

# Simulation model to estimate the stocking rate and carrying capacity in rangelands

Modelo de simulación para estimar la carga animal y capacidad de carga en pastizales naturales

Cantú Brito Jesús Enrique<sup>1</sup>; Cisneros Vázquez José Manuel<sup>1</sup>; Elizalde Téllez José Manuel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UAAAN-UL Torreón, Coahuila. MÉXICO. Correo-e: drcantuje@yahoo.com.mx (\*Autor para correspondencia)

<sup>2</sup>Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-UACH. Bermejillo, Dgo. MÉXICO.

## Abstract

We developed a simulation model to estimate the carrying capacity (CC) and stocking rate (SR) from different arid and semi-arid rangelands, using worksheets of Microsoft Excel, from the information available about the relationship between rainfall (mm) and forage production in dry matter per hectare (DM·ha<sup>-1</sup>). We designed a qualitative model of range management, identifying the main stages within it to estimate CC and SR. The study was carried out in URUZA-UACH from October 2010 to October 2011. After calibration of the model, only two scenarios and two real-life situations were evaluated. For the latter, the percentage differences were 8.3 and -25.5 % compared to the reality for adjusted and unadjusted values respectively. The simulation model with regard to the real had differences of 20 %. It is considered that the model simulated the CC and SR, and the settings depending on the percentage of slope and distance from water. The results show that production varies between types of vegetation because of the variability of precipitation. It is observed that evaluated pasture productivity is very low because it can only support UAA 96.86, but with adjustments to % slope and distance from water, it decreases of 60.06 and 29.73.

**Keywords:** Simulation model; carrying capacity; stocking rate.

## Resumen

Se desarrolló un modelo de simulación para estimar la capacidad de carga y carga animal para pastizales naturales de zonas áridas, utilizando hojas de cálculo de Microsoft Excel, a partir de la relación existente entre la cantidad de precipitación y la producción de forraje en materia seca por hectárea (MS·ha<sup>-1</sup>). Se diseñó un modelo cualitativo, identificando las principales fases dentro del mismo para la estimación de la CC y CA. Se realizó en la URUZA-UACH de octubre de 2010 a octubre de 2011. Después de la calibración solo dos escenarios y dos situaciones reales fueron evaluadas. Para estas últimas, las diferencias fueron de 8.3 y -21.5 % con respecto a la realidad para valores ajustados y sin ajustar. La simulación respecto a lo real tiene diferencias del 20 %. El modelo estimó la CC y CA, así como los ajustes del porcentaje de pendiente y distancia del agua. Los resultados muestran que la producción varía entre tipos de vegetación debido a la variabilidad de la precipitación. Se observó que la productividad del pastizal evaluado es muy baja, ya que solo puede soportar 96.86 UAA, pero con los ajustes al porcentaje de pendiente y distancia del agua, ésta disminuye de 60.06 y 29.73.

**Palabras clave:** Modelo de simulación, capacidad de carga, carga animal.

## Introduction

Over time, the development of technology has been faster and informatics applied to range management is not the exception. With the development of information technology and geographic information systems applied to the management and conservation of natural resources, a software of models applied specifically in range management has been developed, which has proved to be useful as an analytical tool in making decisions.

Now there are innovative management tools including simulation models, decision support systems, software development applied to range management, which allows to focus on multi-objective planning systems of grazing management and therefore, of the development of specific models for each of the areas that make up the range production system.

One significant alternative of the technology development in range management, is represented by the use of simulation models that allow to carry out a comprehensive analysis of the efficiency of the rangeland ecosystem in extensive cattle farms, allowing the producer to predict the behavior of some major system components as represented by the estimation of the carrying capacity and stocking rate of pastures in order to be able to make more accurate decisions and thus contribute to improving the efficiency of such activities.

The productivity of grazing areas and especially rangelands, can be described as a function of rainfall, temperature, soil conditions, vegetation cover and topography (Howery, 1999). Moreover, climate variability and phenomena make rangelands productivity to be a function of climate; therefore, range management should consider that the decision depends on the basis of the availability of forage and precipitation.

In some studies, CC estimation has been based on plants and vegetation. The most basic of the above is to correlate the annual precipitation (mm) with CC, arguing that areas with less than 700 mm annual rainfall, is a reasonable indicator of forage production and also SR (Hocking and Mattick, 1993; Mulindwa *et al.*, 2011).

Rangelands in northern Mexico have been extremely degraded by overgrazing and require urgent and drastic actions, one of which is the correct estimation of SR and CC, according to the regional characteristics of the vegetation and precipitation.

Traditionally, SR has been regarded by rangeland managers as an invaluable tool, to set the successional

## Introducción

A través del tiempo, el desarrollo de la tecnología se ha comportado de manera más acelerada y la informática aplicada al manejo de pastizales no es la excepción. Con el desarrollo de las tecnologías de la información y los sistemas de información geográfica aplicados al manejo y conservación de los recursos naturales, se han desarrollado software de modelos aplicados específicamente en el manejo de pastizales que han resultado ser útiles como herramienta analítica en la toma de decisiones.

Existen actualmente herramientas innovadoras de manejo que incluyen modelos de simulación, sistemas de soporte de decisiones, desarrollo de software aplicado a manejo de pastizales, que permiten enfocar de manera multiobjetivo los sistemas de planeación del manejo del pastoreo y por lo tanto, del desarrollo de modelos específicos para cada una de las áreas que conforman el sistema de producción del pastizal.

Una de las alternativas importantes del desarrollo de la tecnología en manejo de pastizales, lo representa la utilización de modelos de simulación que permitan llevar a cabo un análisis integral de la eficiencia del ecosistema pastizal en explotaciones bovinas extensivas, que le permitan al productor poder predecir el comportamiento de algunos componentes principales del sistema como lo representa la estimación de la capacidad de carga y la carga animal de los potreros con el fin de poder realizar con mayor precisión la toma de decisiones y así contribuir al mejoramiento de la eficiencia de dichas explotaciones.

La productividad de las áreas de pastoreo y en especial los pastizales, puede ser descrita como una función de la precipitación, temperatura, condición del suelo, cobertura vegetal y topografía (Howery, 1999). Más aún la variabilidad del clima y los fenómenos que atraviesa, hacen que la productividad de pastizales sea una función del clima; por lo tanto, el manejo de pastizales debe considerar que la toma de decisiones depende en función de la disponibilidad de forraje y la precipitación.

En algunos estudios, la estimación de la CC ha sido basada en las plantas y vegetación. Lo más básico de lo anterior, consiste en correlacionar la precipitación anual (mm) con la CC, argumentando qué áreas con precipitación anual inferior a los 700 mm, es un indicador razonable de la producción de forraje y asimismo de la CA (Hocking y Mattick, 1993; Mulindwa *et al.*, 2011).

Los pastizales en el norte de México han sido extremadamente degradados por el sobrepastoreo y requiere de acciones urgentes y drásticas, una de ellas es la estimación correcta de la CA y la CC, de acuerdo

trend of vegetation (Fynn and Oconnor, 2000). Selecting the correct CC is one of the most important decisions in range management (Holecheck *et al.*, 1999). In order to determine how many animals (SR) can be kept in a pasture or grazing unit it is necessary to know two things: 1) How much forage can a particular animal or group of animals eat, and 2) How much forage is available in the pasture (Pratt and Rasmussen, 2001).

In recent decades, we have developed simulation models applied to rangelands to provide guidance on how many animals can be kept in semi-arid rangelands with the objective of maximizing the net income. Hein and Weikard (2008) developed a model to calculate an optimal SR in semiarid rangelands where a stochastic precipitation occurs, and where there is variation in prices. These particular models operate under the premise that annual rainfall determines the variation from year to year in the productivity of rangeland. Changes in botanical composition and grass cover are much more affected by precipitation as topography, as well as two other important factors such as water distance and grazing time (Schacht *et al.*, 2011).

