

Potencial productivo, morfometría, valor nutricional y reciclaje de nutrientes de poblaciones silvestres de *Distichlis spicata* (L.) Greene

Productive potential, morphometry, nutritional value, and nutrient recycling of wild populations of *Distichlis spicata* (L.) Greene

Ledeá-Rodríguez, J.L.¹, Troyo-Diéguez, E.², Armenta-Quintana, J.A.¹,
Murillo-Amador, B.²

¹ Departamento de Ciencia Animal y Conservación del Hábitat. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km. 5.5. CP. 23080. La Paz, Baja California Sur, México.
² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Instituto Politécnico Nacional No. 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur. C.P. 23090, La Paz, Baja California Sur, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Ledea-Rodríguez, J.L., Troyo-Diéguez, E., Armenta-Quintana, J.A., Murillo-Amador, B. (2024). Productive potential, morphometry, nutritional value, and nutrient recycling of wild populations of *Distichlis spicata* (L.) Greene. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1627. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1627>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 3th 2024.

Accepted/Aceptado: April 16th 2024.

Available on line/Publicado: April 29th 2024.

RESUMEN

Los pastos halófitos constituyen una alternativa para la alimentación animal en ecosistemas semidesérticos y áridos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la productividad, morfometría, valor nutricional y reciclaje de minerales de poblaciones silvestres de *Distichlis spicata* en dos ecosistemas costeros en Baja California Sur, México. Los datos asociados al estudio se analizaron mediante un diseño experimental bifactorial no equilibrado, con el factor A representado por los Litorales Costeros con dos niveles, Costa del Océano Pacífico y Costa del Golfo de California y el factor B representado por la condición natural en que se encontraron las poblaciones de *D. spicata*, solo o asociado con otras especies vegetales, considerando tres repeticiones para cada nivel en cada factor de estudio. Las variables evaluadas fueron materia verde, seca y muerta, contenido de Na⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Cu⁺ en tejido vegetales, composición química (proteína cruda, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro, lignina ácido detergente, celulosa, hemicelulosa, nitrógeno enlazado a la fibra detergente ácido y cenizas insolubles en detergente ácido) y valor nutritivo de *D. spicata*. En el suelo se determinó la textura. Los resultados mostraron que, *D. spicata* en ambos litorales crece y se desarrolla cerca de humedales, lagunas, región intermareal, pozas y charcas de marea, todos a nivel de costa, su composición química y valor nutritivo se asemejó al patrón bromatológico de las gramíneas tropicales. Se concluye que, las características morfométricas y productivas sugieren una aptitud forrajera de la especie.

PALABRAS CLAVE: Halófitas, gramíneas, zonas áridas, vegetación costera, especies forrajeras, valor nutritivo.

*Corresponding Author:

Bernardo Murillo-Amador. Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. <https://www.cibnor.gob.mx/>. Avenida Instituto Politécnico Nacional No. 195, Colonia Playa Palo de Santa Rita Sur. C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur, México. Teléfono (52) 612-123-8484 Ext. 3440. E-mail: bmurillo04@cibnor.mx

ABSTRACT

Halophyte grasses constitute an alternative for animal feeding in semi-desert and arid ecosystems. Thus, the objective of the present study is to evaluate *Distichlis spicata* wild populations in mineral productivity, morphometry, nutritional value, and recycling in two coastal ecosystems in Baja California Sur, Mexico. The data associated with the study were analyzed using an unbalanced two-factor experimental design: Factor A represented by the Pacific Ocean and the Gulf of California coastlines with two levels; Factor B represented by the natural condition in which *D. Spicata* populations are located, either alone or associated with other plant species. Three repetitions were considered for each level in each study factor. The variables evaluated were green, dry, and dead matter, Na⁺¹, Fe⁺², Mn⁺², Zn⁺², Ca⁺², Mg⁺², K⁺¹, and Cu⁺¹ contents in plant tissue, chemical composition (crude protein, acid, and neutral detergent fiber, and acid-detergent lignin), cellulose, hemicellulose, nitrogen bound acid-detergent fiber and acid-detergent insoluble ash, and *D. spicata* nutritional value. The texture was determined in the soil. The results showed that *D. spicata* grows and develops on both coasts near wetlands, lagoons, intertidal regions, pools, and tide pools, all at the coastal level, chemical composition and nutritional value resembled by the bromatological and tropical grass patterns. In conclusion, the morphometric and productive characteristics suggest the forage suitability of the species.

KEY WORDS : Halophytes, gramineous, arid zones, coastal vegetation, forage species, nutritive value.

Introducción

Los ecosistemas salinos son tan antiguos como la vida (Barrett-Lennard *et al.*, 2016), donde las especies de la fauna y flora que lo conforman desarrollaron adaptaciones morfo-fisiológicas típicas como el uso eficiente del agua y acumulación de NaCl en la vacuola haciendo uso del Na como regulador del potencial osmótico del suelo salino (Negacz *et al.*, 2021) y/o adaptaciones particulares que incluyen la producción de diferentes tipos de exudados, presencia de glándulas especializadas en la eliminación del excedente de NaCl y, la captura de cloruros en formas de cristales de oxalato de calcio o magnesio para vivir en ecosistemas salinos (Barrett-Lennard *et al.*, 2016; Zucol *et al.*, 2019). Las plantas que se relacionan con el NaCl se denominan halófitas o halo-tolerantes, haciendo alusión con ambos términos a diferentes niveles de tolerancia o necesidad de la sal; para cumplir con su ciclo de vida las plantas halófitas pueden encontrarse en pantanos, manglares, marismas y costas donde la salinidad del suelo es muy alta (35 g kg⁻¹ de agua salada) (Srinivas *et al.*, 2018; Garrett *et al.*, 2020).

Las especies halófitas y halo tolerantes más conocidas son *Salicornia bigelovii*, *Atriplex canescens*. (Amaranthaceae), *Sporobolus indicus*, *Spartina alterniflora*, y *Distichlis spicata* (Poaceae). En algunas regiones con predominio de ecosistemas caracterizados por la salinidad, estas especies son recursos de interés para la fitorremediación, energía, ornamentación y consumo humano, además de recibir buena aceptación por parte de algunos consumidores, tal es el caso de la familia Amaranthaceae (Ventura & Sagi, 2013). Las especies de la familia Poaceae representada por el género *Sporobolus* se distribuyen en el Continente Americano y se utilizan como forraje y en la restauración de ecosistemas (Al-Shorepy et al., 2010). El género *Distichlis* se considera una especie con valor forrajero muy bajo, incluso, es una maleza en ambientes con la capacidad de producir otros tipos de forrajes de buena a muy buena calidad; sin embargo, en ambientes salinos es un recurso forrajero importante (Yensen & Weber, 1985; Bustan et al., 2005) el cual, además, reduce la erosión del suelo (Pensiero et al., 2021).

