

Potencial forrajero del pasto salado *Distichlis spicata* L. (Greene) en ecosistemas costeros de Baja California Sur, México por el método de “componentes principales”

Principal component analysis for determining forage potential of saltgrass *Distichlis spicata* L. (Greene) in coastal ecosystems of Baja California Sur, Mexico

Arturo Escobar-Hernández^{ab}, Enrique Troyo-Dieiguez^a, José Luis García-Hernández^a, Hugo Hernández-Contreras^b, Bernardo Murillo-Amador^a, Raúl López-Aguilar^a

RESUMEN

Se analizó un grupo de variables productivas y químicas del follaje de plantas silvestres de pasto salado *Distichlis spicata* L. Green, colectadas en sitios costeros de Baja California Sur, México, para evaluar el potencial forrajero de dicha especie halófila. Los resultados indican que las variables fibra detergente neutro (FDN) (67 %), fibra detergente ácido (FDA) (52 %) y cenizas (CNS) (15 %), son las variables de mayor peso estadístico, por tal razón son sugeridas como base para estudios futuros acerca de su potencial forrajero. Los componentes FDN, FDA y CNS resultaron ser de dos funciones lineales con las cuales se pueden realizar inferencias, explicando el 84 % de la varianza del potencial forrajero de la especie. Con base en lo anterior, se identificaron cuatro tipos forrajeros: los del primer grupo (orilla de estero), fueron influenciados significativamente por FDN y CNS, por lo cual *D. spicata* se califica como un forraje de fibra asociado al contenido de minerales; los del segundo grupo (Mar Azul), califican a la especie como un forraje relativamente equilibrado; el tercer grupo (centro de estero y playa de estero) describe un forraje fuente de minerales, por sugerir una mayor influencia de cenizas; el cuarto grupo (San Carlos), por indicar una fuerte influencia de FDA, califica a un forraje de baja digestibilidad. Los resultados sugieren que las poblaciones de *D. spicata* son de diferente potencial forrajero, según las características agroecológicas, suelo y clima de los sitios de establecimiento; que es una especie forrajera fibrosa, de baja digestibilidad y con alto contenido de minerales.

PALABRAS CLAVE: Potencial forrajero, Pasto salado, FDN, FDA, Minerales, Funciones forrajeras.

ABSTRACT

Forage potential of the non-domesticated saltgrass *Distichlis spicata* (Gramineae) was determined by analyzing its chemical and productive variables using principal components analysis (PCA). Plants were collected from five sites amongst three locations, in areas including wetlands shores, centers, and beach. The results suggested that *D. spicata* is a rough, poorly digested forage, as explained by the statistical significance of the variables, which indicate that neutral detergent fiber (NDF: 67%), acid detergent fiber (ADF: 52%), and minerals (ASH: 15%) were the main variables in the PCA. NDF, ADF, and ASH components were found to be part of two lineal functions that explain 84% of the total variance of the forage potential. Based on these functions, four forage types were identified: Chametla wetlands shore is significantly influenced by NDF and ASH and qualified as forage with fiber and mineral content in association; Mar Azul, qualified as a balanced forage; Chametla wetlands center and beach, influenced by ash, qualified as mineral-source forage; and San Carlos, influenced by ADF and classified as a poorly digested forage. The results suggest that different populations of *D. spicata* have different forage potential. *D. spicata* was generally defined as a fiber forage species, with low digestibility and high mineral content.

KEY WORDS: Forage potential, Saltgrass, NDF, ADF, Minerals, Forage functions.

Recibido el 28 de agosto de 2003 y aceptado para su publicación el 7 de mayo de 2004

a Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo Santa Rita 23090 La Paz, BCS, México. etroyo04@cibnor.mx. Correspondencia con el segundo autor.

b Universidad Autónoma de Baja California Sur.

INTRODUCCIÓN

El pasto salado *Distichlis spicata* es una especie no domesticada de la familia de las gramíneas, nativa de las costas de Baja California Sur^(1,2); generalmente se le encuentra en estado verde durante el periodo de sequía, al tiempo que el resto de los pastos forrajeros en el sitio no están disponibles; por esta razón, el ganado lo consume, aún cuando en otras épocas no lo apetezca⁽³⁾. Aunque se considera invasor en determinadas condiciones y usos, frecuentemente es deseable en sitios de concentración de la actividad del ganado, debido a que es altamente resistente al pisoteo intenso y al pastoreo. En virtud de que al forraje de *Distichlis* se le ha considerado de baja calidad, se han realizado esfuerzos para remplazarlo por pastos más apetecibles y tolerantes a la salinidad, pero los métodos utilizados no han sido efectivos, debido a que el profuso sistema de rizomas se constituye en una fuerte limitante para el establecimiento de pastos de reemplazo⁽⁴⁾.

Su contenido químico perfila a un forraje fibroso, de bajo contenido proteínico y con alto contenido mineral, pero cuando se valora en estado tierno, tal como lo son los rebrotes después de una quema, sus valores químicos mejoran, aumenta la proteína cruda y mantiene su contenido en fibra^(3,4,5). La respuesta de *D. spicata* a la salinidad ha indicado que el rendimiento y contenido químico varía por la concentración de sal en el agua de riego o en la solución nutritiva y por el tipo de suelo. Lugg⁽⁶⁾ concluyó que el pasto salado tiene un gran potencial para ser irrigado con agua altamente salina cuando otros forrajes no están disponibles.

En este trabajo se hace uso del análisis de componentes principales (ACP), en virtud de que en las investigaciones de campo, donde se presenta el efecto de un número significativo de factores, no es adecuado realizar inferencias con análisis uni-variados, porque además de individualizar los resultados, éstos pueden conducir a conclusiones falsas⁽⁷⁾. En este tipo de estudios agroecológicos o de pastizales, se requiere usar modelos estadísticos que proporcionen inferencias confiables, que puedan reflejar un alto nivel de correlación entre todas las

INTRODUCTION

The saltgrass *Distichlis spicata* is a non-domesticated species of the Graminae family that is native to the coasts of Baja California Sur, Mexico^(1,2). It is generally green during drought periods when other pasture forage grasses in the region are not available. For this reason cattle eat it though they do not find it appealing in other seasons⁽³⁾. Under certain conditions and uses it is considered invasive, though under others, such as sites with high cattle concentration and activity, it is desirable since it is highly resistant to intense trampling and grazing. As forage, *D. spicata* is considered low quality and efforts have been made to replace it with more appealing salt tolerant grasses. Replacement efforts have not been successful because the dense rhizome system effectively limits establishment of replacement grasses⁽⁴⁾. This species' chemical profile is that of fibrous forage, with low protein and high mineral content. When evaluated as a young plant (sprouts after a burn), its chemical characteristics improve and protein content increases, though fiber content remains high^(3,4,5). The response of *D. spicata* to salinity indicates that its yield and chemical content vary, depending on soil type. Lugg⁽⁶⁾ concludes that saltgrass has excellent potential as it tolerates irrigation with very salty water when other forage is not available.