Creating models provides the ability to consolidate learning processes, because we can identify quickly the parameters that affect the unit or system (Newman *et al.*, 2000).

Models have been developed to determine the primary productivity of a site balancing primary productivity with animal demand to determine current or projected stocking rate; plan the activities of the livestock company; assist in making decisions on nutritional problems (López *et al.*, 2000).

Díaz *et al.* (2003), developed the SESS, a sustainable eco-simulator for handling CC in semiarid rangelands. Most of these models are complex and the vast amount of data needed for the calibration and use, makes them difficult to understand for use by farmers. However, these are useful tools for research in rangeland systems (Sikhalazo, 2005).

GRASP is a grass growth model developed for rangeland in Australia. To parameterize the model we require extensive information on soil moisture, precipitation characteristics and detailed production data such as soil nutrient status and plant nutrients. GRASP can be used in assessing the risks of drought, grazing simulation options, assessing the carrying capacity and assessing impacts of climate change and the increment of CO<sub>2</sub>. The model is for specific sites and cannot easily be used for other sites (Sikhalazo, 2005).

Börner *et al.* (2006), proposed a simulation-optimization model that combines a notion of utility in managing

a las características regionales de la vegetación y de la precipitación.

Tradicionalmente, la CA ha sido considerada como una herramienta invaluable por los manejadores de pastizales, para ajustar la tendencia sucesional de la vegetación (Fynn y Oconnor, 2000). La selección de la correcta CA es una de las decisiones más importantes en el manejo de pastizales (Holecheck *et al.*, 1999). Para determinar cuántos animales (CA) pueden ser mantenidos en un potrero o unidad de pastoreo se hace necesario conocer dos cosas: 1) Cuánto forraje podrá consumir un animal en particular o un grupo de animales, y 2) Cuánto forraje está disponible en ese potrero (Pratt y Rasmussen, 2001).

En las últimas décadas, se han desarrollado modelos de simulación aplicados a pastizales con el objetivo de proporcionar una guía de cuántos animales pueden ser mantenidos en el pastizal en zonas semiáridas con el objetivo de maximizar la utilidad neta. Hein y Weikard (2008), desarrollaron un modelo para calcular una óptima CA en pastizales semiáridos en donde ocurre una precipitación estocástica, y donde existe variación en los precios. Estos modelos en particular funcionan bajo la premisa de que la precipitación anual determina la variación año con año de la productividad del pastizal. Cambios en la composición botánica y la cobertura de gramíneas son mucho más afectados por la precipitación como por la topografía, además de otros dos factores importantes como son la distancia del agua y el tiempo de pastoreo (Schacht *et al.*, 2011).

El crear modelos ofrece la capacidad de consolidar los procesos de aprendizaje, porque pueden identificar rápidamente los parámetros que afectan a la unidad o el sistema (Newman *et al.*, 2000).

Se han desarrollado modelos que determinan la productividad primaria de un sitio balanceando la productividad primaria con la demanda animal, para determinar carga animal actual o proyectada; planifican las actividades de la empresa ganadera; asisten en la toma de decisiones en problemas nutricionales (López *et al.*, 2000).

Díaz *et al.* (2003), desarrollaron el SESS, un simulador ecológico sustentable para el manejo de la CC en pastizales semiáridos. La mayoría de estos modelos son complejos y la gran cantidad de datos necesarios para la calibración y uso, los hace difíciles de entender para su uso por los ganaderos. Son, sin embargo, herramientas útiles para la investigación de los sistemas de pastizales (Sikhalazo, 2005).

GRASP es un modelo de crecimiento de pasto desarrollado para los pastizales de Australia. Para

decisions with nonlinear dynamics of ecosystems conducted by precipitation variability.

The model of Koch *et al.* (2009) implements the simulation of grazing with different management strategies. Such studies provide an integrated view of nonlinear and stochastic processes involved in range management (Janssen *et al.*, 2004).

Mulindwa *et al.* (2009), developed a stochastic simulation model, based on grazing without nutritional supplementation, to determine the dynamics of grazing and estimate their capacity using the concept of efficient use of rain, which links the production of pastures with precipitation in southeastern Uganda, founding that the estimated CC should not be below 1.4 ha per Tropical Livestock Unit (TLU).

Teague and Foy (2004), experimented with the model SPUR 2.4 to observe the prediction and response to the measurement of key parameters measured in field experiments to simulate the production and use of rangeland.

Teague *et al.* (2008), used a simulation model to explore the condition, production and economic consequences of implementing management actions that included the application of prescribed burning in both summer and winter.

By the above, the present research aimed at performing a design, description and implementation of a simulation model applied to rangeland in arid and semi-arid areas to estimate: 1) Carrying capacity, 2) Stocking rate, and 3) Effect of the percentage of the slope and water distance on the reduction of SR in semiarid rangelands in northern Mexico under four conditions of rangeland: excellent, good, regular and poor condition.

## Materials and methods

**Location area.** The study was conducted on the facilities of the Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, located between the coordinates 25° N and 103° W with an altitude of 1,117 m, near the village of Bermejillo in Tlahualilo, Durango, at km 40 of Gomez Palacio road, Durango - Jiménez, Chihuahua, with a duration of 12 months from October 2010 to October 2011.

**Design and structure of the model.** A qualitative model of range management was designed, identifying the principles and management techniques that characterize it and the main phases therein for estimating CC and SR (Figure 1).

**Model characteristics.** The model was designed using Excel spreadsheets to create an input and

parametrizar el modelo se requiere de extensa información sobre la humedad del suelo, características de la precipitación y los datos detallados de producción como el estado de nutrientes del suelo y de nutrientes de las plantas. GRASP, se puede utilizar en la evaluación de los riesgos de sequía, la simulación de opciones de pastoreo, la evaluación de la capacidad de carga y la evaluación de los impactos del cambio climático y el aumento de CO<sub>2</sub>. El modelo es para sitios específicos y no puede ser fácilmente utilizado para otros sitios (Sikhalazo, 2005).

Börner *et al.* (2006), propusieron un modelo de simulación-optimización que combina una noción de la utilidad en el manejo de decisiones con dinámicas no lineales de ecosistemas conducidos por la variabilidad de la precipitación.

El modelo de Koch *et al.* (2009) implementa la simulación de pastoreo con diferentes estrategias de manejo. Estudios de este tipo proveen una visión integrada de procesos no lineales y estocásticos involucrados en el manejo de pastizales (Janssen *et al.*, 2004).

Mulindwa *et al.* (2009), desarrollaron un modelo de simulación estocástico, basado en el pastoreo sin suplementación alimenticia, para determinar la dinámica del pastoreo y estimar su capacidad, utilizando el concepto de uso de lluvia eficiente, el cual relaciona la producción de los potreros con la precipitación en el sureste de Uganda, encontrando que la CC estimada no debería ser por debajo de las 1.4 ha por unidad de tierra tropical (TLU).

Teague y Foy (2004), experimentaron con el modelo SPUR 2.4 para observar la predicción y respuesta a la medición de parámetros clave medidos en experimentos de campo para simular la producción y utilización del pastizal.

