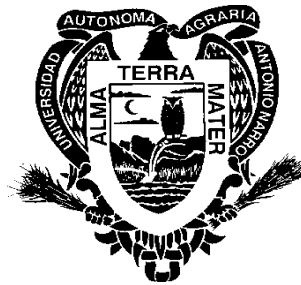


**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**

**“ ANTONIO NARRO “**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**



**Evaluación y Calibración de SESS: Un Modelo de Simulación para la  
Producción Sustentable de Pastizales**

Por:

**CÉSAR ARTURO ESPARZA ÁLVAREZ**

**TESIS**

*Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:*

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.

Diciembre del 2002.

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ ANTONIO NARRO “  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**EVALUACION Y CALIBRACIÓN DE SESS: UN MODELO DE SIMULACIÓN  
PARA LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE PASTIZALES**

Por:

**CESAR ARTURO ESPARZA ALVAREZ**

**TESIS**

Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito  
Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

Aprobada por el Comité de Tesis

---

**Dr. Heriberto Díaz Solís  
Presidente**

---

**M.C. Silvia X. González Aldaco  
Sinodal**

---

**M.C. Reginaldo R. de Luna Villarreal**

---

**M.C. Luis Lauro de León Gonzáles**

Sinodal

Sinodal

---

**Ing. José Rodolfo Peña Oranday**  
**Coordinador de la División de Ciencia Animal**

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre del 2002

### DEDICATORIA

*Con todo el amor de mi corazón a mi madre Rosario Esparza Álvarez, por darme la oportunidad de vivir, su apoyo incondicional para todo hacia mí, por quererme y cuidarme en todo momento.*

#### **A mis Abuelitos**

Mercedes Álvarez Ledesma (†)

José Esparza Treviño (†)

*Por haberme formado como un hombre de bien, por darme todo su amor y haberme permitido estar a su lado siempre, por cuidarme y protegerme.*

*A Arnoldo Lugo Casas y Adriana Lugo Esparza (mi hermana), por brindarme su apoyo incondicional en todo momento y estar ahí cuando más los necesito y haber llenado el vacío que tenía.*

*A mi novia Natalia M. Jiménez Rodríguez, por creer en mí, quererme, apoyarme, haberme soportado durante el tiempo que llevamos juntos y ser alguien muy especial en mi vida.*

*A mi tío José Luis Esparza Álvarez, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento y su ejemplo. De igual manera a todos mis tíos.*

*A toda la bola de primos que tengo y que por falta de hoja no los puedo mencionar a todos pero los recuerdo, a mis amigos los otros 4 de Colombia, Mario (†), familia González Aldaco, mi aijada Lidia, Calín, Don Chuy, familia García López.*

## **AGRADECIMIENTOS**

**Mi más sincero agradecimiento al Dr. Heriberto Díaz Solís, por su gran apoyo, dedicación, ejemplo y paciencia para mi formación como profesional y persona, así como para la realización de este trabajo y brindarme su amistad.**

**Agradezco inmensamente a mi comadre la M.C. Silvia X. González Aldaco, por su valiosa colaboración en el presente trabajo, brindarme su amistad sincera**

**Agradezco a los M.C. Luis Lauro de León González, Reginaldo R. de Luna Villarreal y M.C. Ricardo Vázquez Aldape por su valiosa aportación que enriquecieron este trabajo, ser parte fundamental en mi formación académica, como profesional y como persona, además de darme su amistad.**

También agradezco el apoyo incondicional que me ofreció Natalia M. Jiménez Rodríguez durante la elaboración del trabajo presente.

**Al Sr. Jesús Cabrera Hernández (Auxiliar de Investigación), por su desinteresada y valiosa colaboración ofrecida en la elaboración de este trabajo.**

**Agradezco a todas aquellas personas que directa o indirectamente me tendieron su mano para ayudarme en la elaboración de este trabajo: Lulú, Adrián, Omar, Eloy, Héctor, Genaro, Everardo, Norma y el Departamento de Recursos Naturales Renovables.**

## **ÍNDICE DE CONTENIDO**

	<b>Página.</b>
INDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
<b>Pastizales del Norte de México</b>	<b>4</b>
<b>Factores que Determinan la Producción de Pastizales</b>	<b>11</b>
<b>Clima</b>	<b>11</b>

<b>Manejo del Pastoreo</b>	<b>20</b>
<b>Estudios de COTECOCA</b>	<b>22</b>
<b>Modelos de Simulación</b>	<b>23</b>
<b>Modelos para Pastizales y Praderas</b>	<b>25</b>
<b>SESS</b>	<b>27</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>29</b>
<b>Evaluación de SESS</b>	<b>29</b>
<b>Calibración de SESS</b>	<b>31</b>
<b>Evaluación de SESS Calibrado</b>	<b>33</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>35</b>
<b>Evaluación de SESS con la Información Reportada por     COTECOCA</b>	<b>35</b>
<b>Producción de Forraje Utilizable</b>	<b>35</b>
<b>Utilización de la PPNA</b>	<b>35</b>
<b>Evaluación de SESS por Áreas de Diferente Precipitación</b>	<b>39</b>
<b>Biomasa Aérea Total (TSC) y Verde (GSC)</b>	<b>39</b>
<b>Condición del Pastizal y Condición Corporal</b>	<b>41</b>
<b>Probabilidad de Preñez</b>	<b>44</b>
<b>Calibración de SESS</b>	<b>46</b>
<b>Homoclimas</b>	<b>47</b>

<b>Evaluación de SESS Calibrado para el Norte de México</b>	<b>53</b>
<b>Biomasa Aérea Total (TSC) y Verde (GSC)</b>	<b>53</b>
<b>Condición del Pastizal</b>	<b>55</b>
<b>Condición Corporal</b>	<b>55</b>
<b>Probabilidad de Preñez</b>	<b>58</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>60</b>
<b>VI. RESUMEN</b>	<b>62</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	<b>Valores promedio de las variables para parametrizar SESS (drivers)</b>	<b>30</b>
<b>2</b>	<b>Valores de los escenarios simulados en la evaluación de SESS calibrado</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>Resumen de las características climáticas de los homoclimas</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

No.

Página

- |   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Comparación entre la Producción de Forraje Utilizable estimada por SESS y la Producción de Forraje Utilizable reportada por COTECOCA para sitios de pastizal con precipitaciones desde 175 mm hasta 1300 mm | 37 |
| 2 | Comparación entre la Producción Primaria Neta Anual estimada  | 38 |



por SESS y su Porcentaje de Utilización para los sitios de pastizal del norte de México con precipitaciones desde 175 mm hasta 1300 mm

- 3 Dinámica mensual (media  $\pm$  ds; n=100) de (a) la producción de forraje total (TSC), y (b) la producción de forraje verde (GSC), simuladas bajo diferentes niveles de precipitación y carga animal moderada (condición del pastizal inicial = buena y SC = regular) 40
- 4 Cambios en la condición del pastizal (media  $\pm$  ds; n=100) durante 20 años simulados bajo diferentes niveles de precipitación y cargas animales ligeras y pesadas para cada grupo 42
- 5 Cambios en la condición corporal del animal en un período de 20 años (media  $\pm$  ds; n=100) simulados bajo las cargas animales (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>) y características medias de los sitios de pastizal (características del suelo, SC: precipitación media anual (mm), PPT) reportadas por COTECOCA para los pastizales en Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas 43
- 6 Probabilidades de preñez simuladas bajo diferentes cargas animales (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>) y características medias de los sitios de pastizal (características des suelo, SC: precipitación media anual (mm), PPT) reportadas por COTECOCA para los pastizales en 45

**Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas. Las probabilidades son basadas en 100 repeticiones durante 20 años simulados**

- |           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>7</b>  | <b>Índice de crecimiento mensual para la Producción Primaria Neta Anual, para cada uno de los homoclimas del norte de México</b>   | <b>50</b> |
| <b>8</b>  | <b>Mapa que muestra la ubicación de los Homoclimas</b>   | <b>51</b> |
| <b>9</b>  | <b>Dinámica mensual (media <math>\pm</math> ds; n=100) de (a) la producción de vegetación total (TSC), y (b) la producción de forraje verde (GSC), simuladas bajo diferentes niveles de precipitación, tipo de clima y carga animal moderada (condición del pastizal inicial = buena y SC = regular)</b> | <b>54</b> |
| <b>10</b> | <b>Cambios en la condición del pastizal (media <math>\pm</math> ds; n=100) durante 20 años simulados bajo diferentes niveles de precipitación y cargas animales ligeras y pesadas para cada grupo</b>  | <b>56</b> |
| <b>11</b> | <b>Cambios en la condición corporal del animal en un período de 20 años (media <math>\pm</math> DS; n=100) simulados bajo cargas animales moderadas recomendadas por COTECOCA (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>), SC = regular, condición de pastizal inicial = buena e inicio de empadme en Abril</b>          | <b>57</b> |
| <b>12</b> | <b>Probabilidades de preñez simuladas bajo diferentes cargas animal (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>), SC = regular, condición de pastizal inicial = buena</b>   | <b>59</b> |

**e inicio de empadre en Abril. Las probabilidades son basadas en  
100 repeticiones durante 20 años simulados**

## **I. INTRODUCCIÓN**

La región árida y semi-árida del país comprende la mayor parte del norte y noreste de México. Debido a sus adversidades climáticas y a su uso no apto para la agricultura, estas regiones son utilizadas actualmente, en su mayoría, para la explotación extensiva de ganado doméstico y presentan como características: precipitación errática y escasa, temperaturas extremas y erosión de los suelos, esta última debido a la disminución de su cobertura vegetal ocasionada por un manejo inadecuado e irracional del forraje existente en los pastizales y praderas, ya que la ganadería de esta región del país generalmente es llevada mediante excesivas cargas animales y sin control de los tiempos de uso, por lo que se tiene un sobre utilización. Esta sobre utilización del forraje, posteriormente se verá reflejada en un bajo índice productivo del ganado, por lo que no sólo se obtendrán bajos ingresos económicos para el productor, al vender menos y verse en la necesidad de comprar alimentos complementarios,

sino también daño ecológico para los pastizales al reducir su diversidad vegetal y fauna silvestre, pérdida de suelo y alteración negativa en el ciclo hidrológico.

Sin duda, la precipitación es fundamental para la producción de forraje en los pastizales áridos y semi-áridos, por lo que determina indirectamente la capacidad de carga que puede sostener un pastizal. Pero al presentar la

precipitación una variabilidad muy amplia y ésta al ser baja, obliga a los ganaderos a proporcionar alimentos complementarios al ganado en lugar de adecuar sus cargas animales o los períodos de ocupación del pastizal, lo que repercute en un manejo no sustentable del sistema de producción.

El pastoreo o apacentamiento, es una compleja interacción entre la planta y el animal. El retorno económico de una empresa pecuaria dependerá de la cantidad y calidad de forraje y la eficiencia de su cosecha a través del ganado.

Una herramienta útil y cada vez más necesaria para analizar los sistemas de producción pecuaria, son los modelos de simulación. Simular significa duplicar la esencia de un sistema sin llegar a la realidad como tal, ya que la predicción exacta de eventos o procesos biológicos (seres vivos) es más compleja que la predicción de un fenómeno físico o químico aislado (Dent, 1974). El analizar un sistema no comprende una técnica matemática ni un conjunto de ellas, sino una compleja investigación sistemática y científica, que ciertamente involucra el uso de técnicas y conceptos matemáticos que son dirigidos a la predicción de eventos, lo cual ayudará a tomar las decisiones pertinentes para la solución de problemas.

## **Objetivo General**

Evaluar y calibrar SESS para la producción primaria anual, su utilización y la producción ganadera sustentable en los pastizales del norte de México.

## **Objetivos Específicos**

- Comparar las respuestas de SESS con los reportes de forraje anual utilizable de COTECOCA para los estados de Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas.
- **Discutir las posibles diferencias entre las respuestas del modelo y lo reportado por COTECOCA.**
- **Calibrar el modelo para las condiciones de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.**

- **Analizar y discutir las respuestas de capacidad de carga animal del modelo contrastadas con las del sistema real.**

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Pastizales del Norte de México**

**Las áreas consideradas como pastizales, son aquellas tierras que sostienen en su mayor parte vegetación nativa que puede ser apacentada o potencialmente apacentada y es manejada como un ecosistema natural, si todas o parte de las plantas consideradas como especie forrajera son introducidas, deberán ser manejadas como un ecosistema natural (Vallentine, 2001), y que presentan limitaciones físicas como: topografía accidentada, errática precipitación, drenaje deficiente y temperaturas extremas, por lo que no pueden ser utilizadas para cultivos intensivos, ocupan la mayor extensión total del país y constituyen una fuente importante de recursos forestales, fáunicos, recreativos y forrajeros para los animales domésticos y silvestres, además es donde se presenta una**

**muy importante cantidad de biodiversidad genética. También son de suma importancia debido a su extensión, para la recarga de mantos acuíferos por medio de sus cuencas hidrológicas, por lo que los convierte en una importante fuente de abastecimiento de agua para uso humano, industrial, agrícola y ganadero (Stoddart *et al.*, 1975).**







□□f□□ÿ□□ÿ□□m□□□□□□□□□□□□□□□□-

□□□□□□□□□□□□□□□□ÿ□□□□□□□□□□ÿ□□□□□□□□□□ÿ□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□I□□□□□À□□□□□□À□□□À□□□□□□□À□□□□□□□Ü□□□□

&□□□□□□□□

□□□





ÀuÚá-

2Âô†i\$W%\$

ì%0ü%ÿ\$X(i)†L(i)W%

Ò22ÀÀÀ

ÀÜ II. REVISIÓN DE LITERATURA

### Pastizales del Norte de México

Las áreas consideradas como pastizales, son aquellas tierras que sostienen en su mayor parte vegetación nativa que puede ser apacentada o potencialmente apacentada y es manejada como un ecosistema natural, si todas o parte de las plantas consideradas como especie forrajera son introducidas, deberán ser manejadas como un ecosistema natural (Vallentine, 2001), y que presentan limitaciones físicas como: topografía accidentada, errática precipitación, drenaje deficiente y temperaturas extremas, por lo que no pueden ser utilizadas para cultivos intensivos, ocupan la mayor extensión total del país y constituyen una fuente importante de recursos forestales, fáunicos, recreativos y *forrajeros para los animales domésticos y silvestres, además es donde se presenta una muy importante cantidad de biodiversidad genética. También son de suma*

importancia debido a su extensión, para la recarga de mantos acuíferos por medio de sus cuencas hidrológicas, por lo que son características.

