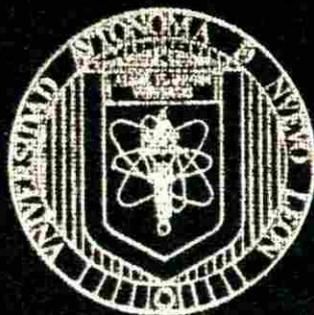


89

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



INFLUENCIA DE LA PRECIPITACION Y LA
CARGA ANIMAL SOBRE LA PRODUCTIVIDAD
DEL BUFFEL (*Cenchrus ciliaris* L.),
UTILIZANDO ANALISIS DE SISTEMAS Y SIMULACION

Tesis Presentada por

JOSE ROMUALDO MARTINEZ LOPEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS
EN PRODUCCION ANIMAL

MARIN, N. L.

AGOSTO 2000

TM

SB201

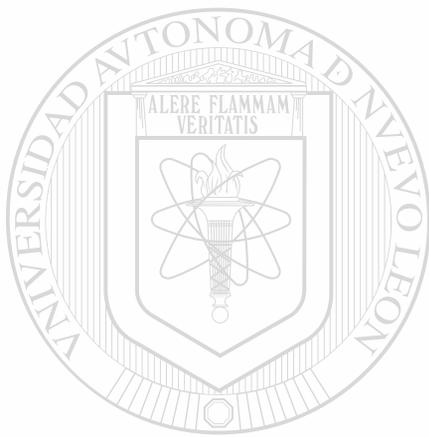
.C46

M3

e.1



1080095040



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

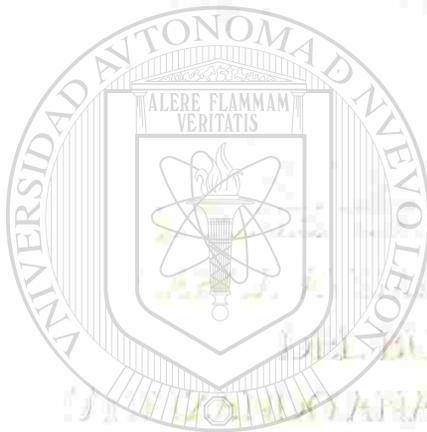
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

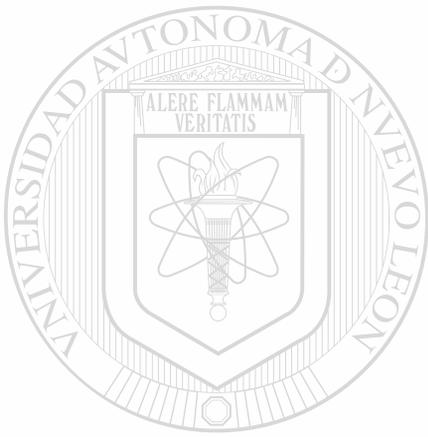
Tesis Presentada por
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
JOSE ROMUALDO MARTINEZ LOPEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS
EN PRODUCCION ANIMAL

AGOSTO 2010



SB 201
C46
M3
c.1



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

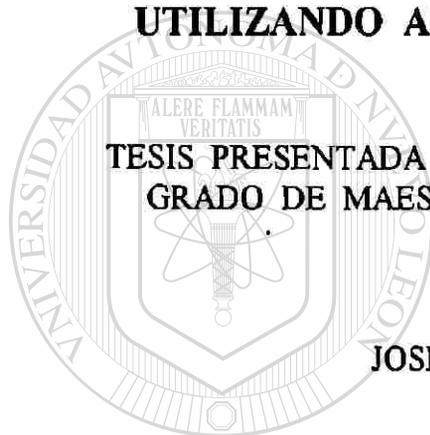
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN Y LA CARGA ANIMAL
SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL BUFFEL (*Cenchrus ciliaris L.*),
UTILIZANDO ANÁLISIS DE SISTEMAS Y SIMULACIÓN.**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

POR

JOSE ROMUALDO MARTINEZ LOPEZ



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**Ph. D. ERASMO GUTIERREZ ORNELAS
ASESOR PRINCIPAL**

**Ph. D. EMILIO OLIVARES SAENZ
ASESOR AUXILIAR**

**Ph. D. SERGIO PUENTE TRISTAN
ASESOR AUXILIAR**

Marín, Nuevo León

Agosto, 2000

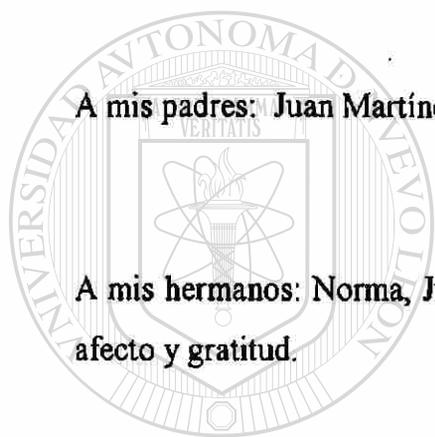
DEDICATORIA

GRACIAS A DIOS.

Para Carmen, Julián y Jessica. Quienes me motivan a seguir adelante. Con mucho cariño y amor.

A mis padres: Juan Martínez y Paula López. Por su infinita paciencia y comprensión.

A mis hermanos: Norma, Juan (Chacho), Martha y Myrna y a todos mis familiares, con afecto y gratitud.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ph. D. Erasmo Gutiérrez O., Asesor principal de mi tesis. Su participación, que fue más allá de conminativos preceptos académicos, fue determinante para la realización de este trabajo. Así como al Ph. D. Emilio Olivares Sáenz y al Ph. D. Sergio Puente Tristán, Asesores auxiliares de mi tesis, por sus acertadas orientaciones y sus valiosas sugerencias e interés en la revisión del presente trabajo.

También quiero agradecer al Ing. Arnoldo Tapia, por su atinada y oportuna ayuda en el manejo de las bases de datos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios.

Al proyecto “Modelos de crecimiento que incluyan el efecto de la intensidad de pastoreo sobre la producción y valor nutritivo de gramíneas en el Noreste de México”, financiado por CONACYT y cuya clave es 28623-B, por permitirme formar parte de él y facilitarme una beca de complemento para la finalización de mis estudios.

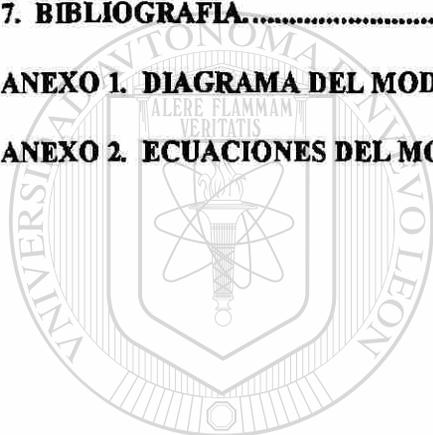
Al Programa de Manejo Sostenible de Ecosistemas del Centro de Calidad Ambiental en el ITESM Campus Monterrey, en especial al Ph. D Ernesto Enkerlin, por permitirme el uso de su equipo computacional. A mis compañeros Nelly Correa, Claudia Macías, Gabriela Ortiz y Miguel A. Cruz, por su apoyo y constante impulso.

A todos aquellos que he omitido y que de alguna forma directa o indirecta contribuyeron a la culminación del presente trabajo.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	2
1. INTRODUCCION.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. LITERATURA REVISADA.....	5
3.1 ANÁLISIS DE SISTEMAS Y SIMULACIÓN.....	5
3.1.1 <i>Comparación de la Perspectiva de Sistemas con otros Métodos para Resolver Problemas.....</i>	<i>5</i>
3.1.2 <i>Conceptos Básicos.....</i>	<i>6</i>
3.1.2.1 <i>Sistema.....</i>	<i>6</i>
3.1.2.2 <i>Análisis de Sistemas.....</i>	<i>6</i>
3.1.2.3 <i>Modelo.....</i>	<i>7</i>
3.1.2.4 <i>Simulación.....</i>	<i>8</i>
3.1.2.5 <i>Modelo de Simulación.....</i>	<i>8</i>
3.1.3 <i>Etapas teóricas en el Análisis de Sistemas.....</i>	<i>8</i>
3.1.3.1 <i>Desarrollo del Modelo Conceptual.....</i>	<i>8</i>
3.1.3.2 <i>Desarrollo del Modelo Cuantitativo.....</i>	<i>9</i>
3.1.3.3 <i>Evaluación del Modelo.....</i>	<i>9</i>
3.1.3.4 <i>Uso del Modelo.....</i>	<i>9</i>
3.1.4 <i>Clasificación de los Componentes del Sistema de Interés.....</i>	<i>10</i>
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL BUFFEL.....	11
3.2.1 <i>Origen Geográfico y Distribución Mundial.....</i>	<i>11</i>
3.2.2 <i>Descripción de la Planta.....</i>	<i>12</i>
3.2.3 <i>Establecimiento y Manejo del Zacate Buffel.....</i>	<i>13</i>
3.2.3.1 <i>Requerimientos del Suelo.....</i>	<i>14</i>
3.2.3.2 <i>Requerimientos del Clima.....</i>	<i>15</i>
3.2.3.3 <i>Manejo del Buffel.....</i>	<i>15</i>
3.2.4 <i>Productividad y Calidad del Forraje.....</i>	<i>17</i>
3.2.4.1 <i>Productividad.....</i>	<i>17</i>
3.2.4.2 <i>Calidad del Forraje.....</i>	<i>18</i>
3.3 CONSUMO VOLUNTARIO DE GANADO DE CARNE.....	19
3.3.1 <i>Consumo Voluntario.....</i>	<i>19</i>
3.3.2 <i>Consumo de Forraje.....</i>	<i>20</i>
3.3.3 <i>Energía y sus Unidades de Medición.....</i>	<i>21</i>
3.3.4 <i>Predicción del Consumo de Alimento en Ganado de Carne.....</i>	<i>22</i>
3.4 SISTEMAS DE PASTOREO Y CARGA ANIMAL.....	24
3.4.1 <i>Sistemas de Pastoreo.....</i>	<i>24</i>
3.4.2 <i>Carga Animal.....</i>	<i>25</i>
3.5 PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN EL NORESTE DE MÉXICO Y EL EFECTO DE LAS SEQUÍAS.....	26
3.5.1 <i>Importancia de la Precipitación y su Distribución.....</i>	<i>26</i>
3.5.2 <i>Importancia de las Sequías.....</i>	<i>27</i>
4. MATERIALES Y METODOS.....	30
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	30
4.2 INFORMACIÓN ESPECÍFICA DISPONIBLE DEL SISTEMA.....	31
4.2.1 <i>Información de estados históricos del sistema.....</i>	<i>31</i>
4.2.2 <i>Información sobre procesos que ocurren dentro del sistema.....</i>	<i>31</i>

4.3 FORMULACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL.....	33
4.4 FORMULACIÓN DEL MODELO CUANTITATIVO.....	34
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
5.1 MODELO CONCEPTUAL.....	37
5.1.1 <i>Submodelo de Características de la Pradera</i>	37
5.1.2 <i>Submodelo de Precipitación y Temperatura</i>	38
5.1.3 <i>Submodelo de Vegetación y Consumo de Pasto</i>	39
5.2 MODELO CUANTITATIVO.....	41
5.2.1 <i>Submodelo de Características de la Pradera:</i>	42
5.2.2 <i>Submodelo de Precipitación y Temperatura</i>	42
5.2.3 <i>Submodelo de Vegetación y Consumo de Pasto</i>	48
5.3 EVALUACIÓN DEL MODELO.....	56
5.3.1 <i>Evaluación Estadística</i>	56
5.3.2 <i>Evaluación de la Congruencia de las Predicciones del Modelo</i>	59
5.3.3 <i>Análisis del Efecto de las Cargas Animales</i>	65
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
7. BIBLIOGRAFIA.....	74
ANEXO 1. DIAGRAMA DEL MODELO CONCEPTUAL.....	78
ANEXO 2. ECUACIONES DEL MODELO CUANTITATIVO.....	80



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



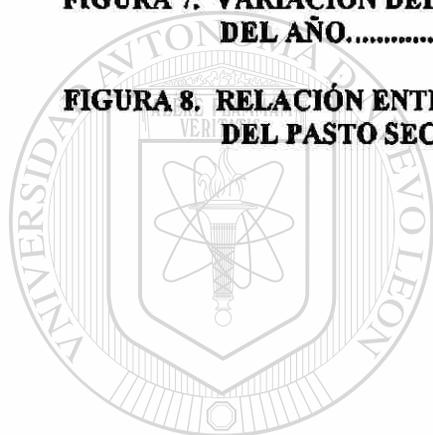
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA FAUANL, EN MARÍN, N.L.	32
CUADRO 2. DATOS Y PARÁMETROS DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL (MM) DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA FAUANL, EN MARÍN, N.L.	33
CUADRO 3. RELACIÓN ENTRE LA PROPORCIÓN DE PRODUCCIÓN PRIMARIA DE LA PRADERA Y COBERTURA BASAL.....	43
CUADRO 4. RELACIÓN ENTRE PP EFECTIVA Y PP MENSUAL.	46
CUADRO 5. RESUMEN DE LA REGRESIÓN DE LOS MESES DE OCTUBRE A DICIEMBRE PARA TEMPERATURA MENSUAL.....	47
CUADRO 6. RELACIÓN ENTRE EL MES Y EL PESO VIVO DEL GANADO.	51
CUADRO 7. DATOS QUE RELACIONAN LA PROPORCIÓN DE PASTO VERDE Y LA PROPORCIÓN DEL CONSUMO DEL PASTO VERDE.....	53
CUADRO 8. PRECIPITACIÓN ANUAL SIMULADA (DOS CORRIDAS).....	57
CUADRO 9. PRUEBA T PARA LAS DOS CORRIDAS DE LA VARIABLE PRECIPITACIÓN ANUAL SIMULADA.....	57
CUADRO 10. PRECIPITACIÓN ANUAL REAL (MM).....	57
CUADRO 11. PRUEBA T PARA LA PRECIPITACIÓN REAL ANUAL Y SIMULADA.....	58
CUADRO 12. PRODUCCIONES PRIMARIAS ANUALES SIMULADAS (KG/HA).....	58
CUADRO 13. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LAS PRODUCCIONES PRIMARIAS ANUALES SIMULADAS (KG/HA).....	59
CUADRO 14. PROMEDIOS MENSUALES DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN LA EVALUACIÓN DEL MODELO.....	66
CUADRO 15. CONSUMO DE SUPLEMENTO ANUAL EN RELACIÓN A LA CARGA ANIMAL (TON/HA).	67
CUADRO 16. ANÁLISIS DE VARIANZA BAJO EL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR PARA LAS 5 DIFERENTES CARGAS ANIMALES, SOBRE LA VARIABLE CONS3.	68
CUADRO 17. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE CONS3 (TON/HA).....	68
CUADRO 18. DESCOMPOSICIÓN DEL PASTO SECO INFLUENCIADA POR LAS CARGAS ANIMALES (TON/HA).....	69
CUADRO 19. ANÁLISIS DE VARIANZA BAJO EL DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR PARA LAS 5 DIFERENTES CARGAS ANIMALES, SOBRE LA VARIABLE DESCOM... ..	70
CUADRO 20. COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA VARIABLE DESCOM (TON/HA).	70

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE LA PROPORCIÓN DE PRODUCCIÓN PRIMARIA DE LA PRADERA Y LA COBERTURA BASAL.....	43
FIGURA 2. RELACIÓN ENTRE PP EFECTIVA Y PP MENSUAL.....	46
FIGURA 3. RELACIÓN ENTRE EL MES Y EL PESO ANIMAL.....	51
FIGURA 4. RELACIÓN ENTRE LA PROPORCIÓN DE PASTO VERDE Y LA PROPORCIÓN DEL CONSUMO DEL PASTO VERDE.....	53
FIGURA 5. VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN REAL Y SIMULADA.....	60
FIGURA 6. VARIACIÓN DEL PASTO TOTAL, PASTO SECO Y PASTO VERDE A TRAVÉS DEL AÑO.....	62
FIGURA 7. VARIACIÓN DEL CONSUMO TOTAL Y EL PESO METABÓLICO A TRAVÉS DEL AÑO.....	63
FIGURA 8. RELACIÓN ENTRE EL CONSUMO DE SUPLEMENTO Y LA DESCOMPOSICIÓN DEL PASTO SECO.....	71



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

RESUMEN.

Se construyó un modelo de simulación estocástico para evaluar la producción primaria neta (PPN) y el consumo voluntario de materia seca del zacate buffel (*Cenchrus ciliaris L.*) por ganado bovino, para el área de Marín, N.L. El modelo incluye la producción mensual de materia seca (MS), senescencia y utilización del pasto en función de la precipitación y temperatura. El modelo se construyó usando el programa STELLA 3.1 y corrió para 21 años (252 meses) en dos ocasiones, eliminando los primeros 12 meses de la corrida para evitar el sesgo de las condiciones iniciales de las variables de estado. La carga animal utilizada en la simulación de referencia fue de 2 ha/UA. Se estimó PPN mensual y anual, y la transformación de pasto verde a pasto seco, así como los consumos respectivos. La producción anual de zacate buffel varió de 4.5 a 10.2 ton MS/ha con precipitaciones anuales de 300 a 704 mm, respectivamente. El consumo total anual requerido por unidad animal se estimó en 3.6 ton, del cual un 11% deberá ser suplementado con heno. PPN simulada por la simulación de referencia coincide con reportes disponibles en la literatura por lo que el modelo se evaluó satisfactoriamente.

Las Cargas Animales evaluadas tuvieron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para las variables Consumo de Suplemento y Descomposición de Pasto Seco. Al realizar la comparación de medias, se encontró que las Cargas Animales de 1.67, 2 y 2.5 ha/UA son las que dan el uso más eficiente al pasto, bajo las condiciones simuladas. La Carga Animal de 3.3 ha/UA requirió menor cantidad de suplemento, pero también fue donde se descompuso más Pasto Seco. Por el contrario, la Carga Animal de 1.42 ha/UA fue la que más cantidad de Suplemento necesitó, pero también fue donde se descompuso la menor cantidad de Pasto Seco. El modelo representa una herramienta útil para identificar las opciones que permitan diseñar investigaciones de campo mejor estructuradas y así realizar un uso sostenible del pasto buffel.

Palabras clave: Análisis de Sistemas, simulación, buffel, producción primaria neta, consumo voluntario, ganado de carne.

SUMMARY

A stochastic simulation model was made to evaluate aboveground net primary production (ANPP) and voluntary intake of buffelgrass by beef cattle using system analysis, in Marín, N.L. Model includes monthly dry matter (DM) production and senescence in function of Precipitation and Temperature, also includes monthly grazing. Stella 3.1 program was used to construct the model and it ran twice for 21 years (252 months) eliminating the 12 initial months of each race to avoid bias for initial conditions of state variables. Stocking rate used in baseline simulation was 2 ha/AU. Yearly and monthly productions of both green grass and dead grass were estimated, and also their respective intakes. Yearly ANPP varied between 4.5 and 10.2 ton DM/ha related to yearly precipitation of 300 and 704 mm, respectively. Yearly voluntary intake per animal unit was estimated as 3.6 ton, from that 11% will be supplemented with hay. ANPP simulated by baseline simulation is congruent with available literature evaluating the model satisfactorily. Stocking rate affects ($P < 0.01$) Supplement Intake and Dead Grass Decomposition and stocking rates of 1.67, 2 and 2.5 allow most efficient usage of grass, under simulated conditions. Stocking rate of 3.3 ha/AU required less supplement but it had the biggest decomposition rate. On the other hand, stocking rate of 1.42 ha/AU required most supplement and had the lower decomposition rate. This model is an useful tool to identify opportunities that allow better structured researches to reach an sustainable use of buffelgrass.

Key words: System analysis, simulation, buffelgrass, aboveground net primary production, voluntary intake, beef cattle.

1. INTRODUCCION.

El rápido crecimiento poblacional y el incremento en la demanda por alimento son tópicos de gran importancia para muchos países, por lo que para satisfacer la demanda de carne bovina se ha tenido que multiplicar la cantidad de ganado que se alimenta de los pastizales (Ridder *et al.* 1986) deteriorando el ecosistema prístino original de los antiguos pastizales de las zonas áridas y semiáridas de Norteamérica, cambiándolos de pastizales abiertos a matorrales, con diferentes grados de densidad (Levy, 1994).

Los científicos del presente siglo han abordado una amplia variedad de temas relacionados al manejo de los pastizales en su afán por mejorar las condiciones actuales de los pastizales (Runge y Schuster, 1985; Cox, 1991; Cox, *et al.* 1988; Hanselka y Johnson, 1991). Desafortunadamente, el tiempo y la gran variedad de tópicos, aunado a los altos costos de investigación, han propiciado que la mayoría de estas investigaciones se realicen de una forma aislada. Por lo tanto, estudiar los pastizales en forma integral, implica hacer investigación de un sistema inherentemente complejo (Grant *et al.* 1997) que necesita resolver problemas desde un enfoque de análisis de sistemas. El fundamento para el uso de análisis de sistemas en manejo de pastizales consiste en proporcionar una perspectiva útil para abordar sistemas complejos que promueva diseños de investigación de buena calidad que a la postre nos ayuden a tomar decisiones adecuadas; integrando información relevante obtenida por medio del método de prueba y error, del método científico, de la opinión de expertos y aun de la observación directa de los fenómenos del sistema real, de una forma que facilite la descripción formal de la estructura y la dinámica de dichos sistemas (Grant *et al.* 1997).

Las disciplinas de Ecología Aplicada, tales como Manejo de Pastizales, se organizan necesariamente alrededor de un modelo que explica las funciones del ecosistema basándose en un sistema de conceptos, generalizaciones y/o suposiciones (Westoby, *et al.* 1989), que nos dice qué datos coleccionar y cómo ensamblar la información para llegar a decisiones de manejo. Aquí utilizaremos el modelo de sucesión del pastizal por considerar que es el modelo que más se ajusta al sistema de una pradera introducida de zacate buffel común.

El zacate buffel común o T-4464 fue colectado en el desierto de Turkana, situado en el norte Kenya e introducida a los Estados Unidos de América en 1946 (Holt, 1985). Hoy en día se encuentran 680,000 ha de praderas de zacate buffel sembradas en el sur de Texas y 1'230,000 ha en México, de las cuales, 820,000 se encuentran en los estados de Tamaulipas y Nuevo León (Hanselka y Johnson, 1991), convirtiéndose en el componente fundamental de los sistemas de ganadería moderna de ésta región. Esto no es una casualidad, se debe a que el buffel es un zacate de fácil establecimiento, altamente productivo, muy apetecible y digestible para el ganado, y además, tolera el pastoreo intensivo y es relativamente resistente a las sequías.

En el presente trabajo se pretende realizar un modelo de simulación que permita el estudio de la productividad del buffel considerando la influencia de la precipitación pluvial y diferentes cargas animales, durante un periodo de 20 años, utilizando análisis de sistemas y simulación.

2. OBJETIVOS.

Objetivo General:

Construir un modelo de simulación para la productividad de una pradera de zacate buffel, bajo la influencia de la lluvia y con diferentes cargas animales, que sea de utilidad en el diseño de nuevas investigaciones de campo.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Objetivos Específicos:

- 1.- Evaluar la congruencia entre las predicciones del modelo y datos del sistema real, comparando las predicciones del modelo para la precipitación pluvial y los datos reales de la lluvia colectados en la Estación Meteorológica de la FAUANL.
- 2.- Evaluar la estructura del modelo en base a los patrones de comportamiento esperados.
- 3.- Observar el comportamiento de las diferentes Cargas Animales dentro de la dinámica del pastizal y sugerir prácticas de manejo adecuadas.

3. LITERATURA REVISADA.

3.1 Análisis de Sistemas y Simulación.

En los países desarrollados como en los subdesarrollados continuamente estamos enfrentando problemas relacionados al manejo de los recursos naturales debido a nuestro interés por lograr un crecimiento económico sin destruir los sistemas ecológicos que forman la base de la existencia humana, enfrentándonos así con sistemas complejos. El análisis de sistemas y simulación es tanto una filosofía como un conjunto de técnicas cuantitativas, que han sido desarrolladas explícitamente para enfrentar problemas relacionados al funcionamiento de sistemas complejos. La utilidad del análisis de sistemas y simulación proviene tanto del proceso (la identificación y especificación del problema y el desarrollo y uso del modelo) como del producto (el modelo final) (Grant *et al.* 1997).

3.1.1 Comparación de la Perspectiva de Sistemas con otros Métodos para Resolver Problemas.

A lo largo de la historia, el método de prueba y error ha sido el más útil y el más usado para resolver problemas. Sin embargo, el desarrollo de pruebas utilizando este método, usualmente toma demasiado tiempo y los errores que podrían resultar de estas pruebas son demasiado costosas. El método científico como forma de resolver problemas, se basa en una observación más disciplinada y en la manipulación de las partes del mundo real que resultan particularmente interesantes en el contexto del problema bajo estudio. Por otra parte, la perspectiva de sistemas integra la información obtenida con el método de ensayo y error, y con el método científico para facilitar la descripción formal de la estructura y la dinámica de los sistemas complejos (Grant *et al.* 1997).

Podríamos caracterizar un sistema en términos del número de componentes y del grado de relación que existe entre sus componentes (Grant *et al.* 1997; Haefner, 1996). Los problemas que comprenden sistemas formados por un número relativamente pequeño de componentes muy relacionados, se pueden abordar matemáticamente en

forma analítica. Los problemas que comprenden sistemas formados por muchos componentes que no están muy relacionados se pueden resolver estadísticamente. Pero los problemas que involucran sistemas con muchos componentes medianamente relacionados no se pueden resolver por ninguno de los métodos anteriormente descritos. El análisis de sistemas y simulación está dirigido específicamente a estos sistemas intermedios caracterizados por una complejidad organizada en los cuales la estructura no solo controla sino que también está controlada por la dinámica del sistema. La perspectiva de sistemas no reemplaza a los otros métodos usados en la solución de problemas, sino que permite integrar efectivamente el conocimiento obtenido a través de la descripción, clasificación y análisis matemático y estadístico de nuestras observaciones del mundo real (Grant *et al.* 1997).