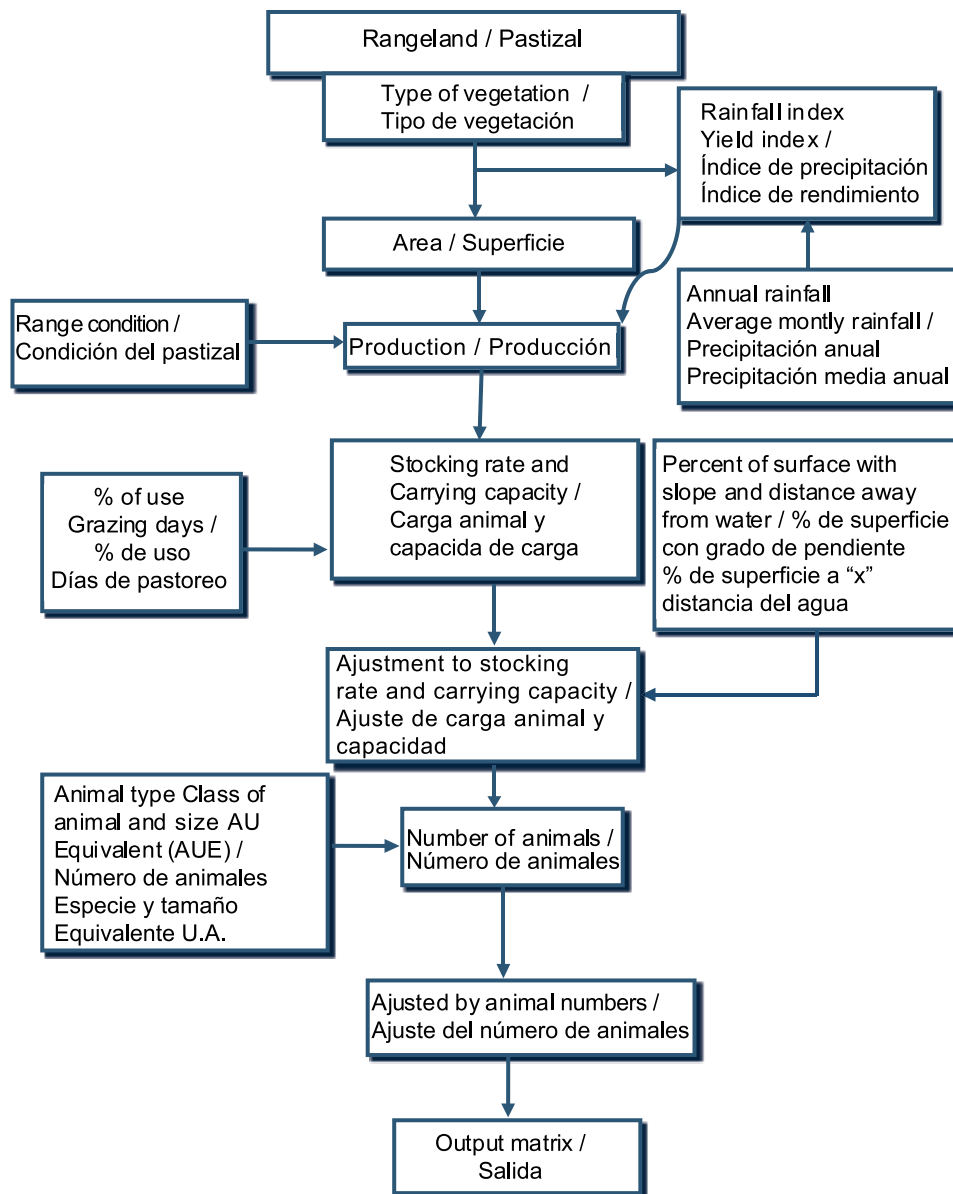
Teague *et al.* (2008), utilizaron un modelo de simulación para explorar la condición, producción y consecuencias económicas de la implementación de acciones de manejo que incluyeron la aplicación de quemadas prescritas tanto en verano como en invierno.

Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo el realizar un diseño, descripción e implementación de un modelo de simulación aplicado a pastizales de zonas áridas y semiáridas para estimar: 1) La capacidad de carga, 2) La carga animal, y 3) Efecto del porcentaje de la pendiente y distancia del agua sobre la disminución de la CA en pastizales semiáridos en el norte de México bajo cuatro condiciones de pastizal, condición excelente, buena, regular y pobre.

output matrix to analyze different scenarios (n=6) to evaluate the performance of the model. The model is simple and considers only the components and relationships of interest to understand the operation and principles in range management regarding the estimation of CC and SR. The model requires the matrix of “input data” information of the characteristics of the area of application such as: surface (ha), type of vegetation, precipitation (mm), forage production (kg DM·ha<sup>-1</sup>), percentage of use (%), grazing time (days), percent of the slope (%) and water distance (surface %).

## Materiales y métodos

**Localización del área.** El estudio se realizó en las instalaciones de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas dependiente de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada entre las coordenadas 25° LN y 103° LO con una altitud de 1,117 m, en las cercanías de la localidad de Bermejillo en el municipio de Tlahualilo, Durango, a la altura del km 40 de la carretera Gómez Palacio, Durango - Jiménez, Chihuahua, con una duración de 12 meses de octubre de 2010 a octubre de 2011.



**Figure 1. Schematic Computer Model for predicting Carrying Capacity in Semiarid Rangelands in Northern Mexico.**

**Figura 1. Modelo cualitativo para predicción de la capacidad de carga y carga animal en pastizales naturales.**

The model starts with the calculation of the distribution of precipitation which is made taking into account the annual precipitation, the historical monthly precipitation and the sum of the latter, using the following formula:

$$DP = \frac{AP * MmP}{\sum MmP}$$

Where: DP= Distribution of precipitation, AP= Annual precipitation in mm, MmP= Montly mean precipitation in mm.

Subsequently, we obtained the monthly forage production, which will be given by the product obtained from the distribution of monthly precipitation by the millimeters needed to produce one kilogram of DM per hectare per year:

$$FP = DP * mm \text{ production of } 1 \text{ kg of DM}$$

Where: FP = Forage production, DP = Distribution of precipitation.

According to forage production obtained, each range condition categories was established, multiplying the value of kg of monthly DM by the value of the condition. The following formula was used to establish the production according to the condition:

$$RC = Rpm * \% \text{ in category}$$

Where: RC= range condition, Rpm= Range productivity.

CC estimation which supports a ranch was calculated using the methodology developed by Huss and Aguirre (1979) by the following procedure:

- Get the annual forage production in kg of DM per hectare.
- Consider that one animal unit is equivalent to a 450 kg cow with her calf and consumes about 3 % of their body weight, that is, daily it eats 13.5 kg of DM and
- Set the percentage of use of the annual forage production that should be grazed by livestock.

The following equation was used to obtain the CC:

$$\frac{4927.5 \text{ kg of forage} / \text{UAA}}{\text{Prod. Annual} \times \% \text{ use}} = \text{Ha.} / \text{UA}$$

Once CC was estimated, SR was obtained which was obtained, considering the surface (No. of ha.), grazing time and CC; in the following equation.

$$C.A. = \frac{\text{Núm. ha}}{C.C.} \times \frac{365 \text{ d}}{G.t.}$$

**Diseño y estructuración del modelo.** Se diseñó un modelo cualitativo del manejo de pastizales, identificando los principios y técnicas de manejo que lo caracterizan y las principales fases dentro del mismo para la estimación de la CC y CA (Figura 1).

**Características del modelo.** El modelo se diseñó empleando hojas de cálculo de Excel para crear una matriz de entrada y una de salida que permitiera analizar distintos escenarios (n=6) para evaluar el desempeño del modelo. El modelo es simple y considera solo los componentes y relaciones de interés para conocer el funcionamiento y principios en el manejo de pastizales en lo referente a la estimación de la CC y CA. El modelo requiere en la matriz de “datos de entrada” información de las características del área de aplicación como: superficie (ha), tipo de vegetación, precipitación (mm), producción de forraje (kg de MS·ha<sup>-1</sup>), porcentaje de utilización (%), tiempo de pastoreo (días), porcentaje de la pendiente (%) y distancia del agua (% de superficie).

El modelo inicia con el cálculo de la distribución de la precipitación que se realiza tomando en cuenta la precipitación anual, la precipitación mensual histórica y la sumatoria de esta última, utilizando la siguiente fórmula:

$$DP = \frac{PA * PMm}{\sum PMm}$$

Donde: DP= Distribución de la precipitación, PA= Precipitación anual en mm, PMm= Precipitación media mensual en mm.

Posteriormente se obtiene la producción de forraje mensual, que va a estar dada por el producto que se obtiene de la distribución de la precipitación mensual por los milímetros necesarios para producir un kilogramo de MS por hectárea por año:

$$PF = DP * mm \text{ para producción de } 1 \text{ kg de MS}$$

Donde: PF = Producción de forraje, DP = Distribución de la precipitación.

