

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



**Análisis de Datos climáticos y Aplicación de SESS en los Pastizales de la
cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato.**

Por:

JESÚS ELISEO RAMÍREZ POOT

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre del 2006

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

**Análisis de Datos climáticos y aplicación de SESS en los Pastizales de la
Cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato.**

POR:

JESÚS ELISEO RAMÍREZ POOT

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
para Obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Tesis

Dra. Iliana I. Hernández Javalera

Presidente

Dr. Heriberto Díaz Solís

Sinodal

M. C. Silvia X. Gonzáles Aldaco

Sinodal

Dr. Ramón F. García Castillo.

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Noviembre del 2006.

DEDICATORIAS

A Dios Infinito

Por permitirme vivir y realizar uno de mis sueños anhelados e iluminarme en los momentos de confusión, y por todas las satisfacciones que me ha brindado y que me seguirá brindando.

A mis padres con todo el amor, respeto y cariño:

Juventino Ramírez Chán

Blanca Esther Poot Tec

Por estar siempre a mi lado en todos los momentos y etapas de mi vida, por darme la oportunidad de vivir, gracias por sus ejemplos, sus consejos, la constancia, principalmente por el inmenso amor que me han brindado, por apoyarme en lo moral y económico para la terminación de mis estudios y por su confianza depositada en mí. Por que me dieron todo sin pedir nada a cambio. Les brindo mi más profundo respeto y admiración.

A mis hermanos:

René de la Cruz

Andrea de los Ángeles

Sergio Iván

Blanca Isabel

Pedro Pablo

Por los momentos de alegría y tristeza que hemos compartido y ser un impulso para salir adelante y poder apoyarlos para que ellos sigan adelante. Gracias hermanos del alma. Los quiero mucho.

A mis abuelitos:

Pablo Ramírez Pisté

María Clementina Chán Dzib

Venustiano Poot Yam

María Isabel Tec Yam

Por sus consejos, el amor y cariño que me tienen y por cuidarme en los momentos requeridos.

A mis tíos:

Daniel, Pancha, Toni, Fide, Eddy, Paulino, William, Rosa, Yuri, por su confianza, respeto y consejos. Así como también a todos mis tíos que me han alentado a seguir adelante.

A mis primos:

Victor, Pablo, Martín, Alex, Chino, Almis, Lupis, Pati, Rosi, Dani, Damián, Carlos, Jorge, José, Linda, Meye, Arturo, Jesús, Estela, Miguel, Gabriel, Barón, y a todos los demás por los momentos de juego, consejos y apoyo moral.

A mis amigos y compañeros:

*Piter, Mayra, Julio, Felipe, Mario, Isaías, David, Freddy, Beto, Pavel, Magdiel, Lucio, More, Lupita, Laura, así como también a todos mis compañeros de la **Generación C y CI** de la carrera, por los momentos que compartimos y convivimos en las pachangas y reuniones, por el apoyo moral que nos brindamos durante nuestra estancia en nuestra **ALMA MATER**.*

A mis paisanos:

*Dsizma, Tibu, Bobby, Gusano, Kissin, Humo, Cleyver, por los momentos buenos y malos que pasamos en la Universidad. Así como también a los conocidos y compañeros de mi tierra querida **Bolonchén de Rejón** en especial a **Cantante, Polo y a la banderola, Heberth, Martha, Selene, Rosa, Miriam, Maricruz, Manuel** por los buenos momentos.*

A Érica G., por los agradables momentos que hemos compartido, por ser como es, y ser una persona especial en mi vida y aceptarme como soy. Gracias chaparrita. Nunca te olvidaré.

A todos ellos, Mil Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A mi “ALMA TERRA MATER”

Por haberme cobijado en su seno durante mis estudios de Licenciatura y haberme formado como profesionista durante estos años.

*A la **Dra. Iliana I. Hernández Javalera**, mis mas sinceros agradecimientos por el apoyo recibido en la elaboración de esta tesis, por la disponibilidad y el interés puesto en este trabajo. Gracias por sus consejos.*

*Al **Dr. Heriberto Díaz Solis** por sus sugerencias y observaciones hechas al presente trabajo y por su disponibilidad.*

*A la **M. C. Silvia X. Gonzáles Aldaco**, por el apoyo y colaboración en la elaboración del presente trabajo.*

*Agradezco el apoyo brindado por el Ing. **Cesar Arturo Esparza Álvarez** en la obtención de la Condición del Pastizal.*

A todo el personal del Departamento de Recursos Naturales Renovables, que me apoyaron de una manera u otra durante la elaboración de esta tesis.

*A la **Familia Zapata Reséndiz**, en especial a los señores **Juan Zapata y Martha Reséndiz**, por su amistad y por haberme aceptado dentro de su familia durante este tiempo.*

*Al **M. C. Carlos Tucuch y familia**, por las facilidades de transportación y convivio ofrecidas a mis padres y a mi durante el tiempo que mis padres estuvieron aquí en la ciudad.*

*A todos mis compañeros de trabajo, en especial al señor **Jesús Hernández, Román, carnalillo, Josefina, Doris, la Guereja, Gris**, por su valiosa amistad y facilidades brindadas.*

*A la **Fundación de Desarrollo Educativo del estado de Campeche, FUNDEC**, por la beca que me ofreció en la última etapa de mi carrera profesional.*

INDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Definiciones	4
Clima.....	4
Ciclo Hidrológico.....	5
Precipitación.....	5
Temperatura.....	9
Factores Fisiográficos.....	10
Factores físicos del suelo.....	10
Manejo del Apacentamiento y Pastizales.....	10
Estudios de COTECOCA	15
Coeficientes de Agostadero.....	15
Modelos de Simulación	16
SESS: un Modelo de Sustentabilidad Ecológica.....	18
Climas de Guanajuato.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
Descripción del Área de Estudio	24
Ubicación.....	24
Metodología	28
Obtención de la Base de Datos.....	28
<u>Manejo de bases de datos de Precipitación y Temperatura</u>	29

Homoclimas.....	30
Evaluación de SESS.....	31
Índices de Crecimiento.....	32
Aplicación del Modelo SESS.....	34
Elaboración del Mapa.....	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
Datos Analizados.....	36
Homoclimas.....	38
<u>Descripción del homoclima 1.....</u>	40
<u>Descripción del homoclima 2.....</u>	41
<u>Descripción del homoclima 3.....</u>	42
Evaluación de SESS con la información reportada por COTECOCA.....	46
Producción de Forraje Utilizable (PFU).....	46
Condición del Pastizal (CP).....	49
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RESUMEN.....	52
VII. LITERATURA CITADA.....	54
ANEXOS.....	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro No	Página
1. Coordenadas Geográficas, Latitud. Longitud, Altitud y Años analizados de las estaciones climáticas.....	28
2. Valores promedio de las variables para parametrizar SESS (drivers).....	32
3. Precipitación y Temperatura promedio de las estaciones climatológicas por estación del año.....	36
4. Porcentaje de la Varianza Total por cada factor y de la Varianza Acumulada.....	38
5. Coeficientes de Correlación de las variables con los factores.....	39
6. Precipitación Total. Temperatura Promedio y descripción del clima por homoclima.....	39
7. Estaciones del homoclima 1 con la precipitación promedio y total por estaciones del año así como la temperatura promedio por estaciones del año.....	40
8. Estaciones del homoclima 2 con la precipitación promedio y total por estaciones del año así como la temperatura promedio por estaciones del año.....	42
9. Estaciones del homoclima 3 con la precipitación promedio y total por estaciones del año así como la temperatura promedio por estaciones del año.....	43
10. Resumen de las características climáticas de los homoclimas.....	46

INDICE DE FIGURAS

Figura	
No.	Página
1.	Mapa de la Sierra Gorda.....20
2.	Mapa de la Sierra Central.....21
3.	Mapa de El Bajío.....22
4.	Mapa de Los Altos.....23
5.	Mapa de Los Valles Abajeños.....23
6.	Diagrama de flujo del proceso seguido para la obtención de la Producción Primaria Neta Anual (PPNA), Biomasa Aérea Total y Verde (TSCR, GSC) y la Condición del Pastizal (CP).....35
7.	Índice de Crecimiento mensual para la Producción Primaria Neta Anual, para cada uno de los homoclimas de la cuenca del Río Laja, Guanajuato.....44
8.	Mapa y distribución de los homoclimas en la cuenca del Río Laja.....45
9.	Comparación entre la Producción de Forraje Utilizable estimada por SESS y la Producción de Forraje Utilizable estimada por COTECOCA, para la condición Buena, para sitios de Pastizal con precipitaciones desde los 375 mm hasta 825.mm en la cuenca del Río Laja, Guanajuato.....48
10.	Cambios en la Condición de Pastizal durante 20 años simulados Con 100 repeticiones bajo diferentes niveles de precipitación y carga animal buena de cada homoclima para la cuenca del Río Laja.....50

I. INTRODUCCIÓN

México cuenta con una gran diversidad de recursos naturales, el hombre, en su afán de aprovecharlos, le ha causado estragos directa e indirectamente tales como: Cambios en el comportamiento de la temperatura y la precipitación los cuales impactan la condición del pastizal, la producción de forraje y la captación de agua en la cuenca, por consiguiente se afecta la condición corporal del ganado y la economía del productor. Las cuencas hidrológicas en el centro del país son de gran importancia para la producción pecuaria y faunística por sus grandes áreas de pastizales. Ejemplo de estas es la cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato.

La eficiencia del uso de la precipitación es importante para poder determinar la producción primaria neta de forraje, la cual puede ser afectada por la modificación de las características de la vegetación. La eficiencia en el uso de la lluvia es un indicador válido y útil para determinar la Condición y Producción de los Pastizales.

La Temperatura es otro factor importante en el crecimiento de los pastizales, pues las temperaturas bajas pueden acortar el período de crecimiento de los pastos y reducir la cantidad de forraje disponible para el ganado (Pérez y Maltos, 1959). El crecimiento de las plantas empieza a aumentar con el aumento de la temperatura hasta cierto punto y entonces empezará a decrecer (Huss y Aguirre, 1979).

En la actualidad, el uso de los modelos de simulación en pastizales, es de gran ayuda para analizar el comportamiento de la producción del forraje en base a la precipitación, temperatura, altitud y otros factores que pueden ayudar en la toma de decisiones. Además, el análisis de las áreas de igual y/o similar precipitación y temperatura por definición de homoclimas ayuda a poder identificar los sitios de pastizal dentro de la cuenca del Río Laja.

Para el presente estudio se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis:

Objetivos

General

Analizar datos climáticos de las áreas potencialmente pastizaleras de la Cuenca del Río Laja, en el estado de Guanajuato, para la generación de mapas de homoclimas, así como, evaluar y aplicar SESS para la producción de forraje anual y su utilización para la producción de ganado bovino sustentable en los homoclimas.

Específicos

- Analizar la información de la red de estaciones climáticas de la zona de la Cuenca del Río Laja en base a temperatura y precipitación.
- Elaboración de mapas de homoclimas.
- Evaluar el modelo SESS (Diaz *et al.*, 2003) en sus estimaciones de producción anual de biomasa y coeficientes de agostadero contrastado con lo reportado por COTECOCA (1979) para la cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato.
- Aplicación del modelo SESS en los pastizales de la cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato para estimar la tendencia en la Condición del Pastizal en cada homoclima.

Hipótesis

- Se pueden generar homoclimas de acuerdo a la precipitación y temperatura.
- El Modelo SESS estima aceptablemente la producción de biomasa, la capacidad de carga y la condición del pastizal para la cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Definiciones

Clima

Es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un cierto lapso de tiempo y en un punto de la superficie terrestre, o bien, es el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar determinado. Este comprende los extremos y toda posible variación. El tiempo varía de un día a otro, el clima varía de un lugar a otro (Hernández, 1952).

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 (precipitación y temperatura) pueden ser más determinantes en la distribución de la vegetación. Por lo tanto, existen tres ecosistemas terrestres principales: los desiertos, las praderas y los bosques. En el caso de las regiones cuyo clima es árido 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 desea 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 aquéllos, 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.*, 2003).

Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico nos permite analizar el movimiento general del agua, considerando los procesos de precipitación, interceptación, infiltración, evapotranspiración y formación de escorrentías, que dan origen al régimen de caudales de cada río.

Las precipitaciones, en forma de lluvia, granizo, nieve, etc., son la principal entrada de agua en una cuenca, aportando caudal a los cauces y recarga a los acuíferos. Su importancia radica en ser la forma de suministro natural de agua a los ecosistemas, condicionando la vida de los organismos y el desarrollo de las actividades humanas.

Tanto su forma de producirse (lluvia, nieve, etc.) como su cuantía dependen del clima y región considerada, y para su formación es necesario que se condense el vapor atmosférico, por enfriamiento de las masas de aire, y se produzca la caída de las gotas de agua debido al incremento de su tamaño.

Una parte del agua caída en las precipitaciones es interceptada por la vegetación o cualquier forma de cobertura del suelo. La interceptación es la primera abstracción hidrológica de las precipitaciones durante las tormentas, y su cuantía depende tanto de las características de las lluvias o nevadas (intensidad, altura y duración), como de las de la cobertura vegetal (tipo, densidad, especie, etc.) y tiempo o época del año en que se produce (datosgeogra/basicos/hidrologia/rios/cuencas_hidrologicas.cfm).

Precipitación

Es el agua, en cualquiera de sus estados o formas, que cae sobre la superficie de la Tierra. La precipitación es importante porque ayuda a mantener el balance atmosférico. Sin precipitación, todas las tierras del planeta serían desiertos (UCAR, 2000).

Para que la precipitación ocurra se necesita que una masa de aire se sature con el vapor de agua, dando lugar a su condensación. El enfriamiento de la atmósfera se logra generalmente por la elevación del aire y de acuerdo con la condición que la provoque, la precipitación puede ser de tres tipos: convectiva, orográfica y ciclónica (Sprigall, 1970; citado por Nava, 1972).

El efecto de la precipitación es la variable más importante que conduce a la producción de forraje, la capacidad de carga y el funcionamiento de los ganados (Díaz *et al.*, 2003).

Bell (1973; citado por Cantú, 1985), menciona que los requerimientos de agua determinan la distribución y adaptación de las especies forrajeras, en un medio dado, además la humedad influye no solo en las especies de las plantas sino también en su abundancia y volumen de producción.

Daubenmire (1974; citado por Cantú, 1985), indica que el vigor de los tallos y rebrotes de los zacates es también afectado por la cantidad de humedad, ciertas especies de zacates adoptan hábitos en forma de macollos y se reproducen con mayor vigor cuando las condiciones de humedad son bajas, pero se reproducen principalmente por medios vegetativos.

Ruiz *et al.*, (1979), mencionan que una variación en el grado de humedad en un lugar determinado, ocasiona que la vegetación se modifique, sustituyendo las plantas del medio modificado, a las primitivas; esto sucede, por ejemplo, cuando se tala o se incendia un bosque, con lo cual disminuye la humedad en dicha región, conviniendo este cambio a plantas que tengan las mejores condiciones de vida, en climas de menor grado de humedad al que prevalecía anteriormente.

En forma general muchas especies forrajeras detienen su crecimiento cuando se presentan condiciones desfavorables de humedad y entran en latencia o dormancia cuando dichas condiciones se prolongan por largos periodos de tiempo (Huss y Aguirre, 1979).

Pérez y Maltos (1959), señalan que la sequía afecta la condición de un agostadero cuando se presentan sequías muy pronunciadas, aún los pastos adaptados a climas desérticos sufren y pueden morir.

Lluvia efectiva

La lluvia efectiva se define como la lluvia total menos la evaporación potencial para el día. El concepto de lluvia efectiva se desarrolló para el caso cuando la lluvia y la evaporación ocurren durante un día (Jones *et al.*, 1971). Hershfield (1964; citado por Ortiz *et al.*, 1977), menciona que la lluvia efectiva es aquella parte de la lluvia total que está disponible en el suelo durante el período de crecimiento del cultivo, para llenar sus necesidades de uso consuntivo.

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.

Eficiencia y uso de la precipitación

Wight y Siddoway (1972), en un estudio realizado para el mejoramiento del uso y eficiencia de la precipitación en pastizales por medio de la modificación de la superficie, definen que el uso y la eficiencia de la precipitación es una función de esos factores que determinan cuánta precipitación está disponible para el crecimiento de la planta y cómo usan eficientemente las plantas el agua disponible. Así, el uso y la eficiencia de la precipitación puede ser afectada por la

modificación de las características de la vegetación como una microtopografía y la estructura del suelo, lo cual influye en la disponibilidad de nutrientes, salinidad, infiltración y almacenamiento de agua y distribución en el perfil del suelo.

El uso y eficiencia de la precipitación se define como unidades de forraje (seco) producido por unidad de precipitación recibida y se basa en el crecimiento de la planta y la precipitación que ocurre entre las cosechas (Wight y Black, 1972; citados por Wight y Siddoway, 1972).

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 / ha / año / mm 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.

Huss y Aguirre (1979), señalan que la intensidad de la evaporación tiene un efecto directo en la vegetación, debido a que ésta determina en gran parte la efectividad de la precipitación, la evaporación es una función de la temperatura, humedad y el viento.

Cantú (1984), menciona que en las zonas áridas y semiáridas, la intensidad de la evaporación puede ser varias veces mayor que la precipitación debido a las altas temperaturas, baja humedad ambiental y vientos excesivos.

Relación Producción – Precipitación

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 los 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 éstas áreas geográficas. Conforme aumenta la precipitación, la producción neta es más alta, las regresiones muestran, en promedio, que cada milímetro de lluvia produce dos kg ha⁻¹ de MS consumible (Le Houérou y Hoste, 1977).

Temperatura

La temperatura es una medida de la energía media de las moléculas en una sustancia y no depende del tamaño o tipo del objeto. Es la medición de la velocidad promedio de las moléculas del aire. La temperatura del aire depende de la temperatura que hay en la superficie inferior inmediata. El aire parece enfriarse cuando subimos una montaña. Esto sucede porque la temperatura baja cuando nos alejamos de la superficie. La temperatura es baja en superficies de hielo y nieve porque allí se absorbe menos luz solar que en áreas de bosques y tierra (UCAR, 2000).

Pérez y Maltos (1959), indican que otro factor que afecta la condición de un agostadero son las heladas. Las heladas más fuertes que las comunes, también pueden reducir la vitalidad de los pastos y aún matarlos. Las heladas prematuras o muy tardías acortan el período de crecimiento de los pastos y reducen la cantidad de forraje.

Huss y Aguirre (1979), mencionan que el crecimiento empezará a aumentar con un aumento en la temperatura hasta cierto punto y entonces empezará a decrecer.

Factores fisiográficos

Son aquéllos atributos tales como la topografía, exposición, altitud, grado de pendiente y otros factores que modifican la superficie de la tierra (Huss y Aguirre, 1979).

Factores físicos del suelo

Dentro de los factores edáficos que afectan el crecimiento de las plantas forrajeras se tienen los factores físicos del suelo como son la textura, la estructura, la permeabilidad, el color y la consistencia (Cantú, 1985).