***Bosque Tropical Caducifolio:*** Esta denominación se otorga a bosques propios de las regiones de clima cálido y dominado por especies arborescentes que pierden sus hojas durante la época seca del año alrededor de 6 meses. Cubre grandes extensiones ininterrumpidas desde el sur de Sonora y el suroeste de Chihuahua hasta Chiapas, se encuentra restringido a la vertiente occidental inferior de la Sierra Madre Occidental y en la parte del Golfo de México se aprecia un manchón al sur de Tamaulipas, comprendiendo una parte de La Huasteca. Este bosque se desarrolla entre los cero y 1500 msnm y en los declives del Golfo no sobrepasa los 800 msnm. La temperatura media anual oscila entre los 20 y 29° C, la mínima extrema alcanza los cero grados centígrados. La precipitación media anual varía de 600 a 1200 mm, variando de cinco a ocho meses secos acentuados entre Diciembre y Mayo, entre algunas de las especies más comunes se encuentran: *Bursera simaruba*, *Lysiloma divaricata*, *Phoebe tampicensis*, *Acacia coulteri*, *Beaucarnea inermis*, *Cedrela mexicana*, *Lysiloma acapulcensis* y *Pithecellobium flexicaule*.



**Bosque Espinoso:** Este tipo de vegetación está formada por una serie heterogénea de comunidades vegetales, que tienen en común la característica de ser bosques bajos y muchos de los árboles son espinosos, algunas de las comunidades vegetales que se pueden encontrar son: la selva baja espinosa caducifolia, selva baja espinosa caducifolia, selva baja subperennifolia y el mesquital desértico. El bosque espinoso ocupa amplias superficies de la planicie costera nororiental, en la zona conocida como “La Huasteca”, de Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz. Las altitudes alcanzan hasta los 2200 msnm, las temperaturas medias anuales varían de 17 a 29° C, la precipitación media anual varía de 350 a 1200 mm, con cinco a nueve meses secos. Los suelos característicos del bosque espinoso son planos o poco inclinados, se presenta también en algunos lomeríos y porciones inferiores de cerros, en consecuencia, la mayoría de estos suelos son profundos y ricos en materia orgánica. Algunas de las especies más frecuentes a encontrar son: *Pithecellobium flexicaule*, *P. Dulce*, *Prosopis* spp., *Acacia cymbispina*, *Cercidium sonora*, *Acacia greggii*, *Lysiloma divaricata*, *Coursetia glandulosa* y *Mimosa palmeri*.

**Zacatal:** Es la comunidad vegetal en la que predominan las gramíneas y por lo tanto constituyen el medio natural más propicio para el

aprovechamiento pecuario. El aprovechamiento en la mayoría de los zacatonales naturales en México no es adecuado debido a la falta de organización y manejo apropiado no permite obtener un máximo rendimiento. Las regiones de zacatales naturales en México se encuentran en forma de una angosta cuña, que corre sobre el altiplano a lo largo de la base de la Sierra Madre Occidental desde el noroeste de Chihuahua hasta el noroeste de Jalisco y zonas vecinas de Guanajuato, incluyendo el noreste de Sonora, estando presente también en pequeños manchones al norte de Coahuila, noreste de Tamaulipas y sur de Nuevo León. Los zacatales naturales se desarrollan de preferencia en suelos medianamente profundos, de reacción cercana a la neutralidad (pH seis a ocho) y en altitudes de 450 a 2500 msnm. Las temperaturas medias anuales oscilan de 12 a 20° C, las fluctuaciones estacionales y diurnas son relativamente pronunciadas, todos los años hay heladas y en las partes más altas ocurren nevadas con cierta frecuencia. La precipitación media anual es de 300 a 600 mm, con seis a nueve meses secos. Los zacatales son generalmente de altura media (20 a 70 cm). Algunas especies representativas del zacatal son: *Bouteloua*, *Tridens*, *Aristida*, *Stipa*, *Muhlenbergia*, *Scleropogon*, *Panicum*, *Enneapogon*, *Leptochloa*, *Heteropogon*, *Setaria*, *Buchloe*, además de aparecer arbustivas de los géneros: *Microrhamnus*, *Dasyilirion*, *Ephedra*, *Atriplex*, *Mahonia*,

*Koeberlinia, Franquenía, Acacias, Dalea, Eysenhardtia, Quercus, Juniperus, Pinus, Agave, Larrea, Opuntia, Euphorbia, y Fouquieria.*

**Matorral Xerófilo:** Cubre la mayor parte del territorio altiplanicie, desde Chihuahua y Coahuila hasta Jalisco, Guanajuato, Hidalgo y el Estado de México, además una parte de la planicie costera nororiental, desde el este de Coahuila hasta el centro de Tamaulipas, penetrando en la Sierra Madre Oriental. La altitud varía de cero a 3000 msnm. La temperatura media anual varía de 12 a 26° C, en general el clima es extremoso (promedio anual de oscilación diurna hasta 20° C). La precipitación media anual por lo general es inferior a los 700 mm, comprendiendo entre 100 y 400 mm, en promedio, el número de meses secos varía de siete a 12 en un año, pero es común que pasen hasta 18 meses sin lluvia. Los matorrales xerófilos se pueden encontrar en cualquier condición topográfica, el pH varía de seis a 8.5. La práctica más frecuente de los matorrales xerófilos es la ganadería, siendo las cabras los animales más comunes. Comprende principalmente los matorrales de *Larrea tridentata, Fluorensia cernua, Coldenia, Opuntia spp., Acacia spp., Agave spp., Yuca spp. y Prosopis glandulosa*, las gramíneas que se asocian a este tipo de vegetación pertenecen a los géneros *Bouteloua*,

*Arístida, Hilaria, Muhlenbergia, Tridens y Sporobolus y spp. Bouteloua, Larrea, Dasyilirion, Buchloe y Muhlenbergia spp.*

**Bosque de Quercus y Coníferas:** Los bosques de *Quercus* o encinares son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México, de hecho, junto con los bosques de *Pinus* o coníferas constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de áreas de clima templado, semihúmedo e incluso de clima caliente. A excepción de la Península de Yucatán, estas comunidades vegetales se presentan en todas las entidades federativas del país. En el norte de México, se encuentran en la Sierra Madre Occidental, un manchón en la sierra de Tamaulipas, ubicada en la planicie costera nororiental del Golfo de México, al igual que en muchas otras sierras y sierritas aisladas dentro de la gran zona árida del altiplano, sobre todo en el estado de Coahuila. En total, el área cubierta actualmente por estos bosques es del 20 por ciento del territorio nacional. Se halla en altitudes de cero a 4000 msnm, sin embargo, la mayoría de la masa forestal se desarrolla en altitudes de 1200 a 3000 msnm. Las temperaturas medias anuales se presentan de 10 a 26° C y entre 600 y 1200 mm de lluvia al año, por lo general son áreas afectadas por heladas muy severas todos los años y en ocasiones se presentan nevadas, el número de meses secos oscila de cero a nueve. Los suelos que predominan son los ácidos (pH cinco a siete) y pendientes

muy pronunciadas. Algunas de las especies más comunes son: *Quercus magnoliifolia*, *Quercus resinosa*, *Quercus urbanii*, *Quercus obtusata*, *Quercus mexicana*, *Quercus albocincta*, *Quercus tuberculata*, *Quercus fulva*, *Pinus lambertina*, *Pinus ponderosa*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus leiophylla*, *Pinus teocote*, *Pinus rudis* y *Pinus oaxacana*.

### **Factores que Determinan la Producción de Pastizales**

La producción de pasturas depende de varios factores como el clima, la naturaleza del suelo, composición botánica y estructura de la vegetación y el tipo e intensidad de manejo, así como el patrón de apacentamiento y capacidad de carga animal, fuego y fauna silvestre (incluyendo insectos y roedores) por mencionar algunos (Le Houerou y Hoste, 1977).

## **Clima**

Es aceptado que el clima es un factor determinante en la distribución de la vegetación, pero el clima como tal no solamente actúa sobre las plantas, sino que también actúa de una manera muy importante sobre la formación del suelo y su topografía, además, influye en la

**distribución de las especies animales y microorganismos e interfiere en los mecanismos de competencia. Siendo así que el tipo de suelo, la topografía o los factores bióticos pueden ser más determinantes en la distribución de la vegetación. Tal caso se presenta en las regiones cuyo clima es árido en donde pueden estar dos diferentes áreas en donde en una se presentan condiciones de suelo favorables en cuanto a topografía, profundidad y sustrato geológico y en la otra, aún estando contigua, que presente condiciones de suelo totalmente inversas a la anterior en que éste es somero y con abundante pedregosidad, en la primer área se encontrará mayor biomasa, número de especies y de formas biológicas que en la segunda (Rzedowski, 1978 ).**

Los efectos del clima varían con el componente del cultivo que se desee evaluar. Por lo tanto, los estudios clima-planta son más sencillos cuando se desea evaluar forrajes (acumulación vegetativa) que cuando el interés está en órganos de almacenamiento (granos). Sin embargo, es difícil separar los efectos del clima de aquellos, debido al suelo por su interrelación. En los últimos años los estudios clima-planta se han intensificado por dos razones: 1) el desarrollo de ambientes controlados y 2) disponibilidad de equipo de computación y programas como STELLA (Díaz *et al.* en prensa).

Los zacates de clima templado tienen una temperatura de crecimiento óptima de 20-25°C, el crecimiento disminuye a menos de 10°C y a 5°C la planta permanece saludable, si hay un amplio suministro de agua el crecimiento se reduce por encima de 25°C y cesa arriba de 30-35°C, los ecotipos del mediterráneo crecen más rápido que los del norte a altas temperaturas y tienden a la dormancia a bajas temperaturas (5°C), los tropicales en cambio, tienen un crecimiento máximo en un rango de 30-35°C y lento de 10-15°C, en los dos grupos hay una similitud en la respuesta a las temperaturas alternadas del día y la noche. En las festucas el crecimiento aumenta con las bajas temperaturas nocturnas debido a la temperatura del suelo y disminuye en las no-festucas (Cooper y Tainton, 1990).

La cantidad de nutrientes en el forraje se encuentran en su nivel más bajo cuando la planta está en latencia; la latencia en las plantas es forzada debido a las altas temperaturas presentadas durante el verano y que el tiempo es seco y a las bajas temperaturas del invierno (INCA Rural, 1984).

El proceso en donde se presenta un decremento de nutrientes en el forraje, debido a un aumento en la humedad en forma de lluvia, se conoce como lixiviación, según el INCA Rural (1984), esta es una razón de por qué es necesario complementar proteína en algunos años y en otros no. En los

pastizales áridos y semi áridos el grado de lixiviación varía con la cantidad de lluvia, en cambio, en los pastizales de regiones húmedas la lixiviación es mayor presentándose una cantidad de nutrimentos que satisfacen un mínimo de requerimientos de los animales. En resumen, se puede mencionar que el valor nutricional del forraje decrece con la madurez por el lavado e incremento del contenido de fibra cruda.

La producción primaria neta en el mundo es de suma importancia para el hombre, ya que captura la porción de energía solar que soporta la vida de todos los componentes de la biósfera. Una gran porción de alimento humano es proporcionado por la productividad de plantas vivas sobre el suelo, de la producción del suelo también se obtiene alguna sustancia simple para cualquier producción y fabricación, madera y algunos otros productos. La producción de vegetación es uno de los aspectos que mejor definen la capacidad de carga del planeta y su habilidad para soportar poblaciones humanas sobre bases a largo plazo. Los combustibles fósiles son acumulaciones de producciones primarias pasadas. El manto de vegetación protege la superficie del planeta de la erosión destructiva y esto provee una importante parte del contexto ambiental en el cual el hombre y sus sociedades se han desarrollado y en el cual el hombre se alimenta y vive. Esto es, para la productividad primaria y el crecimiento de las plantas, la creación de materia orgánica por medio de



fotosíntesis que es producida por el manto vegetativo, el cual debe ser mantenido por el hombre (Lieth, 1975).

La producción primaria neta de los pastizales varía dependiendo del total de lluvia anual y de su distribución por estaciones, se demostró una relación directa entre la disponibilidad de agua y la productividad de fitomasa aérea anual para desiertos y pastizales áridos y semiáridos en el suroeste de África, donde los rangos de precipitación media anual están entre 100 y 600 mm. En ciertas áreas geográficas, la India por ejemplo, una estación prolongada de sequía de nueve meses de duración restringe altamente la estación de crecimiento y por consecuencia la producción primaria neta anual total (Murphy, 1975).

El estudio de las relaciones entre la precipitación anual y la producción de los pastizales en el Mar Mediterráneo y las zonas tropicales de África muestran una estrecha correlación entre la producción promedio de los pastizales y la precipitación a lo largo de estas áreas geográficas. Conforme aumenta la precipitación, la producción neta es más alta, las regresiones desarrolladas muestran, en promedio, que cada milímetro de lluvia produce dos  $\text{kg ha}^{-1}$  de MS consumible (Le Houérou y Hoste, 1977).

El desarrollo planeado de los pastizal se basa en varios criterios, como el inventario del pastizal y valoración de la producción primaria de los pastizales y la producción estacional de los tipos de pastizales, esto se refiere a la disponibilidad de forraje, tierra, agua y el manejo que se les da a éstos, además de los problemas socioeconómicos sujetos a las grandes fluctuaciones en el espacio y tiempo. En todos los casos, debe evaluarse la capacidad de producción de la tierra tan preciso como sea posible, para reunir los requisitos del alimento de ganado y fauna a cualquier punto y en una base sostenida a largo plazo. En una base estacional y anual, la producción primaria varía grandemente dependiendo de las condiciones de tiempo locales, principalmente la lluvia y su distribución, además la variabilidad en ambos parámetros se relaciona directamente a la aridez en las zonas áridas y semiáridas del mundo. Los registros de la producción primaria en los pastizales áridos es bastante escasa fuera de los Estados Unidos, al contrario, los registros de lluvia está disponible en la mayoría de los países. La comprensión de las relaciones entre la lluvia y producción de los pastizales puede ser de gran ayuda para predecir la capacidad de producción del pastizal en grandes áreas en dónde los registros de producción primaria son escasos (Le Houérou *et al.*, 1988).