En Australia (Norman et al., 2013; Smith et al., 2022), Iraq (Salman et al., 2013), Emiratos Árabes Unidos (ICBA, 2006; Al-Shorepy et al., 2010), Jordania (Massimi et al., 2016) y Argentina (Barbosa et al., 2023) los pastos de marisma y halófitos son especies que se utilizan para alimentar animales rumiantes en un contexto que combina limitaciones climáticas, edáficas y el desarrollo de sistemas sostenibles, contrastando con alta salinidad, sequía y erosión (Norman et al., 2021; Bondaruk et al., 2022). Las alternativas desarrolladas para domesticar especies halófitas para la alimentación animal, son una ruta crítica, entre las que destacan la prospección y evaluación de las especies en ambientes naturales (Barrett-Lennard et al., 2016; Norman et al., 2021), ambientes controlados (Chen, 2015; Li et al., 2018) desarrollo de variantes de sistemas de manejo que consideran el pastoreo (Barbosa et al., 2023; Smith et al., 2022), alternativas como la fertilización química (Norman et al., 2020) y la reducción de los cristales de oxalato de los tejidos foliares (Al Daini et al., 2013), sin embargo, en México a pesar de poseer regiones de extrema áridas, clima desértico y semi desértico, en donde se desarrolla ganadería, esta alternativa no ha sido considerada.

En Baja California Sur (BCS) se presentan varios tipos de climas, como el templado (0.94 %), muy seco cálido (63.1 %); muy seco y cálido (28.5 %); mientras que su superficie es desértica (89.1 %) con predominio de la aridez (97.5 %) condicionado por la región biogeográfica que está delimitada predominantemente por una formación montañosa de más de 400 km de longitud desde el Sur (Sierra San Lázaro, La Laguna y Las Cacachilas), hasta el Norte (Guadalupe y San Francisco) y los límites con el Océano Pacífico. Las regiones citadas presentan rasgos ambientales propios, como el clima y la geología (León de la Luz et al., 2018), y condicionan importantes limitaciones para el desarrollo de la agricultura y ganadería, pero promueve una composición florística abundante y exclusiva (Espejel et al., 2017); posee géneros con potencialidades productivas para utilizarse en la alimentación de rumiantes, destacando *Distichlis spicata* que se caracteriza por ser una gramínea halófito no domesticada que crece y se desarrolla en ambientes hostiles de salinidad, con adaptaciones fisiológicas e implicaciones morfométricas (Elzenga et al., 2021; Negacz et al., 2021).

La especie *D. spicata* se ha descrito como una planta fibrosa de contenido proteico bajo (<10%), contenido mineral alto (>70%) y variabilidad agronómica amplia, determinada por el

contenido de sales en la solución nutritiva o el tipo de suelo en el que se desarrolle (Escobar-Hernández *et al.*, 2005). Esta especie se considera candidata para la alimentación animal en las condiciones de Baja California Sur y el desarrollo de sistemas de producción de alimento que permita mejorar la palatabilidad, composición química y valor nutritivo. Sin embargo, es necesario conocer la respuesta productiva y estructural en sus condiciones naturales, pues es un pasto autóctono que posee las variaciones y potencial para enfrentar las condiciones edafoclimáticas adversas por lo que su evaluación es importante para resolver las limitaciones que impone el estrés salino (Zamin & Khattak, 2018), mismo que condiciona la variabilidad agronómica, composición química y productiva a partir de las concentraciones de sal en el medio de cultivo (Escobar-Hernández *et al.*, 2005)

En este contexto, se espera que, *D. spicata* muestre variabilidad en su respuesta morfológica, productiva, composición química y valor nutritivo dentro de los gradientes ecosistémicos costeros de Baja California Sur. El objetivo del presente estudio es evaluar la productividad, morfometría, valor nutricional y reciclaje de minerales de poblaciones silvestres de *D. spicata* (L.) Greene en dos ecosistemas costeros de Baja California Sur, México.

Material y Métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Estado de Baja California Sur (BCS) México, que ocupa la porción distal de la Península de Baja California, que se extiende desde la posición latitudinal 22° 52' hasta los 28° 00' de latitud norte y 109° 15' y 115° 05' longitud oeste. El Estado de BCS limita al norte con el Estado de Baja California (BC), al sur y oeste con el Océano Pacífico, al este con el Golfo de California que lo separa del resto del territorio mexicano. El clima de la península es de tipo desértico, descrito como BW (muy cálido y seco), con variaciones en la porción sur que incluyen el tipo BS (cálido y seco). La temperatura media anual oscila entre 22 y 24 °C con precipitaciones anuales entre los 150 y 250 mm (León de la Luz *et al.*, 2015). El tipo de suelo es variable, proviene de distintos orígenes sobre el cual se han acumulado subsecuentes depósitos aluviales. En términos generales, corresponden a los tipos xerosoles y yermosoles que presentan niveles altos de carbonatos; de este último, se derivan los regosoles y litosoles que se corresponden con suelos inmaduros, sin horizontes o niveles bien diferenciados y que predominan en las planicies y lomeríos más bajos. En las franjas costeras se destacan terrazas marinas originadas por el tectonismo y los cambios constantes en el nivel del mar (León de la Luz *et al.*, 2015).

Especie vegetal utilizada

La especie *D. spicata*, es una planta herbácea, dioica, perenne y rizomatosa, con espiguillas multifloras y hojas conspicuamente dísticas, que habitan en suelos húmedos y salinos (Figura 1); pertenece a la familia Poaceae, subfamilia Chloridoideae, tribu Cynodonteae y subtribu Monanthochloineae (Peterson *et al.*, 2001). La especie se distribuye en las costas y en el interior

del Continente Americano y una de sus especies se registra en Australia (Beetle, 1943). Los criterios sobre la identificación del género incluyen tres o siete especies y hasta doce subespecies y variedades, generando diferencias entre varios autores en relación con la clasificación a nivel infra genérico (López-Soto et al., 2009; Echeverría et al., 2020).



Figura 1. Plantas de *Distichlis spicata* creciendo en un área intermareal de la costa del Pacífico en Baja California Sur, México.

Fotografía de Ledea-Rodríguez, J.L en las coordenadas N 23° 56´ 27030" W 110° 50´ 52.68".

Diseño experimental

Los datos asociados al estudio se analizaron mediante un diseño experimental bifactorial no equilibrado, cuyos factores en estudio fueron, el factor A representado por los Litorales Costeros con dos niveles, Costa del Océano Pacífico y Costa del Golfo de California y el factor B representado por la condición natural en que se encontraron las poblaciones de *D. spicata*, con cuatro niveles, *D. spicata* creciendo solo, *D. spicata* asociado a mangle (*Rhizophora mangle* spp.), *D. spicata* asociado a *Salicornia bigelovii* y *D. spicata* asociado a otras especies vegetales, considerando tres repeticiones para cada nivel en cada factor de estudio.

Procedimiento de muestreo

El estudio se desarrolló durante los meses de mayo a septiembre de 2019. Los puntos de muestreo se distribuyeron a lo largo del Estado de Baja California Sur, México e incluyendo

los dos litorales costeros, el Océano Pacífico y el Golfo de California. En cada litoral se ubicaron puntos de muestreo a distancias aproximadas de 100 ± 60 km, en función del acceso a la costa y disponibilidad de *D. spicata* (Figura 2).