De acuerdo a la producción de forraje obtenida, se estableció cada una de las categorías de condición del pastizal, multiplicando el valor de kg de MS mensual, por el valor de la condición. Para establecer la producción según la condición se utilizó la siguiente fórmula:

$$CP = Ppm * \% \text{ de la categoria}$$

Donde: CP= Condición del pastizal, Ppm= Productividad del Pastizal.

La estimación de la CC que soporta un rancho se calculó utilizando la metodología desarrollada por Huss y Aguirre (1979) por medio del siguiente procedimiento:

Where: C.A.= Stocking rate, No. ha= Surface in hectares, C.C.= Carrying capacity, G.t.= Grazing time.

For the adjustments of CC and SR, according to the percentage of the slope and the water distance, we used the methodology proposed by Holecheck (2004).

The model starts with Excel spreadsheet called “input matrix” in this paper the model operator can select the values of the parameters that requires to estimate providing information of the input data (Table 1).

### Model performance

Six scenarios with two types of vegetation were designed to evaluate the performance of the model; one covering the rangeland vegetation and other of the performance in shrubland vegetation (medium open grassland and TO) with similar environmental conditions and characteristics (Table 2).

For purposes of this study, we took the historical annual precipitation found in the database of the National Weather Service of Mexico for the years between 1941 and 2005 and we took as annual precipitation that which corresponds to the type of vegetation.

- Obtener la producción de forraje anual en kg de MS por hectárea.
- Considerar que una unidad animal equivale a una vaca de 450 kg con su cría y consume alrededor del 3 % de su peso vivo, o sea, que diariamente comerá 13.5 kg de MS y 4,927.5 kg de MS·año<sup>-1</sup>.
- Establecer el porcentaje de utilización de la producción anual de forraje que debiera ser pastoreada por el ganado.

Para la obtención de la CC se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{4927.5 \text{ kg de forraje} / \text{UAA}}{\text{Prod. Anual} \times \% \text{ de uso}} = \text{Ha.} / \text{UA}$$

Una vez estimada la CC, se obtuvo la CA la cual se obtuvo, considerando la superficie (Núm. de ha), el tiempo de pastoreo y la CC; dentro de la siguiente ecuación.

$$\text{C.A.} = \frac{\text{Núm. ha}}{\text{C.C.}} \times \frac{365 \text{ d}}{\text{Tp}}$$

Donde: C.A.= Carga Animal, Núm. ha= Superficie en Hectáreas, C.C.= Capacidad de Carga, Tp = Tiempo de Pastoreo.

**Table 1. Input data required to use the model of prediction to estimate carrying capacity and stocking rate.**

**Cuadro 1. Datos de entrada requeridos para operar el modelo de predicción para la estimación de la capacidad de carga y carga animal.**

Component / Componente	Units / Unidades
Area / Superficie	ha
Annual mean rainfall / Precipitación media anual	mm
Grazing time (days) / Tiempo de pastoreo (días)	Days / Días
% of use / % de utilización	Percentage (%) / Porcentaje (%)
Forage production / Producción de forraje	(kg of DM·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> )*
Annual rainfall needed to produce 1.0 kg·DM <sup>-1</sup> / Precipitación anual requerida para producir 1.0 kg·MS <sup>-1</sup>	of kg·DM <sup>-1</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·mm of rain <sup>-1</sup> (mm) / de kg·MS <sup>-1</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·mm de lluvia <sup>-1</sup> (mm)
Ranch topography / Topografía del rancho	
% area with 0-10 % slope / % superficie con 0-10 % de pendiente	Percentage (%) / Porcentaje (%)
% area with 11-30 % slope / % superficie con 11-30 % de pendiente	Percentage (%) / Porcentaje (%)
% area with 31 - 60 % slope / % superficie con 31 - 60 % de pendiente	Percentage (%) / Porcentaje (%)
% area with > de 60 % slope / % superficie con > de 60 % de pendiente	Percentage (%) / Porcentaje (%)
Water distance / Distancia del agua	
% area 1.6 km away from water / % superficie a 1.6 km del agua	Percentage (%) / Porcentaje (%)
% area between 1.6 and 3.2 km away from water / % superficie entre 1.6 y 3.2 km del agua	Percentage (%) / Porcentaje (%)
% area > 3.2 km away from water / % superficie a > de 3.2 km del agua	Percentage (%) / Porcentaje (%)

For the shrubland vegetation, in the first scenario we considered the estimation of CC and SR without adjustments for the percent of the slope, or water distance, at the second scenario, we performed adjustments for the percent of the slope and without adjustment in water distance and at the third scenario we performed adjustments both in the percentage of the slope, and water distance.

For the rangeland vegetation, in the fourth scenario we consider the estimation of CC and SR without adjustments for the percent of the slope, or water distance, at the fifth scenario we considered adjustments for the percentage of the slope, but not for the water distance, the variables of precipitation, grazing time and percentage of use of the scenario four were also

Para los ajustes de la CC y CA, según el porcentaje de la pendiente y la distancia del agua se utilizó la metodología propuesta por Holecheck (2004).

El modelo inicia con una hoja que se denomina "matriz de entrada" en esta hoja el operador del modelo puede seleccionar los valores de parámetros que requiera estimar proporcionando la información de los datos de entrada (Cuadro 1).

### Desempeño del modelo

Para evaluar el funcionamiento del modelo se diseñaron seis escenarios con dos tipos de vegetación, uno que abarcara el tipo de vegetación de pastizal y otro del desempeño en tipo de vegetación de matorral (pastizal

**Table 2. Scenarios to evaluate the performance of the prediction model of carrying capacity and stocking rate on rangelands.**

**Cuadro 2. Escenarios para evaluar el desempeño del modelo de predicción de la capacidad de carga y carga animal en pastizales naturales.**

Type of vegetation / Tipo de vegetación	Thorny medium shrubland / Matorral mediano espinoso			Medium open grassland / Pastizal mediano abierto		
	1	2	3	4	5	6
Scenarios / Escenarios						
Area (ha) / Superficie (ha)	2300	2300	2300	2300	2300	2300
Annual mean rainfall (mm) / Precipitación media anual (mm)	773.3	773.3	773.3	773.3	773.3	773.3
Annual rainfall (mm) / Precipitación anual (mm)	400	400	400	400	450	500
Forage production (kg de MS·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> )* / Producción de forraje (kg de MS·ha <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup> )*						
Grazing time (days) / Tiempo de pastoreo (días)	120	120	120	120	240	365
% of use / % de uso	0.45	0.45	0.45	0.45	0.5	0.6
Precipitation index (%) / Índice de precipitación (%)	51.73	51.73	51.73	51.73	58.19	64.66
Production index (Yield) / Índice de rendimiento	41%	41%	41%	41%	49%	57%
<b>Topography / Topografía</b>						
% area with 0-10 % slope / % superficie con 0-10 % de pendiente	100%	40%	40%	100%	40%	30%
% area with 11-30 % slope / % superficie con 11-30 % de pendiente	0%	30%	30%	0%	30%	40%
% area with 31 - 60 % slope / % superficie con 31 - 60 % de pendiente	0%	20%	20%	0%	20%	10%
% area with more than 60% slope / % superficie con más de 60 % de pendiente	0%	10%	10%	0%	10%	20%
<b>Water distance / Distancia del agua</b>						
% area 1.6 km away from water / % superficie a 1.6 km del agua	100%	100%	50%	100%	50%	33%
% area between 1.6 and 3.2 km away from water / % superficie entre 1.6 y 3.2 km del agua	0%	0%	40%	0%	40%	33%
% area more than 3.2 km away from water / % superficie a más de 3.2 km del agua	0%	0%	10%	0%	10%	34%

modified and at the scenario six we made adjustments both in the percentage of slope, and in water distance and modified the variables of precipitation, grazing time and percentage of use, like at scenario five.

