

Variables que definen los grados de condición en una sabana de *Prosopis-Sporobolus* al Noreste del estado de Durango, México

(con 4 cuadros y 6 figuras)

Quiñones-Vera¹ Jesús José, Ulises Noel Gutiérrez-Guzmán¹, Celso Manuel Valencia-Castro¹, Juan José Martínez-Ríos¹, Edmundo Castellanos-Pérez¹

Resumen. Mediante el uso de un análisis de gradientes directo, se estableció la relación entre la variación en la abundancia de las especies vegetales y la variación en algunas de las características físico, químicas y de superficie de los suelos en un sitio de sabana, así como la distancia de la unidad de muestreo al abrevadero permanente más cercano. En base a lo anterior, se determinó que las variables que mejor explican la distribución de la vegetación en el sitio fueron: la densidad de partículas finas del suelo, fitomasa aérea en pie de las gramíneas, proporción de suelo desnudo y cobertura vegetal aérea. Sin embargo, la magnitud de los autovalores canónicos para los primeros ejes de ordenación muestra que no existe una clara diferenciación entre los nichos de las especies vegetales. Esto confirma la ubicación de las unidades de muestreo dentro de una misma unidad ecológica. En las unidades con mayor producción vegetal se ubicaron las especies de gramíneas *Bouteloua curtipendula*, *Sporobolus airoides*, *Setaria macrostachia*, *Chloris gayana*, *Aristida pansa* y *Bouteloua gracilis* y, el arbusto *Atriplex canescens*. Por el contrario, *Larrea tridentata*, *Mimosa biuncifera*, *Flourensia cernua*, *Opuntia leptocaulis* y *Condalia ericoides* abundaron en las unidades con la menor producción vegetal. El mezquite (*Prosopis laevigata*) fue una de las especies que presentó una mayor amplitud ecológica en el sitio.

Palabras clave: Análisis de correspondencia canónica, matorral micrófilo subinermé, nichos de especies.

Abstract. By using a direct gradient analysis, a relationship between the variability in abundance of species and the variability in the physical and chemical

¹Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia
División de Estudios de Posgrado, Apartado Postal 1-142, Gómez Palacio, Durango,
México, C.P. 35000

e-mail: jjqv@prodigy.net.mx

Recibido 16.VI.2004; aceptado 23.VII.2004

properties of soils, as well as its surface, was established in a savanna site; in the analysis, also the distance to the closest permanent drinking reservoir was considered. Based upon these parameters, it was determined that the variables more related to the vegetal distribution in the study area were: fine particle density of soils, aerial standing biomass of gramineous, bare ground rate, and aerial canopy of the vegetation. However, the magnitude of the canonical eigenvalues for the four main ordination axis showed no clear differentiation among the niches of species. Species such as *Bouteloua curtipendula*, *Sporobolus airoides*, *Setaria macrostachia*, *Chloris gayana*, *Aristida pansa*, *Bouteloua gracilis*, and the shrub *Atriplex canescens* were identified in the units portraying the higher production. On the other hand, *Larrea tridentata*, *Flourensia cernua*, *Opuntia leptocaulis*, and *Condalia ericoides* were more frequently found in the units showing lower production. Mesquite (*Prosopis laevigata*) was the specie with highest ecological extent on the study site.

Keywords: Canonical correspondence analysis, desert shrubland, niches of species

En las zonas áridas de México predomina el matorral desértico micrófilo con una superficie de aproximadamente 60 millones de hectáreas, de las cuales 3.3 millones corresponden al estado de Durango (27). El uso que se le ha dado a estos ecosistemas, ha sido por muchos años el pastoreo por especies de ganado doméstico y de fauna silvestre, así como la explotación de especies vegetales de interés forestal y medicinal (15).

Esta región presenta diversas características fisiográficas, climáticas y de suelos que dan lugar a áreas con diferentes potenciales vegetativos y productivos, además de diferentes susceptibilidades tanto a los disturbios naturales como al uso y manejo por parte del hombre (18).

En estas áreas, como en muchas otras de México, se ha investigado poco sobre la delimitación cuantitativa de unidades de ecosistema que presenten atributos homogéneos en la cantidad y calidad de sus recursos y sobre sus estados actuales y potenciales. La información anterior es necesaria para la planeación integrada de las alternativas de uso y manejo sustentable de los recursos naturales renovables. Fuera del esfuerzo importante llevado a cabo por la Comisión Técnica Consultiva para la determinación de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA), a un nivel amplio y general, muy pocos trabajos han sido realizados con esta finalidad. La falta de una buena planeación en la explotación de estos recursos ha provocado una explotación no regulada que repercute en la condición de los ecosistemas de pastizal, generando en la mayoría de los casos modificaciones de las condiciones naturales. Esto conlleva erosión del suelo, pérdida de agua y la desaparición de especies de flora y fauna (24).

Una concepción actual sobre la utilización de los recursos naturales es la de producir bienestar humano mediante su uso racional, que permita preservar la disponibilidad de los mismos (10). Esta visión fue planteada desde los primeros manejadores de pastizales (30, 17). Los razonamientos anteriores constituyen el fundamento de los programas de ordenamiento ecológico territorial. Estos se conciben como un instrumento ambiental integral conducido a evaluar y programar el uso y manejo de los recursos naturales para conservar y restaurar su equilibrio ecológico,

entre otros atributos del ecosistema. Esencialmente, en sus primeras etapas, el ordenamiento ecológico consiste en el estudio de sitios ecológicos con base en sus características potenciales y sus grados de condición (34). Sin embargo, el procedimiento de ordenamiento se encuentra aún en desarrollo, sobre todo en los métodos y técnicas particulares de los dos aspectos anteriores.