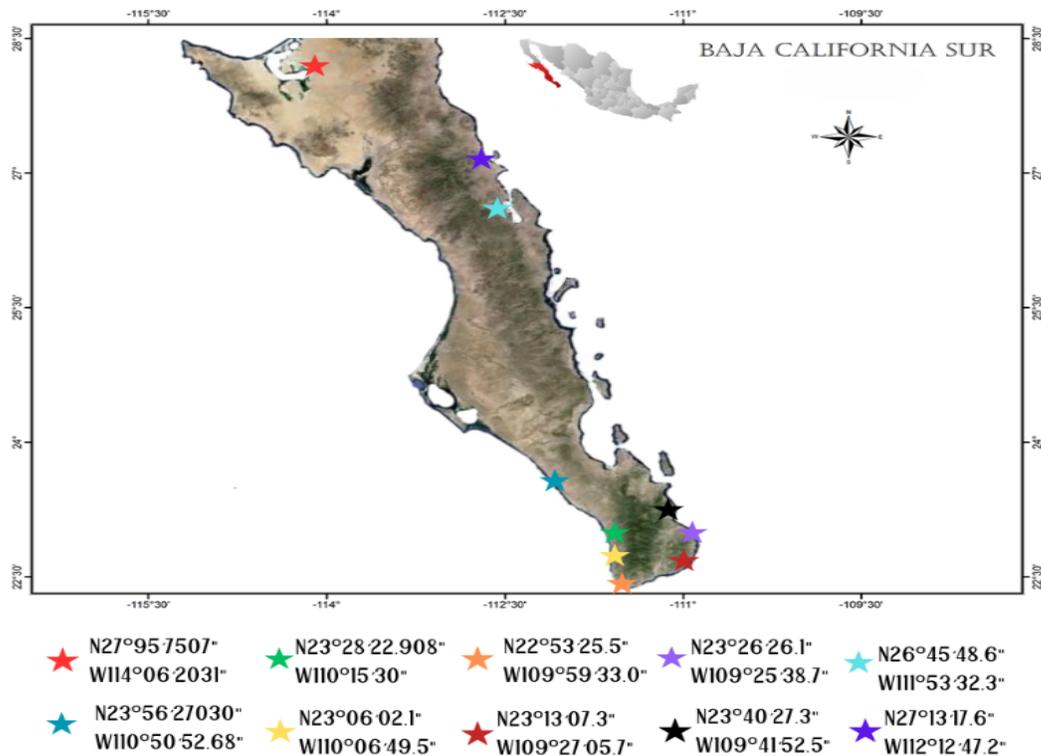


Figura 2. Sitios de muestreo de *D. spicata* en Baja California Sur, México.

Elaboración propia mediante <https://canvas.com>.

Textura del suelo

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad entre 0 y 50 cm en cada sitio de muestreo y/o condición de crecimiento del pasto en ambos litorales costeros (Océano Pacífico y el Golfo de California), colectando aproximadamente 1 kg de suelo por cada sitio de muestreo. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Edafología del CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.) y mediante la metodología de Lewis & McConchie (2012) se determinó la textura del suelo usando el método laser (LA950, Horiba® Instruments Inc., Irvine, CA, EUA).

En cada condición de muestreo correspondiente a cada litoral costero se tomaron muestras por triplicado de *D. spicata*, utilizando un área de muestreo de 1 m² mediante un cuadrante elaborado de madera (Figura 3). Las plantas se identificaron mediante clave taxonómica facilitada por el herbario Anetta Mary Carter del CIBNOR (HCIB con código 003867) y posteriormente confirmadas por el mismo herbario mediante muestras de pasto colectado.

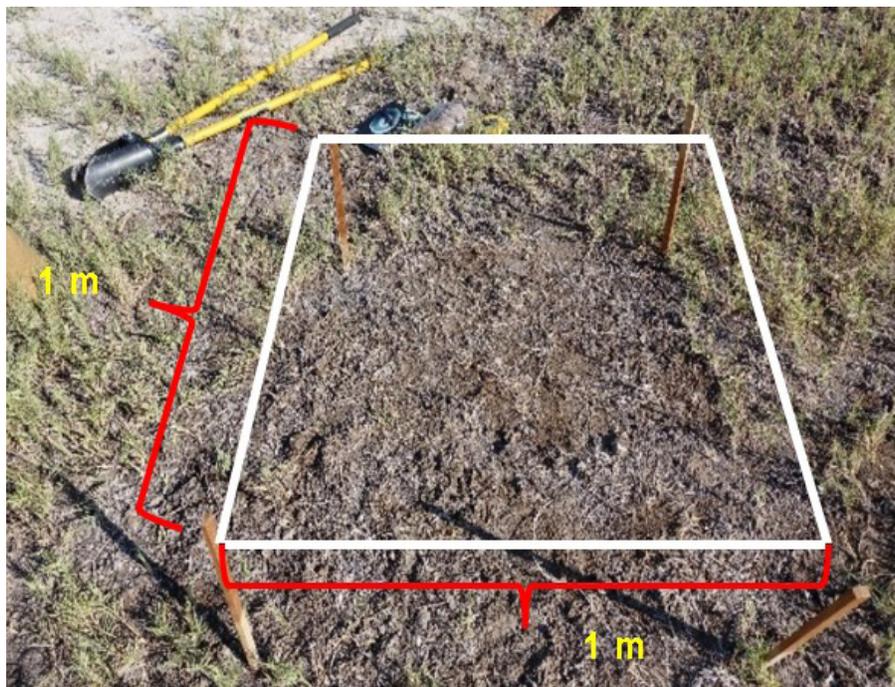


Figura 3. Disposición y dimensiones de marco de 1 m² mediante el cual se tomaron las muestras de *D. spicata* en cada punto de muestreo.

Elaboración propia a partir Editor de imágenes Microsoft Paint®. Windows® 11.

Para estimar el rendimiento de materia verde (GM), materia seca (DRM) y materia muerta (DM), en cada cuadrante se seleccionaron diez plantas de *D. spicata* pesando la biomasa total del cuadrante. Posteriormente dentro del cuadrante se tomaron muestras de *D. spicata* de aproximadamente 300 g cada una, las cuales se colocaron en bolsas de papel y se trasladaron al laboratorio de nutrición y morfofisiología animal de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), ubicado en La Paz, Baja California Sur, en donde se determinó la composición proximal de *D. spicata*, contenido mineral y valor nutritivo.

Variables morfométricas

Las bolsas con las muestras de *D. spicata* a las cuales se les determinaron variables morfométricas, se trasladaron al laboratorio de fisiotecnia vegetal del CIBNOR, donde se cuantificó el número de hojas verdes, número de nudos de cada tallo y su grosor mediante un calibrador electrónico con pantalla digital tipo vernier de 0-150 mm (Leidsany, Britt Technology Inc, Samoa Americana). Las mediciones se realizaron a 5 cm de la base del tallo hacia arriba, midiendo también la longitud total de la planta considerada desde la base de tallo hasta la lígula de la última hoja.