Principal component analysis (PCA) was used in this study because using an alternative, such as univariate analysis methods on multivariate field data, in which a number of factors affect results, can individualize results and lead to false conclusions⁽⁷⁾. This type of agro-ecological or grassland study requires statistical models that produce trustworthy inferences and reflect the high correlation level between study variables. Under these circumstances and with these expectations, PCA is recommended as the most appropriate mathematical statistical tool⁽⁸⁾.

This kind of analysis (PCA) has been used in exploratory research in which a large number of variables are to be studied. A principal component (PC) is seen as a representation of the structure of the observed data resulting from an analysis matrix with k variables and n observations. This method

variables del objeto de estudio. En estas circunstancias y expectativas, el ACP se recomienda como una de las herramientas matemático-estadísticas más apropiadas⁽⁸⁾.

El ACP ha sido utilizado en investigación exploratoria, donde las variables a estudiar son numerosas. Se considera que un componente principal (CP) es una representación de la estructura de datos en observación, que resulta de una matriz de análisis de un número k de variables, con n observaciones. En este método se obtienen tantos componentes como variables se analicen. Como parte de los resultados se generan nuevas variables derivadas de las variables originales, con dimensionalidad reducida pero con la mínima pérdida de información. Según el análisis secuencial de la disgregación de la varianza numérica, el CP más importante es aquél que presenta la mayor varianza (eje valor), lo que significa que constituye la mejor representación para explicar el objeto de estudio. En cada CP resultante, se valora la participación de cada variable en estudio para la construcción de una función lineal (eje vector) en el objeto de estudio; además, el método proporciona los valores correspondientes de las coordenadas, que al ser graficados, sugieren las tendencias de dispersión y agrupamiento, con lo que es posible realizar las clasificaciones y caracterizaciones de las observaciones tomando en cuenta la influencia de las variables que las componen⁽⁹⁻¹³⁾.

El objetivo de este trabajo fue obtener una calificación respaldada numéricamente con la variación observada, para determinar el potencial forrajero de *D. spicata* en sitios naturales semiáridos y salinos de Baja California Sur, mediante el análisis de variables productivas y químicas del follaje de plantas silvestres.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se realizó en el estero de Chametla en La Paz, ubicado en las coordenadas 24° 05' N y 110° 20' O, el estero de Puerto San Carlos en Bahía Magdalena, sobre la costa del Océano Pacífico, en 25° 45' N y 112° 07' W y en Playa Mar Azul, cerca de Cabo San Lucas, sobre la

produce as many components as there are analyzed variables, as well as new variables with reduced dimensionality that are derived from the original variables but with minimum information loss. Depending on the sequential analysis for disaggregating numerical variance, the most significant PC is that with the highest variance (value axis), meaning that it constitutes the best representation for explaining the results. Within each resulting PC, the participation of each study variable in the building of a linear function (vector axis) in the subject is evaluated. Also, this method provides coordinate values, which, when plotted, suggest dispersion and grouping tendencies, making it possible to classify and characterize observations given the greatest influence among the variables that compose them⁽⁹⁻¹³⁾.

This study attempts to obtain a numerically supported quantification and qualification, according to the observed variations, to determine the forage potential of *D. spicata* in semiarid and saline sites in Baja California Sur from analysis of wild plant foliage chemical and productive variables.

MATERIALS AND METHODS

Sampling was done at three sites in Baja California Sur, Mexico: the wetlands of Chametla, near La Paz (24° 05' N; 110° 20' W), the wetlands of Puerto San Carlos in Magdalena Bay on the Pacific coast (25° 45' N; 112° 07' W); and Playa Mar Azul near Cabo San Lucas on the Pacific coast (23° 07' N; 110° 06' W).

Plants from Chametla were collected from the wetlands shores, center and beach, while the plants from San Carlos and Playa Mar Azul were collected from the beach. Two samples of vegetal matter were taken at each site by cutting at ground level within 1,600 sq. cm. Variables, in g/m², were determined for green matter (GM), green stem matter (GSM), green leaf matter (GLM), and dead matter (DEM).

Samples were exposed to the sun for 48 h and then oven dried for 24 h at 60 °C until reaching constant weight. After drying, dry matter (DM), dry stem

costa del Océano Pacífico, en 23° 07'N y 110° 06'W.

En el sitio Chametla se colectaron plantas de orilla de estero, plantas de centro de estero y plantas de playa de estero. En el sitio de San Carlos y en Playa Mar Azul se colectaron plantas de playa también se colectaron plantas de playa. En cada sitio se tomaron dos muestras de material vegetativo cortando el pasto hasta el nivel de suelo en parcelas de 40 x 40 cm, y se determinaron las variables siguientes, en g/m²: materia verde (MV), materia verde de caña (MVC), materia verde de hoja (MVH) y materia muerta (MM).

Las muestras fueron expuestas al sol por 48 h y luego secadas en horno durante 24 h a 60 °C hasta peso constante. Después se determinó, en g/m², la materia seca (MS), materia seca en caña (MSC) y la materia seca en hoja (MSH). Una parte de este material se llevó al laboratorio de Bromatología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), donde se determinaron las siguientes variables: humedad (HUM), cenizas (CNS), proteína cruda (PC), lípidos (LIP), fibra cruda (FC), extracto libre de nitrógeno (ELN) y energía (ENG). Otra parte se llevó al Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), donde se determinó la fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (HEM), celulosa (CEL) y lignina (LIG).

Para el ACP se utilizó el programa SAS ver 6.12⁽¹⁴⁾. Se eligieron los componentes más importantes según su peso numérico, atendiendo la secuencia bio-matemática del método; con las variables de mayor coeficiente de carga se construyeron funciones lineales. Posteriormente se realizó un análisis de reducción de variables, utilizando los coeficientes de carga, que en cada caso fue el coeficiente de determinación asignado a cada variable en los CP's más significativos. Finalmente, se caracterizaron los tipos forrajeros utilizando la distribución de tendencias de las muestras de forraje en un eje de coordenadas, con las correspondientes influencias de las variables que componen a cada función.

matter (DSM), and dry leaf matter were determined (g/m²). One portion of the samples was analyzed for composition at the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste to determine: moisture (MST), ash (ASH), crude protein (CP), lipids (LIP), crude fiber (CF), nitrogen-free extract (NFE), and energy (ENG). Another portion was taken to the Animal Nutrition Laboratory of the Universidad Autónoma de Baja California Sur, to determine neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), hemicellulose (HEM), cellulose (CEL), and lignin (LIG).