Huss y Aguirre (1979), mencionan otros factores físicos del suelo además de los ya mencionados, tales como la profundidad de aireación y la composición química de los suelos, señala también que la vegetación varía dentro de las diferentes zonas climáticas debido a variaciones en los factores fisiográficos y edáficos, el efecto combinado de estos factores en la vegetación se llama sitio de pastizal.

Manejo del apacentamiento y pastizales

Pastizales

Los pastizales son áreas de baja productividad potencial debido a limitaciones físicas y por lo tanto no adecuadas para el cultivo. Potencialmente, incluye cualquier tipo de vegetación que se explote extensivamente a través del pastoreo de animales domésticos y silvestres, y que además constituyen fuentes vitales de productos maderables, agua y fauna silvestre (Aizpuru, 1982).

La gran mayoría de los pastizales del mundo han evolucionado en presencia y bajo la influencia del pastoreo de los ungulados. El mantener a los animales en los potreros de manera continua o rotacional, en sus diferentes modalidades de los sistemas de pastoreo, han ocasionado una seria alteración de la composición y la cobertura de la composición botánica de los potreros (Warren *et al.*, 1986).

Dentro de las diversas variaciones que inciden en la modificación de las características del suelo están aquéllas que pueden acelerar los procesos de erosión que resultan en la disminución de la productividad del sitio, incrementa la

producción de sedimento, disminuye la capacidad de infiltración de los suelos y dándose como consecuencia un aumento en escurrimientos en la desaparición de la cobertura vegetal (Rauzi y Hanson, 1966).

La importancia del suelo como un reservorio de nutrientes y humedad para la producción de forraje ha sido reconocido desde el principio del manejo de pastizales como una ciencia (Klemmedson, 1970).

Condición del Pastizal

La Society Range of Management S. R. M. (1964; citada por Huss y Aguirre, 1979), la define como el estado de salud del pastizal basada en lo que el pastizal es capaz de producir en forma natural. Por su parte, Stoddart *et al.*, (1975), definen condición como el estado presente del pastizal en relación con el potencial del cual un área particular es capaz de producir. Huss y Aguirre (1979), señalan que la importancia de estimar la condición del pastizal radica en los siguientes aspectos: a) existe una correlación alta y significativa entre la condición del pastizal y la producción de forraje. b) Se tiene una relación entre la condición del pastizal y promedio de la capacidad de carga, la cual permite el desarrollo de las guías del pastoreo. c) Hay una relación significativa entre la condición del pastizal y la capacidad de conservar el suelo y agua. La clasificación de la condición del pastizal sirve como una base para hacer planes de manejo de un rancho específico.

Capacidad de Carga Animal

Capacidad de carga o capacidad de pastoreo es el número de animales (de determinada clase) que pueden ser mantenidos sobre una determinada área

La Carga Animal 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 (UAAM) 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 % de su peso vivo) y que esta cantidad le sacia (Voisin, 1974).

La inadecuada explotación del recurso pastizal origina cambios en la vegetación hacia estadíos menos productivos, reduciendo la capacidad de carga y a la vez causando desequilibrio en su ecología (Aguado, *et al.*, 1986).

Existe una relación directa entre la condición del pastizal y la capacidad de carga animal, es decir, al aumentar la condición del pastizal aumenta la capacidad de carga animal, por lo que los siguientes factores que influyen sobre la condición del pastizal también afectan a la capacidad de carga animal: factores climáticos, fisiológicos, físicos del suelo, sobrepastoreo, factores artificiales y otros.

El gradiente de carga animal sigue generalmente el gradiente de la precipitación (Ibarra *et al.*, 1990). Las existencias excesivas de carga animal consideran la causa principal de desertificación en estas tierras (Olivares e Ibarra, 1999; Redmon, 1999; citados por Díaz *et al.*, 2003); las altas cargas animales reducen la cantidad de infiltración del agua de la vegetación (Knight, 1999).

Factores determinantes en la producción de forrajes.

Clima y Manejo del Apacentamiento.

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 las 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 de las temperaturas alternadas de día y de noche. En un estudio realizado por Cooper y Tainton (1990) evalúan el crecimiento de festucas el cual aumenta con las bajas temperaturas nocturnas debido a la temperatura del suelo y disminuye en otras plantas.

La cantidad de nutrimentos 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 nutrimentos 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 del por qué es necesario complementar proteína en algunos años y en otros no. En los pastizales áridos y semiáridos el grado de lixiviación es menor y 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 nutritivo del forraje decrece con la madurez y 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 biosfera. Una gran porción de alimento humano es proporcionado por la productividad de plantas vivas sobre el suelo, de la producción del suelo también se obtienen otros productos de importancia económica que no son comestibles, como lo es la madera, que sirve para la fabricación de otros subproductos. 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 a largo plazo. Los combustibles fósiles son acumulaciones de producciones primaria pasadas. El manto de vegetación protege la superficie del planeta de la erosión destructiva y esto provee parte del contexto ambiental en el cual el hombre y sus sociedades se han desarrollado y en 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 eficiencia del 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 mas 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 Apacentamiento

El objetivo general en el manejo de pastizales, es obtener la máxima producción animal sostenida a largo plazo procurando la conservación de los recursos naturales presentes (Voisin, 1974) apoyándose en los principales sistemas de apacentamiento.

Un sistema de apacentamiento no es más que el manejo del ganado en el pastizal bajo un programa que nos indica cuándo, cómo y dónde debe de pacer el ganado en el rancho, tomando en cuenta el flujo de energía, ciclo del agua y los nutrientes (planta, suelo, agua). Básicamente se consideran tres tipos de Sistemas de Apacentamiento: 1) Continuo, 2) Rotacional y 3) Combinado. Los Sistemas Rotacionales se dividen en: Con Descanso, Diferidos e Intensivos. Los sistemas con descanso incluyen descansar un potrero durante un año completo. Los diferidos incluyen el descanso de uno o varios potreros durante diferentes estaciones del año, y por último los rotacionales intensivos incluyen períodos variables, pero más cortos de descanso que van de 20 a 60 días. Dentro de los sistemas de apacentamiento más comúnmente empleados destacan el Continuo, Rotacional con descanso, Rotacional diferido, Rotacionales Intensivos de corta duración, entre otros (Ibarra, 1990).

Para lograr este objetivo, uno de los primeros factores a manejar es la carga animal. 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). El apacentamiento exitoso depende del conocimiento de cómo crecen las plantas

forrajeras, es decir, si se maneja cuidadosamente el proceso de defoliación de los zacates por el ganado, es factible mejorar su utilización obteniendo mayores rendimientos de carne.

Cuando un pastizal es apacentado intensivamente por un largo período de tiempo, hay grandes cambios en el comportamiento de apacentamiento, calidad de 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 8 a 10 cm de altura del rastrojo, pero si ellas son forzadas a apacentar debajo de 5 cm de altura del forraje el consumo decrece en un 10 a 15 % (Ernest *et al.*, 1980).

Algunos especialistas en pastizales al trabajar en Sahel, consideran que puede consumirse solo del 30 al 40 % de la producción primaria total durante la estación seca y de 60 a 80 % durante la estación lluviosa (Le Houérou y Hoste, 1977).

Consideraciones sobre el manejo del Apacentamiento

Las siguientes son algunas de las consideraciones mayores necesarias antes de implementar una estrategia de manejo de apacentamiento y no están en ninguna orden particular de importancia: a) Economía, b) Carga animal, c) Superficie del Pastizal, d) Número de potreros, e) Número de hatos, f) Ciclo de apacentamiento, g) Tiempo de descanso, h) Tiempo de apacentamiento, i) Flexibilidad de carga, j) Manejo para las sequías, k) Comportamiento animal, l) Objetivos del rancho, entre otros (Ruyle, 1990).

Estudios de COTECOCA

Coeficientes de agostadero

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

Dichos coeficientes 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 Zootecnistas principalmente, entre otros colaboradores 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 completó con datos de geomorfología, geología, hidrología, fenología vegetal y fisiología animal (COTECOCA, 1973).

Zonas semiáridas

La Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA) (citado por Jaramillo, 1994) define a las zonas semiáridas como las áreas en donde la precipitación pluvial varía de 350–600 mm anuales, con una temperatura media anual de 18 y 25 °C. Con la presencia de seis a ocho meses de sequía y con una cubierta vegetal mayor del 70 %, dominando principalmente los matorrales y los pastizales.

Modelos de Simulación

Un modelo de simulación es una representación o descripción simplificada de la realidad (Blessner, 1969; Odum, 1994; Whitten y Bentley, 1998). Consiste en una reducción en el tamaño o en el número de atributos, elementos o componentes que caracterizan al sistema o realidad, de tal manera que se incluyan el menor número de variables. De lo contrario no sería un modelo, sería el sistema real además de los atributos funcionales (Hall y Day, 1977).

Un modelo es un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento (Real Academia Española [RAE], 1984. Es una

abstracción de la realidad, una descripción de los elementos más esenciales de un problema. Los modelos representan los estados de las variables y mediante la simulación se describen los Cambios de Estado de esas variables (Grant *et al.*, 1997; Padulo y Arbib, 1974).

La simulación es la acción y efecto de simular: representar una cosa, fingiendo o imitando lo que no es (RAE, 1984). Es el uso de un modelo para imitar, o describir paso a paso, el comportamiento de un sistema en estudio (Grant *et al.*, 1997). El problema con las definiciones de la simulación es que engloban a todos los modelos que implican investigación (Dent y Anderson, 1974).

Los modelos de simulación son un medio para entender cómo funcionan y cambian los sistemas y sus componentes (Odum y Odum, 2000) para los cuales es imposible encontrar una solución analítica que se resuelve utilizando un conjunto de operaciones aritméticas (Grant *et al.*, 1997). En este sentido las computadoras han sido una marca de distinción para la modelación de los sistemas ecológicos, no obstante que se requiere el conocimiento de los principios elementales para la operación de la computadora (Kitching, 1983). Resumiendo, el modelo de simulación se conceptúa aquí, como una abstracción de una realidad compleja para comprenderla y estudiar su comportamiento con el uso de la computación.

Un modelo de simulación es 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. Una de las herramientas más 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 aquéllas 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 (Quiroz *et al.*, 1998).

Existen modelos de simulación de crecimientos basados en variables fisiológicas como fotosíntesis, nutrientes absorbidos, respiración, utilización de la luz, etc. Aún y cuando este tipo de modelos simulan el crecimiento de la planta, su uso en la práctica a nivel de campo se hace casi imposible debido a lo sofisticado en las estimaciones de las variables involucradas en el modelo (Esparza, 2002).

SESS: Un Modelo de Sustentabilidad Ecológica

Díaz *et al.*, (2003), (citado por Esparza, 2002; Hernández, 2005) elaboraron un Modelo de Simulación Simple de Sustentabilidad Ecológica (SESS) para las dinámicas de crecimiento del forraje y cultivo en pie para la producción ganadera, evaluando la sustentabilidad ecológica de las opciones de manejo para los sistemas de producción extensivos vaca-becerro en el noreste de México y el sur de Texas. El modelo estima la Producción Primaria Neta anual basada 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 de crecimiento de la fitomasa aérea en pie (standing crop), la eficiencia del apacentamiento del ganado y las tendencias de la condición del pastizal para diferentes cargas. Las cargas estimadas como sustentables por el modelo en el estado de Coahuila para áreas con precipitación media anual de 300, 500 y 700 mm respectivamente, resultaron en: 58, 15 y 6 ha UAA⁻¹. Con el modelo parametrizado para precipitación y características de suelo combinado con la capacidad de cargas 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 ocho de cada 10 años sin complementación

Climas de Guanajuato

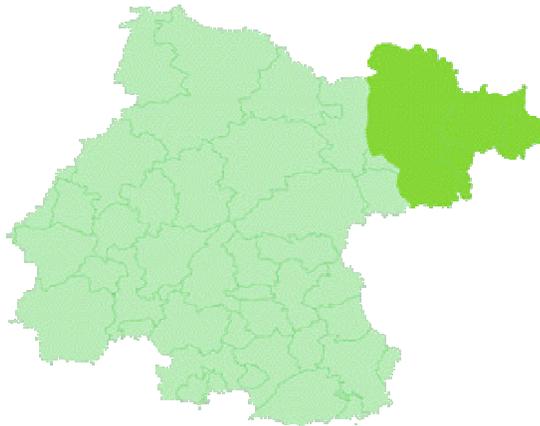
De acuerdo a los aspectos geográficos y culturales, el Estado de Guanajuato puede dividirse en cinco grandes zonas:

Sierra Gorda

Es una región montañosa que pertenece a la Sierra Madre Oriental. La componen cinco municipios: Victoria, Xichú, Atarjea, Santa Catarina, Tierra Blanca y una parte de San José Iturbide, Doctor Mora y San Luís de la Paz. La altitud de estos cerros es de más de 2,400 metros. En esta región, la vegetación es muy variada y se pueden encontrar bosques de pinos y árboles de mezquite, huisache, nopales, helechos, y garambullos. El clima es variable: en la parte de la sierras va desde templado a frío con una temperatura media anual de menos de 18 °C; en las orillas de la sierra el clima es semiseco y su temperatura de 18 a 22 °C. En la parte este el clima es semicálido y su temperatura media anual es de más de 18 °C. Las precipitaciones son irregulares y van de 500 a 600 mm anuales en la parte sur y hasta 300 mm en la parte norte (Figura 1)

Esta región del estado de Guanajuato es una de las de menos densidad demográfica, por lo que se puede encontrar todavía gran variedad de fauna: coyotes, tlacuaches, liebres, zorras, venados, ardillas, zopilotes, chachalaca, lechuza, urraca, huilota y colibrí. También hay alicantes, culebras, víboras de cascabel y coralillo.

Figura 1. Mapa de la Sierra Gorda



Sierra Central

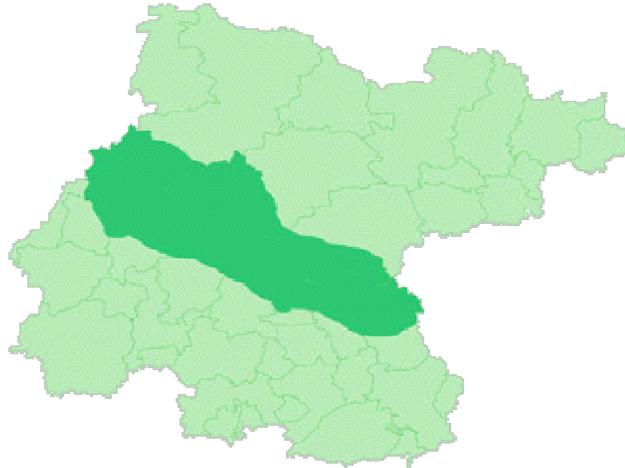
Ocupa varios municipios y está formada por una cadena montañosa comúnmente conocida por cuatro nombres que corresponden a cada parte: Comanja, Santa Rosa, Guanajuato y Codornices. Comprende gran cantidad de cerros, cañadas, cañones, lomas y mesetas (Figura 2)

El territorio de Comanja va desde parte del territorio de Jalisco y otra parte en los territorios de León y San Felipe.

La Sierra de Guanajuato está en los territorios de Guanajuato, San Felipe y Silao. El territorio de la Sierra de Codornices abarca los municipios de Salamanca, Juventino Rosas, Comonfort, Dolores Hidalgo y San Miguel de Allende. En promedio, estas elevaciones tienen 2,000 msnm.

La Sierra de Santa Rosa posee originales formaciones rocosas y bosques de encinos. El clima varía de templado-semihúmedo en la parte alta de Comanja y Santa Rosa; templado-húmedo en la parte intermedia y seco-subhúmedo en la región de Comanja. La temperatura media anual es de 19 °C y la precipitación pluvial marca los 600 mm. La vegetación es abundante en esta región del Estado, ya que pueden encontrarse bosques de encinos y bosques espinosos hacia la región de El Bajío.

Figura 2. Mapa de la Sierra Central



El Bajío

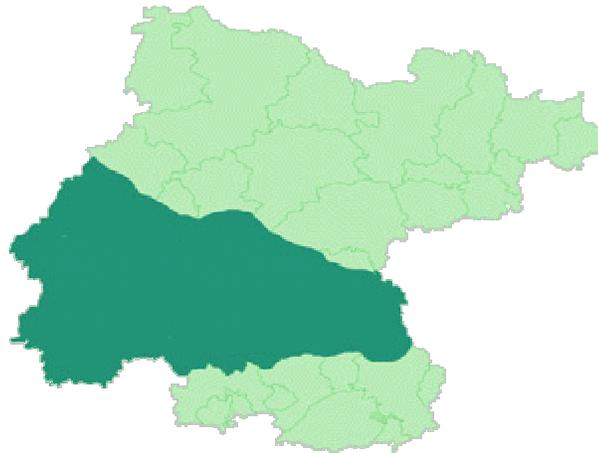
Es la región del centro del Estado de Guanajuato. Debido a sus condiciones climatológicas, es la región de mejores condiciones para el desarrollo de la agricultura. Su nombre se debe a que las lomas y llanuras de esta región están más bajas con respecto a las aledañas, cuya altura está por encima de los 2,000 msnm (Figura 3).

Está formada por los municipios de Romita, San Francisco del Rincón, Ciudad Manuel Doblado, Cuerámara, Abasolo, Pénjamo, Pueblo Nuevo, Huanímaro, Salamanca, Irapuato, Santa Cruz de Juventino Rosas, Apaseo el Grande, Villagrán y una parte de León, Silao, Guanajuato, Comonfort, Cortázar, Celaya, Apaseo el Alto, Valle de Santiago y Jaral del Progreso.

En la mayor parte de la región el clima es templado con lluvias en los meses de junio a septiembre, aunque en la zona norte que va de León a Celaya, el clima es más seco. La temperatura media anual es de 16 a 18 °C. También llueve durante los meses de diciembre y enero; estas precipitaciones aisladas se conocen como cabañuelas, y son variaciones atmosféricas que se observan durante los primeros días de enero para pronosticar el clima del siguiente verano.

La vegetación es también variada: crecen matorrales de huisaches, mezquites, nopales y órganos.

Figura 3. Mapa de El Bajío



Los Altos

Se le conocía como las Lomas Arribeñas debido a su situación a más de 2,000 msnm, excepto la zona de San Miguel de Allende.

Esta zona se compone por llanos extensos que limitan al sur con la Sierra Central y al norte por las sierras limítrofes de San Luís Potosí. Está formada por ocho municipios: Ocampo, San Felipe, San Diego de la Unión, Dolores Hidalgo, San Luís de la Paz, Doctor Mora, San José Iturbide y San Miguel de Allende

El clima de la región de los Altos es variable. En la parte noreste es templado con una temperatura media anual de 18 °C, mientras que en el resto, el clima es semiseco con una temperatura media anual de más de 22 °C. Debido a que las precipitaciones van de los 300 a los 600 mm anuales, la región se considera árida y la vegetación está compuesta por arbustos espinosos, hierbas y pastos (Figura 4).

Figura 4. Mapa de Los Altos.