Quizás tantos como 100 investigadores de todo el mundo han intentado relacionar la producción del pastizal a la lluvia en una base anual o estacional. Mediante estudios se ha encontrado correlaciones muy significantes en las zonas áridas y semiáridas; varias ecuaciones de regresión han sido propuestas para estimar producción primaria o la capacidad de producción. La mayoría de esos estudios relacionó sin embargo a un sitio y un tipo de pastizal, o a un número muy limitado de sitios. Una excepción a esa regla es el estudio por Sneva y Hyder (1962) que incluye 13 sitios de Oregon, Idaho, y Utah.

Sneva y Hyder (1962) encontraron una correlación muy significativa ( $r = 0.88$ ) entre la proporción de rendimiento anual y el ambiente y la proporción de lluvia anual a la lluvia del medio. Le Houérou y Hoste (1977) encontraron una correlación muy significativa entre la lluvia anual y la producción anual del pastizal, con  $r = 0.90$  y  $0.89$  para la zona árida mediterránea y el Sahel de África, respectivamente.

La efectividad de la precipitación depende de la cantidad de agua que es almacenada en la parte del suelo que es ocupado por las raíces de las plantas y de la cantidad de agua que estas pueden absorber, pero a su vez esto se ve afectado por otros factores como: a) La distribución de las

**lluvias durante el año, debido a que lluvias cortas y muy intensas tienen muy baja eficiencia, ya que se pierde una muy importante cantidad de agua mediante los escurrimientos superficiales; b) Una topografía muy accidentada, pendiente muy pronunciada y microrelieve abrupto, podrían provocar que el agua de lluvia escurra con mayor intensidad afectando así la infiltración del agua y causará la erosión del suelo, siendo al contrario si se presentan una topografía, pendiente y microrelieve planos; c) Los suelos que presentan texturas gruesas podrán permitir con mayor facilidad la infiltración del agua; d) En las áreas del suelo que presentan una buena cubierta vegetal, se obtiene una mejor retención del agua de lluvia, reduciendo al máximo los escurrimientos y por consecuencia la erosión y e) La evaporación del agua dependerá principalmente de la temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, presión atmosférica y de la textura del suelo.**

El factor eficiencia del uso de la lluvia es el cociente de la producción primaria anual por la lluvia, por ejemplo los kilogramos de fitomasa aérea anual en MS producidos en una hectárea en un año por milímetro del total de lluvia recibida. Esto puede ser expresado en producción primaria neta sobre la superficie del suelo. Cuando todas las otras condiciones permanecen igual, la eficiencia del uso de la lluvia, tiende a disminuir cuando se incrementa la aridez

junto con la tasa de uso de la lluvia y el potencial de evapotranspiración se incrementa. Pero esto, es altamente dependiente de la condición del suelo y más que otra cosa de la condición de la vegetación, particularmente de su estado dinámico. La eficiencia en el uso de la lluvia parece ser un indicador válido y útil para la condición y productividad de los pastizales.

Las actuales eficiencias del uso de la lluvia de las zonas áridas del mundo pueden variar desde 0.5 en ecosistemas sub-desérticos, hasta 10.0 en ecosistemas altamente productivos y con manejos adecuados. Razonablemente un buen manejo en zonas áridas y semi áridas se encuentra usualmente entre 3.0 y 6.0 todos con límites biológicos y lugares fertilizados ligeramente. Mientras que en sitios de investigación los valores se encuentran alrededor de 30.0. El estudio de las relaciones entre la precipitación anual y la vegetación natural, la producción primaria en particular, es más justificada en zonas áridas, ya que la eficiencia en el uso de la lluvia muestra ser inversa en su relación con la aridez, por lo que la porción de lluvias ineficientes se incrementa (Le Houérou, 1984).

**Por otro lado, la variabilidad de lluvia también aumenta con la aridez. De hecho el efecto de aridez en la eficiencia en el uso de la lluvia puede ser totalmente escondido por las diferencias en la condición de la vegetación. Un pastizal en condición pobre puede mostrar una eficiencia**

en el uso de lluvia más baja al presentarse una precipitación más alta que en otro pastizal en condición buena presentándosele un nivel más bajo de lluvia.

La medida exacta de producción primaria es una tarea muy compleja y difícil. Hay diferencias muy sustanciales según el método que se use y cada investigador usa un método en particular que él encuentra más conveniente para sus objetivos y medios. Obviamente la productividad depende de la altura de corte, pero Lorenz, (1970) ha demostrado esa diferencia al cortar de dos a cinco cm sobre el suelo, puede producir diferencias considerables en el rendimiento (más del 300 por ciento). Es más, el tiempo y las frecuencias de defoliación también afectan considerablemente el rebrote de la producción total.

Además, la diferencia entre la cosecha máxima del lugar y la producción primaria neta aérea puede ser de 25 a 30 por ciento o incluso mucho más. Los valores correctos se obtienen obviamente de la producción primaria neta aérea; pero los métodos son tediosos, ya que implica desde la medida a los intervalos bastante frecuentes de incrementos acumulativos de cada especie durante la estación de crecimiento y las diferentes especies presentan, a menudo, un

crecimiento estacional diferente en una comunidad dada. En muchos de los casos, la producción de los arbustos y árboles no se ha considerado. Pero esto puede, sin embargo, representar una parte importante de la producción primaria, particularmente en las sabanas y chaparrales; en el Sahel, por ejemplo, se ha estimado que los arbustos y árboles representaron un 30 por ciento de la producción primaria (Le Houérou, 1980). Pero en estas estimaciones es imposible evitar un error cuando el procedimiento aún no se ha estandarizado. Pero, existe un acuerdo general entre investigadores en que (considerando el tipo y la intensidad de manejo) la eficiencia en el uso de la lluvia aumenta con la lluvia hasta un cierto punto en donde nutrientes o agua pueden volverse un factor limitante. El factor de eficacia en el uso de lluvia normalmente presenta un valor de 1.0 a 6.0 en la vegetación natural árida y semiárida. Estos resultados corresponden a una producción primaria neta de 100-2000 kg ha año<sup>-1</sup>.

La eficiencia en el uso de la lluvia depende en gran magnitud de la condición del suelo: esencialmente la permeabilidad, textura, profundidad, capacidad de almacenamiento de agua, y estado de fertilidad. Las eficiencias en el uso de la lluvia más altas se encuentran en tierras que son capaces de retener la mayoría del agua de las lluvias escasas y de posteriormente soltarla a

las plantas, es decir aquellas que son capaces de soportar los efectos de la aridez climática o sequía (Le Houérou, 1960).

## **Manejo del Pastoreo**

**El objetivo principal en el manejo de los pastizales, es obtener la máxima producción animal sostenida a largo plazo procurando la conservación y el mejoramiento de los recursos naturales presentes. Para lograr este objetivo, uno de los principales factores a manejar es la carga animal, la cual se refiere a la cantidad de unidades animal año (UAA) que apacentan en una superficie conocida a través de un período de tiempo conocido, esto se expresa como hectáreas (ha) por unidades animal año (UAA), unidades animal mes (UAM) y unidades animal día (UAD).**

La mayoría de las recomendaciones de alimentación para el ganado vacuno admiten que un bovino, con un peso de 500 kg consume alrededor de 13 kg de materia seca (2.6 por ciento de su peso vivo) y que esta cantidad le sacia (Voisin, 1974).



Sin embargo, es preciso tener en cuenta el valor nutritivo del pastizal ya que este cambia de acuerdo a la etapa fenológica del forraje; en general la proteína, minerales, la grasa, el caroteno y el contenido de humedad, decrecen con la madurez. Por lo que es necesario dar seguimiento al valor nutritivo del forraje consumido por el ganado, a fin de proveer complementos alimenticios para remediar las posibles deficiencias en la dieta (INCA Rural, 1984).

**Una visión muy generalizada es que el ganadero típico considera que su ocupación primordial es el animal y no el pastizal. El no dedicar la atención debida a la producción y manejo de pastizales ha afectado adversamente la productividad ganadera. La realidad es que estas dos actividades están íntimamente relacionadas por lo que el ganadero debe ser también un productor eficiente de forrajes.**

**El apacentamiento exitoso depende del conocimiento de cómo crecen las plantas forrajeras, es decir, si se manejan cuidadosamente el proceso de defoliación de los zacates, por el ganado, es factible mejorar su utilización obteniendo mayores rendimientos de carne.**

**Cuando una pradera es apacentada intensivamente por una largo período de tiempo, hay grandes cambios en el comportamiento de**

**apacentamiento, calidad del forraje seleccionado, consumo y producción. Con un apacentamiento rotacional de forrajes templados inmaduros, el consumo máximo se logra cuando las vacas se retiran al quedar de ocho a 10 cm de altura del rastrojo, pero si ellas son forzadas a apacentar abajo de cinco cm de la altura del forraje el consumo decrece en un 10 a 15 por ciento (Ernest *et al.*, 1980).**

La mayoría de los especialistas en pastizales de Sahel consideran que puede consumirse sólo del 30 a 40 por ciento de la producción primaria total durante la estación seca y 60 a 80 por ciento durante la estación lluviosa (Le Houérou y Hoste, 1977).

### **Estudios de COTECOCA**

**A partir de la década de los 60's fue creada la Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA), dependiente de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, encargada de determinar los coeficientes de agostadero en cada uno de los sitios de pastizal que existen en la República Mexicana.**

**Dichos coeficientes de agostadero se calcularon para todas las condiciones, tomando como base los procedimientos técnicos descritos en las metodologías elaboradas por la misma Comisión y corroborados con procedimientos electrónicos hechos por computadora (COTECOCA, 1967); posteriormente, estos coeficientes de agostadero fueron debidamente revisados y aprobados por ingenieros agrónomos y asesores de la Comisión, pertenecientes a otras instituciones de investigación y enseñanza.**

Las características fundamentales que se tomaron en cuenta para la realización de los trabajos de campo para determinar las diferentes producciones de forraje existentes en cada uno de los sitios de pastizal fueron: clima, suelo y vegetación principalmente; pero se complementó con datos de geomorfología, geología, hidrología, fenología vegetal y fisiología animal (COTECOCA, 1973).

## **Modelos de Simulación**

La aplicación de procedimientos de análisis de sistemas a la ecología ha venido a conocerse como ecología de sistemas (Odum, 1972). Este autor

definió a la ecología de sistemas como la nueva ecología que trata con la estructura y función de niveles de organización.

**Van Dyne (1965) señala que la ecología de sistemas se aproxima a la ecología de comunidades y que los términos sistemas y ecología implican un punto de vista holístico. En este contexto, los conceptos parciales como clima, vegetación, suelo, ambiente y comunidad dejaron de tener el valor primitivo que se les asignaba con un criterio analítico. Para que expresen su real valor deben ser considerados con criterio de ecosistemas. Esto significa estudiar sistemáticamente el holismo que se encuentra implicado en los problemas ecosistémicos (Gastó, 1979).**

**Una de las herramientas mas utilizadas en la ecología de sistemas es el modelado – simulación. La simulación puede ser definida como el arte de construir modelos y el estudio de sus propiedades con referencia a aquellas del sistema que representan. La simulación abarca dos operaciones, la primera es la síntesis de un modelo que representa adecuadamente al sistema que se estudia y la segunda operación consiste en un examen del comportamiento del modelo. Un modelo de simulación es por lo tanto una metodología experimental y aplicada que busca: a) describir el comportamiento del sistema, b) construir hipótesis o teorías**

**que expliquen el comportamiento observado y c) usar estas teorías para predecir el comportamiento futuro del efecto que se producirá con los cambios en el sistema o en su modelo de operación (Quiroz *et al.*, 1989).**

El clima, la naturaleza del suelo, composición botánica y estructura de la vegetación pueden limitar la producción de biomasa, por lo que deben de integrarse todos en un solo modelo matemático. Tal modelo haría posible evaluar el rendimiento potencial al apacentar las tierras y los efectos de sus rendimientos al modificar uno o varios factores. Los datos están siendo reunidos para construir tales modelos (Le Houérou y Hoste, 1977).

**Charles *et al.* (1986) plantean que la predicción de eventos o procesos en seres vivos, es más compleja que la predicción de fenómenos físicos o químicos aislados y que debido a su complejidad se precisa del uso de las matemáticas como herramienta DESCRIPTIVA, ANALÍTICA Y DE SÍNTESIS. Estos autores señalan que es preferible dividir el fenómeno en partes (sub-modelos) para posteriormente integrarlos.**

**Whisler *et al.* (1986) presentan una amplia revisión sobre modelos de simulación para cultivos. Es notorio el mayor desarrollo de este tipo de**

trabajos en cultivos agrícolas en comparación con praderas y aún mas con pastizales.

Existen modelos de predicción de crecimiento basados en variables fisiológicas como fotosíntesis, nutrientes absorbidos, respiración, utilización de la luz, etc. Aún y cuando este tipo de modelos predicen el crecimiento de la planta, su uso en la práctica a nivel campo se hace casi imposible debido a lo sofisticado en las estimaciones de las variables involucradas en el modelo.

#### **Modelos para Pastizales y Praderas**

**Algunos de los modelos más utilizados:**

*PHYGROW* (TAMU/Stuth y Hamilton). Modelo de producción de forraje e hidrología. Este modelo dispone de subsistemas como comunidad vegetal, población de herbívoros y subsistema de hidrología del suelo.