3.1.2 Conceptos Básicos

3.1.2.1 Sistema

“Sistema” es difícil de definir en forma precisa. Un sistema es un conjunto de componentes interrelacionados que poseen un límite y funcionan como una unidad (Grant *et al.* 1997; Haefner, 1996). Su principal atributo es que podemos entenderlo solo al considerarlo como un todo. Los sistemas tienen dos propiedades de importancia particular. Primero, los sistemas pueden estar anidados: un individuo es parte de una población, una población es parte de una comunidad y así sucesivamente. Segundo, los sistemas con la misma escala y con el mismo nivel de detalle se pueden sobreponer, por lo que es conveniente pensar en términos de un sistema de interés subjetivo que se define de acuerdo a un interés específico.

3.1.2.2 Análisis de Sistemas

Se puede definir como la aplicación del método científico a problemas relacionados con sistemas complejos. La esencia del análisis de sistemas no radica en el conjunto de técnicas cuantitativas, sino en la universalidad y la flexibilidad de su

enfoque (Grant *et al.* 1997). El más importante atributo del análisis de sistemas es que proporciona una estructura unificadora para observaciones y efectos interrelacionados y que sirve como una fuerza dinámica tan pronto nuevos factores y observaciones están disponibles (Holechek *et al.* 1998).

3.1.2.3 Modelo

Un modelo es una abstracción de la realidad. Es una descripción formal de los elementos más esenciales de un problema (Grant *et al.* 1996; Haefner, 1996). Debido a que estos elementos son exactamente los mismos que se han definido como parte del sistema de interés, se puede considerar un modelo como una descripción formal del sistema de interés. Por otro lado, un modelo es una herramienta para resolver un problema por lo que puede ser aplicado inapropiadamente en otro sistema (Haefner, 1996) ya que no simula un sistema completamente sino sólo una parte de él que es considerada como esencial por el modelador (Holechek *et al.* 1998)

Existen tres usos técnicos principales de los modelos científicos:

- a) Entendimiento.- de un sistema real físico o de un sistema lógico. Aquí se usan las entradas y salidas para inferir las características del sistema.
- b) Predicción.- del futuro o de algún estado que es actualmente desconocido. Aquí se usa el conocimiento de las partes del sistema para explicar las respuestas observadas.
- c) Control.- para restringir o manipular un sistema para producir una condición deseable. Aquí se diseñan sistemas tal que una salida específica sea el resultado de una entrada (Haefner, 1996).

Los modelos se pueden clasificar en una gran variedad de formas. Algunas de las dicotomías más relevantes incluyen modelos: 1) físicos vs abstractos, 2) dinámicos vs estáticos, 3) correlacionados vs explicativos, 4) determinísticos vs estocásticos, y 5) de simulación vs analíticos, por lo que la elección entre un modelo analítico y un modelo de simulación implica la pérdida de realismo ecológico para obtener más potencia matemática, o la pérdida de potencia matemática para incluir más realismo ecológico (Grant *et al.* 1997)

3.1.2.4 Simulación

Simulación es el uso de un modelo para imitar, o describir paso a paso, el comportamiento del sistema que estamos estudiando. Los modelos de simulación están compuestos de una serie de operaciones aritméticas y lógicas que, en conjunto, representan la estructura y comportamiento del sistema de interés (Grant *et al.* 1997). La simulación permite examinar el rancho completamente y alterar varios parámetros para determinar los efectos en el rancho, pudiendo necesitarse mayores ajustes en el modelo aún por cambios menores en las variables (Holechek *et al.* 1998).

3.1.2.5 Modelo de Simulación

Es un modelo matemático cuya solución es obtenida por aproximación numérica, usualmente involucra computadoras y no es un modelo analítico (Haefner, 1996).

3.1.3 Etapas teóricas en el Análisis de Sistemas

Se han identificado cuatro etapas fundamentales en el proceso del desarrollo y uso del modelo: 1) desarrollo del modelo conceptual, 2) desarrollo del modelo cuantitativo, 3) evaluación del modelo y 4) uso del modelo (Grant *et al.* 1997).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.1.3.1 Desarrollo del Modelo Conceptual

El objetivo de la primera etapa del análisis de sistemas es desarrollar un modelo cualitativo o conceptual del sistema de interés. En base a los objetivos del proyecto se debe decidir cuales son y como se relacionan los componentes del mundo real que se incluyen en el sistema de interés. También se bosquejan los patrones esperados del comportamiento del modelo, lo cual frecuentemente se hace en términos de la dinámica temporal de los componentes más importantes del sistema. Estos patrones sirven como punto de referencia durante la evaluación del modelo para asegurar que el modelo

proporciona el tipo de predicciones que permita abordar los objetivos del modelo (Grant *et al.* 1997).

3.1.3.2 Desarrollo del Modelo Cuantitativo

En la segunda etapa del análisis de sistemas se desarrolla un modelo cuantitativo del sistema de interés. Durante este proceso se traduce el modelo conceptual a una serie de ecuaciones matemáticas que en conjunto forman el modelo cuantitativo. Posteriormente se resuelven todas las ecuaciones del modelo para cada intervalo de tiempo durante el periodo completo de la simulación. Esta simulación recibe el nombre de simulación de referencia (Grant *et al.* 1997).

3.1.3.3 Evaluación del Modelo

El objetivo de la tercera etapa del análisis de sistemas consiste en determinar si el modelo es apropiado o no para cumplir con nuestros objetivos. En la literatura comúnmente se usa el término “validación” del modelo, pero a menudo, e incorrectamente se tiende a destacar de sobremano las comparaciones entre las predicciones del modelo y las observaciones del sistema real como único criterio de validación. La evaluación del modelo es un proceso que se basa en todos los aspectos de la estructura y comportamiento, que hacen que el modelo sea potencialmente útil. Dependiendo de los objetivos del modelo, se puede profundizar en la interpretación de las relaciones entre los componentes del modelo o en su capacidad predictiva (Grant *et al.* 1997).

3.1.3.4 Uso del Modelo

La etapa final del análisis de sistemas es responder a las preguntas que se hicieron al inicio del proyecto. Esto implica diseñar y simular con el modelo los mismos experimentos que se realizarían en el mundo real para responder los objetivos. Se

analizan interpretan y comunican los resultados de las simulaciones usando los mismos procedimientos generales que se usan en un experimento realizado en el mundo real (Grant *et al.* 1997).

3.1.4 Clasificación de los Componentes del Sistema de Interés

Una vez que se han definido los límites del sistema, se procede a identificar los componentes que se deben incluir y los que se deben excluir, y al identificar los atributos de los componentes del sistema de interés, se procede a clasificarlos. Cada componente tiene diferentes funciones en el modelo y representa aspectos importantes del sistema de interés, sin embargo, se pueden clasificar los componentes al menos en seis categorías fundamentales diferentes (Grant *et al.* 1997).

El primer componente en definir son las variables de estado. Estas representan puntos de acumulación de material en el sistema y son las variables que también definen el estado del sistema. Ejemplos de ellas son: la producción de pasto en un ecosistema, el incremento de peso de un lote de animales debido a cierta dieta, etc. (Grant *et al.* 1997, Thornely, 1998).

Un segundo componente son las variables externas. Ellas son proporcionadas del exterior del sistema y afectan al sistema pero no son afectadas por el resto del sistema. Por ejemplo, la temperatura y la precipitación (Grant *et al.* 1997, Thornely, 1998).

El tercer componente son las constantes, que corresponden a valores numéricos que describen características que no cambian bajo ninguna condición simulada en el modelo. La tasa de respiración, la digestibilidad del pasto verde y el área de un rancho son ejemplos de constantes (Grant *et al.* 1997).

Las variables auxiliares son el cuarto componente y se crean para representar cálculos intermedios de una tasa de transferencia de material o el valor de alguna otra variable, pero representan conceptos que queremos identificar explícitamente en el modelo. También se usan para representar variables que resultan de varios cálculos y que son de valor conceptual en nuestro modelo. La producción primaria neta, la cual está basada en la precipitación, temperatura y tasa de producción primaria neta de una planta es un ejemplo de estas variables (Grant *et al.* 1997).

El quinto componente del sistema de interés son las transferencias de material e información. Una transferencia de material representa el movimiento de material durante un periodo de tiempo específico. Las transferencias de información representan el uso de información sobre el estado del sistema para controlar el cambio de estado del sistema (Grant *et al.* 1997).

El último componente son las fuentes y sumideros. Las fuentes representan puntos de origen del material que entra al sistema y los sumideros puntos de terminación del material que sale del sistema. Un ejemplo de fuente es la producción primaria neta que entra en un sistema y un ejemplo de sumidero es la descomposición del pasto seco (Grant *et al.* 1997).

3.2 Características del Buffel

Este zacate es una planta altamente productiva para el Noreste y Noroeste de México, siendo además, altamente palatable para el ganado bovino (Hanselka y Johnson, 1991). Ha sido inicialmente establecido en casi todo tipo de suelo, pero la persistencia a largo plazo depende de la textura específica del suelo. La emergencia se da cuando la semilla es colocada en suelos arenosos, arcillosos y limo-arcillosos pero su emergencia declina cuando el suelo se aproxima al 100% en arena, limo o arcilla (Patrocipis, 1995). La persistencia del pasto buffel se da en suelos bien drenados de migajón, migajón-arenoso, migajón arcilloso y migajón arenoso arcilloso (Figura 4).

Cox *et al.* (1988) concluyen que la distribución del pasto buffel esta limitada cuando el promedio mínimo de temperaturas en el mes mas frío sea 5 °C o menos y requiere de 90 días de crecimiento durante el verano con temperaturas adecuadas e inviernos secos para que logre colonizar suelos de tipo migajón.

3.2.1 Origen Geográfico y Distribución Mundial

El zacate buffel proviene de regiones de clima cálido, siendo originario del sur y centro de Africa, y de las regiones cálidas de la India e Indonesia (Ibarra, 1991;

Patrocipes, 1995). Se estima que este zacate ha sido establecido en casi 30 millones de hectáreas alrededor del mundo (Cox, 1991; Patrocipes, 1995).

Investigadores sudafricanos colectaron semillas de buffel en el desierto de Turkana, norte de Kenya y sur de Etiopía. Las plantas provenientes de estas semillas sobrevivieron a una sequía en 1942 por lo que las recolecciones hechas en Turkana se trasladaron a Estados Unidos en 1946. Estas plantas fueron establecidas con éxito en el sur de Texas y en 1949 fue liberado el buffel común como T-4464, para Estados Unidos (Holt, 1985, Patrocipes, 1995)

Los ganaderos del sur de Texas establecieron el zacate en más de 4 millones de hectáreas (Patrocipes, 1995) aunque otros mencionan 700,000 (Hanselka y Johnson, 1991; Ibarra, 1991). En 1954, la semilla se transportó a México por primera vez y desde entonces se estableció en extensas superficies a lo largo de la costa este y oeste del país (Patrocipes, 1995).

Actualmente no se conoce con exactitud la superficie sembrada con buffel en territorio mexicano. Algunos autores señalan que existen alrededor de 2 millones de hectáreas (Hanselka y Johnson, 1991; Ibarra, 1991; Saldivar, 1991), mientras que otros estiman entre 4 y 6 millones de hectáreas (Cox, 1991). En el noreste de México se estiman 800,000 hectáreas, principalmente en Nuevo León y Tamaulipas, de las cuales 320,000 se encuentran en Nuevo León (Hanselka y Johnson, 1991; Ibarra, 1991).

3.2.2 Descripción de la Planta

El zacate buffel es una planta perenne, crece en verano y alcanza alturas de hasta 150 cm. Sus tallos son articulados y nacen de una corona nudosa en la base de la planta, además son alargados y suaves, con las bases engrosadas, lo que le permite almacenar carbohidratos y así rebrotar después de heladas o sequías (Hussey, 1985; Patrocipes, 1995).

Las hojas son planas y lineales con una ligera vellosidad en la base. Miden de 3 a 10 mm de ancho y terminan en una delgada punta. A lo largo miden en promedio de 7 a 30 cm (Patrocipes, 1995).

Su sistema radicular es fuerte y profundo. El buffel puede dispersarse mediante rizomas cortos y se reproduce por semillas. A través de los rizomas va aumentando el área del macollo, con un crecimiento vigoroso en su circunferencia (Patrocipes, 1995).

Su inflorescencia es una espiga cilíndrica densa, generalmente flexible, de 2 a 12 cm de longitud. Esta espiga es llamada panícula. Las semillas no se encuentran visibles fácilmente, están encerradas dentro de un involucre compuesto por varias semillas o espiguillas. Estos involucros van unidos directamente al tallo de la panícula sin ninguna extensión y miden de 5 a 10 mm. Cada involucre puede contener de 1 a 5 semillas (Hussey, 1985; Patrocipes, 1995). En el buffel común se pueden encontrar de 0 a 4 semillas fértiles siendo lo más común 1 o 2 (Hatch y Hussey, 1991; Patrocipes, 1995).

Investigaciones citológicas han indicado que el buffel se reproduce vía apomixis por lo que la recombinación genética es limitada (Bashaw, 1962; Hussey, 1985). El descubrimiento de una planta sexual en buffel permitió el desarrollo de un programa de cruzamientos altamente exitoso, siendo el cultivar "Higgins" el primero en liberarse de este programa (Hussey, 1985)

3.2.3 Establecimiento y Manejo del Zacate Buffel

Existen numerosos factores que se deben considerar para establecer con éxito el zacate buffel. Desmonte o aclareo de la vegetación, preparación de la cama, método de siembra, fecha de siembra y densidad de siembra son algunos de los factores más importantes en el establecimiento de una pradera de zacate buffel. Sin embargo, el factor que requiere de la máxima atención es la selección del sitio de siembra, ya que al final de cuentas es el que determina el establecimiento y la persistencia del zacate (Ibarra, 1991). Debido a que el establecimiento del zacate buffel es un tema bastante amplio y esta fuera del contexto del presente trabajo presentarlo en su forma extensa, solo se abordará el tema de selección del sitio de siembra, y para los primeros factores se recomienda consultar a Patrocipes (1995) y Runge y Schuster (1985). Una pradera de buffel puede ser considerada como bien establecida cuando posea una densidad de de 5-10 plantas/m² y una cobertura basal de 10 a 20%, ya que habrán establecido su sistema radicular y tendrán una altura de 50 cm. La cobertura basal es la superficie cubierta por

el área basal de la planta, usualmente a 3 cm de la superficie (Kothmann, 1974). La densidad baja con el tiempo a 3-5 plantas/m² (Hanselka, 1985; Patrocipes, 1995).

El suelo y el clima son los factores más importantes que deben considerarse en la selección del sitio de siembra para el buffel. Muchos fracasos en la siembra del buffel sucedieron por no considerar la importancia del clima y el suelo. En la práctica el problema es sencillo, se trata de sembrar la semilla en sitios con clima y suelo propicios para ello (Ibarra, 1995). Por elegir un sitio no apto para su siembra se han perdido praderas en todo el mundo, acelerando la erosión del suelo y llevando asociadas pérdidas económicas y de tiempo (Patrocipes, 1995).

3.2.3.1 Requerimientos del Suelo

El buffel se adapta mejor en agostaderos planos y lomeríos suaves. También lo hace en suelos profundos, con buen drenaje y con textura entre arenosas y francas. Por el contrario suelos arcillosos, salinos, poco profundos o demasiado rocosos y terronudos generalmente no se presta para su establecimiento. Tampoco sirven para ello los barriales donde se acumula el agua durante largos periodos de tiempo (Hanselka, 1991; Ibarra *et al.* 1991).

Ha sido inicialmente establecido en casi todos los tipos de textura de suelo pero la persistencia a largo tiempo depende de tipos específicos de textura de suelo. Las plántulas emergen cuando se siembran en suelos arenosos, limosos y arcillosos, pero la emergencia se reduce a medida que el contenido de arena, limo o arcilla se aproxima a 100% (Cox, 1991). Las plantas de buffel persisten en suelos bien drenados y de texturas migajón, migajón arcilloso, migajón arenoso y migajón arena arcilloso, pero se dispersan activamente por medio de semillas en suelos con textura de migajón arenoso (Cox, 1991, Williamson *et al.* 1985).

Los niveles óptimos de nutrientes así como los niveles máximos y mínimos de salinidad y acidez para el establecimiento adecuado del buffel no han sido definidos, y resultaría muy compleja su determinación debido a la gran variedad de suelos y climas en los que el buffel se establece, influenciado a la vez por la diversa vegetación a la que esta asociado y por el variable manejo a que esta sujeto (Ibarra *et al.* 1991).

El contenido de materia orgánica en los 30 cm superficiales de suelo donde el buffel esta bien establecido varia de 1.1 a 8.4%. En el Noreste de Mexico el promedio es de 2.8%. El fósforo en los mismos 30 cm superficiales varia de 0.8 a 6.2 ppm. En el Noreste de México el fósforo promedia 2.1 ppm. El pH del suelo afecta a la vez el establecimiento del zacate. Los suelos ligeramente alcalinos son aparentemente más aptos para el establecimiento del buffel, siendo los óptimos aquellos con un pH entre 7 y 8. El Noreste de México promedia un pH de 7.3 (Ibarra *et al.* 1991)

3.2.3.2 Requerimientos del Clima

En México, las regiones donde el buffel se establece, persiste y coloniza áreas vecinas no sembradas, tienen las siguientes características de precipitación: 1) la lluvia total varia de 300 a 600 mm, 2) la lluvia de verano fluctúa entre 250 y 550mm, 3) la lluvia de invierno es inferior a los 300 mm. Bajo otras condiciones, la adaptación y persistencia se reducen y generalmente no se dispersa. En zonas con menos de 300 mm de precipitación anual, es muy riesgoso el establecimiento del buffel y no es recomendable sembrar en ellas (Ibarra *et al.* 1991; Patrocipes, 1995).

La temperatura media que requiere el zacate buffel para su establecimiento esta entre 18 y 35°C, siendo la optima de 25°C. En las áreas optimas para el buffel, el periodo libre de heladas es mayor a 340 días y la temperatura mínima promedio en el mes más frío varia de 5.5 a 13°C. La planta tiene altos riesgos de mortalidad en áreas donde la temperatura mínimo promedio en el mes más frío es menor de 5°C. El zacate buffel tiene baja tolerancia a las heladas, su adaptación se limita a agostaderos con inviernos no muy fríos, con heladas de baja intensidad y poca duración. En áreas con inviernos muy severos la sobrevivencia es errática y la producción muy pobre (Ibarra *et al.* 1991; Patrocipes, 1995).

3.2.3.3 Manejo del Buffel

Establecer una pradera de zacate buffel significa una gran inversión económica; por lo tanto, es importante utilizarla adecuadamente para evitar su deterioro. En muchos predios con praderas de buffel ya establecidas se observan problemas de sobrecarga y

deterioro de la productividad como consecuencia de un mal manejo del pastoreo. Por lo tanto, se debe cuidar el grado de utilización de la pradera. Grado de utilización es la porción de la producción anual de pasto que el ganado consume. Utilizar la pradera adecuadamente significa permitir la máxima producción pecuaria sin deteriorar su productividad (Patrocipes,1995). Lo recomendable es permitir al ganado consumir el 60% de la producción anual del pasto (Hanselka, 1985).

Los principales factores asociados con el pastoreo son la intensidad y la frecuencia de la defoliación. La intensidad es la proporción de material vegetativo removido al utilizar la planta. La frecuencia es el número de veces que una planta es consumida en un ciclo de pastoreo. La pradera de buffel puede tolerar un pastoreo intensivo, pero después de cada pastoreo necesita un período de descanso para recuperarse y así mantener su productividad. Usualmente, la forma de lograr lo anterior es por medio de sistemas de pastoreo diferido. Durante el pastoreo, debe evitarse que la planta sea consumida a menos de 15 cm de altura. Las plantas que han sido utilizadas a una altura menor que ésta tardan más tiempo en recuperarse. Utilizar la pradera frecuentemente con intervalos de descanso cortos no permite su recuperación y debilita las plantas. Esto provoca una defoliación y reducción del forraje y puede conducir a la muerte de las plantas. Por el contrario, un pastoreo moderado, con períodos adecuados de descanso permite la recuperación de las plantas. Esto da oportunidad al aprovechamiento máximo del forraje y que la remoción de las hojas no cause daño en las plantas (Hanselka,1985). Los resultados indican que el ganado mantiene una mejor condición corporal en una carga moderada y baja (4 y 6 ha/U.A.). Se consiguen mejores porcentajes de preñez y pesos de becerros al destete (Patrocipes, 1995).

Cuando a las praderas de buffel se les permite mantener una biomasa de 450 kg/ha de forraje produce más que cuando se le permite una menor cantidad de forraje (Ibarra *et al.* 1998), además el consumo del ganado se reduce a un 60% del máximo cuando la disponibilidad del forraje es menor a dicha cantidad (NRC, 1996).

3.2.4 Productividad y Calidad del Forraje

3.2.4.1 Productividad

La productividad de una pradera de buffel depende de diferentes factores, de los cuales los principales son: la precipitación pluvial, la temperatura, el tipo de suelo, el manejo y grado de pastoreo. Otros factores asociados a la productividad son la densidad de plantas por hectárea y la cobertura basal (Hanselka, 1985; Patrocipes, 1995). La cobertura basal del buffel en una pradera bien establecida es del 10 al 20% y la densidad inicial es de 50 plantas por m². La producción forrajera del buffel se determina cuando alcanza el pico de producción más alto y es considerada la producción de forraje total de la planta durante el año (Patrocipes, 1995).

Muchos estudios han evaluado la producción de buffel pero ninguno ha intentado evaluar su productividad influenciado por el clima (Martín *et al.* 1995). La precipitación del verano tiene el mayor impacto en el crecimiento del buffel ya que es cuando cae la mayor precipitación y la temperatura es adecuada. El buffel inicia su rebrote cuando la temperatura sobrepasa los 15°C y exista una acumulación de precipitación de 20mm. En Sonora, el buffel produjo 19.8 kg por hectárea por cada mm de precipitación durante el verano (Martín *et al.* 1995). Después de 30 días, la planta sobrepasa los 50 cm de altura (Patrocipes, 1995). Por otro lado, la productividad se puede elevar con fertilizaciones de Nitrógeno y Fósforo cuando la humedad es adecuada (Wiedenfeld *et al.* 1985; Rao *et al.* 1996).

Con precipitaciones anuales de 320 mm se puede esperar producciones de 2 a 6 ton de materia seca por hectárea y el ciclo de producción puede durar hasta 160 días. Con precipitaciones de 235 mm la producción se reduce entre 1.5 y 3 ton y el periodo de producción se reduce a 40-60 días. Por el contrario con precipitaciones arriba de 400 mm la producción puede llegar a 10-12 ton (Hanselka, 1985; Hanselka y Johnson, 1991; Patrocipes, 1995).

En Texas, la producción varía de 1 ton, en suelos franco arenosos, a 6 en suelos franco arcillosos (Hanselka, 1985; Hanselka y Johnson, 1991).

Estudios de pastoreo controlado indican que la producción forrajera se incrementa en un 13% debido a sistemas de pastoreo y en un 30% cuando se reduce el grado de uso, sugiriendo que primero se debe poner atención a la carga animal (Van Polen, 1979). El uso del sistema de pastoreo de 4 potreros-1 ható ha permitido un aumento de 75% en la carga animal al incrementarse también la densidad del buffel (Hanselka y Johnson, 1991). El sistema Savory ha aumentado un 25% la carga original en los potreros de Sonora (Hanselka, 1985; Servín, 1983). Por otro lado, el buffel en combinación con el sistema de pastoreo diferido a aumentado el coeficiente de pastoreo en un 500% sobre el pastizal nativo (Servín, 1983).

3.2.4.2 Calidad del Forraje

La calidad forrajera del zacate buffel es afectada por el medio ambiente y por el manejo. Generalmente, el contenido proteico aumenta después de las lluvias. La calidad del forraje cambia a través de sus diferentes etapas fenológicas, teniendo un mayor valor en la época de crecimiento y disminuyendo conforme la planta va madurando (White, 1985; Patrocipis, 1995).

Durante el crecimiento activo, la planta contiene alrededor de 19% de proteína cruda y disminuye a un 2-4 % en su etapa seca (Hussey, 1985) demostrando que la lluvia afecta el contenido de proteína (White, 1985). Los contenidos de Calcio y Fósforo del zacate buffel variaron entre 0.3 y 0.6%; y 0.2 y 0.40%, respectivamente (Patrocipis, 1995; White, 1985).

Las diferencias en calidad nutritiva del buffel debidas al tipo de suelo no son tan importantes como la lluvia y la temperatura (White, 1985).