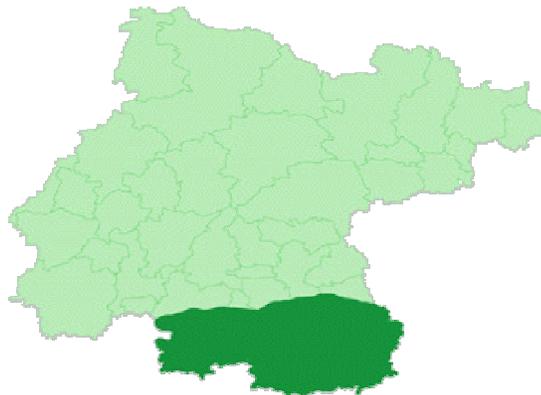
Los Valles Abajeños

Lo forman los municipios de Yuriria, Moroleón, Uriangato, Salvatierra, Santiago Maravatío, Tarimoro, Jerécuaro, Acámbaro, Coroneo, Tarandácuaro y una parte de Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Cortázar, Celaya y Apaseo el Alto.

Destaca en esta zona guanajuatense, una cadena montañosa formada por los cerros: Picacho, Tule, Cerro Blanco, Culiacán y Cerro Grande; los Amoles, el Capulín, Cuevas de Moreno, la Sierra de los Agustinos, el Cerro de las Siete Cruces y el del Toro. El clima en los valles abajeños es templado, con lluvias que se presentan en los meses de junio septiembre.

La vegetación en los valles está compuesta principalmente por mezquites, huisaches, encinos y nopales. En la fauna podemos destacar algunas especies como patos, mapaches, palomas, y zorras (Figura 5).

Figura 5. Mapa de Los Valles Abajeños.



III. MATERIALES Y METODOS

Descripción del área de estudio

Ubicación

El presente trabajo se realizó para la cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato, la cual es una importante zona que cuenta con recursos de aguas continentales para la producción agrícola, producción caprina, migración de aves, población de vida silvestre, y para el consumo humano. La cuenca del Río Laja se encuentra localizada geográficamente entre las coordenadas 20° 30' y 21° 24' Latitud Norte y 100° 33' y 101° 26' Longitud Oeste en el Noreste del Estado de Guanajuato, México, con altitudes que varían entre los 1750 msnm y 2880 msnm. Cuenta con una superficie de captación de 501,895 has equivalente al 16.4 % del total estatal. Los municipios que se encuentran dentro de la vertiente del río son Dolores Hidalgo, San Miguel de Allende, Comonfort, Apaseo el Grande, Apaseo El Alto, Ocampo, San Felipe, San Diego de la Unión, León, Guanajuato, Cortázar, Jerécuaro, Salamanca, San Luis de la Paz, Dr. Mora, San José de Iturbide, Celaya, Cinco Señores y Santa Cruz de Juventino Rosas.

Clima

En términos generales predominan los climas del grupo de los secos (B) y más específicamente del tipo de los semisecos (BS₁) con temperaturas medias anuales que van de 15 °C a 18 °C. En la parte este de la vertiente del río Laja la región es dominado por los climas templado–semiárido. En la parte oeste la región es dominado por los climas templado–subhúmedo. En el sur hasta donde se extiende la vertiente del río Laja, hay dos zonas climáticas adicionales: el semicálido–subhúmedo y el semicálido–semiárido, en general, las precipitaciones oscilan entre los 400 a los 800 mm anuales (INEGI, 1994; citado por Hernández, 2002).

Geología

La vertiente del río Laja se extiende dentro de la región fisiográfica del Altiplano Central. La morfología geológica dentro de ésta región muestra depósitos aluviales de rocas primitivas cuaternarias a lo largo de las eras Terciario y Cuaternario. El material geológico rocoso incluye los tipos sedimentarios (areno-rocoso y conglomerados), volcánico-sedimentario (areno-rocoso y conglomerados) e ígneo (ríolítico y piroclásticos) (INEGI, 1983; citado por Hernández, 2002).

Orografía

Gran parte de la región se encuentra bordeada por áreas montañosas con elevaciones que fluctúan entre los 1,750 msnm a 2,880 msnm. La serranía principal es la Sierra de Guanajuato que forma las estribaciones australes de la Sierra Gorda de Zacatecas, siguiendo una dirección noreste-sudeste. Sus laderas suroccidentales descienden hacia el Valle de la Señora, en donde se localiza la ciudad de León. Sus laderas sur descienden hacia El Bajío. Las orientales hacia los llanos de Allende y Dolores y sus laderas norte hacia los llanos de San Felipe. Las eminencias más notables de esta sierra son: el Cerro del Gigante con 2,987 msnm y el Cerro de San Antón con 2,525 msnm. Esta sierra ocupa parte de los municipios de León, Guanajuato, San Felipe, Dolores y Allende. Esta región se caracteriza por presentar inclinaciones que van entre el 15% y el 30 por ciento y muy pocos casos mas del 30 por ciento como en el caso de la Mesa de los Caballos que tiene algunas pendientes cercanas al 45 por ciento.

Hidrología

La zona forma parte de la subcuenca del río Laja que a su vez, pertenece a la Cuenca Lerma-Santiago. El principal sistema hidrográfico que drena el área de estudio, está constituido por el río Laja y sus afluentes. Se origina en la vertiente suroriental de la Sierra de Santa Bárbara y la nororiental de la Sierra de Guanajuato, siendo originado en un principio por los arroyos de Los Reyes y San Juan siguiendo una trayectoria noreste a sureste, irrigando los llanos de San

Felipe, Dolores y Allende, continuándose hacia el sur hasta llegar hasta el segundo embalse más importante del Estado, la presa Ignacio Allende con capacidad de 251,000,000 metros cúbicos que irrigan 10,648 has y además sirve para el control de avenidas. Posteriormente se unen las aguas de otros ríos hasta que entronca con el río Lerma en las cercanías de la ciudad de Salamanca, pero ya fuera de la cuenca. El río Laja recorre aproximadamente 80 Km. dentro de la subcuenca alta o de captación. En la zona existen numerosos arroyos originarios de las sierras circunvecinas y que son tributarios, en última instancia, del río Laja. Algunos de estos arroyos son: El Saucito, Peña Blanca, Cañada de Laurel, Terreros, El Batán, Turbante y San Damián, entre los más importantes.

Suelos

Los tipos de suelo de ésta área incluyen Feozem, Regozol, Vertisol y Litosol. El Feozem son suelos suaves, oscuros, ricos en materia orgánica y nutriente, lo cual constituyen el 80 por ciento de la zona en sus tres modalidades (háplico, lúvico y calcárico). El tipo Regozol contiene material similar a rocas sueltas. Los suelos Vertisol se componen de arcilla. Estos suelos vertisoles de clase arcillosos son profundos, extensos y se rompen cuando se secan, y son pegajosos cuando están mojados, y proporcionan una condición de drenaje deficiente. Los suelos Litosol son muy delgados (< 10 cm. de espesor) los cuales se encuentran sobre terrenos compactos, o estrato continuo (roca) (INEGI, 1973).

Vegetación

La Cuenca alta del río Laja es relativamente homogénea por lo que respecta a su altitud y poca variabilidad climática, lo cual origina que la vegetación presente pocas variantes a nivel de grandes tipos. Dentro de la zona de captación del río Laja la vegetación representativa en la zona incluye pastizales, matorral crassicaule, matorral desértico micrófilo, mesquite, matorral subtropical decíduo bajo, y bosque de pino y roble (INEGI, 1994).

Fauna

La fauna predominante está formada por roedores, como conejo, liebre, ardilla y tejón; aves locales, como tordo, codorniz, águila, halcón, zopilote y gavilán, herbívoros como el venado y el ciervo y aves migratorias durante el Invierno, como los patos.

Agricultura

Una fuente de trabajo para los residentes de la cuenca es la agricultura de riego. El chile es uno de los cultivos de producción más importantes aunque destacan también la alfalfa, jitomate, tomate, ajo, cebolla, trigo, cebada, linaza y vid. La mayoría de la superficie sembrada o plantada con estos cultivos está ubicada en la región de los Llanos del norte de Guanajuato.

Los cultivos agrícolas de autoconsumo son practicados en toda la cuenca, sin importar su ubicación ni la severidad topográfica que impida su proliferación. El método de cultivo más generalizado es con tracción animal y con prácticas de manejo inadecuadas. Las parcelas son relativamente pequeñas, de una a cinco hectáreas. Existen algunas unidades de producción que se destinan a la producción de nopal para tuna y verdura.

Ganadería, avicultura, porcicultura y apicultura

La ganadería está representada principalmente por la explotación de ganado bovino con fines de triple propósito (carne, leche y trabajo), caprino (carne), ovino (carne, lana), y equinos, mulas y asnos (trabajo, recreación).

La explotación avícola esta representada por la cría de aves en traspatio con fines de carne, y de pollos de carne en casetas.

Respecto a la explotación de cerdos esta se efectúa de forma muy rudimentaria principalmente en traspatio con fines domésticos.

La explotación apícola es incipiente y rudimentaria.

Explotación forestal

La actividad forestal se efectúa en las partes altas de la sierra con especies de encino, y en las partes bajas con especies de mesquite, así como sauces en las riberas de ríos.

Metodología

Obtención de la Base de Datos

Se analizaron datos de 46 estaciones meteorológicas, que contaban con registros de más de 10 años, de la región de la cuenca del Río Laja sobre precipitación, temperatura y altitud, de la base de datos ERIC II generada por el IMTA (1999). Se obtuvo un concentrado de precipitación promedio de todos los años analizados por estación meteorológica y por meses (Anexo 1), así como también de la temperatura promedio de todos los años analizados por estación meteorológica y por meses (Anexo 2). En todas las estaciones variaron las cantidades de años analizados, por lo que existen estaciones que tienen datos registrados desde 1940 hasta 1998 y otras con menos datos. Las estaciones que están distribuidas dentro del área se describen en el Cuadro 1, así como su nombre, ubicación geográfica, altitud y años analizados.

Cuadro 1. Coordenadas Geográficas, Latitud, Longitud, Altitud y Años analizados de las estaciones climáticas.

ID	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	LAT. (grados)	LONG. (grados)	ALTITUD (msnm)	AÑOS ANALIZADOS
1	11005 Apaseo, A. el Grande	20.55	100.68	1,767	28
2	11006 Apaseo el Alto	20.47	100.62	1,767	25
3	11007Calderones, Guanajuato	21.00	101.20	1,900	35
4	11009 Celaya, Celaya (SMN)	20.53	100.82	1,752	28
5	11011 Cinco Señores	20.97	100.92	1,850	24
6	11013 Cortázar, Cortázar	20.48	100.97	1,750	25
7	11015 Charcas, San J. Iturbide	21.13	100.33	2,125	39
8	11017 D. Hidalgo cap. Rural	21.15	100.93	1,895	38
9	11022 El Terrero, Apaseo el Alto	20.38	100.83	1,850	28
10	11030 Jaral de Berrio, S. Felipe	21.68	101.02	1,845	31
11	11031 Jerécuaro, Jerécuaro	20.15	100.48	1,787	31
12	11033 La Begoña, S. M. de A.	20.85	100.83	1,850	28

13	11037 Las Mesas, S. L. de la P.	21.47	100.40	2,300	19
14	11040 Los Castillos, León	21.15	101.68	1,895	37
15	11041 Los Razos, Salamanca	20.70	101.12	1,753	22
16	11043 Lourdes, San L. de la Paz	21.30	100.70	2,013	30
17	11044 Mandujano, Sta. C. J. R.	20.75	101.03	2,066	25
18	11048 Neutla, Comonfort	20.72	100.85	1,825	27
19	11050 Ocampo, Ocampo (SMN)	21.63	101.52	1,238	40
20	11051 Peñuelitas, D. Hidalgo	21.12	100.88	1,850	32
21	11052 Pericos, Salamanca	20.53	101.12	1,772	50
22	11053 Pozos, San L. de la Paz	21.22	100.50	2,188	37
23	11061 San Antonio, D. Hgo.	21.08	101.03	2,280	21
24	11063 S. Cristobal, S. L. de la P.	21.28	101.53	1,935	16
25	11064 San Diego de la Unión	21.47	100.87	2,080	50
26	11065 S. Felipe, S. Felipe (DGE)	21.48	101.20	2,100	36
27	11066 San José Iturbide	21.00	100.40	1,870	21
28	11068 San Luis de la Paz	21.30	100.52	2,020	37
29	11075 Soledad Nueva, Hgo.	21.28	100.92	1,935	22
30	11080 Villa Doctor Mora (SMN)	21.15	100.32	2,125	32
31	11084 Celaya, Celaya (DGE)	20.52	100.82	1,754	25
32	11085 Dos Arroyos, S. M. de A.	20.83	101.05	2,200	15
33	11088 San José Iturbide (DGE)	21.00	100.38	1,870	32
34	11090 Puruagua, Jerécuaro (SMN)	20.08	100.42	1,980	32
35	11093 San M. de Allende (SMN)	20.92	100.75	1,852	32
36	11094 Guanajuato, Guanajuato	21.02	101.25	2,057	20
37	11096 Salamanca, Salamanca	20.57	101.18	1,722	48
38	11098 Santa Cruz de Rosas (SMN)	20.65	101.00	1,697	35
39	11100 Roque, Celaya	20.57	100.83	1,760	16
40	11117 Lobos, San Felipe	21.35	101.62	2,510	10
41	11121 El Pinillo, Guanajuato	20.92	101.12	2,000	13
42	11122 Presa Jalpa, S. M. Allende	20.77	100.62	2,040	13
43	11124 El Chapín, Guanajuato	20.87	101.25	1,775	13
44	11136 La Joyita, J. Rosas	20.75	101.15	2,000	14
45	11140 El Carbón, Dolores, Hgo.	21.27	101.13	2,100	13
46	11145 La Gavia, Cortázar	20.38	101.82	2,330	11

Manejo de bases de datos de Precipitación y Temperatura

El análisis de la precipitación y temperatura se realizó para cada estación meteorológica de la siguiente manera: De los datos de precipitación se obtuvo la suma, la desviación estándar, los días de lluvia y la probabilidad de lluvia; se obtuvo el promedio y la desviación estándar para cada mes, año y por todos los años registrados. De los datos de temperatura observada, se obtuvo el promedio, el dato máximo y el mínimo, la desviación estándar para cada mes, año y para todos los años registrados. Los datos anuales obtenidos se dividieron por

estaciones del año, primavera, verano, otoño e invierno (Anexo 3). Para este proceso se utilizó el programa de Excel Office 2000.

Homoclimas

Para la formación de los homoclimas, la base de datos de precipitación y temperatura fue sometida a un análisis multivariado por factores y posteriormente con los eigenvectores obtenidos de ese análisis se formaron tres homoclimas mediante el análisis de conglomerados en el programa STATISTICA versión 6

El modelo del análisis de factores se expresa de la siguiente forma (Manly, 1986):

$$X_i = a_{ij}f_1 + a_{ij}f_2 + \dots + a_{im}f_m + e_i$$

Donde:

X_i es el resultado de i-ésima prueba o variable.

f 's factores comunes básicos, no son observables, representa un vector de observaciones.

a_{ij} indica la importancia de f_j en la variable X_i .

e_i factor específico, para interpretar la parte de la variable que es única a esa variable.

El análisis multivariado de factores según Rencher (1995) citado por De la Garza (2001), tiene como objetivo representar las variables X_1, X_2, \dots, X_p como combinaciones lineales de un pequeño número de variables aleatorias f_1, f_2, \dots, f_m llamadas factores o índices. Al igual que las variables originales, los factores varían de individuo a individuo, pero a diferencia de las variables, los factores no pueden ser medidos u observados. También establece que si las variables originales están moderadamente correlacionadas, la dimensión básica del sistema es menor al número de variables (De la Garza, 2001).

Elaboración de los Polígonos de Thiessen

Con la finalidad de obtener el área de influencia de cada estación se elaboraron Polígonos de Thiessen utilizando el programa ARC VIEW GIS 3.2 con la extensión CREATE THIESSSEN POLYGONS Versión 2.6.

Evaluación de SESS

Se obtuvo una base de datos por sitio de pastizal a partir de los manuales de COTECOCA del Estado de Guanajuato para la cuenca de captación del Río Laja, con variables que describen las características de cada uno de los sitios de pastizal del Estado. Esta base de datos se capturó en el programa Excel Office 2000. Las variables consideradas para la base de datos fueron: Precipitación Promedio Total (PPT), Producción de Forraje Utilizable (PFU), Carga Animal recomendada para cada sitio de pastizal para la condición Buena (CA / Ha / UAA), Pendiente y Profundidad del suelo.

Con el modelo SESS parametrizado con las variable mencionadas, se estimaron las siguientes variables para cada sitio de pastizal: Producción Primaria Neta Anual (PPNA), Eficiencia en el Uso de la Precipitación (EfUP), Producción de Forraje Utilizable (PFU), por ciento de Utilización de la Producción Primaria Neta Anual (% UPPNA). Se consideró que la Producción de Forraje Utilizable para el ganado representa el 15 % de la fitomasa aérea anual para la Cuenca del Río Laja. Este valor es similar al reportado por Kaplan (1984, citado por FAO, 1991) y por Díaz *et al.*, (2003).

La comparación se realizó para la PFU reportada por COTECOCA y la calculada por SESS para cada sitio de pastizal de la cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato, considerando la PPNA y su grado de utilización (Anexo 4). La comparación de los datos se efectuó con el programa STATISTICA versión 6. Posteriormente los sitios de pastizal de la Cuenca en estudio fueron ordenados de manera ascendente de acuerdo a la precipitación que reportó COTECOCA, una vez ordenada la base de datos, se formaron tres grupos de sitios de pastizal de

los cuales se obtuvieron valores medios de las variables necesarias para parametrizar SESS (drivers) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores promedio de las variables para parametrizar SESS (drivers).

Homoclimas	N	Precipitación media (mm / año⁻¹)	C. A. (ha / UAA⁻¹)	(SC)
1	21	511.2	13.6	0.1839
3	17	634.4	11.6	0.1172
2	8	701.8	13.2	0.0161

Las características del suelo se obtuvieron de acuerdo a lo propuesto por Díaz *et al*, 2003)

Con la finalidad de verificar si el modelo arroja resultados satisfactorios y apegados al sistema real en ambientes simulados con características de la región de la cuenca del Río Laja en el Estado de Guanajuato, SESS se corrió con 100 repeticiones para simulaciones de 20 años, utilizando los parámetros de los sitios de pastizal (Cuadro 2) para estimar la tendencia en la Condición del Pastizal (CP). Para la Condición del Pastizal se consideraron cargas animal altas y bajas a partir de la carga media recomendada por COTECOCA para cada grupo de sitios de pastizal. Los resultados arrojados por SESS fueron capturados y graficados en el programa STATISTICA versión 6.

Índices de Crecimiento (IC)

Los Índices de Crecimiento (IC) se calcularon para parametrizar el modelo SESS para las condiciones de los homoclimas, a partir de los datos de precipitación y temperatura. Los valores de los IC para cada uno de los homoclimas se obtuvieron de acuerdo a la metodología descrita por Díaz *et al.*, (2003). Para este caso, los datos de precipitación y temperatura fueron analizados por cada mes del año tomando en cuenta la precipitación acumulada y la temperatura media respectivamente, además de considerar los homoclimas.