*SIGNIWA* (Simulation of grass growth, nitrogen, water and phosphorous cycling/ Lianhai Wu). Se da énfasis al crecimiento y al ciclo

del nitrógeno a nivel de campo. El proceso incluye fotosíntesis, respiración, traslocación de fotosintatos a hojas, tallo y raíz. Muerte de hojas y digestibilidad del forraje para decidir las fechas de corte y número anual de cortes.

**BLUEGRAMA.** Simula la dinámica interestacional de biomasa de *B. gracilis* como resultado del potencial de agua en el suelo, la radiación solar y la temperatura a nivel de suelo y del dosel. Predice el crecimiento de primavera, la fotosíntesis neta, respiración foliar y de raíz y corona, la traslocación de carbohidratos a las hojas, tallos y coronas, la mortalidad de la planta y la caída de material senescente.

**EPIC** (Erosion-productivity impact calculator / Williams, Dyke, Jones). Modelo de simulación mecanístico útil para examinar los efectos a largo plazo de la erosión sobre la producción de cultivos. Es del dominio público y se ha utilizado en mas de 60 países. Incluye aspectos de hidrológia, tiempo atmosférico, erosión, nutrientes del suelo, modelo de crecimiento del cultivo, cosecha, manejo (drenaje, riego, fertilización, apacentamiento, etc.).

**GEM\_1** (Grassland ecosystem model) .Se originó como parte del modelo ELM y contiene componentes como el agua, plantas y su

descomposición. Las variables controladoras incluyen la precipitación diaria, las temperaturas máxima y mínima semanales, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura mensual del suelo. Las variables de estado incluyen niveles de nitratos en suelo.

**GLA (Grazing lands applications).** Este modelo utiliza los datos de clima diarios para producir crecimiento en la vegetación y analiza los efectos de apacentar con bovinos y fauna silvestre. Requiere información sobre el número y composición de las plantas y animales dentro de las áreas de apacentamiento. Las respuestas del modelo incluyen la capacidad forrajera del sitio, mezcla óptima de fauna silvestre-ganado, balance forrajero, calendario de apacentamiento, análisis de inversión, balance de proteína cruda y energía neta del forraje.

## **SESS**

Díaz *et al.* (en prensa) elaboraron un modelo de simulación simple (SESS) para las dinámicas de crecimiento del forraje y cultivo en pie y para la producción ganadera, evaluando la sustentabilidad ecológica de las opciones de manejo para sistemas de producción extensivos vaca-becerro en el noreste de México y Sur de Texas. El modelo estima la



producción primaria neta anual basado en la condición del pastizal, la precipitación anual y las características del suelo típicas de la región. Las simulaciones se llevaron a cabo para los niveles de precipitación anual de 300, 500 y 700 mm para estimar las dinámicas del cultivo en pie en verde y total, la eficiencia del apacentamiento del ganado y las tendencias de la condición del pastizal para las diferentes cargas. Las cargas estimadas como sustentables por el modelo para áreas con precipitación media anual de 300, 500 y 700 mm respectivamente resultaron en: 58, 15 y seis ha UAA<sup>-1</sup>. Con el modelo parametrizado para precipitación y características de suelo combinado con la capacidad de carga recomendadas por COTECOCA (1979), se llevaron a cabo simulaciones para 20 años para tres grupos de sitios de pastizal en Coahuila, México (precipitación anual 1: 270 mm, 2: 351 mm y 3: 467 mm). Las tendencias de la condición corporal y la condición del pastizal para 5, 10, 15 y 20 años fueron similares dentro de cada grupo. Las capacidades de carga recomendadas por COTECOCA fueron altas para la sustentabilidad en los grupos de sitios del pastizal con 270 y 351 mm de precipitación anual. Las probabilidades simuladas para las tasas de preñez en las diferentes capacidades de carga para los tres grupos indican que las cargas recomendadas por COTECOCA son altas para alcanzar tasas de preñez  $\geq 80\%$  en 8 de cada 10 años sin complementación.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

##### **Evaluación de SESS con la Información Reportada por COTECOCA**

### **Producción de Forraje Utilizable**

En la Figura 1 se puede observar la relación entre la precipitación y la Producción de Forraje Utilizable ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) estimada por el modelo y la reportada por COTECOCA. El modelo sobreestima la disponibilidad de forraje utilizable con altas precipitaciones. Sin embargo, SESS funcionó correctamente con precipitaciones por debajo de los 700 mm. La sobreestimación de la producción de forraje por el modelo ocurre de los 600 a 1300 mm de lluvia por

lo que se supone que el porcentaje de forraje utilizable de la PPNA no corresponda al 25%. El 25% funcionó para el Estado de Coahuila que tiene precipitaciones de 250 a 600 mm (Díaz *et al*, en prensa).

## **Utilización de la PPNA**

**La Figura 2 muestra la Precipitación relacionada con la PPNA y el porcentaje de utilización de la misma. La relación de la PPNA calculada por el modelo y la precipitación, es positiva mientras que los porcentajes de utilización**

tienen una relación inversa con la PPNA, es decir, a mayor cantidad de PPNA, menor es el porcentaje de utilización. En ambientes de 300, 500, 800 y 1200 mm se obtuvieron valores de PPNA de 1600, 2000, 6000 y 12000 Kg ha<sup>-1</sup>, y porcentajes de utilización promedio de la PPNA de 36.1, 12.7, 7.0 y 5.0% respectivamente. Le Houérou *et al.*, (1988) mencionan que en los pastizales de zonas semiáridas, la producción primaria esta altamente relacionada con la cantidad de precipitación presente, sin embargo existe una gran variabilidad en esta última con relación a la precipitación.

El mayor porcentaje de utilización de la PPNA se obtuvo en los sitios en donde la precipitación es menor y una gran cantidad de la vegetación debe ser forraje (zacatales) y el porcentaje de utilización de la PPNA es menor en los sitios en donde la precipitación es mayor y la vegetación corresponde a selvas y gran parte de la PPNA es madera y forraje inaccesible para el ganado. Los animales seleccionan las plantas o partes de las plantas que van a proporcionarles los nutrientes necesarios que cubran los requerimientos de producción (Vallentine, 2001), es por ello que en sitios de menos producción primaria es mayor la utilización comparándolos con sitios de características opuestas.

## **Evaluación de SESS por Áreas de Diferente Precipitación**

Biomasa Aérea Total (TSC) y Verde (GSC)

La Figura 3 presenta la producción de biomasa total (a) y verde (b) al transcurrir el tercer año simulado. El incremento en la producción de biomasa total comienza en Mayo y alcanzó su máximo en los meses de Octubre y Noviembre, posteriormente disminuye hasta Abril y Mayo. La biomasa verde alcanza su máximo nivel en Octubre, pero muestra una presencia muy escasa de Enero a Abril. El grupo de sitios de mayor precipitación tiene mayores producciones de forraje total y verde. Los ambientes con precipitación de 284, 499, 687 y 961 mm tienen un valor máximo de biomasa total presente de 685, 2150, 4246 y 8000 Kg MS ha<sup>-1</sup>, en el mes de octubre respectivamente. SESS asume que la estacionalidad del crecimiento es igual en todos los años y esto produjo la semejanza de la TSC y GSC en los diferentes precipitaciones. Para acercar el modelo a la realidad se puede aleatorizar la estacionalidad del crecimiento de la vegetación. El crecimiento de las plantas esta en función del agua que

reciben, es por ello entonces que depende de la estacionalidad de las lluvias, por lo que las estaciones de crecimiento dependen de la temporada en la que se presenten las lluvias.

## **Condición del Pastizal y Condición Corporal**

La condición del pastizal estimada por SESS en los cuatro grupos de sitios de pastizal (Figura 4) muestran el mismo comportamiento que la condición corporal (Figura 5), ambas variables fueron calculadas bajo los mismos parámetros de precipitación, características del suelo y carga animal recomendada por COTECOCA en condición buena del pastizal y en una época de empadre de Abril a Mayo. Dichas figuras muestran que la condición corporal de los animales esta en función del forraje que consumen, Holechek *et al.* (1989) mencionan que una condición del pastizal buena corresponde a lugares con zacates perennes y algunos arbustos; esta clase de pastizales proporcionarían a los animales el forraje necesario para una producción adecuada para tener una condición corporal aceptable, mientras que pastizales con condición pobre ( pocas plantas) proporcionarían condiciones corporales muy bajas.

Según el modelo la condición corporal de los animales a lo largo de un año tiende a ser menor en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, a partir de este tiempo aumenta porque es cuando se va a reflejar el aprovechamiento del forraje verde consumido; en los primeros meses del año la condición corporal decae debido a que los animales ya no consumen forraje de alta calidad. En la Figura 5 se muestra también que en los 2 grupos de mayor precipitación, la condición corporal aumenta con el tiempo al usar la carga recomendada por COTECOCA.

La condición corporal de los animales está determinada por el consumo de materia seca, la cantidad de energía que contenga el forraje y los requerimientos energéticos del animal, al incrementar la carga animal en un pastizal se reduce la cantidad de forraje disponible y por consecuencia la calidad de dieta, el consumo de materia seca y energía, por lo que los animales perderán condición corporal y el pastizal será deteriorado a causa de las altas cargas animal que son utilizadas, pero si se utilizan cargas de moderadas a ligeras, el pastizal se verá mejorado y por consecuencia los animales ganarán condición corporal al consumir una mejor dieta y mayor cantidad de materia seca y energía.

Los resultados del modelo para los 2 grupos de mayor precipitación se consideran más positivos de lo que observamos en el sistema real, y esto se debieron a que el modelo sobre estima la capacidad de los animales para incrementar su consumo total de forraje de buen valor nutritivo. La calibración de los parámetros Ks (selectividad) y Kh (cosechabilidad) debe ser el medio para ajustar el modelo.

## Probabilidad de Preñez

La Figura 6 muestra la relación entre la carga animal y la probabilidad de preñez. Las cargas animal moderadas recomendadas por COTECOCA para cada uno de los grupos de sitios de pastizal, se representa con la línea oscura dentro de la gráfica. Para alcanzar un porcentaje de preñez  $\geq 80$ , en los pastizales de 284 mm (Figura 6a) la probabilidad de preñez fue muy baja (0.20) y en los pastizales de 499 mm (Figura 6b) la probabilidad fue aceptable (0.65). En pastizales de 687 y 961 el modelo estimó probabilidades de preñez muy altas, que como se ha mencionado, se debió a la sobre estimación de forraje cosechable. Esto refuerza la idea de calibrar los parámetros Ks y Kh como el medio de obtener una versión de SESS que funcione en ambientes de hasta 1300 mm. En el Norte del país la producción ganadera esta en función de la cantidad de forraje disponible, la mayoría de los sistemas de producción estan enfocados a la producción de becerros es por ello que tener un modelo que realice predicciones sobre las probabilidades de preñez en el hato es de gran importancia, sobre todo si estas últimas estan en función de lo que comen los animales.



## **Calibración de SESS**

La calibración de un modelo implica cambios en su estructura o en la forma de las ecuaciones que lo componen para determinar las variables, dichos cambios contribuyen a mejorar los resultados que el modelo exponga al final, dependiendo de los aspectos que se puedan mejorar. Para facilitar la calibración de SESS en función de variables como precipitación y temperatura y considerando la variabilidad de las mismas en los cuatro estados del país escogidos para el estudio se procedió a formar homoclimas que permitieran englobar la variabilidad de los aspectos climáticos.

## **Homoclimas**

**Se obtuvieron 4 homoclimas con la información de las estaciones climatológicas del área de interés. Estos homoclimas no se basaron en la clasificación de Köppen debido a su complejidad y a que el objetivo de este trabajo es únicamente regionalizar cuatro diferentes índices de crecimiento de biomasa aérea. Para la formación de los homoclimas se utilizaron la precipitación y la temperatura por ser los factores climáticos que determinan mejor la producción primaria en los pastizales (Holechek et al. 1989).**

El homoclima 1 comprende sitios con altitudes mayores a los 1500 msnm, como la Sierra Madre Occidental al centro de Chihuahua y la Sierra Madre Oriental que corresponde a la sierra del municipio de Arteaga en el sureste de Coahuila, principalmente, y suroeste de Nuevo León, se considera Húmedo y Frío (HF) porque tiene precipitaciones de 600 mm al año y una temperatura media anual de 13.19°C. En este homoclima se encuentra el mayor contraste en el crecimiento de biomasa entre el verano y el invierno (crecimiento menos homogéneo). La proporción del crecimiento anual en el verano llega a ser de 0.35 mensual. El período de lluvias más fuerte y altas temperaturas se presenta del mes de Junio a Septiembre.

El homoclima 2 se localiza en lugares menores a los 900 msnm, como en las zonas citrícolas del centro y sur de Nuevo León y en el centro y sur de Tamaulipas, pero además existen pequeñas áreas al suroeste de Chihuahua, en donde comienza el altiplano. Se consideró como Húmedo y Caliente (HC), registra precipitaciones al año de 761 mm, la temperatura media anual alcanza los 22.1°C. Las lluvias, al igual que las temperaturas se distribuyen más uniformemente durante el año, presentando los más altos valores de Abril a Octubre. El GI que presenta este homoclima es el

mejor distribuido a lo largo del año, coincidiendo con los meses que presenta las lluvias más altas, excepto durante el mes de Julio, en donde la lluvia disminuye considerablemente respecto a los otros meses, este fenómeno se conoce como "Canícula" provocando que el GI disminuya durante este mes.

El homoclima 3 se consideró Seco y Templado (ST), la precipitación alcanza los 314 mm al año y la temperatura se registra en los 18.23°C. Cubre el centro, noreste de Chihuahua y noroeste de Coahuila, lugares típicos del llamado "Desierto Chihuahuense", además del sur de Nuevo León, que corresponde a la parte desértica de este estado, estas regiones presentan altitudes mayores a los 1000 msnm. Las lluvias se concentran durante los meses de Julio y Agosto y las temperaturas se mantienen por encima de los 20°C durante los meses de Mayo a Septiembre, las temperaturas no son tan extremosas como el homoclima HF. Su GI, se comporta similar al del homoclima HF, presentando el máximo índice en los meses de Julio y Agosto, pero se alarga un poco más hasta el mes de Septiembre. A pesar de que presenta un comportamiento similar al homoclima HF durante los meses de máximo crecimiento no alcanza los mismos niveles ya que la precipitación no es tan abundante como en el primer caso.