La digestibilidad de la materia seca en el buffel durante el crecimiento esta entre 51 y 53% y durante su estadio seco baja hasta un 48%. El contenido de fibra sigue el mismo patrón que la digestibilidad siendo 73 y 81%, respectivamente (Patrocipis, 1995). La Fibra Acido Detergente en el buffel varió de 31% en junio a 49% en abril (White, 1985). El Total de Nutrientes Digestibles (TND) intenta medir la energía digestible en unidades de peso (%). Los valores del Buffel para sus estadios seco y verde promediaron 39.1% y 57.56%, respectivamente (White, 1985)

Existen diferentes prácticas mediante las cuales una pradera puede incrementar el contenido proteínico y su digestibilidad como: quema, chapoleo, subsoleo, fertilización o una combinación de estas. Sin embargo, algunas requieren cuidados especiales dependiendo de la época, condiciones climáticas y estados fenológicos (Hamilton, 1985; Hanselka y Johnson, 1991)

3.3 Consumo Voluntario de Ganado de Carne

3.3.1 Consumo Voluntario

Los factores que regulan el consumo de materia seca (CMS) por los rumiantes son complejos y no están totalmente entendidos. Investigaciones previas han establecido relaciones entre la concentración de energía en la dieta y el CMS en ganado de carne basándose en que el consumo de dietas altas en energía y digestibilidad es controlado por las demandas de energía del animal y por factores metabólicos, mientras que el consumo de dietas bajas en digestibilidad y energía es controlado por factores físicos como el llenado ruminal y el pasaje de la digesta (NRC, 1987). Este modelo no es completamente compatible con los datos existentes porque al relacionar linealmente el CMS y la digestibilidad de la materia seca (DMS), a través de un rango de 30 a 84% de DMS, el CMS no se estabilizó al incrementar la DMS, como era de esperarse. Además, los grandes incrementos de CMS durante los periodos de lactación y estrés por frío, y la gran disminución observada en la preñez avanzada es difícil de explicar por el llenado ruminal (NRC, 1996). Esto llevó a una nueva teoría en el consumo ad libitum: el animal consume una cantidad que optimiza el costo y el beneficio del consumo de oxígeno, lo cual corresponde al punto en que se maximiza el consumo de energía neta por unidad de consumo de oxígeno (NRC, 1996).

Debido a que los factores que afectan el consumo por los rumiantes no son completamente entendidos, los modelos que predicen el consumo son empíricos por naturaleza y es difícil explicar los numerosos factores fisiológicos (composición corporal, sexo, estado fisiológico, edad, raza, etc.), ambientales (temperatura ambiental, estacionalidad, fotoperíodo, etc.) y de manejo (ganado pastoreando, ganado en corrales

de engorda; implantes que promueven el crecimiento, deficiencias alimenticias, etc.) que pueden afectar el consumo de alimento (NRC, 1996).

3.3.2 Consumo de Forraje

Existen varios factores que alteran el consumo de forraje en ganado de carne y que deben ser considerados en la estimación del consumo de vacas de producción de carne. La capacidad del rumen, la baja digestibilidad y tasa de pasaje limitan el consumo de forraje. La disponibilidad del forraje, el uso de suplementos y las condiciones climáticas también afectan el consumo de forraje. Otros factores que influyen en el consumo de forraje son el tamaño del animal, la producción de leche y el estado reproductivo. El consumo de forraje en ganado en pastoreo es reducido si la cantidad o la calidad de la pasta no es la adecuada. Ciertos suplementos para forrajes con baja calidad pueden disminuir el consumo de forraje, mientras otros suplementos incrementan los consumos. La principal diferencia en la respuesta al consumo parece estar asociada con el contenido de proteína del forraje y la cantidad de suplemento alimentado. Si el forraje es bajo en proteína, el consumo de forraje se incrementará cuando una pequeña cantidad de suplemento alto en proteína sea suministrado. Pero cuando más de un kg de suplemento es administrado, el consumo de forraje se reduce por sustitución. Las vacas gestantes cercanas al parto consumen menor cantidad de alimento (de un 12 a un 13 %) que las vacas vacías, pero el consumo se incrementa rápidamente después del parto. El consumo de materia seca de ganado de carne es extremadamente variable siendo la cantidad y la calidad del forraje los mayores factores que afectan el consumo (NRC, 1984).

Holloway *et al.* (1979) observó que vacas Angus amamantando y pastoreando *Festuca arundinacea Schreb* en el verano consumieron 10.5 kg de materia seca cuando la pasta tuvo alta calidad (70% de digestibilidad) y 8.8 kg cuando tuvo pobre calidad (58 % de digestibilidad). El consumo de alimento del ganado de carne es difícil de predecir debido a los muchos factores que lo afectan, incluyendo al animal, a la dieta y al estrés ambiental. Bajo condiciones ambientales favorables, el ganado consume más forraje

bajo el sistema de pastoreo de corta duración que bajo el sistema de pastoreo continuo (Hirschfeld *et al.* 1996) y en áreas con forraje abundante y palatable. la velocidad de forrajeo disminuye y la tasa de consumo aumenta (Bailey *et al.* 1996).

3.3.3 Energía y sus Unidades de Medición

La energía es una abstracción y es medida solo en referencia a algunas condiciones estándares definidas. Al estandarizar los nutriólogos sus bombas calorimétricas concluyeron que la caloría sería definida como la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de un g de agua de 16.5 a 17.5°C. La caloría es una cantidad muy pequeña de energía por lo que la kilocaloría (1kcal = 1000 cal) y la megacaloría (1 Mcal = 1000 kcal = 1 000 000) son mas convenientes en el uso de estándares de alimentación animal (NRC, 1984).

La energía bruta es el total de calor liberado cuando una sustancia orgánica es completamente oxidada a dióxido de carbono y agua, y no proporciona información concerniente a la disponibilidad de la energía que tendría un ingrediente al ser alimentado a un animal (NRC, 1984).

La energía bruta de los alimentos menos la energía perdida de las heces es llamada energía digestible (ED). Un termino aproximado es el Total de Nutrientes Digestibles (TND) e intenta medir la energía digestible en unidades de peso. El TND puede ser convertida a ED por la relación de 1 kg de TND = 4.4 Mcal de ED. La ED tiene la ventaja de ser fácilmente medible pero falla al considerar todas las pérdidas de energía relacionadas con la digestión y el metabolismo de los nutrientes. La mayor debilidad de la ED como base para los sistemas de alimentación es que sobrestima la disponibilidad de energía de los alimentos altos en fibra en relación a los alimentos bajos en fibra (NRC, 1984).

La energía metabolizable (EM) es la energía disponible para el metabolismo después que las pérdidas de energía en la orina y en la combustión de gases son restadas de la ED. La EM tiene las mismas deficiencias de la ED debido a que las pérdidas de energía urinaria y por gases son relativamente fáciles de predecir a partir de la ED. La

EM es la más importante para casi todos los sistemas de evaluación alimenticia que están basados en conceptos de energía neta (NRC, 1984).

Clásicamente, la energía neta (EN) es la cantidad de energía de la dieta que es recuperada en un producto animal. El uso de la EN como la base para un sistema de evaluación alimenticia es complicada por el hecho de que la EM disponible de una dieta animal es usada a diferentes niveles de eficiencia dependiendo del estado fisiológico de los animales así como de la naturaleza de la dieta. Estas complicaciones han sido parcialmente consideradas en el sistema de EN para ganado de carne por el convenio de asignar dos valores de EN para cada ingrediente. Los requerimientos animales para energía son similarmente subdivididos. La EN disponible para mantenimiento es llamada EN_m y la EN disponible para crecimiento es llamada EN_g . Las dos grandes ventajas del sistema de EN son: (a) los requerimientos animales establecidos como EN son independientes de la dieta y no tienen que ser ajustados para diferentes proporciones de forraje-concentrado, y (b) los requerimientos alimenticios para mantenimiento son estimados independientemente del alimento necesario para las funciones productivas (NRC, 1984).

Interconversiones entre valores de TND, ED, EM y EN de ingredientes son posibles debido a las relaciones que se han estimado entre ellas. Las siguientes relaciones están en Mcal/kg MS:

$$1 \text{ kg de TND} = 4.4 \text{ Mcal de ED} = 3.62 \text{ Mcal de EM}$$

$$EM = 0.82 \text{ ED}$$

$$EN_m = 1.37 \text{ EM} - 0.138 \text{ EM}^2 + 0.0105 \text{ EM}^3 - 1.12$$

$$EN_g = 1.42 \text{ EM} - 0.174 \text{ EM}^2 + 0.0122 \text{ EM}^3 - 1.65$$

Por lo tanto, la EN_m para el Buffel seco (39.1% de TND) y verde (57.56% de TND) es 0.57 y 1.23 Mcal/kg MS, respectivamente. La EN_g calculada para el Buffel seco y verde fue de 0.45 y 0.66 Mcal/kg MS, respectivamente.

3.3.4 Predicción del Consumo de Alimento en Ganado de Carne

Existen diversas ecuaciones para las diferentes etapas fisiológicas y de desarrollo en ganado de carne, pero aquí solo se revisó literatura para predecir el consumo de vacas

de carne. Para diferentes etapas fisiológicas y de desarrollo se sugiere consultar NRC (1984,1987 y 1996).

NRC (1984) propuso la ecuación para el CMS con efectos de forma lineal y cuadrático considerando la concentración de energía neta de mantenimiento (EN_m) e incluyendo ambos el peso metabólico corporal dietado ($SBW^{0.75}$). El CMS fue expresado como kg por día (kg/día):

$$CMS = SBW^{0.75} * (0.1462 * NE_m - 0.0517 * NE_m^2 - 0.0074) \quad \text{Ec. 7-a}$$

NRC (1987) publicó una ecuación alterna para vacas de carne que describió el CMS solo como una función lineal de la EN_m e incluyendo también $SBW^{0.75}$:

$$CMS = SBW^{0.75} * (0.0194 + 0.0545 * NE_m) \quad \text{Ec. 7-b}$$

NRC (1996) proporcionó una ecuación adicional, que desarrollo de datos obtenidos del Journal of Animal Science (de 1979 a 1993) de los cuales excluyó a los que presentaban una deficiencia nutricional, principalmente de proteína. Esta ecuación presenta la limitante de no usarse para predecir consumos de forrajes bajos en proteína, a menos que estos sean suplementados. Así, la ecuación resultante sería aplicable solo para predecir consumos diarios totales. La ecuación para vacas gestantes es:

$$\text{Consumo } EN_m = SBW^{0.75} * (0.04997 * Ne_m^2 + 0.04631) \quad \text{Ec. 7-3}$$

la ecuación para vacas no gestantes se obtiene sustituyendo el término de intercepción para vacas gestantes (0.04631) por 0.0384. Dividiendo el Consumo EN_m diario, entre la concentración de EN_m del alimento se obtiene el CMS.

Cuando estas ecuaciones se usaron para predecir el CMS, todas fueron idénticas en la proporción de la variación explicada por el modelo (36%) de la variación.

En muchas situaciones de producción, los forrajes constituyen todo o la mayoría de la dieta. Por lo tanto, una ecuación de predicción mas exacta fue propuesta por NRC (1996) para predecir el CMS para ganado pastoreando en praderas sin suplemento, como

es el caso de ganado pastoreando en praderas de buffel. Ellos consideraron proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (NDF), fibra detergente ácida (ADF), y la concentración de EM. La ecuación que mejor explica el consumo en forrajes solo incluye los términos de PC y ADF, dando como resultado:

$$\text{CMS (kg/kg SBW}^{0.75}) = 0.002774 * \text{CP}\% - 0.000864 * \text{ADF}\% + 0.09826 \quad \text{Ec. CP-ADF.}$$

Al verificar las ecuaciones 7-a, 7-b, 7-3 y CP-ADF para predecir consumos de vacas de carne alimentados solo con pastos, la ecuación 7-3 produjo estimaciones de CMS más altas que las otras ecuaciones, con las concentraciones más bajas de EN_m y estimaciones de CMS más bajas que las otras ecuaciones con las concentraciones de EN_m más altas, lo cual se apega más a la realidad (NRC, 1996). Sin embargo, hacen falta más investigación para predecir más exactamente el consumo de alimento en ganado de carne alimentado con dietas basadas completamente en forrajes, por lo que NRC (1996) concluye que por el momento se pueden obtener buenas estimaciones del CMS utilizando la ecuación 7-3.

3.4 Sistemas de Pastoreo y Carga Animal

Los sistemas de pastoreo son numerosos y variados. Casi cualquier sistema de pastoreo llevado a cabo correctamente, permite el uso más parejo de la pradera y el consumo de la cantidad de pasto deseado pero el éxito de un sistema de pastoreo radica principalmente en utilizar una carga adecuada y dar periodos de descanso en la época adecuada (Hanselka y Johnson, 1991).

3.4.1 Sistemas de Pastoreo

Un sistema de pastoreo es el manejo de ganado bajo un plan definido. Contempla una utilización adecuada del agostadero que permite a las especies forrajeras un periodo de recuperación (Hanselka, 1991).

El sistema de pastoreo puede ser continuo o rotacional. Este último puede tener múltiples combinaciones en periodos de descanso y de pastoreo, épocas de pastoreo, superficie, etc. (Patrocipes, 1995). El sistema de pastoreo continuo es el más común tanto en Estados Unidos como en México. Consiste en mantener pastoreando el ganado en un solo potrero todo el año y tiene la ventaja de que requiere poca infraestructura. El principal problema que presenta es la sobreutilización en manchones. Por esto, es considerado como una de las causas principales del deterioro de las praderas de buffel (Hanselka, 1985; Servin, 1983). El sistema de pastoreo rotacional consiste en dividir la pradera en dos potreros al menos, basándose en el principio de aumentar el número de animales por unidad de superficie para que el uso del forraje sea más uniforme. Dentro del pastoreo rotacional existen diferentes modalidades como el sistema de pastoreo rotacional diferido, el sistema de pastoreo de corta duración rotacional y el sistema de pastoreo del mejor potrero (Patrocipes, 1995).

El buffel no tolera pastoreos continuos pesados y necesita relativamente cortos periodos de descanso entre pastoreos (mínimo 2 semanas). Puede madurar si el pastoreo permite que el tallo se mantenga entre los 10 y 15 cm de longitud (Hanselka, 1985).

3.4.2 Carga Animal

La decisión de la carga animal es una de las más críticas que se deben de tomar en manejo de pastizales desde el punto de vista de la vegetación, el ganado, la fauna y el ingreso económico (Hanselka, 1985; Holechek, et al. 1998). Esta decisión se complica por la errática precipitación, por lo que la carga animal debe ser flexible y basarse en los promedios de producción de años secos. En Texas las cargas animales varían de 2 a 10 hectáreas por unidad animal siendo las cargas más bajas en las áreas más áridas y las más altas en las áreas más húmedas (Hanselka, 1985).

Society for Range Management (1989) definió la carga animal como la cantidad de tierra proporcionada a cada unidad animal (UA) para un periodo pastorable de un año y, la UA como una vaca madura pesando 455 kg, seca o con un becerro hasta 6 meses de edad, a la cual se le estimó un consumo de 9.1 kg. En Marín, N.L. se han observado

consumos de 12-13 kg/día en vacas estabuladas y con pesos entre 450 y 500 kg (E. Romero, 1999; Comunicación Personal *).

La carga animal tiene la mayor influencia sobre la productividad de la vegetación que cualquier otro factor, pudiendo incrementar la producción forrajera desde un 13% con sistemas de pastoreo especializados y una carga animal moderada hasta un 35% cuando se cambió de una carga animal pesada a una carga moderada y bajo pastoreo continuo (Holechek, *et al.* 1998). Es importante reconocer que la precipitación maneja la sucesión vegetal y si la erosión del suelo no ha sido severa, recuperar un pastizal de un sobrepastoreo severo podría requerir hasta 10 años, aunque se ha observado que pastizales invadidos por *Artemisa tritentata* no se recuperan, aun estando libres de pastoreo continuo (Holechek, *et al.* 1998). Por otro lado, generalmente al incrementar la carga animal la productividad por animal declina aunque la productividad por unidad de área se incrementa hasta que el ganado reduce el consumo por la disminución de forraje.

3.5 Patrón de Distribución de la Lluvia en el Noreste de México y el Efecto de las Sequías.

En sistemas áridos y semiáridos, la precipitación y la temperatura son los factores principales que regulan el crecimiento de la vegetación, por lo que conocer el patrón de crecimiento del buffel y su fluctuación durante el año es esencial para determinar la capacidad de carga, sistemas de pastoreo y grado o intensidad de utilización de las praderas (Hanselka, 1985; Patrocipes, 1995). Otro factor importante que debe de considerarse en los sistemas de producción agropecuarios es la presencia de las sequías en la región, ya que parece ser que cada vez son más recurrentes en los últimos tiempos (Thurow *et al.* 1999).

3.5.1 Importancia de la Precipitación y su Distribución

La precipitación es el factor más importante que determina el tipo y productividad de la vegetación en una área dada. La producción aumenta rápidamente al incrementarse la precipitación hasta los 500 mm por año. En áreas con precipitaciones mayores a los 500 mm, las características del suelo asumen mayor importancia que la

* E. Romero es estudiante del Doctorado en Ciencia Animal de la FAUANL.

precipitación, en la producción de forraje. Las características críticas de la precipitación que afectan la vegetación son: precipitación anual, la distribución y forma de la precipitación (Holechek, *et al.* 1998).

La forma errática y variable de la precipitación es una característica del Noreste de México, su régimen pluvial es de los que desconcierta si solo se estudia y observa un corto número de años, pues los periodos lluviosos son precedidos por otros de sequías críticas, además la variabilidad de la lluvia, entre años y entre meses es muy marcada. Por último, en los años altamente lluviosos se presentan los primeros meses secos, para acumularse la lluvia en uno o dos meses con el 60-70 % del total anual (González, 1973).

La región se encuentra sujeta por la cercanía al mar, a las perturbaciones que aparecen en el Golfo de México, por lo que la lluvia ocurre en mayor cantidad en los meses en que se presentan estas, mayo a octubre (González, 1967), teniendo una media máxima en la primera quincena de septiembre (SRH, 1966). Estos fenómenos no alcanzan a llegar a esta región como tales, sino que se presentan con lluvias frontales muy copiosas, chubascos, sobretudo en los meses de agosto y septiembre, destacándose en este último la cresta máxima del año. Se nota también otra débil cresta en los meses de mayo y junio mucho menor que la primera. Las lluvias de los restantes meses se generan por fenómenos frontales u orográficos.

Con lluvia adecuada, los pastizales en buenas condiciones y recién establecidos, pueden producir grandes cantidades de forraje y otros tipos de vegetación (Hanselka, L-5077), la cual puede reducirse por el sobrepastoreo, sequías y la compactación del suelo.

3.5.2 Importancia de las Sequías.

La sequía es un concepto multifacético y ambiguo, dependiendo de las condiciones esperadas y del énfasis en las dimensiones meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas. Los medios y los políticos tienden a empañar y distorsionar las percepciones públicas de la sequía, caracterizando sus consecuencias como algo excepcional y percibiendo a la sequía como una aberración climática y temporal. Consecuentemente, cada vez que una sequía seria ocurre, se escriben

numerosos artículos acerca de pérdidas agrícolas, sobreexplotación de la tierra, sobrepoblación y registros de lluvias. Debido a que la sequía es manejada como un evento anormal, usualmente no se considera algo serio en la planeación regional una vez que los patrones de lluvia han sido registrados. La sequía es una parte inevitable de la fluctuación climática normal y debería ser considerada como una característica ambiental recurrente e impredecible que debe ser incluida en la planeación de la región, ya que respuestas tardías hacia la sequía ponen en riesgo el manejo sostenible de los pastizales (Thurrow *et al.* 1999).

Por lo anterior, la sequía se define sobre cuatro aspectos: sequía meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. La sequía meteorológica es aquella que muestra un abatimiento de la precipitación normal sobre un área (Dickerson y Dethier, 1970; Thurrow *et al.* 1999). Kothmann (1974) y Holechek *et al.* (1998) definen la sequía meteorológica como “clima seco prolongado, generalmente con precipitaciones menores al 75% de su promedio total anual”. Los datos de precipitación anual, son generalmente muy contrastantes, teniendo muchos años secos y pocos años muy húmedos y el grado de contraste se incrementa al aumentar la aridez de los climas (Glantz y Katz, 1977). Debido a la naturaleza inestable y a la complejidad de las dinámicas atmosféricas, el límite teórico de la predicción del clima no excede a pocas semanas (Skukla, 1985). Desde una perspectiva agropecuaria, una sequía ocurre cuando la humedad del suelo causa estrés y marchitamiento extremo en la planta, que resultan en más bajas producciones agropecuarias que las esperadas. Esta definición integra la cantidad y distribución de la precipitación con la demanda de agua de la planta y el agua del suelo disponible haciendo esta definición más complicada que simples consideraciones acerca de la cantidad de la precipitación (Thurrow *et al.* 1999). Este tipo de sequías reducen el vigor de la planta pudiendo llegar a causar la mortalidad y cambios en la composición de la vegetación original reduciendo el valor nutritivo de pastizal por el cambio a una vegetación menos palatable (Holechek *et al.* 1998). La sequía hidrológica se define como el periodo en el que la disponibilidad del agua superficial y el subsuelo es inadecuada para satisfacer usos establecidos, por lo que esta definición dirige la atención hacia el secado de arroyos y ríos, hacia la disminución de presas y hacia acumulaciones menores de nieve en las montañas. Por último, la perspectiva

socioeconómica no reconoce la sequía hasta que afecta a la comunidad tangiblemente en términos de su comportamiento, (o sea, racionamiento de agua, incremento a los precios del agua) o bien, disminuye el poder adquisitivo en particular, el ingreso por actividades agropecuarias lo que puede afectar la viabilidad de la empresa individual y al incrementar su severidad eventualmente puede incrementar el daño económico a escala regional (Thurow *et al.* 1999). Siempre habrá incertidumbre concerniente a la variabilidad climática, a los precios del mercado y a cuestiones financieras, por lo que la planeación para manejar la sequía debe dirigirse a actividades para reducir los riesgos asociados con la variabilidad climática. Crear una estrategia de manejo que enfatice la minimización de riesgos climáticos y financieros es un mejor análisis de manejo que aquellos dirigidos a maximizar la producción de forraje y la eficiencia de la cosecha. Por lo tanto, es vital que se mantenga la carga animal apropiada para cualquier condición de clima y forraje, que minimice las consecuencias de la sequía. La implementación de decisiones tácticas agresivas en favor de la reducción de la carga animal para contrarrestar una sequía, ha tenido mejor beneficio económico y con menor variabilidad, que la completa inactividad hacia ella (Sttaford *et al.* 1992), pero más que culpar al clima por los problemas de manejo, el reto para los investigadores de pastizales es intensificar la investigación dirigida al manejo e implementación de herramientas diseñadas para integrar mejor los aspectos económicos y ecológicos derivadas de las decisiones de reducir la carga animal inducidas por la sequía.

4. MATERIALES Y METODOS.

El presente trabajo incluye el desarrollo y la construcción de un modelo para realizar una simulación en computadora de una pradera de buffel bajo la influencia de la Precipitación y la Temperatura, y variando las cargas animales, utilizando para ello el software Stella II versión 3.0.7 (High Performance Systems, Inc; 1994).

Aquí se utilizó la metodología de análisis de sistemas y simulación descrita por Grant (1997), la cual se resume a grandes rasgos a continuación:

4.1 Descripción General del Sistema.

El sistema de interés es una pradera artificial de zacate buffel de 100 ha en la región de Marín, N. L., ubicado a 25°53' Latitud Norte y 100°03' Longitud Oeste. En esta simulación se contempló como parámetros principales del modelo a la Precipitación y la Temperatura, la Producción de Pasto Verde, Pasto Seco, y su Descomposición, así como el Consumo del Pasto Verde, Consumo del Pasto Seco, Consumo de Suplemento por el Ganado, y también la Carga Animal. La Precipitación y la Temperatura se generaron basados en datos mensuales obtenidos de la Estación Meteorológica de la FAUANL durante los años comprendidos de 1978 a 1996. La invasión arbustiva y por ende la mortalidad de la pasta, y la respuesta al pastoreo, no fueron consideradas en el modelo por encontrarse fuera de los objetivos del presente trabajo y también por falta de literatura para incorporar al modelo. Por otro lado, el algoritmo utilizado para la simulación fue el Método de Euler con intervalo de tiempo mensual. Una vez evaluado correctamente el modelo, se pastoreó la pradera con diferentes cargas animales bajo un sistema de pastoreo continuo y se observó qué carga animal es la que dio el uso más eficiente bajo estas condiciones climáticas. Por uso eficiente se entenderá aquella carga animal que utilice menor cantidad de Suplemento y desperdicie menos Pasto Seco.

La producción primaria neta de la pradera se simuló basándose en la Precipitación pluvial y en la Temperatura de la región y considerando que en los meses de Enero y Febrero no hay producción primaria neta por carecer estos meses de la temperatura promedio mínima requerida para la producción del Buffel, la cual es considerada como 15°C (Cox *et al.* 1988; Patrocipes, 1995), por lo que para satisfacer el

consumo de las cargas animales que excedieron la producción de Pasto, se utilizó un suplemento externo.

El Pasto Verde se generó por la cantidad de Precipitación pluvial y la Tasa de Producción Primaria del buffel, cuando la Temperatura fue adecuada. El Pasto Verde pasó a Pasto Seco a una tasa dada de senescencia. El ganado consumió tanto Pasto Verde como Pasto Seco al mismo tiempo, pero variando las proporciones, según la cantidad de cada tipo de pasto.

4.2 Información Específica Disponible del Sistema

La información del sistema se dividió en dos rubros: 1) Información de estados históricos del sistema y 2) Información sobre procesos que ocurren dentro del sistema.

4.2.1 Información de estados históricos del sistema.

Esta información incluye únicamente los registros de Precipitación pluvial y de Temperatura de la Estación Meteorológica de la Facultad de Agronomía de la UANL, ubicada dentro de la misma, en el municipio de Marín, N.L. (Ver cuadros 1 y 2). Los datos de Temperatura para los meses de Abril a Septiembre no se incluyeron en el Cuadro 1 por tener temperaturas adecuadas para el crecimiento del buffel. Actualmente no existe información que relacione la productividad del buffel con la precipitación pluvial de la región por lo que se utilizó información de investigaciones realizadas en Sonora, México (Martín *et al.* 1995).