El procedimiento es el siguiente: de los datos de precipitación, se obtiene el total anual por cada estación meteorológica y el promedio de la precipitación por mes de todas las estaciones meteorológicas que conforman cada homoclima. La precipitación acumulada se obtiene sumando los datos de cada mes por cada estación meteorológica de todos los años analizados para poder obtener el porcentaje de precipitación del homoclima. El Índice de Precipitación (IP) resulta de la división entre el porcentaje de precipitación por mes entre el promedio de precipitación acumulada de cada homoclima (Anexo 5), de igual manera con el homoclima 2 (Anexo 6) y el homoclima 3, (Anexo 7) con la siguiente fórmula:

$$PPI_i = (MPP_i) (\sum MPP_i)^{-1}$$

Para calcular los Índices de Temperatura (IT), se consideró la temperatura media de cada mes, por cada homoclima, restándole la temperatura base, que es de 10° C para las plantas C4 (Kiniry *et al.*, citado por Díaz *et al.*, 2003), estos resultados de cada mes son sumados, cuando existen datos negativos son convertidos a cero ya que son índices de calor. Posteriormente cada uno de los resultados mensuales son divididos entre la suma de las temperaturas (Anexo 8). Se realiza los mismos procedimientos con el homoclima 2 (Anexo 9) y el homoclima 3 (Anexo 10) . La fórmula utilizada es la siguiente:

$$TI_i = (MT_i - BT) \sum (MT_i - BT)^{-1}$$

Para obtener el Índice de Crecimiento (IC) se multiplicó el IPPT por el IT, para cada homoclima (Anexo 11). La fórmula es la siguiente:

$$IC \text{ ó } GI_i = (TI_i \times PPI_i) \sum (TI_i \times PPI_i)^{-1}$$

Aplicación del Modelo SESS

El programa SESS, se corrió con los datos de Índice de Crecimiento (IC), Precipitación y Temperatura, Carga Animal (ha UAA⁻¹) y la Condición del Suelo (CS) para cada homoclima. Los datos de IC se consideraron para cada mes y para cada homoclima. Se utilizó la versión de SESS parametrizada para Guanajuato. Para el modelo se utilizaron las precipitaciones de cada homoclima con una carga de 13.6, 13.2 y 11.6 ha UAA⁻¹ tal y como recomienda COTECOCA para cada uno de los tres homoclimas y el Índice de Crecimiento (IC). Se corrió SESS con 100 repeticiones para simulaciones de 20 años, para estimar la Biomasa Aérea Total y Verde (TSCR y GSC) y la tendencia en la Condición del Pastizal (CP). Los resultados numéricos arrojados por SESS fueron capturados y analizados por el programa STATISTICA versión 6.

Elaboración del mapa

El mapa se elaboró de acuerdo a las coordenadas geográficas de la región, se digitalizó en el programa ARC VIEW GIS 3.3. En este mapa se colocaron las coordenadas de cada una de las estaciones meteorológicas para ubicarlas dentro de la región y mediante los Polígonos de Thiessen ver cual fue su área de influencia.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de flujo seguido para obtener los resultados de este trabajo.

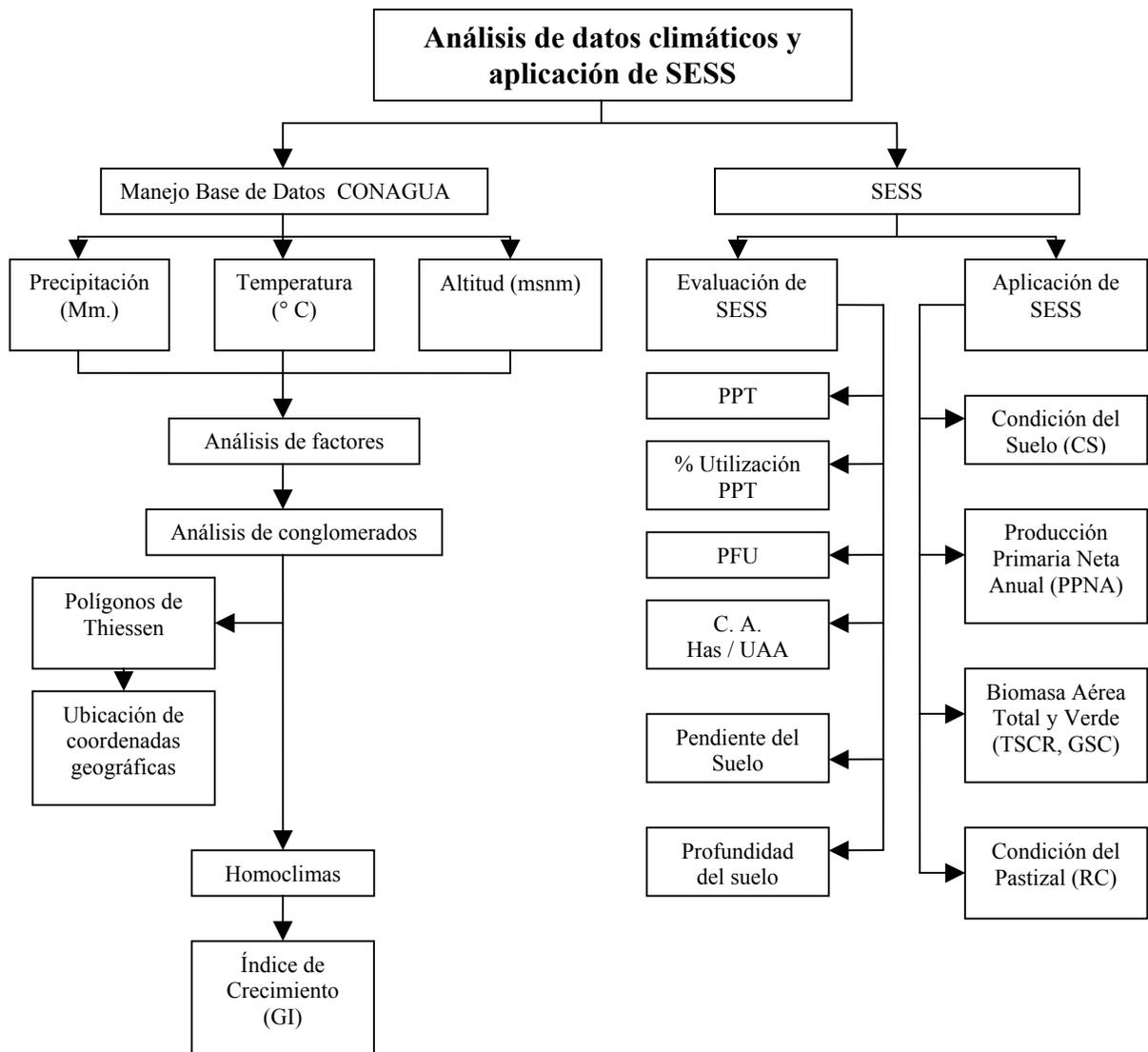


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso seguido para la obtención de la Producción Primaria Neta Anual (PPNA), Biomasa Aérea Total y Verde (TSCR, GSC) y la Condición del Pastizal (CP).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos analizados

En el Cuadro 3 se muestra el concentrado de datos obtenidos para precipitación y temperatura de primavera, verano, otoño e invierno de las estaciones climatológicas de la cuenca del Río Laja con los promedios obtenidos de la base de datos (ERIC II), además de la altura en metros sobre el nivel del mar de cada una de las 46 estaciones meteorológicas.

Cuadro 3. Precipitación y Temperatura promedio de las estaciones climatológicas por estación del año.

ID	PRECIPITACIÓN (mm)				TEMPERATURA (°C)			
	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	PRIM.	VER.	OTO.	INV.
1	46.19	381.38	149.48	27.48	14.86	17.19	13.37	9.47
2	54.85	401.80	171.55	38.50	15.02	18.30	15.44	9.13
3	52.28	400.59	167.71	31.91	16.15	16.09	14.63	12.54
4	58.16	361.60	161.79	28.96	16.29	18.48	14.37	9.20
5	66.68	379.53	180.00	53.80	12.89	16.02	11.01	5.65
6	50.62	405.43	153.16	19.53	16.09	17.87	14.04	9.40
7	67.64	260.82	133.52	25.36	15.03	16.31	13.14	9.10
8	54.92	269.07	116.64	20.49	14.30	18.22	13.70	9.23
9	110.55	188.29	154.23	225.79	11.45	12.87	11.16	8.26
10	60.59	325.20	145.92	28.03	11.01	11.84	10.44	8.30
11	63.82	480.98	196.67	32.93	13.94	16.42	11.96	6.91
12	63.85	363.88	171.96	24.44	13.94	16.42	11.96	6.91
13	90.22	371.49	255.18	35.26	13.10	14.49	11.97	8.83
14	48.95	422.62	174.29	23.55	17.30	19.87	15.11	10.05
15	38.41	483.20	156.84	21.53	17.20	19.18	15.68	10.68
16	63.13	234.59	114.32	22.59	25.57	31.80	23.36	12.77
17	46.06	441.34	132.98	17.67	18.71	18.36	17.43	14.89

18	55.52	372.93	151.41	21.56	13.93	17.07	12.87	8.30
19	93.86	272.00	142.60	59.52	15.18	16.08	12.89	9.43
20	66.08	295.15	134.33	22.76	12.19	15.75	11.11	5.80
21	42.30	393.81	161.99	25.88	12.55	16.28	12.74	7.14
22	67.27	243.96	130.47	27.96	13.90	14.93	11.92	7.66
23	64.20	398.37	168.63	36.96	14.30	14.52	11.49	8.99
24	33.53	376.74	115.78	24.49	13.54	14.09	12.60	10.79
25	60.84	208.86	93.17	24.75	14.17	21.67	15.62	9.88
26	56.31	244.65	127.72	27.79	13.54	16.02	10.83	7.48
27	96.71	298.82	114.10	29.13	11.62	12.93	10.34	5.86
28	55.62	166.37	95.68	22.30	11.07	12.97	11.43	7.71
29	61.20	244.11	118.11	19.30	12.56	15.03	11.62	8.46
30	68.30	292.52	141.70	29.32	14.89	16.05	13.03	9.31
31	47.78	360.68	151.14	27.35	15.54	18.24	13.96	9.31
32	47.82	503.61	147.39	25.40	13.53	15.22	12.00	8.80
33	77.20	288.88	144.00	24.80	14.30	15.93	12.31	8.41
34	82.28	534.95	213.00	38.41	13.45	15.75	12.77	8.80
35	58.88	311.26	129.21	26.09	16.19	18.21	14.68	10.38
36	59.93	468.17	155.53	34.57	16.56	17.74	15.19	11.33
37	48.57	467.08	178.34	26.47	14.54	17.77	13.78	8.03
38	58.45	403.22	157.43	24.01	16.25	17.73	14.46	10.31
39	45.98	373.56	130.18	19.32	14.78	17.55	13.30	9.06
40	16.17	195.01	74.22	32.68	12.32	13.54	12.60	8.97
41	43.37	414.37	163.66	30.13	15.11	17.37	14.01	10.20
42	44.81	404.86	116.12	32.18	12.23	15.41	10.95	6.65
43	32.87	400.35	140.22	33.58	12.97	16.47	12.87	8.72
44	37.91	411.39	132.28	28.51	14.71	17.36	14.59	10.73
45	48.01	338.48	106.41	23.49	11.72	14.40	9.92	8.49
46	30.10	437.45	109.14	44.48	13.43	14.43	11.97	8.63

En este cuadro 3 se observa que las estaciones del año están bien definidas por la precipitación y la temperatura. En relación a la precipitación, estos van aumentando en los meses de la primavera, alcanzando las máximas precipitaciones durante los meses del verano y van disminuyendo en los meses del otoño, alcanzando el pico más bajo en los meses del invierno. Ocurre lo mismo en relación

con la temperatura. La estación climática No. 34, localizada en Puruagua, en el municipio de Jerécuaro, presenta la mayor precipitación pluvial con 534.95 mm para los meses del verano con una temperatura promedio de 15.75 ° C, por otro lado la estación climática No. 17, localizada en Mandujano en el municipio de Santa Cruz de Juventino Rosas, presenta la precipitación pluvial mínima con 17.67 mm para los meses de invierno con una temperatura de 14.89 ° C.

Homoclimas

Las variables analizadas fueron: Precipitación en Primavera (PP), Precipitación en Verano (PV), Precipitación en Otoño (PO), Precipitación en Invierno (PI), Temperatura en Primavera (TP), Temperatura en Verano (TV), Temperatura en Otoño (TO), Temperatura en Invierno (TI).

El análisis de factores indica que los tres primeros factores representan el 83.44% de la varianza total. El factor 1 representa el 44.27% de la varianza total. El factor 2 representa el 19.90% y, el factor 3 representa el 19.17% de la varianza total. Mientras que el modelo representa el 83.34% de la varianza acumulada (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de la Varianza Total por cada factor y la Varianza Acumulada.

Factor	Varianza Total %	Varianza Acumulada (%)
1	44.27	44.27
2	19.90	64.17
3	19.17	83.34

En el Cuadro 5, se observa que la relación en el factor 1 es altamente significativa en relación a las temperaturas en cada uno de los factores. Son negativas en relación al factor pero positivas entre si ya que tienen el mismo signo. En el factor 2, la Precipitación en Otoño (PO) es altamente significativa en relación a las demás estaciones del año y a las precipitaciones de los demás factores. En el factor 3, la Precipitación en Verano es altamente significativa en relación a las demás estaciones del año, por que es la estación del año en que las precipitaciones son

abundantes y las temperaturas no son significativas en relación a los demás homoclimas.

Cuadro 5. Coeficientes de Correlación de las variables con los factores.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
PP	0.336526	0.499571	-0.681077
PV	-0.226826	0.585290	0.707197
PO	0.025478	0.940822	0.170523
PI	0.365013	0.310399	-0.641832
TP	-0.946315	0.130088	-0.184148
TV	-0.884274	0.018671	-0.220459
TO	-0.962247	0.032903	-0.203298
TI	-0.799842	0.001694	-0.068403
Expl. Var	3.541703	1.591987	1.533541
Prp.Totl	0.442713	0.198998	0.191693

Los eigenvectores obtenidos en el análisis de factores se utilizaron como variables para definir los conglomerados, que finalmente son los homoclimas. En el Anexo 12, se concentran los factores de cada conglomerado que nos ayudan a definir los homoclimas

En el Cuadro 6 se concentra la tabla de los factores por cada conglomerado. Se agruparon 3 conglomerados, que corresponden a un homoclima cada uno.

Cuadro 6. Precipitación Total, Temperatura Promedio y descripción del clima por homoclima.

Homoclima	Precipitación (mm).	Temperatura (°C)	Clima
1	511.2	12.29	Seco-Muy Frío
3	634.4	15.14	Subhúmedo-Frío
2	701.8	12.18	Húmedo-Muy Frío

Homoclima 1

Comprende sitios con altitudes que van de los 1760 a los 2510 msnm, como es parte de la Sierra Central, de El Bajío, y generalmente de Los Altos, con precipitaciones promedio de 511.2 mm anuales, siendo la que menor precipitación presenta, con una temperatura promedio de 12.3 °C similar al homoclima 2 en cuanto a esta última variable, por lo que se clasifica en un clima Seco-Muy Frío (SMF). La proporción del crecimiento anual en el verano es de 0.27 mensual. El período de lluvias más fuertes y altas temperaturas se presentan del mes de Junio a Septiembre. Las estaciones que comprenden éste homoclima son: 11015, Charcas, San José de Iturbide; 11017, Dolores Hidalgo Cap. Rural; 11030 Jaral de Berrio, San Felipe; 11048 Neutla, Comonfort; 11051, Peñuelitas, D. Hidalgo; 11052, Pericos, Salamanca; 11053, Pozos, S. L. de la Paz; 11063, San Cristóbal, S. L. de la Paz; 11064, San Diego de la Unión; 11065, San Felipe, San Felipe (DGE); 11066, San José de Iturbide; 11068, San Luis de la Paz; 11075, Soledad Nueva, D. Hidalgo; 11080, Villa Doctor Mora; 11088, San José de Iturbide; 11100, Roque, Celaya; 11117, Lobos, San Felipe; 11122, Presa Jalpa, San M. de Allende; 11124, El Chapín, Guanajuato; 11140, El Carbón, D. Hidalgo; y 11145, La Gavia, Cortázar (Cuadro 7).

Cuadro 7. Estaciones del homoclima 1 con la precipitación promedio y total por estaciones del año así como la temperatura promedio por estaciones del año.

ID-EST.	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)				
	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	TOTAL	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	PROM
7-11015	67.64	260.82	133.52	25.36	487.35	15.03	16.31	13.14	9.10	13.39
8-11017	54.92	269.07	116.64	20.49	461.11	14.30	18.22	13.70	9.23	13.86
10-11030	60.59	325.20	145.92	28.03	559.75	11.01	11.84	10.44	8.30	10.40
18-11048	55.52	372.93	151.41	21.56	601.43	13.93	17.07	12.87	8.30	13.04
20-11051	66.08	295.15	134.33	22.76	518.32	12.19	15.75	11.11	5.80	11.21
21-11052	42.30	393.81	161.99	25.88	623.98	12.55	16.28	12.74	7.14	12.18
22-11053	67.27	243.96	130.47	27.96	469.67	13.90	14.93	11.92	7.66	12.10
24-11063	33.53	376.74	115.78	24.49	550.54	13.54	14.09	12.60	10.79	12.76

25-11064	60.84	208.86	93.17	24.75	387.62	14.17	21.67	15.62	9.88	15.34
26-11065	56.31	244.65	127.72	27.79	456.46	13.54	16.02	10.83	7.48	11.97
27-11066	96.71	298.82	114.10	29.13	538.77	11.62	12.93	10.34	5.86	10.19
28-11068	55.62	166.37	95.68	22.30	339.98	11.07	12.97	11.43	7.71	10.80
29-11075	61.20	244.11	118.11	19.30	442.72	12.56	15.03	11.62	8.46	11.92
30-11080	68.30	292.52	141.70	29.32	531.84	14.89	16.05	13.03	9.31	13.32
33-11088	77.20	288.88	144.00	24.80	534.88	14.30	15.93	12.31	8.41	12.74
39-11100	45.98	373.56	130.18	19.32	569.04	14.78	17.55	13.30	9.06	13.67
40-11117	16.17	195.01	74.22	32.68	318.08	12.32	13.54	12.60	8.97	11.86
42-11122	44.81	404.86	116.12	32.18	597.98	12.23	15.41	10.95	6.65	11.31
43-11124	32.87	400.35	140.22	33.58	607.02	12.97	16.47	12.87	8.72	12.76
45-11140	48.01	338.48	106.41	23.49	516.39	11.72	14.40	9.92	8.49	11.13
46-11145	30.10	437.45	109.14	44.48	621.17	13.43	14.43	11.97	8.63	12.12
PROMEDIO					511.15					12.29

Homoclima 2

Comprende sitios con altitudes que van de los 1238 a los 2300 msnm, ubicándose en su mayor parte en la zona geográfica de Los Altos, y en la Sierra Central, con precipitaciones promedio de 702 mm anuales y una temperatura promedio de 12.2 °C siendo la temperatura de este homoclima similar al homoclima 1, pero la precipitación es mayor a los homoclimas 1 y 3 por lo que se clasifica como un clima Húmedo-Muy Frío. Las altas precipitaciones ocurren durante los meses de Junio a Septiembre alcanzando el pico más alto en Julio y las temperaturas van aumentando desde Abril a Septiembre. En cuanto al comportamiento del IC ésta es muy similar al homoclima 3 y 2. Las estaciones que forman este homoclima son las siguientes: 11011, Cinco Señores; 11022, El Terrero, A. el Alto; 11031, Jerécuaro, Jerécuaro; 11033, la Begoña, S. M. de Allende; 11037, Las Mesas, S. L. de la Paz; 11050, Ocampo, Ocampo (SMN); 11061, San Antonio, D. Hidalgo; y 11090, Puruagua, Jerécuaro (SMN) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Estaciones del homoclima 2 con la precipitación promedio y total por estaciones del año así como la temperatura promedio por estaciones del año.