La Figura 10 representa la relación entre la carga animal y la condición del pastizal para el total de los grupos, con cargas muy pesadas la condición del pastizal tiende a deteriorarse para los cinco grupos, sin embargo, al utilizar cargas animales de moderadas a ligeras, la condición del pastizal tiende a mantenerse constante en condición Buena e incluso a mejorarse ligeramente, en cambio si se utilizan cargas animales muy ligeras la condición del pastizal se mejora considerablemente. A medida que aumenta la cantidad de lluvia en los grupos de sitios, la cantidad de hectáreas por unidad animal disminuye. Las capacidades de carga estimadas por SESS calibrado, coinciden con las recomendaciones de COTECOCA para ambientes similares y con las cargas animal utilizadas comercialmente. La carga animal es una de las principales herramientas en el manejo adecuado de los pastizales, porque de ésta depende la condición de lo mismos.

## **Condición Corporal**

**Si bien la condición corporal (Figura 11) de los animales varía durante un año, siendo la mas baja durante los meses de Junio, Julio y Agosto, debido al aprovechamiento de los forrajes disponibles durante los meses previos a estos, la condición corporal se mantiene constante al realizar simulaciones a lo largo de 5, 10, 15 y 20 años con cargas animales de moderadas a ligeras.**

Al utilizar cargas animales moderadas o ligeras, los pastizales no serán sobre utilizados, manteniendo una condición Buena o tendiendo a mejorarse, esto consecuentemente permitirá que exista una mayor disponibilidad de forraje y de mejor calidad para el ganado, por lo que la condición corporal se mantendrá constante a lo largo del tiempo y disminuya su desviación estándar en climas más benéficos o de mayor PPT, lo cual permitirá que el ganado sea aceptablemente productivo.

## **Probabilidad de Preñez**

Las gráficas de la Figura 12 muestran las probabilidades de preñez que se obtienen simulando bajo diferentes cargas animales en los cinco diferentes homoclimas, las cargas animales recomendadas por COTECOCA se representa con la línea obscura dentro de la gráfica.

Las tendencias de la condición del pastizal (RC), condición corporal (WBCS) y porcentaje de preñez, para los 5 escenarios, muestran que con una carga animal moderada es posible obtener una producción animal aceptable y la sustentabilidad ecológica del pastizal sin la necesidad de utilizar suplementos alimenticios.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados de producción arrojados por SESS original en comparación al sistema real, sugieren que se sobreestima la PFU y la capacidad de los animales para incrementar su consumo total de forraje de buen valor nutritivo en ambientes con más de 600 mm de lluvia anual.

**Los resultados de producción arrojados por SESSc coinciden con el sistema real del proceso de producción ganadera extensiva en ambientes cuya precipitación media anual es de 300 a 1300 mm.**

**SESSc hace posible el desarrollo de un sistema de aviso temprano de sequía mediante el monitoreo de la precipitación media acumulada mensualmente.**

**En sistemas de mucha complejidad, como lo es la producción animal extensiva, son necesarios los modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones, mantener la rentabilidad y sustentabilidad de la producción.**

**La gran cantidad de factores que intervienen en un sistema hacen necesario la aplicación de modelos de simulación para la medición cuantitativa y cualitativa de las posibles interacciones de los factores y sus efectos a un largo plazo.**

## **VI. RESUMEN**

**Los objetivos de este trabajo fueron evaluar SESS al comparar sus respuestas de forraje anual utilizable con los reportes de forraje anual utilizable de COTECOCA para los estados de Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas, discutir las posibles diferencias entre las respuestas del modelo y lo reportado por COTECOCA, calibrar el modelo para las condiciones de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, analizar y discutir las respuestas de capacidad de carga animal del modelo contrastadas con las del sistema real.**

**Para comparar SESS con el sistema real, se armó una base de datos con las variables: precipitación media anual (PPT), producción de forraje utilizable (PFU), pendiente y profundidad del suelo y la carga animal recomendada para cada sitio de pastizal en condición buena (CA ha UAA<sup>1</sup>), reportadas por COTECOCA para los estados de Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas; además se estimaron con el modelo las variables: Condición del Suelo (SC), Producción Primaria Neta Anual (PPNA), Eficiencia en el Uso de la Lluvia estimada por SESS (RUEM), Producción de Forraje Utilizable estimada por SESS (PFUM), por ciento de utilización de la Producción Primaria Neta Anual (% utilización PPNA). La**

comparación se realizó para la PFU reportada por COTECOCA y la calculada por SESS para cada sitio de pastizal de los tres

estados, considerando la PPNA y su grado de utilización. Para verificar si SESS arrojó resultados similares al sistema real, se formaron cuatro grupos con los sitios de pastizal de los tres estados y se obtuvieron los valores promedio de carga animal, condición del suelo y precipitación media anual, con los que se parametrizó SESS y se corrió 100 veces (repeticiones) con simulaciones de 20 años para estimar la Biomasa Aérea Total y Verde (TSC y GSC), la tendencia en la condición del pastizal (RC), la condición corporal de los animales (WBCS) y las probabilidades de preñez al 40 por ciento, 60 por ciento y 80 por ciento. Los resultados de producción arrojados por el modelo original en comparación al sistema real, sugieren que se sobreestima la PFU en ambientes con más de 600 mm de lluvia anual y la capacidad de los animales para incrementar su consumo total de forraje de buen valor nutritivo, ya que la condición del pastizal se mejoró al igual que la condición corporal de las vacas y las probabilidades de preñez fueron demasiado altas, aún utilizando cargas animales muy altas.

Una vez terminada la evaluación del modelo, se procedió a calibrar SESS ya que funcionaba bien sólo en ambientes de hasta a 700 mm al año. La calibración consistió en ampliar el rango del efecto de la utilización sobre el cambio en la condición del pastizal para niveles de



precipitación media anual de 300 a 1300 mm y se caracterizaron cuatro diferentes homoclimas mediante un análisis multivariado; primero se realizó un análisis de factores y posteriormente con los eigenvectores de ese análisis se formaron los homoclimas ubicándolos en un mapa de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas para determinar un índice de crecimiento del forraje (GI) en cada uno de ellos, por último se calcularon valores para las variables de SESS que determinan las restricciones en el consumo de materia seca total (Kh) y el consumo de forraje verde (Ks) para niveles de precipitación de 300 a 1300 mm y cada uno de los homoclimas.

Para evaluar el modelo calibrado (SESSc), se utilizaron escenarios con precipitación de 400, 800 y 1200 mm y se consideraron los homoclimas en los que se pueden encontrar estos niveles de precipitación. Se realizaron 100 simulaciones de 20 años para estimar la Biomasa Aérea Total y Verde (TSC y GSC), la tendencia en la condición del pastizal (RC), la condición corporal de los animales (WBCS) y las probabilidades de preñez al 40 por ciento, 60 por ciento y 80 por ciento, para las simulaciones se utilizaron las cargas animal recomendadas por COTECOCA y empleadas por ganaderos, la condición del suelo se mantuvo en 0, que indica un suelo de pendiente y profundidad regulares y

el empadre se mantuvo en abril, mayo y junio. Los resultados de producción arrojados por SESSc son similares a los obtenidos en ambientes del sistema real que presentan una precipitación media anual de 300 a 1300 mm, ya que la semejanza de las tendencias de condición corporal, tasas de preñez, y condición del pastizal en los ambientes simulados, sugiere que una producción animal aceptable y la sustentabilidad ecológica del pastizal se logran a la misma carga animal. La carga animal que produce una tasa de preñez aceptable, también promoverá un mejoramiento de la condición del pastizal.

## **VII. LITERATURA CITADA**

Charles E., D.A., D. Doley. and G.M. Rimmington 1986. Modeling plant growth and development. Academic Press.

**Cooper, J.P. and N.M. Tainton. 1990. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. J. Animal Science. 38: 168-176.**

COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero).1967. Metodología para determinar tipos Vegetativos, sitios y productividad de sitios. COTECOCA-SAG. Publicación No. 8 México, DF.

COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero). 1978. Coeficientes de Agostadero del Estado de Tamaulipas. COTECOCA-SAG. México.

COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero). 1968. Coeficientes de Agostadero del Estado de Chihuahua. COTECOCA-SAG. México.

COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero). 1973. Coeficientes de Agostadero del Estado de Nuevo León. COTECOCA-SAG. México.

COTECOCA, (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero). 1979. Coeficientes de agostadero del Estado de Coahuila. COTECOCA, SAG. México.

Dent, J. 1974. El análisis de sistemas de administración agrícola. Diana.

Díaz, S.H., M. M. Kothmann, W. T. Hamilton, W. E. Grant, (en prensa). A simple ecological sustainability simulator (SESS) for stocking rate management on semi-arid grazinglands. Agricultural Sistem. Texas.

Ernest, P., Y.L.P. Le Du and L. Carlier. 1980. Animal and sward production under rotational and continuous grazing management. A critical appraisal. In Prins W.H. and G.H. Arnold (Eds.) The role of nitrogen in intensive grassland production. Purdoc, Wageningen, The Netherlands.

Gastó C.,J. 1979. Ecología. El hombre y la transformación de la naturaleza. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. p.  
373

Holechek, J.L., R.D. Pieper, C.H. Herbel. 1989. Range management, principles and practices. Ed. Prentice Hall. U.S.A.

INCA Rural (Instituto Nacional de Capacitación Agropecuaria). 1984. Praderas y cultivos forrajeros. Segunda parte. INCA,  
AC. D.F. p. 6 y 7

Jeffers, J.N.R. 1978. An introduction to systems analysis: with ecological applications.

**Jiménez M.,A. 1989. La producción de forrajes en México. Editado por FIRA - UACH. México, D.F. p. 14, 42.**

Le Houérou, H. N. 1980. The rangelands of the Sahel. J. Range Manage. 33:41-46.

Le Houérou, H. N. 1984. Rain use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. Journal of Arid Environments. 7:213-  
247.

Le Houérou, H.N. 1960. Contribution á l'étude des sols du Sud Tunisien. Annales Agronomiques. 11: 241-309.

Le Houerou, H.N. and C.H. Hoste, 1977. titulo del artículo J. Range Manage 30(3): 181-188.

Le Houérou, H.N., R.L. Bingham, and W. Skerbek. 1988. Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. Journal of Arid Environments. 15:1-18.

Lieth, H. 1975. Primary production of the major vegetation units of the world. In: Primary Productivity of the Biosphere. Edited by Helmut Lieth and Robert H. Wittaker. Ed. Springer-Verlag. N.Y. Inc.

Lorenz, R. J. 1970. Response of mixed prairie vegetation to fertilization and harvest frequency. Ph.D. Dissertation. North Dakota University of Agriculture and Applied Sciences. Fargo, N.D. p. 135.

Murphy, P.G. 1975. Net primary productivity in tropical terrestrial ecosystems. In: Primary Productivity of the Biosphere. Edited by Helmut Lieth and Robert H. Wittaker. Ed. Springer-Verlag. N.Y. Inc. p. 203, 218.

Odum, P.O. 1972. Ecología. 3 Edición. Interamericana México.

Quiroz R.,B., B. Arce, R. Cañas y C. Aguilar 1989. Desarrollo y uso de modelos de simulación en la investigación de sistemas de producción animal. Informe. IX Reunión RISPAL. Zacatecas, México.

**Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México, D.F. p. 145-146.**

Sneva, F.A. and D.M. Hyder. 1962. Estimating herbage production on semi-arid ranges in the Intermountain Region. J. Range Manage. 15: 88-93.

**Stoddart, L.A., A.D. Smith and T.W. Box. 1975. Range Management. (3 ed.). McGraw-Hill Book Company. New York.**

**Torres R.,E. 1983. Agrometeorología. Editorial DIANA, S.A. México, D.F. p. 86 y 87.**

**Torres S.,S. 1986. Estímulos necesarios para el desarrollo de la ganadería de pastizales. En: Gutiérrez C.,J. (Ed.). Manejo de pastizales. Memorias del Segundo Congreso Nacional. Departamento de Recursos Naturales Renovables. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. p. 22-25.**

**Vallentine, J.F. 2001. Grazing management. 2 ed. Academic Press. California. p. 1-6.**

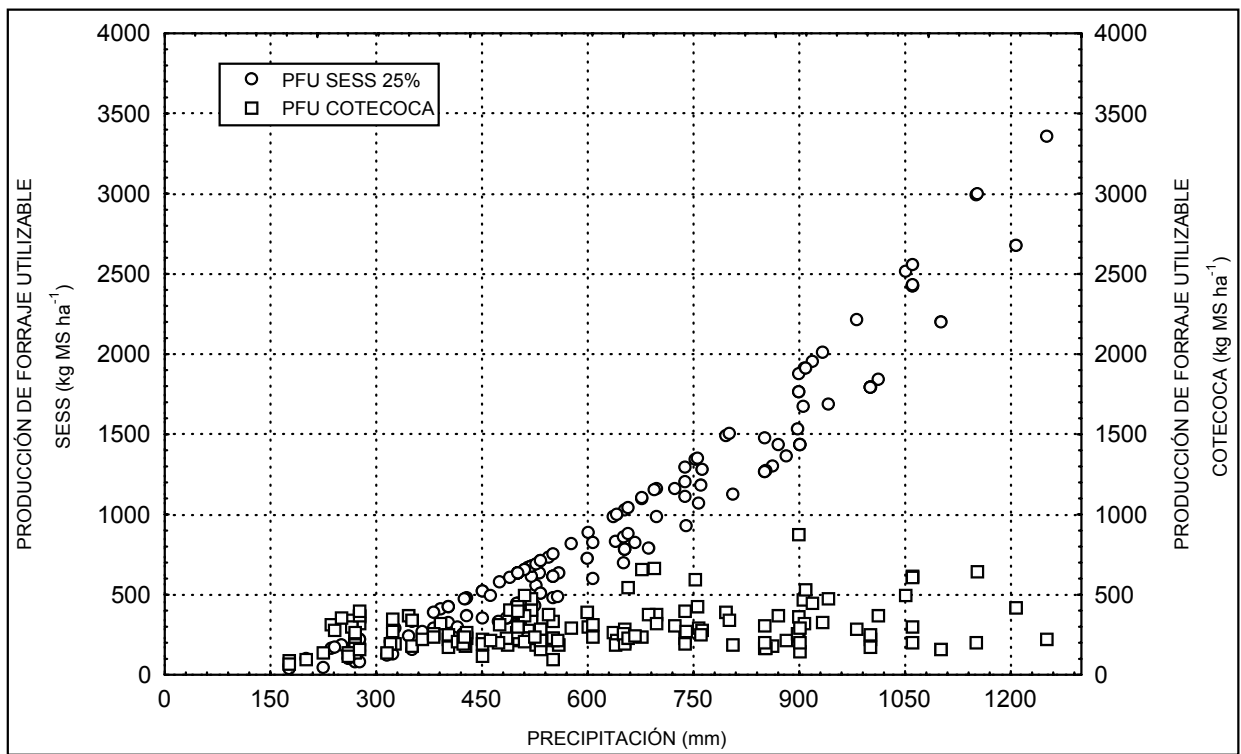
Van Dyne, G.M. 1965. Ecosystems, systems ecology, and systems ecologists. Radioecology and Institute. ORINS.