For PCA, the most significant components were chosen by numeric weight following the method's biometrical sequence, and the linear functions were built using the variables with the highest load coefficients. A variables reduction analysis was then done using the load coefficients, which in every case were the determination coefficient assigned each variable in the most significant PCs. Finally, forage types were characterized using forage sample trend distribution on a coordinate axis, with the corresponding influences of the variables that make up each function.

RESULTS

A correlation matrix was generated from the original production and chemical variables data to make the corresponding standardization, given the difference in representation in the data (Table 1). Nineteen principal components (equivalent in number to the original variables) were obtained from this matrix, and from these the first three were shown as the most significant given that their value was above zero. In this case the variance proportion contained in the components was the highest found because of their participation in the accumulated variance⁽⁹⁾.

The first three principal components explained 92.7 % of the variance, with PC1 explaining 55.7 %, PC2 explaining 24 %, and PC3 explaining 13 % (Table 2). The variance in each resulting PC was explained by the load coefficients to assigned each variable⁽⁷⁾.

The variance represented in PC1 was best explained by the productive variables positively associated

RESULTADOS

De los datos originales de las variables productivas y químicas se obtiene una matriz de correlación, para la correspondiente estandarización dada la diferencia de representación de los datos (Cuadro 1). De esta matriz se obtienen 19 componentes principales, equivalentes al número de variables originales, de los cuales los primeros tres son los más importantes en virtud de que su valor propio es superior a cero; en este caso la proporción de la varianza que contienen es la más alta dada su participación en la varianza acumulada⁽⁹⁾.

En el Cuadro 2, se observa que los tres componentes principales explican el 92.7% de la varianza, y que el primer componente principal (CP1) es el más importante porque explica el 55.7 % del total de la varianza; también que el segundo componente (CP2) explica el 24 % y el tercer componente (CP3) explica el 13 %. La varianza que contiene cada CP resultante, es explicada por los coeficientes de carga asignados a cada variable⁽⁷⁾.

En los datos consignados en el Cuadro 3, se observa que la varianza representada en el CP1, es mejor explicada por todas las variables productivas asociadas positivamente a CNS y negativamente a ELN. También se observa que la varianza en el CP2, es mejor explicada por las variables CEL, HEM, FDA, FC y PC. Para el CP3, la varianza puede explicarse principalmente por las variables LIG y FDN.

Los coeficientes de carga asignados a cada variable con mayor influencia en el componente, se usaron como coeficientes de combinación lineal para expresar los componentes principales, a manera de las siguientes funciones lineales^(7,9,11):

$$Y1 = 0.297539(MV) + 0.293953(MVC) + 0.294363(MVH) + 0.287885(MM) + 0.299861(MSC) + 0.291781(MSH) + 0.291915(MS) + 0.270731(CNS) - 0.259724(ELN) \dots\dots\dots (1a)$$

$$Y2 = 0.446575(CEL) - 0.428538(HEM) + 0.407020(FDA) - 0.378603(FC) + 0.366490(PC) \dots\dots\dots (1b)$$

$$Y3 = 0.533476(LIG) + 0.453873(FDN) \dots\dots\dots (1c)$$

Cuadro 1. Matriz de correlación para estandarización de variables productivas y químicas en análisis con componentes principales (%)

Table 1.- Percentage correlation matrix for standardization of productive and chemical variables in principal components analysis (%)

	GM	GSM	GLM	DEM	DSM	DLM	DM	ASH	NFE	CEL	HEM	ADF	CF	CPL	LIG	NDF
GM	100															
GSM	97	100														
GLM	97	92	100													
DEM	97	97	91	100												
DSM	98	99	95	96	100											
DLM	95	91	98	92	94	100										
DM	99	96	95	97	98	95	100									
ASH	73	70	78	69	75	80	71	100								
NFE	-72	-69	-69	-68	-73	-71	-72	-93	100							
CEL	22	20	09	24	23	15	31	-16	-00	100						
HEM	-30	-27	-17	-30	-31	-22	-37	-00	17	-98	100					
ADF	48	49	35	50	49	40	56	-01	-12	91	-90	100				
CF	32	38	33	32	33	28	28	48	-50	-69	64	-45	100			
CP	-33	-40	-33	-33	-33	-26	-28	-40	43	67	-63	41	-98	100		
LIG	-36	-26	-49	-29	-37	-52	-31	-74	49	17	-02	18	01	-10	100	
NDF	-32	-27	-38	-26	-36	-39	-29	-83	75	25	-04	26	-31	19	81	100

GM = green matter; GSM = green stem matter; GLM = green leaf matter; DEM = dead matter; DSM = dry stem matter; DLM = dry leaf matter; DM = dry matter; ASH = ash; NFE = nitrogen-free extract; CEL = cellulose; HEM = hemicellulose; ADF = acid detergent fiber; CF = crude fiber; CP = crude protein; LIG = lignin; NDF = neutral detergent fiber.

Cuadro 2. Componentes principales resultantes de la matriz de correlación de 19 variables vegetativas y químicas del follaje de *Distichlis spicata*

Table 2.- Principal components resulting from correlation matrix of 19 vegetation and chemical variables of foliage from wild *Distichlis spicata* growing at five coastal sites in Baja California Sur, Mexico

	Value	Difference	Proportion	Accumulated
Y1	10.4991	5.86645	0.552584	0.55258
Y2	4.6326	2.14286	0.243823	0.79641
Y3	2.4898	1.60666	0.131041	0.92745
Y4	0.8831	0.56409	0.046480	0.97393
Y5	0.3190	0.24292	0.016791	0.99072
Y6	0.0761	0.01916	0.004006	0.99473
Y7	0.0570	0.02185	0.002997	0.99772
Y8	0.0351	0.02694	0.001847	0.99957
Y9	0.0082	0.00816	0.000430	1.00000

Y = principal components.