Desde tiempo atrás se trató de definir sistemas y unidades de clasificación que permitieran conocer el estado actual del sitio de pastizal, con base en las teorías del "clímax" (29). De aquí surgió el concepto de "condición" que Dyksterhius (12) define en forma simple como "el porcentaje de la vegetación actual que es vegetación original para el sitio". Cabe señalar que el concepto de condición no se ajusta únicamente para definir el estado de la vegetación. Éste comprende también el estado edafológico de un sitio de pastizal y, consecuentemente, gran cantidad de variables, no solamente las especies vegetales, pueden servir como indicadoras de los grados de condición que presentan estas unidades (14).

En la actualidad, los procedimientos de análisis de gradientes (análisis multivariado) se han constituido en una herramienta poderosa para relacionar la variación específica con la variación ambiental, consiguientemente en una alternativa analítica para evitar la subjetividad de los procedimientos tradicionales para la delimitación tanto de los sitios ecológicos como de sus grados de condición.

El objetivo de este estudio fue definir las variables de vegetación, suelo y superficie que permitan determinar los grados de condición en un sitio de sabana en el Valle de Santa Inés, en el estado de Durango.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en bajíos del ejido Santa Librada, dentro de la cuenca hidrológica del valle de Santa Inés, la cual se localiza aproximadamente a 99 km de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. Esta cuenca se encuentra dentro de la región hidrológica RH36 perteneciente al río Nazas. Se ubica entre los paralelos 25° 53' 29" y 25° 50' 49" de latitud Norte, y entre los meridianos 103° 53' 10" y 104° 10' 11" de longitud Oeste. Comprende una superficie aproximada de 51,500 has. Pertenece a la provincia fisiográfica Sierras y Llanuras de Norte, subprovincia Bolsón de Mapimí y, está delimitada por las sierras "El Rosario", al Este y Sureste, la sierra "Los Álamos" al Oeste, la sierra "La Cadena" al Noroeste y la sierra "Manzanares" al Suroeste (19).

El área está formada principalmente por tres unidades fisiográficas: Sierras y cerros, abanicos aluviales compuestos y bajíos. En la primera los suelos son básicamente litosoles de escasa profundidad (2 cm). En la segunda las series predominantes son Rendzinas, Regosoles Calcáricos y

Xerosoles Háplicos, con una profundidad de 15-20 cm. En los bajíos los suelos son de origen aluvial, la profundidad generalmente es mayor de un metro, presentan combinaciones de Xerosoles Háplicos, Calcáricos y Lúvicos, sin problemas de salinidad y de sodio (19).

Según la clasificación de Koeppen modificada por E. García para el territorio mexicano, el clima en el área es desértico con lluvias en verano (BWhw). Por la parte norte, centro y sur de la cuenca pasan las Isotermas de 20° C, 18° C y 16° C, respectivamente, y se encuentra dentro de las Isoyetas de los 300 mm, salvo en las sierras El Rosario, Alamos y Manzanares, por donde pasan las Isoyetas de 400 mm (20).

La vegetación dominante en la cuenca es el matorral desértico micrófilo. En esta comunidad resalta la presencia de gobernadora (*Larrea tridentata*), hojásén (*Flourensia cernua*) y largoncillo (*Acacia constricta*). Sobre suelos someros, cerros y partes altas de los abanicos aluviales, predomina el matorral desértico rosetófilo de lechuguilla (*Agave lechuguilla*). Aproximadamente a los 2000 m.s.n.m., se encuentra el chaparral de *Cercocarpus breviflorus*, *Quercus emory*, *Rhus virens* y *Yuca thompsoniana* (19).

Metodología. En este estudio se siguió un muestreo sistemático para la ubicación de las unidades de muestreo. El trabajo de campo inició en el mes de Mayo del 2000 y finalizó en el mes de Diciembre del 2001. Primeramente se identificó y ubicó el abrevadero permanente en las cartas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50,000. Posteriormente, en éstas se trazaron círculos concéntricos alrededor del abrevadero permanente, a distancias del centro de 500, 1000, 1500, 2500, 3500, 4500, 5500 y 6500 metros, sucesivamente. Después se ubicaron y se trazaron tres líneas. El rumbo de la línea fue determinado considerando la amplitud del sitio y distancias equidistantes entre líneas dentro del mismo círculo. En el punto de intersección de la línea con cada círculo se ubicó el punto de muestreo. Los puntos de muestreo se ubicaron geográficamente con un Sistema de Posición Geográfico (GPS 12XL GARMIN), con al menos 5 satélites en posición al tiempo de la lectura.

Muestreo de vegetación. En cada punto de muestreo se ubicó un cuadrante de 45 m*1m (45 m²), en el cual se contaron y registraron los arbustos y núcleos de herbáceas amacolladas por especie (3). Uno de los lados mayores del cuadrante se utilizó como línea de intersección, en la que se midió la cobertura aérea (COBA) y la altura máxima de la planta ubicada en la intersección (26). La misma línea se marcó a cada 0.5 m y, con el auxilio de una varilla metálica, se proyectó esta marca al suelo para estimar la proporción de suelo desnudo (PSD), el mantillo orgánico sobre el suelo (MOS), brotes de piedra (ROC), la proporción de grava sobre el suelo (GRA) y la cobertura basal de las especies herbáceas (COV) (16). A cada extremo y en el centro de la línea anteriormente mencionada, se ubicó un cuadrante de 1 m * 1 m, en los que se recolectó todo el material

vegetal vivo posible (PROF), y se separó la biomasa forrajera en pie de las gramíneas (PROF2). Este fue almacenado en bolsas de papel y posteriormente, ya seco, se pesó con aproximación a gramos. La biomasa en pie del material vegetal se expresó en base seca (4, 2).