Estimación de materia verde (GM), materia seca (DRM) y materia muerta (DM)

La estimación de la productividad del material vegetal colectado se realizó al separar la materia verde (GM) de la materia muerta (DM). Las muestras (GM) se secaron en condiciones de sombra y temperatura ambiente; posteriormente se secaron en estufa (HTP-80®, Lumistell, Celaya, Guanajuato, México) a 50 °C hasta peso constante y luego mediante el valor de materia verde se estimó el contenido de materia seca (DRM) mediante relaciones aritméticas y rendimiento de materia seca por hectárea (rendimiento de DRM ha⁻¹). El mismo procedimiento se aplicó a la DM, considerándose para la estimación el peso de la materia verde y de la materia seca posterior al proceso de secado.

Perfil mineral, extracción e incorporación de nutrientes

El material seco obtenido se trituro y pulverizó en un molino (Braun 4-041® Modelo KSM-2) y de ese material se tomaron 100 g para la estimación del contenido de Na⁺¹, Fe⁺², Mn⁺², Zn⁺², Ca⁺², Mg⁺², K⁺¹ y Cu⁺¹ mismo que se cuantificó mediante espectrofotometría de absorción atómica (Shimadzu AA-660®, Shimadzu, Kyoto, Japón) previo a una digestión con H₂SO₄, HNO₃ y HClO₄ (1:10: 4). El P se estimó mediante colorimetría midiendo a 660 nm el color azul específico del complejo de fosfomolibdato del mismo extracto. El nitrógeno total se determinó mediante digestión Kjeldahl utilizando una mezcla de ácido sulfúrico y ácido salicílico con CuSO₄ y K como catalizadores, seguido de una estimación de amonio utilizando el método calorimétrico de Nessler. La extracción de nutrientes del suelo se determinó al multiplicar el peso seco del pasto por la concentración de Ca⁺², Mg⁺², P⁺³, K⁺¹ y Na⁺¹, Fe⁺², Mn⁺² y P⁺³ según el criterio de Crespo *et al.* (2000) mediante la ecuación:

$$\text{Extracción de minerales (\%)} = \text{Peso seco} \times \text{minerales en tejidos} \quad (1)$$

La incorporación de nutrientes se estimó a partir de la concentración mineral de la hojarasca o materia muerta (DM), multiplicando el porcentaje de DRM por la concentración mineral (%), mediante la misma ecuación descrita anteriormente. La relación extracción/incorporación mineral se estimó mediante la división de los conjuntos de valores de extracción e

incorporación, respectivamente.

Muestras para estimación de composición química y valor nutritivo

El material vegetal pulverizado se dividió en muestras de 300 g y se almacenaron en frascos de color ámbar debidamente identificados y se transportaron al laboratorio de nutrición y morfofisiología animal de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), ubicada a 24° 05' 58LN y -110° 18' 45" LW, en la Ciudad de La Paz, Baja California Sur.

Fracción fibrosa, nitrogenada y valor nutritivo de *D. spicata*

La proteína bruta (PB) y DRM se determinaron según las técnicas de la AOAC (2016). El contenido de fibra detergente ácido (ADF), fibra detergente neutro (NDF), lignina ácido detergente (LDF), celulosa y hemicelulosa se determinaron por la técnica de Goering & Van Soest (1970). El nitrógeno enlazado a la ADF (N-ADF) y NDF (N-FNDF) se determinó según lo indicado por Van Soest *et al.* (1991) y las cenizas insolubles en detergente ácido (AIA) se determinaron mediante incineración en mufla a 500°C durante 24 horas.

La Digestibilidad de la Materia Seca (DMD, %) se calculó con la ecuación siguiente:

$$DMD = 70.48 - 0.4399 \times NDF \quad (2)$$

La Digestibilidad de la Materia Orgánica (OMD, %) se calculó mediante la ecuación:

$$OMD = (1.013 \times DMD) + (0.258 \times prot) - (3.89 \times 10^{-3}) \times prot \times DMD \quad (3)$$

La Energía Metabolizable (ME, MJ kg DRM⁻¹) se estimó con la ecuación siguiente:

$$ME \text{ (MJ kg DRM}^{-1}\text{)} = \frac{37.28 \times OMD \text{ (\%)} - 148.9}{1000} \quad (4)$$

La Energía Neta de Lactación (NLE, Mj kg DRM⁻¹) se calculó mediante la ecuación:

$$NLE = (26.28 \times OMD \text{ (\%)} - 359) \quad (5)$$

La Energía Neta de Engorde (FNE, MJ kg DRM⁻¹) se calculó de acuerdo con la ecuación propuesta por Cáceres & González-García (2000):

$$FNE = (32.52 \times DMO \text{ (\%)} - 793) \quad (6)$$

Análisis estadístico

Los análisis de los datos se realizaron en función de diseño experimental bifactorial no equilibrado, descrito previamente en la sección de diseño experimental. Los análisis se realizaron utilizando el software Statistica versión 12.0 y, en todos los casos se consideró la distribución normal de los datos mediante la prueba de Kolmogorov & Smirnov (Massey, 1951) así como la homocedasticidad de estos según el criterio de Bartlett (1937). Los efectos del litoral costero y condición del pasto que mostraron ser eficientes en cuanto a morfometría, productividad, composición química y valor nutritivo, así como en el reciclaje de nutrientes, se definieron al utilizar el análisis multivariado a través de componentes principales. Los supuestos de correlación se comprobaron mediante la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (Kaiser, 1974) y la prueba de esfericidad de Bartlett (Bartlett, 1937). Los factores se extrajeron mediante una matriz de correlación basada en autovalor y para la rotación de la base de datos se utilizó el método Varimax con normalizada de Kaiser (Torres *et al.*, 1993).

Resultados y Discusión

Localización, textura del suelo y condición de crecimiento de *D. spicata* en ecosistemas costeros de Baja California Sur, México

Los resultados muestran que, *D. spicata* en ambos litorales costeros (Tabla 1) crece y se desarrolla cerca de humedales, lagunas, región intermareal, pozas y charcas de marea, todos a nivel de costa y dentro del alcance de la humedad residual del mar, lo cual se relaciona con el patrón de distribución espacial de las halófitas que tiende a vincular su ubicación dentro de un gradiente húmedo-salino (Vogt, 2015; DeFalco *et al.*, 2017; Karberg *et al.*, 2018; Santelmann *et al.*, 2019). Respuesta similar se reporta en un estudio de composición florística de pastos costeros o de dunas en Perú, donde *D. spicata* fue el más representativo ubicándose en zonas extensas de suelos con propiedades de retención de humedad, contenido alto de sales y materia orgánica (12 %), con una cobertura vegetal entre 70 y 80 % (Montesinos, 2012). En un estudio sobre la composición florística de comunidades vegetales de marismas se identificó la presencia de *D. spicata* (Herbario HCIB-003867) junto a otras especies y géneros de pastos halófitos, donde la altura del dosel, la cobertura aérea y producción de brotes en el pasto salado variaron estacionalmente y entre años, condicionadas por la actividad antrópica lo cual generó su desaparición en un año dentro del período de estudio, lo mismo sucedió para algunos componentes de la comunidad vegetal de marisma (Meixler *et al.*, 2018).