ID EST.	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)				
	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	TOTAL	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	PROM.
5-11011	66.68	379.53	180.00	53.80	680.01	12.89	16.02	11.01	5.65	11.39
9-11022	110.55	188.29	154.23	225.79	678.87	11.45	12.87	11.16	8.26	10.94
11-11031	63.82	480.98	196.67	32.93	774.39	13.94	16.42	11.96	6.91	12.31
12-11033	63.85	363.88	171.96	24.44	624.14	13.94	16.42	11.96	6.91	12.31
13-11037	90.22	371.49	255.18	35.26	752.16	13.10	14.49	11.97	8.83	12.10
19-11050	93.86	272.00	142.60	59.52	567.98	15.18	16.08	12.89	9.43	13.39
23-11061	64.20	398.37	168.63	36.96	668.16	14.30	14.52	11.49	8.99	12.32
34-11090	82.28	534.95	213.00	38.41	868.64	13.45	15.75	12.77	8.80	12.69
PROMEDIO					701.79					12.18

Homoclima 3

Este homoclima tiene sitios con altitudes que van de los 1697 a los 2200 msnm, ubicándose geográficamente en su mayor parte en la Sierra Central y El Bajío, con precipitaciones promedio de 634 mm anuales, siendo una precipitación intermedia comparándolas con los homoclimas 1 y 2, pero presenta una temperatura de 15 °C siendo mayor que en los homoclimas 1 y 2 por lo que se clasifica como un clima Subhúmedo - frío (ShF). Las lluvias al igual que las temperaturas se distribuyen mas uniformemente durante el año, presentando los más altos valores, en cuanto a precipitación, de Mayo a Octubre, y de temperatura de Abril a Septiembre. Las precipitaciones alcanzan su pico mas alto en el mes de Julio al igual que el IC. Las estaciones que la conforman, son: 11005, Apaseo, A. el Grande; 11006, A. el Alto; 11007, Calderones, Guanajuato; 11009, Celaya, Celaya (SMN); 11013, Cortázar, Cortázar; 11040, los Castillos, León; 11041, Los Razos, Salamanca; 11043, Lourdes, S. L. de la Paz; 11044, Mandujano, Santa Cruz de J. Rosas; 11084, Celaya, Celaya (DGE); 11085, Dos Arroyos, S. M. de Allende; 11093, San Miguel de Allende (SMN); 11094, Guanajuato, Guanajuato; 11096, Salamanca, Salamanca; 11098, Santa Cruz de J. Rosas (SMN); 11121, El Pinillo, Guanajuato; y 11136, La Joyita, Santa Cruz de J. Rosas (cuadro 9).

Cuadro 9. Estaciones del homoclima 3 con la precipitación promedio y total por estaciones del año así como la temperatura promedio por estaciones del año.

ID EST.	PRECIPITACION (mm)					TEMPERATURA (°C)					
	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	TOTAL	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	PROM	
1-11005	46.19	381.38	149.48	27.48	604.53	14.86	17.19	13.37	9.47	13.72	
2-11006	54.85	401.80	171.55	38.50	666.70	15.02	18.30	15.44	9.13	14.47	
3-11007	52.28	400.59	167.71	31.91	652.48	16.15	16.09	14.63	12.54	14.85	
4-11009	58.16	361.60	161.79	28.96	610.51	16.29	18.48	14.37	9.20	14.59	
6-11013	50.62	405.43	153.16	19.53	628.74	16.09	17.87	14.04	9.40	14.35	
14-11040	48.95	422.62	174.29	23.55	669.41	17.30	19.87	15.11	10.05	15.58	
15-11041	38.41	483.20	156.84	21.53	699.99	17.20	19.18	15.68	10.68	15.69	
16-11043	63.13	234.59	114.32	22.59	434.63	25.57	31.80	23.36	12.77	23.38	
17-11044	46.06	441.34	132.98	17.67	638.06	18.71	18.36	17.43	14.89	17.35	
31-11084	47.78	360.68	151.14	27.35	586.95	15.54	18.24	13.96	9.31	14.26	
32-11085	47.82	503.61	147.39	25.40	724.23	13.53	15.22	12.00	8.80	12.39	
35-11093	58.88	311.26	129.21	26.09	525.44	16.19	18.21	14.68	10.38	14.86	
36-11094	59.93	468.17	155.53	34.57	718.18	16.56	17.74	15.19	11.33	15.20	
37-11096	48.57	467.08	178.34	26.47	720.46	14.54	17.77	13.78	8.03	13.53	
38-11098	58.45	403.22	157.43	24.01	643.11	16.25	17.73	14.46	10.31	14.68	
41-11121	43.37	414.37	163.66	30.13	651.53	15.11	17.37	14.01	10.20	14.17	
44-11136	37.91	411.39	132.28	28.51	610.09	14.71	17.36	14.59	10.73	14.35	
PROMEDIO					634.41						15.14

El comportamiento de los Índices de Crecimiento de los homoclimas son muy similares entre sí. El crecimiento de forraje está estrechamente relacionado con el periodo de precipitaciones altas y con las temperaturas del ambiente. Estos periodos ocurren durante los meses del verano. El Índice de Crecimiento es de: 0.27, 0.25, y 0.26 en el homoclima 1, 2 y 3 respectivamente. Conforme se aproxima el invierno, las plantas dejan de crecer ya que entran en un periodo de latencia o dormancia, esto ocurre durante los meses de Octubre a Noviembre. El Índice de Crecimiento en cada uno de los homoclimas es de 0.00 (Figura 7).

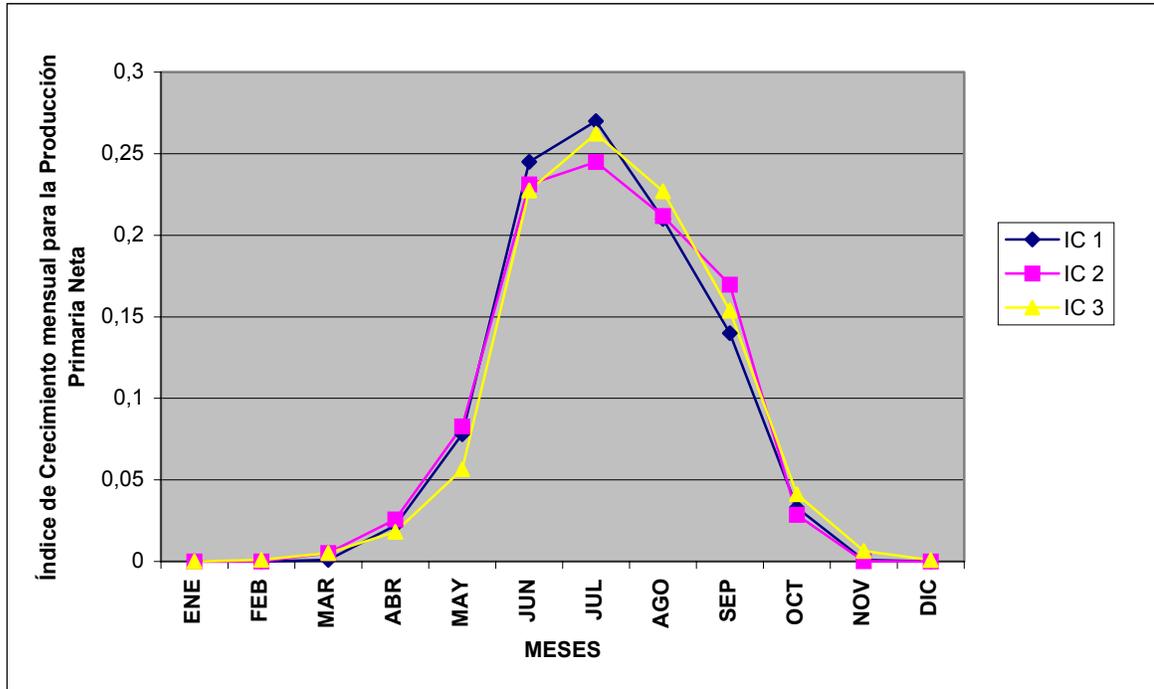


Figura 7. Índice de Crecimiento mensual para la Producción Primaria Neta Anual, para cada uno de los homoclimas de la cuenca del Río Laja, Guanajuato.

En la Figura 8, se observa la distribución de los homoclimas en la cuenca del Río Laja. El homoclima 1 se encuentra distribuido de manera irregular, ocupa aproximadamente un 10% de la región de la cuenca, por lo que encontramos este homoclima en la parte noreste, sur, suroeste, noroeste y centro del área de estudio. El homoclima 2 se encuentra distribuido de manera más homogénea que el homoclima 1 y 3, ocupa aproximadamente el 60% del territorio de la cuenca. Abarca parte de la zona norte, pasa por el centro y casi toda la parte sur de la cuenca. El homoclima 3 se encuentra distribuido de manera más homogénea que el homoclima 1, pero menos que el homoclima 2. Abarca aproximadamente el 40% del territorio de la cuenca.

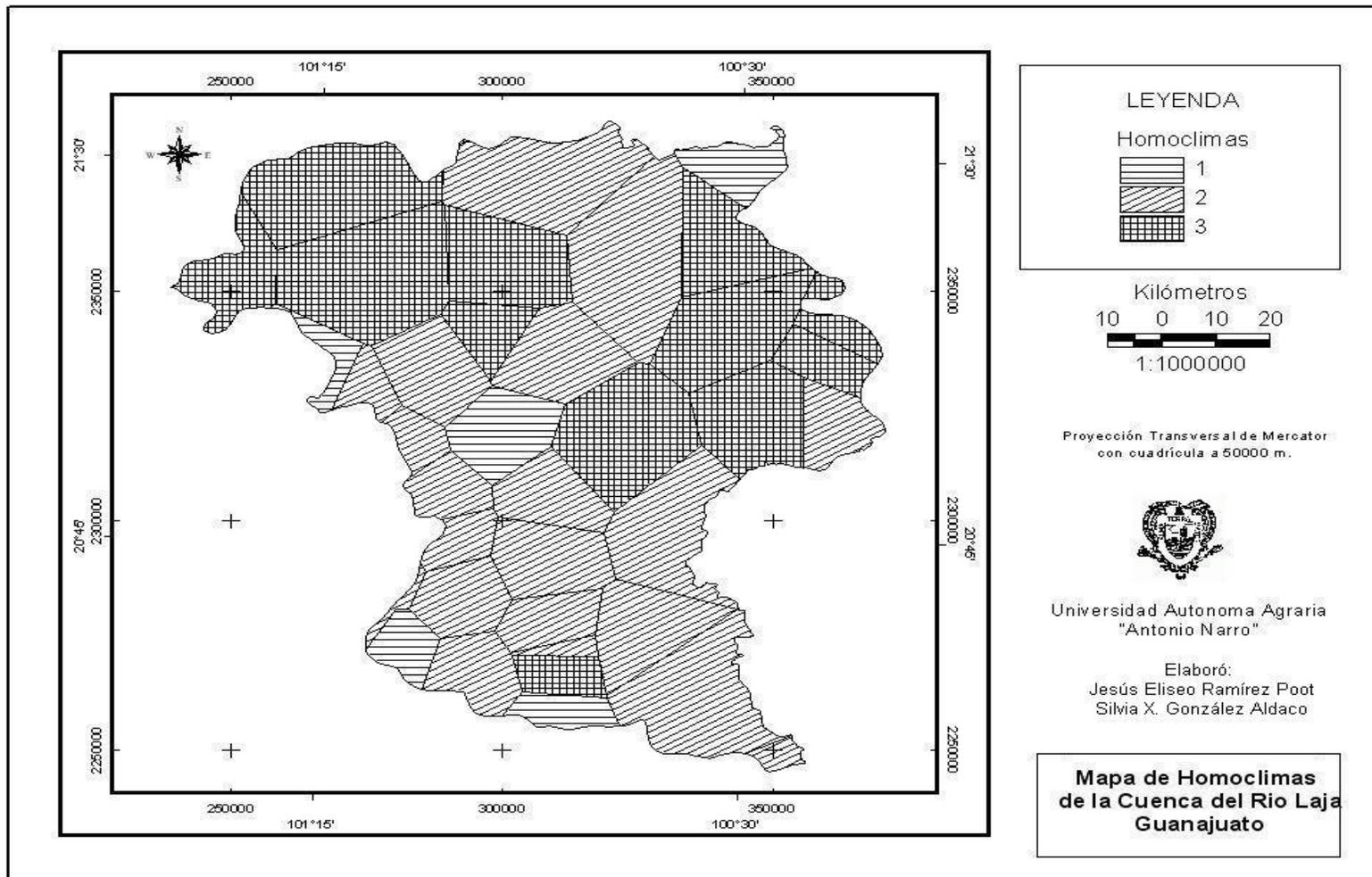


Figura 8. Mapa y distribución de los homoclimas en la cuenca del Río Laja.

El Cuadro 10 muestra el resumen de las características climáticas de los homoclimas de la cuenca del Río Laja, en Guanajuato. Se observa que en el homoclima 1 la precipitación mas alta es de 115.11 mm, la temperatura promedio es de 15.5 °C, y el IC es de .27. En el homoclima 2 la precipitación promedio en julio es de 136.65 mm, la temperatura promedio es de 15.17 °C y, el IC es de 0.25. Mientras que en el homoclima 3 la precipitación promedio es de 149.36 mm, la temperatura es de 18.52 °C y el IC es de .26.

Cuadro 10. Resumen de las características climáticas de los homoclimas de la cuenca del Río Laja, Guanajuato.

MES	HOMOCLIMA 1			HOMOCLIMA 2			HOMOCLIMA 3		
	PPT mm	TMM °C	IC 1	PPT mm	TMM °C	IC 2	PPT mm	TMM °C	IC 2
ENE	11.63	7.84	0.000	17.87	8.13	0.000	12.28	9.96	0.000
FEB	6.23	8.48	0.000	30.88	7.96	0.000	5.81	10.80	0.001
MAR	5.81	10.54	0.001	19.44	10.77	0.005	6.83	13.69	0.005
ABR	16.09	13.24	0.022	17.98	14.13	0.026	13.02	16.76	0.018
MAY	32.48	15.66	0.078	41.95	15.69	0.083	30.82	18.89	0.056
JUN	93.11	16.18	0.245	112.65	15.92	0.231	118.91	19.28	0.227
JUL	115.11	15.50	0.270	136.65	15.17	0.245	149.36	18.52	0.262
AGO	98.05	15.02	0.210	125.22	14.88	0.212	135.98	18.10	0.227
SEP	79.61	14.14	0.140	119.43	14.10	0.170	101.17	17.38	0.154
OCT	34.95	12.21	0.033	53.15	11.55	0.029	40.94	14.89	0.041
NOV	9.29	10.13	0.001	12.71	10.05	0.000	10.65	12.92	0.006
DIC	8.78	8.53	0.000	14.65	7.82	0.000	8.63	10.51	0.001
ANUAL	511.15	12.29	1.000	702.56	12.18	1.000	634.41	15.14	1.000
	SECO MUY FRIO (SF)			HÚMEDO – MUY FRIO(HMF)			SUBHUMEDO - FRIO (ShF)		

Evaluación de SESS con la información reportada por COTECOCA.

Producción de Forraje Utilizable (PFU)

En la Figura 9 se puede observar la relación entre la Precipitación y la Producción de Forraje Utilizable (Kg MS / ha⁻¹) estimada por el modelo y la reportada por COTECOCA. Existe una correlación positiva entre la PFU reportada por COTECOCA y la estimada por el modelo ($R^2= 0.38$). Aunque

existen algunas sobreestimaciones reportadas por COTECOCA en los sitios con precipitaciones de 375 mm hasta 580 mm y en los sitios con precipitaciones de 680 y 700 mm. Las sobreestimaciones por parte del modelo ocurren en los sitios con precipitaciones de 650 mm y de 720 hasta los 825 mm. El porcentaje de Forraje Utilizable de la PPNA corresponde al 15%. En algunos sitios de pastizal la Producción de Forraje Utilizable estimada por COTECOCA es muy alta en comparación con la estimada por el modelo.

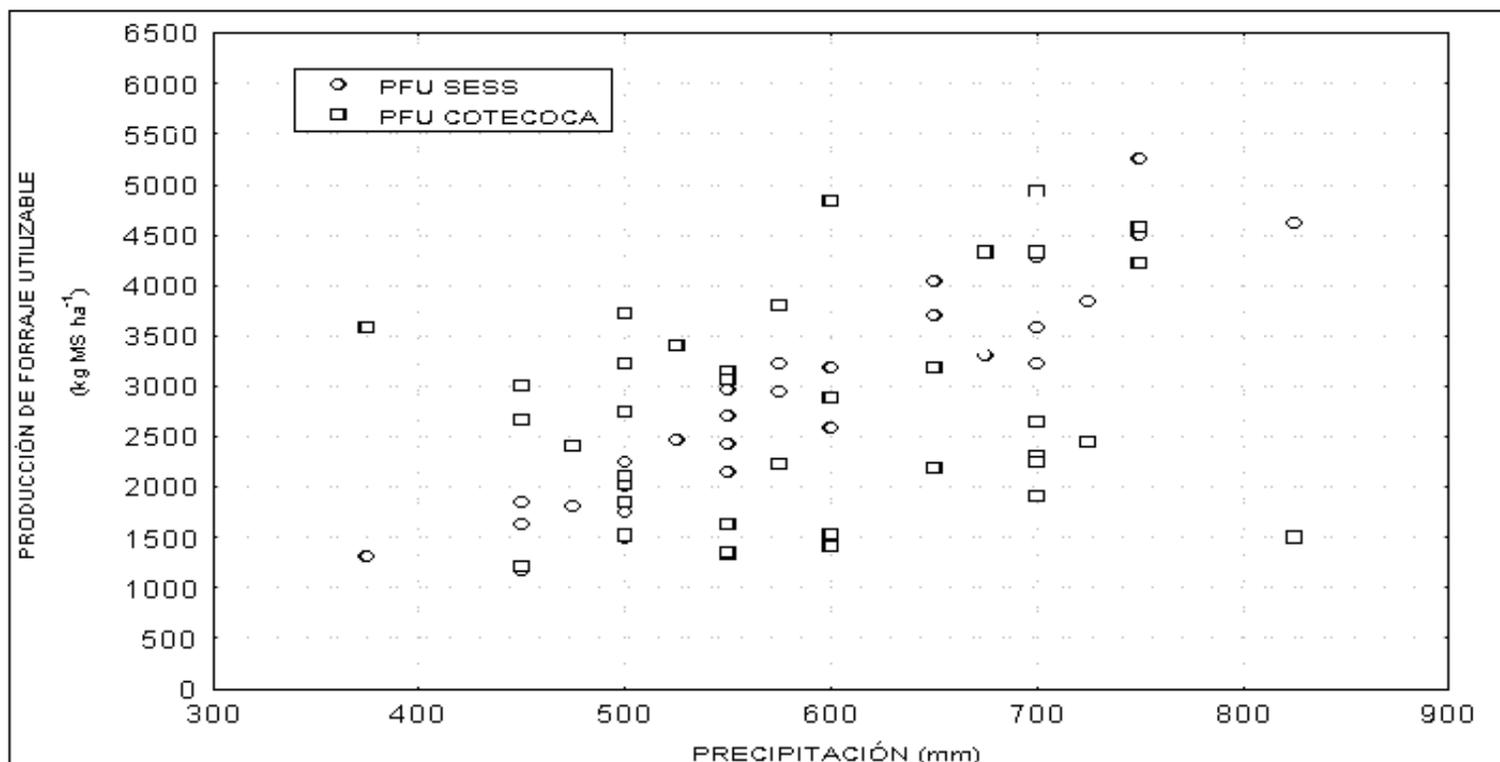


Figura 9. Comparación entre la Producción de Forraje Utilizable estimada por SESS y la Producción de Forraje Utilizable estimada por COTECOCA, para la condición Buena, para sitios de Pastizal con precipitaciones desde los 375 mm hasta 825 mm en la Cuenca del Río Laja, Guanajuato.