4.2.2 Información sobre procesos que ocurren dentro del sistema.

Aquí incluimos los datos sobre la tasa de producción neta del buffel en función de la cantidad de lluvia durante los meses de Marzo a Diciembre dependiendo de la Temperatura, así como la transformación del Pasto Verde (PV) a Pasto Seco (PS), también el cambio de PS a mantillo (Descomposición del Pasto) y el consumo del ganado en función de su Peso Metabólico. La producción neta del buffel fue un valor

aleatorio entre 18.8 y 20.8 kg de materia seca por hectárea por cada mm de precipitación pluvial mensual (PP MENSUAL), cuando esta última fue igual o mayor a 20 mm y la Temperatura promedio mensual sobrepasó los 15°C (Martin *et al.* 1995), teniendo una Cobertura Basal del Buffel del 15%. El peso del ganado varió de 450 kg en julio a 550 kg en marzo y se estimó un consumo aleatorio mensual en función del Peso Metabólico, (NRC, 1996). Una vez evaluado correctamente el modelo se procedió a determinar cual Carga Animal fue la más apropiada para este sistema.

Cuadro 1. Promedios mensuales de Temperatura de la Estación Meteorológica de la FAUANL, en Marín, N.L.

Año	Temperatura Media					
	Ene	Feb	Marzo	Oct	Nov	Dic
96	13.46	17.10	18.10	23.12	18.74	15.98
95	15.30	19.00	20.00	23.75	19.13	15.20
94	13.50	15.50	20.00	25.25	22.50	16.65
93	15.30	17.80	19.50	22.00	16.60	16.50
92	13.00	14.40	20.50	24.00	16.25	15.00
91	14.00	16.85	22.50	22.00	14.00	15.75
90	19.50	18.00	20.10	22.00	19.30	13.60
89	16.50	14.75	20.25	21.00	18.50	10.65
88	10.00	14.20	19.00	22.50	19.75	14.55
87	11.55	14.90	16.05	22.00	17.05	15.05
86	14.35	18.00	21.35	22.25	15.40	12.50
85	10.85	14.95	21.55	24.50	21.00	13.25
84	12.30	16.70	15.80	24.10	20.80	18.45
83	13.21	16.00	19.25	22.75	21.10	11.50
82				22.45	17.05	14.00
81	12.10	14.60	18.30	23.55	19.50	16.15
80	16.00	14.75	20.35	20.80	14.70	14.70
79	8.85	12.5	17.95	24.25	17.60	13.95
78				20.75	18.40	11.00
Promedio	13.51	15.88	19.44	22.79	18.28	14.44
Des Std	2.58	1.73	1.79	1.29	2.29	2.03

Las cargas animales que se utilizaron y que para efectos del presente trabajo se convirtieron en los tratamientos a evaluar fueron seis y estos son: 0 unidades animal/ha

(UA/ha), 3.3, 2.5, 2, 1.67 y 1.42 ha/UA, en otras palabras, 0, 30, 40, 50, 60 y 70 animales pastoreando en las 100 ha, respectivamente.

Cuadro 2. Datos y parámetros de la Precipitación Pluvial (mm) de la Estación Meteorológica de la FAUANL, en Marín, N.L.

Año	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total_Año
1996	5					41	45	180	89	48	13	3	424.8
1995	12	18	22	3	80	73	31	185	33	28	11	30	528.9
1994	87	24	32	10	17	45	71	38	30	26	12	22	418.5
1993	21	30	45	4	51	233	5		111	36	25		564.0
1992	77	10	6	13	84	17	3	51	33	46	26	15	383.9
1991	14	9	2	2	26	97	54	35	109	25	16	45	438.7
1990	2	4	25	14	34		37	115	178	16	5		433.2
1989	20	14		10	3	4	88	115	60	23	1	41	384.2
1988	29	20		22	30	48	66	160	1092	15			503.8
1987	16	17	13	12	50	152	73	106	83	8	4	9	550.2
1986		2	9	23	106	151	35	12	189	89	24	77	722.5
1985	45	3	17	122	22	30	35	28	118	113	5	6	550.1
1984	89	5			110	28	30	2	70	21		38	397.7
1983	29	40	16		141	20	51	111	69	25		9	516.5
1982	30	14	15	22	6	15	9	1	5	44	22	41	229.5
1981	71	23	32	113	55	101	47	98	98	29	1		673.8
1980	12	8			107		5	153	117	35	38	14	491.1
1979	4	1	36	30	94	19	43	77	213		30	44	594.8
Prom	33.6	14.6	21.2	29.0	60.2	67.6	40.7	86.6	95.5	37.2	15.8	28.4	489.2
PP max = prom + (prom * 0.75)	58.8	25.6	37.1	50.8	105.5	118.4	71.2	151.6	167.2	65.2	27.7	49.8	
PP min = prom - (prom * 0.75)	8.4	3.6	5.3	7.2	15.0	16.9	10.1	21.6	23.9	9.3	3.9	7.1	
Des Std	29.6	10.8	12.6	38.5	41.6	64.2	24.7	61.6	56.3	26.7	11.5	20.7	
prom-Des Std	3.9	3.8	8.6	9.5	18.5	3.4	15.9	24.9	39.2	10.5	4.2	7.6	
prom+Des Std	63.2	25.4	33.8	67.6	102.0	131.9	65.4	148.3	151.9	64.0	27.4	49.2	
mes_0mm_PP	1	1	5	4	1	2	0	1	0	1	3	4	
% sequía	0.05	0.05	0.27	0.22	0.05	0.11	0	0.05	0	0.05	0.17	0.22	
% lluvia	0.94	0.94	0.72	0.77	0.94	0.88	1	0.94	1	0.94	0.83	0.77	
PP > 20 mm	10	5	6	7	14	12	14	14	17	14	6	8	

Parámetros calculados sin considerar los meses de 0 precipitación pluvial

4.3 Formulación del Modelo Conceptual.

El Modelo Conceptual se formuló procesando la descripción general del sistema y los objetivos del modelo. En base a los objetivos del presente trabajo se decidió cuales fueron los componentes del sistema del mundo real que se incluyeron en nuestro sistema de interés, y como se relacionaron estos componentes. Basado en los objetivos del

modelo, los resultados finales de interés fueron la precipitación mensual, la producción primaria, la dinámica del pastizal y el comportamiento entre la carga animal y el consumo del Pasto. Estos componentes y la relación entre ellos formaron lo que denominamos modelo conceptual, y lo representamos diagramáticamente usando símbolos que indican la naturaleza específica de cada relación.

También se indicaron los patrones del comportamiento que esperamos como predicciones del modelo. Estos patrones frecuentemente los describimos en términos de la dinámica temporal general de los componentes más importantes del sistema. Los patrones esperados fueron:

- No debe existir diferencia estadística significativa entre las corridas del modelo para las simulaciones de referencia.
- No debe existir diferencia estadística significativa entre la Precipitación Simulada Anual y la Precipitación Real Anual.
- Debe existir una correcta congruencia entre las predicciones del modelo y los datos de la literatura u opinión de expertos.

4.4 Formulación del Modelo Cuantitativo.

El objetivo es describir las reglas que gobiernan el flujo de materiales en el modelo conceptual usando matemáticas. Primero se escogió una estructura cuantitativa general, después se determinó la fórmula funcional para cada variable, posteriormente se desarrollaron las ecuaciones específicas que colectivamente explicaron el modelo. El siguiente paso fue escoger el tipo de información que tenemos, finalmente se codificó el modelo a la computadora y formalmente se presentaron las ecuaciones del modelo.

La estructura cuantitativa del sistema consiste de un formato de compartimentos del modelo que incluyen grupos de Ecuaciones Diferenciales para variables externas, variables auxiliares, transferencias de materiales y variables de estado. Se escogió esta estructura porque es muy simple y puede representar modelos complejos grandes. Al inicio de la simulación se especificaron las condiciones iniciales de las variables de estado y los valores de las Constantes. También se resolvieron todos los grupos de ecuaciones secuencialmente comenzando por las variables externas, luego las variables

auxiliares, transferencias de material, y por último las variables de estado, determinando el valor para cada variable en cada intervalo de tiempo.

La dinámica de la biomasa del PV y PS giró en torno a intervalos de tiempo mensuales. El intervalo de tiempo mensual es arbitrario pero es razonable por permitir una adecuada resolución para dirigir nuestros objetivos, representando apropiadamente cambios temporales debido a los procesos que ocurren dentro del sistema.

4.5 Evaluación del Modelo

En la simulación de referencia, la cual sirvió para evaluar el modelo, se utilizó el Area 1, la Carga 4 y una Cobertura Basal igual a 15%. Una vez evaluado el modelo, se corrieron todas las Cargas con la misma Area y Cobertura Basal de la pradera y comparando todas las Cargas Animales.

Para evaluar la simulación de referencia se utilizaron los datos de Precipitación del sistema real y se compararon a los datos generados por la simulación del submodelo de PP ya que el resto de la dinámica de los submodelos depende directamente de PP MENSUAL y además no se cuenta con datos del sistema real que correlacione la productividad del Buffel a la Precipitación Mensual. Los datos utilizados para realizar la simulación fueron colectados por la estación Meteorológica de la FAUANL y se utilizaron los registros de PP MENSUAL de los años 1978 a 1996. La PP MENSUAL real fue sumada anualmente y este dato usado para su análisis estadístico. Se hicieron dos corridas de simulación de 21 años, eliminándose el primer año para evitar el sesgo de las condiciones iniciales de las variables de estado. Por lo anterior, se tienen 18 repeticiones de la Precipitación Real Anual, que se compararon a las 40 repeticiones de Precipitaciones Anuales simuladas.

Se realizó una prueba t para comparar las dos simulaciones y una vez que se encontró que no existe diferencia significativa se compararon las precipitaciones anuales reales contra simuladas. En caso de observar que no existe diferencia significativa entre precipitaciones reales y simuladas se compararon sus producciones primarias anuales simuladas, nuevamente mediante una prueba t . Al no encontrar diferencias entre las

producciones primarias anuales se procedió a evaluar la estructura y la congruencia del modelo con datos obtenidos de la literatura, cuando estos existieron (Steel *et al.* 1996).

Una vez evaluado satisfactoriamente el modelo se hicieron dos corridas de 21 años, para cada Carga Animal y se observó el consumo de suplemento y la cantidad de Pasto Seco descompuesto y así poder determinar que Carga Animal es la más adecuada para estas condiciones climáticas. Igualmente se eliminó el primer año de cada corrida. Se hizo un Análisis de Varianza bajo el diseño Completamente al Azar para cada una de estas variables y se observó la posible existencia de una diferencia estadística significativa. En caso de existir diferencias estadísticas para las variables Consumo de Suplemento y Descomposición del Pasto Seco se harán comparaciones de sus medias por el método DMS para observar sus diferencias (Steel *et al.* 1996).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

5. RESULTADOS Y DISCUSION.

La construcción del modelo de simulación para la productividad de una pradera de zacate buffel, bajo la influencia de la lluvia y con diferentes cargas animales, fue el primer resultado del presente trabajo. El modelo de simulación consta de dos fases: el modelo conceptual y el modelo cuantitativo.

5.1 Modelo Conceptual

En el modelo conceptual se decidió que componentes del mundo real se incluyeron en el sistema de interés y también como se relacionaron. Para un mejor manejo de la información anterior, se formaron tres Submodelos independientes, pero interconectados (Anexo 1). El Submodelo de Características de la Pradera incluye la Cobertura Basal de la Pradera, Areas de la Pradera, Cargas Animales y una variable auxiliar que calcula la Proporción de Producción Primaria (PROP PROD) en función de la Cobertura Basal. El Submodelo de Precipitación y Temperatura simuló la Lluvia y Temperatura mensual. Por su parte, el Submodelo de Vegetación y Consumo del Pasto generó la dinámica de la biomasa del Pasto Verde, Pasto Seco, así como el consumo del Pasto por el ganado.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

5.1.1 Submodelo de Características de la Pradera

Este submodelo esta formado por constantes que fijan las características del sistema. El submodelo tiene 5 diferentes áreas, también cuenta con 6 diferentes Cargas Animales y la Cobertura Basal ligada a la variable auxiliar PROP PROD, la cual hace que la tasa de Producción Primaria Neta de la pradera este en función de la Cobertura Basal. Lo anterior se especificará en la formulación del Modelo Cuantitativo. Las características anteriores le dan flexibilidad y uso al modelo. Las condiciones de la pradera y las áreas de la pradera serán usadas por el (los) potencial(es) usuario(s) del modelo y no formaron parte del trabajo a evaluar. Las características con las cuales se evaluó la simulación de referencia son: Area de 100 ha, Carga Animal de 2 ha/UA y

Cobertura Basal de 15%. Las Cargas Animales fueron los tratamientos a examinar después de ser evaluado el modelo.

5.1.2 Submodelo de Precipitación y Temperatura

Aquí se crearon las variables externas del modelo. La Precipitación Mensual (PP MENSUAL) se simuló basándose en datos colectados en la Estación Meteorológica de la FAUANL durante los años de 1979 a 1996. Para la simulación del mes del año (MES) se creó un contador que generó valores de 1 a 12, los cuales representaron a los 12 meses del año siendo el número 1 igual a Enero, el 2 igual a Febrero y así sucesivamente. Para cada mes se creó un límite superior de Precipitación (PP MAX), y otro inferior (PP MIN) que limitan la lluvia de cada mes en sus dos extremos. Debido a que no todos los meses del año llueve, fue necesario generar la probabilidad (AZAR) de lluvia de cada mes, basado en la información de la Estación Meteorológica, creando así la inconsistencia mensual de la lluvia. Para la Precipitación de Marzo se creó una variable auxiliar llamada Crecimiento Inicial (PP CRECI INICIAL) que se generó usando información de los meses de Enero, Febrero y el propio Marzo; porque se ha observado que existe producción del buffel aún sin lluvias de Marzo debido a la humedad residual ocasionada por las lluvias de Enero y Febrero (E. Olivares y E. Gutiérrez, 1999, Comunicación Personal **). Finalmente, la PP MENSUAL fue creada en función del MES y el AZAR y limitada por PP MAX y PP MIN. Debido a que existen meses en los que puede llover hasta 160 mm se creó una variable auxiliar llamada Precipitación Efectiva (PP EFECTIVA), que limita la cantidad de lluvia a 90 mm, para restringir la producción primaria del Buffel a 1800 kg/ha de materia seca en dichos meses lluviosos.

Usando el mismo MES simulado para PP MENSUAL, se simuló la Temperatura Mensual (TEMP MENSUAL). Para los meses comprendidos entre Enero y Octubre se simuló una TEMP MENSUAL constante, y para Noviembre y Diciembre la TEMP MENSUAL fue aleatoria basándose en los resultados de una regresión, usando los meses

** Asesores de la Investigación

de Octubre a Diciembre como variable independiente. TEMP MENSUAL genera una temperatura inadecuada para el crecimiento del buffel en los meses de Enero y Febrero, adecuada para el periodo Marzo-Octubre y, al azar para Noviembre y Diciembre (Martín *et al.* 1995).

5.1.3 Submodelo de Vegetación y Consumo de Pasto

Este submodelo simuló la dinámica del Pasto y el comportamiento entre la producción del Pasto, la Carga Animal y el Consumo del Pasto. La Producción Primaria (PROD PRIM) se simuló en función de PP MENSUAL, TEMP MENSUAL, PROD PROP y la Tasa de Producción Primaria (TASA PROD PRIM) del Buffel. La PROD PRIM multiplicada por el área de la pradera (AREA) generó la Producción Primaria Total (PROD), la cual es una transferencia de material que entra a la variable de estado Pasto Verde (PV).

El PV se consumió por el ganado, otra fracción se perdió del sistema al pasar de PV a Pasto Seco (PS) y el sobrante pasó a PS. Por lo tanto, PV se perdió mediante tres Salidas de transferencias de material: 1) Consumo del PV (CONS1), 2) Pérdida por Senescencia del Pasto Verde (PERDIDA SENES) y 3) Senescencia del Pasto Verde (SENES).

La Salida de la transferencia de material CONS1 estuvo en función de la variable auxiliar Consumo del Pasto Verde (CONS PV) y PV. A su vez, CONS PV dependió de otras dos variables auxiliares llamadas Requerimiento del Hato en Pasto Verde (REQUER HATO PV) y Proporción del Consumo del Pasto Verde (PROP CONS PV). Se ha observado que el consumo del Pasto Seco (PS) no comienza al terminar el PV, sino que ambos tipos de pastos se consumen simultáneamente al estar entrelazados en el proceso de senescencia. La cantidad en la que cada tipo de pasto es consumido depende de la proporción en que exista en ese intervalo de tiempo (E. Gutiérrez, 1999, Comunicación Personal ***). Para lo anterior, PROP CONS PV es una variable auxiliar

*** Asesor de la Investigación

que limita CONS PV y a su vez, depende de otra variable auxiliar llamada Proporción de Pasto Verde (PROP PV). Tanto PS como PV afectan a PROP PV.

Por otro lado, REQUER HATO PV depende de otra variable auxiliar llamada Requerimiento de la Vaca en Pasto Verde (REQ VACA PV) y de la Constante Carga Animal (CARGA ANIM).

El REQ VACA PV depende de la variable auxiliar Requerimiento de Energía Neta de Mantenimiento en Pasto Verde (REQ EN_m), que a su vez, esta en función de otra variable auxiliar llamada Peso Metabólico (PESO MET). PESO MET depende de la variable auxiliar Peso Relativo al Mes (PESO REL MES) que por último está en función del MES.

La Pérdida por Senescencia del Pasto Verde (PERDIDA SENES) es la proporción de biomasa de PV que se pierde del sistema y depende de la Tasa de Pérdida de Senescencia (TASA PERDIDA SENES), de CONS1 y de PV (Ver Figura 1).

SENES es el PV que se convierte en PS y depende de la cantidad del propio PV, MES, CONS1, PERDIDA SENES y de la variable auxiliar Tasa Mensual de Senescencia (TASA SENES). SENES sale de PV y entra a la variable de estado PS, y cada Enero la diferencia de PV menos, CONS1 y PERDIDA DE SENES (PV-(CONS1+PERDIDA DE SENES)), se convierte en PS por el efecto de las bajas temperaturas.

El PS acumula el material que entra por SENES y tiene dos salidas de transferencias de material: 1) Consumo del Pasto Seco (CONS2), originado por el consumo del ganado cuando el PV no cubrió las necesidades del hato y 2) Descomposición del Pasto Seco (DESCOM), en caso de existir algún sobrante de PS después del CONS2.

La Descomposición del Pasto Seco (DESCOM) es la generación de mantillo a partir de PS y este se descompondría a una Tasa de Descomposición Mensual (TASA DESCOM). En el caso de existir algún sobrante de PS para Marzo y PP CRECI INICIAL sea mayor a 20 mm, este se descompone totalmente en dicho mes después del CONS2 (Ver Anexo 1).

El CONS2 esta en función de PS, PV, AREA y de la variable auxiliar Requerimiento del Hato no Cubierto por el Pasto Verde (FALTANTE PS), la cual en caso de existir, calcula la cantidad de pasto, que PV no cubrió.

FALTANTE PS a su vez esta en función de otras dos variables auxiliares: Requerimiento del Hato en Pasto Seco (REQ HATO PS) y Proporción del Requerimiento del Hato no Cubierto por Pasto Verde (PPS). REQ HATO PS depende de CARGA ANIM y la variable auxiliar Requerimiento de la Vaca en Pasto Seco (REQ VACA PS).

Así como REQ VACA PV está en función de REQ EN_m PV, REQ VACA PS también esta en función de REQ EN_m PS y esta, a su vez esta en función de PESO MET. Por otro lado, PPS depende de CONS1 y REQUER HATO PV.

Cuando el PV y el PS no cubrieron las necesidades alimenticias del hato, el ganado consumió un Suplemento (CONS3) para cubrir su requerimiento. Para esto se generó otra variable de estado: Almacén de Suplemento (SUPLEMENTO), el cual es un almacén de alimento muy grande que permite simular los 21 años de la simulación de este trabajo.

SUPLEMENTO tiene una Salida de transferencia de material llamada Consumo 3 (CONS3) la cual depende de la variable auxiliar Faltante de Suplemento (FALTANTE SUPL). El AREA, PS, PV y FALTANTE PS afectan directamente a FALTANTE SUPL.

Con lo anterior finaliza el modelo conceptual, el cual se puede observar gráficamente en el Anexo 1.

5.2 Modelo Cuantitativo

El modelo cuantitativo comienza con el submodelo de Características de la Pradera, continua con la cuantificación del submodelo de Precipitación y Temperatura y finaliza con el submodelo de Vegetación y Consumo del Pasto.

5.2.1 Submodelo de Características de la Pradera:

Iniciamos por cuantificar este submodelo, que cuenta con:

cinco diferentes áreas:

- Area 1 = 100 ha
- Area 2 = 200 ha
- Area 3 = 300 ha
- Area 4 = 400 ha
- Area 5 = 500 ha

también cuenta con 6 distintas Cargas Animales:

- Carga 1 = 0 Unidades Animal (UA)
- Carga 2 = 30 UA, o bien, 3.3 ha/UA
- Carga 3 = 40 UA, o bien, 2.5 ha/UA
- Carga 4 = 50 UA, o bien, 2 ha/UA
- Carga 5 = 60 UA, o bien, 1.6 ha/UA
- Carga 6 = 70 UA, o bien, 1.4 ha/UA

e infinitas Coberturas Basales expresadas como proporciones y ligadas mediante la Figura 1, cuyos datos se encuentran en el Cuadro 3, a una variable auxiliar llamada Proporción de Producción Primaria (PROP PROD) la cual hace que la Producción Primaria Neta (PROD PRIM), en el Submodelo de Vegetación y Consumo de Pasto, este en función de la COBERTURA BASAL. Esta relación no fue determinada mediante experimentación, sino propuesta subjetivamente para dar flexibilidad al modelo, por lo que es recomendable realizar investigación de campo. Con lo anterior queda cuantificado el submodelo de Características de la Pradera.

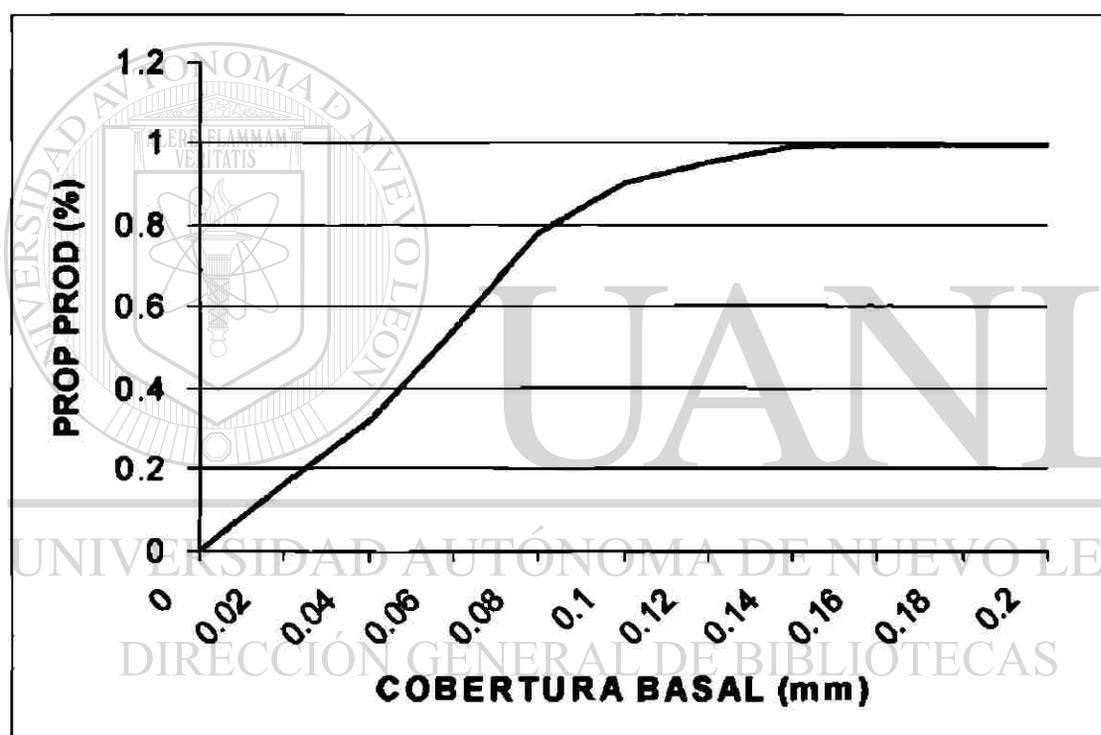
5.2.2 Submodelo de Precipitación y Temperatura

Para cuantificar el submodelo de Precipitación y Temperatura, el cual fue el encargado de simular la PP MENSUAL y TEMP MENSUAL, se utilizó un contador llamado MES que generó los números del 1 al 12 para simular los doce meses del año siendo el 1 igual a Enero, el 2 igual a Febrero y así sucesivamente. Por lo tanto, la forma matemática quedo como sigue:

MES = COUNTER (1, 13)

Para crear el PP MAX de cada mes, el promedio mensual se multiplicó por 0.75, y al resultado se le sumó el promedio, lo que limita la lluvia a un máximo del 75% del promedio mensual. De manera similar se creó el PP MIN; se tomó el promedio mensual, se multiplicó por 0.75 y el resultado se restó al promedio mensual, así la lluvia se limitó a un 25% de su promedio mensual. La probabilidad de lluvia se calculó dividiendo los meses en que se registró precipitación entre el total de los meses y la fracción resultante fue la probabilidad de precipitación.

