

Agropapia

AGRARIA VOL 18, NUMERO 2; JULIO-DICIEMBRE DE 2002

ISSN 0186-8063



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRRO
Buenavista, Saltillo., Coah., México
www.uaaan.mx

DIRECTORIO

Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Rector

M.C. Luis Lauro de León González
Director General Académico

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Director de Investigación

Dr. Andrés Martínez Cano
Subdirector de Programación y Evaluación

Ing. Pedro Recio del Bosque
Subdirector de Operación de Proyectos

UNIDAD LAGUNA

Dr. Esteban Favela Chávez
Subdirector de Investigación

Diseño y Formación
Miguel A. Estrada Villarreal

Comité Editorial

Dr. Miguel Angel Capó Arteaga
Editor en Jefe

Dr. Jesús Valdés Reyna
Editor Ejecutivo

Secretario de Producción
M.Ed. Víctor M. López González

Editores Técnicos

Dr. José L. Puente Manriquez
Fitomejoramiento, UL

Dr. Raúl Rodríguez García
Riego y Drenaje

Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Producción Animal

Colaboradores

M.C. Cecilia Burciaga Dávila
Dr. Angel Cepeda Dovala
M.C. Ricardo Cuellar Flores

La Revista Agraria es una publicación científica semestral, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con domicilio conocido en Buenavista, Saltillo, Coah., México.

http://www.uaaan.mx/DirInv/portal_agraria/portal.htm

E-mail: agraria_ne@uaaan.mx

Tel (844) 411-02-12 y 411-02-80 · Fax 411-02-11



Centéotl. Deidad azteca de la agricultura, es una advocación de Chicomecóatl, diosa del maíz. La UAAAN, en su afán de rescatar los valores del pasado histórico de México la ha adoptado como logotipo de esta revista científica, como símbolo que evoca y reafirma nuestras raíces culturales.

Agropapia

AGRARIA VOL 18 NUMERO 2 JULIO-DICIEMBRE DE 2002

ISSN 0186-8063



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRRO
Buenavista, Saltillo., Coah., México
www.uaaan.mx

CONTENIDO

RESPUESTA DE VEGETACIÓN Y COMPORTAMIENTO ANIMAL A DIFERENTES TIEMPOS DE OCUPACIÓN BAJO EL MODELO HOLÍSTICO	1
RELACIÓN DE LAS UNIDADES CALOR (UC) ACUMULADAS CON EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DEL FORRAJE	29
CONJUNCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA	51

**RESPUESTA DE VEGETACIÓN Y COMPORTAMIENTO ANIMAL
A DIFERENTES TIEMPOS DE OCUPACIÓN BAJO EL
MODELO HOLÍSTICO**

Carlos E. Aguirre Calderón
Reginaldo De Luna Villarreal
Juan Ricardo Reynaga Valdés
Luis Pérez Romero
Luis Lauro de León González
Félix Sánchez Pérez

Departamento de Recursos Naturales Renovables
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

RESUMEN

El trabajo se realizó en el período de agosto de 1997 a marzo de 1998. Los objetivos fueron: observar la respuesta de la vegetación y el comportamiento de los animales, para conocer el tiempo óptimo de ocupación en los potreros bajo el modelo holístico. Por medio del análisis dimensional se generaron modelos de predicción para estimar la utilización y el período de recuperación de *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *Rynchelitrum repens*, *Chloris virgata*, *Elyonurus barbiculmis* y *Trachypogon secundus*. La utilización y los incrementos de producción se midieron a 3 distancias del agua. Se observó el comportamiento de los animales durante el período diurno, considerando las actividades de apacentamiento, búsqueda, rumia, descanso, caminar y distancias al agua, en que se realizaron las actividades. El grado de utilización fue mayor durante la época de crecimiento, y no fue proporcional al tiempo de ocupación en los potreros; la utilización en cada especie fue diferente entre potreros, y épocas del año. Los mayores incrementos en proporción se observaron en el potrero con 38 días de recuperación en todas las épocas del año; los incrementos entre especies, fueron diferentes entre potreros y épocas del año. El tiempo de búsqueda con relación al tiempo de apacentamiento, fue menor en el potrero, con tres días de ocupación y el tiempo de rumia con relación al tiempo de apacentamiento fue mayor en este mismo potrero, sin embargo, el tiempo de apacentamiento y de rumia se reducen, mientras que el de descanso y el tiempo que los animales permanecen en la distancia uno, y en el aguaje se incrementa conforme avanzan los días de ocupación.

Palabras clave: modelo holístico, grado de utilización, período de recuperación,

comportamiento animal, modelo de predicción, *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *Rynchelitrum repens*, *Chloris virgata*, *Elyonurus barbicu/mis*, *Trachypogon secundus*.

ABSTRACT

The assay was carried out from August 1997 to March 1998. The objectives were to observe the response of the vegetation and the animal behavior to know the optimal occupation time in paddock under a holistic model. Prediction models were generated by means of the dimensional analysis, to evaluate the usage and the period of recovery of *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *Rynchelitrum repens*, *virgata Chloris*, *Elyonurus barbiculmis* and *Trachypogon secundus*. The usage and increase in production were measured for 3 distances from the water. The behavior of the animals was observed during the daylight period, when the activities were performed, to evaluate the activities of pasturing, search, rumination, resting, walking and distances to water. The level of usage was greater during the time of growth, and it was not proportional to the time of occupation in the paddock; the usage for each species was different between paddocks and time of the year. The greater increases, in proportion, were observed in the paddock with 38 days of recovery at all seasons of the year; the increases between species were different between paddocks and seasons. The searching time, as related to the time of pasturing, was shorter in the paddock, with three days of occupation and the rumination time as related to the time of pasturing was greater in this same paddock; nevertheless, the time of pasturing and of rumination are

reduced, whereas the resting time and the time that the animals remain in Distance 1 and in the drinking place is increased as the days of occupation is increased.

Key words. holistic model, degree of usagee, period of recovery, animal behavior, model of prediction, *Bouteloua gracilis*, *B. curtipendula*, *Rynchelitrum repens*, *Chloris virgata*, *Elyonurus barbiculmis*, *Trachypogon secundus*.

INTRODUCCIÓN

El desconocer el manejo propio de un rancho, sobre cuando meter y sacar los animales de los potreros bajo el modelo holístico, ha provocado gran preocupación en los ganaderos, quienes necesitan tener respuestas confiables respecto al mejor criterio para decidir cuando cambiar el ganado de un potrero a otro, en la época de verano, otoño, invierno.

Existe como antecedente a esta investigación, la de González (1997), quien tratando de dar respuesta a este planteamiento realizó un estudio en el estado de Nuevo León, México, para poder tomar la decisión de cuándo mover los animales de un potrero a otro; el consideró 7 días de ocupación para cada potrero, y usó como criterio de decisión la utilización del forraje (por medio del método de jaulas), a diferentes distancias del agua, y la observación del comportamiento de los animales durante las 24 h, los Días 1, 3 y 5 de ocupación. A pesar de este estudio, aun persisten muchas interrogantes, entre las cuales está el conocer si es mejor 2, 3 ó 4 días de ocupación, por lo que es necesario seguir en

este tipo de investigación. En este trabajo se consideran variables y procedimientos distintos de los que se han venido utilizando en manejo y ecología de pastizales, pretendiendo con ello observar a los componentes y procesos del pastizal, desde una perspectiva diferente a la tradicional. Para tratar de dar respuesta a esta interrogante, se parte de lo siguiente: se considera la cosecha del forraje, los incrementos en producción, y el comportamiento animal bajo un enfoque fenomenológico, entendiendo por esto, la observación y aprehensión del fenómeno de estudio. Se está situado bajo el paradigma de la tesis contraria, esto es, se asume y se hace algo alterno a lo tradicional. El foco de atención está definido en 2, 3 y 4 días de ocupación en un rancho ganadero con potreros bajo el modelo holístico.

En base al planteamiento anterior, el objetivo de este trabajo fue conocer la respuesta de la vegetación, y el comportamiento animal, para conocer el tiempo óptimo de ocupación bajo el modelo holístico. Se parte del supuesto de que mediante el grado de utilización, el período de recuperación, y el comportamiento animal, se podrá conocer el tiempo mas adecuado de ocupación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El trabajo se realizó en el rancho Jaralillo, municipio de Durango, Dgo., México, propiedad de la familia Saravia, que se encuentra localizado sobre el km 27 de la carretera

federal Durango-Zacatecas, y 25 km hacia el norte, a partir de ese punto por camino de terracería. El rancho se ubica entre los $24^{\circ} 09'$, y los $24^{\circ} 13'$ de latitud norte, y entre los $104^{\circ} 16'$ y los $104^{\circ} 19'$ longitud oeste, a una altitud sobre el nivel del mar de 1950 m. El clima que presenta es semiárido, del tipo BSk_w(w)(e), con una precipitación media anual de 500 mm, y temperatura media anual de 16°C. Los suelos son de origen ígneo, derivados de basalto, conocido como malpais. El tipo de suelo es xerosol lúvico pedregoso, de clase textural media. El tipo de vegetación es pastizal natural, con áreas de matorral crasicaule y matorral espinoso (CETENAL, 1978).

El rancho se caracteriza por tener áreas de malpaís y valles; los primeros están constituidos por lomeríos pequeños, suaves, de baja altura, con abundantes afloramientos de roca, Los valles son superficies planas, generalmente pequeñas, que se encuentran distribuidas entre las áreas de malpaís. La diversidad de especies vegetales es mayor en el malpaís que en el valle, en el caso de las arbustivas, se pueden encontrar en las dos áreas, sin embargo, la densidad es mayor en el malpaís.

El rancho cuenta con una superficie aproximada de 2850 ha, donde se lleva a cabo el manejo bajo el enfoque del modelo holístico. La superficie está dividida en 40 potreros, con un promedio de 50 ha cada uno, y en cinco células o centros.

Métodos

El trabajo se realizó de agosto de 1997 a febrero de 1998. Se eligieron los

potreros B1, B2 y B3 del centro Tinajitas. Los tiempos programados de ocupación fueron: para el potrero B1 de 2 días, para el B2 de 3, y para el B3 de 4; mientras que los períodos de recuperación fueron para el potrero B1 de 38 días, para el B2 de 57, y para el B3 de 76. Fueron cinco períodos de ocupación, y cuatro de recuperación para el potrero B1, cuatro de ocupación y tres de recuperación para el B2, y tres de ocupación y dos de recuperación para el B3, siendo, 20 días totales de uso por año para los potreros B1 y B2, y 21 días para el B3. La utilización y los incrementos en producción fueron medidos en 3 distancias al agua, se dividió la longitud total del potrero en tres partes y se ubicaron los sitios aproximadamente entre 180-200 m (D1), 500-520 (D2) y 900-920(D3).

Análisis Dimensional y Modelo de Predicción

Para la construcción del modelo matemático de predicción, las plantas fueron elegidas al azar, en los potreros donde se llevó a cabo este trabajo. Se consideraron 4 especies clave a evaluar en verano: *Bouteloua gracilis*, *Bouteloua curtipendula*, *Rynchelitrum repens* y *Chloris virgata*. En el otoño se agregaron dos: *Elyonurus barbiculmis* y *Trachypogon secundus*, y ya no se consideró *C. virgata*, puesto que por su tipo de crecimiento anual, en esta temporada había concluido su ciclo, quedando entonces 5 especies para otoño-invierno.

La colecta de las plantas en las áreas seleccionadas se realizó, entre el mes de julio y octubre de 1997, siendo 32 individuos de *B. gracilis*, 38 de *B. curtipendula*, 30 de *R. repens*, 30 de *C. virgata*, 20 de *E. barbiculmis* y 20 de *T. secundus*.

A las plantas en pie se les midió: a) diámetro basal mayor y menor, b) diámetro aéreo mayor y menor, y c) altura de la parte vegetativa (Johnson, *et al.*, 1988). Estas plantas fueron cortadas a nivel de la corona, puestas en bolsas de papel, y posteriormente secadas en estufa a 70°C durante 48 h, y pesadas a una aproximación de 0.0001 g.

Utilización

El procedimiento para estimar la utilización (entendiéndose por utilización el proceso de cosecha o descarga), consistió en medir el volumen de las plantas con la técnica dimensional antes descrita, inmediatamente antes de entrar los animales al potrero, y posteriormente al salir se estimó el remanente, mediante la misma técnica. A estos datos de volumen se les aplicó la ecuación de regresión generada, de esta forma, la diferencia en porcentaje entre la segunda medición y la primera, se consideró como la utilización.

Período de Recuperación

A las plantas elegidas para medir la utilización, se les dio seguimiento durante el período de recuperación. La medición del remanente al salir los animales representó el volumen inicial, y la medida que se obtuvo antes de entrar los animales nuevamente al potrero para su utilización, fue el volumen final. A los datos obtenidos se les aplicó la ecuación de regresión para estimar el incremento en proporción, esto es, la diferencia entre el

peso al entrar los animales al potrero, y las veces que aumentó el peso, al salir los animales del mismo, en el período anterior de ocupación.

Comportamiento Animal

Las observaciones de comportamiento animal se hicieron sólo durante el período diurno; los datos se obtuvieron de un solo animal, que se consideró el líder, que fue una vaca adulta sin cría. Se hicieron observaciones continuas durante todo el período diurno. Las actividades que se tomaron en cuenta fueron: tiempo de apacentamiento, tiempo de búsqueda, tiempo de rumia, tiempo de descanso, tiempo caminando, y distancia al agua donde realizó la actividad

Para la obtención de los datos del grupo (total de animales cercanos al líder, que pudieron ser observados), las observaciones se hicieron cada 15 mm. Las actividades observadas fueran tiempo de apacentamiento, de rumia y descanso, y distancia en donde realizaron estas actividades.

Análisis Estadístico

Las plantas recolectadas para generar el modelo de predicción, fueron analizadas en su estadística descriptiva para la variable peso; se aplicó la prueba de Omnibus k para

ver su distribución normal, y el análisis de medias a \pm una sigma para detectar atractores y dispersores, es decir, todos aquellos individuos que por su peso superior, se encuentran fuera de área comprendida en el 68.24 % de normalidad.

Para estos mismos datos se calculó la correlación lineal simple, entre la variable dependiente (peso), y las independientes (diámetro mayor, diámetro menor, altura y volumen), para obtener los coeficientes de correlación. Se realizó el análisis de regresión por el método de mínimos cuadrados y su análisis de varianza para cada una de las especies, utilizando el modelo general de la regresión lineal simple y el exponencial, potencial y logarítmico.