Medición de variables de superficie y muestreo de suelos.

Una vez ubicada y geo referenciada una de las esquinas del cuadrante, se registró la elevación con el GPS y se corroboró con altímetro. La pendiente (PEN) fue medida con un clinómetro y se expresó en porcentaje (%), mientras que la exposición (EXP) se midió con brújula y se expresó en grados. En la misma esquina, se perforó un pozo y de los primeros 10 cm de profundidad se obtuvo una muestra de suelo, la cual se identificó y fue enviada a laboratorio de suelos de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, para realizar las siguientes determinaciones: textura, utilizando el método hidrómetro de Bouyoucos (11); porcentaje de partículas finas (PPF) del suelo (<0.1 mm), a través del tamizado de submuestras y la densidad de las mismas (DPF) con el método de tubo de ensayo (13); capacidad de intercambio de cationes (CIC) por el método de titulación de acetato de amonio (1); porcentaje de materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (22); conductividad eléctrica (CE) mediante el puente Wheatstone (8); calcio (CA) y magnesio (MAG) mediante la titulación con etil-diamino-tetraacetato (EDTA) (12) y el potasio (POT) y sodio (SOD) en el espectrofotómetro de absorción atómica (7). Se realizó una prueba de infiltración (INF) utilizando un medidor de doble anillo (6, 33) marca TURF TEC. Con éste se hicieron lecturas a tiempos variables pero secuenciales hasta que se infiltró el agua contenida en el anillo interior. Al mismo tiempo se realizaron mediciones de temperatura (TEMP), humedad (HUM) y compactación del suelo (COMP). Estas últimas mediciones se hicieron en 5 puntos alrededor de la ubicación del medidor de infiltración y aproximadamente a 1 m de distancia del mismo. Se utilizó un medidor marca AQUATERR modelo 200-48 para las dos primeras variables, y un medidor de compactación marca DICKEY - john para la última. Las lecturas de compactación en cada punto se realizaron a cada 3 pulgadas de profundidad hasta que la lectura rebasó las 350 libras / pulgada². Se realizó la conversión de estas lecturas a kg / cm². La lectura de humedad y temperatura se realizó aproximadamente a la máxima profundidad alcanzada por el medidor de compactación y la última se convirtió de grados Fahrenheit a centígrados.

Análisis de la información. Para el análisis de la información ecológica anterior, se utilizaron diferentes métodos estadísticos de análisis multivariante. Para relacionar variables ambientales con variables de vegetación se utilizó el método de Análisis de Correspondencia Canónica incluido en el programa CANOCO (Canonical Community Ordination), con selección progresiva de variables (31). La ordenación de

los grados de condición se realizó mediante el procedimiento de ordenación polar de Bray-Curtis. Ambos procedimientos incluidos en el paquete estadístico PC-ORD (23). Posteriormente se probaron las agrupaciones de unidades de muestreo y de especies mediante el procedimiento de análisis de dos vías de especies indicadoras (TWINSPAN), en el cual se seleccionó la especie indicadora mas importante dentro de cada agrupación.

RESULTADOS

Patrones de distribución de las especies vegetales. El Análisis de Correspondencia Canónica inicial se realizó con 23 unidades de muestreo, 21 especies vegetales detectadas y 29 variables ambientales. Con base al análisis de las correlaciones ponderadas entre las variables ambientales se conservaron las cuatro variables que aparecen en el Cuadro 1, (32). En éste, los valores de los coeficientes de correlación ponderada dentro de grupos denotan la importancia de la densidad de partículas finas del suelo (DPF = $-.5713$) y de la biomasa en pié de las gramíneas (PROF2 = $+.5596$), sobre la distribución de las especies vegetales, con relación al primer eje de ordenación sintético. Para el segundo eje, el mayor peso recayó en las variables porcentaje de suelo desnudo (PSD = $-.6686$) y de nuevo DPF, con un valor de $-.6529$. En el tercero y cuarto ejes de ordenación, PROF2 ($+.7724$) y la cobertura vegetal aérea total (COBA = $-.7502$) fueron las variables que explican principalmente el patrón de distribución de las especies, respectivamente, con relación a estos ejes.

Cuadro 1.- Coeficientes de correlación entre grupos para las variables ambientales en los cuatro ejes de ordenación de especies y unidades de muestreo. Ejido Santa Librada, municipio de Mapimí, Dgo. México 2001.

Variable**	Ejes Sintéticos de Ordenación			
	1	2	3	4
PSD	$+.3033$	$-.6686$	$-.3806$	$-.5623$
DPF	$-.5713$	$-.6529$	$+.3487$	$+.3596$
PROF2	$+.5596$	$+.0945$	$+.7724$	$+.2854$
COBA	$-.4542$	$+.3057$	$+.3708$	$-.7502$

** PSD = Porcentaje de suelo desnudo (%)

DPF = Densidad de partículas finas del suelo (g / cm^3)

PROF2 = Biomasa en pié de gramíneas (g / m^2)

COBA = Cobertura aérea total ($m / 45 m$ de línea de Canfield)

Variación explicada por los ejes de ordenación. Con esta cantidad de variables ambientales se generaron solamente cuatro ejes de ordenación, los cuales explican el 100% de la relación entre éstas y la distribución de las especies vegetales (Cuadro 2). Sin embargo, puede observarse en el mismo cuadro que los tres primeros son los de mayor importancia, ya que presentan los coeficientes de correlación entre los ejes de las variables y los ejes de las especies mas altos (0.860, 0.827 y 0.765, del primero al tercero, en ese orden). Además, representan el 95.2% de la variación explicada por todos los valores característicos canónicos.