Además del gradiente edafoclimático en el que se encuentra *D. spicata* solo, combinado o asociado a otros pastos costeros, su cubierta vegetal en vida libre, difícilmente supera el 30 %; sin embargo, debido a sus características adaptativas es considerado particularmente un recurso valioso en los ecosistemas desérticos o semidesérticos, a pesar del potencial bajo de producción de biomasa en su estado natural (Pensiero *et al.*, 2021).

En relación con la condición de crecimiento, en este estudio se distinguió el predominio del crecimiento solo para *D. spicata*, aunque también se encontró en asociación con otros pastos

denominados vegetación de dunas. Esta última condición de crecimiento prevaleció en el Litoral Costero del Océano Pacífico (POCL). Las asociaciones de especies con *D. spicata* fueron *Salicornia* spp. y *Rhizophora mangle* spp. En el sitio de Los Cabos, se encontró creciendo junto a *Maytenus phyllanthoides* Benth. En el sitio denominado playa río abajo del rancho La Tinaja, se encontró a *D. spicata* creciendo asociado a *Phaseolus filiformis* e *Ipomoea pres-caprae* (L.) R. Brown, ambos sitios situados en POCL (Tabla 1). Al respecto, en un estudio realizado en Perú, se encontró a *D. spicata* asociado a otros pastos, entre los que destacan *Atriplex semyriophylla*, *Suaeda foliosa* y otras especies introducidas en los ecosistemas de la región como son *Chenopodium petiolare*, *Tarasa operculata*, *Lemonium bellidifolium* y *Atriplex semibaccata*. Los pastos con los que se encontró asociado *D. spicata* se consideran como vegetación predominante en dunas costeras, los cuales se establecen en suelos en los que desarrollan su ciclo biológico (Espejel et al., 2017), lo que sugiere que el suelo en su conjunto provee nutrientes con el gradiente húmedo-salino respectivo.

Entre las relaciones poblacionales que afectan la distribución y permanencia de los pastos halófitos se encuentran la especie vegetal, región geográfica, período climático y tipo de suelo, agregándose las variaciones estacionales del clima como el condicionador principal para la distribución de pastos halófitos (Hasnain et al., 2023), además de la ocurrencia de marismas que le suministran la humedad necesaria para el crecimiento, desarrollo y distribución (Howard et al., 2020). Asimismo, la competencia, disponibilidad de nutrientes y la salinidad tienen un rol determinante (Valiela et al., 2023) y, consecuentemente la elevación.

Las características climáticas y edáficas de la península de Baja California distinguen eco-regiones peninsulares, de éstas, Baja California Sur posee siete de las catorce señaladas para la región (León de la Luz et al., 2015), diferenciándose por las condiciones climáticas y régimen pluviométrico, aspecto determinante en el ambiente físico que influye en el predominio de especies sobre otras y de la permanencia o desplazamiento de algunos de los ecosistemas costeros. En este sentido, Rasser et al. (2013) destacaron la importancia de los factores abióticos, cuando evaluaron la distribución de diferentes especies en condiciones de pantano deltaico microtidal cerca de Corpus Christi, en la costa suroeste de Texas, EUA e insistieron en no ignorar estos factores cuando se estime la distribución y crecimiento de los pastos costeros.

En este estudio fue evidente el desplazamiento de *Salicornia* spp. y *R. mangle* spp. en el Litoral Costero del Golfo de California (GCCL), considerado por la ausencia de oleaje alto que permite el acceso del mar a los litorales, caso contrario a POCL en donde el oleaje es frecuente y alto, además de las diferencias en los valores de humedad relativa y temperatura ambiental principalmente por una influencia micro climática que condiciona diferencias entre los litorales en la misma Península (León de la Luz et al., 2015).

En relación con la textura del suelo (Tabla 1) esta difiere dentro de los propios litorales y entre ellos, siendo coincidente la variabilidad mayor en los sitios de muestreo donde *D. spicata* se encontró asociado con otros pastos halófitos. En los suelos de los sitios de muestreo predominó el contenido de arena. La textura del suelo y posibles condiciones en las que se encontró *D. spicata* se relacionan con la regionalización de la península de Baja California, descrita por León de la Luz et al. (2015) en la cual se incluyen varias regiones biogeográficas bien diferenciadas, el Desierto Sonorense y la región de Los Cabos, cada una con rasgos ambientales propios, donde la

geología y el clima tienen una relación destacada. *D. spicata* es una planta limitada en nitrógeno y cuando está presente en el suelo lo utiliza para desarrollar biomasa aérea y dominancia sobre otras especies (Lymbery *et al.*, 2013; Hill *et al.*, 2018). El *D. spicata* consume el nitrógeno (en sus formas asimilables como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+) rápidamente y, en condiciones áridas captura eficientemente las formas asimilables de nitrógeno a través de reservorios presentes en la materia orgánica contenida en el material muerto (James & Richards, 2005). En la descomposición de la planta, *D. spicata* a través de partículas detríticas, conserva entre 60 y 70 % de su contenido orgánico (Escobar-Hernández *et al.*, 2005), de lo cual se intuye que, la planta equilibra entre extracción e incorporación la necesidad de minerales cuando crece en ambientes áridos y, solo condiciones de gradientes climáticas (como es el caso del litoral costero del Golfo de California y del Océano Pacífico) en Baja California Sur o condiciones de crecimiento (flora acompañante) que no se limita a pastos costeros o vegetación de dunas, pueden alterar la respuesta de las necesidades de nutrientes para esta gramínea halófila.

Tabla 1. Sitios de muestreo con sus nombres, localización geográfica y textura del suelo en los dos litorales costeros, Océano Pacífico y Golfo de California en Baja California Sur en los cuales crece de manera natural el pasto *D. spicata*.

Litoral costero	Sitios de colecta	Localización geográfica	Textura del suelo (%)			Condición de <i>D. spicata</i>			
			S	L	CL	Ds.S	Ds.AS	Ds.ARm	Ds.A.Ev
	Pozo de Fernandito	N 23°28'22.908"- W 110°15'30"	100			x	-	-	-
	Conquista Agraria	N 23°56'27.030"- W 110°50'52.68"	100			-	-	x	-
Océano Pacífico	Guerrero Negro	N 27°95'7507"-W 114°06'2031"	96	1.75	1.75	-	-	x	x
	Los Cabos	N 22°53'25.5"-W 109°59'33.0"	100			x	-	-	x
	Rancho La Tinaja	N 23° 06'02.1"-W 110° 06'49.5"	92.08	7.80	0.12	x	-	-	x

S= arena, L= limo; CL= arcilla. Ds.S=*D. spicata* creciendo solo; Ds.ARm= *D. spicata* asociado a *R. mangle* spp.; Ds.AS= *D. spicata* asociado a *Salicornia* spp.; Ds.A.Ev= *D. spicata* asociado a otras especies de pasto.

Continuación

Tabla 1. Sitios de muestreo con sus nombres, localización geográfica y textura del suelo en los dos litorales costeros, Océano Pacífico y Golfo de California en Baja California Sur en los cuales crece de manera natural el pasto *D. spicata*.

