran las razas y el número de sementales que se incluyeron en este estudio siendo un total de 44 sementales cuyos pesos mensuales (28 días), mismos que fueron usados para estimar los parámetros por semental y por raza mediante el modelo de Richards.

En el Cuadro No. 2, se muestran los promedios por raza de los pesos reales, que sirvieron para elaborar la Gráfica No.1. En las cinco razas se puede percibir una desaceleración de la curva de crecimiento entre el año y año y medio (365-550 días) de edad en las cinco razas estudiadas. El punto en que cesa la aceleración del crecimiento para iniciarse la deceleración del mismo se conoce con el nombre de *punto de inflexión*; en los animales superiores este punto coincide con la pubertad. La causa de esta variación no está claramente determinada, pero su coincidencia con una época de profundos cambios endocrinos obliga a pensar que la producción de ciertas hormonas ejerza una acción decisiva sobre el proceso de crecimiento (Cole, 1973). De otro modo esto también se pudiera explicar por el periodo post destete de estos sementales, lo cual es una práctica común en este rancho de destetarlos después de los ocho meses (240días) de edad.

En el Cuadro No. 3 se muestran los cuatro parámetros promedios del modelo de Richards obtenidos de las cinco razas estudiadas, donde se puede notar que aunque el modelo resulta eficiente, algunos individuos mostraron parámetros "A" atípicos como el toro Brahaman No. 6; así como el toro Pardo Suizo No. 4 que tuvieron valores de 1469005 y 1011276, valores muy por encima de los promedios por raza que se muestran en este cuadro de 4598.3 y 5480.5 respectivamente. Por otra parte se puede ver en este mismo cuadro que el parámetro A de la raza Pardo Suizo resulta diferente significativamente ($p < 0.10$) 5480.5 del mismo parámetro en la raza Indobrasil cuyo valor es de 1468.7 siendo este el más pequeño del grupo. Cabe aclarar que aunque no se detectaron diferencias a niveles de significancia más bajos ($p < 0.05$) el Pardo Suizo refleja en su curva de crecimiento un problema más marcado que las otras cuatro razas cebuinas como se muestra en la Gráfica No. 2, donde esta raza en dicha curva se queda debajo de las otras y el fenómeno de la significancia estadística puede ser explicado en parte por la variación que muestran en su curva de crecimiento los diferentes toros de esta raza, y por otra parte por el número reducido de animales estudiados. En el parámetro B del modelo de Richards sigue siendo la raza Pardo Suizo e Indobrasil las que contrastan,

mientras que la primera es de -0.043143 la segunda es de -0.063335 diferencias que resultan significativas ($p < 0.10$) y no así entre las otras razas. Este mismo efecto se observa para el parámetro C del modelo donde de nuevo la Pardo Suizo denota diferencias significativas ($p < 0.10$) respecto a las razas Indobrasil y Gyr cuyos valores fueron 36.364444, 36.34 y 36.34 respectivamente. Sin embargo en el parámetro D no se encontraron diferencias significativas en todas las razas ($p > 0.10$).

Este comportamiento de la raza Pardo Suizo refleja lo mencionado por varios autores respecto a que las razas *Bos taurus* presenta problemas de adaptación en las regiones tropicales y no así las razas *Bos indicus* quienes tienen una capacidad de adaptación en estas regiones más marcadas.

Por otra parte esta variación mostrada por la raza Pardo Suizo en el parámetro A permite alentar a los criadores en el sentido de que se pueden implementar políticas de selección para aquellos animales de esta raza que muestren una aptitud de mejor adaptación en estas regiones. El hombre debe tener mucho cuidado para adaptar a los animales al medio ambiente en que viven y producen; esto es importante en todas las tentativas para ampliar y mejorar la producción ganadera, puesto que los animales varían mucho en su capacidad de crecer y producir eficientemente en determinadas condiciones. Las razas bovinas de Europa evolucionaron, fueron seleccionadas y mejoradas durante siglos. Pero casi siempre en pequeños valles. Por eso mismo, tales razas podrían ser admitidas como verdaderos ecotipos, en el sentido propuesto por Turasson, para las razas originadas como resultado de reacciones del genotipo a un tipo particular de hábitat. Al ser trasplantadas a los climas tropicales, esas razas de bovinos europeos surgen el efecto de los agentes específicos del nuevo medio que, actuando a través de la expresividad y de la penetrabilidad de los genes, provocan modificaciones en el modo y expresión y en la intensidad de las manifestaciones de su patrimonio hereditario. De generación en generación las razas de bovinos europeos se van alejando del estándar de la raza y progresivamente se aproximan al ganado criollo, que constituye otro ecotipo (Alves, 1973).

En este difícil juego que es la aclimatación de nuevos bovinos a las características de los campos de zonas tropicales, indudablemente existen aspectos vinculados con especiales particularidades de algunas otras razas que en la actualidad estén sometidas a experimentación de sus posibles aptitudes. En término de abastecimientos de carne, estos

aportes genéticos podrían ser elementos contribuyen a su solución, tanto por sus factores hereditarios como por la heterosis resultantes (Helman, 1977).

El éxito del cebú proviene de que no existen para él problemas de adaptabilidad en el trópico, por acondicionarse naturalmente su constitución orgánica al calor húmedo sofocante; posee sobriedad y poder asimilativo de pastos celulósicos; vigorosidad física e intenso hábito al pastoreo; capacidad para recorrer largas distancias en busca de alimentos y agua de bebida, piel móvil y con secreciones repelentes de los molestos ectoparásitos; inmunidad o resistencia a las enfermedades infecto-contagiosas, etc.; propiedades propiedades a las cuales debe su supervivencia, elevada fertilidad e innegables posibilidades con las cuales no cuentan los otros animales que no son de tipo tropical, como el cebú (Helman, 1977).