Los criterios de selección del modelo de regresión fueron: a) mayor coeficiente de determinación, b) coeficiente de variación, cuya probabilidad no esté por abajo del 95 % y c) menor error estándar de la estimación.

Para detectar diferencias entre las variables en utilización e incremento, mediante un diseño completamente al azar con diferentes repeticiones, se corrieron análisis de varianza para pruebas paramétricas o no paramétricas (Kruskall Wallis), dependiendo de la distribución normal o libre de los valores, posteriormente, pruebas de rango múltiple de Tukey, con una probabilidad del 0.05 %.

En el comportamiento animal, se hicieron comparaciones entre las proporciones de tiempo de las actividades, considerando: tiempo apacentando, sin apacentar, descansando y rumiando, para cada potrero, período, y día de ocupación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de los Datos Utilizados para el Modelo

Se encontró evidencia de que existen individuos para cada una de las especies con pesos por arriba del límite superior del análisis de medias (dispersores). *B. gracilis* muestra una distribución libre por tener sesgo y curtosis (Cuadro 1), tuvo tres valores por arriba del límite de la normalidad, mientras que 29 están dentro del 68.24 %, esto indica para esta especie un 9.37 % de dispersores, estas valores son 2.70, 2.92 y 5.53 veces superiores, con respecto al promedio de peso de las plantas observadas. *B. curtispindula* tuvo un 13.15 % de dispersores, estos pesos son 2.94, 3.12, 3.27 y 4.12 veces superiores al peso promedio. *R. repens* tuvo un 16.66 % de dispersores, estos son 1.72, 1.73, 1.88, 2.36 y 2.51 veces más pesados que el promedio. En *C. virgata* se encontró un 10 % de dispersores, estos son, 1.97, 3.18 y 3.60 veces más pesadas que el promedio. *E. barbiculmis* tuvo un 17.64 % de dispersores, los cuales son 1.88, 2.03 y 2.77 veces superiores en peso a la media. *T. secundus* tiene también 17.64 % de dispersores, con pesos 2.87, 2.99 y 3.20 veces mas que el promedio de estas plantas.

Cuadro 1. Estadística univariada para cada especie y en todas las especies para la variable peso (en g).

Especie	n	Media	Mediana	Mm	Max	Rango	D.S.	CV.	Sesgo	Curtosis
Bogr	32	2.42	1.72	0.28	13.40	13.12	2.57	1.06	2.757	11.646
Bocu	38	2.83	1.90	0.37	11.65	11.28	2.69	0.95	1.730	5.467
Ryre	30	2.62	2.38	0.32	6.58	6.263	1.67	0.64	0.718	2.618
Chvi	30	3.57	3.48	0.38	12.87	12.49	2.98	0.83	1.530	5.413
Elba	20	10.07	8.45	0.34	27.96	27.62	7.45	0.74	0.640	2.702
Trse	20	17.30	10.50	1.19	55.48	54.28	17.43	1.01	1.173	3.009
Todas	170	5.40	8.34	0.28	55.48	55.20	8.35	1.54	3.798	19.893

n: tamaño de muestra

D.S.: desviación estándar

CV: coeficiente de variación

Al integrar todas las especies, se encontró que los valores se distribuyen libremente por sesgo y curtosis; solamente dos especies tienen valores por encima del límite superior de normalidad. *E. barbiculmis* presenta 8 individuos como dispersores, mientras que *T. secundus* tiene 7 arriba del límite de normalidad, en este último caso, se encontró un individuo 10.27 veces más pesado que el promedio de peso para todas las especies.

Lo anterior indica que hay potencial genético y condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y micro ambientales, que permiten el desarrollo de plantas con atributos muy por arriba del promedio; ésta es una herramienta que se puede usar como criterio de decisión para saber si un tratamiento (manejo superficial de suelo, efecto de hato, incorporación de materia orgánica), mejoran las condiciones de las plantas para que expresen su potencial. Se asume que si se mejoran las características físicas, químicas y biológicas del

suelo, y se mejora el manejo superficial del suelo junto con la precipitación efectiva, esto redundará en tener un suelo de calidad, con zacates de hoja ancha más productivos que los zacates que actualmente están dominando el paisaje (Reynaga, 1995).

Modelo de Predicción

De las variables que se consideraron para la construcción del modelo en todas las especies, el volumen resultó con el mayor coeficiente de correlación (R), y se tomó como la variable más sensible para estimar el peso seco de la fitomasa aérea de las plantas.

De acuerdo a la significancia en el análisis de varianza, y de los coeficientes de regresión, fue posible utilizar una ecuación general, para estimar el peso seco de la fitomasa aérea en pie, para *B. gracilis*, *B. curtipendula* y *R. repens*, mientras que el resto de las especies requieren de ecuaciones individuales (Cuadro 2).

El modelo de tipo lineal fue el que presentó los valores mas altos en cuanto a coeficiente de variación, sin embargo, tuvo los mayores coeficientes de determinación (R^2), y los niveles de confianza a significación, de acuerdo al coeficiente de variación; en ningún caso se encuentra por abajo del 99 %, la que significa un error o alfa de 0.01 %, esto permite su uso con un alto grado de confiabilidad en pastizales naturales. Estos resultados no coinciden con los encontrados por Ávila (1990) y Meza (1993), quienes de acuerdo a los criterios de selección que emplearon para elegir el modelo, los no lineales son los mejores, sin embargo, se apoyan únicamente en el coeficiente de correlación a determinación, coeficiente de variación y en algunos casos la independencia de residuales.

Cuadro 2. Parámetros estimados de regresión para la predicción de la fitomasa aérea en pie a partir del volumen, bajo el modelo lineal para todas las especies.

Especie	n	a	b	R ²	EEE	CV %	CONF. %	D-W
Bogr-Bocu-Ryre	100	0.9312	0.0051	0.87	0.830	31.46	99.76	1.716
Chvi	30	0.5220	0.0128	0.95	0.798	22.32	99.99	1.939
Elba	20	2.0835	0.0047	0.90	2.387	23.70	99.99	2.240
Trse	20	1.1618	0.0077	0.93	4.495	25.98	99.90	1.284

R²: coeficiente de determinación

EEE: error estándar de la estimación

CV: coeficiente de variación

Conf: niveles de confianza o significación

D-W: prueba de Durbin-Watson

Utilización

Se encontraron valores en el grado de utilización al integrar: potrero, período y distancia, con rangos que van desde -18.79 hasta 83.21 % de utilización. El porcentaje de valores negativos de utilización, con respecto al total de muestras evaluadas, fue de 1.92 %; con valores de 0, 6.70 % y con valores positivos 91.38 %. Esta variabilidad de los zacates, aporte de hojarasca, mantilla, cobertura vegetal, hábitat para microorganismos y mantenimiento del sitio, es deseable en pastizales, puesto que permite diversidad en la estructura por edades, lo que es fundamental para el buen funcionamiento del ecosistema (Reynaga, 1995).

Los mayores valores de utilización se encontraron para todos los potreros, en el período de octubre (Cuadro 3), siendo más alto en el potrero con 4 días de ocupación, a

finales de octubre (B3P2), mientras que los valores más bajos corresponden al B1P5 con 8.6 %, y el B2P4 con 6.17 % de utilización en la época seca (enero y febrero). Esto indica que la época ejerce influencia sobre el grado de utilización, en este trabajo, la utilización es mayor en la época de crecimiento, que en la época seca, lo que contradice a González (1997) quien encontró un mayor grado de utilización en el invierno que en el verano.

Cuadro 3. Porcentaje de utilización en cada potrero y período para todas las especies.

Potrero y período	Días de ocupación	Período	Promedio de utilización (%)
B1P1	2	4-6 Ago.	41.19 def
B1P2	2	13-15 Sep.	34.29 cde
B1P3	2	25-27 Oct.	43.21 ef
B1P4	2	8-10 Dic.	21.02 b
B1P5	2	24-26 Ene.	8.60 a
B2P1	3	6-9 Ago.	32.97 cd
B2P2	3	3-6 Oct.	43.90 ef
B2P3	3	8-11 Dic	29.03 bc
B2P4	3	6-9 Feb.	6.17 a
B3P1	4	9-13 Ago.	40.34 def
B3P2	4	27-31 Oct	48.82 f
B3P3	4	26-30 Ene.	20.63 b

Literales diferentes indican diferencias significativas. Tukey ($p \leq 0.05$)

En el Cuadro 3, también se observa como el porcentaje de utilización no es proporcional al número de días de ocupación, en ninguna época del año. Los resultados del mes de agosto indican que los potreros con 3 y 4 días de ocupación, tuvieron un 80 y 98 % de utilización respectivamente, en relación al potrero con 2 días de ocupación, mientras

que en la época seca (enero y febrero), hay un incremento de 2.39 veces entre 1 y 3 días de ocupación, pero no se observa incremento entre 1 y 2 días de ocupación. Esto indica que conforme progresan los días de estancia en el potrero, los animales reducen el consumo, resultados que concuerdan con lo obtenido por Olson *et al.* (1989) y Walker y Heitschmidth (1989), quienes encontraron que la calidad de la dieta declina significativamente durante los primeros 2 a 3 días del período de apacentamiento, y la tasa de ingestión decrece con la disponibilidad de forraje.

El Cuadro 4 muestra el grado de utilización, que tampoco es uniforme para todas las especies en los diferentes potreros, y períodos de ocupación, esto indica que los animales mostraron preferencia por alguna especie, e incluso se observó, que hay preferencia hacia algunas partes de la planta en ciertas épocas del año, lo cual coincide con Savory (1988), quien menciona que los animales en pastoreo seleccionan diferentes plantas y partes de las plantas en ciertas épocas del año.

En el mes de agosto, en el B1P1, *B. gracilis* es utilizado en un 49.24 %, esto es, aproximadamente 1.27 veces mas que *B. curtispindula*, *R. repens* y *C. virgata*; en el B2P1, *B. curtispindula* que es la mas utilizada, es 1.23 veces superior a *R. repens*, que es la de más bajos valores. En el B3P1, *C. virgata* es superior 1.32 veces con respecto a *B. gracilis* que es la especie menos utilizada.

En el mes de octubre, en el B1P3, *T. secundus* es 2.41 veces mas pesado que *R. repens*; en el B2P2 *C. virgata* fue 1.57 veces superior que *R. repens*; en el B3P2, *B. curtispindula* es superior a *R. repens* 1.32 veces.

Cuadro 4. Porcentaje de utilización por potrero y período para cada especie.

Potrero y período	Bogr	Bocu	Rygr	Chvi	Elba	Trse
B1P1	49.24 a	38.17 a	38.56 a	38.81 a		
B1P2	39.50 ab	25.16 a	25.32 a	47.18 b		
B1P3	45.77 bc	49.26 c	23.96 a	28.84 ab	53.65 c	57.77 c
B1P4	16.36 a	14.96 a	12.73 a		22.22 a	38.83 b
B1P5	9.69 a	7.29 a	2.84 a		9.58 a	17.61 a
B2P1	33.05 a	35.37 a	28.71 a	34.75 a		
B2P2	41.22 ab	47.14 ab	33.94 a	53.32 b		
B2P3	13.85 a	24.24 ab	28.58ab	18.80 ab	33.41 b	55.33 c
B2P4	6.08 a	8.11 a	2.46 a		6.84 a	7.39 a
B3P1	34.45 a	41.35 a	40.18 a	45.72 a		
B3P2	52.11 a	55.46 a	41.98 a	45.72 a		
B3P3	19.24 ab	14.01 a	12.10 a		20.18 ab	37.65 b

Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas Tukey ($p \leq 0.05$)

Estos resultados sugieren que el manejo del pastizal, deberá hacerse en base al período de crecimiento de las especies clave, y no sobre las especies que se consideren clave de manera fija a rígida, desde cierto punto de vista, las más deseables para un determinado momento, a este respecto, Voisin (1962) encontró que la época del año, la fecha en que el potrero es ocupado, y la frecuencia de apacentamiento, tienen una gran influencia sobre la composición futura de un pastizal, el número de cortes anuales puede favorecer o perjudicar algunas especies, cuyo ritmo de crecimiento es muy diferente, según las estaciones del año.

Período de Recuperación

Los valores de los incrementos en proporción para todas las especies, al integrar potrero, período o distancia, mostraran rangos de 0.42 a 7.81; los incrementos negativos corresponden a plantas que fueron encontradas comidas por animales silvestres, quemadas las puntas de las hojas por las heladas, entre otros.

Los resultados para todas las especies, y por especie, muestran que los mayores incrementos se encuentran en la época de mayor crecimiento, y conforme la época del año avanza, los incrementos se van reduciendo (Cuadro 5).

El mismo cuadro 5 muestra que el período de recuperación de 38 días (B1P1), es ligeramente mayor que el B2P1, y que el B3P1, con 1.14 y 1.16 veces más, cuando éstos últimos tienen 14 y 37 días más de recuperación, respectivamente. De acuerdo a estos resultados, se infiere que la tasa máxima de acumulación de forraje se logra en un período de 38 días de recuperación o antes, para todas las especies clave y en todos los períodos de recuperación. Sin embargo, Voisin (1994) encontró que existe un efecto acumulativo de los tiempos demasiado cortos de recuperación, es decir, el pastizal se encontró muy agotado al final de la temporada de crecimiento. Todo esto indica que la decisión del momento para meter los animales al potrero, no depende sólo de los incrementos en la masa del forraje, sino además, de criterios como la producción de semilla en cantidad y calidad, cobertura vegetal sobre el suelo, proporción de especies en el pastizal y otras.

Cuadro 5. Incremento en proporción en cada potrero y período para todas las especies.

Potrero y período	Días de recuperación	Período	Incremento en proporción
B1P1	38	6 Ago.-13 Sep.	2.76d
B1P2	40	15 Sep.-25 Oct.	1.63 c
B1P3	41	27 Oct.-8 Dic.	1.53 bc
B1P4	45	10 Dic.-24 Ene.	1.11 ab
B2P1	55	9 Ago. -3 Oct.	2.42 d
B2P2	63	6 Oct. -8 Dic.	1.09 a
B2P3	57	11 Dic. -6 Feb.	1.04 a
B3P1	75	13 Ago. -27 Oct.	2.37 d
B3P2	85	31 Oct. -24 Ene.	1.28 abc

Literales diferentes indican diferencias significativas. Tukey ($p \leq 0.05$)

Por otro lado, se observó que los incrementos en proporción son menores, cuando los tiempos de ocupación son de 3 ó 4 días, con relación a los de 2 días, la que sugiere que el período de recuperación no es suficiente cuando se incrementan los días de ocupación en los potreros.