Voisin, A. 1974. Productividad de la hierba. Ed. Tecnos. Madrid España.

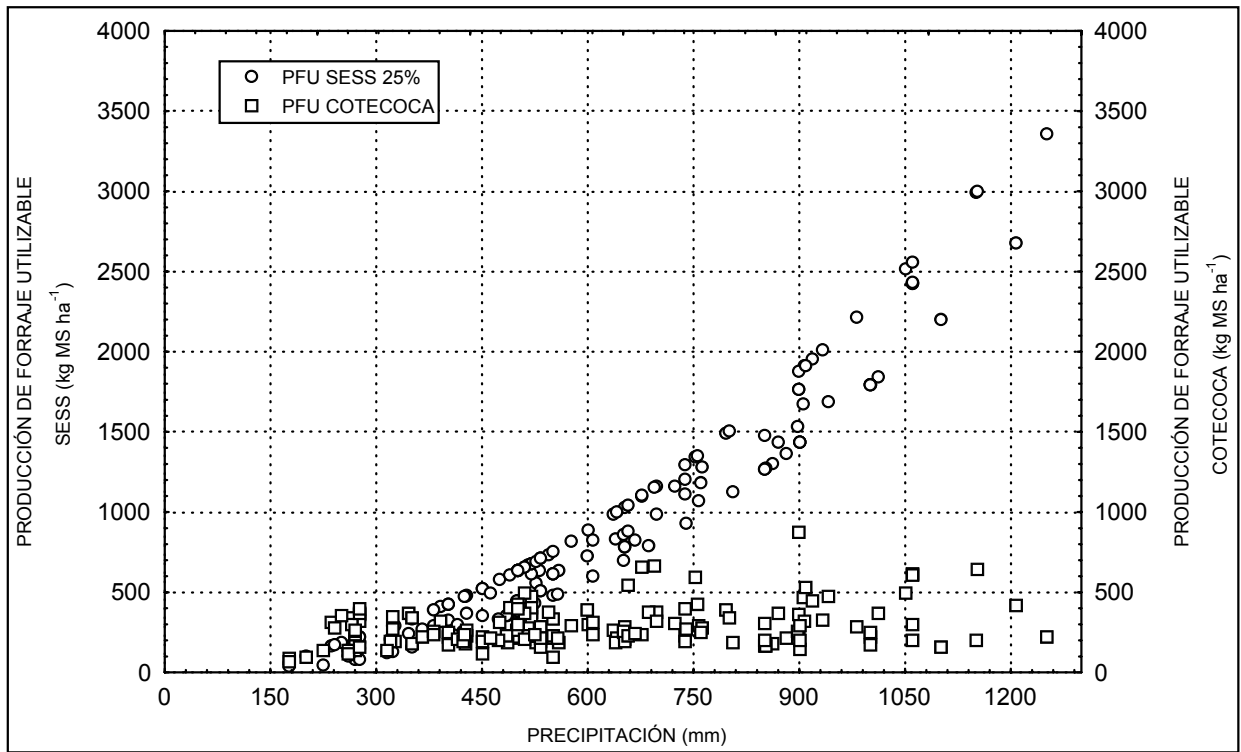
Whisler, F.D., B. Acock, D.N. Baker, , R.E. Fye, H.F. Hodges, J.R Lambert, H.E. Lemmon, , J.M. McKinion, and V.R Reddy. 1986. Crop simulation models in agronomic systems. Adv. In Agronomic. 40: 141-208.





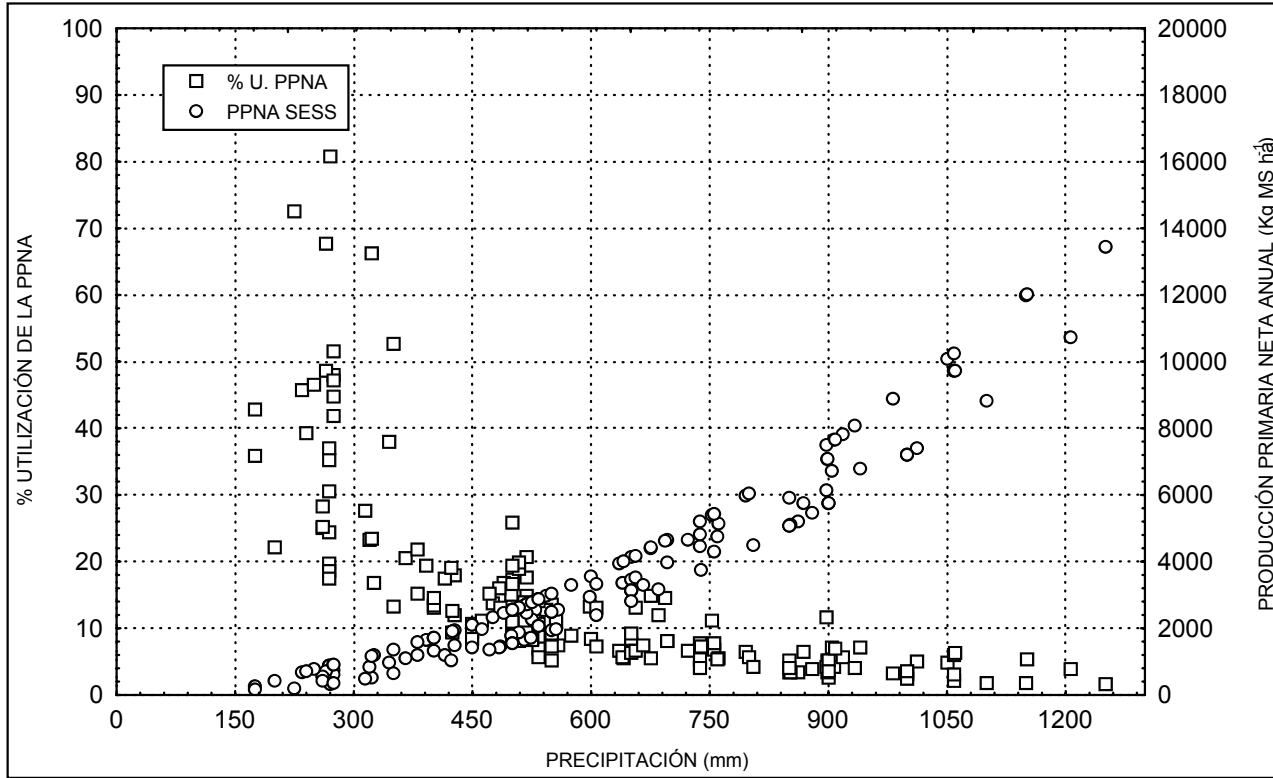


**Figura 1.** Comparación entre la Producción de Forraje Utilizable estimada por SESS y la Producción de Forraje Utilizable reportada por COTECOCA para sitios de pastizal con precipitaciones desde 175 mm hasta 1300 mm.



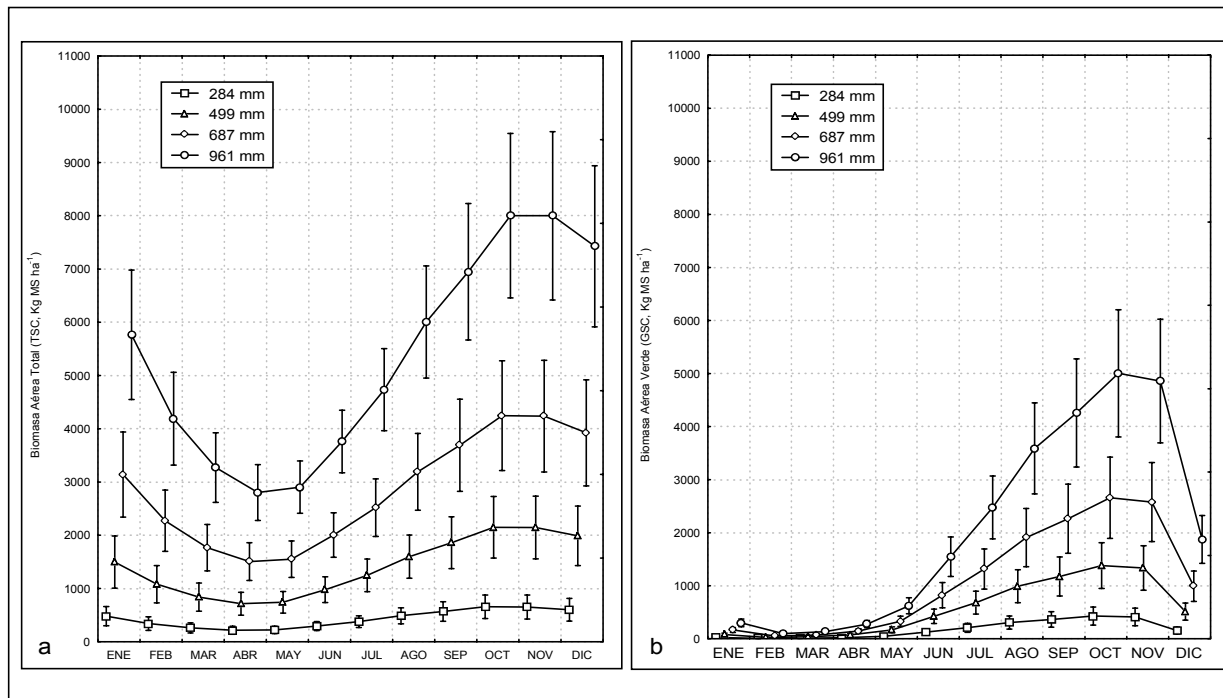
**Figura 1.** Comparación entre la Producción de Forraje Utilizable estimada por SESS y la Producción de Forraje Utilizable reportada por COTECOCA para sitios de pastizal con precipitaciones desde 175 mm hasta 1300 mm.





**Figura 2.** Comparación entre la Producción Primaria Neta Anual estimada por SESS y su Porcentaje de Utilización para los sitios de pastizal del norte de México con precipitaciones desde 175 mm hasta 1300 mm.