Litoral costero	Sitios de colecta	Localización geográfica	Textura del suelo (%)			Condición de <i>D. spicata</i>				
			S	L	CL	Ds.S	Ds.AS	Ds.ARm	Ds.A.Ev	
Océano Pacífico	Playa Santispac	N 26°45'48.6"-W 111°53'32.3"	100			x	-	x	-	
	San Lucas.	N 27°13'17.6"-W	77.36	22.5	0.13	x	-	-	-	
	Santa Rosalía	112°12'47.2"								
	Los Barriles	N 23°40'27.3"-W 109°41'52.5"	100			x	-	-	-	
	El Cordoncito	N 23°13'07.3"-W 109°27'05.7"	100			x	-	-	-	
	Boca del Álamo	N 23°54'32.0"-W 109°49'21.6"	100			-	-	-	x	
	El Cardonal	N 23°50'40.7"-W 109°44'44.5"	100			x	-	-	-	
	Punta Arena	N 24°03'56.8"-W 109°49'59.3"	100			x	-	-	-	
	Golfo de California	Viña Ensueños	N 23°59'07.1"-W 119°50'08.9"	100			x	-	-	-
		La Ventana	N 24°12'40.1"-W 109°59'08.0"	94.57	5.23	0.2	-	-	-	x
El Saltito		N 24°14'08.9"-W 110°08'16.4"	100			-	-	-	x	
Playa Balandra		N 24°19'18.8"-W 110°19'31.8"	100			x	-	-	-	
El Tecolote		N 24°20.1'12.3"-W 110°18.4'15.7"	100			x	-	-	-	
El Comitán		N 24°06'33.2"-W 110°25'02.4"	100			x	-	-	-	
El Mogote		N 24°10'27.1"-W 110°25'08.7"	100			x	-	-	-	

S= arena, L= limo; CL= arcilla. Ds.S=*D. spicata* creciendo solo; Ds.ARm= *D. spicata* asociado a *R. mangle* spp.; Ds.AS= *D. spicata* asociado a *Salicornia* spp.; Ds.A.Ev= *D. spicata* asociado a otras especies de pasto.

Variables morfométricas, productividad y capacidad de carga animal

En el estudio de la variabilidad de las características morfométricas, productivas y de capacidad para sostener carga animal de *D. spicata* en función del anidamiento de la condición del pasto en los dos litorales costeros se presentaron diferencias significativas en algunas

variables morfométricas (Tabla 2). En este sentido, *D. spicata* alcanzó la mayor altura de la planta y número de nudos en POCL cuando se encontró asociado a *Rhizophora mangle* spp., lo cual se relaciona con la presencia de moléculas del metabolismo secundario (taninos), además de NH_4^+ y P^{+3} que se encuentran en el material senescente de hojas de *R. mangle* (Zhang & Laanbroek, 2020), que promueven el crecimiento y desarrollo de *D. spicata* a la vez que retrasan la descomposición de su hojarasca (Laanbroek *et al.*, 2018). Esta condición pudo intervenir para que sustancialmente esta se retuviera en cantidad mayor, respecto al resto de las condiciones en las que se encontró el pasto dentro de POCL y, contribuir en los valores promedio mayores de las variables morfométricas evaluadas en este estudio en la asociación con *R. mangle*, respecto a otras formas de asociación en POCL (solo y asociado) y GCCL (solo y asociado a *Salicornia* spp).

El número de hojas verdes y la morfometría del tallo (ancho y número), mostraron valores similares en las diferentes condiciones de crecimiento para *D. spicata* en ambos litorales, mientras que, el rendimiento de DRM mostró una tendencia al incremento en cada condición de cada litoral costero con valores en el rango de 0,50 a 1,15 t DRM ha⁻¹ y, el rendimiento de DM no mostró diferencias significativas, mostrando rangos de 0.10 a 0.27 t DM ha⁻¹. Los aportes de DM deben considerarse porque es parte del servicio ecosistémico de la planta y determina la presencia de comunidades microbianas con efectos transversales al ciclo de nutrientes (Ferreira *et al.*, 2023).

El coeficiente de agostadero mostró valores entre 4 a 5 ha AU año⁻¹ en el POCL y de 6 a 9 ha AU año⁻¹ en el GCCL. Las diferencias en la condición del pasto en cada litoral no fueron significativas; sin embargo, es importante señalar que, en el GCCL la condición del pasto solo y asociado con otros pastos presentó un coeficiente de agostadero superior a 5 ha UA año⁻¹ (Tabla 2); valores similares reportó Barbosa *et al.* (2023) cuando estimaron la producción forrajera en un humedal salino con una carga animal de 8.6 vacas reproductoras por hectárea. Por su parte, Pensiero *et al.* (2021) sugirieron el uso de *D. spicata* como forraje para la alimentación de cabras y en menor medida para caballos, considerándose entre 8 y 24 % como componente de la dieta del ganado en las áreas húmedas (Brizuela *et al.*, 1990).

Los valores que redundan en el potencial forrajero de *D. spicata* para tolerar una carga animal elevada coinciden con el contexto ambiental en el que se desarrolla. Las halófitas en sentido general se consideran un recurso valioso en los ecosistemas en los que se desarrollan y, la disponibilidad baja de biomasa la compensan con una abundancia alta, persistencia, resiembra natural, demanda baja de nutrientes y mayor tolerancia al estrés abiótico (Yensen & Weber, 1985), aspectos que se han sido considerado para su uso en la alimentación animal en la región norte del continente americano, no así en el resto dentro de las regiones Mesoamérica, Centro y Sur América que integran el continente Americano (Barbosa *et al.*, 2023).

Las especies de pastos salinos identificadas como potenciales para la alimentación animal a partir de la producción de biomasa son, *Sporobolus virginicus*, *D. spicata*, *Paspalum* y *Kallar grass* con rendimientos altos de biomasa en condiciones de salinidad (ICBA, 2006). En condiciones controladas, algunas especies como *A. lentiformis*, *Batis maritima* y *Atriplex canescens* mostraron producciones estables de biomasa entre 800 y 1,794 g DRM m² año⁻¹ cuando se regaron con agua de mar (Glenn & O'Leary, 1984) mientras que *Atriplex lentiformis*, *Atriplex nummularia*, *Atriplex halimus* y *Sporobolus* presentaron valores de 25.0, 16.9, 14.6 y 29

t ha⁻¹, respectivamente (El-Shaer, 2010). Por su parte, *D. spicata* en condiciones de salinidad produjo 1,890 kg DRM ha⁻¹ (Sigua & Hudnall, 1991) y, en condiciones de riego con agua salina en asociación con *S. indicus*, *D. spicata* acumuló 3,975 kg DRM ha⁻¹ (Al-Dakheel et al., 2006).

Tabla 2. Características morfométricas y productivas de *D. spicata* colectado en diferentes sitios en dos litorales costeros, Océano Pacífico y Golfo de California en Baja California Sur, México.