Cuadro 3. Coeficientes de carga (Cc) y coeficientes de determinación (R²) de variables vegetativas y químicas de plantas silvestres de *Distichlis spicata*, en tres componentes principales (Y) más importantes

Table 3. Load coefficients (LC) and determination coefficients (R²) for vegetation and chemical variables of foliage from wild *Distichlis spicata* in the three most significant principal components (Y)

Variable	Y1 55%		Y2 24%		Y3 13%	
	LC	R ²	LC	R ²	LC	R ²
GM	0.297539	0.96410	0.085221	0.18343	0.085709	0.13524
GSM	0.293953	0.95248	0.066736	0.14364	0.154069	0.24311
GLM	0.294363	0.95380	0.044868	0.09657	0.007704	0.01216
DEM	0.287885	0.93281	0.091900	0.19780	0.120603	0.19030
DSM	0.299861	0.97162	0.085076	0.18311	0.079649	0.12568
DLM	0.291781	0.94544	0.073758	0.15875	-0.024893	-0.03928
DM	0.291912	0.94586	0.118599	0.25527	0.098377	0.15523
MST	-0.241902	-0.78382	-0.099881	-0.21498	0.260281	0.41070
ASH	0.270731	0.87723	-0.096989	-0.20876	-0.251397	-0.39668
PC	-0.137336	-0.44500	0.366490	0.78882	-0.261506	-0.41263
LIP	-0.198802	-0.64417	0.132183	0.28450	-0.384035	-0.60597
CF	0.143160	0.46387	-0.378603	-0.81489	0.189225	0.29858
NFE	-0.259724	-0.84156	0.063696	0.13710	0.141113	0.22266
ENG	-0.236819	-0.76735	0.255304	0.54951	-0.041126	-0.06489
NDF	-0.162590	-0.52683	0.133922	0.28825	0.453873	0.71617
ADF	0.096297	0.31202	0.407020	0.87605	0.195194	0.30800
HEM	-0.051431	-0.16665	-0.428538	-0.92237	0.018303	0.02888
CEL	0.017913	0.05804	0.446575	0.96119	0.066425	0.10481
LIG	-0.149552	-0.48458	0.025670	0.05525	0.533476	0.84177

Y = principal components; LC = load coefficient (eigenvector); R² = correlation coefficient (original values / load coefficients); GM = green matter; GSM = green stem matter;GLM = green leaf matter; DEM = dead matter; DSM = dry stem matter;DLM = dry leaf matter; DM = dry matter;MST = moisture; ASH = ash; CP = crude protein; LIP = lipids; CF = crude fiber; NFE = nitrogen-free extract; ENG = energy; NDF = neutral detergent fiber; ADF = acid detergent fiber; HEM = hemicellulose, CEL = cellulose; LIG = lignin.

Es importante señalar que los coeficientes de carga otorgados a cada variable en la función, son biológicamente ficticios, en virtud de que únicamente cumplen una intermediación numérica; por tal razón, se procede a darle una denominación de acuerdo a la naturaleza del objeto de estudio⁽⁶⁾. Para ello, se toma el coeficiente de determinación (R²), que resulta cuando se relacionan los datos originales con el coeficiente de carga de cada variable en la función correspondiente^(7,11,15). Con los coeficientes de determinación reportados en el Cuadro 3, se define que la expresión **1a** es una función de producción de forraje asociada positivamente a CNS y negativamente a ELN. Por

with ASH and negatively associated with NFE (Table 3). Variance in PC2 was best explained by the CEL, HEM, ADF, CF and CP variables, while PC3 was best explained by the LIG and NDF variables. The load coefficients assigned each variable with the greatest influence in the component were used as components in a linear combination to express the principal components, with the following linear functions^(7,9,11):

$$Y1 = 0.297539(GM) + 0.293953(GSM) + 0.294363(GLM) + 0.287885(DEM) + 0.299861(DSM) + 0.291781(DLM) + 0.291915(DM) + 0.270731(ASH) - 0.259724(NFE) \dots\dots\dots (1a)$$

su parte, la ecuación **1b** es una función de fibra forrajera asociada al contenido de proteína cruda y, finalmente, la expresión **1c** es una función de fibra forrajera indigestible.

Como uno de los objetivos fundamentales del ACP es reducir el espacio de un objeto de estudio con la mínima pérdida de la varianza, las funciones obtenidas fueron sometidas a un proceso de reducción^(8,9,16). Al utilizar el criterio biomatemático, que establece que al analizar la relación entre dos variables la variabilidad de una de ellas es explicada por la variabilidad de la otra, se procedió a reducir las funciones resultantes tomando los valores con la mayor correlación ($r^2=90\%$), mostrados en el Cuadro 1. De este modo, la función **1a** fue reducida a la variable MS, ya que ella está altamente relacionada con todas las variables productivas ($r^2=95\%$). También se redujo con CNS, en virtud de que ésta se relaciona con ELN ($r^2=93\%$). Al aplicar la misma regla de decisión, la función **1b** se reduce a FC porque la misma se relaciona con PC ($r^2=-98\%$) y a FDA porque ésta última se relaciona con CEL ($r^2=91\%$) y CEL con HEM ($r^2=-98\%$). Cabe hacer notar que no se encontró una correlación alta entre las variables de **1c**. De esta manera, las funciones citadas anteriormente quedan simplificadas a las siguientes expresiones:

$$Y1 = 0.291915(MS) + 0.270731(CNS) \dots\dots\dots (2a)$$

$$Y2 = 0.407020(FDA) - 0.378603(FC) \dots\dots\dots (2b)$$

$$Y3 = 0.533476(LIG) + 0.453873(FDN) \dots\dots\dots (2c)$$

De los datos originales que conformaron las variables de las funciones 2a, 2b y 2c, sometidos a ACP, resultaron tres nuevos CP's importantes que en conjunto explican el 96 % de la varianza de la matriz de datos originales. Como se observa en el Cuadro 4, el primer componente ($CP1_N$) explica el 51 % de la varianza original, el segundo componente ($CP2_N$) explica el 27 % y el tercer componente ($CP3_N$) explica el 18 %. Al considerar los coeficientes de carga de cada variable en el componente correspondiente, se observa que en el $CP1_N$ CNS (0.562634) y FDN (- 0.511548) son las variables más influyentes. En el $CP2_N$, la

$$Y2 = 0.446575(CEL) - 0.428538(HEM) + 0.407020(ADF) - 0.378603(CF) + 0.366490(CP) \dots\dots\dots (1b)$$

$$Y3 = 0.533476(LIG) + 0.453873(NDF) \dots\dots\dots (1c)$$

It is notable that the load coefficients given each variable in the function are biologically fictitious in that they are only numerical intermediaries. They are named based on the nature of the studied subject⁽⁶⁾, using the determination coefficient (R^2) resulting from the relation of the original data to the load coefficient of each variable in the corresponding function^(7,11,15). Using the determination coefficients (Table 3), Equation **1a** was defined as a forage production function positively associated with ASH and negatively associated with NFE; Equation **1b** was defined as a forage fiber function associated with crude protein content; and Equation **1c** was defined as an indigestible forage fiber function.