Estos últimos son proporcionales a la varianza explicada por los ejes respectivos, e indican la importancia del eje correspondiente en la explicación de los patrones de distribución de las especies, el grado de separación en los nichos de las mismas y la intensidad del gradiente generado (32). De acuerdo a los autores anteriores, los gradientes representados por los ejes sintéticos en el Cuadro 2 son, en general, suaves ($\lambda_s = 0.391, 0.292, 0.230$ y 0.046), ya que no rebasan el valor de 0.400, por lo que no ocurre una clara división entre las condiciones ambientales de ubicación de las especies vegetales. Lo anterior reafirma de alguna manera la suposición de trabajo sobre una misma unidad ecológica, por lo que los patrones de presencia y distribución de las especies es posible que sean explicadas por el manejo del pastoreo que se ha realizado en forma histórica. Si bien los porcentajes de varianza explicada en los datos de cobertura de las especies pueden parecer bajos, 13.8, 24.1, 32.2 y 33.8, para los cuatro ejes (Cuadro 2), estos valores son adecuados para bases de datos ecológicos, con gradientes no muy fuertes pero gran cantidad de ceros en los datos de las especies (33, 25).

Patrones de distribución de las especies vegetales y unidades de muestreo. Los patrones de distribución de las especies vegetales como respuesta a los efectos de las variables ambientales en los dos pri-

Cuadro 2.- Variación explicada en la cobertura aérea de especies vegetales por los ejes de ordenación sintéticos. Ejido Santa Librada, municipio de Mapimí, Dgo. México 2001.

	Ejes Sintéticos de Ordenación			
	1	2	3	4
Autovalores				
Porcentaje Acumulado de Varianza:				
1/ En los datos de las especies	13.8	24.1	32.2	33.8
2/ En la relación especie - ambiente	40.7	71.2	95.2	100.0
Correlación especie -ambiente	0.860	0.827	0.76	0.458

1/ Como proporción de la varianza total en los datos de las especies. Varianza total = 2.835.
2/ Como proporción de la suma de los autovalores canónicos = Varianza explicada por los ejes de ordenación. Suma de autovalores canónicos = 0.959

meros ejes de ordenación se presentan en la Figura 1. Esta fue generada mediante el programa CANODRAW de CANOCO. Aquí, las variables ambientales están representadas por líneas que parten del origen, las especies se ubican con el símbolo (+) y se identifican con las tres primeras literales del género y las unidades de muestreo con un punto o círculo lleno (•) y su número de identificación respectivo.

Con respecto a las variables ambientales, se observa en esta figura una ligera relación entre PROF2 y PSD, DPF y COBA y, entre DPF y PSD. Para las relaciones entre PROF2 y DPF, PSD y COBA y, entre PROF2 y COBA, éstas fueron mayores y negativas.

Las especies en el extremo superior derecho de la gráfica como *B. curtipendula*, *B. gracilis*, *Chloris gayana*, y *A. pansa* se localizan en la parte superior del gradiente de biomasa forrajera en pie (PROF2), cobertura aérea total (COBA), los valores más bajos de DPF, aunque relativamente mayor PSD. *Sporobolus airoides*, la especie de zacate dominante en el área, y *Setaria macrostachia* no aparecen sus siglas por claridad de la gráfica, pero sí el símbolo de su ubicación, encima de la costilla de vaca (*Atriplex canescens*) para el primero, y a un lado de *Panicum* sp. para el

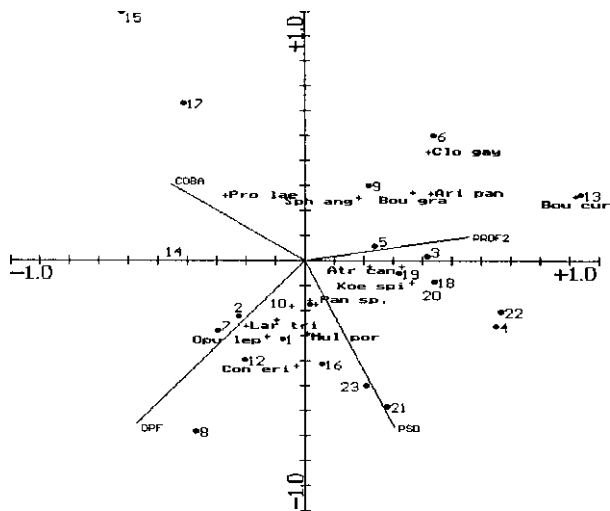


Fig. 1.- Diagrama de ordenación de especies vegetales (+) y unidades de muestreo (•) con relación a variables ambientales en un sitio de sabana en bajos del ejido Santa Librada, en el municipio de Mapimí, Durango. 2001. DPF = Densidad de partículas finas, PROF2 = Biomasa en pie de gramíneas, PSD = Porcentaje de suelo desnudo, COBA = Cobertura vegetal aérea. Bou cur = *Bouteloua curtipendula*, Bou gra = *Bouteloua gracilis*, Atr can = *Atriplex canescens*, Clo gay = *Chloris gayana*, Ari pan = *Aristida pansa*, Sph ang = *Sphaeralcea angustifolia*, Pro lae = *Prosopis laevigata*, Koe spi = *Koeleria spinulosa*, Pan sp. = *Panicum* sp., Mul por = *Mulhenbergia porteri*, Con eri = *Condalia ericoides*, Lar tri = *Larrea tridentata*, Opu lep = *Opuntia leptocaulis*.

segundo. Estas especies también se ubican en el extremo superior del gradiente de PROF2 y relativamente mayor PSD, aunque menor DPF y COBA. Como era de esperarse, el mezquite (*Prosopis laevigata*) se ubicó en el extremo del gradiente con la mayor cobertura (COBA) y menor PSD, esto último debido a la cantidad de materia orgánica sobre el suelo, pero también con la menor producción de gramíneas (PROF2) y mayor DPF. Por último, *Condalia ericoides*, tasajillo (*Opuntia leptocaulis*), gobernadora (*Larrea tridentata*) y dos especies, que por cuestiones de claridad de la gráfica no aparecen sus nombres, *Mimosa biuncifera* y *Flourensia cernua*, ambas arriba de la gobernadora, mostraron su mayor abundancia en las unidades con los mayores PSD y DPF y, los valores menores de PROF2 y COBA. Lo anterior evidencia un gradiente de deterioro en el área.