Se encontraron diferencias en los incrementos en todas las especies en los diferentes potreros y períodos de recuperación (Cuadro 6). En todos los casos, *C. Virgata*, fue la especie que más se incrementó durante la época de crecimiento.

Respecto a los potreros ocupados en agosto, en el B1P1 *C. virgata* incrementó su peso 2.12 veces más que *B. curtipendula*; en el B2P1 *C. virgata* fue 1.63 veces mayor que *B. curtipendula*; en el B3P1 *C. virgata* es superior 1.48 veces que *B. gracilis*. En los potreros ocupadas en el mes de octubre, en el B1P3, *E. barbiculmis* fue 1.69 veces

superior a *R. repens*; en el B2P2, *B. curtispindula* y *R. repens* son superiores a *C. virgata* 1.22 veces su peso, y en el B3P2, *T. secundus* es superior con relación a *R. repens* 1.46 veces.

Cuadro 6. Incremento en proporción por potrero y período para cada especie

Potrero y período	Bogr	Bocu	Ryre	Chvi	Elba	Trse
B1P1	2.82 a	1.97a	2.07a	4.19b		
B1P2	1.51 a	1.78 a	1.41a	1.81a		
B1P3	1.30 a	1.48 a	1.14a		1.93a	1.81a
B1P4	1.06 a	1.16 a	1.04a		1.09a	1.19 a
B2P1	2.05 a	2.05 a	2.25a	3.34b		
B2P2	1.02 a	1.19 a	1.19a	0.97a		
B2P3	1.00 a	1.11 a	0.97a		1.09a	1.06 a
B3P1	2.06 a	2.25a	2.16a	3.05b		
B3P2	1.22 a	1.15a	1.11a		1.27b	1.63 b

Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas Tukey ($p \leq 0.05$)

Los resultados obtenidos indican que las diferencias en la respuesta del pastizal en los potreros, están dadas por la época del año y las fechas específicas en que los potreros fueron ocupados, por el arreglo en el número de días de ocupación, y días de recuperación, en cada período, y no por el número de días totales acumulados, en que los potreros son usados en el año.

Comportamiento Animal

Se encontró diferencia entre potreros, en cuanto al tiempo dedicado al apacentamiento, en la misma época del año. En agosto el porcentaje de tiempo apacentando en relación al tiempo total observado, es mayor en el B1, que en los B2, y B3 (Cuadro 7). En octubre este tiempo de apacentamiento es similar entre el potrero B1 y B3, pero menor en el B2, en relación a los anteriores (Cuadro 8). Estas diferencias en el tiempo de apacentamiento entre potreros en el mes de agosto, contradice la afirmación de que la reducción en el forraje disponible, resulta en aumentos en el tiempo de apacentamiento, debido a que menos forraje es consumido en cada bocado (Arnold y Dudzinsky, 1978).

Se encontró también que el tiempo de apacentamiento disminuye conforme progresan las días de ocupación en el período de agosto (Cuadro 7), y en octubre, esta tendencia se repite en el potrero B1, mientras que en el B2 y B3, esto se modifica, debido probablemente, a que el tiempo de observación en algunos días, se hizo solamente durante ciertos períodos del día (Cuadro 8). Estos resultados coinciden con lo reportado por González (1997), quien encontró en el invierno, mayor tiempo de apacentamiento en el primer día, en relación con el tercero y quinto, sin embargo, en el verano encontró en el tercer día mayor tiempo de apacentamiento, en relación al primero y al quinto. La respuesta de comportamiento animal a cambios en el forraje disponible en potreros con diferentes días de ocupación, podría estar afectada por el sistema de manejo; Jamieson y Hadgson (1979) y Baker *et al.* (1981) encontraron que el tiempo de apacentamiento, decrece en respuesta a bajos niveles de disponibilidad de forraje bajo pastoreo rotacional, o por un comportamiento condicionado al cambio de potrero. En este trabajo, el tiempo de apacentamiento se

incrementó en el primer día de ocupación, debido probablemente a la actividad exploratoria en el nuevo potrero, siendo ésta mas notable en el primer día del potrero B1 para las dos épocas del año (Cuadros 7 y 8); esta información coincide con lo obtenido por Walker y Heitschmidh (1989), quienes encontraron que los animales apacentaron mas el primero que el tercer día de ocupación, en los meses de agosto y octubre. Por su parte, Penning *et al.* (1994), encontraron que las tasas de consumo en el primer día de ocupación, son dependientes de la historia previa del animal, es decir, de los días de ocupación y cantidad de forraje en el potrero de procedencia.

Cuadro 7. Tiempo acumulado por día (en minutos) y porcentaje del tiempo total observado para cada actividad en cada potrero y período en agosto.

Potrero Período	Actividad	Día 1		Día 2		Día 3		Día 4		Total	
		min	%	min	%	min	%	min	%	min	%
B1P1 Agosto	Apacentar	392.5	68.86	216.4	30.09	608.9	47.24				
	Buscar	26.5	4.65	25.7	3.57		52.15	4.04			
	Rumiar	91.0	15.96	149.0	20.72		240.0	18.63			
	Descansar	60.0	10.53	276.0	38.39	336.0	26.06				
B2P1 Agosto	Apacentar	231.4	41.62	192.9	26.79	63.2	8.97	487.5	24.61		
	Buscar	13.6	2.44	7.1	0.99	14.8	2.10	35.5	1.79		
	Rumiar	138.0	24.82	160.0	22.22	193.0	27.38			491.0	24.79
	Descansar	119.0	21.40	334.0	46.39	340.0	48.22	793.0	40.03		
B3P1 Agosto	Apacentar	290.8	51.46	208.3	29.03	188.7	26.25	128.9	17.95	816.7	30.02
	Buscar	10.2	1.81	13.6	1.90	16.3	2.27	36.1	5.02	76.3	2.82
	Rumiar	89.0	15.75	119.0	16.57	179.0	24.89	125.0	17.40	512.0	18.82
	Descansar	175.0	30.98	301.0	41.92	302.0	42.00	420.0	58.49	1198	44.04

Respecto a la proporción entre apacentamiento y búsqueda por potrero, se encontró que en el potrero B2, el animal dedica menos tiempo a la búsqueda, en relación con el tiempo de apacentamiento, por cada unidad de tiempo de búsqueda, el animal

apacienta 13.73 veces en el mes de agosto, mientras que en octubre, la proporción es de 1:27.24; se encontró también, que el animal, dedica menos tiempo a la búsqueda, con relación al tiempo de apacentamiento en el mes de octubre, que en el de agosto.

Cuadro 8. Tiempo acumulado por día (en minutos) y porcentaje del tiempo total observado, para cada actividad, en cada potrero y período, en octubre.

Potrero Período	Actividad	Día 1		Día 2		Día 3		Día 4		Total	
		min	%	min	%	min	%	min	%	min	%
B1P1	Apacentar	269.4	48.72	210.3	29.21					479.7	37.69
Octubre	Buscar	16.6	2.99	21.7	3.02					38.3	3.0
	Rumiar	96.0	17.36	169.0	23.47					265.0	20.82
	Descansar	156.0	28.21	283.0	39.30					439.0	34.49
B2 P1	Apacentar	197.0	36.48	138.5	24.30	180.7	33.53			512.2	31.06
Octubre	Busca			8.5	1.49	6.3	1.16			18.8	1.14
	Rumiar	103.0	19.07	144.0	25.26	65.0	12.06			312.0	18.92
	Descansar	209.0	38.70	247.0	43.33	262.0	48.61			718.0	43.54
	Caminar	31.0	5.75	32.0	5.62	25.0	4.64			88.0	5.34
	Defecar	3		2		5				10	
B3P1	Apacentar	241.5	71.88	68.0	28.33	260.7	36.41	168.8	23.87	740.2	37.03
Octubre	Buscar	14.5	4.31			17.3	2.42	28.2	3.99	58.8	2.94
	Rumiar	45.0	13.39	76.0	31.67	94.0	13.13	128.0	18.10	343.0	17.16
	Descansar	35.0	10.42	96.0	40.00	322.0	44.97	340.0	48.09	793.0	39.67

Los resultados muestran las menores proporciones entre apacentamiento y rumia, para el potrero con tres días de ocupación en los dos períodos del año, sin embargo, conforme avanzan los días de ocupación, el animal dedica menos tiempo al apacentamiento en relación al tiempo de rumia; esto coincide con González (1997), quien encontró reducción en la proporción apacentamiento – rumia, en verano e invierno, conforme transcurren los días de ocupación; Stuth (1991) menciona que los animales reducen el tiempo de pastoreo, en la medida en que la digestibilidad del forraje se reduce, y se incrementa el tiempo de

retención del alimento.

El tiempo dedicado al descanso por día de ocupación, en porcentaje del tiempo total observado, se incrementa conforme avanzan los días de ocupación en los tres potreros, para las dos épocas del año, lo que sugiere que los animales sacrifican tiempo, que pudiera ser dedicado al apacentamiento, probablemente, por esperar el cambio de potrero; esto contradice a Kropp *et al.* (1973) y Gutiérrez (1986), quienes encontraron en pastoreo continuo, que los períodos de descanso se presentan por períodos que no son requeridos para la rumia, o el apacentamiento. El tiempo dedicado a caminar se presentó, la mayoría de las veces, para ir a beber, o trasladarse a descansar, rumiar, o apacentar en un lugar determinado.

Los resultados de este trabajo indican un incremento en el tiempo que los animales permanecen en la Distancia 1, y en el centro de los potreros, conforme avanzan los días de ocupación, este comportamiento puede ser atribuido a una disminución en la disponibilidad de forraje, ya que a partir del tercer día de ocupación, los animales se encontraron desde la mañana en el centro y la Distancia 1, lo que coincide con González (1997), quien encontró que el tiempo de estancia en el aguaje fue mayor el quinto día de ocupación, que el tercero y el primero.

CONCLUSIONES

Se encontró evidencia de que existen individuos en todas las especies con pesos por arriba del límite superior del análisis de medias, lo que indica que hay potencial genético,

y condiciones físicas, químicas, y biológicas del suelo, y micro-ambientales, que permiten el desarrollo de plantas con atributos muy por arriba del promedio.

A través del análisis dimensional fue posible generar modelos de tipo lineal para predecir el peso de las especies en estudio. Con estos modelos, es posible estimar la utilización y el incremento en producción en estas especies.

El mayor porcentaje de utilización en proporción con el tiempo de ocupación, se tuvo en el potrero con 2 días de ocupación en el período de verano. En el período invernal se observó un incremento de 2.36 veces el porcentaje de utilización, entre 1 y 4 días de ocupación, mientras que entre 2 y 3 días de ocupación, se observa una ligera reducción. En el verano la utilización fue mayor que en el invierno, lo que indica que la utilización es de mayor a mayor disponibilidad, y calidad de forraje.

Los incrementos fueron mayores en el período de crecimiento, y conforme la época del año avanza, éstos se reducen. Los incrementos en todas las épocas del año son mayores para el período de recuperación de 38 días, por lo que se infiere, que con períodos de ocupación de 3 y 4 días, el pastizal no se recupera totalmente para el siguiente período de ocupación.

El tiempo de búsqueda en relación al tiempo de apacentamiento, se incrementa conforme progresan los días de ocupación en los potreros, sin embargo, el potrero que muestra los más altos valores en tiempo de búsqueda, en relación con el tiempo de apacentamiento, es el de 3 días de ocupación. El tiempo de apacentamiento se reduce, conforme avanzan los días de ocupación.

Las menores proporciones entre apacentamiento y rumia, se observaron en el

potrero con 3 días de ocupación en los dos períodos del año, sin embargo, conforme avanzan los días de ocupación, las animales dedican menos tiempo al apacentamiento, con relación al tiempo de rumia.

El tiempo dedicado al descanso se incrementa, conforme avanzan los días de ocupación en los 3 potreros para las dos períodos del año, asimismo, el tiempo que los animales permanecen en la distancia 1, y en el centro de los potreros, aumenta a medida que progresan los días de ocupación.

El grado de utilización de las especies, el incremento en producción en los períodos de recuperación, y el comportamiento de los animales en apacentamiento, constituyen una herramienta muy valiosa para tomar la decisión de mover las animales de un potrero a otro, sin embargo, es conveniente hacer evaluaciones periódicas del pastizal, en cada uno de los potreros, para conocer sus tendencias, y de esta forma, poder hacer los ajustes necesarios.

LITERATURA CITADA

- Arnold, G.W., and M.L. Dudzinski. 1978. Ethology of free-ranging domestic animals. Vol 2. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam. 197 p.
- Avila M., P. 1990. Análisis dimensional de la fitomasa aérea en pie en nopal (*Opuntia* spp.) en el sureste de Coahuila. Tesis. Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah. México. 56 p.
- Baker, R.D., Y.L.P Le Du, and F. Alvarez 1981. The herbage intake and performance of set-stocked sucker cow and calves. Grass and Forage Sci. 36 (3):201-210. Great Britain.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1978. Tuitán. Carta de uso del

suelo. G13 D83. Esc. 1:250,000. Color: varios. Secretaría de Programación y Presupuesto (S.P.P). México. lh.

González L.J.E. 1997. Determinación del tiempo óptimo de ocupación de potreros bajo el sistema de corta duración. Tesis. Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 94 p.

Gutiérrez, B.F.M. 1986. Descripción del patrón del apacentamiento diurno en bovinos con observaciones continuas en un pastizal del Sur de Coahuila. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 97 p.

Jamieson, W.S., and J. Hodgson. 1979. The effect of variation in sward characteristics upon the ingestive behaviour and herbage intake of calves and lambs under a continuous stocking management. *Grass and Forage Sci.* 34(4):273-282. Great Britain.

Johnson, P.S., C.L. Johnson, and N. E. West. 1988. Estimation of phytomass for undergrazed crested wheatgrass plants using allometric equations. *J. Range Manage.* 41 (5):421 -425.

Kropp, J.R., J.W. Holloway, D.F. Stephens, L. Knori, R.D. Marrison, and R. Totusek. 1973. Range behavior of Hereford, Hereford x Holstein and Holstein non lactating heifers. *J. Anim. Sci.* 36(4):797-802.