**Assessing the performance of the model in real situations.** We performed a comparison between the real CC of two sites (Rangeland with halophyte vegetation vs Chihuahuan Desert and Medium open grassland vs Shortgrass prairie) of Table 3.

mediano abierto y matorral mediano espinoso) con condiciones ambientales y características similares (Cuadro 2).

Para propósitos de este estudio se tomó la precipitación media anual histórica que se tiene en la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional para los años comprendidos entre 1941 y 2005 y se tomó como precipitación anual aquella que corresponde al tipo de vegetación.

**Table 3. Scenarios used to evaluate the implementation of the model for predicting the CC and SR under real conditions.**

**Cuadro 3. Escenarios utilizados para evaluar la aplicación del modelo de predicción de la CC y CA en condiciones reales.**

Type of vegetation / Tipo de Vegetación	Rangeland with halophyte vegetation vs Chihuahuan Desert / Pastizal con vegetación Halófito vs Desierto Chihuahuense	Medium open grassland vs Shortgrass prairie / Pastizal mediano abierto vs Pastizal de Zacates cortos
Scenarios / Escenarios	1	2
Area (ha) / Superficie (ha)	1336	567
Annual mean rainfall (mm) / Precipitación media anual (mm)	229	381
Annual rainfall (mm) / Precipitación anual (mm)	197	330
Forage production (kg of DM·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> )* / Producción de forraje (kg de MS·ha <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup> )*	258	810
Grazing time (days) / Tiempo de pastoreo (días)	365	365
% of use / % de uso	35	45
Precipitation index (%) / Índice de precipitación (%)	86	87
Performance index / Índice de rendimiento	0.83	0.84
<b>Topography / Topografía</b>		
% of area with 0-10 % slope / % superficie con 0-10 % de pendiente	100	20
% of area with 11-30 % slope / % superficie con 11-30 % de pendiente	0	60
% of area with 31 - 60 % slope / % superficie con 31 - 60 % de pendiente	0	15
% of area with more than 60 % slope / % superficie con más de 60 % de pendiente	0	5
<b>Water distance / Distancia del agua</b>		
% area 1.6 km away from water / % superficie a 1.6 km del agua	50	60
% area between 1.6 and 3.2 km away from water / % superficie entre 1.6 y 3.2 km del agua	45	40
% area more than 3.2 km away from water / % superficie a más de 3.2 km del agua	5	0

**Limitations and restrictions of the model.** According to how the model for estimating the CC and SR was structured and designed, the main limitation is to know the value of the pasture forage production to be assessed, in the case of not having this value, the model generates the production of forage from millimeter data of precipitation.

When the value of forage production is estimated, it is calculated according to the type of vegetation of the pasture to be assessed; for that it must match one of the list of vegetation types reported by COTECOCA (2007), for the Mexican Republic.

If the operator model or the owner of the property does not have input data such as the percentage of the slope and water distance, the model in its output will provide higher values in the estimation of CC and SR, so it is it is feasible that overgrazing will take place, which is why it is very important that farmers have drawings of the property, type of vegetation and contour lines, as well as the area and location of water holes.

After calibration of the model, only two scenarios and two real-life situations were evaluated. Table 3 shows the scenarios with the input data used to evaluate the performance of the simulation model, selecting two types of vegetation; medium open grassland and rangeland with halophyte vegetation.

## Results and discussion

Figure 2 shows the flowchart designed for decision making. With the data available we fed the input data, and generated output data matrices, having as main variable the variation effect of CC and SR.

After model calibration only scenario three and six were used to verify the performance of the prediction model of CC and SR on rangelands, for four conditions of rangeland (excellent, good, fair and poor).

**Analysis of the output matrix for the scenarios.** The results of the output matrix are shown in Tables 4 and 5, in both cases the values of SR (AU·No. of ha<sup>-1</sup>·time<sup>-1</sup>) tend to decrease when the adjustment for the percent of the slope is made and even more due to the water distance, regardless of the condition of the rangeland. Contrary to this, the CC (ha·AU<sup>-1</sup>) increases as the condition decreases.

Forage production estimated both in shrub and medium grassland was 142 and 345 kg of DM·ha<sup>-1</sup> respectively with precipitations of 229 and 381 mm, so the variation of the production of kg of DM for 1 mm precipitation varies between 1.0 and 4.5 depending on the location and range condition.

Para el tipo de vegetación de matorral, en el primer escenario se consideró la estimación de la CC y CA sin ajustes por porcentaje de pendiente, ni distancia del agua, en el escenario dos se realizaron ajustes para porcentaje de pendiente y sin ajuste en la distancia del agua y en el escenario tres se realizaron ajustes tanto en el porcentaje de pendiente, como en la distancia del agua.

Para el tipo de vegetación de pastizal, en el cuarto escenario se consideró la estimación de la CC y CA sin ajustes por porcentaje de pendiente, ni distancia del agua, en el escenario cinco se realizaron ajustes para el porcentaje de pendiente, pero no para la distancia del agua, también se modificaron las variables de precipitación, tiempo de pastoreo y porcentaje de uso del escenario cuatro y en el escenario seis se realizaron ajustes tanto en el porcentaje de pendiente, como en la distancia del agua y se modificaron las variables de precipitación, tiempo de pastoreo y porcentaje de uso, al igual que el escenario cinco.

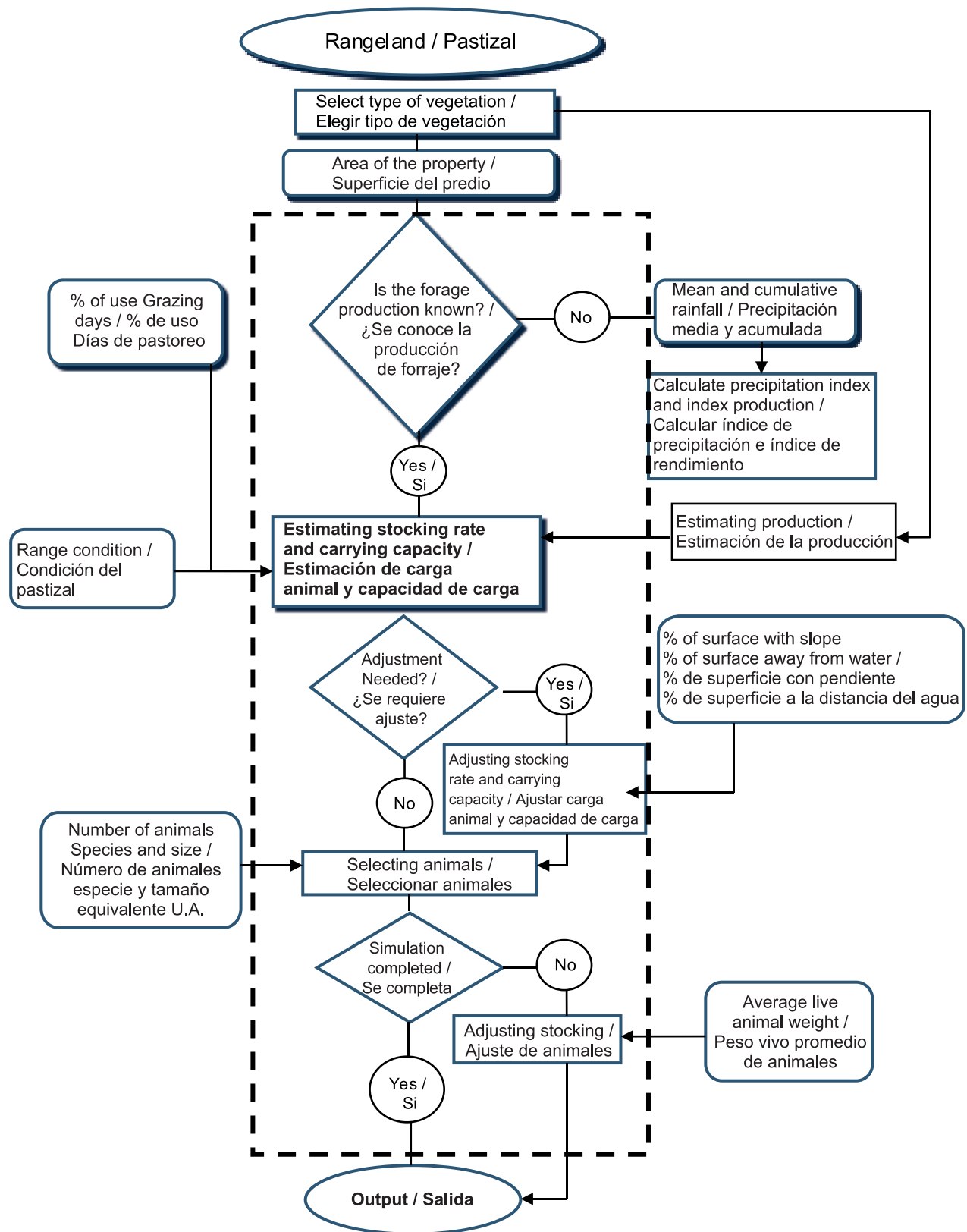
**Evaluación del desempeño del modelo en situaciones reales.** Se realizó una comparación entre la CC real de dos sitios (Pastizal con Vegetación Halófitas vs Desierto Chihuahuense y Pastizal mediano abierto vs Praderas de pastos cortos) del Cuadro 3.