Condición del Pastizal (CP)

La Condición del Pastizal estimada por SESS en cada uno de los tres sitios de pastizal muestra un comportamiento diferente, pero siempre tendientes a mejorar la CP principalmente en los sitios dos y tres (Figura 10). Las variables fueron calculadas bajo los parámetros de precipitación, características del suelo y carga animal recomendado por COTECOCA en condición buena del pastizal. En el homoclima 1 se tiene un comportamiento estable durante los 20 años simulados, teniendo una leve mejoría, esto quiere decir que los resultados de SESS avalan la carga recomendada por COTECOCA como una carga sustentable (Anexo 13). La CP del homoclima 2 es estable durante los primeros 3 años, mejorando durante los siguientes cinco años alcanzando una estabilidad para los siguientes 12 años de los 20 años simulados y, la precipitación en este homoclima van de los 568 mm hasta 869 mm, la carga animal recomendada por COTECOCA para este homoclima aparece en el Anexo 14. En el homoclima 3 la CP es estable durante los primeros tres años, mejorando durante los siguientes 8 años hasta mantener una condición estable por los siguientes 9 años, las precipitaciones van de los 525 mm hasta los 724 mm la carga animal recomendada por COTECOCA aparece en el Anexo 15. Aquí, en estos dos últimos homoclimas existen unos buenos niveles de precipitación y una buena producción de forraje, además de que los climas son Húmedo-Muy Frío y Subhúmedo- Frío, respectivamente. En general se concluye que SESS coincide en los 3 grupos de sitios de pastizal al estimar que las cargas recomendadas por COTECOCA son sustentables. Aunque en el caso de los grupos 2 y 3 se puede decir que están ligeramente subutilizados. La precipitación y la carga animal influyen en la productividad y mejoramiento en la condición del pastizal en cada homoclima. A mayor precipitación y menor carga animal la condición del pastizal mejora rápidamente como es el caso del homoclima 3; a menor precipitación y mayor carga animal la condición del pastizal tarda más tiempo en mejorar como es el caso del homoclima 1.

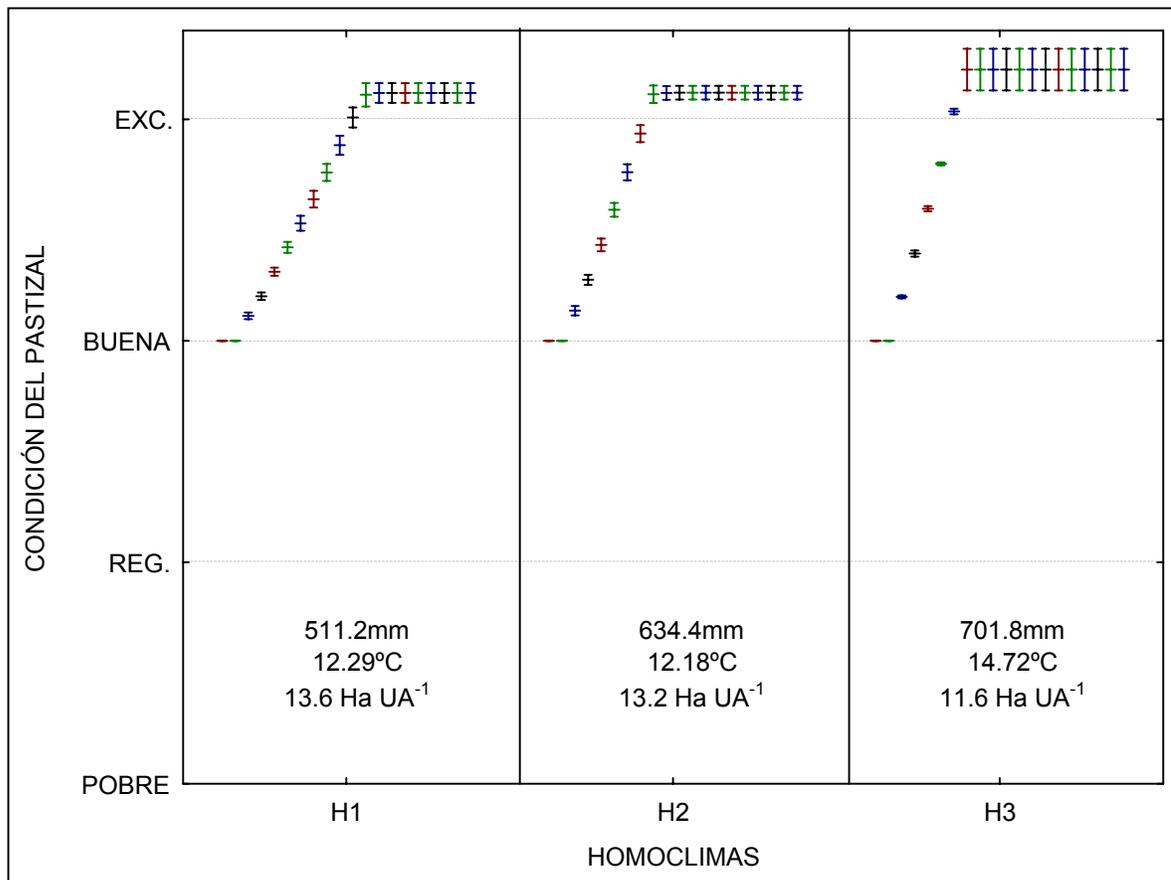


Figura 10. Cambios en la Condición de Pastizal durante 20 años simulados con 100 repeticiones bajo diferentes niveles de precipitación y carga animal estimada por COTECOCA de cada homoclima para la cuenca del Río Laja.

V. CONCLUSIONES

El análisis de la precipitación y de la temperatura fue de gran importancia para la elaboración de los mapas de homoclimas, y su ubicación dentro de la cuenca del Río Laja para analizar la condición del pastizal de cada uno de ellos.

Los resultados arrojados por el Modelo SESS, sugieren que se sobreestima la PFU por parte de COTECOCA en los sitios donde la precipitación es de los 375 a los 580 mm y en los sitios con precipitaciones de 680 y 700 mm. SESS sobreestima la PFU sobre COTECOCA en los sitios con precipitaciones de 650 mm y, de 720 hasta los 825 mm. Sin embargo, SESS coincide en los 3 grupos de sitios de pastizal al estimar que las cargas recomendadas por COTECOCA son sustentables.

El uso de los modelos de simulación es importante, pues ofrecen información y avisos tempranos para tomar las decisiones adecuada en los ajustes de carga animal en base a la PFU. Además, nos permite realizar comparaciones con los reportes realizados por COTECOCA, para saber qué tan adecuados son los resultados de PFU que estima.

VI. RESUMEN

Los objetivos de este trabajo, fueron analizar la información de la red de estaciones meteorológicas que se encuentran dentro del área de la cuenca del Río Laja, en el Estado de Guanajuato, evaluar y aplicar SESS para la producción de forraje anual y analizar el comportamiento de la condición del pastizal. La información analizada se refiere a la precipitación y temperatura de 46 estaciones climáticas obtenidas de una base de datos generado por IMTA llamado ERIC II. Estos datos fueron capturados en el programa EXCELL y agrupados en estaciones del año, primavera, verano, otoño e invierno.

Los promedios de precipitación y temperatura se sometieron a un análisis multivariado por factores, para conocer la relación que existe entre las variables. Con los factores se formaron conglomerados que agruparon a las estaciones climatológicas de acuerdo a la similitud entre los datos en tres homoclimas.

Con la información del manual de COTECOCA de Guanajuato, para los diferentes sitios de pastizal, se obtuvo una base de datos que describen cada uno de los sitios de pastizal del área de la cuenca del Río Laja, los cuales fueron capturados en el Programa EXCELL. Las variables consideradas fueron Precipitación Promedio Total (PPT), Producción de Forraje Utilizable (PFU), Carga animal recomendada para cada sitio de pastizal para la condición buena, Pendiente y Profundidad del Suelo.

Con el modelo SESS parametrizado con las variable mencionadas, se estimaron las siguientes variantes para cada sitio de pastizal: Producción Primaria Neta Anual (PPNA), Eficiencia en el Uso de la Precipitación (EfUP), Producción de Forraje Utilizable (PFU), por ciento de Utilización de la Producción Primaria Neta Anual (% UPPNA). La comparación se realizó para la PFU reportada por COTECOCA y la calculada por SESS para cada sitio de pastizal de la cuenca del

Río Laja en el Estado de Guanajuato, considerando la PPNA y su grado de utilización.

Para verificar si SESS arrojó resultados similares al sistema real, se formaron 3 grupos con los sitios de pastizal y se obtuvieron los promedios de carga animal, condición del suelo y precipitación media anual, se parametrizó SESS y se corrió con 100 repeticiones con simulaciones de 20 años para estimar la condición del pastizal. Los resultados de producción arrojados por el modelo sugiere que existe una correlación positiva entre la PFU reportada por COTECOCA y la estimada por el modelo. Aunque existen algunas sobreestimaciones reportadas por COTECOCA en algunos sitios de pastizal y viceversa. La condición del pastizal se mantiene estable en el homoclima 1, mientras que en el homoclima 2 y 3 la condición va mejorando de manera rápida por el efecto de que las precipitaciones son más altas a comparación del homoclima 1

LITERATURA CITADA

- Aizpuru, G. E. 1982. Apuntes del curso de Manejo de Pastizales. UAAAN. Saltillo, Coah., México.
- Bell, H. M. 1973. Rangeland Management for livestock production. University of Oklahoma Press, U. S. A.
- Cantú B., J. E. 1984. Manejo de Pastizales. Departamento de Producción Animal. 1ª ed. UAAAN-UL. Torreón, Coah., México.
- Cantú B., J. E. 1985. Apuntes de Cultivos Forrajeros. Departamento de Fitomejoramiento. 1ª ed. UAAAN-UL. Torreón, Coah., México.
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1967. Metodología para determinar tipos vegetativos, sitios y productividad de sitios. COTECOCA. SAG. Publicación No. 8 México, D. F.
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1979. Coeficientes de Agostadero del Estado de Coahuila. COTECOCA - SAG. México.
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1979. Coeficientes de Agostadero del Estado de Guanajuato. COTECOCA - SAG. México.
- 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.

- De la Garza, R. A. 2001. Métodos estadísticos multivariados aplicados a resultados de investigaciones agropecuarias. Tesis. Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 114p.
- Díaz, S. H., M. M. Kothmann, W. T. Hamilton, W. E. Grant, 2003. A simple ecological sustainability simulator (SESS) for stocking rate management on semi – arid grazinglands. Elsevier Science Ltd. Agricultural System. Texas.
- Esparza A., C. A. 2002. Evaluación y Calibración de SESS: un Modelo de Simulación para la Producción Sustentable de Pastizales. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.
- 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 W.H. Prins and G.H. Arnold (Eds). The role of nitrogen in intensive grassland production. Purdoc, Wageningen, The Netherlands.
- Grant, W. E., S. L. Marín and E. K. Pedersen. 1997. Ecology and natural resource management: system analysis and simulation. John Wiley & Sons. USA.. 373 p
- Hernández, J. I. I. 2002. Stream prioritization for Natural Resource recovery and development in the rio Laja watershed, Guanajuato, Mexico. Dissertation. New Mexico State University.
- Hernández, R. L. 1952. Meteorología, Física y Climatologías Agrícolas. Editorial SALVAT. 1ª Edición. México. Pág. 370.

- Hernández V., M. 2005. Análisis de Datos climáticos en los pastizales del Noreste de Coahuila. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah., México.
- Huss, D. L. y E. L. Aguirre. 1979. Fundamentos de Manejo de Pastizales. ITESM. Monterrey, N. L., México.
- Instituto Nacional de Capacitación Agropecuaria. (INCA Rural). 1984. Praderas y cultivos forrajeros. Segunda parte. INCA, AC .D.F. p. 6 y 7.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1973. Cartas edafológicas Guanajuato (F14-7) y Querétaro (F14-10). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1983. Cartas geológicas Guanajuato (F14-7) y Querétaro (F14-10). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1994. Anuario Estadístico del Estado de Guanajuato. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Gobierno del Estado de Guanajuato. Aguascalientes, Ags.
- Ibarra, F. 1990. Importancia de los Sistemas de Pastoreo. Manejo de Pastizales. CIPES (Centro de Investigaciones pecuarias del Estado de Sonora), México.
- Jaramillo, V. V. 1986. La importancia de los Coeficientes de Agostadero y de las Gramíneas en el Manejo de los Agostaderos del País. pp. 8 – 16.
- Jones J. W. y B. P. Verna. 1971. Simulación digital del estatus dinámico de la humedad del suelo. Transactions ASAE. 660 – 664 pp.

- Kitching, R. L. 1983. Systems ecology. An introduction to ecological modelling. University of Queensland press. 277 p.
- Klemmedson, J. O. 1970. Need for soil information in the management of range resources. *J. Range Manage.* 23: 139 – 143.
- Le Houérou, H. N. 1960. Contribution a l'étude des sols du Sud Tunisien. *Annales Agronomiques.* 11:241-309.
- Le Houérou, H.N. and C.H. Hoste, 1977. rangeland Production and annual rainfall relations in the Mediterranean basin and in the African Sahelo-Sudanian Zone. *J. Range Management.* 30(3): 181:188.
- 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.
- 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, 208.
- Nava, S. S. 1972. Conceptos de lluvia efectiva y su aplicación en la programación de riegos. Tesis. UACH.
- Océano Práctico. 1994. *Diccionario de la Lengua Española.* Grupo Editorial Océano. Barcelona, España.
- Odum, H. T. 1983. *Ecological and general systems. An introduction to systems ecology.* University press of Colorado. Colorado. 644 p.

- Odum, H. T. and Odum, E. C. 2000. Modeling for a scales. An introduction to systems simulation. Academic press. USA. 449 p.
- Ortiz M. J. Et al. 1977. Efecto de la Microcuenca para la Captación In Situ de la lluvia sobre el Régimen de Humedad del suelo y la producción del maíz (*Zea mays* L.) y Girasol (*Helianthus annuus* L.). *Agrociencia* 27: 17 – 32. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Padulo, L. And Arbib, M. A. 1974. System theory. Hemisphere publishing corporation. USA. 779 p.
- Pérez, T. A. y R. J. Maltos. 1959. Algunos pastos y su manejo en el Estado de Coahuila. Gobierno del Estado de Coahuila. Dirección General de Agricultura y Ganadería.
- 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.
- Rauzi, F., and C. L. Hanson. 1966. Water intake and runoff as affected by intensity of grazing. *J. Range Manage.* 19: 351 – 356.
- Real Academia Española (RAE). 1984. Diccionario de la Lengua Española. XX ed. Tomos I y II. España. 1416 p.
- Romo D., B. 2001. Modelo de Simulación. Rentabilidad de ranchos de matorral tamaulipeco de Coahuila por efecto de la relación bovino: venado en la carga animal. Tesis maestría. UAAAN. 283 p.
- Ruiz, O. M., D. N. Roaro e I. L. Rodríguez. 1979. Tratado Elemental de Botánica. 15^a ed. Ed. ECLASA. México, D. F.

Ruyle, R. 1990. Consideraciones sobre el manejo del pastoreo por el ganado en Arizona. CIPES (Centro de Investigaciones pecuarias del Estado de Sonora) Universidad de Arizona, Tucson, Arizona.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México, D. F. 145 – 146 pp.

Society Range Management. (S. R. M.). 1964. A glossary of terms used in range management. Society for Range Management. Denver, Colorado, U.S.A.

Stoddart, L. A., A. D. Smith and T. W. Box. 1975. Range Management. Third Ed. McGraw – Hill Book, Co. N. Y., U. S. A.

UCAR, 2000. *To the Universe (Ventanas al Universo)*, University Corporation for Atmospheric Research Los Regentes de la Universidad de Michigan en <http://www.windows.ucar.edu/>

Vallentine, J. F. 2001. Grazing management. 2^a ed. Academic Press. California. P. 1 – 6.

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

Warren, S. D., T. L. Thurow, W. H. Blackburn, and N. E. Garza. 1986. The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hidrologic characteristics. J. Range Manage. 39: 491 – 495.

Wight, J. R. And F. J. Siddoway. 1972. Improving precipitation – Use Efficiency on Rangeland by Surface Modification. J. Soil and Water Conservation. U. S. A. P. 301 – 324.

Fuentes electrónicas

[datosgeogra/basicos/hidrologia/rios/cuencas_hidrologicas.cfm](#).

[mapserver.inegi.gob.mx/geografía/español/](#).

ANEXOS

Anexo 1.Concentrado de precipitación promedio por estación meteorológicas y por meses.