Las unidades de muestreo constituyen el centro de nicho de las especies, de manera que, entre mas cercana se ubique una especie a una unidad, es mayor la probabilidad de que sea contenida por ésta (32). De esta manera, la unidad 13 es la que presenta el valor mayor para PROF2, mientras que la UM 8 presenta un valor de cero para esta variable.

Ordenamiento de la condición ecológica de las unidades de muestreo. El método polar de Bray-Curtis utiliza solamente la información sobre las especies vegetales (análisis indirecto de gradientes), e implica seleccionar subjetivamente los extremos para el primer eje de ordenación (grado de condición). En este caso, la selección de la UM con la mejor condición no constituyó un problema, ya que la número 13 fue la que presentó una de las DPF mas bajas (1.1 g / cm^3), la mayor cantidad de biomasa en pie de gramíneas (584.3 g / m^2), la mas alta cobertura de *Sporobolus airoides* (15.8 m / 45 m) y de *Bouteloua curtipendula* (3.3 m / 45 m), una de las mas altas coberturas de materia orgánica sobre suelo (MOS = 71.4%) y, consiguientemente, uno de los mas bajos PSD (22%). Tal vez por lo mismo, presentó uno de los contenidos de materia orgánica en el suelo (MO = 5.1%) mas altos, aún cuando aquí ocurrió uno de los valores mas altos de compactación del suelo (COMP = 20.6 kg / cm^2) y una de las tasas de infiltración mas bajas (4.6 cm / hr). Esto último muestra lo complejo de las relaciones entre las variables.

En la selección del extremo opuesto se consideraron las unidades que no incluyeron biomasa en pie de gramíneas (PROF2 = 0) como fueron la 8, 14, 16, 17 y 21. Sin embargo, la primera fue una de las que mostraron la DPF mas alta, además de que presentó valores altos para PSD (70%) y susceptibilidad a la erosión (EROS = 0.29), además de los porcentajes menores para MOS (27.8%) y MO (1.8%).

La Figura 2 muestra el orden de las UMs con relación a los dos ejes de ordenación, obtenidos con el procedimiento anterior. El segundo sería un gradiente de cobertura, ya que la UM 22 que es la que se separa en forma importante del resto, presenta el valor menor de todas para COBA (0.70 m / 45 m) y un valor de intermedio a bajo de PROF2 (58.3 g / m^2).

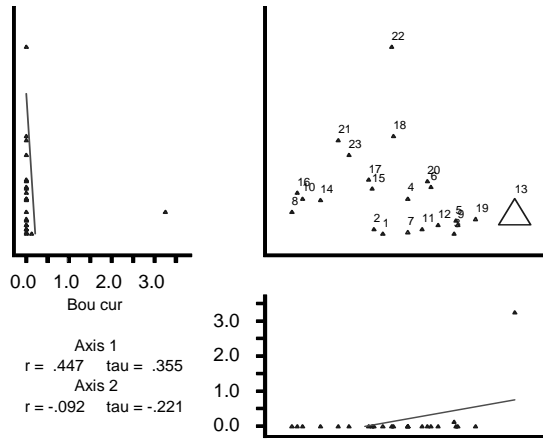


Fig. 4.– Ordenación de unidades de muestreo con base a su condición ecológica y la cobertura aérea de zacate banderita (*Bouteloua curtipendula*) mediante el procedimiento polar de Bray – Curtis en un sitio de sabana en bajíos del ejido Santa Librada, municipio de Mapimí, Dgo. México 2001

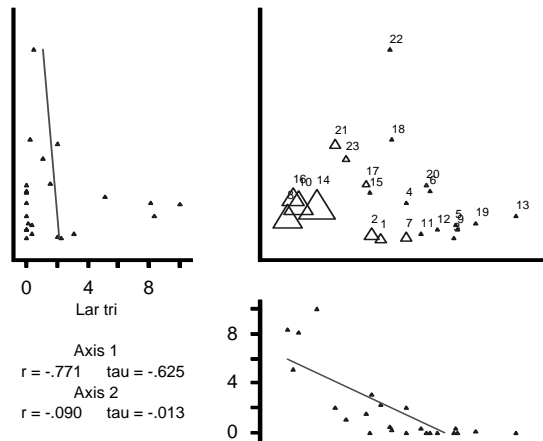


Fig. 5.– Ordenación de unidades de muestreo con base a su condición ecológica y la cobertura aérea de gobernadora (*Larrea tridentata*) mediante el procedimiento polar de Bray – Curtis en un sitio de sabana en bajíos del ejido Santa Librada, municipio de Mapimí, Dgo. México 2001

cies vegetales de mayor importancia con cada uno de los ejes anteriores. Además, en éstas el tamaño del símbolo de cada unidad de muestreo es proporcional al valor de la cobertura de la especie en la unidad respectiva.