**Limitantes y restricciones del modelo.** De acuerdo a cómo se estructuró y diseñó el modelo de estimación de la CC y CA, la limitante principal es conocer el valor de la producción de forraje del potrero a evaluar, en el caso de no disponer con dicho valor, el modelo genera la producción de forraje a partir del dato de milímetros de precipitación.

Cuando el valor de la producción de forraje es estimado, éste se calcula de acuerdo al tipo de vegetación del potrero a evaluar; para ello éste debe coincidir con alguno de la lista de los tipos de vegetación reportados por COTECOCA (2007), para la República mexicana.

Si el operador del modelo o el propietario del predio no disponen de los datos de entrada como el porcentaje de la pendiente y la distancia del agua, el modelo en su salida proporcionará valores mayores en la estimación de la CC y CA, por lo que es factible que se llegue a producir un sobrepastoreo. Razón por la cual es de suma importancia que los ganaderos dispongan de planos del predio, de tipo de vegetación y de curvas de nivel, así como de la superficie y localización de aguajes.

Después de la calibración del modelo, solo dos escenarios y dos situaciones de la vida real fueron evaluados. En el Cuadro 3 se muestran los escenarios con los datos de entrada utilizados para evaluar el desempeño del modelo de simulación, seleccionando



**Figure 2. Flowchart for decision making in the prediction model of Carrying Capacity and Stocking rate in rangelands.**

**Figura 2. Diagrama de flujo para la toma de decisiones en el modelo de predicción de la Capacidad de Carga y Carga Animal en pastizales naturales.**

**Table 4. Estimated forage production, stocking rate and carrying capacity of the thorny medium shrubland obtained with the model.**

**Cuadro 4. Producción de forraje estimada, carga animal y capacidad de carga del matorral mediano espinoso obtenida con el modelo.**

Thorny medium Shrubland/Matorral mediano espinoso	Production kg of DM·ha <sup>-1</sup> / Producción kg de MS·ha <sup>-1</sup>	CC (ha·AU <sup>-1</sup> )/ CC(ha·UA <sup>-1</sup> )	SR (AU/1336 ha <sup>-1</sup> )/ CA (UA· 1336 ha <sup>-1</sup> )	SR adjusted to slope (AU/1336 ha <sup>-1</sup> )/ CA ajustada a pendiente (UA·1336 ha <sup>-1</sup> )	SR adjusted to water distance (AU/1336 ha <sup>-1</sup> )/ CA ajustada a distancia del agua (UA·1336 ha <sup>-1</sup> )
Excellent condition/ Condición excelente	142.09	77.06	90.78	62.64	43.85
Good condition/ Condición buena	106.57	102.75	68.08	46.98	32.88
Regular condition/ Condición regular	71.04	154.13	45.39	31.32	21.92
Poor condition/ Condición pobre	35.52	308.26	22.69	15.66	10.96

**Table 5. Estimated forage production, stocking rate and carrying capacity of the open medium rangeland obtained with the model.**

**Cuadro 5. Producción de forraje estimada, carga animal y capacidad de carga del pastizal mediano abierto obtenida con el modelo.**

Open medium Rangeland/ Pastizal mediano abierto	Production kg of DM·ha <sup>-1</sup> / Producción kg de MS·ha <sup>-1</sup>	CC (ha·AU <sup>-1</sup> )/ CC (ha·UA <sup>-1</sup> )	SR (AU/567 ha <sup>-1</sup> )/ CA(UA·567 ha <sup>-1</sup> )	SR adjusted to slope (UA/567ha <sup>-1</sup> )/ CA ajustada a pendiente (UA·567ha <sup>-1</sup> )	SR adjusted to water distance (AU/567 ha <sup>-1</sup> )/CA ajustada a distancia del agua (UA·567 ha <sup>-1</sup> )
Excellent condition/ Condición excelente	345.86	23.74	96.86	60.06	29.73
Good condition/ Condición buena	259.4	31.66	72.65	45.04	22.30
Regular condition/ Condición regular	172.93	47.49	48.43	30.03	14.86
Poor condition/ Condición pobre	86.47	94.98	24.22	15.01	7.43

## Assessing the performance of the model in real situations

The model worked with the type of vegetation that would adjust to reality, comparing Chihuahuan Desert vs Rangeland with halophyte vegetation. Table 6 shows the comparison when we performed the estimation of the forage production using the model, the values represent a difference of 35.6 % (unadjusted) and -1.7 % (adjustable) with the real CC. On the same site Holechek and Pieper (1992) found values of 61 % and 16.8 % for both situations. Moreover, the results of Troxel and White (1989) indicate a difference of -16.8 and -21.2 % in the same site and for both situations.

CC estimations without predicting forage production using the model have a difference of 8.3 % with regard to the real CC when no adjustment is made and difference of -21 % with adjustment (Table 6).

In the second site (Short grass prairie) the percentage difference of the model was 79.7 and -2 % for CC unadjusted and adjusted respectively with respect to the real CC. The values of the study of Holecheck and Pieper (1992) suggests 167 and 45 % of difference for unadjusted and adjusted CC respectively; and -19 and -25% for the analysis of Troxel and White (1989).

A comparison of the second site with the medium open grassland vegetation was performed, that works with the model, to estimate the forage production founding at the end differences with values of 17.6 % when no adjustment was made and 36 % when CC was adjusted.

In the first case, it can be seen that when the calculation is performed with real forage production percentage the percentage differences agree in some way with those estimated by other authors. But CC values obtained by the model when the prediction of the forage production is made plus the appropriate adjustment, the difference with the real CC is less than those proposed by other sources.

In the second case, using the real amount of forage, values closest to the real CC are obtained when the adjustment is made, however, the value moves away if the adjustment is made.

Assessing the performance of the model, when forage production was estimated and when real values were used for the first site, the difference is about 25 % with or without adjustment. However if we perform the same analysis for the second case the difference changes by 65 %. This situation highlights the importance of identifying the type of vegetation that closely matches those that work with the model for the calculation of CC and CA when the forage productivity of the application site is unknown.

dos tipos de vegetación; pastizal mediano abierto y pastizal con vegetación halófito.

## Resultados y discusión

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo diseñado para la toma de decisiones. Con los datos disponibles se alimentaron los datos de entrada, y se generaron matrices de datos de salida, teniendo como variable principal el efecto de la variación de la CC y CA.