Because one of the fundamental objectives of PCA is to reduce the space of a study subject with minimum loss of variance, these functions were submitted to a reduction process^(8,9,16). Using the biomathematical criterion that in analyzing the relationship between two variables the variability of one is explained by the other, the resulting functions were reduced to the values with the highest correlation, $r^2 = 90\%$ (Table 1). In this way, the **1a** function was reduced to the DM variable since this was highly correlated to all the productive variables ($r^2 = 95\%$). It was also reduced with ASH because this is related to NFE ($r^2 = 93\%$). Applying the same decision rule, function **1b** was reduced to CF because it is related to CP ($r^2 = -98\%$), and to ADF because of its relation to CEL ($r^2 = 91\%$) and the relation of CEL to HEM ($r^2 = -98\%$). No high correlation was found between the variables in function **1c**. After reduction, the above functions were simplified to the following functions:

$$Y1 = 0.291915(DM) + 0.270731(ASH) \dots\dots\dots (2a)$$

$$Y2 = 0.407020(ADF) - 0.378603(CF) \dots\dots\dots (2b)$$

$$Y3 = 0.533476(LIG) + 0.453873(NDF) \dots\dots\dots (2c)$$

Three new significant PCs resulted from the original data forming the variables in functions **2a**, **2b** and

variable FDA (0.762949) fue la más influyente, mientras que en el CP3_N, la variable más influyente fue FC (0.750248). Con los resultados obtenidos en este último paso secuencial, los componentes principales ahora se expresan mediante las siguientes funciones:

$$Y1 = 0.562634(CNS) - 0.511548(FDN) \dots\dots\dots (3a)$$

$$Y2 = 0.762949(FDA) \dots\dots\dots (3b)$$

$$Y3 = 0.750248(FC) \dots\dots\dots (3c)$$

Con los coeficientes de determinación (R²), de cada variable integrante de las funciones arriba enunciadas, se define que **3a** es una función de fibra forrajera (FDN) asociada al contenido de minerales (CNS), **3b** sigue siendo una función de fibra forrajera indigestible, en tanto que **3c** se expresa como una función de fibra cruda.

Los datos originales de las variables que integran las funciones **3a**, **3b** y **3c**, fueron sometidos a un tercer ACP. A partir del último análisis, se obtuvieron dos CP's importantes que en conjunto explican el 84 % de la varianza de la matriz de datos originales. En el Cuadro 5, se observa que el primer componente principal (CP1_F) explica el 56 % de esa varianza y el segundo (CP2_F) explica el 28 %. Al considerar los coeficientes de carga de cada variable en el componente correspondiente, se nota que en el primero de ellos CNS (0.582024) y FDN (- 0.578614) se confirman como las variables influyentes, mientras que en Y2 se acentúa FDA como la variable influyente. Estos componentes principales resultantes, ahora son expresados con las siguientes funciones:

$$Y1 = 0.582024(CNS) - 0.578614(FDN) \dots\dots\dots (4a)$$

$$Y2 = 0.762815(FDA) \dots\dots\dots (4b)$$

Al proceder la denominación forrajera de estas funciones, usando los coeficientes de determinación (R²) del Cuadro 5, a **4a** se le denomina como una función de fibra forrajera (FDN) asociada a minerales (CNS), mientras que a **4b** se le denomina como una función de fibra forrajera indigestible (FDA).

2c in the PCA (Table 4). These explain 96% of the variance in the original data matrix, with the first (PC1_N) explaining 51 % of the variance, the second (PC2_N) 27 %, and the third (PC3_N) 18 %. Of the load coefficients of each component, ASH (0.562634) and NDF (-0.511548) were the most influential in PC1_N, ADF (0.762949) was most influential in PC2_N, and CF (0.750248) in PC3_N. Based on the results of the final sequential step, the principal components were then expressed as the following functions:

Cuadro 4. Valores de análisis con componentes principales para reducción de las funciones 2a y 2b

Table 4. Analysis values with principal components for reduction of functions 2a and 2b

Correlating matrix						
	DM	ASH	CF	NDF	ADF	LIG
DM	1.0000					
ASH	0.7159	1.0000				
CF	0.2810	0.4817	1.0000			
NDF	-0.2920	-0.8321	-0.3093	1.0000		
ADF	0.5597	-0.0111	-0.4498	0.2618	1.0000	
LIG	-0.3179	-0.7383	0.0131	0.8104	0.1796	1.0000

Correlation matrix eigenvalues				
	Eigenvalue	Difference	Proportion	Accumulated
Y1	3.05419	1.41428	0.509031	0.50903
Y2	1.63991	0.55331	0.273318	0.78235
Y3	1.08659	0.90292	0.181099	0.96345
Y4	0.18368	0.16333	0.030613	0.99406
Y5	0.02034	0.00506	0.003391	0.99745
Y6	0.01529	.	0.002548	1.00000

Eigenvectors						
	Y1 51%		Y2 27%		Y3 18%	
	Lc	R ²	Lc	R ²	Lc	R ²
DM	0.358415	0.62637	0.533612	0.68334	0.322512	0.33619
ASH	0.562634	0.98327	0.088374	0.11317	0.081510	0.08497
CF	0.270419	0.47259	-0.312288	-0.39991	0.750248	0.78206
NDF	-0.511548	-0.89399	0.160824	0.20595	0.245910	0.25634
ADF	-0.070343	-0.12293	0.762949	0.97702	-0.009753	-0.01017
LIG	-0.463924	-0.81077	0.044384	0.05684	0.515658	0.53752

Y = principal components; LC = load coefficient (eigenvector); R² = determination coefficient (original values/load coefficients); DM = dry matter; ASH = ash; CF = crude fiber; ADF = acid detergent fiber; LIG = lignin; NDF = neutral detergent fiber.