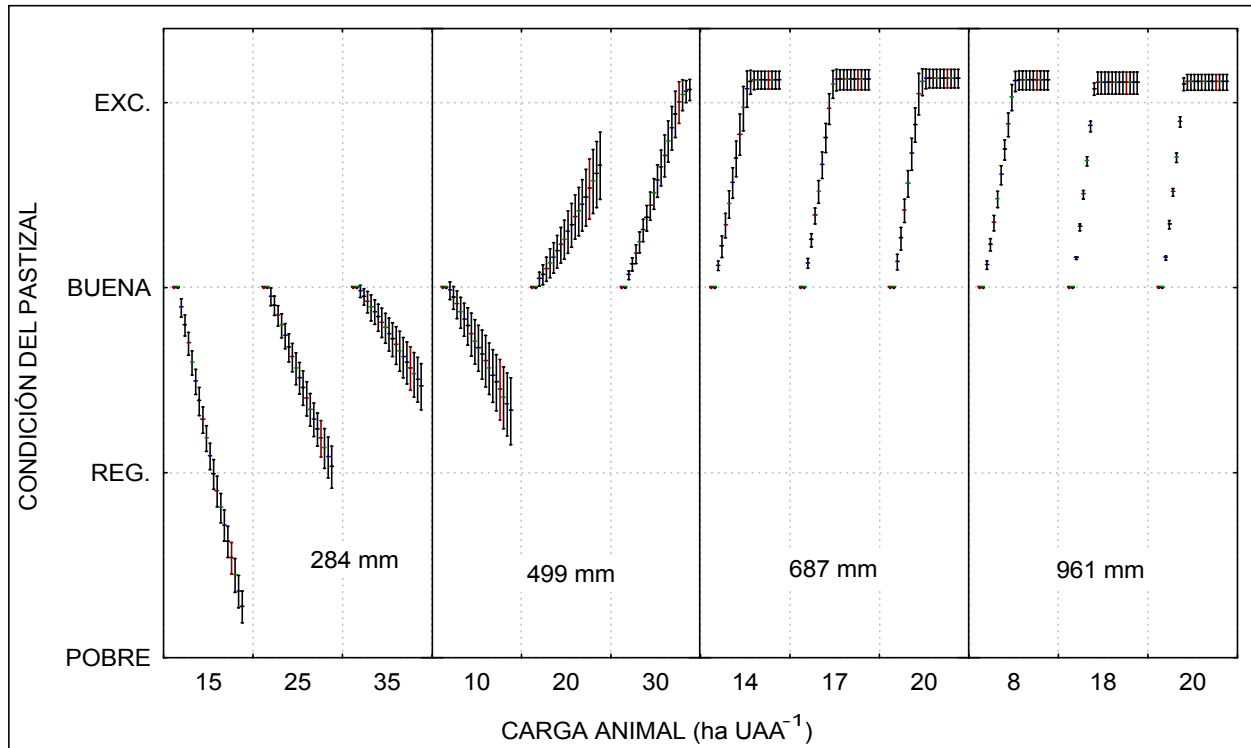




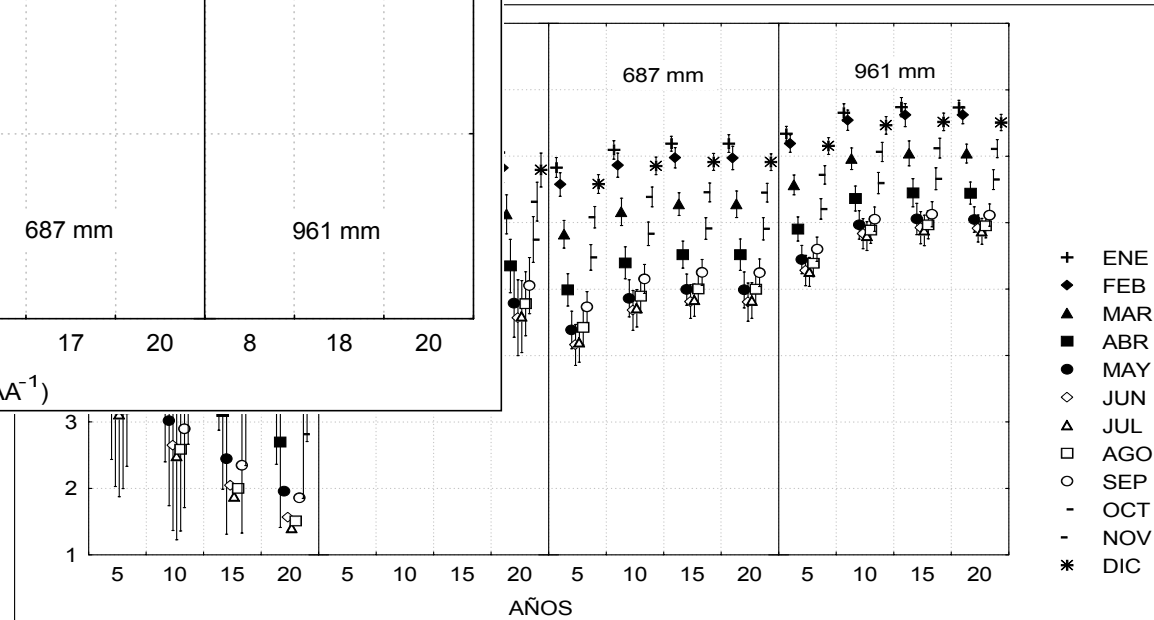
**Figura 3.** Dinámica mensual (media  $\pm$  ds; n=100) de (a) la producción de forraje total (TSC), y (b) la producción de forraje verde (GSC), simuladas bajo diferentes niveles de precipitación y carga animal moderada (condición del pastizal inicial = buena y SC = regular).





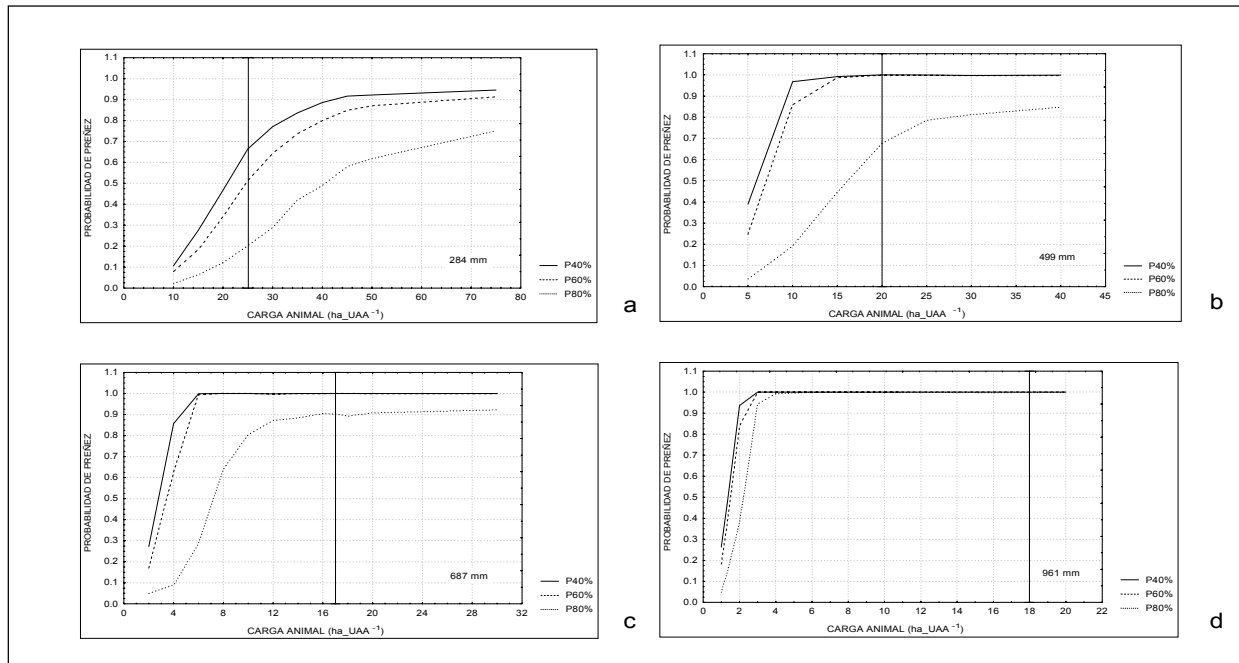


**Figura 4.** Cambios en la condición del pastizal (media  $\pm$  ds; n=100) durante 20 años simulados bajo diferentes niveles de precipitación y cargas animales ligeras y pesadas para cada grupo.



**Figura 5.** Cambios en la condición corporal del animal en un período de 20 años (media  $\pm$  ds; n=100) simulados bajo las cargas animales (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>) y características medias de los sitios de pastizal (características del suelo, SC:

precipitación media anual (mm), PPT) reportadas por COTECOCA para los pastizales en Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas.

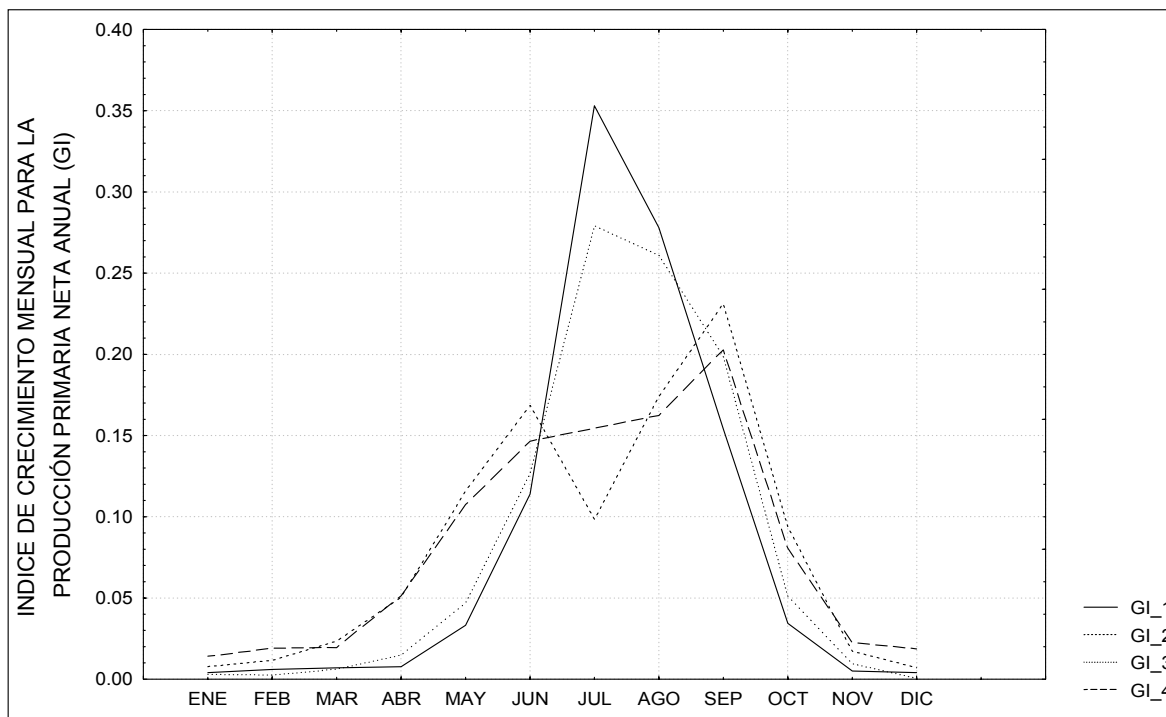


**Figura 6.** Probabilidades de preñez simuladas bajo diferentes cargas animales (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>) y características medias de los sitios de pastizal (características des suelo, SC: precipitación media anual (mm), PPT) reportadas por COTECOCA para los pastizales en Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas. Las probabilidades son basadas en 100 repeticiones durante 20 años simulados.

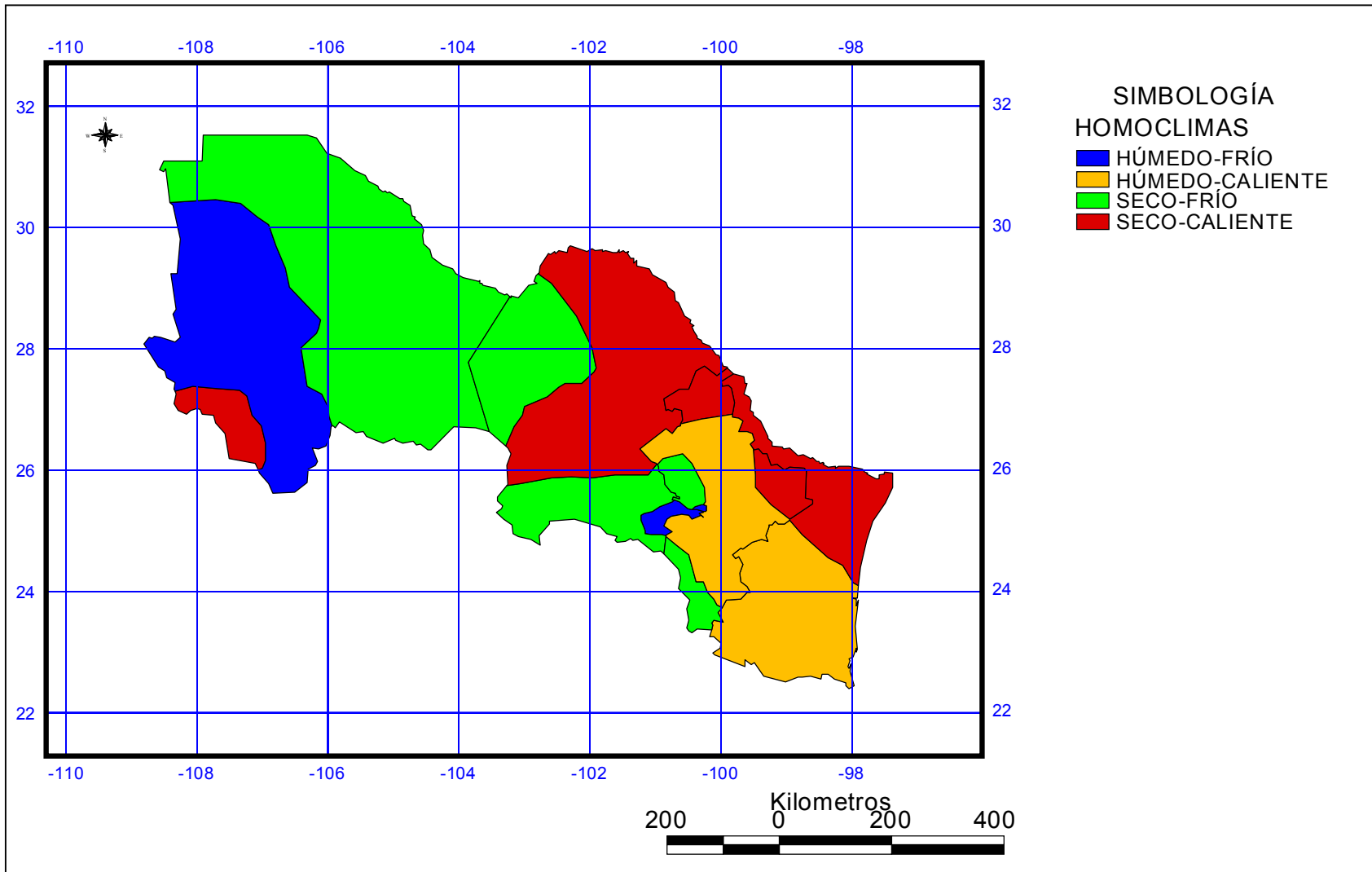
**Cuadro 3.** Resumen de las características climáticas de los homoclimas