Litoral costero	Condición de <i>D. spicata</i>	Longitud de la planta (cm)	Número de hojas verdes (U)	Número de nudos (U)	Ancho del tallo (cm)	Número de tallos (U)	Rendimiento de DRM (t ha ⁻¹)	Rendimiento de DM (t ha ⁻¹)	Coefficiente de agostadero (ha AU año ⁻¹)
Océano Pacífico	Ds.S	14.2±1.37 ^c	12.05±1.08	6.33±0.70 ^c	1.16±0.07	1.16±0.09	0.88±0.09	0.26±0.04	5.66
	Ds.ARm	26.87±3.24 ^a	16.2±1.78	15±1.58 ^a	1.02±0.08	1.61±0.20	1.15±0.19	0.27±0.05	4.33
	Ds.AS	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Ds.A.Ev	17.52±2.08 ^b	11.8±1.84	7.66±0.89 ^c	1.24±0.07	1.44±0.24	0.84±0.03	0.19±0.01	5.93
Golfo de California	Ds.S	18.14±0.98 ^b	15.7±1.18	11.41±0.52 ^b	1.42±0.04	1.66±0.11	0.77±0.04	0.36±0.03	6.47
	Ds.ARm	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
	Ds.AS	16.1±1.18 ^b	18±1.69	13.71±2.19 ^{ab}	1.2±0.08	1.0±0.2	0.64±0.02	0.10±0.03	7.79
	Ds.A.Ev	21.21±1.41 ^{ab}	16.4±2.06	10.88±0.55 ^b	1.10±0.08	1.88±0.23	0.50±0.04	0.26±0.03	9.97
P		0.05	0.86ns	0.04	0.55ns	0.91ns	0.10ns	0.77ns	0.23ns
±SE		0.04	0.13	0.29	0.02	0.01	0.04	0.03	0.02

^{a, b, c}Valores promedio con literales diferentes en una misma columna difieren estadísticamente según Scheffe. ±Desviación Estándar; ±SE: Error estándar; (-): Condición del pasto que no se encontró en los litorales costeros; ns= no significativo estadísticamente; DRM= materia seca. DM= materia muerta; Ds.S=*D. spicata* creciendo solo; Ds.ARm= *D. spicata* asociado a *R. mangle* spp.; Ds.AS= *D. spicata* asociado a *Salicornia* spp.; Ds.A.Ev= *D. spicata* asociado a otras especies de pasto.

Los valores de productividad de DRM de *D. spicata* y las propiedades protectoras de suelo y mitigadoras de la erosión, además de los antecedentes reportados en halófitas evidencian que, *D. spicata* se considera una especie candidata para desarrollar un sistema de manejo que permita escalar la producción de biomasa en el Estado de Baja California Sur, aunque esto no definiría su adopción por parte de los ganaderos, porque algunos aspectos como el uso del suelo, la receptibilidad, aceptabilidad por el productor y la provisión de incentivos adecuados para fomentar su producción son criterios a considerar (Leake et al., 2022).

Perfil mineral, extracción e incorporación de nutrientes de *D. spicata* en condiciones naturales de crecimiento

El análisis del impacto ambiental o contribución ecológica de *D. spicata* a partir del reciclaje de nutrientes mediante la deposición de material muerto en función del litoral costero, Océano Pacífico y Golfo de California y condición del pasto (solo o asociado) (Tabla 3), mostró diferencias significativas dentro y entre litorales. *D. spicata* incorporó mayoritariamente Ca^{+2} y N en el LCGC cuando creció solo, respecto a la condición de asociado dentro de este mismo litoral, mientras que, en el LCOP la condición de crecimiento solo concentró los valores menores de incorporación para ambos minerales. Sin embargo, la incorporación mayor de K^{+1} , Na^{+1} , Fe^{+2} y Mn^{+2} se concentró en el LCOP en la condición de crecimiento solo, respecto al resto de las condiciones de crecimiento en ambos litorales costeros, mostrando los valores más bajos en el LCGC (Tabla 3).

La extracción de nutrientes se centró en dos minerales, Ca^{+2} y Na^{+1} . La planta extrae mayormente Ca^{+2} en el GCCL cuando crece solo respecto al resto de las variantes dentro y entre litorales costeros, mientras que, en un segundo orden de relevancia, mantiene la misma respuesta de extractor cuando crece solo en el POCL o crece asociado en el GCCL, mientras que, el Na^{+1} es mayormente extraído por el pasto cuando crece solo en el POCL respecto a su crecimiento asociado dentro de este mismo litoral y, en ambas condiciones de crecimiento dentro del GCCL (Tabla 3). La relación extracción/incorporación (Tabla 3) de *D. spicata* mostró que, en el POCL cuando el pasto crece solo, extrae de forma ponderada un 0.20% de Ca^{+2} , K^{+1} , Na^{+1} y Mn^{+2} más que cuando está asociado, mientras que, asociado a otros pastos incrementa la extracción de Mg^{+2} , Fe^{+2} y P^{+3} en un 0.38 %. La presencia de otros pastos sugiere un condicionamiento que modifica la necesidad mineral de *D. spicata* probablemente por la competencia de nutrientes que predispone una inversión de energía para el crecimiento en función de la altura y quizás también del sistema radicular. Al respecto, Mohammed *et al.* (2020) reportó un crecimiento vigoroso de la raíz y del rizoma de esta planta que le permite proteger los suelos contra la erosión y, para la finalidad de este estudio, significa una mejora en la absorción de minerales, que conlleva a extraer más minerales de los que incorpora. La respuesta de este fenómeno en el GCCL fue más "pasiva". El pasto en su condición solo extrajo 1 % más de Na^{+1} y Fe^{+2} respecto al crecimiento asociado, mientras que, en la condición de asociación requirió aproximadamente un 0.50 % más de K^{+1} y P^{+3} , lo que significa que los litorales costeros con las características que los definen, influyen en el requerimiento mineral del pasto, lo cual se puede relacionar con los niveles de salinidad y con ello tasas de crecimiento y necesidades metabólicas para el desarrollo vegetativo (Robertson *et al.*, 2019).

Composición química, fracción fibrosa, nitrogenada y valor nutritivo de *D. spicata*

El análisis de la composición química de la fracción fibrosa mostró una respuesta similar para ambos litorales costeros. El contenido de lignina se incrementó en 1 % en las plantas que crecieron en el GCCL, mientras que, la fracción nitrogenada mostró un incremento de 5 % en el contenido de N enlazado a la fibra (ADF y NDF), pero sin manifestarse en el contenido de

proteína bruta (CP) con apenas 5 % para las plantas que crecen en ambos litorales. El valor nutritivo mostró similitud para las plantas de ambos litorales (Tabla 4).

La composición química y el valor nutritivo de las plantas halófitas está expuesta a variaciones importantes intra e inter-especies (Kudoh *et al.*, 2023), además del factor suelo, sistema de manejo, productividad, palatabilidad y cambios climáticos estacionales (Di Bella *et al.*, 2019). Los rangos de proteína cruda reportados por El-Shaer (2010) oscilaron entre 3.38 a 15 %, mientras que, la digestibilidad de la fibra fue ≥ 70 % en plantas cultivadas y < 40 % en plantas de crecimiento silvestre, representado aportes de energía neta y metabolizable entre 2.5-4.0 y 5-8 MJ kg⁻¹ DRM⁻¹, respectivamente.