Cuadro 5. Valores de análisis con componentes principales para reducción de las funciones 3a y 3b

Table 5.- Analysis values with principal components for reduction of functions 3a and 3b

	Correlation Matrix			
	ASH	NDF	CF	ADF
CNS	1.0000			
FDN	-0.0111	1.0000		
FC	0.4817	-0.3093	1.0000	
FDA	-0.8321	0.2618	-0.4498	1.0000

Correlation matrix eigenvalues

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Accumulated
Y1	2.23312	1.11289	0.558281	0.55828
Y2	1.12024	0.54093	0.280060	0.83834
Y3	0.57931	0.51197	0.144826	0.98317
Y4	0.06733	.	0.016833	1.00000

Eigenvectors

	Y1 55.8%		Y2 28%	
	Lc	R ²	Lc	R ²
CNS	0.582024	0.86976	0.426242	0.45114
FDN	-0.578614	-0.86466	-0.295346	-0.31260
FC	0.483518	0.72255	-0.386266	-0.40883
FDA	-0.304409	-0.45490	0.762815	0.80737

Y = principal components; LC = load coefficient (vector axis); R² = determination coefficient (original values/load coefficients); ASH = ash; ADF = acid detergent fiber; CF = crude fiber; NDF = neutral detergent fiber.

La tendencia de agrupamiento de las muestras (Figura 1), indica que el potencial forrajero contenido en las distintas muestras de follaje es diferente. Al relacionar dicho agrupamiento con la participación de las funciones 4a y 4b, se demuestra la existencia de cuatro grupos forrajeros de *D. spicata*:

El primer grupo, corresponde a *D. spicata* orilla de estero (A y B), que al estar alejados de Y2, sugiere una fuerte influencia de FDN y CNS (Y1), lo que permite calificarlo como un forraje de fibra asociado al contenido de minerales. El segundo grupo, que corresponde a Mar Azul, se ubica hacia el centro de las coordenadas, lo que permite calificarlo como un forraje relativamente equilibrado. El tercer grupo, que corresponde a

$$Y1 = 0.562634(ASH) - 0.511548(NDF) \dots\dots\dots (3a)$$

$$Y2 = 0.762949(ADF) \dots\dots\dots (3b)$$

$$Y3 = 0.750248(CF) \dots\dots\dots (3c)$$

With the determination coefficients (R²) of each variable in the above functions, 3a was defined as a forage fiber function (NDF) associated with mineral content (ASH), 3b was still an indigestible forage fiber function and 3c was a function of crude fiber.

The original data in functions 3a, 3b and 3c were then submitted to a third PCA, producing two significant PCs that explained 84 % of the variance in the original data (Table 5). The first of these (PC1_F) explained 56 % of the variation and the second (PC2_F) 28 %. Using the load coefficients of each variable in the components, ASH (0.582024) and NDF (-0.578614) were the most influential in PC1_F, while ADF was the influential variable in CP2_F. The resulting principal components were expressed with the functions:

$$Y1 = 0.582024(ASH) - 0.578614(NDF) \dots\dots\dots (4a)$$

$$Y2 = 0.762815(ADF) \dots\dots\dots (4b)$$

With the determination coefficients (R²) in Table 5, 4a was designated as a forage fiber function (NDF) associated with minerals (ASH) and 4b designated as a function of indigestible forage (ADF).

The samples' grouping tendency (Figure 1) indicated that the forage potential differed between the different foliage samples. By relating this grouping with the participation of functions 4a and 4b, four *D. spicata* forage groups were delineated. The first corresponded to *D. spicata* from the Wetlands Shore (A and B). These were far from Y2, suggesting a strong influence from NDF and ASH (Y1) and qualifying it as a fiber forage associated with mineral content. The second group corresponded to Mar Azul, in the center of the site, qualifying it as a relatively balanced forage. The third corresponded to the Wetlands Center and Beach, towards Y2 and very near Y1, indicating greater

centro de estero y playa de estero, se ubica hacia Y2 y en plena cercanía a Y1, lo que indica una mayor influencia de la variable cenizas, lo que permite calificar a este recurso vegetal como un forraje fuente de minerales. El cuarto grupo, que corresponde a San Carlos, que al estar ubicado hacia los valores positivos de Y2, indica una fuerte influencia de FDA, lo que permite calificarlo como un forraje de baja digestibilidad.

DISCUSIÓN

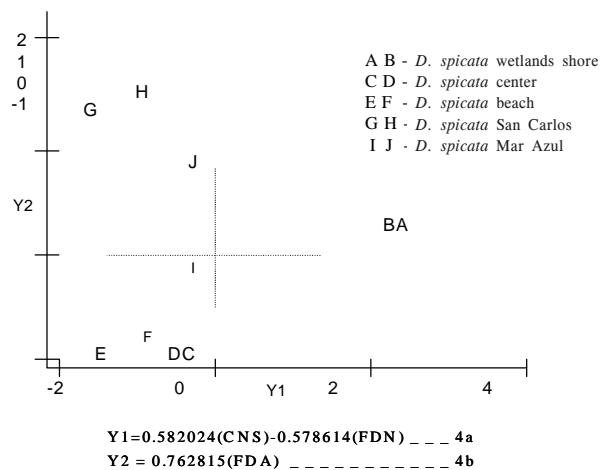
Al medir el índice de preferencia en diferentes condiciones de pastoreo, se ha encontrado que en la dieta del ganado *D. spicata* fue incluida entre un 8 y 25 % en base a peso seco⁽⁶⁾. También se reporta que en estudios de descomposición de planta muerta a estado de partículas detríticas, conservó entre el 60 a 70 % de su contenido orgánico, el valor energético permaneció igual o se incrementó ligeramente; por su parte, el contenido de fibra cruda, carbohidratos y grasas disminuyó, mientras que la proteína cruda mostró un incremento de 96 a 300 %⁽⁷⁾.

Los resultados obtenidos indican que por ser las más influyentes, las variables CNS, FDN y FDA son las descriptoras indicadas para determinar el potencial forrajero de plantas de *Distichlis spicata*. Este resultado es pertinente y congruente con los indicadores que se exigen en la actualidad para la valoración de una planta forrajera, puesto que los productores de leche, y por ende los investigadores, determinan la calidad de un forraje por el contenido de FDN, FDA, FC y naturalmente por el contenido de PC. De hecho, FDN y FDA son variables de importancia primordial porque con ellas se predice, respectivamente, el consumo y la digestibilidad del forraje, por lo que constituyen la base para la formulación de dietas para ganado lechero⁽¹⁷⁻²³⁾.

Respecto al contenido de proteína cruda en el forraje, siendo vital este nutrimento para el crecimiento y producción⁽¹⁷⁾, se puede adicionar a la dieta después de definir su contenido en el forraje, ya que en la fermentación ruminal se producen principios proteicos necesarios a partir del contenido de nitrógeno en el forraje⁽²⁴⁾.