	<b>HOMOCLIMA 1</b>			<b>HOMOCLIMA 2</b>			<b>HOMOCLIMA 3</b>			<b>HOMOCLIMA 4</b>		
<b>MES</b>	<b>PPT</b>	<b>TMM</b> °C	<b>GI 1</b>	<b>PPT</b>	<b>TMM</b> °C	<b>GI 2</b>	<b>PPT</b>	<b>TMM</b> °C	<b>GI 3</b>	<b>PPT</b>	<b>TMM</b> °C	<b>GI 4</b>
<b>ENE</b>	28.69	6.85	0.004	19.26	14.48	0.008	7.99	9.57	0.003	27.21	13.97	0.014
<b>FEB</b>	17.95	7.82	0.006	21.49	16.10	0.012	7.63	11.32	0.003	24.55	15.94	0.019
<b>MAR</b>	10.68	10.16	0.007	26.59	19.89	0.023	4.84	14.91	0.006	15.74	19.40	0.019
<b>ABR</b>	9.77	13.02	0.008	40.85	23.86	0.050	6.32	19.02	0.015	29.57	23.20	0.051
<b>MAY</b>	21.74	15.91	0.033	80.88	26.15	0.116	14.36	22.62	0.047	51.20	25.99	0.108
<b>JUN</b>	51.55	18.84	0.114	109.2 2	27.37	0.169	31.24	25.65	0.127	61.14	28.24	0.146
<b>JUL</b>	153.68	19.10	0.353	62.38	27.79	0.099	69.75	25.55	0.279	63.86	28.43	0.155
<b>AGO</b>	134.36	18.24	0.278	110.7 4	27.69	0.174	69.49	24.53	0.261	64.22	29.24	0.162
<b>SEP</b>	89.58	16.86	0.154	165.7 1	25.71	0.231	61.59	22.45	0.199	93.89	26.44	0.203
<b>OCT</b>	36.51	13.64	0.034	85.91	22.33	0.094	22.99	18.62	0.051	46.61	23.17	0.081
<b>NOV</b>	16.80	10.24	0.005	22.91	18.51	0.017	8.53	14.31	0.010	20.65	18.41	0.023
<b>DIC</b>	28.14	7.61	0.004	14.93	15.26	0.007	9.14	10.22	0.001	27.05	15.25	0.019
<b>ANUA</b>	600	13.19	1.00	761	22.10	1.00	314	18.23	1.00	526	22.31	1.00

<b>L</b>				
	HÚMEDO FRIO (HF)	HÚMEDO CALIENTE (HC)	SECO TEMPLADO (ST)	SECO CALIENTE (SC)



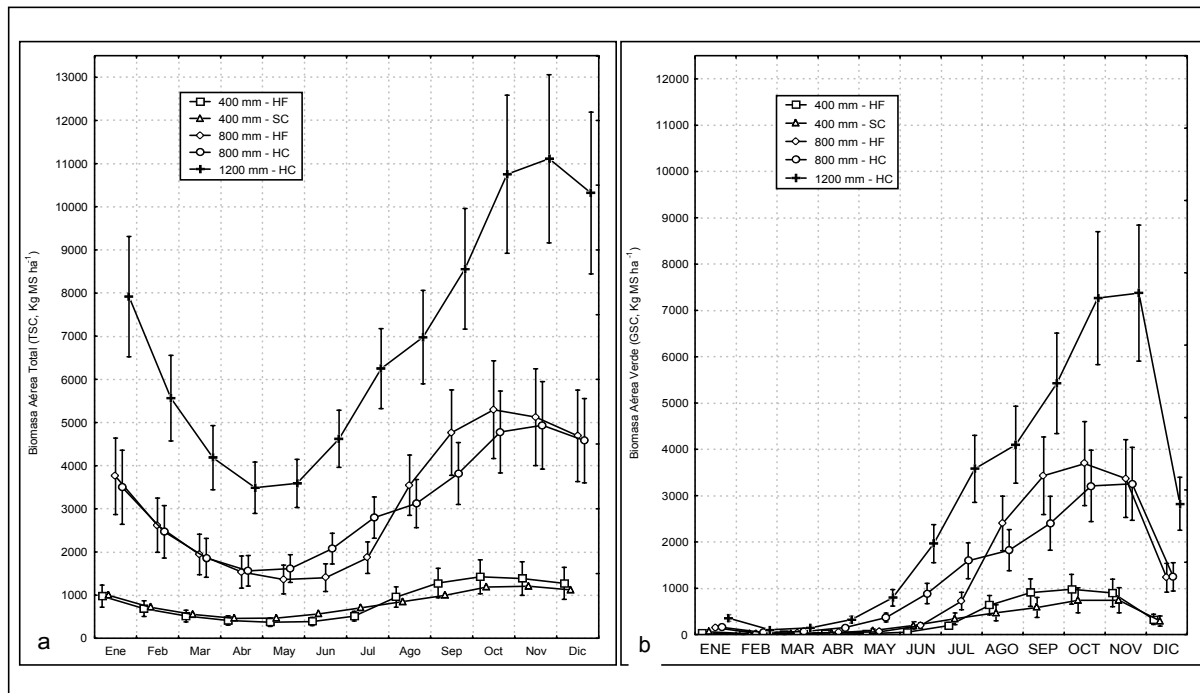
**Figura 7.** Índice de crecimiento mensual para la Producción Primaria Neta Anual, para cada uno de los homoclimas del norte de México.



**Figura 8.** Mapa que muestra la ubicación de los Homoclimas

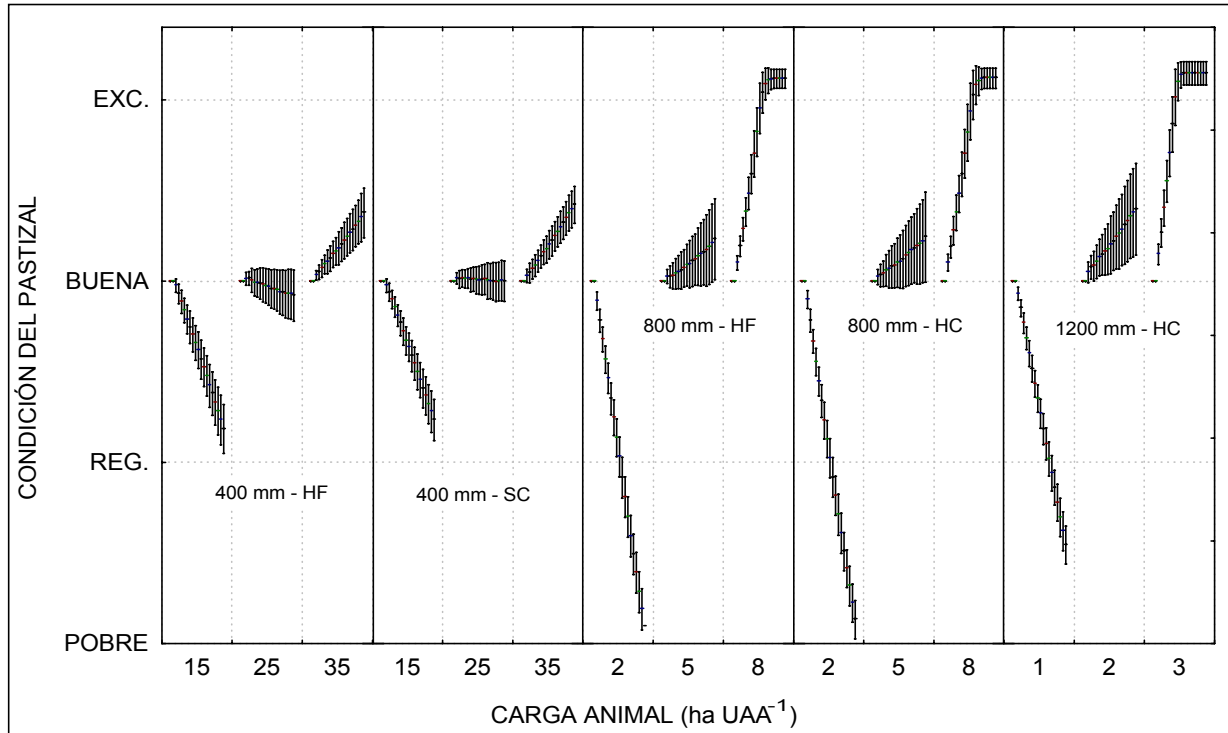






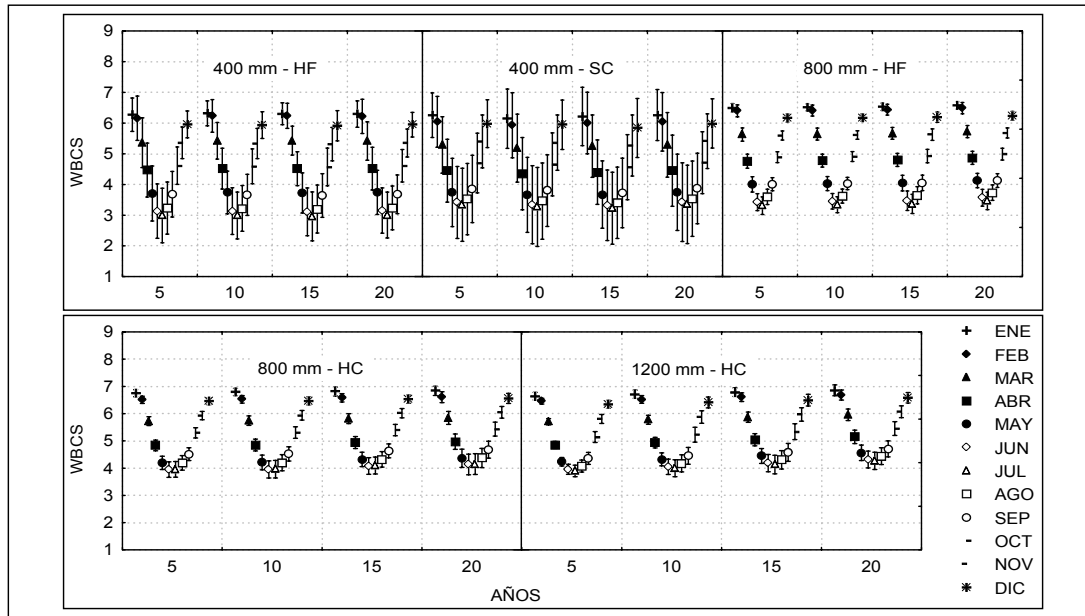
**Figura 9.** Dinámica mensual (media  $\pm$  ds; n=100) de (a) la producción de vegetación total (TSC), y (b) la producción de forraje verde (GSC), simuladas bajo diferentes niveles de precipitación, tipo de clima y carga animal moderada (condición del pastizal inicial = buena y SC = regular).



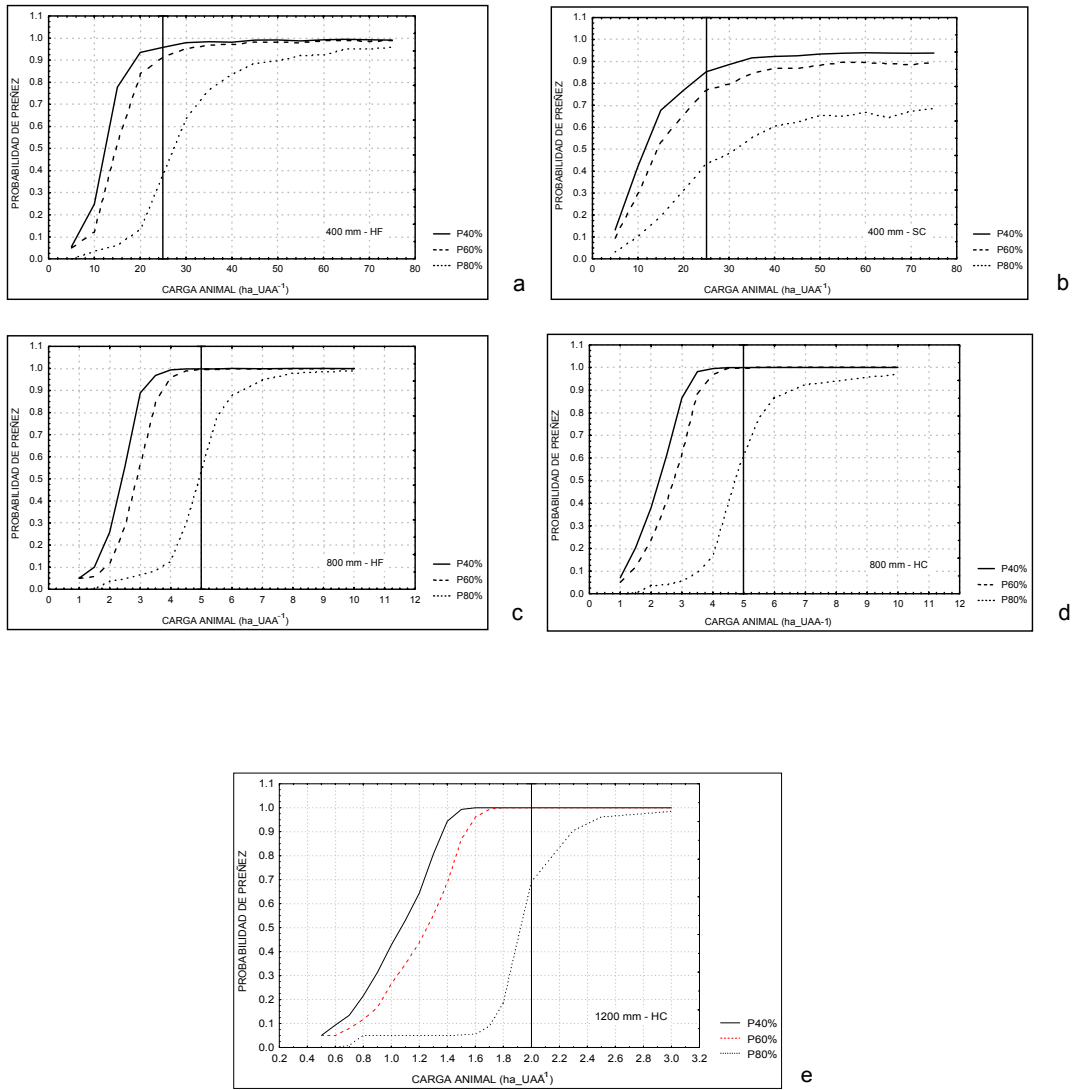


**Figura 10.** Cambios en la condición del pastizal (media  $\pm$  ds; n=100) durante 20 años simulados bajo diferentes niveles de precipitación y cargas animales ligeras y pesadas para cada grupo.





**Figura 11.** Cambios en la condición corporal del animal en un período de 20 años (media  $\pm$  DS; n=100) simulados bajo cargas animales moderadas recomendadas por COTECOCA (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>), SC = regular, condición de pastizal inicial = buena e inicio de empadre en Abril.



**Figura 12.** Probabilidades de preñez simuladas bajo diferentes cargas animal (C.A., ha UAA<sup>-1</sup>), SC = regular, condición de pastizal inicial = buena e inicio de empadre en Abril. Las probabilidades son basadas en 100 repeticiones durante 20 años simulados.