En la primera de éstas se puede apreciar que *Sporobolus airoides* está relacionada tanto al gradiente de PROF2 como de COBA, con valores de correlación de + 0.781 y – 0.634, respectivamente, indicando que la

sentan en la parte inferior del cuadro por secuencias de unos y ceros, que en la misma fila diferencian los grupos para cada nivel de clasificación. De esta manera fueron generados 7 grupos de grados de condición, aunque no en orden de magnitud: 3, 5 y 13, en el primero; 6, 12, 15 y 20 en el segundo; 4, 9, 11 y 19 en el tercero; 1, 2 y 7 en el cuarto; 8, 10 y 14 en el quinto; 16 y 21 en el sexto y 17, 18, 22 y 23 en el último. El valor característico mas bajo ($\lambda = 0.18$) ocurrió en la separación de los grupos cuarto y quinto, por lo que a ambos se les consideró como uno solo. Para el resto, los autovalores variaron entre 0.232 y 0.491.

Por otra parte, el Cuadro 4 muestra los valores promedio de cobertura por especie y total (COBA), del promedio de biomasa en pie de gramíneas (PROF2) de las unidades de muestreo que conformaron los grupos anteriores de clases de condición. En éste se observa que las mejores tendencias que ajustan a este orden de condición son *Sporobolus airoides* con valores promedio de cobertura aérea de 13.1 a 0.7 m, *Larrea tridentata* con valores entre 0 y 6.7 m y, mezquite (*Prosopis laevigata*) con valores de 1.9 a 7.7 m, todos ellos por 45 m de línea de Canfield.

El zacate banderita (*Bouteloua curtipendula*) aparece solamente en el primer grado de condición, lo cual sugiere que quizás el zacatón alcalino no sea la especie clímax de zacates en el sitio, sino la especie anterior.

Este comportamiento de las principales especies se observa en la Figura 3. En ésta, la mejor condición se localiza en el punto de origen de la gráfica, donde se aprecian los valores mayores para PROF2 y la cobertura del zacatón alcalino, mientras que la cobertura de mezquite, hojásén y gobernadora se encuentran en su mínima expresión. En el segundo grado de condición, disminuyen los valores de prácticamente todas las variables, salvo del hojásén (*Flourensia cernua*). En el tercer grado de condición detectado, aumenta la cobertura total debido al incremento en

Cuadro 4.- Valores promedio para cobertura por especie de gramíneas y algunas arbustivas, cobertura total (m/45 m) y biomasa en pie de las gramíneas (g/m² x 10) en unidades de muestreo con diferentes grados de condición en una sabana de bajíos en el ejido Santa librada, municipio de Mapimí, Dgo. México 2001

Condi- ción	Medias de Cobertura Aérea (m/45 m)						COBA	PROF2*
	Mez- quite	Sporo- bolus	Hoja- sén	Goberna- nador	Nava- jita	Bande- rita		
1	2.3	13.1	1.6	0.1	0.4	1.1	19.38	26.58
2	1.9	7.2	2.3	0.1	0.1	0.0	14.50	16.98
3	2.9	8.9	8.6	2.5	0.0	0.0	23.60	10.86
4	5.6	3.6	0.0	0.0	0.4	0.0	14.40	10.32
5	7.7	0.1	0.9	0.6	0.0	0.0	11.20	1.78
6	3.6	0.7	3.9	6.7	0.0	0.0	15.87	0.87

* Producción de biomasa en pie de gramíneas (g / m² x 10)

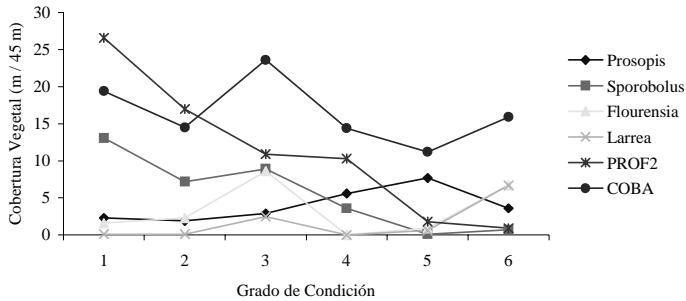


Fig. 6.- Comportamiento de la cobertura aérea de las principales especies vegetales y total con relación a los grados de condición de las unidades de muestreo en una sabana de bajíos en el ejido Santa Librada, municipio de Mapimí, Durango. México 2001

la cobertura del hojásén principalmente, mientras que PROF2 sigue disminuyendo. En el siguiente grado sigue disminuyendo la cobertura del zacatón alcalino y PROF2, al tiempo que se incrementa la del mezquite. Un quinto grado de condición está caracterizado por el máximo incremento de mezquite y, por último, en el sexto grado de condición se presenta el valor mínimo para PROF2, mientras que se incrementa la cobertura del hojásén y la gobernadora.

DISCUSION

(35) Usaron técnicas de análisis de gradiente directo en un sitio de bajíos para definir indicadores de su degradación, encontrando que la cobertura basal de la vegetación, la producción de biomasa en pie de tres especies claves, las tasas de infiltración y la compactación del suelo fueron los mejores indicadores del deterioro del suelo y la vegetación. Los análisis de gradiente usados aquí permiten plantear al menos dos hipótesis sobre el proceso de deterioro en el área y sitio de estudio. El porcentaje de partículas finas (PPF) incluyó las fracciones de arcilla, limo y arena muy fina (< 0.1 mm en la clasificación USDA) (16). Los coeficientes de correlación ponderada fueron de -.8135, .2152 y .4970 para las relaciones entre PPF y las fracciones arcilla, limo y arena, respectivamente. Lo anterior indicaría que las arenas muy finas (0.10-0.05 mm) fueron el principal constituyente de PPF en el sitio. Por lo anterior y ya que la UM 13 mostró un bajo valor para DPF, significaría que su contenido de arcilla fue relativamente alto y de arena bajo (39.6% y 14.4%, respectivamente). Fue el mayor contenido de arcilla y no la DPF alta la que determinó la compactación del suelo, como de hecho lo confirman las correlaciones entre estas variables (.3940 y -.2785 para las relaciones entre la compactación