Figura 1. Distribución espacial de las muestras de plantas de *Distichlis spicata* por efecto de las variables de las funciones 4a y 4b

Figure 1. Spatial distribution of *D. spicata* samples by effect of the variables of 4a and 4b functions



influence from ASH and qualifying it as mineral source forage. The fourth group, corresponding to San Carlos, was close to the positive Y2 values, indicating a strong influence from ADF, and qualifying this community as having low digestibility forage.

DISCUSSION

In measuring the preference index under different grazing conditions, *D. spicata* has been included in cattle diets at between 8 and 25 % of dry weight⁽⁶⁾. Reports of decomposition in *D. spicata* from dead plant to detritic particles indicate that it preserves from 60 to 70 % of its organic content, its energy value remains unchanged or increases, crude fiber, carbohydrates and lipids decrease and crude protein increases by 96 to 300 %⁽⁷⁾.

The present results show the ASH, NDF and ADF variables to be the most influential and thus the best descriptors for identifying the forage potential of *D. spicata* plants. These are pertinent to and congruent with the indicators currently demanded for

Al diferenciar los datos de contenido de FDN y FDA con los reportados en otras latitudes^(3,4), se observa que los encontrados en *D. spicata* en Baja California Sur, son ligeramente inferiores. Aun así, de acuerdo con algunos reportes, este follaje es calificado de pobre a regular calidad, ya que las mejores tasas de consumo y digestibilidad se encuentran en forrajes con 40 a 50 % de FDN, pero valores superiores pueden disminuir drásticamente la calidad de sus parámetros nutrimentales^(25,26).

Por otra parte, por medio del análisis matemático realizado, se indica que las variables FDN, FDA y CNS, por ser las más influyentes (mayor coeficiente de carga y R^2) son las indicadas para determinar el potencial forrajero de *Distichlis spicata*. Se considera que en relación con las inferencias que puedan obtenerse en el futuro, las variables citadas explicarán un 83 % del total de la variabilidad forrajera contenida en *D. spicata*, por ser componentes de dos funciones lineales (**4a** y **4b**). Lo anterior se debe a que el efecto de ambas variables tiene implicaciones en el resto por la interrelación que se establece en el análisis de los datos en la matriz. Además, de acuerdo con la información revisada^(7,9,11), las funciones lineales encontradas son nuevos descriptores o proyecciones de observación, con dimensión reducida, pero conteniendo el 83 % del total de la información forrajera original del pasto salado. A pesar de que se obtuvo un número de componentes equivalente al número de variables usadas en el análisis⁽¹⁹⁾, sólo se eligieron los más importantes (**4a** y **4b**) porque fueron los que alcanzaron el mayor nivel de significancia (valor propio superior a cero). En este sentido, cabe hacer notar que la proporción de la varianza que contienen fue la más alta, dado que en conjunto acumularon el mayor porcentaje del total contenido en la matriz de datos^(10,13).

Por otro lado, cada función lineal obtenida significó una medida general de variabilidad forrajera que al ser transportada en el espacio, representado en un eje de coordenadas, refleja el cambio entre las muestras del objeto de estudio. Lo anterior representa un método de clasificación, calificación o de diferenciación de tipos forrajeros de pasto

forage plant evaluation given that milk producers, and consequently researchers, determine forage quality based on NDF, ADF, CF and CP contents. Indeed, NDF and ADF form the foundation for formulation of milk cow diets because the NDF is used to predict feed intake and ADF predicts forage digestibility⁽¹⁷⁻²³⁾.

Crude protein is vital for growth and production⁽¹⁷⁾ and can be added to the diet after defining its content in the forage since ruminal fermentation produces the needed protein principles from forage nitrogen content⁽²⁴⁾.

In comparing the present NDF and ADF content data with that reported for other latitudes^(3,4), the values for *D. spicata* from Baja California Sur were slightly lower. Even so, this forage qualifies as having poor to regular quality according to some reports, since optimum intake and digestibility rates occur with forages containing 40 to 50 % NDF. Higher NDF values can drastically decrease nutritional parameter quality^(25,26).

The present mathematical analysis showed the NDF, ADF and ASH variables to be the most influential (higher eigenvalues and R^2) and thus the most adequate for determining *D. spicata* forage potential. For future inferences, these variables will explain 84 % of the total forage variability in *D. spicata* because they are components of the two linear functions, **4a** and **4b**. This is a consequence of the effects these variables have on the remaining variables, which are interrelated as established in data matrix analysis. According to some authors^(7,9,11), linear functions are new descriptors or observation projections with a reduced dimension. In this study, they contain 84 % of the total original forage information for saltgrass. Despite the number of components being equal to the number of variables used in the analysis⁽¹⁹⁾, only the most significant ones **4a** and **4b** were chosen, since these had the highest significance levels (values above zero). These variables also accounted for the highest variance proportion because together they formed the highest total percentage in the data matrix^(10,13).

salado⁽⁹⁾; con las funciones resultantes se calificó a cuatro grupos forrajeros de *Distichlis spicata*, sugiriendo que las poblaciones de plantas de esta especie, son de diferente potencial forrajero.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

El análisis de componentes principales demostró que las variables FDN y FDA son capaces de determinar el potencial forrajero de plantas de *D. spicata*, identificándose cuatro tipos forrajeros que se diferencian en menor o mayor contenido de fibra de baja digestibilidad y alto contenido de minerales. El nivel de fibra encontrada en el follaje de las plantas silvestres estudiadas fue menor que el reportado para otras latitudes. El potencial forrajero observado permite considerar a *D. spicata* como una alternativa de gran valor científico y productivo en zonas agrícolas, donde los suelos además de estar contaminados por la presencia de sales, son también de baja fertilidad. Las dos funciones lineales obtenidas implican que en futuros estudios, se podrán proponer inferencias que expliquen el 84 % del total de la varianza del potencial forrajero de la especie. Con ese mismo nivel de varianza explicada, las funciones lineales obtenidas podrán ser utilizadas nuevamente para calificar el potencial forrajero de plantas del pasto salado, considerando que al efectuar mediciones únicamente en las variables citadas, se tendrán implicaciones en el resto de las variables que fueron consideradas en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal del Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), al personal de campo y del laboratorio de Bromatología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) el apoyo brindado. Se agradece también a las autoridades de la UABCS, por las facilidades que otorgaron para la realización de esta investigación. El presente trabajo fue posible gracias al financiamiento del CIBNOR (Proyectos ZA-1 y ZA-4) y del Fondo Sectorial CONACyT-