Figura 1. Relación entre la Proporción de Producción Primaria de la Pradera y la Cobertura Basal.



Cuadro 3. Relación entre la Proporción de Producción Primaria de la Pradera y Cobertura Basal.

PROP PROD	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2
COBERTURA BASAL	0	0.16	0.32	0.54	0.78	0.9	0.95	0.99	1	1	1

Tomando los datos correspondientes del Cuadro 2, tenemos que los límites máximos y mínimos, y la probabilidad de lluvia son:

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
PPMAX Prom+(prom*0.75)	58.82	25.68	37.16	50.80	105.50	118.40	71.28	151.60	167.29	65.23	27.71	49.81
PPMIN prom- (prom*0.75)	8.40	3.67	5.31	7.26	15.07	16.91	10.18	21.65	23.90	9.32	3.96	7.12
PROB PP	0.94	0.94	0.72	0.78	0.94	0.88	1	0.94	1	0.94	0.83	0.77

Las ecuaciones codificadas para PP MAX, PP MIN y AZAR son:

```
PP_MAX = if MES=1 then 58.82 else if MES=2 then 25.68 else if MES=3
then 37.16 else if MES=4 then 50.82 else if MES=5 then 105.49
else if MES=6 then 118.37 else if MES=7 then 71.28 else if MES=8
then 151.57 else if MES=9 then 167.29 else if MES=10 then 65.23
else if MES=11 then 27.71 else 49.81
```

esta ecuación asigna el límite máximo de PP MENSUAL para cada mes.

```
PP_MIN = if MES=1 then 8.40 else if MES=2 then 3.67 else if MES=3 then
5.31 else if MES=4 then 7.26 else if MES=5 then 15.07 else if
MES=6 then 16.91 else if MES=7 then 10.18 else if MES=8 then
21.65 else if MES=9 then 23.9 else if MES=10 then 9.32 else if
MES=11 then 3.96 else 7.12.
```

igual que en PP MAX, PP MIN asigna el límite inferior de PP MENSUAL para cada mes.

```
AZAR = RANDOM(0,1,147)
```

AZAR genera valores entre 0 y 1, uniformemente distribuidos. El término 147 hace que estos valores sean repetibles.

Así, PP MENSUAL se generó tomando en cuenta MES, PP MAX y PP MIN, y la probabilidad de lluvia para ese mes, codificado:

```
PP_MENSUAL = if (mes=3) then PP CRECI INICIAL else if (mes=4) and
(azar<=.78) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=5) and
(azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=6) and
(azar<=.89) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=7) and
(azar<=1.00) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=8) and
(azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=9) and
(azar<=1.00) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=10) and
```

```
(azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=11) and
(azar<=.83) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=12) and
(azar<=.77) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0
```

lo que nos dice que para cada mes, si AZAR es menor o igual a su probabilidad de lluvia, entonces PP MENSUAL tomará un valor entre PPMAX Y PP MIN de su respectivo mes.

La PP MENSUAL de Enero (Ene), Febrero (Febrero) y Marzo se calcularon de forma similar, como lo muestran las siguientes ecuaciones:

```
Ene = if (mes=1) and (AZAR<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0
```

```
Feb = if (mes=2) and (azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0
```

```
Marzo = if (mes=3) and (azar<=.72) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0
```

Para el caso especial de Marzo su precipitación fue modificada por lo explicado en el Submodelo Conceptual de Precipitación y Temperatura, creando una Variable Auxiliar llamada PP CRECI INICIAL, calculándose de la siguiente forma: la PP MENSUAL de Ene entró a una Variable de Estado llamada Enero, la que se registrará hasta Marzo con la Salida de Transferencia de Material (Sal Ene) como lo explica la ecuación siguiente (Ver Anexo 1, Submodelo Conceptual de Precipitación y Temperatura):

```
Sal_Ene = If mes=3 then Enero else 0
```

Igualmente se hizo con PP MENSUAL de Feb para obtener con la Salida de Transferencia de Material Sal Feb, obteniéndose la ecuación:

```
Sal_Feb = If mes=3 then Febrero else 0
```

Así, PP CRECI INICIAL se calculó en base Sal Ene, Sal Feb y marzo, de la siguiente forma:

```
PP_CRECI_INICIAL = if Marzo < 20 then MAX((Sal_Ene + Sal_Feb)/2,Marzo)
else Marzo
```

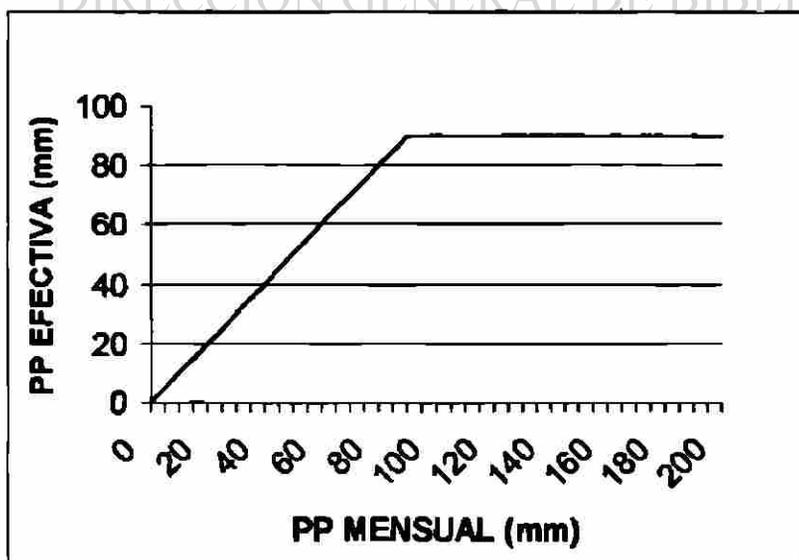
comparada con la lluvia de marzo. En el caso en que la precipitación de marzo fue mayor a 20 mm, se tomó este valor. Aquí, las precipitaciones de Enero y Febrero se registran hasta Marzo (Ver Anexo 1).

De esta forma quedó cuantificada PP MENSUAL. Se ha observado que al incrementarse demasiado PP MENSUAL el buffel ya no responde a la lluvia, pudiéndose explicar por grandes escurrimientos de agua, infiltración y deficiencias en fertilidad del suelo, lo que hace necesario limitar PP MENSUAL. Para limitar PP MENSUAL cuando ésta es mayor a 90 mm se usó la variable auxiliar PP EFECTIVA (Cuadro 4, Figura 2) y así se limita la PROD PRIM a 1800 kg/ha de materia seca (MS) mensual. Nuevamente, este límite de PP MENSUAL se realizó sin determinarlo experimentalmente por lo que se sugiere realizar investigación de campo.

Cuadro 4. Relación entre PP EFECTIVA y PP MENSUAL.

PP EFECTIVA	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	90	90
PP MENSUAL	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
PP EFECTIVA	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
PP MENSUAL	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	

Figura 2. Relación entre PP EFECTIVA y PP MENSUAL.



Para cuantificar TEMP MENSUAL se usó la función MES. TEMP MENSUAL asigna una temperatura inadecuada ($< 15^{\circ}\text{C}$) para el crecimiento del buffel en los meses de Enero y Febrero, la cual fue de 12°C (Gutiérrez y Olivares, 1999); adecuada ($> 15^{\circ}\text{C}$) para el periodo Marzo -Octubre (23°C) y, al azar para y Diciembre basándose en los resultados de una regresión lineal simple, usando los meses de Octubre a Diciembre como variable independiente y sus Temperaturas (Cuadro 1) como variable dependiente. Los resultados de la regresión se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen de la Regresión de los meses de Octubre a Diciembre para Temperatura Mensual

Estadísticas de la regresión						
Coefficiente de correlación múltiple						0.8755
Coefficiente de determinación R ²						0.7666
R ² ajustado						0.7624
Error típico						1.9137
Observaciones						57
ANÁLISIS DE VARIANZA						
		Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión		1	661.8211	661.8211	180.7	5.07E-19
Residual		55	201.4391	3.6625		
Total		56	863.2602			
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	64.4121	3.4244	18.8097	1.2683E-25	57.5494	71.2748
Variable X 1	-4.1732	0.3104	-13.4424	5.07E-19	-4.7954	-3.5511

La ecuación de regresión de TEMP MENSUAL para los meses de Noviembre y Diciembre fue altamente significativa, quedando de la siguiente forma:

$$Y_i = 64.41 - 4.17 X_i, \quad \text{donde}$$

Y_i es la Temperatura para X_i y

X_i es igual a 11 para Noviembre y 12 para Diciembre, y con varianza de 3.66 que nos da una desviación estándar de 1.913. La codificación final para generar TEMP MENSUAL fue como sigue:

```
TEMP_MENSUAL = If (mes=1) OR (mes=2) then 12 else if mes>=3 AND
(mes<11) then 23 else NORMAL(64.4-4.17*MES,1.913)
```

Así, queda cuantificado completamente el submodelo de Precipitación y Temperatura.

5.2.3 Submodelo de Vegetación y Consumo de Pasto

La cuantificación del Submodelo de Vegetación inicia con TASA PROD PRIM, la cuál varió de 18.8 a 20.8 kg de Materia Seca por hectárea por cada mm de PP EFECTIVA (Martín *et al.* 1995). Por lo tanto, la ecuación codificada fue:

```
TASA_PROD_PRIM = RANDOM(18.8,20.8,147)
```

que genera valores al azar, uniformemente distribuidos entre 18.8 y 20.8. El término 147 de la ecuación anterior hace que los datos se generen en forma repetible. La TASA PROD PRIM se utiliza para calcular la PROD PRIM junto con las variables PP EFECTIVA, TEMP MENSUAL y PROP PROD. PROD PRIM es la multiplicación de PP EFECTIVA, PROP PROD y TASA PROD PRIM, cuando TEMP MENSUAL y PP EFECTIVA sobrepasen 15 y 20 unidades respectivamente. Ya codificado esto fue:

```
PROD_PRIM = IF PP_EFECTIVA >= 20 AND TEMP_MENSUAL >= 15 THEN PP_MENSUAL
* TASA_PROD_PRIM * PROP_PROD ELSE 0
```

La PROD PRIM se usa para calcular PROD, la cual es una transferencia de material que entra a PV. Cuando haya una acumulación de PV menor a 2.5 ton/ha ó una acumulación de PS menor a 3.5 ton/ha PROD fue la multiplicación de la PROD PRIM por el AREA. En caso contrario PROD fue de un cuarto de la multiplicación, para así limitar la cantidad de biomasa de PV a un promedio de 2200 kg mensuales. La ecuación codificada es:

```
PROD = IF (PASTO_VERDE/AREA) < 2500 OR (PASTO_SECO/AREA) < 3500 THEN
AREA * PROD_PRIM ELSE AREA*PROD_PRIM*0.25
```

El PV es una variable de estado que acumula la transferencia de material de PROD. PV tiene tres salidas de transferencia de material: CONS1, PERDIDA SENES y SENES. Codificando PV:

$$\text{PASTO_VERDE}(t) = \text{PASTO_VERDE}(t-dt) + (\text{PROD} - \text{CONS1} - \text{SENES} - \text{PERDIDA_SENES}) * dt$$

PV inició con una cantidad de 100 ton en las 100 ha, lo que permite simular los primeros meses sin problemas de alimentación y el residuo es eliminado para evitar sesgos de esta cantidad inicial.

La primer salida de transferencia de material de PV es CONS1 y está en función de PV, AREA y CONS PV. Si el Pasto Verde tiene mas de 100 kg/ha, entonces se genera el valor mínimo entre PASTO VERDE y CONS PV. Cuando hubo menos de 100 kg/ha no se consumió el Pasto Verde. Codificando esto:

$$\text{CONS1} = \text{IF} (\text{PASTO_VERDE}/\text{AREA}) > 100 \text{ THEN MIN} (\text{PASTO_VERDE}, \text{CONS_PV}) \\ \text{ELSE } 0$$

CONS PV depende de la proporción de Pasto Verde en relación al total del Pasto y al Requerimiento del Hato en Pasto Verde, esto es, de las variables auxiliares REQUER_HATO_PV y PROP_CONS_PV. En lenguaje matemático tenemos:

$$\text{CONS_PV} = \text{REQUER_HATO_PV} * \text{PROP_CONS_PV}$$

A su vez, REQUER HATO PV es la cantidad de PV que el ganado necesita mensualmente, y es diferente a REQ HATO PS por tener PS diferente digestibilidad (NRC, 1996). REQ HATO PV es la multiplicación del REQ VACA PV y de la constante CARGA ANIM. Por lo tanto, codificando lo anterior:

$$\text{REQUER_HATO_PV} = \text{CARGA_ANIM} * \text{REQ_VACA_PV}$$

En este trabajo REQ VACA PV es el consumo de pasto verde/UA al mes (kg/mes) y depende de REQ EN_m PV y de la concentración de EN_m del Pasto Verde. Ya codificado:

$$\text{REQ_VACA_PV} = \text{REQ_ENm_PV}/1.2587$$

donde 1.2587 es la EN_m del Buffel, ya que el valor de TND es 58.4° (White, 1985). Para lo anterior, se hicieron los siguientes cálculos:

$$\text{TND (IKG)} = 3.62 \text{ Mcal EM/kg y REQ EN}_m \text{ PV} = (1.37\text{EM}) - (0.138\text{EM}^2) + (0.0105\text{EM}^3) - 1.12 \quad (\text{NRC, 1984})$$

La Carga Animal varió según el tratamiento asignado: 0 UA/ha, 3.3, 2.5, 2, 1.67 y 1.42 ha/UA, como se vió en el submodelo de Características de la Pradera.

Por su parte, $\text{REQ EN}_m \text{ PV}$ esta en función de la ecuación desarrollada por NRC (1996) y que a su vez incluye a PESO MET. La ecuación es:

$$\text{CONS_ENm_PV} = \text{PESO_MET} * (0.04997 * (1.2587^2) + 0.0431) * (365/12)$$

PESO MET depende del peso del animal vivo, variando éste según el mes en que se encuentre el ganado, y elevando dicho peso a la potencia 0.75. Por lo tanto, PESO MET estuvo en función de PESO REL MES. Ya codificado:

$$\text{PESO_MET} = \text{PESO_REL_MES}^{0.75}$$

PESO REL MES es una variable auxiliar que relaciona gráficamente el peso animal con MES (Figura 3, Cuadro 6), donde 1 es Enero, 2 es Febrero y así sucesivamente.

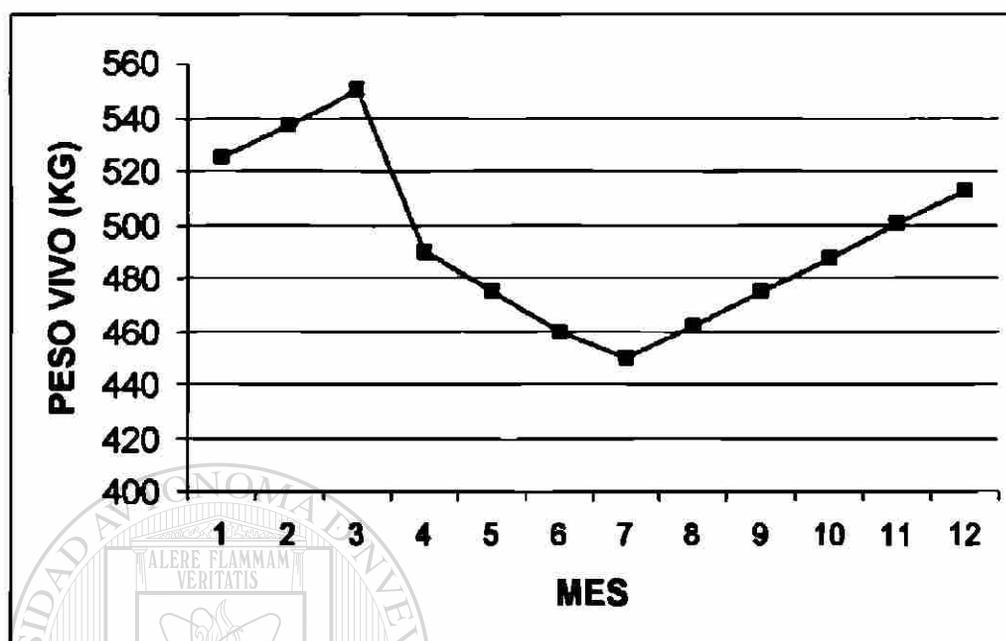
Con esto, queda cuantificada la ruta de transferencia de material de CONS1.

PROP CONS PV es una variable auxiliar gráfica que es afectada por PROP PV (Figura 4, Cuadro 7).

Tanto PS como PV afectan a PROP PV ya que es una variable auxiliar proporcional. Codificándola nos da:

$$\text{PROP_PV} = \text{PASTO_VERDE} / (\text{PASTO_VERDE} + \text{PASTO_SECO})$$

Figura 3. Relación entre el MES y el PESO ANIMAL.



Cuadro 6. Relación entre el mes y el peso vivo del ganado.

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PESO VIVO	525	537	550	490	475	460	450	462	475	487	500	513

Después que se efectuó el CONS1, el PV restante tiene una pérdida de material que no va a PS, sino que se pierde del sistema. Esta es PERDIDA SENES y es la segunda salida de transferencia de material de la variable de estado PV.

PERDIDA SENES depende directamente de TASA PERDIDA SENES, CONS1 y PV, y es la multiplicación de TASA PERDIDA SENES por la diferencia de PV menos CONS1. Codificando la información anterior:

$$\text{PERDIDA_SENES} = \text{TASA_PERDIDA_SENES} * (\text{PASTO_VERDE} - \text{CONS1})$$

TASA PERDIDA SENES es la proporción de biomasa de Pasto Verde perdida del sistema por mes (Grant *et al*, 1997) y es una constante con valor de 0.10, la cual se estimó en forma general para zacates de crecimiento de verano. Ya codificado:

TASA_PERDIDA_SENES = 0.10 (Grant et al; 1997)

SENES es la tercera transferencia de material que sale de PV y entra a la variable de estado PS, y depende del PV, CONS1, MES, PERDIDA_SENES y de TASA_SENES. Una vez que PV perdió material por CONS1 y por PERDIDA_SENES, el resto del PV pasa a PS a través de SENES a una tasa (TASA_SENES) dada, siempre que el mes no sea Enero. En Enero, la diferencia de PV menos, CONS1 y PERDIDA_SENES, pasa a PS debido a las bajas temperaturas. Codificando lo anterior tenemos:

```
SENES = IF MES=1 THEN (PASTO_VERDE- CONS1- PERDIDA_SENES) ELSE
TASA_SENES* (PASTO_VERDE-CONS1-PERDIDA_SENES)
```

Para el presente trabajo usamos un valor aleatorio entre 0.4 y 0.65 para TASA_SENES lo cual dió una senescencia completa, al azar, repetible y uniformemente distribuida del Buffel, en un periodo de 1.53 a 2.5 meses (Observación directa), esto es

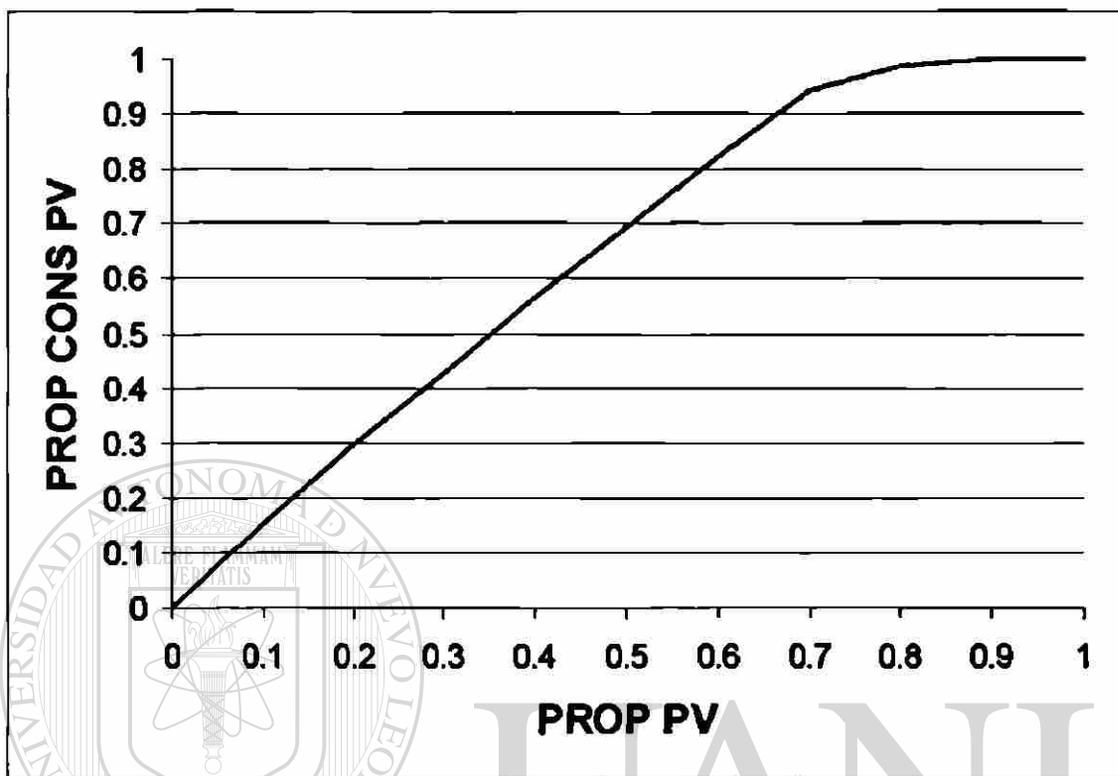
```
TASA_SENES = RANDOM(0.4,0.65,147)
```

Así quedan cuantificadas las tres salidas de material de PV.

SENES entra a la siguiente variable de estado llamada PS que acumula el material que entra por SENES. PS tiene dos salidas de transferencia de material, la primera debido al consumo mensual de Pasto Seco (CONS2) y la segunda causada por la descomposición de PS (DESCOM), teniendo un valor inicial de 50 ton para así evitar problemas de alimentación iniciales. El efecto de esta cantidad inicial fue eliminada al eliminar los 12 meses iniciales. Por lo anterior, PS a través del tiempo será igual a:

$$PASTO_SECO(t) = PASTO_SECO(t - dt) + (SENES - DESCOM - CONS2) * dt$$

Figura 4. Relación entre la Proporción de Pasto Verde y la Proporción del Consumo del Pasto Verde.



Cuadro 7. Datos que relacionan la Proporción de Pasto Verde y la Proporción del Consumo del Pasto Verde.

PROP PV	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
PROP CONS PV	0	0.155	0.3	0.425	0.565	0.695	0.825	0.945	0.99	1	1

CONS2 está en función de PS, de PV, de FALTANTE PS y de AREA. Cuando hubo igual o más de 2100 kg/ha de PS y/o PV (Ibarra, 1998; NRC, 1996) CONS2 tomó el valor menor entre PS y FALTANTE PS, de otra forma no hubo consumo de Pasto Seco. Esto codificado es:

```
CONS2 = IF (PASTO_SECO+PASTO_VERDE/AREA) > 2100 THEN MIN
(FALTANTE_PS, PASTO_SECO) ELSE 0
```

FALTANTE PS es la multiplicación de REQ HATO PS y PPS, o sea:

```
FALTANTE PS = REQ_HATO_PS*PPS
```

REQ HATO PS está en función de la multiplicación de REQ VACA PS y CARGA ANIM dándonos la ecuación:

$$\text{REQ HATO PS} = \text{REQ VACA PS} * \text{CARGA ANIM}$$

REQ VACA PS depende de REQ EN_m PS y de la concentración de EN_m del PS. REQ VACA PS es simplemente la división de REQ EN_m PS entre su concentración. Ya codificado:

$$\text{REQ_VACA_PS} = \text{REQ_ENm_PS} / 0.95$$

donde 0.95 es el factor que NRC (1996) recomienda cuando el zacate tiene menos de 1 Mcal/kg de EN_m. La EN_m del buffel seco es de 0.75 Mcal/kg derivadas del 44% de TND.

REQ EN_m PS es predicho por la fórmula proporcionada por NRC (1996) como se muestra a continuación:

$$\text{REQ_ENm_PS} = \text{PESO_MET} * (0.04997 * (0.95^2) + 0.0431) * (365/12)$$

PESO MET fue estimado anteriormente para calcular REQ EN_m PV.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

PPS es la Proporción del Requerimiento del Hato no cubierta por Pasto Verde y que fue cubierta por PS. PPS está en función de CONS1 y REQUER HATO PV. Ya codificado es:

$$\text{PPS} = (\text{REQUER_HATO_PV} - \text{CONS1}) / \text{REQUER_HATO_PV}$$

Así queda cuantificada la salida de transferencia de material de PS debida a CONS2.

Una vez que PS tuvo la pérdida de material ocasionada por CONS2, el resto del material se siguió perdiendo del sistema por la descomposición (DESCOM) del PS. Esta transferencia de material depende de PS, PP MENSUAL, MES, CONS2 y de

TASA DESCOM (Grant, *et al.* 1997). Cada Marzo cuando la PP MENSUAL fue mayor a 15 mm, todo PS se descompuso al 60% después del CONS2 y en el caso que no hubiese una PP MENSUAL de esa magnitud PS se descompuso a una tasa dada (TASA DESCOM). Codificando la ecuación:

```
DESCOM = if MES=3 and PP_MENSUAL > 15 then (PASTO_SECO-CONS2)*0.6 else
          TASA_DESCOM*(PASTO_SECO-CONS2)
```

El valor asignado a TASA DESCOM fue una constante con valor de 10% mensual, por lo que codificando tenemos:

```
TASA DESCOM = 0.10
```

Cuando PV y PS no reunieron la cantidad suficiente para cubrir las necesidades del hato se procedió a suplementar. SUPLEMENTO es una variable de estado que para fines prácticos no tubo ninguna entrada de transferencia de material y solo una salida de transferencia de material que fue la cantidad suplementada (CONS3), esto es,

```
SUPLEMENTO(t) = SUPLEMENTO(t - dt) + (- CONS3) * dt
```

Además se contó con una cantidad ilimitada de SUPLEMENTO, pero para efectos de la simulación fue una cantidad igual a 24 mil ton, la cual permitió simular los 21 años de este trabajo sin problemas de alimentación.