Meza, S. R. 1993. Uso del análisis dimensional para la estimación de los componentes de la fitomasa aérea de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Tesis Maestría. UAAAN. Saltillo, Coah. México, p. 80.

Olson, K.C. G.B. Rouse, and J.C. Malecheck. 1989. Cattle nutrition and grazing behavior

- during short-duration grazing periods in Crested Wheatgrass range. *J. Range Manage.* 42(2):153-157.
- Penning, P.D., A.J. Parsons, R.J. Orr, and G.E. Hopper. 1994. Intake and behaviour responses by sheep to changes in sward characteristics under rotational grazing. *Grass and Forage Sci.* 49(4):476-486. Great Britain.
- Reynaga, V.J. R. 1995. Transformación ecológica de pastizales, en: Medina T.J.G., M.J. Ayala O., L. Pérez R. y J. Gutiérrez C. 1995. Rehabilitación de ecosistemas de pastizal. Conceptos y aplicaciones, SOMMAP - UAAAN. Saltillo, Coah. México. 151 p.
- Savory, A. 1988. *Holistic Resource Management*. Island Press. United States of America. 564 p.
- Stuth, J.W. 1991. Foraging Behavior. In: Heitschmidt R.K. y J.W. Stuth. *Grazing management. an ecological perspective*. Timber Press. Portland, Oregon. United States of America. 259 p.
- Voisin, A. 1962. *Dinámica de los pastos*. Tecnos. Madrid, España. 452 p.
- _____ 1994. *Productividad de la hierba*. 2 Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 499 p.
- Walker, J.W., and R.K. Heitschmidt. 1989. Some effects of a rotational grazing treatment on cattle grazing behavior. *J. Range Manage.* 42(4):337-342.

RELACIÓN DE LAS UNIDADES CALOR (UC) ACUMULADAS CON EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DEL FORRAJE

Efraín Staff Sánchez
Heriberto Díaz Solís
Luis Lauro De León González
Reginaldo De Luna Villarreal
Víctor Manuel Zamora Villa

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

RESUMEN

La producción de forraje representa una actividad de primer orden para la ganadería, y es influida por aspectos climáticos, fisiológicos y de manejo, esta dinámica actividad requiere de estudio y atención, para aprovechar mejor este recurso. Para el estudio se evaluaron cuatro especies forrajeras, y tres frecuencias de corte (alta media y baja), durante un año, y se analizaron en diseño de arreglo factorial 4 x 3, y se observó que el rendimiento de materia seca es dependiente de las Uc acumuladas, encontrándose una fuerte relación entre estas variables; sobre todo en las especies alfalfa y buffel, y en menor grado en las gramíneas C₃. La digestibilidad, proteína cruda, y valor relativo del alimento, están positivamente relacionados entre ellos, y negativamente, con el rendimiento de materia seca y las Uc, las que se relacionan positivamente entre ellas. Las especies en las diferentes estaciones pueden presentar diferentes contenidos de fibras, relacionados al incremento en Uc acumuladas, las que aumentan la producción de forraje, pero disminuyen la calidad del mismo. La proteína cruda y digestibilidad, alcanzaron su mejor valor entre 780 a 900 Uc en alfalfa, en buffel lo hace cerca de las 1000 Uc, en festuca y orchard, los mejores valores de estas variables se obtuvieron con 900 Uc aproximadamente.

Palabras clave: unidades calor acumuladas, rendimiento de forraje, valor nutritivo del forraje.

ABSTRACT

The forage production represents a first order activity for the cattle ranch, and it is influenced by climatic, physiological and handling aspects, this dynamic activity requires of study and attention, to take a better advantage of it. For this assay four forage species, and three cutting frequencies (high, middle, and low), were evaluated during a year, and analyzed in a 4 x 3 factorial design arrangement, and it was observed that the dry matter yield depends on the accumulated Uc (heat units), being a strong relation between these variables; namely in the alfalfa and buffel species and, in a smaller degree, in the C₃ grass. The digestibility, raw protein, and relative value of the feed, are positively related among them, and negatively, with the yield of dry matter and the Uc, that are positively related among them. The species in the different stations can show different fiber contents, as related to the increase of accumulated Uc, that increase the production of forage, but diminish its quality. The raw protein and digestibility, reached their best value from 780 - 900 Uc in alfalfa, in buffel its best is near the 1000 Uc, in festuca and orchard, the best values for these variables was obtained approximately at 900 Uc.

Key words: accumulated heat units, yield forage, forage nutritive values.

INTRODUCCIÓN

Los cambios en las condiciones ambientales producen variaciones en la producción

de forrajes, y su calidad, debido a que influyen en diferentes partes de la planta, las diferencias en temperatura y fotoperíodo, promueven la formación de diferentes órganos (hojas, tallos e inflorescencias), Navarro, 1995. Este comportamiento está en función de las características fisiológicas, lo que hace que las plantas de zonas templadas C_3 , tengan su mayor producción de forraje y valor nutritivo en un rango de temperaturas menores que las especies C_4 , las que son propias de climas tropicales, subtropicales y zonas semiáridas, caracterizadas por altas temperaturas (Valdés y Fernández, 1991). Debido a lo antes expuesto, este trabajo buscó estudiar el efecto de las U_c con el patrón de producción y valor nutritivo del forraje.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en El Bajío, en el Campus Saltillo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), durante los meses de junio de 1999 a septiembre de 2000. Ubicada en el municipio de Saltillo, Estado de Coahuila, dentro de los $101^{\circ} 01'$ longitud oeste, y los $25^{\circ} 32'$ de latitud norte, con una altitud de 1789 m (Gutiérrez, 1991)

El clima es seco o árido (García, 1988), con fórmula $BS_0.kx'(e)$, lo que indica que tiene un cociente de precipitación, con una temperatura inferior a $22.9^{\circ} C$, templado, de verano cálido, con lluvias durante todo el año y extremoso. La precipitación media anual es de 418.17 mm; para el período de estudio registró una media de 330.6 mm; la temperatura va de $-10.2^{\circ} C$ en invierno, hasta $37^{\circ} C$ en verano (D.A. UAAAN, 2000)

El experimento se estableció a mediados de junio, los tratamientos fueron cuatro especies: tres gramíneas (buffel C_4 , festuca y orchard C_3), y una leguminosa (alfalfa); y tres frecuencias de corte 21-28, 28-35, y 35-42 días, obteniéndose un total de 12 tratamientos. Para la siembra se usó material vegetativo obtenido de praderas en las gramíneas C_3 , y en Buffel se utilizaron plantas de las orillas de carreteras, y la alfalfa se estableció por semilla gámica variedad El Camino, con densidad de siembra de 50 kg ha^{-1} al voleo. Se dieron tres meses para que se establecieran y desarrollaran las plantas, y el 8 de octubre se procedió al corte de las parcelas para iniciar la evaluación. Se fertilizó con la fórmula 18-46-00 antes de la siembra, durante la preparación del terreno, y luego, se aplicó una fuente nitrogenada (urea al 46 %), a las 3 gramíneas, a una dosis de $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ después de cada corte. Se aplicaron riegos de auxilio por gravedad, en los períodos en que las lluvias no suplían las necesidades de humedad.

Se analizó como un experimento factorial (4×3), en bloques al azar con 4 repeticiones, con el objetivo de comparar las especies forrajeras (factor A), y frecuencias de corte (Factor B), dentro de cada estación, para evaluar el efecto de las especies y frecuencias de corte. El tamaño de la unidad experimental fue de 3 m^2 y constó de 48 unidades.

Los muestreos se realizaron desde el 29 de octubre de 1999 hasta el 15 de septiembre de 2000, en las 3 frecuencias de corte antes descritas. Para éstos se utilizó un círculo de 50 cm de diámetro (0.20 m^2), y se cortó a unos 5 cm de altura sobre el suelo, obteniendo dos muestras por cada parcela, por muestreo; las que se destinaron a medir la producción de materia seca, se secaron en un horno de aire forzado, a una temperatura de

70°C por 3 días, para obtener el peso constante de las muestras y determinar el porcentaje de materia seca en las mismas, producción de materia seca en kg ha^{-1} , relación hoja tallo, así como el valor nutritivo. Posteriormente, se cortó toda la unidad experimental. En el análisis bromatológico se utilizó el método espectroscopia de reflectancia cercana al infrarrojo (NIRS), éste se basa en las longitudes de onda que presentan los enlaces químicos de los átomos de los componentes (Shenk y Westerhaus, 1994), para obtener los parámetros proteína cruda (PC), fibra ácido y neutro detergente (FDA y FDN).

Con las temperaturas medias se calcularon las U_c acumuladas (U_c), por el método residual $U_c = (TM - PC)$. Donde $U_c = U_c$ para un día, $TM = \text{temperatura media} = (T_{\text{máxima}} + T_{\text{mínima}})/\text{dos}$. $PC = \text{punto crítico o temperatura base}$ (Torres, 1983). El punto crítico utilizado para calcular las U_c fue 7°C para alfalfa, 12°C para buffel, y 5°C para festuca y orchard. El efecto de las U_c sobre el rendimiento, se analizaron mediante regresión en cada frecuencia de corte, y durante todo el período; y la relación con las variables de valor nutritivo, se hicieron mediante la técnica de componentes principales, las cuales se aplican cuando se desea conocer la relación entre los elementos de una población, y se sospeche que en dicha relación, influye de manera desconocida un conjunto de variables, o propiedades de los elementos (Pla, 1986). Ambos análisis se realizaron con el paquete Statistica 99, versión 6.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre Uc y rendimiento de forraje

En el Cuadro 1 se aprecia que durante todo el período de estudio, la alfalfa presentó un coeficiente de correlación $r = 0.88$, siendo altamente significativo, con una ecuación de predicción $Y = -1435.64 + 9.8993X$, (1).

Cuadro 1. Resumen de los análisis de regresión entre Uc acumuladas y rendimiento de materia seca en kg ha⁻¹ por corte en cada frecuencia y especie.

Especie y fc	N	B ₀	B ₁	r	InterX
Alfalfa Gral.	34	-1436.00	9.90	0.88**	100 Uc
Alfalfa 21-28	14	-949.22	8.98	0.82**	50 Uc
Alfalfa 28-35	11	-1564.73	10.20	0.87**	110 Uc
Alfalfa 35-42	9	-2932.40	12.66	0.96**	195 Uc
Buffel Gral.	34	-83.58	9.58	0.84**	-40 Uc
Buffel 21-28	14	-65.66	10.25	0.80**	-125 Uc
Buffel 28-35	11	-151.62	9.72	0.85**	-100 Uc
Buffel 35-42	9	-197.62	9.50	0.87**	-30 Uc
Festuca Gral.	34	-659.13	5.48	0.70**	30 Uc
Festuca 21-28	14	-390.73	5.33	0.62*	50 Uc
Festuca 28-35	11	-936.69	6.18	0.69*	40 Uc
Festuca 35-42	9	-2044.02	7.54	0.88**	210 Uc
Orchard Gral.	34	-871.17	6.81	0.69**	-16 Uc
Orchard 21-28	14	-542.31	5.65	0.63*	10 Uc
Orchard 28-35	11	-293.01	5.49	0.62*	-80 Uc
Orchard 35-42	9	-1923.97	8.96	0.69*	110 Uc

N= número de datos, Bo= intercepto, B1= coef. de regresión, r= coef. de correlación, Inter. en X= valor de Y cuando X=0.

Así mismo, en la frecuencia de corte alta (21-28 días), media (28-35 días) y baja (35-42 días), sus coeficientes de correlación ($r=0.82$, $r=0.87$ y $r=0.96$, respectivamente), fueron altamente significativos. Lo que indicó que existe una fuerte relación entre las Uc acumuladas y la producción de materia seca para este cultivo, siendo de mayor magnitud en la frecuencia de corte baja, con una ecuación de predicción de: $Y = -2932.4 + 12.66X$, indicando que conforme se alarga el período de corte, la producción es mayor.

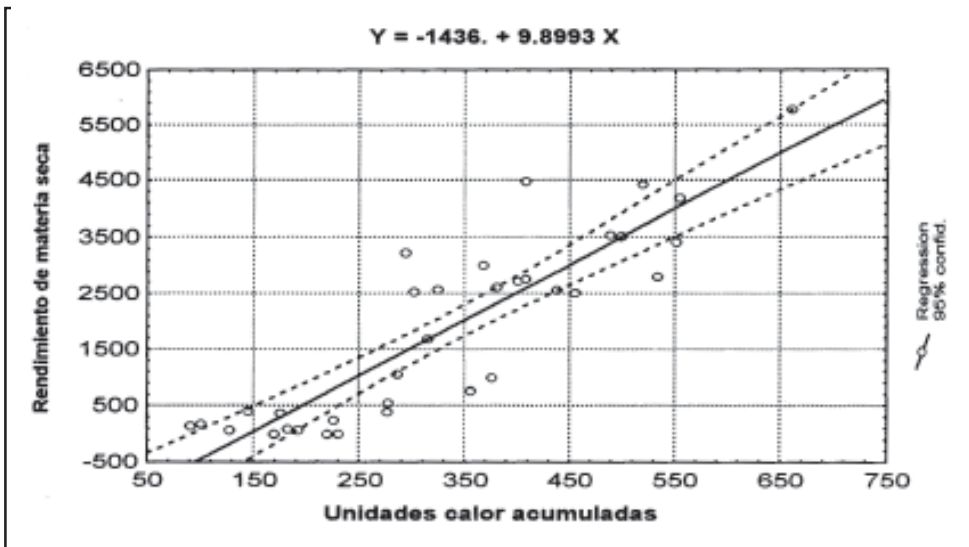


Figura 1. Regresión lineal para la especie alfalfa incluyendo las tres frecuencias de corte.

Buffel mantuvo un patrón similar al de alfalfa, con aumento en los coeficientes de correlación conforme se incrementaron las frecuencias de corte, con valores de 0.84, 0.80, 0.85 y 0.87, para el análisis general y las frecuencias de corte alta, media y baja

respectivamente, con alta significancia en los cuatro casos, lo que indicó, que las Uc acumuladas, y la producción de forraje, mantienen una relación positiva; sin embargo, presenta coeficientes de correlación e interceptos más bajos que la alfalfa, como se aprecia en la Figura 2. Lo que indicó que alfalfa fue más productora de materia seca que Buffel.