PRECIPITACIÓN TOTAL POR ESTACIÓN CLIMÁTICA Y POR MESES												
MESES												
EST.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
11005	11.0	7.0	6.2	12.1	27.9	121.1	138.4	121.9	104.7	37.3	7.5	9.5
11006	22.7	9.3	8.8	16.3	29.8	138.2	142.9	120.7	98.4	60.5	12.7	6.5
11007	16.1	4.9	4.2	12.3	35.8	116.4	144.5	139.7	120.1	37.0	10.6	11.0
11009	15.5	5.4	9.2	18.3	30.7	109.8	132.7	119.1	107.6	39.8	14.4	8.1
11011	13.4	6.5	11.4	16.6	38.6	109.5	150.7	119.4	126.3	45.7	8.0	33.9
11013	8.7	3.9	7.1	13.1	30.4	135.2	132.4	137.8	114.3	31.9	7.0	6.9
11015	10.8	7.2	6.8	22.6	38.3	85.0	93.9	81.9	79.2	40.7	13.6	7.3
11017	7.8	3.8	4.6	20.7	29.7	85.9	94.2	88.9	71.3	32.9	12.5	8.8
11022	25.3	189.0	64.4	23.5	22.1	63.1	69.8	62.0	102.7	40.7	10.8	11.5
11030	11.4	7.5	8.6	13.3	38.7	106.5	108.8	109.9	96.6	37.6	11.6	9.1
11031	17.0	6.4	7.2	13.3	43.2	135.2	177.3	168.4	120.2	63.9	12.5	9.6
11033	12.1	4.7	9.0	16.0	38.9	111.0	138.1	114.8	105.7	57.9	8.4	7.7
11037	16.0	9.8	14.9	31.6	43.7	124.9	106.5	140.1	171.8	63.7	19.7	9.5
11040	8.0	6.8	6.7	12.8	29.5	114.9	154.7	153.0	115.3	47.5	11.6	8.7
11041	11.0	4.4	4.1	6.6	27.8	141.4	168.4	173.4	113.4	37.6	5.8	6.2
11043	9.3	5.1	10.3	20.3	32.5	89.7	77.2	67.7	72.8	31.6	9.9	8.2
11044	9.5	3.2	8.3	9.4	28.4	112.1	171.5	157.7	97.4	28.6	7.0	5.0
11048	9.1	5.7	5.4	11.0	39.2	114.8	140.2	117.9	109.5	33.9	8.0	6.8
11050	24.7	13.3	34.4	13.8	45.7	82.2	100.2	89.5	76.5	49.3	16.8	21.5
11051	10.8	5.0	8.3	16.6	41.2	92.3	106.8	96.1	92.9	35.2	6.2	7.0
11052	11.0	5.3	5.5	13.1	23.7	118.6	137.5	137.7	108.8	41.8	11.4	9.7
11053	11.8	6.8	8.9	23.5	34.8	88.9	83.3	71.8	84.3	34.7	11.5	9.4
11061	17.3	8.3	8.0	10.5	45.7	126.9	153.4	118.1	116.9	44.4	7.4	11.3
11063	10.7	5.4	0.8	7.8	24.9	113.7	161.8	101.2	86.1	21.3	8.4	8.3
11064	9.2	7.0	6.3	18.0	36.5	72.5	73.2	63.2	56.1	27.9	9.2	8.5
11065	11.1	5.9	6.2	17.9	32.2	71.4	85.4	87.9	71.1	44.2	12.4	10.8
11066	16.9	7.0	9.6	28.7	58.5	101.8	103.3	93.7	74.0	29.5	10.6	5.2
11068	10.3	5.6	5.8	16.9	32.9	66.2	57.0	43.2	65.5	23.3	6.8	6.4
11075	9.8	4.1	7.0	19.8	34.4	77.8	98.0	68.3	67.3	44.5	6.3	5.3
11080	13.4	7.7	8.1	22.3	37.9	85.5	122.0	84.9	83.9	44.8	13.0	8.2
11084	14.8	4.8	4.3	10.2	33.3	101.0	125.9	133.7	94.1	43.8	13.2	7.8
11085	7.4	7.3	5.9	13.0	28.9	120.6	210.8	172.2	97.3	42.7	7.4	10.7
11088	10.9	5.7	7.8	24.6	44.9	87.4	108.8	92.7	91.6	39.5	12.9	8.2
11090	17.1	9.2	6.2	18.5	57.6	148.4	197.2	189.4	135.3	59.6	18.1	12.2
11093	12.2	7.8	6.1	17.7	35.1	106.6	116.4	88.2	79.1	39.3	10.7	6.1
11094	13.0	7.3	8.4	10.6	40.9	141.8	176.6	149.8	104.0	40.7	10.8	14.3
11096	12.8	4.5	5.0	13.1	30.5	133.4	166.8	166.8	121.5	46.3	10.6	9.2
11098	10.6	4.0	6.8	13.3	38.3	131.1	143.4	128.8	109.4	37.5	10.5	9.4
11100	7.5	6.8	4.9	11.1	29.9	112.8	149.8	111.0	83.0	35.7	11.5	5.0
11117	15.1	9.0	0.1	5.2	10.9	51.9	78.3	64.8	43.9	27.3	3.0	8.6
11121	12.4	6.1	8.0	9.7	25.7	106.3	169.7	138.4	89.3	48.8	25.6	11.6
11122	14.3	7.8	3.2	15.4	26.2	118.7	159.4	126.8	80.8	28.4	7.0	10.1
11124	15.3	8.3	3.4	6.2	23.3	96.3	163.2	140.8	86.7	48.0	5.5	10.0
11136	13.8	7.2	6.8	12.5	18.6	101.9	166.8	142.7	81.3	45.1	5.8	7.6
11140	13.9	3.2	3.7	17.3	27.0	98.1	132.9	107.5	59.2	39.5	7.8	6.4
11145	13.1	6.1	6.9	6.0	17.2	109.3	159.3	168.8	79.8	23.1	6.2	25.3

Anexo 2. Concentrado de temperatura promedio por estación meteorológica y por meses.

TEMPERATURA PROMEDIO POR ESTACIÓN CLIMÁTICA Y POR MESES												
EST.	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC
11006	8.4	8.5	10.5	16.5	18.1	18.9	17.8	18.1	17.3	15.7	13.4	10.5
11007	12.4	13.6	15.3	16.8	16.3	16.5	15.9	15.8	15.9	13.9	14.1	11.6
11009	8.1	10.2	13.0	17.0	18.9	19.8	18.1	17.5	16.5	15.0	11.6	9.3
11011	5.6	5.5	9.6	13.6	15.4	16.8	16.1	15.2	14.0	10.0	9.0	5.8
11013	8.9	9.5	13.8	16.7	17.8	17.9	18.7	17.0	16.1	14.3	11.7	9.9
11015	8.5	9.4	11.7	15.9	17.5	17.1	15.8	16.0	14.9	14.0	10.5	9.4
11017	8.6	9.2	11.8	14.7	16.4	18.3	17.9	18.5	16.6	13.8	10.6	9.9
11022	8.9	8.1	10.1	11.6	12.7	13.2	12.8	12.6	12.1	11.5	9.9	7.8
11030	7.6	8.7	9.3	11.1	12.6	12.1	11.5	11.9	10.7	11.0	9.6	8.6
11031	6.4	7.1	11.1	14.6	16.1	17.2	16.3	15.8	14.7	11.5	9.7	7.3
11033	6.4	7.1	11.1	14.6	16.1	17.2	16.3	15.8	14.7	11.5	9.7	7.3
11037	10.4	9.0	10.8	13.3	15.2	15.3	14.3	14.0	14.1	11.7	10.2	7.1
11040	9.5	10.6	14.1	18.0	19.8	21.1	19.7	18.8	18.0	15.2	12.1	10.1
11041	9.6	11.8	14.9	18.0	18.7	20.0	19.1	18.5	17.6	16.0	13.5	10.7
11043	12.3	11.9	18.5	25.5	32.7	33.0	31.1	31.3	29.0	22.3	18.8	14.1
11044	14.0	15.3	18.3	18.1	19.8	18.1	18.5	18.5	18.4	17.6	16.3	15.4
11048	8.5	8.5	10.3	13.7	17.8	18.5	17.1	15.6	15.3	13.3	10.0	7.9
11050	9.5	9.5	12.2	16.3	17.0	17.1	15.6	15.5	14.9	12.8	10.9	9.3
11051	4.4	6.2	9.1	12.4	15.1	16.6	15.7	14.9	13.4	10.4	9.4	6.8
11052	6.5	7.1	9.6	12.8	15.3	16.8	16.3	15.7	15.3	12.3	10.6	7.8
11053	7.8	7.6	11.8	13.3	16.6	15.6	14.7	14.5	13.5	11.9	10.3	7.6
11061	9.3	9.2	11.1	14.6	17.2	14.4	14.7	14.5	14.0	11.2	9.3	8.5
11063	10.8	10.9	11.0	13.9	15.7	14.9	13.9	13.5	14.3	12.6	10.9	10.7
11064	8.3	8.2	10.7	13.3	18.6	23.2	22.9	18.9	17.5	16.1	13.3	13.1
11065	9.8	6.2	9.9	14.3	16.4	17.5	15.3	15.2	13.4	11.2	7.9	6.4
11066	5.0	6.2	9.0	11.6	14.3	13.3	12.6	12.8	12.4	10.2	8.4	6.4
11068	8.6	8.6	10.0	11.1	12.2	12.1	13.1	13.7	13.1	12.1	9.1	5.9
11075	8.0	8.7	10.2	12.2	15.3	15.8	15.1	14.3	13.6	11.1	10.2	8.7
11080	9.0	9.6	11.6	15.4	17.7	17.1	15.7	15.4	15.1	13.4	10.6	9.3
11084	8.5	10.2	13.1	15.6	17.9	18.7	18.2	17.9	16.9	13.5	11.5	9.2
11085	10.1	9.7	11.3	13.5	15.8	15.7	15.0	15.0	14.1	11.1	10.8	6.7
11088	7.9	8.8	12.3	14.1	16.4	16.5	16.0	15.3	14.1	11.7	11.2	8.5
11090	8.6	8.3	10.2	14.4	15.7	16.3	15.3	15.7	14.3	12.2	11.8	9.4
11093	9.3	11.1	13.8	16.4	18.4	19.1	18.0	17.5	16.9	14.3	12.8	10.7
11094	11.2	11.7	14.3	16.7	18.6	18.5	17.2	17.5	17.3	15.2	13.0	11.0
11096	6.8	8.7	11.4	14.8	17.4	18.5	18.1	16.7	16.6	13.4	11.4	8.6
11098	10.0	11.1	13.4	16.5	18.8	18.3	17.8	17.1	16.5	14.8	12.1	9.9
11100	8.2	9.0	11.6	15.1	17.6	18.2	17.9	16.5	15.4	13.6	10.9	10.0
11117	6.9	9.6	11.4	12.3	13.3	13.2	13.3	14.2	12.9	12.4	12.4	10.4
11121	9.9	9.7	12.8	14.6	17.9	17.9	17.6	16.6	16.3	13.5	12.3	11.0
11122	5.7	7.2	9.1	12.7	14.9	15.9	14.9	15.4	13.8	11.0	8.1	7.1
11124	8.4	9.9	10.2	13.0	15.7	16.1	17.1	16.2	15.8	12.9	10.0	7.8

11136	10.8	10.9	12.6	15.2	16.3	18.0	17.5	16.6	16.5	14.2	13.1	10.5
11140	8.1	10.0	9.3	11.6	14.3	15.8	14.5	12.9	12.3	9.5	7.9	7.4
11145	8.0	8.6	11.5	13.6	15.3	15.2	14.2	14.0	13.3	12.0	10.6	9.3

Anexo 3. Concentrado de precipitación Total y Temperatura Promedio por Estación Meteorológica y por Estación del Año.

PRECIPITACIÓN TOTAL Y TEMPERATURA PROMEDIO								
No. EST.	PRECIPITACIÓN (mm)				TEMPERATURA (°C)			
	PRIM.	VER.	OTO.	INV.	PRIM.	VER.	OTO.	INV.
11005	46.2	381.4	149.5	27.5	14.9	17.2	13.4	9.5
11006	54.8	401.8	171.6	38.5	15.0	18.3	15.4	9.1
11007	52.3	400.6	167.7	31.9	16.1	16.1	14.6	12.5
11009	58.2	361.6	161.8	29.0	16.3	18.5	14.4	9.2
11011	66.7	379.5	180.0	53.8	12.9	16.0	11.0	5.7
11013	50.6	405.4	153.2	19.5	16.1	17.9	14.0	9.4
11015	67.6	260.8	133.5	25.4	15.0	16.3	13.1	9.1
11017	54.9	269.1	116.6	20.5	14.3	18.2	13.7	9.2
11022	111.0	197.4	154.2	225.8	11.4	12.9	11.2	8.3
11030	60.6	325.2	145.9	28.0	11.0	11.8	10.4	8.3
11031	63.8	481.0	196.7	32.9	13.9	16.4	12.0	6.9
11033	63.9	363.9	172.0	24.4	13.9	16.4	12.0	6.9
11037	90.2	371.5	255.2	35.3	13.1	14.5	12.0	8.8
11040	48.9	422.6	174.3	23.6	17.3	19.9	15.1	10.0
11041	38.4	483.2	156.8	21.5	17.2	19.2	15.7	10.7
11043	63.1	234.6	114.3	22.6	25.6	31.8	23.4	12.8
11044	46.1	441.3	133.0	17.7	18.7	18.4	17.4	14.9
11048	55.5	372.9	151.4	21.6	13.9	17.1	12.9	8.3
11050	93.9	272.0	142.6	59.5	15.2	16.1	12.9	9.4
11051	66.1	295.2	134.3	22.8	12.2	15.7	11.1	5.8
11052	42.3	393.8	162.0	25.9	12.6	16.3	12.7	7.1
11053	67.3	244.0	130.5	28.0	13.9	14.9	11.9	7.7
11061	64.2	398.4	168.6	37.0	14.3	14.5	11.5	9.0
11063	33.5	376.7	115.8	24.5	13.5	14.1	12.6	10.8
11064	60.8	208.9	93.2	24.7	14.2	21.7	15.6	9.9
11065	56.3	244.7	127.7	27.8	13.5	16.0	10.8	7.5
11066	96.7	298.8	114.1	29.1	11.6	12.9	10.3	5.9
11068	55.6	166.4	95.7	22.3	11.1	13.0	11.4	7.7
11075	61.2	244.1	118.1	19.3	12.6	15.0	11.6	8.5
11080	68.3	292.5	141.7	29.3	14.9	16.0	13.0	9.3
11084	47.8	360.7	151.1	27.4	15.5	18.2	14.0	9.3
11085	47.8	503.6	147.4	25.4	13.5	15.2	12.0	8.8
11088	77.2	288.9	144.0	24.8	14.3	15.9	12.3	8.4
11090	82.3	535.0	213.0	38.4	13.4	15.7	12.8	8.8
11093	58.9	311.3	129.2	26.1	16.2	18.2	14.7	10.4
11094	59.9	468.2	155.5	34.6	16.6	17.7	15.2	11.3
11096	48.6	467.1	178.3	26.5	14.5	17.8	13.8	8.0
11098	58.5	403.2	157.4	24.0	16.2	17.7	14.5	10.3
11100	46.0	373.6	130.2	19.3	14.8	17.6	13.3	9.1

11117	16.2	195.0	74.2	32.7	12.3	13.5	12.6	9.0
11121	43.4	414.4	163.7	30.1	15.1	17.4	14.0	10.2
11122	44.8	404.9	116.1	32.2	12.2	15.4	10.9	6.7
11124	32.9	400.3	140.2	33.6	13.0	16.5	12.9	8.7
11136	37.9	411.4	132.3	28.5	14.7	17.4	14.6	10.7
11140	48.0	338.5	106.4	23.5	11.7	14.4	9.9	8.5
11145	30.1	437.5	109.1	44.5	13.4	14.4	12.0	8.6

Anexo 4. Cuadro comparativo de la Producción Primaria Neta entre el modelo, estimando el 15% de la Producción de Forraje Utilizable (PFU), y la reportada por COTECOCA (Kgs).

PPN SESS (Kgs)	PPN COTECOCA (Kgs)
3570	4922.54
3570	4325.87
4500	4214.72
2970	1333.33
1312.5	3584.42
1620	3001.22
2000	2034.73
2000	1848.73
2145	1631.87
2880	2887.71
2250	2733.83
1805	2400.10
3220	2225.99
3705	2178.72
3180	4835.54
2467.5	3398.89
2420	3132.95
1845	3001.22
1620	2667.21
4270	2305.71
3307.5	4325.87
2000	3718.38
2145	3065.67
3570	1912.25
2695	1348.95
3570	2251.94
2580	1533.55
1750	1516.55
1170	1200.05
1500	3222.11
3220	2637.21
3842.5	2444.77
1500	2111.47
4620	1499.93
2580	1415.84
5250	4566.53
2932.5	3800.15
4030	3170.57

EST. MET.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	P. ACUM.
11015	10.779	7.238	6.785	22.587	38.272	85.003	93.877	81.944	79.210	40.749	13.564	7.346	487.354
11017	7.847	3.826	4.550	20.650	29.718	85.921	94.213	88.934	71.297	32.892	12.450	8.813	461.113
11030	11.413	7.516	8.600	13.326	38.668	106.500	108.790	109.913	96.648	37.642	11.632	9.100	559.748
11048	9.093	5.715	5.378	10.993	39.152	114.770	140.248	117.907	109.500	33.926	7.989	6.756	601.426
11051	10.841	4.961	8.281	16.622	41.181	92.328	106.769	96.053	92.903	35.200	6.222	6.959	518.320
11052	10.966	5.258	5.528	13.104	23.668	118.626	137.484	137.698	108.810	41.808	11.368	9.658	623.976
11053	11.773	6.773	8.927	23.532	34.814	88.905	83.268	71.792	84.281	34.665	11.522	9.416	469.668
11063	10.719	5.438	0.750	7.844	24.931	113.675	161.831	101.238	86.113	21.294	8.375	8.338	550.544
11064	9.238	7.040	6.310	18.018	36.512	72.496	73.216	63.152	56.072	27.940	9.156	8.468	387.618
11065	11.086	5.872	6.239	17.861	32.206	71.353	85.436	87.864	71.100	44.214	12.403	10.828	456.461
11066	16.905	7.043	9.605	28.652	58.452	101.848	103.295	93.681	74.029	29.467	10.610	5.181	538.767
11068	10.316	5.605	5.789	16.924	32.908	66.165	56.962	43.246	65.543	23.292	6.846	6.378	339.976
11075	9.845	4.132	6.973	19.818	34.405	77.809	98.041	68.259	67.314	44.545	6.255	5.327	442.723
11080	13.375	7.719	8.119	22.316	37.866	85.528	122.047	84.941	83.888	44.806	13.006	8.228	531.838
11088	10.934	5.659	7.775	24.563	44.866	87.391	108.781	92.706	91.647	39.453	12.897	8.206	534.878
11100	7.463	6.838	4.944	11.125	29.913	112.769	149.813	110.975	83.006	35.681	11.494	5.019	569.038
11117	15.100	9.010	0.120	5.200	10.850	51.850	78.330	64.830	43.900	27.340	2.980	8.570	318.080
11122	14.315	7.769	3.238	15.392	26.177	118.692	159.415	126.754	80.769	28.392	6.962	10.100	597.977
11124	15.308	8.262	3.423	6.154	23.292	96.338	163.223	140.785	86.723	48.031	5.469	10.008	607.015
11140	13.892	3.162	3.731	17.292	26.985	98.108	132.854	107.523	59.154	39.454	7.800	6.438	516.392
11145	13.091	6.073	6.918	6.000	17.182	109.327	159.327	168.800	79.818	23.136	6.182	25.318	621.173
P. ACUM. / MES / HOMO	244.299	130.908	121.982	337.973	682.016	1955.402	2417.221	2058.994	1671.725	733.927	195.180	184.456	
PP / MES / HOMO	11.633	6.234	5.809	16.094	32.477	93.114	115.106	98.047	79.606	34.949	9.294	8.784	511.147
% PRECIPIT.	2.276	1.220	1.136	3.149	6.354	18.217	22.519	19.182	15.574	6.837	1.818	1.718	100.000
I. P.	0.004	0.002	0.002	0.006	0.012	0.036	0.044	0.038	0.030	0.013	0.004	0.003	

Anexo 5. Índice de Precipitación del Homoclima 1.