Después de la calibración del modelo solo los escenarios tres y seis fueron utilizados para verificar el desempeño del modelo de predicción de la capacidad de carga y carga animal en pastizales naturales, para cuatro condiciones del pastizal (excelente, buena, regular y pobre).

### Análisis de la matriz de salida para los escenarios

Los resultados de la matriz de salida se muestran en los Cuadros 4 y 5, en ambas situaciones los valores de la CA (UA·Núm. de ha<sup>-1</sup>·tiempo<sup>-1</sup>) tienden a disminuir cuando se realiza el ajuste por porcentaje de pendiente y aún más por la distancia del agua, independientemente de la condición que presente el pastizal. Contrario a ello la CC (ha·UA<sup>-1</sup>) aumenta conforme la condición disminuye.

La producción de forraje estimada tanto en el matorral como en el pastizal mediano fue de 142 y 345 kg de MS·ha<sup>-1</sup> respectivamente con precipitaciones de 229 y 381 mm, por lo que la variación de la producción de kg de MS por 1 mm de lluvia varía entre 1.0 y 4.5 según el sitio y condición del pastizal.

### Evaluación del desempeño del modelo en situaciones reales

El modelo se operó con el tipo de vegetación que más se ajustara al real, quedando la comparación Desierto Chihuahuense vs Pastizal con vegetación Halófito. En el Cuadro 6 se muestra la comparación cuando se realizó la estimación de la producción de forraje a través del modelo, los valores representan 35.6 % (sin ajuste) y -1.7 % (con ajuste) de diferencia con la CC real. En el mismo sitio Holechek y Pieper (1992) encontraron valores del 61 % y del 16.8 % para ambas situaciones. Por otra parte los resultados de Troxel y White (1989) indican una diferencia del -16.8 y -21.2 % en el mismo lugar y para ambas situaciones.

Las estimaciones de la CC sin la predicción de la producción de forraje a través del modelo tiene una diferencia del 8.3 % con respecto a la CC real cuando no se realiza ajuste y de -21 % si se realiza el ajuste (Cuadro 6). En el segundo sitio (Short grass prairie) la diferencia porcentual del modelo fue de 79.7 y -2 % para CC sin ajuste y ajustada respectivamente con relación a la CC real. Los valores del estudio de Holecheck y Pieper

**Table 6. Comparison of Carrying Capacity for two types of vegetation using four different assessments. Cuadro 6. Comparación de la Capacidad de Carga para dos tipos de vegetación usando cuatro distintas evaluaciones.**

	Real	Model calculation vs un-adjusted real scenario / Cálculo Modelo vs real sin ajuste	Model calculation vs adjusted real scenario / Cálculo Modelo vs real con ajuste	Model estimate vs un-adjusted real scenario / Estimación Modelo vs real sin ajuste	Model estimate vs adjusted real scenario / Estimación Modelo vs real con ajuste	Holechek 1992 vs un-adjusted real scenario / Holechek 1992 vs real sin ajuste	Holechek 1992 vs adjusted real scenario / Holechek 1992 vs real con ajuste	Troxeland White 1989 vs un-adjusted real scenario / Troxely White 1989 vs real sin ajuste	Troxeland White 1989 vs adjusted real scenario / Troxel y White 1989 vs real con ajuste	Unadjusted average vs real scenario / Promedio sin ajuste vs real	Adjusted average vs real / Promedio con ajuste vs real
Rangeland with Halophyte vegetation vs Chihuahuan Desert / Pastizal con vegetación Halofita vs Desierto Chihuahuense	59.1	54.57	75.27	43.60	60.15	36.70	50.60	71.00	75.00	51.47	65.26
Medium open grassland vs Short-Grass Prairie / Pastizal mediano abierto vs Praderas de pastos cortos	24.3	13.52	24.85	20.66	37.98	9.10	16.70	30.00	32.50	18.32	28.01
Carrying capacity / Capacidad de Carga											
Percentage differences / Diferencias porcentuales											
Rangeland with Halophyte vegetation vs Chihuahuan Desert / Pastizal con vegetación Halofita vs Desierto Chihuahuense	0	8.3 %	-21 %	35.6 %	-1.7 %	61.0 %	16.8 %	-16.8 %	-21.2 %	22.0 %	-6.9 %
Medium open grassland vs Short-Grass Prairie / Pastizal mediano abierto vs Praderas de pastos cortos	0	79.7 %	-2 %	17.6 %	-36.0 %	167.0 %	45.5 %	-19 %	-25 %	61.3 %	-4.5 %

## Discussion

According to the results obtained with the model of output analysis, it is considered that the model estimated CC and SR, and the adjustments according to the percentage of the slope and water distance and the different types of animals that can be maintained.

It is recognized that the productivity of forage can vary between different types of vegetation mainly due to the variability of precipitation. However, it can be seen that the productivity of rangeland assessed is too low, because it can only support 98.86 UAA but with adjustments in the percentage of the slope and water distance it drops considerably to 60.06 and 29.73 UAA, respectively.

The performance of the model highlights that found by Holechek and Pieper (1992), where it is indicated that different prediction methods can produce estimates of forage production which can vary by 20 % or more.

SR estimated will probably have to be further adjusted by the manager to the experience gained in the use and distribution of animals in rangelands.

**Number of animals (SR).** For the scenario three, we selected animals from the table of animal unit equivalents COTECOCA (1968). According to the equivalent of each species and the type of animals that were chosen. The total of Animal Units corresponds to 43.76 AU and the SR that the scenario can support are 43.85 AU in the best condition.

## Conclusions

The use of the simulation model to estimate the CC and SR on rangelands, is a tool that allows to know quickly and easily the performance of a cattle ranch and from the analysis of the outputs, it is possible to generate a number of alternatives to assist the decision maker to substantially improve the CC and SR of a ranch in order to find the best combinations that may decrease overgrazing and achieve greater efficiency.

A major problem that many range managers face is forage production, because this varies considerably from year to year and season to season, due to the variability of precipitation. Therefore, it is necessary to continually make adjustments of the stocking rate based on the use of rangelands to avoid forage depletion and poor productive and breeding behavior of the livestock.

It is also a determining factor to have physiographic information of the grazing areas (% of the slope, water distance, vegetation, precipitation) and appropriate management strategies for sustainability of the rangeland (grazing time, % of use, animals used, etc.).

(1992) sugieren 167 y 45 % de diferencia para CC sin ajustar y ajustada respectivamente; y de -19 y -25 % para el análisis de Troxel y White (1989).

Se realizó una comparación del segundo sitio con la vegetación de pastizal mediano abierto, que opera el modelo, para la estimación de la producción de forraje encontrándose al final diferencias con valores de 17.6 % cuando no se realiza ajuste y 36 % cuando se ajusta la CC.

En el primer caso, puede observarse que cuando se realiza el cálculo con la producción de forraje real las diferencias porcentuales coinciden de cierta manera con aquellas estimadas por otros autores. Pero los valores de CC que arroja el modelo cuando se realiza la predicción de la producción de forraje más el ajuste apropiado, la diferencia con la CC real es menor que aquellas propuestas por otras fuentes.

En el segundo caso, utilizando la cantidad de forraje real, se obtienen valores más cercanos a la CC real cuando se realiza el ajuste, sin embargo, el valor se aleja si se aplica el ajuste.

Evaluando el comportamiento del modelo, cuando se estimó la producción de forraje y cuando se utilizaron valores reales, para el primer sitio, la diferencia se encuentra alrededor del 25 % independientemente de si se realiza o no el ajuste. En cambio si se hace el mismo análisis para el segundo caso, la diferencia cambia a un 65 %. Esta situación resalta la importancia de identificar el tipo de vegetación que se asemeje a los que opera el modelo para un cálculo de CC y CA adecuado en el debido caso que no se conozca la productividad de forraje del sitio de aplicación.

## Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos con el modelo del análisis de las salidas, se considera que el modelo estimó la CC y CA, así como los ajustes dependiendo del porcentaje de pendiente y la distancia del agua y los diferentes tipos de animal que pueden ser mantenidos.