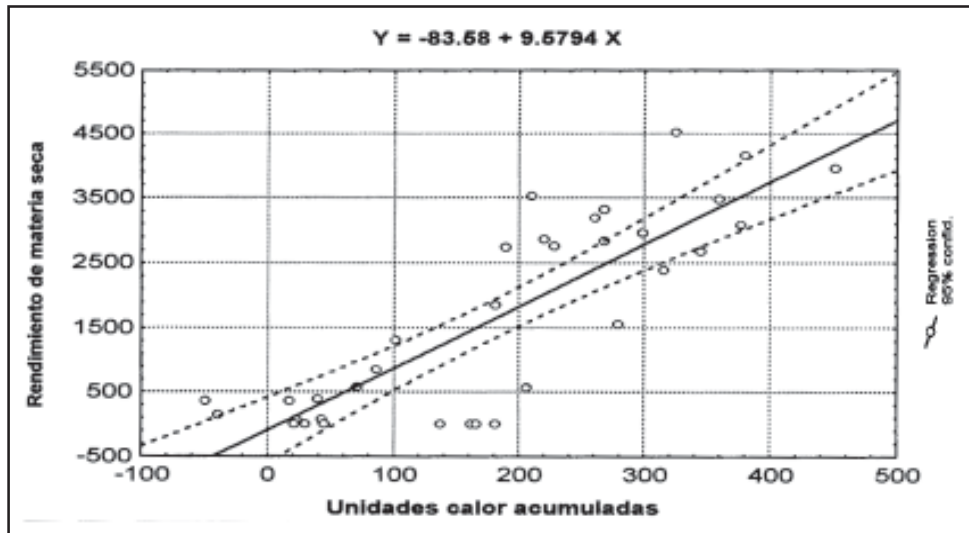


Figura 2. Relación lineal para el Buffel incluyendo las tres frecuencias de corte.

La festuca y orchard presentaron el mismo patrón, seguido por las dos especies anteriores, sólo que con valores más bajos, y muy similares entre ambas, y estos fueron: coeficiente de correlación de 0.70, 0.62, 0.69 y 0.89 para la festuca, y 0.69, 0.64, 0.62 y 0.69 para orchard, y fueron significativas; con la excepción de las regresiones generales, y en la frecuencia de corte baja para festuca, que resultaron altamente significativas, indicando que estas especies son influidas en menor grado, por las Uc acumuladas (s 3 y 4,

respectivamente) . Los coeficientes de correlación bajos, en festuca y orchard, están relacionados probablemente a su menor umbral superior de temperaturas, lo que hace que con incrementos de temperatura por arriba de 25° C, estas detengan su crecimiento.

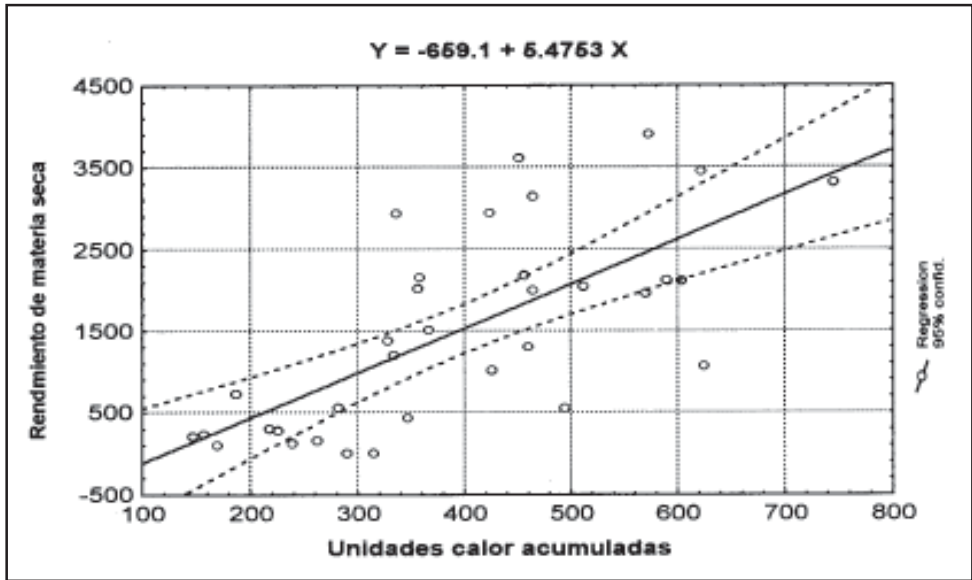


Figura 3. Relación lineal para festuca incluyendo las tres frecuencias de corte.

El análisis por estaciones para alfalfa, por lo menos en verano, y en invierno para orchard, confirmó la relación positiva entre rendimiento de forraje, y U_c acumuladas.

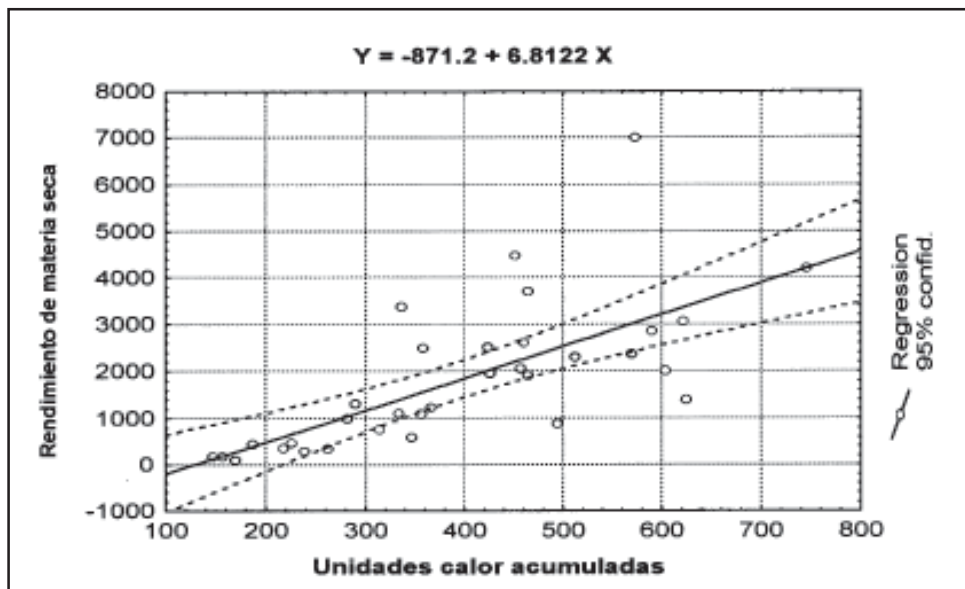


Figura 4. Relación lineal para orchard incluyendo las tres frecuencias de corte.

Relación entre Uc y valor nutritivo

Dado que la regresión lineal no explicó adecuadamente el efecto de las Uc sobre los parámetros de proteína cruda y digestibilidad, en todas las especies, se trabajó con modelos polinomiales, los cuales reportaron que alfalfa mostró una respuesta de grado 3 en el contenido de proteína cruda, tal como se aprecia en la Figura 5, mostrando una relación ascendente, hasta llegar a las 780 Uc, después de las cuales declinó su contenido en la materia seca. Lo que indicó que la alfalfa con un incremento en Uc arriba de 900, disminuye su porcentaje de proteína en la materia seca.

Para la digestibilidad la respuesta fue del mismo orden, con la diferencia que su

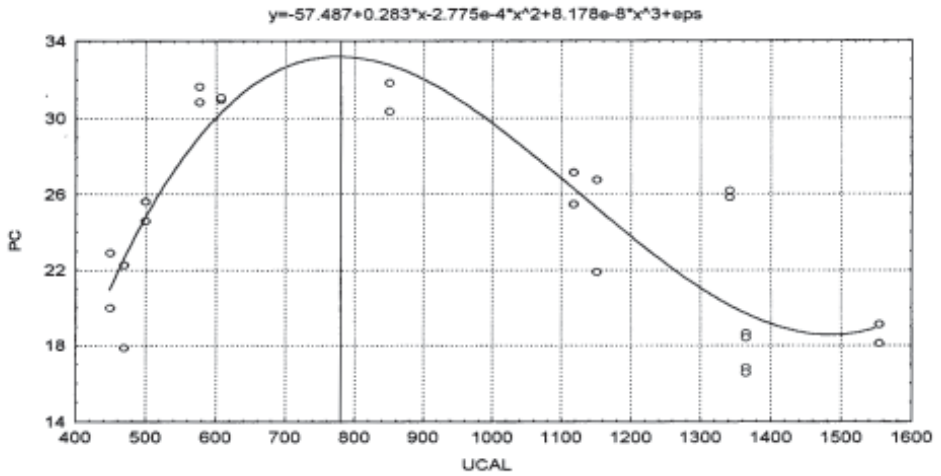


Figura 5. Relación cúbica para alfalfa entre proteína cruda y Uc.

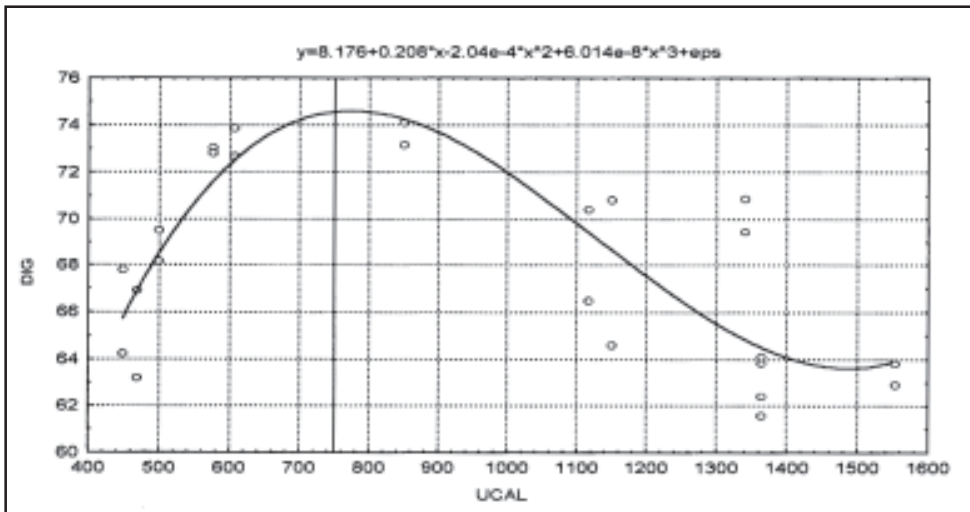


Figura 6. Relación cúbica para alfalfa entre digestibilidad y Uc.

máximo valor se presentó alrededor de las 750 Uc (Figura 6), indicando que es una especie que puede producir forraje de calidad en estaciones que no sobrepasen dichos rangos de temperatura, como en efecto ocurrió en invierno primavera y otoño, donde la alfalfa presenta mejor valor nutritivo.

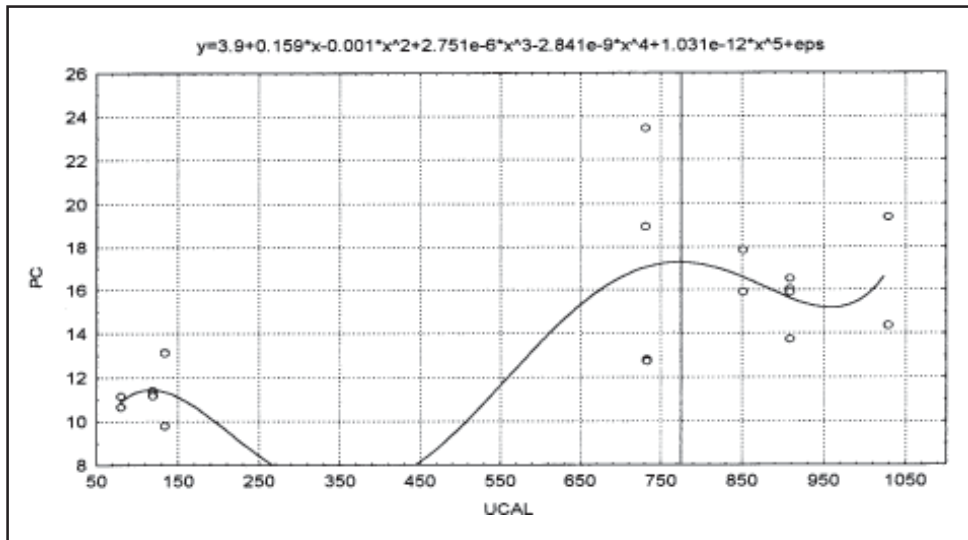


Figura 7. Relación de grado quinto para buffel entre proteína cruda y Uc.

Para buffel la regresión polinomial de grado 5, refleja un máximo local de la proteína cruda cuando alcanzó las 780 Uc, después de lo cual disminuyó su valor y volvió a subir ligeramente alrededor de las 1050 Uc, como se aprecia en la Figura 7, esto indicó que esta especie presenta su máximo local de proteína cruda, con niveles de Uc acumuladas similares a las de alfalfa, aunque con mayor cantidad de Uc pudiera alcanzar sus niveles más altos, como podría esperarse en plantas C_4 , pero es necesario una mayor investigación en

este sentido, dado que queda fuera del alcance de la presente investigación.

La digestibilidad de la materia seca en buffel fue mejor, cuando alcanzó las 975 U_c; y de las 700 U_c acumuladas, a las 975 presenta una relación positiva entre la digestibilidad, y las U_c acumuladas, y después de este valor, nuevamente disminuyó como se puede apreciar en la Figura 8.