EST. MET.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV.	DIC.	P. ACUM.
11011	13.429	6.521	11.433	16.604	38.638	109.475	150.654	119.404	126.296	45.692	8.017	33.850	680.013
11022	25.330	188.965	64.401	23.523	22.102	63.127	69.791	61.989	102.735	40.727	10.771	11.499	684.961
11031	16.997	6.365	7.239	13.348	43.229	135.248	177.345	168.384	120.184	63.945	12.539	9.571	774.394
11033	12.107	4.657	8.989	16.014	38.850	111.000	138.079	114.800	105.696	57.850	8.418	7.675	624.136
11037	15.958	9.779	14.947	31.595	43.679	124.874	106.521	140.100	171.774	63.700	19.711	9.526	752.163
11050	24.705	13.300	34.390	13.763	45.710	82.215	100.238	89.545	76.545	49.283	16.775	21.513	567.980
11061	17.348	8.267	7.967	10.486	45.748	126.871	153.424	118.076	116.890	44.357	7.381	11.343	668.157
11090	17.059	9.150	6.153	18.481	57.647	148.350	197.175	189.425	135.294	59.613	18.094	12.197	868.640
P. ACUM. / MES / HOMO	142.933	247.003	155.520	143.814	335.602	901.161	1093.226	1001.724	955.414	425.166	101.704	117.174	
PPT / MES / HOMO	17.867	30.875	19.440	17.977	41.950	112.645	136.653	125.215	119.427	53.146	12.713	14.647	702.555
% PRECIPIT.	2.543	4.395	2.767	2.559	5.971	16.034	19.451	17.823	16.999	7.565	1.810	2.085	100.000
I. P.	0.004	0.006	0.004	0.004	0.008	0.023	0.028	0.025	0.024	0.011	0.003	0.003	

Anexo 6. Índice de Precipitación del homoclima 2.

EST. MET.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV.	DIC.	P. ACUM.
11005	11.007	6.961	6.221	12.107	27.864	121.093	138.414	121.871	104.721	37.254	7.507	9.507	604.529
11006	22.740	9.252	8.756	16.316	29.776	138.228	142.912	120.664	98.360	60.472	12.720	6.504	666.700
11007	16.055	4.864	4.200	12.318	35.758	116.400	144.494	139.700	120.097	37.036	10.576	10.988	652.485
11009	15.514	5.396	9.157	18.271	30.732	109.779	132.725	119.096	107.632	39.782	14.375	8.050	610.511
11013	8.688	3.908	7.084	13.148	30.392	135.160	132.448	137.820	114.264	31.936	6.956	6.936	628.740
11040	8.027	6.784	6.711	12.784	29.454	114.873	154.724	153.022	115.251	47.457	11.578	8.743	669.408
11041	10.968	4.368	4.077	6.564	27.773	141.377	168.445	173.382	113.441	37.559	5.841	6.195	699.991
11043	9.337	5.093	10.313	20.347	32.470	89.677	77.207	67.703	72.820	31.630	9.870	8.160	434.627
11044	9.520	3.172	8.300	9.372	28.392	112.128	171.500	157.716	97.356	28.624	7.004	4.976	638.060
11084	14.804	4.760	4.316	10.156	33.304	100.992	125.936	133.748	94.088	43.844	13.212	7.788	586.948
11085	7.413	7.293	5.933	12.987	28.900	120.647	210.760	172.207	97.280	42.680	7.433	10.693	724.227
11093	12.206	7.803	6.053	17.709	35.116	106.634	116.434	88.194	79.128	39.347	10.731	6.081	525.438
11094	13.015	7.265	8.360	10.645	40.920	141.815	176.555	149.795	104.030	40.705	10.790	14.285	718.180
11096	12.754	4.544	4.988	13.131	30.454	133.442	166.802	166.831	121.460	46.275	10.604	9.175	720.460
11098	10.617	3.980	6.800	13.334	38.317	131.074	143.363	128.783	109.426	37.500	10.503	9.409	643.106
11121	12.354	6.138	8.038	9.662	25.669	106.277	169.669	138.423	89.254	48.815	25.592	11.638	651.531
11136	13.750	7.179	6.786	12.493	18.636	101.871	166.793	142.729	81.343	45.129	5.807	7.579	610.09
P. ACUM. / MES / HOMO	208.770	98.760	116.094	221.344	523.927	2021.467	2539.182	2311.684	1719.952	696.045	181.100	146.708	
PPT / MES / HOMO	12.281	5.809	6.829	13.020	30.819	118.910	149.364	135.981	101.174	40.944	10.653	8.630	634.414
% PRECIPIT.	1.936	0.916	1.076	2.052	4.858	18.743	23.544	21.434	15.948	6.454	1.679	1.360	100.000
I. P.	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.030	0.037	0.034	0.025	0.010	0.003	0.002	

Anexo 7. Índice de Precipitación del homoclima 3.

EST. MET.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC.	TEMP. PROM.
11015	8.48	9.42	11.69	15.93	17.48	17.13	15.82	15.98	14.94	13.99	10.48	9.38	13.39
11017	8.56	9.25	11.79	14.70	16.40	18.33	17.85	18.49	16.64	13.84	10.63	9.89	13.86
11030	7.58	8.70	9.34	11.07	12.63	12.13	11.50	11.89	10.72	11.02	9.60	8.60	10.40
11048	8.52	8.47	10.32	13.66	17.80	18.50	17.14	15.58	15.28	13.31	10.01	7.92	13.04
11051	4.41	6.17	9.09	12.38	15.11	16.58	15.73	14.93	13.44	10.44	9.43	6.81	11.21
11052	6.47	7.10	9.60	12.81	15.25	16.82	16.31	15.71	15.34	12.31	10.58	7.85	12.18
11053	7.75	7.58	11.78	13.28	16.64	15.57	14.72	14.49	13.54	11.87	10.33	7.65	12.10
11063	10.80	10.88	11.00	13.91	15.71	14.85	13.90	13.52	14.28	12.59	10.92	10.71	12.76
11064	8.30	8.24	10.68	13.28	18.55	23.23	22.88	18.89	17.47	16.08	13.33	13.10	15.34
11065	9.82	6.24	9.91	14.27	16.43	17.53	15.28	15.23	13.40	11.16	7.94	6.38	11.97
11066	5.03	6.18	8.95	11.58	14.33	13.30	12.64	12.83	12.45	10.16	8.41	6.38	10.19
11068	8.63	8.60	9.96	11.11	12.15	12.14	13.10	13.69	13.12	12.07	9.10	5.89	10.80
11075	8.03	8.67	10.23	12.21	15.25	15.76	15.05	14.28	13.58	11.06	10.22	8.69	11.92
11080	9.00	9.60	11.55	15.44	17.69	17.10	15.65	15.40	15.10	13.42	10.58	9.34	13.32
11088	7.91	8.77	12.35	14.13	16.44	16.48	16.03	15.29	14.06	11.67	11.21	8.55	12.74
11100	8.15	8.98	11.61	15.10	17.61	18.21	17.93	16.52	15.38	13.63	10.88	10.03	13.67
11117	6.94	9.58	11.38	12.28	13.30	13.16	13.25	14.21	12.92	12.44	12.44	10.40	11.86
11122	5.70	7.15	9.09	12.68	14.94	15.93	14.90	15.39	13.77	11.02	8.07	7.10	11.31
11124	8.41	9.91	10.19	13.01	15.71	16.13	17.10	16.19	15.80	12.86	9.96	7.85	12.76
11140	8.12	9.96	9.33	11.57	14.25	15.77	14.54	12.90	12.34	9.54	7.88	7.38	11.13
11145	8.02	8.57	11.45	13.59	15.25	15.15	14.18	13.98	13.30	11.97	10.64	9.30	12.12
T.P. / MES / HOMO	7.84	8.48	10.54	13.24	15.66	16.18	15.50	15.02	14.14	12.21	10.13	8.53	12.29
T. P. / MES - 10 °C	-2.16	-1.52	0.54	3.24	5.66	6.18	5.50	5.02	4.14	2.21	0.13	-1.47	
*	0.00	0.00	0.54	3.24	5.66	6.18	5.50	5.02	4.14	2.21	0.13	0.00	32.62
IT	0.00	0.00	0.02	0.10	0.17	0.19	0.17	0.15	0.13	0.07	0.00	0.00	

Nota: Los promedios de temperatura, al restarle 10, si nos dan (-) los valores se convierten a cero.

Anexo 8. Índice de Temperatura del homoclima 1.

EST. MET.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC.	TEMP. PROM.
11011	5.61	5.52	9.62	13.62	15.42	16.78	16.09	15.21	14.02	10.00	9.02	5.83	11.39
11022	8.90	8.08	10.06	11.57	12.72	13.22	12.80	12.60	12.08	11.54	9.86	7.81	10.94
11031	6.39	7.06	11.10	14.60	16.12	17.18	16.28	15.81	14.70	11.52	9.67	7.29	12.31
11033	6.39	7.06	11.10	14.60	16.12	17.18	16.28	15.81	14.70	11.52	9.67	7.29	12.31
11037	10.38	8.98	10.75	13.31	15.24	15.25	14.27	13.95	14.11	11.65	10.16	7.12	12.10
11050	9.50	9.49	12.25	16.29	17.01	17.14	15.61	15.50	14.91	12.84	10.91	9.29	13.39
11061	9.27	9.15	11.08	14.62	17.19	14.35	14.71	14.48	13.98	11.21	9.29	8.54	12.32
11090	8.65	8.34	10.22	14.44	15.68	16.27	15.30	15.67	14.34	12.16	11.80	9.43	12.69
T.P./ MES / HOMO	8.13	7.96	10.77	14.13	15.69	15.92	15.17	14.88	14.10	11.55	10.05	7.82	12.18
T. P. / MES - 10 °C	-1.87	-2.04	0.77	4.13	5.69	5.92	5.17	4.88	4.10	1.55	0.05	-2.18	
*	0.00	0.00	0.77	4.13	5.69	5.92	5.17	4.88	4.10	1.55	0.05	0.00	32.26
IT	0.00	0.00	0.02	0.13	0.18	0.18	0.16	0.15	0.13	0.05	0.00	0.00	

* **Nota:** Los promedios de temperatura, al restarle 10, si nos dan (-) los valores se convierten a cero.

Anexo 9. Índice de Temperatura del homoclima 2.

EST. MET.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC.	TEMP. PROM.
11005	9.52	9.19	11.53	15.12	17.92	17.78	16.37	17.41	15.66	13.27	11.18	9.70	13.72
11006	8.37	8.50	10.48	16.52	18.06	18.93	17.81	18.15	17.27	15.66	13.40	10.53	14.47
11007	12.43	13.55	15.32	16.78	16.34	16.52	15.90	15.85	15.89	13.86	14.14	11.65	14.85
11009	8.11	10.18	13.01	16.96	18.91	19.82	18.15	17.48	16.50	15.00	11.60	9.31	14.59
11013	8.86	9.49	13.76	16.69	17.83	17.92	18.66	17.02	16.11	14.30	11.71	9.85	14.35
11040	9.51	10.58	14.13	17.97	19.81	21.13	19.69	18.79	17.98	15.24	12.09	10.06	15.58
11041	9.61	11.76	14.92	17.95	18.73	19.95	19.14	18.45	17.56	16.00	13.48	10.68	15.69
11043	12.34	11.91	18.53	25.47	32.73	33.00	31.11	31.29	29.00	22.26	18.83	14.06	23.38
11044	14.00	15.29	18.25	18.13	19.75	18.08	18.53	18.47	18.36	17.64	16.29	15.36	17.35
11084	8.52	10.22	13.11	15.58	17.94	18.66	18.15	17.90	16.94	13.48	11.46	9.20	14.26
11085	10.06	9.67	11.31	13.48	15.79	15.73	14.99	14.95	14.13	11.08	10.80	6.66	12.39
11093	9.33	11.12	13.76	16.40	18.40	19.10	18.04	17.49	16.94	14.30	12.79	10.69	14.86
11094	11.24	11.72	14.33	16.75	18.60	18.52	17.18	17.52	17.29	15.22	13.04	11.04	15.20
11096	6.81	8.71	11.43	14.81	17.37	18.53	18.10	16.68	16.55	13.38	11.40	8.56	13.53
11098	9.99	11.06	13.44	16.53	18.77	18.27	17.85	17.06	16.48	14.80	12.08	9.86	14.68
11121	9.89	9.74	12.81	14.60	17.94	17.92	17.61	16.57	16.28	13.47	12.28	10.98	14.17
11136	10.78	10.90	12.63	15.20	16.29	17.96	17.53	16.58	16.51	14.21	13.07	10.51	14.35
T.P. / MES / HOMO	9.96	10.80	13.69	16.76	18.89	19.28	18.52	18.10	17.38	14.89	12.92	10.51	15.14
T.P. / MES - 10 °C	-0.04	0.80	3.69	6.76	8.89	9.28	8.52	8.10	7.38	4.89	2.92	0.51	
*	0.00	0.80	3.69	6.76	8.89	9.28	8.52	8.10	7.38	4.89	2.92	0.51	61.74
IT	0.00	0.01	0.06	0.11	0.14	0.15	0.14	0.13	0.12	0.08	0.05	0.01	

* **Nota:** Los promedios de temperatura, al restarle 10, si nos dan (-) los valores se convierten a cero.

Anexo 10. Índice de Temperatura del homoclima 3.

Anexo 11. Índice de Crecimiento (IC) de cada homoclima de la cuenca del Río Laja, Guanajuato.

MES	H 1		H3		H2	
	IPPT * IT	IC	IPPT * IT	IC	IPPT * IT	IC
ENERO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FEBRERO	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
MARZO	0.000	0.001	0.000	0.005	0.000	0.005
ABRIL	0.001	0.022	0.000	0.018	0.000	0.026
MAYO	0.002	0.078	0.001	0.056	0.001	0.083
JUNIO	0.007	0.245	0.004	0.227	0.004	0.231
JULIO	0.007	0.270	0.005	0.262	0.004	0.245
AGOSTO	0.006	0.210	0.004	0.227	0.004	0.212
SEPTIEMBRE	0.004	0.140	0.003	0.154	0.003	0.170
OCTUBRE	0.001	0.033	0.001	0.041	0.001	0.029
NOVIEMBRE	0.000	0.001	0.000	0.006	0.000	0.000
DICIEMBRE	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
SUMA	0.028	1.000	0.020	1.000	0.018	1.000

Anexo 12. Agrupación de conglomerados.

ID	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	CLUSTER
1	-0.267	-0.024	0.442	2
2	-0.511	0.718	0.081	2
3	-0.824	0.579	0.228	2
4	-0.533	0.404	-0.121	2
5	1.024	0.966	0.052	1
6	-0.552	0.220	0.447	2
7	0.052	-0.450	-0.683	3
8	-0.205	-0.994	-0.406	3
9	2.047	1.529	-4.350	1
10	1.222	-0.242	0.422	3
11	0.444	1.551	0.834	2
12	0.494	0.561	0.261	2
13	0.693	2.624	-0.132	1
14	-1.066	0.735	0.360	2
15	-1.257	0.463	0.890	2
16	-4.119	-0.495	-2.692	2
17	-2.049	0.028	0.211	2
18	0.090	0.065	0.365	2
19	0.292	0.447	-1.710	1
20	1.035	-0.457	-0.058	3
21	0.402	0.090	0.921	2
22	0.640	-0.621	-0.577	3
23	0.425	0.730	0.294	2
24	-0.022	-0.969	0.883	3
25	-0.707	-1.515	-1.292	3
26	0.683	-0.881	-0.273	3
27	1.595	-0.272	-0.753	3
28	1.133	-1.929	-0.468	3
29	0.648	-1.057	-0.289	3
30	0.070	-0.138	-0.543	3
31	-0.458	-0.019	0.189	2
32	0.207	0.389	1.310	2
33	0.381	-0.011	-0.612	3
34	0.300	2.423	0.595	1
35	-0.664	-0.410	-0.501	2
36	-0.920	0.809	0.206	2
37	-0.191	0.889	0.939	2
38	-0.663	0.465	0.145	2
39	-0.255	-0.470	0.454	2
40	0.447	-2.778	0.254	3
41	-0.507	0.356	0.617	2
42	0.806	-0.656	0.845	3
43	0.090	-0.383	0.931	2
44	-0.638	-0.349	0.624	2
45	0.869	-1.137	0.598	3
46	0.318	-0.783	1.062	3

Anexo 13. Carga Animal recomendada por COTECOCA para los diferentes sitios de Pastizal en la Cuenca del río Laja para el homoclima 1.

EST. CLIMÁTICA	HOMOCLIMA	C. A. COTECOCA
11015	1	18.6
11017	1	12.2
11030	1	13.7
11048	1	9.2
11051	1	12.2
11052	1	10.3
11053	1	15.9
11063	1	15.9
11064	1	13.2
11065	1	13.7
11066	1	18.6
11068	1	15.9
11075	1	12.2
11080	1	13.6
11088	1	18.6
11100	1	NO SE LE DET. C. A. Y P.F.U.
11117	1	13.7
11122	1	13.7
11124	1	11.1
11140	1	12.2
11145	1	7.7
PROMEDIO		13.6

Anexo 14. Carga Animal recomendada por COTECOCA para los diferentes sitios de Pastizal en la Cuenca del río Laja para el homoclima 2.

EST. CLIMÁTICA	HOMOCLIMA	C. A. COTECOCA
11011	2	13.2
11022	2	13.4
11031	2	11.8
11033	2	13.7
11037	2	15.9
11050	2	13.3
11061	2	12.2
11090	2	11.8
PROMEDIO		13.2

Anexo 15. Carga Animal recomendada por COTECOCA para los diferentes sitios de Pastizal en la Cuenca del río Laja para el Homoclima 3.

EST. CLIMÁTICA	HOMOCLIMA	C. A. COTECOCA
11005	3	NO SE LE DET. C. A. Y P.F.U.
11006	3	13.4
11007	3	11.1
11009	3	NO SE LE DET. C. A. Y P.F.U.
11013	3	7.7
11040	3	11.4
11041	3	10.3
11043	3	15.9
11044	3	11
11084	3	NO SE LE DET. C. A. Y P.F.U.
11085	3	13.7
11093	3	13.7
11094	3	11.1
11096	3	10.3
11098	3	11
11121	3	11.1
11136	3	11
PROMEDIO		11.6

Nota: Algunas estaciones meteorológicas no se les determinan la PFU ya que el sitio es dedicado exclusivamente a la agricultura