El CONS3 fue igual a FALTANTE SUPL el cuál estuvo en función de PS, PV, AREA y FALTANTE PS. Cuando FALTANTE PS fue mayor a PS y, PS más PV fue mayor a 2100 kg/ha, FALTANTE SUPL fue igual a la resta de FALTANTE PS y PS. Por otro lado, cuando PS más PV fue menor o igual a 2100 kg/ha FALTANTE SUPL fue igual a FALTANTE PS. Codificando las dos ecuaciones anteriores nos da:

```
CONS3 = FALTANTE SUPL
```

y

```
FALTANTE_SUPL = If (FALTANTE_PS>PASTO_SECO) and ((PASTO_SECO +
              PASTO_VERDE)/AREA >2100) then (FALTANTE_PS-PASTO_SECO) else if
              ((PASTO_SECO+PASTO_VERDE)/AREA<=2100) then FALTANTE_PS else 0
```

Así quedo completamente cuantificado tanto el Submodelo de Vegetación como el modelo completo.

5.3 Evaluación del Modelo

La evaluación del modelo se realizó por medio de dos corridas, llamadas simulaciones de referencia. Esta se llevó a cabo en dos fases. La primera fase comparó datos simulados con datos reales utilizando métodos estadísticos, y la segunda fase evaluó el modelo, observando la congruencia de las predicciones desde un punto de vista lógico y apoyado con literatura cuando hubo oportunidad.

5.3.1 Evaluación Estadística

La Precipitación anual fue el mejor indicador para evaluar el modelo, ya que es una variable externa que afecta fuertemente al comportamiento del modelo. Primeramente se compararon dos corridas del modelo para observar las diferencias entre sus precipitaciones anuales simuladas (Cuadro 8). El modelo simuló la precipitación de los 12 meses del año, pero en forma separada, ya que PP MENSUAL simuló la lluvia de Abril a Diciembre, pero no la de Enero a Marzo. La precipitación de Enero a Marzo fue simulada por tres variables independientes, por lo que en la base de datos se generó la Variable Precipitación Simulada Anual (PP SIM ANUAL) a partir de las precipitaciones de estos meses y de PP MENSUAL. Se realizó una prueba *t* para comparar sus medias encontrando que no existe diferencia significativa ($P > 0.05$) para las precipitaciones anuales (Cuadro 9) indicando que no existen diferencias estadísticas entre corridas del modelo para periodos de 20 años, lo que es positivo ya que las corridas del modelo deben ser consistentes en periodos largos. El siguiente paso fue comparar la Precipitación anual simulada con la Precipitación anual real. Para ello, contamos con 18 repeticiones de Precipitación anual real y 40 repeticiones de Precipitación anual simulada (Cuadro 8 y 10).

Cuadro 8. Precipitación Anual Simulada (Dos corridas).

Año	PP_SIM_1	PP_SIM_2
1	481.06	391.42
2	349.93	458.4
3	585.22	383.11
4	375.01	435.93
5	462.2	510.99
6	485.79	457.64
7	552.45	461.4
8	414.69	470.5
9	497.15	372.75
10	300.84	428.09
11	447.59	396.4
12	499.9	579.01
13	564.64	620.72
14	566.95	545.74
15	419.66	407.53
16	505	569.17
17	515.02	475.8
18	635.02	557.98
19	410.53	360.37
20	483.49	704.01

Cuadro 9. Prueba t para las dos corridas de la variable Precipitación Anual Simulada.

Parámetros	PP_SIM_1	PP_SIM_2
Media	477.607	479.348
Varianza	6930.97718	8444.074469
Observaciones	20	20
Varianza agrupada	7687.525825	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	38	
Estadístico t	-0.062792168	
$P(T \leq t)$ una cola	0.475130569	
Valor crítico de t (una cola)	1.685953066	
$P(T \leq t)$ dos colas	0.950261137	
Valor crítico de t (dos colas)	2.024394234	

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cuadro 10. Precipitación anual real (mm).

AÑO	PP REAL
1996	424.8
1995	528.9
1994	418.52
1993	564
1992	383.9
1991	438.74
1990	433.2
1989	384.2
1988	503.84

AÑO	PP REAL
1987	550.2
1986	722.5
1985	550.1
1984	397.7
1983	516.5
1982	229.549
1981	673.8
1980	491.15
1979	594.8

Igualmente se realizó una Prueba *t* para comparar las medias de la Precipitación anual real y la Precipitación anual simulada. Se encontró que no existe diferencia significativa ($P > 0.05$) entre la variable Precipitación anual real y la variable Precipitación anual simulada, indicando que el modelo simula adecuadamente la precipitación anual real (Cuadro 11).

Cuadro 11. Prueba *t* para la Precipitación Real Anual y Simulada.

	PP SIM ANUAL	PP REAL ANUAL
Media	478.4775	489.2443
Varianza	7491.1869	13408.8795
Observaciones	40	18
Varianza agrupada	9287.6293	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	56	
Estadístico <i>t</i>	-0.3936	
P(T<=t) una cola	0.3476	
Valor crítico de <i>t</i> (una cola)	1.6725	
P(T<=t) dos colas	0.6953	
Valor crítico de <i>t</i> (dos colas)	2.0032	

Ya que la Precipitación simulada es modificada por la Precipitación Mensual y la Precipitación efectiva, antes de intervenir en la generación de la Producción Primaria, se realizó una comparación de medias (Prueba *t*) de las 2 corridas del modelo (Cuadro 12) para la variable auxiliar PROD PRIM ANUAL.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cuadro 12. Producciones Primarias Anuales Simuladas (Kg/ha).

AÑO SIM	SIM_1_PROD PRIM ANUAL	SIM_2_PROD PRIM ANUAL	AÑO SIM	SIM_1_PROD PRIM ANUAL	SIM_2_PROD PRIM ANUAL
1	7741.95	6351.87	11	7891.7	7039.46
2	5490.89	6698.86	12	8947.85	8956.68
3	9522.31	6486.1	13	8394.35	8965.21
4	6710.58	6771.14	14	8072.01	9181.32
5	6600.59	6363.97	15	7143.82	6783.69
6	7129.17	6473.23	16	7069.81	8195.29
7	7520.44	6273.59	17	8444.71	6757.44
8	7116.12	6242.08	18	9176.59	8957.78
9	7139.74	5921.01	19	5845.04	4573.14
10	4875.26	6085.93	20	7610.16	10257.92

Se encontró que no existe diferencia significativa ($P>0.05$) entre corridas del modelo para la variable PROD PRIM ANUAL para periodos de 20 años (Cuadro 13). Con las pruebas estadísticas anteriores, se evaluó satisfactoriamente el modelo en su fase estadística.

Cuadro 13. Resultados de la comparación de medias de las Producciones Primarias Anuales Simuladas (Kg/ha).

	SIM_1_PROD PRIM ANUAL	SIM_2_PROD PRIM ANUAL
Media	7422.1	7166.7
Varianza	1418063.7	2019792.5
Observaciones	20	20
Varianza agrupada	1718928.1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	38	
Estadístico t	0.615	
P(T<=t) una cola	0.270	
Valor crítico de t (una cola)	1.685	
P(T<=t) dos colas	0.541	
Valor crítico de t (dos colas)	2.024	

5.3.2 Evaluación de la Congruencia de las Predicciones del Modelo

Para evaluar el modelo en esta fase se utilizaron los promedios mensuales de las diferentes variables en los 40 años simulados por las 2 corridas de 21 años cada una y en las que se eliminó el primer año para evitar el sesgo de las cantidades iniciales de PV y PS.

TASA DESCOM, TASA PERDIDA SENES y PROP PROD fueron programadas para ser constantes, por lo que sus valores no sufrieron cambios durante la simulación, siendo estos 0.10, 0.10, y 0.99, respectivamente. Igualmente, COBERTURA BASAL, AREA y CARGA ANIMAL fueron constantes a través de la simulación de referencia, conservando los valores de 15%, 100 ha y 50 UA, respectivamente.

PP SIM ANUAL varió de 300 a 704 mm, dando un promedio de 478 mm. Por su parte PP REAL ANUAL varió de 229 a 722 mm con un promedio de 489 mm, lo que refleja que la Precipitación fue correctamente simulada. La menor variación de PP SIM ANUAL se explica por la reducción hecha a sus rangos de precipitación mensual (Ver Modelo Cuantitativo). La PP SIM MENSUAL varió de 12.63 mm en Noviembre a 97.77 mm en Septiembre. La PP REAL MENSUAL varió de 14.67 en Febrero a 95.59 mm en Septiembre.

Aquí puede observarse que la Precipitación Mensual no tiene Distribución Normal en algunos meses, por lo que se dificulta simularla utilizando ecuaciones en función de su media y su varianza, ya que algunos meses simulan precipitaciones negativas. No obstante esta dificultad se obtuvo una excelente simulación del promedio de Precipitación Mensual para periodos de 20 años, por lo que el modelo se considera adecuado para simular este parámetro (Figura 5).

Figura 5. Variación Mensual de la Precipitación Real y Simulada.



TEMP MENSUAL fue programada para ser constante de Enero a Octubre. Enero y Febrero tuvieron una Temperatura constante inadecuada para la producción del Buffel, siendo esta de 12°C y para Marzo a Octubre se programó una Temperatura

constante de 23°C. Estas temperaturas, aún cuando no son sus promedios, permiten simular adecuadamente los meses en que el Buffel es productivo. Los meses de Noviembre y Diciembre promediaron una Temperatura de 18.5°C y 14.4°C ya que dependieron de sus respectivas ecuaciones de regresión. La Temperatura Real para Noviembre y Diciembre fue de 18.3 y 14.4, dándonos una excelente simulación de estos parámetros.

PROD PRIM fue programada para no producir en los meses de Enero y Febrero. Diciembre fue el mes que promedió PROD PRIM más baja con 31 kg/ha y Septiembre fue el mes más productivo con 1489 kg/ha, lo cual es de esperarse, ya que Septiembre es el mes que posee la Precipitación más alta y, Diciembre es el mes más frío de los meses que producen buffel, esto aunado a que Diciembre es de los meses que presentan las Precipitaciones más bajas. A la fecha, desafortunadamente no se cuenta con datos que relacionen la productividad del buffel con la precipitación, en intervalos mensuales, a excepción de aquellos de donde proviene la ecuación de la que se derivan los datos del presente trabajo, por lo que no es válido usarlos para evaluar el modelo. Sin embargo, PROD PRIM ANUAL promedió 7294 kg/ha variando de 4573 a 10257 kg/ha. Aranda (1986) reportó 7162 kg/ha anuales en Marín, N.L. siendo el mismo lugar de donde se obtuvieron los datos para la presente simulación. Utilizando los datos climáticos del año en que se realizó dicho estudio (1984) se calculó una PROD PRIM ANUAL de 6827 kg/ha. Con el resultado anterior, se observa que el modelo predice adecuadamente la Producción Primaria. Hanselka (1985) reportó producciones que varían desde los 2676 hasta los 6150 kg/ha al año. Martín *et al.* (1995), y Hanselka y Johnson (1991) reportaron 6950 y 7000 kg/ha anuales, respectivamente. Es muy probable que estas diferencias se deban a diferencias en los parámetros climáticos y edáficos, así como a sus interacciones.

PROD al convertirla en kg/ha dio los mismos valores que PROD PRIM, a excepción de Septiembre y Octubre donde disminuyó por la condición que restringía a PROD al excederse de las cantidades especificadas en su ecuación (Ver ecuación de PROD en Anexo2).

El Pasto Verde que se produce en un mes vía PROD PRIM, entra a su variable de estado (PASTO VERDE) hasta el siguiente mes. Por lo anterior, al tener PROD PRIM

su valor más bajo en Diciembre, lo refleja en PASTO VERDE hasta en Enero. Así mismo, como en Enero todo el Pasto Verde pasa a Pasto Seco, y en Enero y Febrero no se produce zacate, PASTO VERDE presenta valores de 0 kg/ha para los meses de Febrero y Marzo, aún cuando Marzo presente producción, ya que es registrada hasta Abril. En la Figura 5 se puede observar que el segundo semestre es más productivo que el primero, por contar este con una mayor Precipitación. PASTO SECO tuvo su valor mayor y menor en Diciembre y Abril, respectivamente, siendo estos: 4070 y 1391 kg/ha. Se observa en la Figura 6, como el periodo comprendido entre Noviembre y Febrero es donde se concentra la mayor cantidad de Pasto Seco.

Igualmente el PASTO TOTAL tuvo su mayor acumulación en Octubre, siendo esta de 5437 kg/ha y su menor acumulación en Mayo (1816 kg/ha), lo que es bastante aceptable debido a las altas producciones forrajeras a finales de verano y principios de otoño, en contraste con las bajas producciones de Invierno y Primavera, aunado a los altos consumos por parte del ganado en los meses de Enero a Marzo (Figura 7). CONSUMO TOTAL promedió 3605 kg/UA anualmente, siendo el mes de Marzo en donde se presentó el máximo consumo y Julio el mínimo, correspondiendo sus valores a 320 y 284 kg/UA, respectivamente. Los factores que regulan el Consumo de Materia Seca por los rumiantes son complejos y no están completamente entendidos.

Figura 6. Variación del Pasto Total, Pasto Seco y Pasto Verde a través del año.

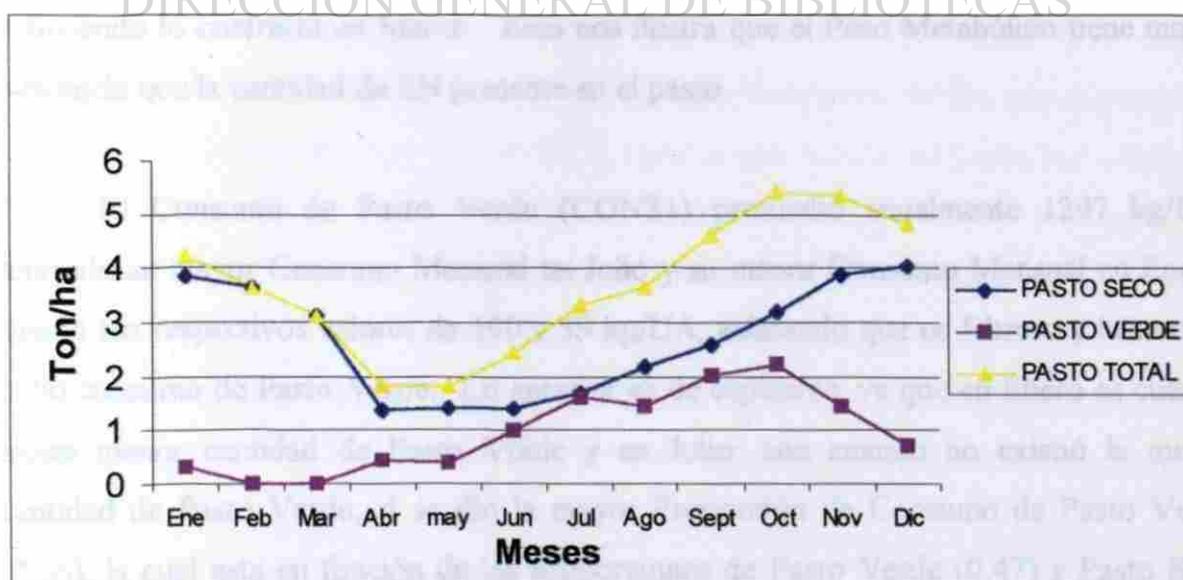
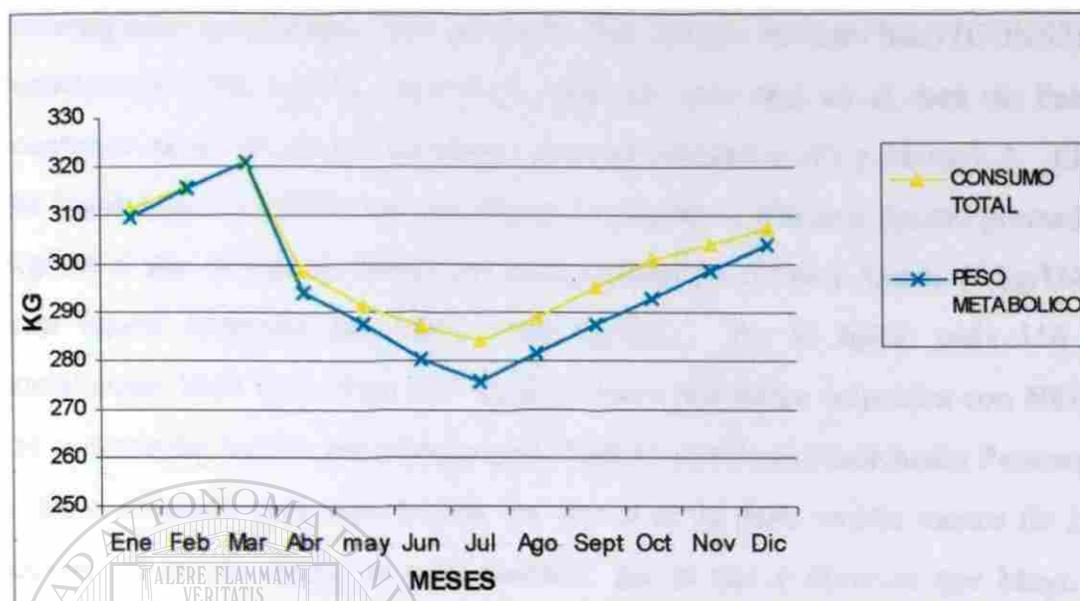


Figura 7. Variación del Consumo Total y el Peso Metabólico a través del año.



Existen modelos que relacionan la concentración de energía de la dieta con el Consumo de Materia Seca basados en el concepto de que el consumo de dietas bajas en energía y menos digestible es controlado por factores físicos y por el pasaje de digesta. Otro modelo indica que el Consumo de Materia Seca corresponde al punto en el cual el Consumo de Energía Neta (EN) por unidad de consumo de oxígeno es maximizado (NRC, 1996). La mayor calidad de la dieta se obtuvo en Julio, sin embargo, el Peso Metabólico promedio de la vaca fue menor presentando el menor Consumo Total, ocurriendo lo contrario en Marzo. Esto nos ilustra que el Peso Metabólico tiene mayor influencia que la cantidad de EN presente en el pasto.

El Consumo de Pasto Verde (CONS1) promedió anualmente 1297 kg/UA, teniendo su mayor Consumo Mensual en Julio y su menor Consumo Mensual en Enero, siendo sus respectivos valores de 190 y 39 kg/UA, aclarando que en febrero y Marzo no hubo consumo de Pasto Verde. Lo anterior es de esperarse, ya que en Enero es cuando existe menor cantidad de Pasto Verde y en Julio, aun cuando no existió la mayor cantidad de Pasto Verde, si se dio la mayor Proporción de Consumo de Pasto Verde (0.66), la cual esta en función de las proporciones de Pasto Verde (0.47) y Pasto Seco

(0.53). Cabe aclarar que estas Proporciones en el Consumo de Pasto Verde fueron designadas por medio de observaciones directas del autor y avaladas por los asesores, debido a la escasez de literatura al respecto, por lo que es recomendable hacer investigación en esta área. Por otro lado, el Consumo de Pasto Seco (CONS2) promedió anualmente 1904 kg/UA, siendo su consumo más alto en el mes de Febrero y su consumo menor en el mes de Mayo, correspondiendo a 315 y 38 kg/UA. El Consumo de Suplemento (CONS3) solo existió en los meses de Marzo a Agosto promediando 403 kg/UA al año, siendo los meses con menor consumo Marzo y Agosto (8 kg/UA). El mes con mayor consumo fue Mayo (160 kg/UA). Por lo tanto, cada UA consumió anualmente 3604 kg, o bien 9.87 kg/día. Estos resultados coinciden con NRC (1996) y no concuerdan con los encontrados por Romero (1999, Comunicación Personal ****). El criterio utilizado para suplementar fue que si en la pasta existía menos de 2100 kg/ha (aprox. 15 cm de altura) se suplementaria, por lo que al observar que Mayo promedió 160 kg/UA es muy probable que en algunos años no se requiera suplementar, pero en otros se suplementarán mayores cantidades.

Pérdida por Senescencia (PERDIDA SENES) promedió anualmente 1109 kg/ha, siendo su mes más alto Octubre (214 kg/ha) y su mes más bajo, Enero (32 kg/ha). Lo anterior es el patrón esperado ya que Octubre es el mes que posee la máxima acumulación de Pasto Verde. Los meses de Febrero y Marzo no presentaron senescencia por no contar con Pasto Verde. Senescencia del Pasto Verde (SENES) tuvo un promedio de 5424 kg/ha anual, siendo el mes con mayor senescencia Octubre (1055 kg/ha) y el mes con menor senescencia Mayo (173 kg/ha). Mayo tuvo mayor acumulación de Pasto Verde que Enero sin embargo, su senescencia fue menor porque la Tasa de Senescencia de mayo fue menor al cambio que ocurría en Enero por efecto de las temperaturas. Descomposición del Pasto Seco (DESCOM) varió de 1587 kg/ha en Marzo, a 139 kg/ha en Mayo y Junio, promediando 4442 kg/ha anualmente. El elevado valor mostrado en Marzo corresponde a la condición dada en el modelo (si la Precipitación en Marzo es igual o menor a 15 mm se descompondría un 60% del Pasto Seco). Al igual que Proporción del Consumo de Pasto Verde, DESCOM fue calculada

**** E. Romero es estudiante del Doctorado en Ciencia Animal de la FAUANL.

subjetivamente por el autor, y avalada por los asesores de la tesis. por lo que se recomienda realizar investigaciones en esta área. El cálculo anterior dio un comportamiento más real al modelo al permanecer el 40% del PS en el terreno permitiendo que hubiera alrededor de 2100 kg en el terreno.

El Cuadro 14 muestra los promedios mensuales de las variables de las dos simulaciones de referencia utilizadas en la evaluación del modelo. Así, analizando las partes fundamentales del modelo se consideró que su evaluación fue satisfactoria.

5.3.3 Análisis del Efecto de las Cargas Animales

Las cargas animales que se utilizaron y que para efectos del presente trabajo se convirtieron en los tratamientos a evaluar fueron seis y estos son: sin Carga Animal y 3.3, 2.5, 2, 1.67 y 1.42 ha/UA, lo que equivale a, 0, 30, 40, 50, 60 y 70 animales pastoreando en las 100 ha, respectivamente. Para evaluar las Cargas Animales se seleccionaron las variables Consumo de Suplemento (CONS3) y Descomposición del Pasto Seco (DESCOM) como indicadores del uso adecuado o inadecuado del pastizal. El uso adecuado del pastizal lo realizó la Carga Animal que necesitó menor cantidad de suplemento. Se consideró, adicionalmente DESCOMP como un indicador de la subutilización del pasto. Los datos de las simulaciones con las diferentes Cargas Animales sobre la Variable CONS3, se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Consumo de Suplemento Anual en relación a la Carga Animal (Ton/ha).

AÑO	Carga Animal 2 (3.3 ha/UA)	Carga Animal 3 (2.5 ha/UA)	Carga Animal 4 (2 ha/UA)	Carga Animal 5 (1.67 ha/UA)	Carga Animal 6 (1.42 ha/UA)
1	0.212	0.095	0.224	0.224	0.000
2	0.000	0.066	0.095	0.000	0.000
3	0.000	0.054	0.185	0.094	0.000
4	0.158	0.153	0.202	0.227	0.275
5	0.000	0.115	0.144	0.000	0.631
6	0.123	0.040	0.183	0.000	0.407
7	0.117	0.063	0.134	0.098	0.331
8	0.182	0.399	0.264	0.375	0.540
9	0.118	0.227	0.403	0.237	0.900
10	0.212	0.437	0.353	0.455	0.634
11	0.121	0.273	0.157	0.316	0.524
12	0.065	0.132	0.073	0.130	0.736
13	0.132	0.059	0.107	0.315	0.139
14	0.116	0.086	0.200	0.228	0.205
15	0.116	0.328	0.000	0.416	0.264
16	0.000	0.156	0.210	0.349	0.000
17	0.045	0.118	0.143	0.196	0.286
18	0.000	0.294	0.193	0.283	0.310
19	0.167	0.286	0.354	0.168	0.501
20	0.057	0.154	0.203	0.102	0.284
21	0.174	0.095	0.144	0.000	0.358
22	0.115	0.066	0.177	0.295	1.096
23	0.081	0.054	0.000	0.065	0.747
24	0.046	0.153	0.333	0.234	0.503
25	0.000	0.115	0.000	0.541	0.407
26	0.000	0.040	0.254	0.243	0.473
27	0.061	0.063	0.069	0.000	0.184
28	0.117	0.399	0.303	0.220	0.260
29	0.233	0.227	0.429	0.530	0.493
30	0.217	0.437	0.338	0.412	0.672
31	0.174	0.273	0.256	0.207	0.293
32	0.119	0.132	0.152	0.236	0.343
33	0.000	0.059	0.092	0.124	0.528
34	0.052	0.086	0.138	0.140	0.612
35	0.127	0.328	0.213	0.218	0.466
36	0.120	0.156	0.197	0.349	0.285
37	0.000	0.118	0.203	0.178	0.206
38	0.076	0.294	0.195	0.233	0.358
39	0.212	0.286	0.431	0.000	0.543
40	0.172	0.154	0.307	0.000	0.000
SUMA	4.038	7.069	8.061	8.438	15.795
PROMEDIO	0.101	0.177	0.202	0.211	0.395

Los resultados del Análisis de Varianza para observar el efecto de la carga Animal sobre el Consumo de Suplemento, se muestran en el Cuadro 16

Cuadro 16. Análisis de Varianza bajo el Diseño Completamente al Azar para las 5 diferentes Cargas Animales, sobre la Variable CONS3.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 0.05	Ftab 0.01
TRAT	4	3.44	0.862	37.358 **	2.37	3.32
ERROR	195	4.50	0.023			
TOTAL	199	7.95				

** Existe una diferencia altamente significativa y se concluye que al menos un tratamiento es diferente a los demás.

Como se muestra en el Cuadro 16, existe una diferencia altamente significativa entre Cargas Animales, concluyendo que existe al menos un tratamiento diferente a los demás, por lo que se realizó una comparación de medias usando el método DMS. El Cuadro 17 muestra los resultados encontrados en la comparación de medias.