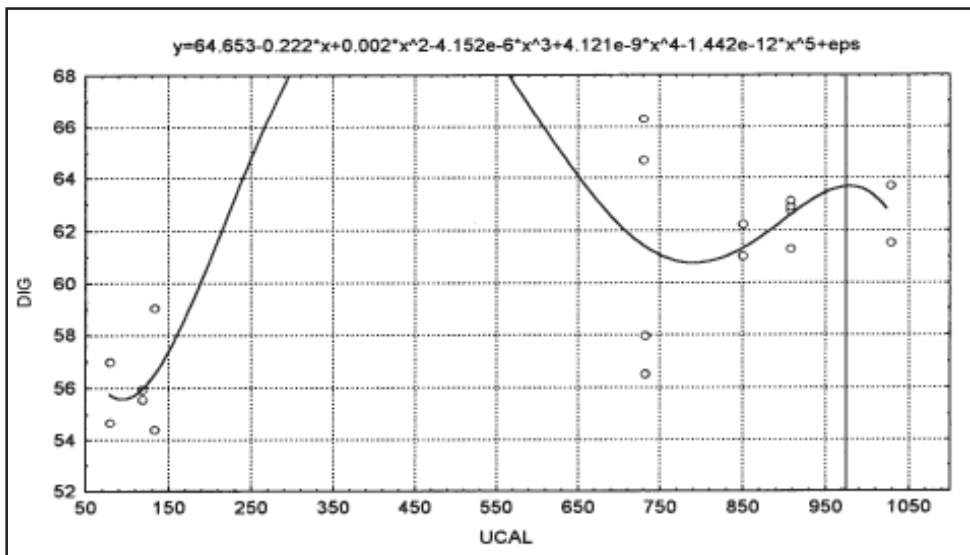


Figura 8. Relación de grado quinto para buffel entre digestibilidad. y U_c.

El análisis para festuca indicó una repuesta de tercer grado en el contenido de proteína cruda, como se aprecia en la Figura 9, mostrando una relación ascendente hasta llegar a las 880 U_c, en donde reflejó los mejores valores de proteína cruda, luego de este punto, se dio un descenso en los valores de proteína cruda.

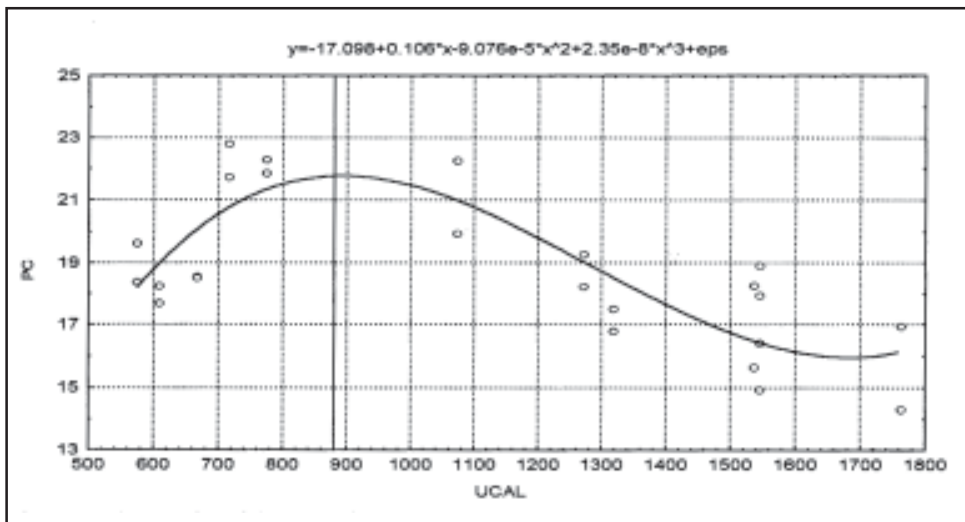


Figura 9. Relación cúbica para festuca entre proteína cruda y Uc.

La ecuación cúbica para digestibilidad en la materia seca de festuca, indicó una relación ascendente hasta las 900 Uc, donde obtuvo su mejor valor, a partir de ese valor inició el descenso de la digestibilidad, como lo muestra la Figura 10.

Orchard mostró una respuesta de grado tres, y reflejó un comportamiento muy similar para proteína cruda y digestibilidad, como puede observarse en las Figuras 11 y 12 para ambas variables se obtuvo una relación ascendente, hasta alcanzar los mejores valores con 900 Uc, y a partir de ese valor tuvo una relación negativa entre Uc y ambas variables.

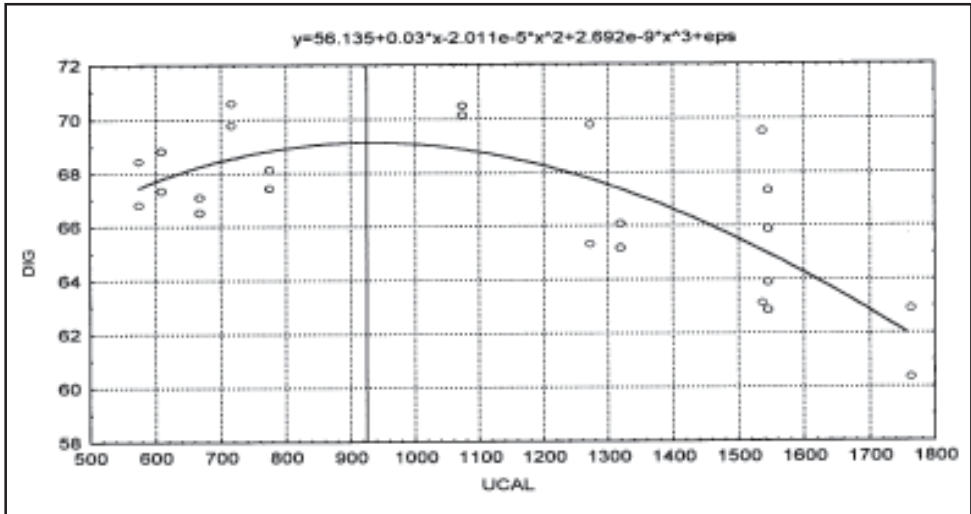


Figura 10. Relación cúbica para festuca entre digestibilidad y Uc.

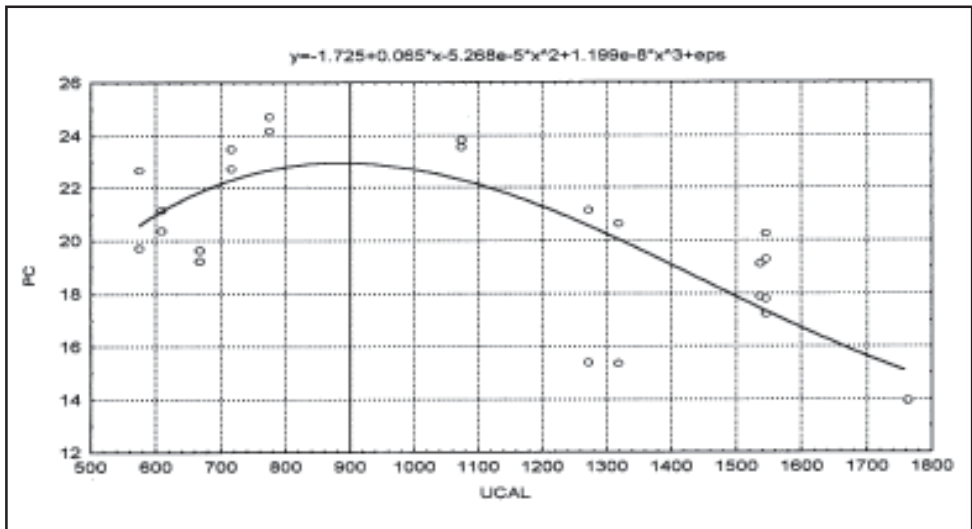


Figura 11. Relación cúbica para orchard entre proteína cruda y Uc.

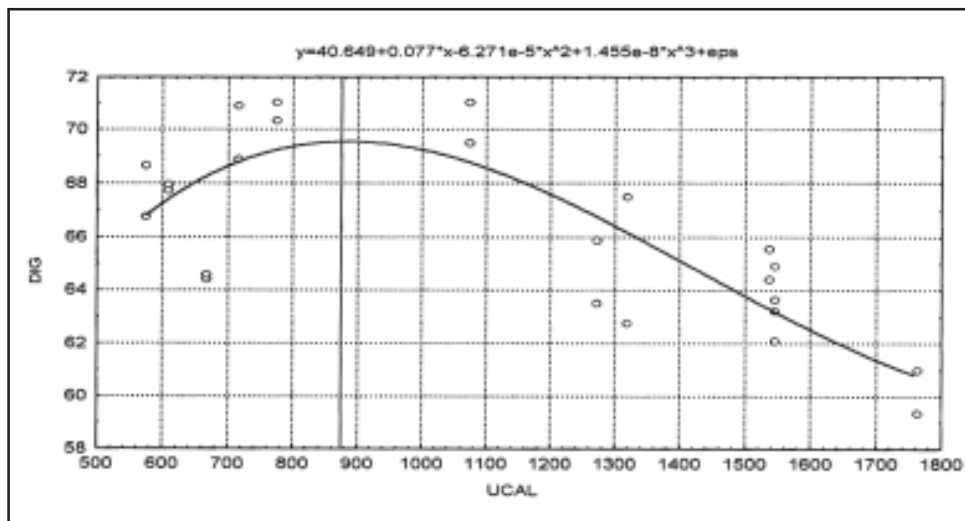


Figura 12. Relación cúbica para orchard entre digestibilidad y Uc.

Análisis de la relación entre variables de producción, valor nutritivo, y Uc acumuladas

El análisis de componentes principales comprendiendo las variables: Uc acumuladas (Uc), producción de materia seca ha^{-1} (REND), digestibilidad de la materia seca (DIG), porcentaje de proteína cruda (PC), valor relativo del alimento (RFV) y relación hoja tallo, reveló que los tres primeros componentes explicaron el 90.56 % de la varianza total, donde el primer componente principal explicó el 45.00 % de la varianza (Cuadro 2) y las variables digestibilidad (DIG), proteína cruda (PC) y valor relativo del alimento (VRF) se relacionaron positivamente entre si, y con el componente y de forma negativa con las Uc y el rendimiento, que se influyeron positivamente entre ellas, y negativamente con el componente.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de las variables para los tres primeros componentes principales.

Variable	CP1	CP2	CP3
REL	0.0430	0.0249	0.9774*
Uc	-0.0165	-0.9056*	0.2103
REND	-0.0671	-0.8817*	-0.2709
DIG	0.9254*	-0.0029	0.2357
PC	0.9688*	-0.0656	-0.0698
REV	0.9223*	-0.0612	-0.2080
Eigenvalor	2.70	1.58	1.16
Varianza	45.00	26.28	19.28
V. Acumulada	45.00	71.28	90.56

De la Figura 12 se puede inferir, que las especies cuyas observaciones tiendan a distribuirse en el lado positivo del CP1, tienen mayor valor nutritivo; en el lado positivo del CP2, se distribuyeron las observaciones del invierno, dado que las Uc se encuentran en el lado negativo del CP2.

Con base en lo anterior, de la Figura 14 se puede deducir, que alfalfa fue la especie con mayor valor nutritivo, seguida por orchard, festuca, y finalmente, con menor valor nutritivo, buffel. Sin embargo, el mayor valor nutritivo de alfalfa, se presenta en invierno (Figura 15), cuando su producción decrece, en otoño, y primavera, alfalfa, proporciona mejores rendimientos y calidad aceptable, en verano, alcanza su mayor producción de materia seca, pero es cuando su valor nutritivo es inferior. Buffel se ubicó como la especie de menor valor nutritivo, y en esta especie, el rendimiento y valor nutritivo mejoran en la primavera y verano, pero no produce en invierno (Figuras 14 y 15), estos resultados, y los análisis de

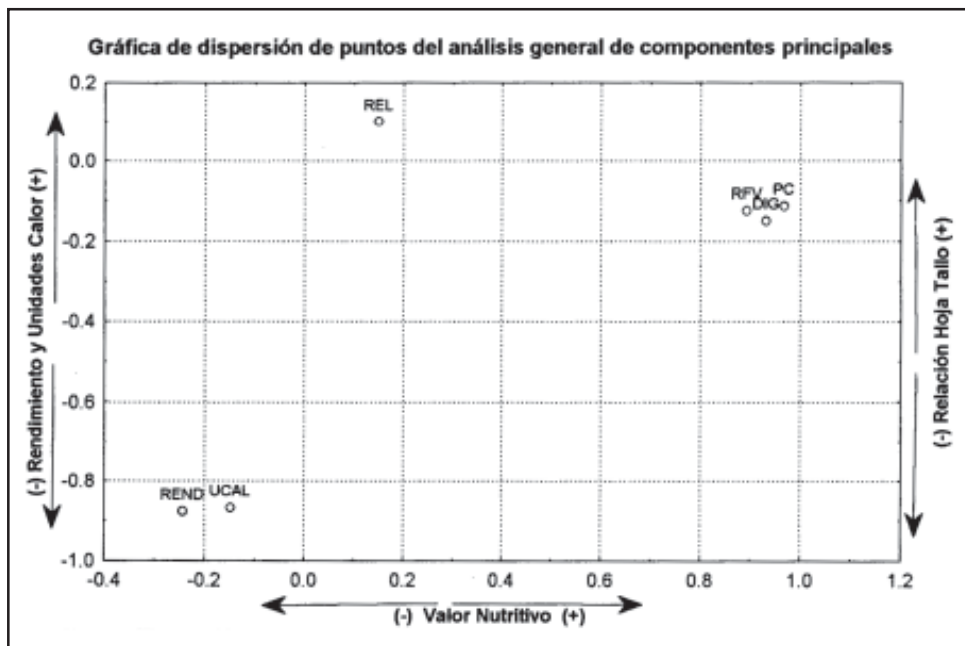


Figura 13. Distribución de las observaciones mostrando las relaciones de las variables (Rend = Rendimiento, Uc = Unidades Calor, Rel = Relación Hoja Tallo, VRF = Valor relativo del Alimento, Dig = Digestibilidad y PC = Proteína Cruda) en el análisis general de componentes principales.

regresión indican, que es ésta la especie más susceptible al frío. Festuca y orchard poseen valores nutritivos muy similares, sin embargo, festuca rinde un poco más de materia seca en verano, lo que indicó un perfil orientado más hacia los tipos C_4 , mientras que orchard, superó a festuca, en primavera e invierno.