El ganado cebú ofrece mayor resistencia a diferentes tipos de garrapata, tábanos, , moscas, ácaros (sarnas) y piojos, lo que se atribuye a una mayor secreción sudorosa, que pueda obrar como tóxico o repelente; a la piel compacta, con partes sub-epidérmicas más gruesas que impiden la extracción de sangre, al no alcanzar zonas irrigadas; al pelo corto que dificulta el parasitismo; al mayor desarrollo del panículo carnoso, que proporciona más movimiento de la piel y la posibilidad de permanecer más horas del día pastando expuesto a los rayos solares y obstaculizado así el desarrollo de los ectoparásitos. El cebú es muy resistente a la piroplasmosis y anaplasmosis. En comparación con las razas europeas padece menos las miasis (gusaneras). Como prevención general, el cebú debe inmunizarse contra las enfermedades infecciosas dominantes en cada región; aplicar periódicamente baños ectoparasiticidas de acuerdo con el poder residual del garrapaticida utilizado; tratamientos vermífugos, digestivos y pulmonares y suministro de vitaminas y sales minerales balanceadas (Vizcarra, 1975).

X. CONCLUSIÓN.

Después de realizar el trabajo experimental, analizar los resultados y realizar una discusión se concluye que las cuatro razas cebuinas tienen un comportamiento bastante similar entre ellas (desde el punto de vista de los parámetros), y que los sementales de la raza Pardo Suizo tuvieron un crecimiento menor así como diferencias significativas en sus parámetros.

XI. BIBLIOGRAFÍA.

1. Alves, S.A., 1973. El cebú. Union tipográfica editorial. Hispanoamérica. México.
2. Alves, S.A., 1991. El cebú. Ganado bovino para los países tropicales. Ed. Limusa, S.A. de C.V.
3. Blasco, A. 2007. La descripción del crecimiento. Depto. de Ciencia Animal. Universidad Politécnica de Valencia.
4. Ceró, R. A., Del Pino, V. M., Vega, R. C., Guevara, V. G., Corvisón, M. R. y Vázquez, M de O. R. 2000. Parámetros genéticos del peso al nacer del Cebú Cubano Blanco macho. Rev. Prod. Anim. Vol 12 sep/jul.
5. Cole, H.H. 1973. Producción animal. Ed. Acriba. Zaragoza, España. Seg. Edición.
6. FAO: "Agricultura hacia el año 2010". 1993.
7. Fitzhugh, H. A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. Journal of Animal Science.
8. French, M. H., Johansson, I. y Joshi, N. R. 1969. Razas europeas de ganado bovino. Vol. II.
9. González, J.C., Pérez, L.G., Riggs, J.K. y Vázquez, D. 1978. Reproducción de un rebaño en el oriente de Venezuela. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Mem. 13:171-172. (Resumen).
10. Helman, M.B. 1986. Cebutecnia. Ed. El Ateneo. Seg. Edición.
11. López, S., France, J., Gerrits, W. J. J., Dhanoa, M. S., Humphries, D. J. y Dijkstr, J. 2000. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. Journal of Animal Science.

12. Menchaca, M. A. 1990. El uso de los modelos etápicos para describir las curvas de crecimiento animal. *Rev. Cubana Cien. Agric.* 1990, 24:29.
13. Menchaca, M. A. 1992. Modelado del crecimiento en peso de bovinos. 3. Modelo de crecimiento etápico-multiplicativo. *Rev. Cubana. Cienc. Agric.* 1992, 26:107.
14. Méndez R, I., Nadimira G. D., Moreno A. L. y Sosa de M. C. 1993. El protocolo de la investigación lineamientos para su elaboración y análisis. Ed. Trillas segunda reimpresión.
15. Mejía, H. J., Ruiz, B. O., Jiménez, C. J.A., y Mejía H. I. 2003. Efecto de dos fuentes de proteína de degradabilidad ruminal diferentes sobre el crecimiento y procesos digestivos en bovinos productores de carne. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad de Guanajuato, México.
16. Molina, A., Serrano, M.I., Burgos, A., Jiménez, J.M., Salado, F.M., Cabeza de Vaca, F., Espárragos, E. y Rodero, A. 1992. Estimación de la curva de crecimiento en vacuno retinto: aspectos prácticos para la tipificación de pesos. Depto. de genética. Fac. Vet. Universidad de Córdoba. *Arch. Zootec.* 41.
17. Naves, M. y Buxadera, A.M. 2005. Interacción genotipo ambiente sobre el crecimiento posdestete en vacuno criollo de Guadalupe. *Arch. Zootec.* 54:377-384. 2005.
18. Pereda, S. M. E. 2003. Sistema computacional para el modelado y análisis del crecimiento de bovinos. Colegio de postgraduados.
19. Pereda, S. M. E., González, M. S. S., Arjona, S. E., Bueno, A. G. y Mendoza, M. G. D. 2004. Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para bovinos Brahman en Tamaulipas México. *Agrociencia* 39: 19-27. 2004.
20. Pond, W.G., Pond, K.R. 2006. Introducción a la ciencia animal. Ed. Acriba. S.A. Zaragoza, España.

21. SAGAR. 1999. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Delegación estatal en Tabasco. Subdelegación de Ganadería. Oficio 232. Villahermosa, Tabasco. 18 de Febrero.
22. SAS. Versión 6.12, 1991. Statistical Analysis System para micro computadoras.
23. Swatland, H.J. 1991. Estructura y desarrollo de los animales de abasto. Ed. Acriba, S.A.