y ARC y DPF, respectivamente). Por supuesto la relación entre COMP e INF fue negativa (-.2431). Algunas pruebas de infiltración realizadas sobre núcleos de pastos vivos y muertos mostraron que la tasa en éstos se incrementa, al menos 4 veces la medida en los espacios entre núcleos (hasta 49.7 cm / hr), compensando la baja tasa de infiltración en los espacios con mayor contenido de arcilla y posiblemente con un efecto del pisoteo por el ganado en pastoreo. La ganancia en humedad para el sitio disminuye conforme lo hace la proporción de núcleos de zacate. En este sentido, (28) encontraron en el pastizal halófilo de *Hilaria mutica* diferencia significativa entre las tasas de infiltración sobre zacate y debajo de mezquite con respecto a los espacios entre éstos.

Al parecer se han combinado dos fuerzas para originar dicho deterioro: una, el pastoreo y sus efectos asociados a la defoliación y al pisoteo, la cual disminuyó la cobertura vegetal de gramíneas. Esto ocurrió antes de que el área fuera ejido y el pastoreo se realizara en forma continua, como es el caso actual de las unidades 21, 22 y 23, que se encuentran fuera del área de exclusión al pastoreo durante el periodo de lluvias y parte del Otoño y, en menor extensión de las unidades 18, 19 y 20. Sin embargo, éstas 6 UMs son de las mas alejadas a la fuente permanente de agua. Las unidades 8, 16 y 17 estuvieron, hasta hace relativamente poco tiempo, sujetas a esta misma situación. En la mayoría del resto el pastoreo se realizó, y se realiza actualmente, una vez que se ha cosechado el maíz de secano, casi a principios del invierno. La disminución en este tipo de cobertura vegetal originó probablemente una tasa de infiltración menor durante los años lluviosos, mayores escurrimientos y concentraciones de agua en las partes mas bajas y cauces de agua. Esto incrementó la densidad de drenaje y/o la profundidad de los arroyos (21), en un efecto de círculo vicioso, que originó una menor disponibilidad de agua para las gramíneas ubicadas en las partes más altas o fuera de los cauces de agua.

La segunda fuente de disturbio ha sido la sequía climática, la que se ha asociado al sobre pastoreo para causar una sequía fisiológica en los pastos perennes. Es evidente que en los años de menor precipitación los escurrimientos superficiales solamente alcanzan los cauces del agua y los terrenos mas bajos, por lo que la vegetación en estas áreas presenta una mayor resistencia al pastoreo y una mayor tasa de sobre vivencia, contrario a las áreas con condiciones inversas.

Es claro, sin embargo, que algunas de las características físicas y de condición superficial del suelo en el sitio han sido modificadas con el cambio en la condición. De esta manera, el lavado de las arcillas y limos en las partes mas altas han originado un mayor contenido de arenas, sobre todo muy finas, por las pendientes suaves que ocurren en esta unidad. Aún cuando se supone que esto confiere al suelo una mayor capacidad de infiltración de agua, las condiciones ya descritas propician menores posibilidades de recibir escurrimientos superficiales (como en el caso de los

“pedestales de erosión”). Las partículas mas finas a su vez han sido depositadas en las partes mas bajas, donde se ubican actualmente los zacates, que aunadas al pisoteo del ganado han incrementado la compactación del suelo entre los pajones, disminuyendo las tasas potenciales de infiltración de agua. Los cambios en las características físicas del suelo han sido planteados para estas áreas (9), como una consecuencia de la actividad humana.

En un estudio de condición del pastizal en la Argentina (5) encontraron una relación negativa entre arbustos y zacates, dentro de los cuales solamente uno de los primeros se comportó como invasor, mientras que dos especies de zacate fueron los más afectados por el deterioro del sitio. Asimismo, se plantea la hipótesis de que en este tipo de sitios en Nuevo México, USA, en sus condiciones prístinas estaba dominado por *Bouteloua eriopoda* (36), mientras que hojásén, gobernadora y mezquite, se limitaban a pequeñas áreas y que, la dominancia actual de los últimos es una consecuencia de la redistribución del agua en el sitio.

Este proceso y los cambios generados hacen difícil que la unidad retorne a su condición original con simplemente eliminar la causa primaria del deterioro, el sobre pastoreo.

CONCLUSIONES

Las principales variables que permiten diferenciar clases de condición en el sitio de sabana *Prosopis-Sporobolus* son densidad de partículas finas y biomasa en pie de gramíneas.

Con respecto a las especies indicadoras de la condición aparecen *Bouteloua curtipendula*, *Sporobolus airoides*, *Prosopis laevigata*, *Larrea tridentata* y *Flourensia cernua*, como las más importantes.