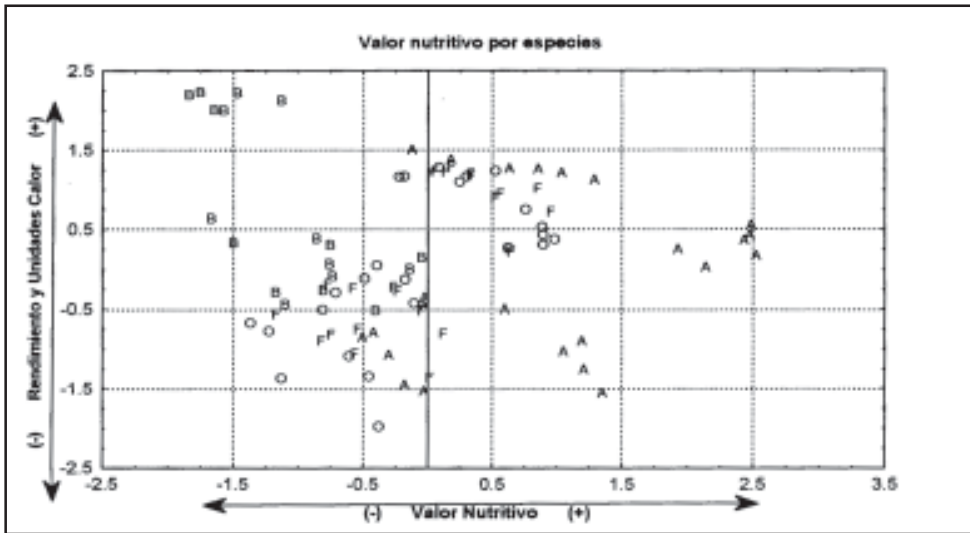


Figura 14. Tendencias de las observaciones para las especies (A =alfalfa, B = Buffel, F = Festuca, O = orchard) en los componentes 1 y 2.

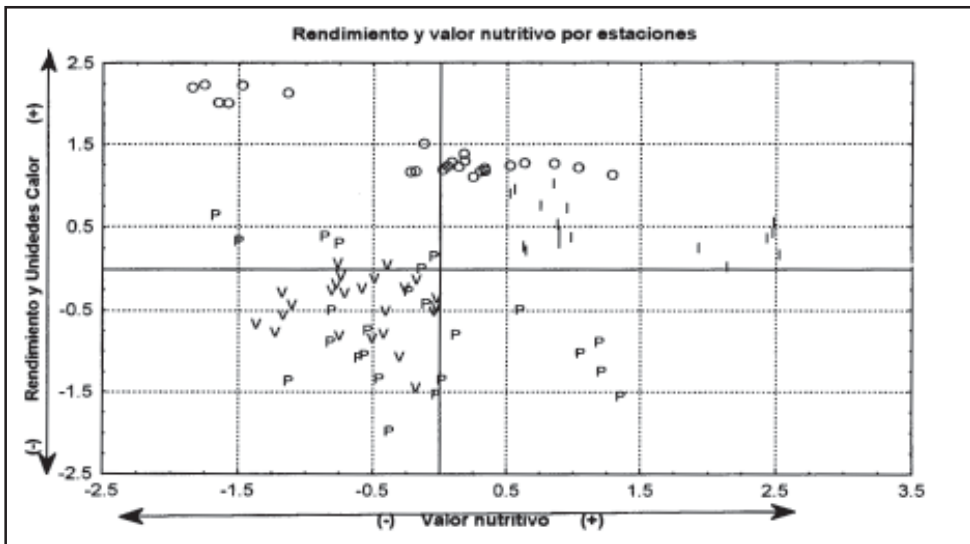


Figura 15. Tendencias de las observaciones para las estaciones (O=otoño, I=invierno, P= primavera, V=verano) en los componentes principales 1 y 2.

CONCLUSIONES

La producción de forraje es dependiente de las Uc acumuladas, encontrándose una fuerte relación entre estas variables, sobre todo en las especies de alfalfa y buffel, y en menor grado en las gramíneas C_3 . Los mayores valores de proteína cruda y digestibilidad, se obtuvieron con acumulaciones de Uc altas en buffel (alrededor de 1000 Uc), intermedia en festuca y orchard (aproximadamente 900 Uc), y menores en alfalfa, con alrededor de las 800 Uc. Alfalfa fue la especie con mayor valor nutritivo, seguida por orchard, festuca y finalmente, buffel. El mayor valor nutritivo de alfalfa se presenta en invierno, cuando su producción decrece, en otoño y primavera, proporciona mejores rendimientos y calidad aceptable, en verano logra su mayor producción, pero con menor valor nutritivo. Buffel fue la especie de menor valor nutritivo, y en ésta la calidad y rendimiento mejoran en primavera y verano, pero no produce en invierno. Festuca y orchard fueron muy similares, y presentaron los mejores rendimientos en primavera y con buena calidad, aunque es mejor en invierno y otoño, en verano presentaron buen rendimiento, pero inferior calidad.

LITERATURA CITADA

- D.A UAAAN. Departamento de Agrometeorología. 2000. Datos meteorológicos de la estación Buenavista. Saltillo, Méx.
- García, E. 1988. Modificación al Sistema de clasificación climática de Köeppen. UNAM. México. 246 P.

- Gutiérrez N. M. 1991. Comportamiento Productivo Estacional de una Mezcla de Especies Forrajeras Perennes irrigadas. Tesis de Licenciatura. UAAAN. México. 49 p.
- Navarro Ch., G. 1995. Ecofisiología Aplicada al Manejo de Pastizales. En: Medina T., J.G. M.J. Ayala O., L. Pérez R. y Gutiérrez C. (Ed.). Rehabilitación de Ecosistemas de Pastizal. Conceptos y Aplicaciones. SOMMAP UAAAN, Saltillo, Coahuila, México. P. 29-50
- Pla L.E. 1986. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C.
- Shenk, J.S. and M.O. Westerhaus. 1994. The Application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to Forage Analysis. In: Fahey, Jr. G.C. (Ed.) Forage Quality, Evaluation and Utilization. American Society of Agronomy. Inc. Madison, Winsconsin, USA. 996 P
- Statistica, 1998. Statistica for windows version 6.0. General conventions & Statistica !. Statsoft, Inc. Tulsa Ok.
- Torres R.,E. 1983. Agrometeorología. Editorial Diana México. 150 P
- Valdés R., J. y J.M. Fernández B. 1991. Gramíneas C₃ y C₄ de Coahuila, México: Implicaciones Ecofisiológicas. UAAAN. Revista Manejo de Pastizales. vol. 4 No. 2. Abril 1991. P. 6-22.

CONJUNCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA

Luis Samaniego Moreno¹
Javier de Jesús Cortés Bracho²
Salvador Muñoz Castro²
Luis Edmundo Ramírez Ramos²

¹Profesor-Investigador Depto. Estadística y Cálculo

²Profesor-Investigador Depto. Riego y Drenaje.
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

RESUMEN

Para el estudio del comportamiento del agua subterránea, intrusión de agua salada, determinación de parámetros del acuífero, movimiento de contaminantes, entre otros, se utilizan modelos ya sean analógicos, analíticos o matemáticos, los cuales están o se pueden codificar en un lenguaje de programación. Los modelos de simulación seleccionados en este artículo se refieren a la determinación de parámetros del acuífero, flujo estable y no estable del agua subterránea, intrusión de agua de mar, y movimiento de contaminantes. Los resultados obtenidos por los programas en general, muestran un significativo ahorro de tiempo en el procesamiento de información, además de dar la facilidad de poder combinar datos de entrada y evaluar su respuesta, cuidando de introducir valores reales de acuerdo al modelo seleccionado. Tampoco hay que olvidar que están hechos para situaciones específicas, con asunciones particulares de cada modelo.

Palabras clave: Geohidrología, flujo, programa, computadora, contaminación, parámetros, acuífero.

ABSTRACT

For studying the behavior of underground water, intrusion of salty water, determination of parameters of aquifer, and movement of polluting agents, among others, analogical, analytical or mathematical models are used, which can be codified in a programming language. The selected models of simulation in this article talk about the determination of

parameters of the aquifer, stable and non stable flow of underground water, intrusion of sea water, and movement of polluting agents. The results obtained by the programs, in general, show a significant saving of time in the processing of information, besides giving the facility of being able to combine input data and to evaluate their answer, taking care to introduce real values according to the selected model. It should not be forgotten that they are prepared for specific situations, with particular assumptions of each model.

Key words: Geohydrology, flow, program, computer, pollution, parameters, aquifer.

INTRODUCCIÓN

Muchos de los recientes estudios geohidrológicos han sido dirigidos hacia la evolución de técnicas rápidas y económicas para la estimación de parámetros geohidrológicos representativos, que serán usados para la evaluación del potencial regional del agua subterránea. Estos parámetros son: el coeficiente de almacenamiento y la transmisividad (Kinzelbach, 1986; Singh y Gupta, 1986)

La administración moderna de los acuíferos para propósitos de explotación o de prevención de

contaminantes, se lleva a cabo por medio de modelos numéricos de flujo y transporte (Szekely, 1990). Estos modelos no son otra cosa, que una pequeña representación de la realidad por medio de postulados e inferencias. Los modelos también pueden ser usados para conocer acerca del comportamiento de alguna variable dada, dentro de algún sistema

(Hanks y Ritchie, 1991). Los objetivos de este trabajo son el de recopilar programas de modelos de simulación del flujo del agua subterránea, movimiento de contaminantes, e intrusión de agua de mar, con el fin de integrarlos en un solo paquete, así como el dar los aspectos teóricos de los modelos y características de los programas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución de los programas de modelos de simulación en agua subterránea, se utilizó una computadora con un procesador 586, con una velocidad de 133 MHZ, y una capacidad de 8 MB de memoria RAM.

Los modelos fueron seleccionados para incorporar una herramienta útil en el estudio de los diferentes aspectos del agua subterránea, abarcando lo concerniente a la estimación de parámetros geohidrológicos, flujo del agua subterránea, intrusión de agua de mar, y cálculo de concentración de contaminantes.

Los programas han sido probados extensivamente por sus autores, a través de soluciones analíticas, y su forma de trabajar ha sido cotejada por medio de la ejecución de muchos problemas ejemplo. Sin embargo, los errores no pueden ser totalmente excluidos. Hay que hacer notar que cada programa se utiliza sólo para una cierta clase restringida de problemas, y que la ejecución de un programa puede depender de la combinación de los datos de entrada.

Los modelos seleccionados fueron: 1. Estimación de parámetros geohidrológicos;

2. Determinación de abatimientos en un pozo de bombeo;
3. Flujo estable, Método de diferencias finitas, elementos cuadrangulares;
4. Flujo estable, Método del elemento finito, elementos triangulares;
5. Flujo estable con infiltración y percolación, Método del elemento finito;
6. Flujo no estable, Método explícito de diferencias finitas;
7. Flujo no estable. Método del elemento finito, elementos cuadrangulares;
8. Flujo no estable en un plano vertical, agua salada y fresca con interfase aguda.
Cono invertido debido a un solo pozo, Método del elemento finito;
9. Cálculo de distribución de concentración de contaminantes en una y dos dimensiones.

Cada modelo seleccionado, cuenta con su respectivo programa para computadora, a los cuales se les han llamado MOSIAS (Modelos de Simulación del Agua Subterránea), seguido del número respectivo en que aparecen, estos programas están compilados en el lenguaje Turbo Basic ver. 1.0, 1987, y con un sistema operativo MS-DOS 6.22. Hay que hacer mención que el programa MOSIAS puede ser ejecutado desde cualquier unidad de disco flexible. Los requerimientos mínimos de equipo son: procesador 386, MS-DOS 3.0 o posterior y memoria mínima en RAM base, debe ser aproximadamente de 519 kb. A continuación se da una descripción teórica de cada modelo, así como la del programa para computadora. El paquete MOSIAS está integrado por un solo archivo ejecutable, en el cual están compilados los programas de los modelos.

Estimación de parámetros geohidrológicos. El propósito de este programa es el cálculo de los parámetros del acuífero transmisividad y coeficiente de almacenamiento desde

datos consistentes de:

- Número de grupos de datos, NM
- Gasto de bombeo, Q , en $m^3 s^{-1}$
- Máximo número de iteraciones, IM

NM grupos de datos consistentes de:

- Distancia desde el pozo, $r(i)$, en m
- Tiempo de observación, $t(i)$, en seg, y
- Abatimiento, $s(i)$, en m
- Tipo de acuífero, II , confinado ($II=1$) o freático ($II=2$)
- Valores iniciales de los parámetros del acuífero:

En el caso de un acuífero freático:

- Valores iniciales de coeficiente de almacenamiento, $PA(1)$ y permeabilidad, $PA(2)$, en $m \text{ seg}^{-1}$

- Espesor saturado al tiempo $t = 0$, ST , en m

En el caso de acuífero confinado:

- Valores iniciales de coeficiente de almacenamiento, $PA(1)$ y transmisividad, $PA(2)$, en $m^2 \text{ seg}^{-1}$

Datos de salida. En cada paso de iteración los valores de los dos parámetros $PA(i)$ y $PA(2)$, con una buena desviación media DE , son mostrados. Los valores finales de S y T (Acuífero confinado) o de S y K (acuífero freático) son mostrados en el dispositivo de salida seleccionado.

Determinación de abatimientos en un pozo de bombeo. El programa tiene el propósito de calcular la respuesta del acuífero para determinados intervalos de tiempo y gasto. Los datos de entrada para el programa son:

- Incremento de tiempo en días ($D7$)
- Número de intervalos de tiempo ($I1$)
- Radio del pozo en m ($R2$)
- Período de bombeo en días ($T1$)
- Transmisividad $m^2 d^{-1}$ ($T0$)
- Coeficiente de almacenamiento ($S0$)

Los datos de salida en el programa son los abatimientos producidos por la extracción de un gasto variable en un pozo, o los niveles de recuperación cuando el gasto se ha terminado.

Programa para el cálculo del flujo estable método de diferencias finitas elementos cuadrangulares. El propósito de este programa es el cálculo del flujo estable por el método de diferencias finitas con área rectangular, malla irregular y elementos cuadrangulares.