In this study, each linear function served as a general measure of forage variability that, when moved through space and presented on a coordinate grid, reflected the change between samples. Essentially, this created a method of classification, qualification, and differentiation of saltgrass forage types⁽⁹⁾. The resulting functions were used to qualify four *D. spicata* forage groups, suggesting that different populations of this species have different forage potentials.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Principal components analysis demonstrated that the NDF and ADF variables can be used to determine forage potential of *D. spicata* plants. Four forage types were identified among the samples, which differed in digestible fiber content and high mineral content. Fiber content in the foliage of the studied wild *D. spicata* was lower than reported for other latitudes. The forage potential of *D. spicata* offers an interesting and valuable scientific and production alternative in agricultural areas with saline and infertile soils. The two linear functions can be used in future research, since they explained 84 % of the total variance of this species' forage potential. With this level of explanation of variance, these linear functions can also be used to qualify forage potential of saltgrass plants, since measuring just these variables incorporated the other variables that were considered in this study.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank to the personnel of the Animal Nutrition Laboratory at the Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) and the Proximate Analysis Laboratory of the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) and their field personnel. The authors also appreciate the facilities provided by UABCS for this research. Funding for the study was provided by CIBNOR (Projects ZA-1 and ZA-4) and the CONACyT-SAGARPA Project 2002-0480 (Code 02C).

End of english version

SAGARPA, mediante el Proyecto 2002-0480 (clave 02C).

LITERATURA CITADA

- Shreve F, Wiggins IL. Vegetation and flora of the Sonoran Desert. Vol. I. Stanford, CA, USA. 1964.
- Gould F, Moran R. The grasses of Baja California, México. Memories 12th. Meeting of the Soc Nat Hist. San Diego, CA, USA. 1981.
- Horvath J. *Distichlis stricta*. Saltgrass, desert saltgrass. [on line] <http://www.usask.ca/agriculture/plantsci/classes/range/distichlis.html>. Accessed Dec 10, 2002.
- Uchytíl, RJ. *Distichlis spicata*. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Lab. Fire Effects Information System [on line] <http://www.fs.fed.us/database/feis/> Accessed Jun 15, 2003.
- Arredondo, JT, García-Moya E, Kobashi J. Efecto de la temperatura, el fotoperíodo y la salinidad en el crecimiento y fisiología de *Distichlis spicata*. Agrociencia 1991;25:103-122.
- Lugg DG. The potential of saltgrass as a forage grass irrigated with saline water. Project No. 1345653. [on line] <http://wrrr.nms.edu/publish/techrpt/abstracts/abs162.html>. Accessed Jan 17, 2003.
- Varela NM. Análisis multivariado de datos, aplicación a las ciencias agrícolas. INCA. La Habana; 1998.
- Muñoz GJM. Técnicas de análisis multivariante. Banco Central de Costa Rica. División Económica. Departamento de Investigaciones Económicas. DIE-nt. 1995.
- Fielding A. Biological data processing II. In: Multivariate techniques, Biol Sci 2002. Manchester Metropolitan University, Manchester, UK. [on line] <http://obelia.jde.aca.mmu.ac.uk/multivar/intro.htm>. Accessed Nov 2, 2002.
- Lewis GJ, Lisle TA. Towards a better canola yield; a principal components analysis approach. Proceed 9th Australian Conference. Wagga Wagga. School of Land and Food. The University of the Queensland. Lawea, Qld.4345. 1998.
- STATSOFT, Inc. Electronic statistics textbook. Tulsa, OK, USA: StatSoft. [on line] <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>. Accessed Aug 3, 2002.
- Troyo DE, Ortega RA, Maya Y, León JL. The effect of environmental conditions on the growth and development of the oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. In arid Baja California Sur, México. J Arid Environ 1994;(28):207-213.
- Velásquez de RM, Colmenares O. Análisis morfométrico de dos especies de *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) utilizando la metodología de componentes principales. Boletín de Entomol Venezol 1999;14(2):191-200.
- SAS User's Guide (Relase 6.12). Statistics SAS Inst. Inc. Cary, NC, USA. 1998.
- Felicísimo AM, Alvarez MA. Aplicación del análisis de componentes principales al régimen termo-pluviométrico de Asturias. Avances sobre la Investigación en Biotecnol. VII Simposium de Biotecnología. Sevilla, España; 1982:565-581.
- Figueras MS Introducción al análisis multivariante [en línea] Scampus.com, Estadística <http://www.5campus.com/leccion/anamul>. Consultado Nov 2, 2000.
- Grant R. Evaluating the feeding value of fibrous feeds for dairy cattle. 1996:G91-1034. Extensive Dairy Specialist. University of Nebraska-Lincoln. [on line] <http://www.ianr.unl.edu/pubs/dairy/g1034.html>. Accessed Aug 14, 2002.
- Schroeder JW. Quality forage for maximum production and return. NDSU Extension Dairy Specialist. 1996.
- West WJ. Factors which influence forage quality and effectiveness in dairy rations. Anim Dairy Sci Dept, University of Georgia-Coastal Plain Experim Stat. Tifton, GA. USA; 1998.
- Belyea LR, Steevens B, Garnier G, Whittier CJ, Sewell H. Using NDF and ADF to balance diets. Agricultural publication G3161. Dep Anim Sci. Univ of Missouri-Columbia. 1993.
- Morse D, Sedivec. Know your forage. North Dakota State Univ. NDSU Extension Service. 1990: AS-991. [on line] <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/ansci/dairy/as991w.htm>. Accessed Feb 10, 2003.
- Calsamiglia S. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. XIII Curso de Especialización FEDNA. Madrid. 1997.
- Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. NY,USA: Cornell Univ Press; 1984.
- Ishler V, Varga G. Carbohydrate nutrition for lactating dairy cattle. Dept Dairy and Anim Sci. The Pennsylvania State Univ. DAS 01-29 (Replaces 93-2, Using NDF to set forage intakes). [on line] www.das.psu.edu/teamdairy/. Accessed Dec 8, 2001.
- Minsón JD. Forage in ruminants nutrition. USA. Academic Press; 1990.
- Shaver RD, Undersander DJ, Schwab EC, Hoffman PC, Lauer JG, Combs DK, Coors JG. Evaluating forage quality for lactating dairy cows. University of Wisconsin-Madison. Legume/Grass. Hays and silages. NRC. 2001. Madison Dairy Sci Dept. [on line] <http://www.wisc.edu/dysci/>. Accessed Jul 13, 2001.