Se reconoce que la productividad de forraje puede variar entre los diferentes tipos de vegetación debido principalmente a la variabilidad de la precipitación. Sin embargo, se puede apreciar que la productividad del pastizal evaluado es muy baja, ya que solo puede soportar 96.86 UAA, pero con los ajustes del porcentaje pendiente y distancia del agua baja considerablemente a 60.06 y 29.73 UAA respectivamente.

El desempeño del modelo resalta lo encontrado por Holechek y Pieper (1992), donde indican que diferentes métodos de predicción pueden producir estimaciones

Given the ongoing controversy that exists about what is the proper CC and SR of a given site, an alternative could be to use the average of the procedures proposed in the model, together with those already validated and make improvements based on trends of range condition over time.

*End of English version*

## References / Referencias

- Börner, J.; Higgins S. I.; Kantelhardt J.; Scheiter Simon. 2006. In: memory of the International Association of Agricultural Economists Conference, Gold Coast, Australia. Agosto 12-18.
- Comisión Técnico Consultiva para la determinación de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 2007. Coeficientes de Agostadero máximos y mínimos por tipos de Vegetación. SAGARPA, México
- Comisión Técnico Consultiva para la determinación de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA).1968. SARH. México.
- Díaz, S. H.; Kothmann, M. M.; Hamilton, W. T.; Grant, W. E. 2003. A simple ecological sustainability simulator (SESS) for stocking rate management on semi-arid grazing lands. *Agricultural Systems* 76: 655-680.
- Fynn, R. W.; O'Connor, T. G. 2000. Effect of stocking rate and rainfall on rangeland dynamics and cattle performance in a semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Applied Ecology* 37: 491-507.
- Hein, L.; Hans-Peter, Weikard. 2008. Optimal long-term stocking rates for livestock grazing in a Sahelian rangeland. *African Journal of Arid Environmental* Vol. 2:126-151. September.
- Hocking, D.; Mattick, A. 1993. Dynamic carrying capacity analysis as tool for conceptualizing and planning range management improvements with a case study from India. Recuperado el 25 de junio del 2011 de <http://www.odi.org.uk/work/projects/pdn/papers/34c.pdf>
- Holecheck, J. 2004. Range management: principles and practices. 5<sup>th</sup> edition. Pearson Prentice Hall. USA
- Holecheck, J. L.; Pieper R. D. 1992. Estimation of stocking rate on New Mexico rangelands. *Journal of Soil & Water Conservation*. 47: 116-119.
- Holecheck, J. L.; H. Gómez, F.; Molinar, D. Galt. 1999. Grazing studies: What we have learned. *Rangelands* 21 (2):12-16.
- Howery, L. 1999. Rangeland management before, during, and after drought. Cooperative Extension. College of Agriculture. The University of Arizona. AZ1136.
- Huss D. L.; Aguirre, E. L. 1979. Fundamentos de Manejo de Pastizales. ITESM. Monterrey, N. L., México,
- Janssen, M. A.; Anderies, J. M.; Walker, B. H. 2004. Robust strategies for managing rangelands with multiple stable attractors. *Journal of Environmental Economics and Management* 47: 140-162.

de la producción de forraje que llegan a variar en un 20 % o más.

La CA que se ha estimado, probablemente tendrá que ajustarse aún más a la experiencia adquirida con la utilización y distribución de animales en pastizales por parte del manejador.

**Número de animales (CA).** Para el escenario tres se eligieron animales de la tabla de equivalentes unidad animal de COTECOCA (1968). De acuerdo a los equivalentes de cada especie y del tipo de animales que se eligieron. El total de Unidades Animal corresponde a 43.76 UA y la CA que el escenario puede soportar son 43.85 UA en la mejor condición.

## Conclusiones

El uso del modelo de simulación para estimar la CC y CA en pastizales naturales, es una herramienta que permite conocer en forma rápida y sencilla, el desempeño de un rancho ganadero y a partir del análisis de las salidas, es posible generar una serie de alternativas para auxiliar al tomador de decisiones de mejorar sustantivamente la CC y CA de un rancho, con el fin de encontrar las mejores combinaciones que permitan disminuir el sobrepastoreo y lograr obtener una mayor eficiencia.

Un importante problema al que se enfrentan muchos manejadores de pastizales, lo representa la producción de forraje, ya que esta varía considerablemente año con año y estación con estación, debido a la variabilidad de la precipitación. Por lo tanto, se hace necesario realizar ajustes continuamente de la carga animal, con base en la utilización del pastizal, para evitar el agotamiento de forraje y un pobre comportamiento productivo y reproductivo del ganado.

Es también un factor determinante contar con información fisiográfica de las áreas de pastoreo (% pendiente, distancia del agua, tipo de vegetación, precipitación) y adecuadas estrategias de manejo para la sustentabilidad del pastizal (tiempo de pastoreo, % de utilización, animales a utilizar, etc.).

Ante la controversia permanente que existe, sobre cuál es la adecuada CC y CA de un sitio determinado, una alternativa pudiera ser el utilizar el promedio de los procedimientos propuestos en el modelo, junto con aquellos ya validados y hacer mejoras basadas en las tendencias de la condición de los pastizales a través del tiempo.

*Fin de la versión en español*

- Koch, J.; Schaldach, R.; Kölking, C. 2009. Modelling the impact of rangeland management strategies on (semi) natural vegetation in Jordan. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009.
- López, M. V.; Arias, M.; Adolfo, A.; Pace, G. J.; Casco, J. F.; Goldfarb, M. C.; Gimenez, L. 2000. Desarrollo de una aplicación de software para simular el rendimiento de materia seca de pastizales de la región Noroeste de la Provincia de Corrientes mediante variables climáticas. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2000. Universidad Nacional del Nordeste.
- Mulindwa, H.; Galukande, E.; Wurzinger, M.; Okeyo Mwai, A.; Sölkner, J. 2009. Modelling of long term pasture production and estimation of carrying capacity of Ankole pastoral production system in South Western Uganda. *Livestock Research for Rural Development* 21 (9) 2009.
- Mulindwa, H.; Galukande, E.; Wurzinger, M.; Okeyo Mwai, A.; Sölkner, J. 2011. Modelling of long term pasture production and estimation of carrying capacity of Ankole pastoral production system in South Western Uganda. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 21, Article #151. Recuperado el 1 de septiembre del 2011, de <http://www.lrrd.org/lrrd21/9/muli21151.htm>
- Newman, S.; Lynch, T.; Plummer, A. A. 2000. Success and failure of decision support systems: Learning as we go. *Journal of Animal Science*, 77:1-12. Recuperado el 25 de junio del 2011 de <http://jas.fass.org/content/77/E-Suppl/1.31.short>
- Pratt, M.; Rasmussen, G. Allen. 2001. Determining your stocking rate. Utah State University. Cooperative Extension. NR/RM/04.
- Schacht, W. H.; Volesky, J. D.; Bauer, D. E.; Stephenson, M. B. 2011. Grazing systems for Nebraska Sandhills Rangeland. University of Nebraska. Lincoln. Extension. EC127. IANR.
- Sikhalazo, D. 2005. A model for adaptative livestock management on semi-arid rangelands in Texas. Texas A&M University.
- Teague, W. R.; Foy, J. K. 2004. Can the SPUR rangeland simulation model enhance understanding of field experiments? *Arid Land Research and management* 3:217-228.
- Teague, W. R.; Grant, W.E.; Kreuter, U. P.; Díaz-Solís H.; Dube S.; Kothmann M. M.; Pinchak, W.E.; Ansley, R. J. 2008. An ecological economic simulation model for assessing fire and grazing management effects on mesquite rangelands in Texas. *Ecological Economics* 64:612-625
- Troxel, T. R.; White L. D. 1989. Balancing forage demand with forage supply. B-1606. Texas A&M Univ. Ext. Serv., College Station. Recuperado el 25 de junio del 2011, de <http://AgriLifeBookstore.org>