Los datos necesarios para la ejecución del programa MOSIAS_3 son:

- Número de líneas en la dirección x (NX)
- Número de líneas en la dirección y (NY)
- Coordenada en X de la primera, segunda, ..., NX línea ($X(I)$)
- Coordenada en Y de la primera, segunda, ..., NY línea ($Y(I)$)

Cuando hay que reportar alguna carga de algún nodo:

- Localización en X del nodo (I)
- Localización en Y del nodo (J)
- Carga de agua en ese punto (F)
- Datos de salida:
 - Coordenada en X , $X(I)$
 - Coordenada en Y , $Y(J)$
 - Carga en ese nodo, $F(I,J)$

Programa para flujo estable por el método del elemento finito con elementos triangulares. Este programa considera el caso de flujo estable en un acuífero confinado. El programa empieza con una pantalla de presentación, continuando con la entrada de los datos. El programa primero pregunta por algunos datos generales: el número de nodos (n), el número de elementos (m), el número de iteraciones (ni), y el factor de relajación (rx). Entonces los datos de todos los nodos pueden ser entrados: las coordenadas en x y en y de cada nodo, $x(i)$ y $y(i)$ respectivamente. La carga $IP1(i)$ o la tasa local de reposición de agua $Q1(i)$, expresada como una descarga. El programa pregunta si la carga en un cierto nodo es dada. Si este es el caso (para un nodo localizado sobre la parte del límite L_1 , el valor de un indicador tipo $IP1(I)$ es fijado = 1 y el programa pregunta por el valor de la carga, que es entonces conocida. Si la carga no es dada, el valor de $IP1(I)$ es fijado = -1 y el programa pregunta por la tasa de la reposición local de agua. Los datos de todos los elementos pueden ser dados y el número de nodos que comprende cada elemento, y la transmisividad $T1$ en cada elemento.

Programa para flujo estable con infiltración y percolación método del elemento

finito. Este programa calcula el flujo estable por medio del elemento finito, usando elementos cuadrangulares. El significado de las variables de entrada es como sigue:

- N Numero de nodos
- M Número de elementos
- $X(I)$ Coordenada en X del nodo I
- $Y(I)$ Coordenada en Y del nodo I
- $1P2(I)$ Tipo del indicador del nodo I
- $FA2(I)$ Carga en el acuífero adyacente en el nodo I , que es el dato calculado de salida del programa.
- $Q2(I)$ Reposición de agua en el nodo I
- $NP2(J,1)$ Nodo 1 del elemento J
- $NP2(J,2)$ Nodo 2 del elemento J
- $NP2(J,3)$ Nodo 3 del elemento J
- $NP2(J,4)$ Nodo 4 del elemento J
- $T2(J)$ Transmisividad en el elemento J
- $PP2(J)$ Infiltración en el elemento J
- $CC(J)$ Resistencia del acuitardo en el elemento J

Las variables de salida son: localización en la dirección X , $X(I)$ y Y , $Y(I)$ del nodo i ; carga de agua en el nodo i , $F2(I)$.

Programa para flujo no estable, método explícito de diferencias finitas. Este programa realiza el cálculo de diferencias finitas para el caso de un acuífero rectangular, con una carga constante en el límite, e infiltración uniforme. Las variables de entrada al programa

son:

- Dimensión en la dirección X ; XT
- Subdivisiones en la dirección X ; NX
- Dimensión en la dirección Y ; YT
- Subdivisiones en la dirección Y ; NY
- Carga inicial; H
- Tasa de infiltración; P
- Transmisividad; T
- Coeficiente de almacenamiento; S
- Intervalo de tiempo; DT
- Número de intervalos de tiempo; NS

Los datos de salida son la carga en cada uno de los nodos, o solamente en el centro de la malla. $FA(I, J)$ para los nodos en centro solamente y, $FA(I, J)$ para todos los nodos de la malla.

Programa para flujo no estable, método del elemento finito con elementos cuadrangulares. Los datos de entrada requeridos por el programa son:

- Número de nodos; N
- Número de elementos; M
- Coordenada en X del nodo $1, 2, \dots, n$; $X(I)$
- Coordenada en Y del nodo $1, 2, \dots, n$; $Y(I)$
- Carga en el acuífero adyacente en el nodo $1, 2, \dots, n$; $FA4(I)$
- Reposición de agua en el nodo $1, 2, \dots, n$; $Q4(I)$

- Nodo 1 del elemento J ; $NP4(J, 1)$
- Nodo 2 del elemento J ; $NP4(J, 2)$
- Nodo 3 del elemento J ; $NP4(J, 3)$
- Nodo 4 del elemento J ; $NP4(J, 4)$
- Transmisividad del elemento J ; $T4(J)$
- Coeficiente de almacenamiento del elemento J ; $S(J)$
- Infiltración del elemento J ; $PP(J)$

Los datos de salida son la localización en X , $X(I)$ y en Y , $Y(I)$ del nodo y su carga calculada ($F(I)$).

Programa para flujo no estable del agua subterránea con una interfase aguda, entre agua dulce y salada en un plano vertical. El programa calcula el avance de una cuña de agua salada en un acuífero costero. El programa genera una malla de elementos, basado sobre un pequeño número de datos de entrada, tales como, la longitud del acuífero WW , espesor del acuífero HT , la posición original de la interfase $H1$, la localización del abatimiento $H2$, el número de elementos en las direcciones horizontal y vertical NV y $N6$, respectivamente, y algunos datos físicos para el medio poroso, tales como: la permeabilidad PM , coeficiente de almacenamiento PR , y del fluido como lo son, la densidad del agua fresca GF y densidad del agua salada GS , así como la descarga del pozo QQ . El programa genera automáticamente una malla tal que, la interfase y la línea horizontal a través del punto del pozo, son elementos de barrera. La altura de los elementos abajo del pozo, puede cambiar como una función del tiempo, dependiendo sobre el movimiento de la interfase. Las dimensiones de los elementos en la dirección horizontal son pequeñas en la vecindad del pozo, y se incrementan gradualmente

en magnitud hacia el lado derecho de la barrera del acuífero. La máxima capacidad del programa es de 320 elementos de la red.

Programa de distribución de contaminantes en 1 y 2 dimensiones. El objetivo de este programa es el cálculo de distribución de concentración de contaminantes, uni y bidimensionales, para inyecciones de contaminantes puntuales, instantáneas y permanentes. Los datos de entrada necesarios por el programa son:

- Dimensionamiento del problema, DI (1 ó 2)
- Tipo de inyección, TY , (instantánea M o permanente P)
- Para inyección instantánea:
 - Masa de contaminante inyectada, M en g
 - Para inyección permanente:
 - Fuente de la fuerza, MP en g/d
 - Para soluciones uni o bidimensionales:
 - La fuente se asume está localizada en el origen del sistema coordenado. La dirección del flujo se asume paralelo al eje x en la dirección x positiva.
- Velocidad del poro, u en m/d
- Factor de retardación, R , desde la adsorción de acuerdo a la adsorción lineal isoterma.
- Constante de decaimiento, LA , en l/d
- Espesor saturado del acuífero, M , en m
- Porosidad efectiva, NE
- Dispersión longitudinal, AL , en m

- Tiempo t , en d, y localización x en m, para que la concentración sea evaluada.
- Para distribuciones bidimensionales más datos son necesarios:
- Dispersión transversal, AQ , en m
- Coordenadas transversales y , en m, de localización para que la concentración sea evaluada.
- Para soluciones unidimensionales un acuífero de ancho de $w=1$ m se asume.

Salida:

- Concentración, C , en el punto x o (x,y) y tiempo t en mg m^3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la solución de las ecuaciones involucradas en cada modelo se ha utilizado el método de diferencias finitas y el método del elemento finito (Wang y Anderson, 1982)

Con respecto al método de diferencias finitas, Bear y Verruijt (1987), Wang y Anderson (1982) y Custodio y Llamas (1983), mencionan que en general, el método consiste en una aproximación de derivadas parciales por expresiones algebraicas, involucrando los valores de la variable dependiente, en un número limitado de puntos seleccionados. Como un resultado de la aproximación, la ecuación diferencial parcial que describe el problema, es reemplazada por un número finito de ecuaciones algebraicas, escritas en términos de los valores de la variable dependiente en los puntos seleccionados. Las ecuaciones son lineales, si las ecuaciones diferenciales parciales originales, también lo son. Los valores en los

puntos seleccionados se hacen desconocidos y el sistema de ecuaciones algebraicas se puede resolver.

La idea básica del método de diferencias finitas, es que una región R es cubierta con 2 familias de líneas rectas paralelas, en las direcciones x - y respectivamente, las cuales en conjunto, forman una malla de rectángulos. El tipo más simple de malla es generado, cuando todos los intervalos entre las líneas son iguales, y en este caso la malla consiste en cuadrados. El valor de una variable f en un punto nodal de la malla (o nodo), es ahora denotado por f_{ij} . Donde i indica la posición de la línea vertical de la malla (columna), y j la línea horizontal de la malla (fila). La serie de valores f_{ij} , se determinan aproximando la función continua $f(x,y)$ en los puntos con coordenadas $x = x_i$, $y = y_j$ (Wang y Anderson, 1982).

Por otro lado, en el método del elemento finito, es usual que las cargas piezométricas sean tratadas como incógnitas, y se asuma que varían linealmente en elementos triangulares, y bilinealmente, en elementos cuadrangulares. Esto resulta en un valor constante de descarga específica dentro de cada elemento (Yeh *et al.*, 1993).

Bear y Verruijt (1987), Wang y Anderson (1982) y Custodio y Llamas (1983), explican que el método del elemento finito puede ser presentado de varias maneras. El problema matemático a resolver, será formulado sobre la base de principios elementales de equilibrio de un simple elemento. Después se encontrará que los conceptos básicos, serán convenientemente manejados, usando una formulación variante del problema matemático original. Esto también para generalizar la aplicabilidad del método, a una extensa clase de problemas de campo en ingeniería. En el método del elemento finito, la región R , en que el

flujo toma lugar, se subdivide en un gran número de pequeños elementos, en cada uno de los cuales, la carga piezométrica de agua subterránea (ϕ) es aproximada por alguna función simple. Una manera sencilla de subdividir la región R es por el uso de elementos triangulares. Tales elementos hacen posible el seguir lo curvado de los límites, estas subdivisiones también facilitan el uso de una malla densa en subregiones de gran interés, y una malla ordinaria donde el flujo de agua no sea de utilidad. Un modo alternativo es el uso de elementos cuadrangulares sobre una forma arbitraria. Estos elementos son introducidos en una gran región por una combinación apropiada de triángulos.

Los resultados obtenidos por este trabajo, están encaminados a la aplicación de cada uno de los programas a situaciones de campo, relacionadas en general, a la determinación de parámetros geohidrológicos, flujo estable y no estable, intrusión de agua de mar y transporte de contaminantes.

Los modelos son una muy buena herramienta en la simulación de aspectos del agua subterránea, ya que usando estos modelos de simulación, se pueden probar varios esquemas de manejo, y predecir los efectos de ciertas acciones sin tener que llevarlo a la práctica, en base a estos resultados se puede seleccionar el mejor manejo, sin tener que hacer otra cosa más que cambiar los datos de entrada al modelo, pero siempre teniendo en cuenta, la aplicabilidad del modelo a la situación estudiada, debido a que una situación real o de campo, es demasiado compleja, para ser simulada exactamente. La confiabilidad de las predicciones de un modelo, depende de que tan bien el modelo se aproxime a la situación de campo. Inevitablemente para la formulación de los modelos, se tienen que hacer asunciones para poder simplificarlos. En otras palabras, si un modelo es aplicado a un

problema para el cual no fue diseñado, se tendrá que el modelo arrojará resultados fuera de la realidad, por los que algunos modelos son muy restrictivos. Cuando de los modelos se obtienen programas para computadora, hay que tener cuidado con las asunciones hechas para hacer el programa, datos de entrada, disponibilidad de éstos y limitantes.

CONCLUSIONES

Los programas de simulación presentados aquí, constituyen una buena herramienta para el estudio de los aspectos relacionados con el agua subterránea, debido a que se economiza tiempo al probar varios esquemas de manejo en alguna de las situaciones estudiadas, lo que implica una gran ayuda en la toma de decisiones, y estimación de datos. Hay que tomar en cuenta que los datos obtenidos por los programas, no son exactamente iguales a los reales, debido a que los programas usan asunciones, las cuales hacen que el programa sea mas sencillo y a la vez menos exacto, esto quiere decir que entre más asunciones tenga un programa, menos exacto será. Un factor limitante en el uso de estos programas, son los datos de entrada, disponibilidad y confiabilidad en ellos. También hay que hacer notar que cada programa se utiliza en una sola clase restringida de casos, si los programas se aplican en otra situación, arrojará datos incorrectos o fuera de la realidad. Los modelos en general, para sus asunciones, trabajan con condiciones de homogeneidad e isotropía, lo que en situaciones reales son difíciles de encontrar, sin embargo, los programas pueden dar una idea sobre la situación de algún sistema. Con lo anteriormente presentado, se puede concluir que los objetivos de este trabajo se llevaron a cabo en su totalidad.

LITERATURA CITADA

- Bear J. and A. Verruijt. 1987. Modeling Groundwater Flow and Pollution. Ed. Reidel Publishers Company. The Netherlands. 409 p.
- Custodio E. y M. R. Llamas. 1983. Hidrología Subterránea. 2ed. Ed. Omega S.A. España. Tomo I. p. 1313-1387, 1572-1665
- Hanks J. and J. T. Ritchie. 1991. Modeling Plant and Soil Systems. Agronomy; no. 31. United States of America. p. 1-5
- Kinzelbach W. 1986. Groundwater Modeling an Introduction With Sample Programs in Basic. Ed. Elsevier Science Publishers. The Netherlands. 334 p.
- Singh V. S. and C. P. Gupta. 1986. Hydrogeological Parameters Estimation From Pump Test on a Large Diameter Well. Journal of Hydrology, 87: 223-232. United States of America.
- Szekely F. 1990. Drawdown Around a Well in a Heterogeneous Leaky Aquifer System. Journal of Hydrology. 118: 247-256. United States of America.
- Wang H. F. and M. P. Anderson. 1982. Introduction to Groundwater Modeling Finite Difference and Finite Element Methods. Ed. W. H. Freeman and Company. United States of America. 237 p.
- Yeh T.-C. J., R. Srivastava., A. Guzman. and T. Harter. 1993. A Numerical Model for Water Flow and Chemical Transport in variably Saturated Porous Media. Ground Water. 31(4): 634- 644. United States of America.

Esta publicación se elaboró en la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; se concluyó el mes de mayo de 2005 y se publica en formato PDF optimizado para impresión, y para su distribución por medios ópticos (1000 discos compactos) y electrónicos (vía Internet).



CONTENIDO

RESPUESTA DE VEGETACIÓN Y COMPORTAMIENTO ANIMAL A DIFERENTES TIEMPOS DE OCUPACIÓN BAJO EL MODELO HOLÍSTICO	1
RELACIÓN DE LAS UNIDADES CALOR (UC) ACUMULADAS CON EL RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DEL FORRAJE	29
CONJUNCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN EN AGUA SUBTERRÁNEA	51