Cuadro 17. Comparación de medias para la variable CONS3 (Ton/ha).

TRAT	n/	MEDIA	DIFERENCIA		DMS=	0.066466834
Carga Animal 6 (1.42 ha/UA)	40	0.3948	0.1839	A		
Carga Animal 5 (1.67 ha/UA)	40	0.2109	0.0094		B	
Carga Animal 4 (2 ha/UA)	40	0.2015	0.02479		B	
Carga Animal 3 (2.5 ha/UA)	40	0.1767	0.07576		B	
Carga Animal 2 (3.3 ha/UA)	40	0.1009				C

α 0.05

La Carga Animal 6 fue quien presentó el mayor consumo de suplemento (394 kg/ha anuales), existiendo una diferencia estadística significativa. Por otra parte, la Carga Animal 2 fue quien tuvo el menor consumo de suplemento (100 kg/ha anuales) e igualmente existió una diferencia estadística significativa. Las Cargas Animales 5, 4 y 3 fueron iguales entre ellas, estadísticamente hablando; pero existió una diferencia numérica, siendo mayor la Carga Animal 5 y menor la Carga Animal 3. Estas cargas fueron estadísticamente diferentes a las Cargas Animales 6 y 2.

Adicionalmente, se analizó anualmente la Descomposición del Pasto Seco (DESCOM) en el sistema. Los datos de las simulaciones de DESCOM influenciada por las diferentes Cargas Animales se muestran en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Descomposición del Pasto Seco influenciada por las Cargas Animales (Ton/ha).

AÑO	Carga Animal 1 (0 UA/ha)	Carga Animal 2 (3.3 ha/UA)	Carga Animal 3 (2.5 ha/UA)	Carga Animal 4 (2 ha/UA)	Carga Animal 5 (1.67 ha UA)	Carga Animal 6 (1.42 ha/UA)
1	4.513	5.358	5.739	5.399	4.755	3.407
2	5.184	3.461	4.736	4.620	4.020	3.086
3	5.359	3.815	4.927	3.949	4.960	3.488
4	4.661	4.997	4.364	4.866	4.950	4.299
5	3.948	4.267	3.160	3.438	3.678	2.565
6	6.104	5.240	3.955	4.860	4.765	4.209
7	7.029	5.062	5.532	4.485	5.744	3.422
8	6.010	4.760	4.483	4.403	4.904	3.482
9	4.767	4.642	3.674	4.120	4.993	2.880
10	5.397	4.292	4.276	4.365	3.676	3.152
11	5.296	5.641	3.137	3.566	4.190	2.992
12	6.244	5.705	4.661	5.121	3.970	2.706
13	5.181	5.090	4.872	5.305	4.821	3.663
14	5.617	4.323	5.662	5.513	5.258	4.279
15	5.216	5.022	4.437	4.059	4.734	4.778
16	5.717	4.142	4.734	5.483	4.937	3.635
17	6.423	5.211	5.383	4.680	4.445	4.629
18	6.046	4.911	5.408	5.432	3.721	4.930
19	5.515	5.896	5.119	4.952	3.655	4.959
20	7.213	4.890	5.048	4.432	4.934	4.171
21	6.209	5.716	5.739	3.237	3.238	3.587
22	6.473	5.034	4.736	4.527	3.799	2.680
23	4.372	4.297	4.927	3.214	4.225	2.520
24	5.981	5.129	4.364	4.259	4.668	3.530
25	4.866	4.612	3.160	3.357	2.505	3.191
26	6.988	5.532	3.955	4.324	3.600	4.458
27	7.045	5.649	5.532	4.104	3.704	3.960
28	6.312	4.698	4.483	3.676	4.398	4.469
29	5.483	4.660	3.674	3.454	3.398	3.508
30	6.033	4.726	4.276	3.841	4.114	3.278
31	6.375	5.109	3.137	3.784	3.647	4.381
32	6.535	4.208	4.661	5.066	4.953	3.573
33	6.298	5.457	4.872	5.735	3.408	2.877
34	6.619	5.818	5.662	4.925	3.529	3.458
35	6.149	5.424	4.437	5.299	4.979	4.869
36	5.975	5.242	4.734	4.468	4.599	4.426
37	6.166	7.003	5.383	5.177	4.628	5.436
38	6.421	6.470	5.408	4.431	4.924	4.478
39	5.868	5.446	5.119	4.245	3.615	3.856
40	5.182	5.012	5.048	3.543	5.286	3.308
SUMA	232.791	201.965	186.610	177.712	172.326	150.575
PROMEDIO	5.820	5.049	4.665	4.443	4.308	3.764

Estos datos fueron analizados estadísticamente por un Análisis de Varianza bajo el Diseño Completamente al Azar para observar si existe diferencia significativa entre tratamientos. El resultado del Análisis de Varianza se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Análisis de Varianza bajo el Diseño Completamente al Azar para las 5 diferentes Cargas Animales, sobre la Variable DESCOM.

FV	GL	SC	CM	Fcal	Ftab 0.05	Ftab 0.01
TRAT	5	98.731	19.746	37.33 **	2.21	3.02
ERROR	234	123.749	0.529			
TOTAL	239	222.480				

** Existe una diferencia altamente significativa y se concluye que al menos un tratamiento es diferente a los demás.

El Cuadro 19 muestra la existencia de una diferencia altamente significativa entre los tratamientos, por lo que se procedió a realizar una comparación de medias usando el método DMS. El Cuadro 20 muestra los resultados encontrados en la comparación de medias.

Cuadro 20. Comparación de medias para la variable DESCOM (Ton/ha).

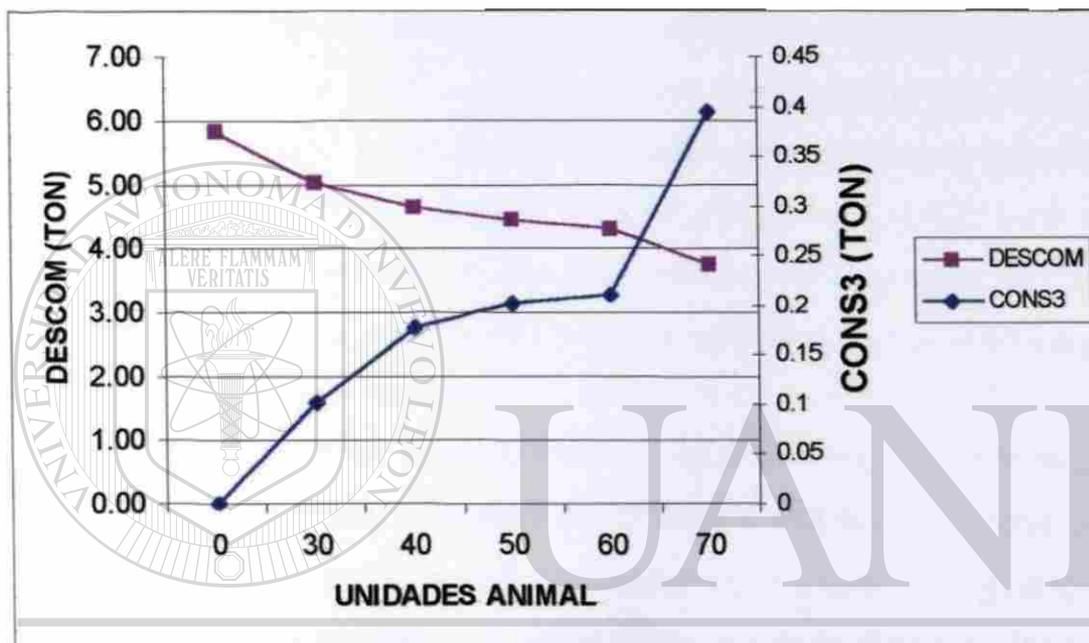
TRAT	ni	MEDIA	DIFERENCIA	DMS=	0.3187
Carga Animal 1 (0 UA/ha)	40	5.820	0.771	A	
Carga Animal 2 (3.3 ha/UA)	40	5.049	0.384	B	
Carga Animal 3 (2.5 ha/UA)	40	4.665	0.222	C	
Carga Animal 4 (2 ha/UA)	40	4.443	0.135	CD	
Carga Animal 5 (1.67 ha/UA)	40	4.308	0.544	D	
Carga Animal 6 (1.42 ha/UA)	40	3.764		E	

$\alpha = 0.05$

Lógicamente, la Carga Animal 1 fue el tratamiento que tuvo la totalidad de Descomposición de Pasto Seco (5.82 Ton/ha anuales) generándose una subutilización. De los tratamientos que tuvieron animales pastoreando, la mayor descomposición la mostró la Carga Animal 2 (5.05 Ton/ha anuales), teniendo una diferencia estadística significativa. La menor cantidad de Descomposición del Pasto Seco fue mostrada por la Carga Animal 6 (3.76 Ton/ha anuales) siendo su media estadísticamente diferente. La Carga Animal 4 fue estadísticamente igual a la Carga Animal 3 y 5, pero entre las Cargas Animales 3 y 5 existió diferencia estadística significativa. Los resultados anteriores nos muestran que bajo las condiciones climáticas simuladas, es posible pastorear entre 60 y 40 UA en 100 ha, suplementando entre 351 y 441 kg de heno/UA al año, respectivamente; considerando una Cobertura Basal del 15%. Esto muestra un dato

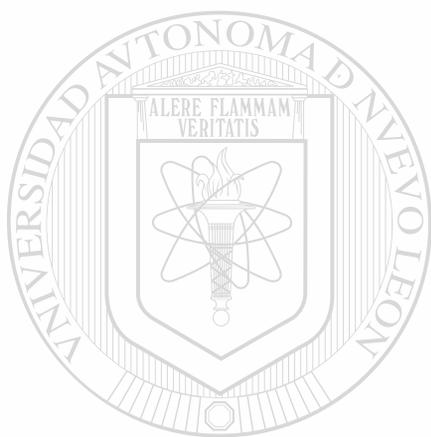
muy interesante para verificar en campo: por UA, se requiere más suplemento con una carga de 2.5 ha/UA (441 kg/ha anuales) que con una carga de 1.67 ha/UA (351 kg/ha anuales). En la Figura 8 se observa que entre estas Cargas Animales es donde se optimiza el uso del pasto, al descomponerse una cantidad adecuada que no requiere un exceso de suplemento.

Figura 8. Relación entre el Consumo de Suplemento y la Descomposición del Pasto Seco.



El porcentaje de Cobertura Basal utilizado en la simulación (15%), es bastante alto ya que se relaciona a una Cobertura de la Corona del 100%, lo que podría dañar especies de flora y fauna con valor cinegético y ecológico (Hanselka y Johnson, 1991). Bajo condiciones reales, se debe considerar el porcentaje de Cobertura Basal para cada sitio de pastizal y hacer los ajustes necesarios a las Cargas Animales. Las cantidades de suplemento anteriores se muestran bastante accesibles, pero debe tenerse presente que son promedios de 20 años, por lo que es de esperarse que en algunos años nos se requiera suplementación y en otros se necesiten cantidades mayores. Determinar la Carga Animal a utilizar es una de las más difíciles decisiones a tomar, sobretodo en el Norte de México y Sur de Texas donde el patrón errático de lluvias, entre años y dentro de años, complica la situación (Hanselka, 1985); por lo que una Carga Animal variable

sería una buena práctica para efficientizar el uso del buffel. Pudiera requerirse mejorar el modelo, sobretodo en cuanto a DESCOM cuando existe mucho PV, ya que al existir mucho PV, el PS debe descomponerse más rápidamente, porque en la realidad no coexisten grandes cantidades de los dos tipos de pastos al mismo tiempo, además, se aumentaría CONSI pro el efecto de la variable PROP CONS PV. Debe tenerse presente que este modelo debe utilizarse , solo como una herramienta para direccionar investigaciones de campo y de ninguna forma sustituirlas.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El modelo simula congruentemente la Precipitación Anual y Mensual, lo que a su vez, conduce a una buena simulación de la Producción Primaria Neta (PPN) concordando con PPN citadas en la literatura.

La estructura del modelo fue evaluada satisfactoriamente en base al comportamiento del propio modelo, ya que se simularon condiciones muy similares a las que se encuentran en praderas reales de zacate buffel.

Bajo las condiciones climáticas simuladas se recomienda utilizar una Carga Animal entre 1.67 y 2.5 ha/UA, para maximizar el uso adecuado del zacate (Cuadros 17 y 20). Es de esperarse, que en la realidad se utilicen cargas animales más altas.

Se deben reforzar esfuerzos en investigaciones de campo para reafirmar las ecuaciones que predicen la dinámica del pastizal que fueron aportadas por observaciones directas, tanto del autor como de los asesores; incluyendo las posibles interacciones de los factores climáticos y edáficos.

Es necesario hacer simulaciones con coberturas reales, mayor rango de cargas animales, suplementación energética y/o proteica y rotación de potreros para observar las probables respuestas del pastizal y utilizarlas en investigaciones de campo.

El modelo representa una herramienta útil para identificar las opciones que permitan diseñar investigaciones de campo mejor estructuradas para hacer uso sostenible del pasto buffel en el Noreste de México.

7. BIBLIOGRAFIA.

- Aranda R., J. 1986. Variación de las Características Morfológicas, Fisiológicas y Aspectos Anatómicos en Diferentes Colecciones de *Cenchrus ciliaris* L. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L., México.
- Bailey, D.W., J.E. Gross, E.A. Laca, L.R. Rittenhouse, M.B. Coughenour, D.M. Swift y P.L. Sims. 1996. Mechanisms that Result in Large Herbivore Grazing Distribution Patterns. *J. Range. Manage.* 49:386-400.
- Bashaw, E.C. 1962. Apomixis and Sexuality in Buffelgrasses. *Crop Science* 2:412-415.
- Cox, J.R., M.H., Martin-R., F. Ibarra-F., J.H. Fourie, N.F.G. Rethman y D.G. Wilcox. 1988. The influence of climate and soils on the distribution of four african grasses. *J. Range Manage.* 41:127-139.
- Cox, J. R. 1991. El Zacate Buffel: Historia y Establecimiento. Un Acercamiento Internacional para Seleccionar Sitios de Siembra e Implicaciones en la Agricultura del Futuro. En: A. Aguirre, E. Candanosa y E. Gomez. Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. Simposium Internacional. Séptimo Congreso Nacional. SOMMAP. Victoria, Tamps. Mex.
- Dickerson, W.H., y B.E. Dethier. 1970. Drought Frequency in the Northeastern United States. *Bull* 595. West Virginia Univ.
- Glantz, M.H. y R.W. Katz. 1977. When is a drought a drought? *Nature.* 267:192-193.
- Grant, W.E., E.K. Pedersen y S.L. Marin. 1997. *Ecology and Natural Resource Management: Systems Analysis and Simulation.* John Wiley & Sons, 373p.
- González, R. 1967. Los Ciclones del Golfo de México. *Bol. Agro.* No. 111. ITESM. Monterrey, N.L.
- González, R., y J.L. Puertas. 1973. La Lluvia en Monterrey, N.L. *Bol. Agro.* No. 147. ITESM. Monterrey, N.L.
- Haefner, J.W. 1996. *Modeling Biological Systems: Principles and Applications.* Chapman & Hall. New York, N.Y.
- Hamilton, W.T. 1985. Buffelgrass: Brush Management Fire. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. Buffelgrass: adaptation, management and forage quality Symposium. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station.

- Hanselka, C.W. 1985. Grazing Management Strategies for Buffelgrass. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. Buffelgrass: Adaptation, Management and Forage Quality Symposium. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station
- Hanselka, C.W. y D. Johnson. 1991. Establecimiento y Manejo de Praderas de Zacate Buffel Común en el sur de Texas y en México. En: A. Aguirre, E. Candanosa y E. Gomez. Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. Simposium Internacional. Séptimo Congreso Nacional. SOMMAP. Victoria, Tamps. Mx.
- Hatch, S.L. y M.A. Hussey. 1991. Origen, Taxonomía y Oportunidades de mejora Genética del zacate Buffel y Especies Afines. En: A. Aguirre, E. Candanosa y E. Gómez. Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. Simposium Internacional. Séptimo Congreso Nacional. SOMMAP. Victoria, Tamps. Mx.
- High Performance Systems, Inc. 1994. Stella II: Technical Documentation. High Performance Systems, Inc. Hanover, NH. USA.
- Hirschfeld, D.J., D.R. Kirby, J.S. Caton, S.S. Silcox y K.C. Olson. 1996. Influence of Grazing Management on Intake and Composition of Cattle Diets. *J. Range Manage.* 49:257-263.
- Holechek, J.L., R.D. Pieper, y C.H. Herbel. 1998. Range Management. Ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, N.J. USA.
- Holloway, J.W., W.T. Butts, Jr., J.D. Beaty, J.T. Hopper y N.S. Hall. 1979. Forage intake and performance of lactating beef cows grazing high or low quality pastures. *J. Animal Sci.* 48:692.
-
- Holt, E. C. 1985. Buffelgrass- A Brief History. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. Buffelgrass: Adaptation, Management and Forage Quality Symposium. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station
- Hussey, M.A. 1985. Buffelgrass Breeding and Evaluation for South Texas. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. Buffelgrass: Adaptation, Management and Forage Quality Symposium. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station
- Ibarra, F., J.R. Cox y M.H. Martin. 1991. Efecto del Suelo y el Clima en el Establecimiento y Persistencia del Zacate Buffel en México y sur de Texas. En: A. Aguirre, E. Candanosa y E. Gómez. Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. Simposium Internacional. Séptimo Congreso Nacional. SOMMAP. Victoria, Tamps. Mx.
- Ibarra, F., J.R. Cox, M.H. Martin, T.A. Crowl y C.A. Call. 1995. Predicting Buffelgrass Survival Across a Geographical and Enviromental Gradient. *J. Range Manage.* 48:53-59.

- Ibarra, H., R. Vázquez, A. Mora y G. Nava. 1998. Range Ecosystems in Northeast Mexico and South Texas. Proceedings from the Northern Mexico and South Texas Grazinglands Workshop. Laredo, Tx.
- Kothmann, M.M. 1974. A Glossary of Terms used in Range Management. Society for Range Management. Denver, Colorado.
- Levy N., G. 1994. Algunas ideas sobre las arbustivas y el pastizal. Memorias del X Congreso SOMMAP. FAUANL. Monterrey, N.L. p 3-8.
- NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press. 7th ed. Washington, D.C.
- NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals. National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press. 7th ed. Washington, D.C.
- Martín-R., M.H., J.R. Cox y F. Ibarra-F. 1995. Climatic effects on buffel grass productivity in the Sonoran Desert. J. Range. Manage. 48:60-63.
- Patrocipis. 1995. Guía Práctica para el Establecimiento, Manejo y Utilización del Zacate Buffel. Ed Gutenberg. Sonora, México.
- Rao, A.S., K.C. Singh y J.R. Wight. 1996. Productivity of *Chenchrus ciliaris* in Relation to Rainfall and Fertilization. J. Range. Manage. 49:143-146.
- Ridder, N. D. y K.T. Wagenaar. 1986. Energy and Protein Balances in Traditional Livestock Systems and Ranching in Eastern Botswana. Agricultural Systems. 20:1-16.
- Runge, E. C. A. y J. L. Schuster. 1985. Buffelgrass: adaptation, management and forage quality Symposium. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station.
- Saldívar, A. 1991. Ecosistemas del Zacate Buffel en Tamaulipas. En: A. Aguirre, E. Candanosa y E. Gómez. Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. Simposium Internacional. Séptimo Congreso Nacional. SOMMAP. Victoria, Tamps. Mx.
- Servín, C., L. Carrillo y S. Sierra. 1983. Cómo saber si una Pradera de Zacate Buffel esta bien Establecida. CIPES.
- Skukla, J. 1985. Predictability. pp. 87-122. In: S. Manabe (Ed) Issues in atmospheric and oceanic modeling Part B: Weather dynamics. Acad. Press, New York. N.Y.
- Society for Range Management. 1989. A Glossary of Terms used in Range Management. 3d ed. Society for Range Management. Denver, CO.
- SRH. 1966. Datos de la Cuenca del bajo Río Bravo y de la Región Golfo Norte. Boletín Hidrológico No. 27. México, D.F.

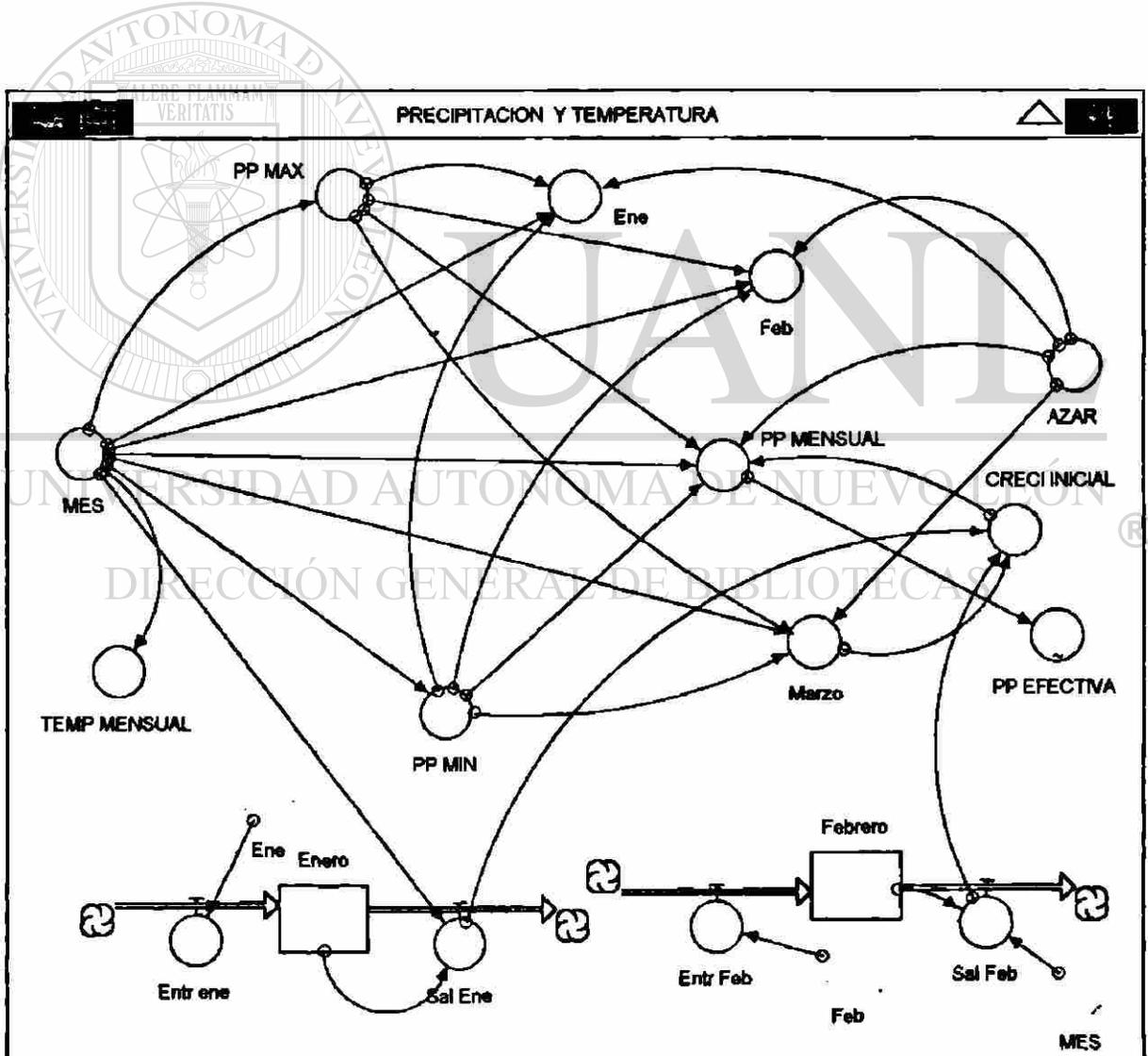
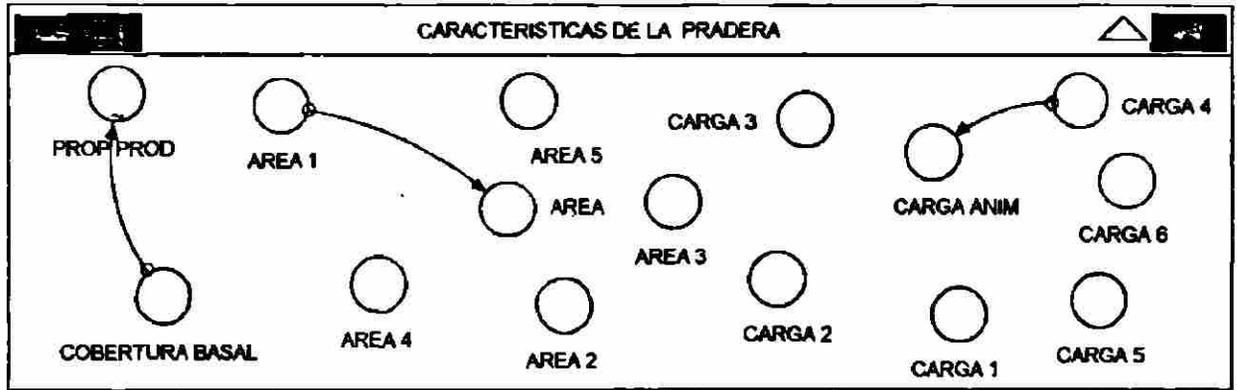
- Stafford, Smith, M. y B. Foran. 1992. An approach to assessing the economic risk of different drought management tactics on a South Australian pastoral sheep station. *Agr. Sys.* 39:83-105.
- Steel, R.G.D., J.H. Torrie y D.A. Dickey. 1996. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. Ed McGraw-Hill. Tercera Edición. 666 p.
- Thornely, J.H.M. 1998. *Grasslands dynamics: an ecosystem simulation model*. CAB INTERNATIONAL.
- Thurow, T.L., y C.A. Taylor, Jr. 1999. Viewpoint: The role of drought in range management. *J. Range Manage.* 52:413-419.
- Van Pollen, H.W. y J.R. Lacey. 1979. Herbage response to grazing systems and stocking intensities. *Journal of Range Management*. 32:250-253.
- Westoby, M., B. Walker y I. Noy-Meir. 1989. Opportunistic Management for Rangelands not at Equilibrium. *J. Range Manage.* 42:266-274.
- White, L.D. y D. Wolfe. 1985. Nutritional Value of Common Buffelgrass. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. *Buffelgrass: adaptation, management and forage quality Symposium*. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station
- Wiedenfeld, R.P., W.T.W. Woodward y R.R. Hoverson. 1985. Forage Responses of Buffelgrass and "Pretoria 90" Bluestem to Nitrogen and Phosphorus Fertilization in a Subtropical Climate. *J. Range Manage.* 38:242-246.
- Williamson, J. y B. Pinkerton. 1985. Buffelgrass Establishment. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. *Buffelgrass: Adaptation, Management and Forage Quality Symposium*. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