LITERATURA CITADA

1. Aguilar AG, Capacidad de intercambio catiónico. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. SMCS. (1987) 93
2. Aguirre VEL, DL Huss, Fundamentos de manejo de pastizales. ITESM. 4ª Edición. Monterrey, N. L. México (1978) 77
3. Bartlett PN, G Cano, Manual de laboratorio de ecología. ITESM. 3ª Edición. Monterrey, N.L. (1978) 19
4. Bernardon AE, Pastizales naturales. SEP. SET. DGETA. FAO. México, D.F. (1978) 25
5. Beeskow AM, NE Elissalde, CM Rostagno, Ecosystem changes associated with grazing intensity on the Punta Ninfa rangelands of Patagonia, Argentina, *J Range Manage* 48 (1995) 517
6. Bouwer H, Cylinder Infiltrometer Methods of Soil Análisis. 2ª Ed. Physical and Mineralogical Properties. *Am Soc Agron Monograph* (1969) 70
7. Chapman HD, PF Pratt, Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas (1976) 195

8. Chavira JG, J Castellanos, Sales solubles. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. SMCS. (1987) 113
9. Delhoume JP. Potencialidades de producción de los suelos áridos en zona de temporal en el Bolsón de Mapimí. *Terra* 5 (1987) 163
10. De la Madrid M, Reflexiones sobre el concepto de desarrollo sustentable. Desarrollo sustentable retos y prioridades. Instituto de ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México (1994) 13
11. De la Peña I, El buen uso y manejo del agua de riego. Boletín técnico No. 8 del comité directivo del distrito de riego y drenaje. Cd. Obregón, Sonora, México (1977)
12. Dyksterhius EJ, Condición y manejo de pastizales basados en ecología cuantitativa. Trad. E. Hernández X. Folleto técnico No. 1 COTECOCA (1949)
13. Flores MS, Guía de toma y preparación de muestras de suelo para su análisis. Fac de Zoot UACH, 40
14. Gallardo S, J Gastó, Sistema de Clasificación de Pastizales. Sistemas en Agricultura. IISA 8/14 Dept. Zootecnia. Fac Agron. Pontificia Univ Catól Chile. Santiago, Chile (1987)
15. Gastó J, Clasificación de ecorregiones y determinación de sitios y condición. Manual de aplicación a municipios y predios rurales. Santiago de Chile (1993) 254
16. Gavande SA, Física de suelos. Principios y aplicaciones. Ed. Limusa, México (1976) 351
17. Heady HF, Rangeland Management. McGraw – Hill Book Co (1975) 460
18. Herrera AG, M Echavarría, L Chávez-R, G Baver-E, 1988. Análisis fisiográfico-ecológico de la vegetación del municipio de Rodeo, Dgo. FAZ-UJED, Venecia, Dgo. México (1988) 37
19. INEGI, Anuario estadístico del estado de Durango. Secretaria de Programación y Presupuesto. México, D.F. (1986) 924
20. INEGI, Carta de climas. Atlas nacional del medio físico. Secretaria de Programación y Presupuesto. México, D.F. (1988) 50
21. Leonard SG, GJ Staidl, KA Gebhardt, DE Prichard, Viewpoint: range site/ecological site information requirements for classification of riverine riparian ecosystems. *J Range Manage* 45 (1992) 431
22. León AR, A Aguilar, Materia orgánica, Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. SMCS. (1987) 217
23. McCune B, MJ Mefford, PC – ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. ver 2.0. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon , USA (1995)
24. Ochoa GJG, R Ochoa-G, R Javalera, 1987. Diagnóstico de la ganadería extensiva en el norte del estado de Durango. En: L.C. Fierro Ed. Resultados de investigación sobre ecología y manejo de pastizales en el norte de Durango. INIFAP-SARH. PE 2. (1987) 2
25. Palmer MW, Putting things in Even Better Order: The Advantage of Canonical Correspondence Analysis. *Ecology* 74 (1993) 2215
26. Pieper RD, Measurement techniques for herbaceous & shrubby vegetation. Dept Anim & Range Sci NMSU. Las Cruces, New México (1978) 78
27. Quiñónez-V JJ, Evaluación y análisis de sitios de pastizal y su condición ecológica en un matorral árido del norte de México. UACH. Tesis Doctoral. Chihuahua, Chih. México (1999) 198
28. Quiñónez-V JJ, T Sánchez-O, F Quiroz-S, Efecto de la cobertura vegetal sobre la infiltración de agua en un pastizal halófilo. XIV Semana Internacional de Agronomía. FAZ – UJED. Gómez Palacio, Dgo. México (2002)
29. Rodríguez GL, I Cabral-C, J Valdéz-R, Nuevos enfoques en la clasificación de la vegetación para manejadores de pastizales: Hábitats tipo. Depart recursos naturales renovables y botánica. UAAAN. Saltillo, Coah. México (1989) 54
30. Stoddart LA, AD Smith, TW Box, Range Management. Third Edition. McGraw – Hill Book Co (1975) 532
31. ter Braak CJF, CANOCO a FORTRAN, Program for Canonical Community Ordination. ver. 2.1. Institute of Applied Computer Science. Tech Rep CWA-82-02 (1988) 95
32. ter Braak CJF, PFM Verdonshot, Canonical Correspondence Analysis and Related Multivariate Methods in Aquatic Ecology. *Aquatic Sciences* 57 (1995) 255

33. USDA, Field Manual for Research in Agricultural Hydrology. *Agric Handbook* No 224 (1985) 532
34. Vélez J, El programa de ordenamiento ecológico como instrumento para la planeación estratégica del desarrollo sustentable. Desarrollo sustentable retos y prioridades. Instituto de ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México (1994) 55
35. Weixelman DA, DC Zamudio, KA Zamudio, RJ Tausch, Classifying ecological types and evaluating site degradation. *J Range Manage* 50 (1997) 315
36. Wondzell SM, GL Cunninham, B Bachelet, A Hierarchical Classification of landforms: Some Implications for Undertanding Local and Regional Vegetation Dynamics. In: *Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Zones Arids*. FSUS – SARH- INIFAP. Gen. Tech. Rep. RM. (1987) 150