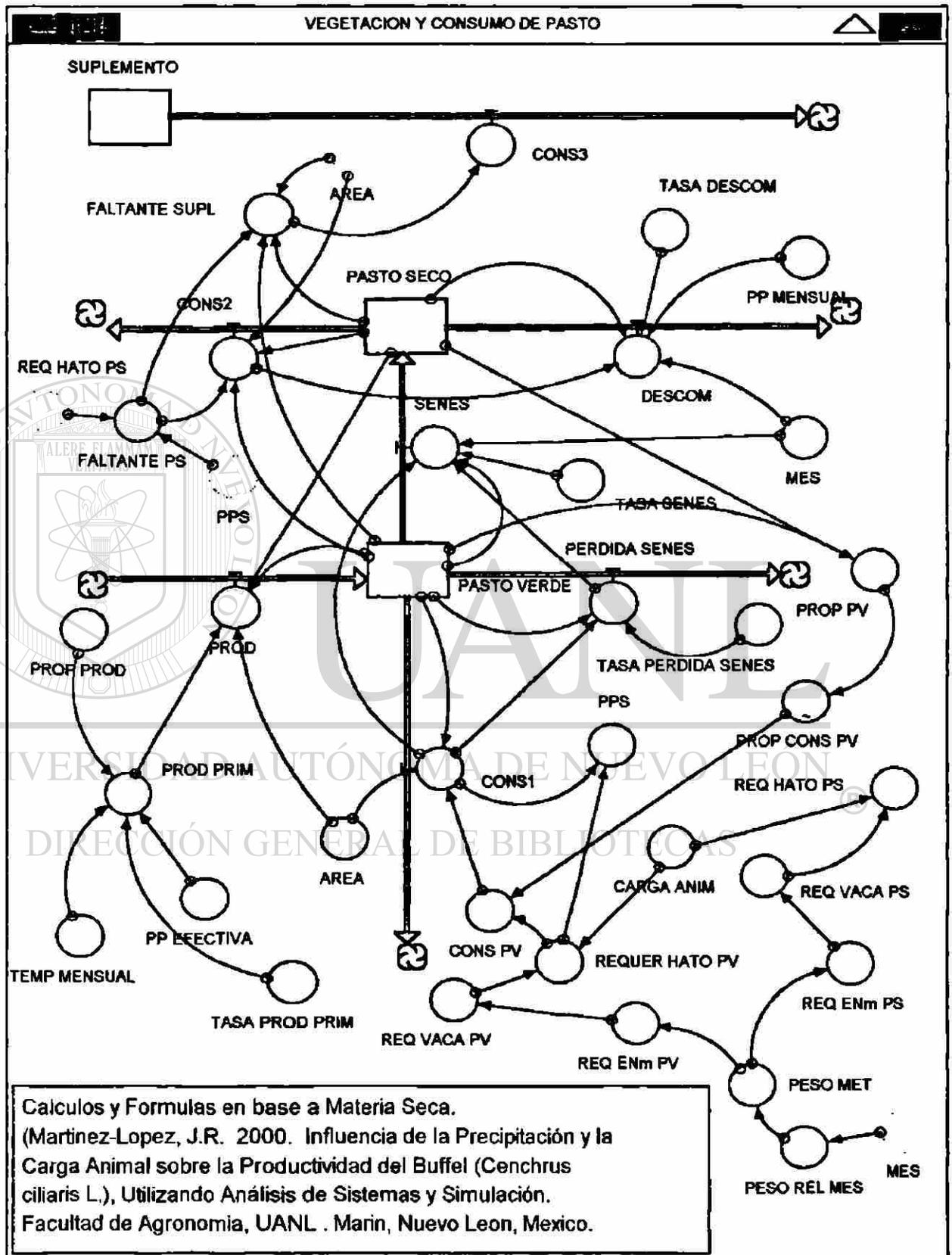
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ANEXO 1. Diagrama del Modelo Conceptual



ANEXO 1 (Continuación)



ANEXO 2. Ecuaciones del Modelo Cuantitativo

SUBMODELO DE CARACTERÍSTICAS DE LA PRADERA

$$\text{AREA} = \text{AREA}_1$$

Documento: Área de pastoreo.

$$\text{AREA}_1 = 100$$

Documento: 100 hectáreas

$$\text{AREA}_2 = 200$$

Documento: 200 hectáreas

$$\text{AREA}_3 = 300$$

Documento: 300 hectáreas

$$\text{AREA}_4 = 400$$

Documento: 400 hectáreas

$$\text{AREA}_5 = 500$$

Documento: 500 hectáreas

$$\text{CARGA}_1 = 0$$

$$\text{CARGA}_2 = 30$$

Documento: 30 unidades animal pastorean las 100 hectáreas. 3.3 has/ UA

$$\text{CARGA}_3 = 40$$

Documento: 40 unidades animal pastorean las 100 hectáreas. 2.5 has/ UA

$$\text{CARGA}_4 = 50$$

Documento: 50 unidades animal pastorean las 100 hectáreas. 2 has/ UA

$$\text{CARGA}_5 = 60$$

Documento: 60 unidades animal pastorean las 100 hectáreas. 1.66 has/ UA

$$\text{CARGA}_6 = 70$$

Documento: 70 unidades animal pastorean las 100 ha. 1.42 UA/ha

$$\text{CARGA_ANIM} = \text{CARGA}_4$$

Documento: Carga Animal. Genera la carga animal a la que se encuentra ligada

ANEXO 2 (Continuación)

COBERTURA_BASAL = .15

Documento: Constante. Es la Cobertura Basal del buffel en una pasta bien establecida. Unidad= porcentaje. (Patrocipes. 1995. Guía Práctica para el Establecimiento, Manejo y Utilización del Zacate Buffel. Ed Gutenberg. Sonora, México).

PROP_PROD = GRAPH(COBERTURA_BASAL)

(0.00, 0.00), (0.02, 0.16), (0.04, 0.32), (0.06, 0.54), (0.08, 0.78), (0.1, 0.9), (0.12, 0.95), (0.14, 0.99), (0.16, 1.00), (0.18, 1.00), (0.2, 1.00)

Documento: Variable Auxiliar. Proporción de Producción Primaria del pasto en función de la Cobertura Basal. Sin unidades.

SUBMODELO DE PRECIPITACION Y TEMPERATURA

Enero(t) = Enero(t - dt) + (Entr_ene - Sal_Ene) * dt

INIT Enero = 0

INFLOWS:

Entr_ene = Ene

OUTFLOWS:

Sal_Ene = If mes=3 then Enero else 0

Febrero(t) = Febrero(t - dt) + (Entr_Feb - Sal_Feb) * dt

INIT Febrero = 0

INFLOWS:

Entr_Feb = Feb

OUTFLOWS:

Sal_Feb = If mes=3 then Febrero else 0

AZAR = RANDOM(0,1,147)

Documento: Probabilidad de lluvia. Genera un flujo de números repetibles, uniformemente distribuidos entre 0 y 1, los cuales se usan en la probabilidad de lluvia.

CRECI_INICIAL = if Marzo < 20 then MAX((Sal_Ene+Sal_Feb)/2, Marzo) else Marzo

Documento: Crecimiento Inicial. Es la lluvia de Marzo influenciada por las lluvias de enero y febrero. Si la lluvia de marzo es menor a 20 mm va a maximizar el valor del promedio de la lluvia de enero mas la lluvia de febrero con la lluvia de Marzo, de lo contrario tomara el valor de Marzo.

ANEXO 2 (Continuación)

Ene = if (mes=1) and (AZAR<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0
Documento: Lluvia de Enero

Feb = if (mes=2) and (azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0
Documento: Lluvia de Febrero

Marzo = if (mes=3) and (azar<=.72) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0
Documento: Lluvia de Marzo

MES = COUNTER(1,13)
Documento: Mes. Genera los doce meses del año

PP_MAX = if MES=1 then 58.82 else if MES=2 then 25.68 else if MES=3 then 37.16
else if MES=4 then 50.82 else if MES=5 then 105.49 else if MES=6 then 118.37 else if
MES=7 then 71.28 else if MES=8 then 151.57 else if MES=9 then 167.29 else if
MES=10 then 65.23 else if MES=11 then 27.71 else 49.81

Documento: Precipitación Máxima. Genera el límite máximo de la precipitación mensual. Considera los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre en forma especial por carecer de temperaturas adecuadas para la producción del zacate buffel. Datos basados en el promedio de 18 años, mas el promedio, multiplicado por 0.75 [prom+(prom*0.75)]. En el promedio no se consideraron los meses con 0 mm de PP por utilizar el azar o probabilidad de sequía.

PP_MENSUAL = if (mes=3) then CRECI_INICIAL else if (mes=4) and (azar<=.78) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=5) and (azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=6) and (azar<=.89) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=7) and (azar<=1.00) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=8) and (azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=9) and (azar<=1.00) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=10) and (azar<=.94) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=11) and (azar<=.83) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else if (mes=12) and (azar<=.77) then RANDOM(PP_MAX,PP_MIN) else 0

Documento: Genera la precipitación mensual, tomando un valor aleatorio entre el rango mínimo y el máximo; y considerando la probabilidad de que llueva en dicho mes. El promedio de la lluvia de enero y febrero se compara con la lluvia de marzo y dicho mes toma el valor mayor de precipitación.

ANEXO 2 (Continuación)

PP_MIN = if MES=1 then 8.40 else if MES=2 then 3.67 else if MES=3 then 5.31 else if MES=4 then 7.26 else if MES=5 then 15.07 else if MES=6 then 16.91 else if MES=7 then 10.18 else if MES=8 then 21.65 else if MES=9 then 23.9 else if MES=10 then 9.32 else if MES=11 then 3.96 else 7.12

Documento: Precipitación Mínima. Genera el límite mínimo de la precipitación mensual. Considera los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre en forma especial por carecer de temperaturas adecuadas para la producción del zacate buffel. Datos basados en el promedio de 18 años, menos el promedio multiplicado por 0.75 [prom-(prom*0.75)]. En el promedio no se consideraron los meses con 0 mm de PP por usar el azar o probabilidad de sequía.

TEMP_MENSUAL = If (mes=1) OR (mes=2) then 12 else if (mes>=3) AND (mes<11) then 23 else NORMAL(64.4 - 4.17*MES,1.913)

Documento: Temperatura Mensual. Genera temperatura inadecuada para el crecimiento del buffel en los meses de enero y febrero, adecuada para el periodo marzo-oct y, al azar para nov y dic, basado en la regresión de la temperatura promedio para estos meses. Datos de 1978 a 1996. Estación Meteorológica FAUANL. Marín, N.L., Mex.

PP_EFECTIVA = GRAPH(PP_MENSUAL)

(0.00, 0.00), (5.00, 5.00), (10.0, 10.0), (15.0, 15.0), (20.0, 20.0), (25.0, 25.0), (30.0, 30.0), (35.0, 35.0), (40.0, 40.0), (45.0, 45.0), (50.0, 50.0), (55.0, 55.0), (60.0, 60.0), (65.0, 65.0), (70.0, 70.0), (75.0, 75.0), (80.0, 80.0), (85.0, 85.0), (90.0, 90.0), (95.0, 90.0), (100, 90.0), (105, 90.0), (110, 90.0), (115, 90.0), (120, 90.0), (125, 90.0), (130, 90.0), (135, 90.0), (140, 90.0), (145, 90.0), (150, 90.0), (155, 90.0), (160, 90.0), (165, 90.0), (170, 90.0), (175, 90.0), (180, 90.0), (185, 90.0), (190, 90.0), (195, 90.0), (200, 90.0)

Documento: Precipitación Efectiva. Es la respuesta a la Precipitación Mensual. Después de 100 mm de PP solo responderá como si lloviera 100 mm.

SUBMODELO DE VEGETACION Y CONSUMO DE PASTO

PASTO_SECO(t) = PASTO_SECO(t - dt) + (SENES - DESCOM - CONS2) * dt
INIT PASTO_SECO = 50000

Documento: Variable de Estado. Almacén de Pasto Seco (kg)

INFLOWS:

SENES = IF MES=1 THEN (PASTO_VERDE- CONS1- PERDIDA_SENES) ELSE TASA_SENES*(PASTO_VERDE-CONS1-PERDIDA_SENES)

Documento: Senescencia. Es el paso de Pasto verde a Pasto seco.

OUTFLOWS:

DESCOM = if MES=3 and PP_MENSUAL > 15 then (PASTO_SECO-CONS2)*0.6 else TASA_DESCOM*(PASTO_SECO-CONS2)

ANEXO 2 (Continuación)

Documento: Descomposición del pasto seco. Si el mes es 3 (marzo) el resto de PASTO_SECO-CONS_2 se va a descomponer al 60%, de otra forma se degradara a la tasa de descomposición dada (kg/mes).

CONS2 = IF ((PASTO_SECO+PASTO_VERDE)/AREA) >2100 THEN
MIN(FALTANTE_PS,PASTO_SECO) ELSE 0

Documento: Salida de Transferencia de Material de Pasto Seco. Consumo 2. Es el consumo del pasto seco (kg/mes), cuando la cantidad de PS + PV sea mayor a 2100 kg/ha(Gutiérrez-Ornelas, 1999, Comunicación Personal)

PASTO_VERDE(t) = PASTO_VERDE(t - dt) + (PROD - CONS1 - SENES -

PERDIDA_SENES) * dt

INIT PASTO_VERDE = 210000

Documento: Variable de Estado. Almacén del pasto verde (kg). Si el Mes es igual a 1 (Enero) todo el Pasto Verde se va a convertir en Pasto Seco.

INFLOWS:

PROD = IF (PASTO_VERDE/AREA) < 2500 OR (PASTO_SECO/AREA) < 3500
THEN AREA*PROD_PRIM ELSE AREA*PROD_PRIM*.25

Documento: Producción de Pasto Verde. Si la producción almacenada en PASTO_VERDE es mayor a 2500 kg /ha o PASTO SECO es mayor a 3500 kg/ha se producirá solamente un 25% de AREA*PROD PRIM (Olivares y Gutiérrez, 1999; Comunicación Personal).

OUTFLOWS:

CONS1 = IF (PASTO_VERDE/AREA) > 100 THEN MIN
(PASTO_VERDE,CONS_PV) ELSE 0

Documento: Salida de Transferencia de Material del Pasto Verde por consumo. Si el Pasto Verde tiene mas de 100 kg por ha, entonces se genera el valor mínimo entre PASTO VERDE y CONS PV. Cuando el CONS PV es menor que el PASTO VERDE, el consumo mínimo toma el valor del CONS PV y viceversa (kg/mes). Cuando haya menos de 100 kg/ha no se consumirá el Pasto Verde.

SENES = IF MES=1 THEN (PASTO_VERDE- CONS1- PERDIDA_SENES) ELSE
TASA_SENES*(PASTO_VERDE-CONS1-PERDIDA_SENES)

Documento: Senescencia. Es el paso de Pasto verde a Pasto seco.

PERDIDA_SENES = TASA_PERDIDA_SENES*(PASTO_VERDE-CONS1)

Documento: Salida de Transferencia de Material. Biomasa de Pasto Verde que se pierde del sistema por mes (kg/mes)

SUPLEMENTO(t) = SUPLEMENTO(t - dt) + (- CONS3) * dt

INIT SUPLEMENTO = 24000000

ANEXO 2 (Continuación)

Documento: Variable de Estado. Almacén de Suplemento. Puse una cantidad exagerada para que no se consuma en toda la simulación (19 años)

OUTFLOWS:

CONS3 = FALTANTE_SUPL

Documento: Salida de Transferencia de Material. Consumo 3. Es la suplementación mediante pacas y/o concentrados en épocas críticas (kg/mes).

CONS_PV = REQUER_HATO_PV * PROP_CONS_PV

Documento: Consumo de Pasto Verde. Esta en función de la proporción del Consumo de Pasto Verde y al requerimiento del ganado en Pasto Verde.

FALTANTE_PS = REQ_HATO_PS*PPS

Documento: Variable Auxiliar. Requerimiento del Hato no cubierto por el Pasto Verde. Es la multiplicación del Requerimiento del Hato en Pasto Seco por la Proporción del Requerimiento no cubierto por el Pasto Verde.

FALTANTE_SUPL = If (FALTANTE_PS>PASTO_SECO) and
((PASTO_SECO+PASTO_VERDE)/AREA>2100) then (FALTANTE_PS-
PASTO_SECO) else if ((PASTO_SECO+PASTO_VERDE)/AREA<=2100) then
FALTANTE_PS else 0

Documento: Variable Auxiliar. Faltante de Suplemento. Requerimiento no cubierto por el Pasto Verde ni por el Pasto Seco.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

PESO_MET = PESO_REL_MES^0.75

Documento: Variable Auxiliar. Peso Metabólico. Es el peso animal elevado a la 0.75 (NRC, 1996)

PPS = (REQUER_HATO_PV-CONS1)/REQUER_HATO_PV

Documento: Variable Auxiliar. Proporción del Requerimiento del Hato no cubierto por Pasto Verde. Es la proporción que será cubierta por pasto seco.

PROD_PRIM = IF PP_EFECTIVA>=20 AND TEMP_MENSUAL>=15 THEN
PP_EFECTIVA*TASA_PROD_PRIM *PROP_PROD ELSE 0

Documento: Producción Primaria Neta. Si la precipitación mensual es igual o mayor a 20 mm y la temperatura mensual es igual o mayor a 15, genera la producción primaria del buffel (Martín, 1995).

ANEXO 2 (Continuación)

$$\text{PROP_PV} = \text{PASTO_VERDE}/(\text{PASTO_VERDE}+\text{PASTO_SECO})$$

Documento: Proporción de Pasto Verde. Proporción de PV del total del Pasto (PS + PV)

$$\text{REQUER_HATO_PV} = \text{CARGA_ANIM}*\text{REQ_VACA_PV}$$

Documento: Variable Auxiliar. Requerimiento del Hato en Pasto Verde
Multiplicación de la Carga Animal por Requerimiento de la vaca en Pasto Verde (kg/mes).

$$\text{REQ_ENm_PS} = \text{PESO_MET}*(0.04997*(0.95^2)+0.0431)*(365/12)$$

Documento: Consumo de Energía Neta de Mantenimiento en Pasto Seco. El Buffel Seco tiene una ENm de 0.75 Mcal/kg derivados de 44% de Nutrientes Digestibles Totales (White, L.D., D. Wolfe. 1985. Nutritional Value of Common Buffelgrass. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. Buffelgrass: adaptation, management and forage quality Symposium. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station), pero para predecir el consumo se recomienda usar un valor constante de 0.95 (NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle.. National Academy Press. Washington, D.C.).

$$\text{REQ_ENm_PV} = \text{PESO_MET}*(0.04997*(1.2587^2)+0.0431)*(365/12)$$

Documento: Consumo de Energía Neta de Mantenimiento en Pasto Verde. El Buffel Verde tiene una ENm de 1.2587 Mcal/kg derivados de 58.4% de Nutrientes Digestibles Totales (White, L.D., D. Wolfe. 1985. Nutritional Value of Common Buffelgrass. In: Runge, E. C. A., J. L. Schuster. 1985. Buffelgrass: adaptation, management and forage quality Symposium. Texas Agr. Exp. Sta. MP-1575. College Station), (NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle.. National Academy Press. Washington, D.C.).

$$\text{REQ_HATO_PS} = \text{CARGA_ANIM}*\text{REQ_VACA_PS}$$

Documento: Variable Auxiliar. Requerimiento del Hato en Pasto Seco. Es la multiplicación del requerimiento de la vaca en Pasto Seco por la Carga Animal.

$$\text{REQ_VACA_PS} = \text{REQ_ENm_PS}/0.95$$

Documento: Variable Auxiliar. Requerimiento de la vaca en Pasto Seco. Es el consumo de la vaca en pasto seco (kg) al mes (NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle.. National Academy Press. Washington, D.C.).

$$\text{REQ_VACA_PV} = \text{REQ_ENm_PV}/1.2587$$

Documento: Variable Auxiliar. Requerimiento de la vaca en Pasto Verde. Es el consumo de la vaca en pasto verde al mes (kg/mes) (NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle.. National Academy Press. Washington, D.C.).

$$\text{TASA_DESCOM} = 0.10$$

ANEXO 2 (Continuación)

Documento: Tasa de Descomposición.- Constante igual a 0.10 (Grant, W.E., E.K. Pedersen, S.L. Marin. 1997. Ecology and Natural Resource Management Systems Analysis and Simulation. John Wiley & Sons. 373p)

TASA_PERDIDA_SENES = 0.10

Documento: Constante. Tasa de Perdida de Senescencia. Proporción de Biomasa de Pasto Verde perdida de sistema por mes (Grant, W.E., E.K. Pedersen, S.L. Marin. 1997. Ecology and Natural Resource Management: Systems Analysis and Simulation. John Wiley & Sons. 373p).

TASA_PROD_PRIM = RANDOM(18.8,20.8,147)

Documento: Variable Auxiliar. Tasa de Producción Primaria Neta. Genera valores al azar, uniformemente distribuidos y repetibles entre 18.8 y 20.8, que a su vez significan los kg de materia seca que se producirán por cada mm de precipitación (Martín, M.H., J.R. Cox, F. Ibarra-F. 1995. Climatic effects on buffel grass productivity in the Sonoran Desert. J. Range. Manage. 48:60-63.)

TASA_SENES = RANDOM(.4,.65,147)

Documento: Tasa de Senescencia. Genera un valor aleatorio entre 0.4 y 0.65. Esto nos da una senescencia completa de 1.53 a 2.5 meses para una tasa de senescencia de 0.65 y 0.4. Lo anterior en ausencia de lluvias.

PESO_REL_MES = GRAPH(MES)

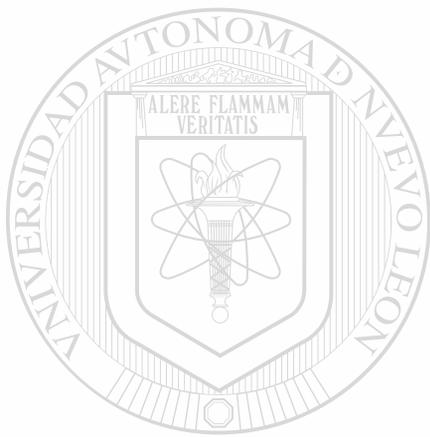
(1.00, 525), (2.00, 538), (3.00, 550), (4.00, 490), (5.00, 475), (6.00, 460), (7.00, 450), (8.00, 463), (9.00, 475), (10.0, 488), (11.0, 500), (12.0, 513)

Documento: Variable Auxiliar. Peso Relativo al Mes. El Peso de las vacas (Kg) estará en función del mes. El peso máximo será en marzo (550 kg), y el mínimo en julio (450 kg).

PROP_CONS_PV = GRAPH(PROP_PV)

(0.00, 0.00), (0.1, 0.155), (0.2, 0.3), (0.3, 0.425), (0.4, 0.565), (0.5, 0.695), (0.6, 0.825), (0.7, 0.945), (0.8, 0.99), (0.9, 1.00), (1, 1.00)

Documento: Proporción del Consumo del PV. Es la Proporción del requerimiento del hato en PV que se consume, dependiendo de la cantidad de PV en relación a la total del Pasto.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