Los valores de CP obtenidos en el presente estudio para ambos litorales se ubicaron en el rango señalado por Al-Dakheel *et al.* (2006) y El-Shaer (2010) y, coincidió con lo reportado por Escobar-Hernández *et al.* (2005) en un estudio con *D. spicata* en Baja California Sur, México. En estudios de otras gramíneas halófitas con potencial forrajero como *Atriplex* spp se reportan valores de CP entre 14-20 % y ~65 % de digestibilidad (Barbosa, 2020); en *Pappophorum caespitosum* otra gramínea con valor forrajero ubicada en la llanura noroeste del Chaca-Pampa, Argentina, se reportan contenidos entre 9-10 % de CP (Pensiero *et al.*, 2021), y en *Sporoborus rigens* se reportaron promedios de CP entre 3-5 %; 41-43% de ADF y, para *S. indicus* 6 % de CP; 45% de ADF y 72 % de NDF (Barbosa *et al.*, 2023).

En este sentido, es importante mencionar que, los valores de CP < 7 % generan desbalance en el metabolismo del N y el desarrollo de la microflora ruminal (Rosales & Sánchez-Pinzón, 2005), por lo que, según los resultados obtenidos en este estudio, serían necesarias alternativas como la suplementación y la bio-fertilización dentro del sistema de producción del pasto con el propósito de mejorar su composición química y con ello su valor nutritivo.

Tabla 3. Incorporación y extracción de minerales en tejidos foliares de *D. spicata* en función de la condición de crecimiento (solo o asociado) en dos litorales costeros (Océano Pacífico y Golfo de California) de Baja California Sur, México.

Litoral costero	Condición de <i>D. spicata</i>	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Na ⁺¹
¹Incorporación de nutrientes (%)					
Océano Pacífico	<i>Ds.S</i>	31.89±20.20 ^c	27.56±20.57 ^b	54.08±21.97 ^a	185.99±105.56 ^a
	<i>Ds.A.Ev</i>	30.12±22.13 ^c	29.84±22.03 ^b	57.62±24.48 ^b	174.2±109.33 ^b
Golfo de California	<i>Ds.S</i>	65.85±50.62 ^a	25.66±17.49 ^b	27.40±17.50 ^c	89.93±80.31 ^d
	<i>Ds.A.Ev</i>	44.60±41.84 ^b	41.92±17.88 ^a	29.48±12.79 ^c	159.99±80.10 ^c
P		0.05	0.01	0.02	0.03
±SE		0.15	3.90	0.85	17.83
²Extracción de nutrientes (ha⁻¹)					
Océano Pacífico	<i>Ds.S</i>	19.47±12.05 ^b	11.88±10.20	58.63±18.19	98.74±61.68 ^b
	<i>Ds.A.Ev</i>	14.81±12.91 ^c	20.96±10.64	54.95±21.49	106.25±67.53 ^a
Golfo de California	<i>Ds.S</i>	29.46±15.97 ^a	19.47±7.75	46.91±17.90	68.16±46.43 ^c
	<i>Ds.A.Ev</i>	19.75±14.23 ^b	27.67±7.41	53.78±14.61	96.20±46.66 ^b
P		0.03	0.89	0.55	0.03
±SE		2.60	2.69	1.87	7.23
³Relación extracción/incorporación de nutrientes					
Océano Pacífico	<i>Ds.S</i>	0.68±0.73	0.56±0.39	1.25±0.82	0.78±1
	<i>Ds.A.Ev</i>	0.53±0.82	0.76±0.31	1.08±0.46	0.67±0.58
Golfo de California	<i>Ds.S</i>	0.68±0.55	0.84±0.32	1.87±0.79	1.15±0.79
	<i>Ds.A.Ev</i>	0.51±0.14	0.86±0.29	2.19±0.68	0.77±0.87
P		0.96	0.59	0.49	0.71
±SE		0.05	0.04	0.09	0.10

Para ¹incorporación y ²extracción mineral, Mn⁺² se transformó mediante $Arcoseno = \sqrt{\frac{x}{100}}$, y para la ³relación extracción/incorporación mediante $Log_n = (x + 1)$, al igual que para Fe⁺². EE: Error estándar. Valores promedio con literales diferentes en una misma columna difieren estadísticamente según Scheffe (p≤0.05). *Ds.S*=*D. spicata* creciendo solo; *Ds.A.Ev*= *D. spicata* asociado a otras especies de pasto.

Continuación

Tabla 3. Incorporación y extracción de minerales en tejidos foliares de *D. spicata* en función de la condición de crecimiento (solo o asociado) en dos litorales costeros (Océano Pacífico y Golfo de California) de Baja California Sur, México.

Litoral costero	Condición de <i>D. spicata</i>	Fe ⁺²	Mn ⁺²	P ⁺³	N ⁻³
¹Incorporación de nutrientes (%)					
Océano Pacífico	<i>Ds.S</i>	18.92±8.88 ^a	0.28±0.15 ^a	6.70±1.46	64.42±22.91 ^c
	<i>Ds.A.Ev</i>	8.59±6.50 ^d	0.03±0.12 ^c	7.05±2.07	71.07±33.47 ^b
Golfo de California	<i>Ds.S</i>	14.70±9.83 ^{bc}	0.08±0.13 ^b	7.56±3.02	83.91±22.95 ^a
	<i>Ds.A.Ev</i>	11.33±7.25 ^{cd}	0.01±0.12 ^c	4.62±2.11	74.65±21.08 ^b
P		0.05	0.05	0.24	0.05
±SE		2.13	0.01	0.75	2.65
²Extracción de nutrientes (ha⁻¹)					
Océano Pacífico	<i>Ds.S</i>	3.76±5.55	0.11±0.09	3.68±3.60	-
	<i>Ds.A.Ev</i>	5.09±5.55	0.01±0.09	7.01±2.40	-
Golfo de California	<i>Ds.S</i>	9.87±4.75	0.07±0.09	8.68±3.06	-
	<i>Ds.A.Ev</i>	5.92±3.72	0.04±0.08	7.86±2.56	-
P		0.19	0.35	0.14	-
±SE		1.03	0.01	0.66	
³Relación extracción/incorporación de nutrientes					
Océano Pacífico	<i>Ds.S</i>	0.32±3.54	0.59±0.47	0.53±0.47	-
	<i>Ds.A.Ev</i>	0.74±0.79	0.01±0.46	1.04±0.34	-
Golfo de California	<i>Ds.S</i>	1.71±2.66	0.19±0.39	1.26±0.52	-
	<i>Ds.A.Ev</i>	0.62±3.27	0.04±0.30	1.71±0.40	-
P		0.32	0.07	0.07	-
±SE		0.08	0.08	0.15	

Para ¹incorporación y ²extracción mineral, Mn⁺² se transformó mediante $Arcoseno = \sqrt{\frac{x}{100}}$, y para la ³relación extracción/incorporación mediante $log_n = (x + 1)$, al igual que para Fe⁺². EE: Error estándar. Valores promedio con litorales diferentes en una misma columna difieren estadísticamente según Scheffe (p≤0.05). *Ds.S*=*D. spicata* creciendo solo; *Ds.A.Ev*= *D. spicata* asociado a otras especies de pasto.

En el análisis de los constituyentes de la pared celular, la similitud entre sus constituyentes (Hcel, CEL y LIG), al igual que el contenido de cenizas (AIA), se mostró en la expresión de ADF and NDF. Los valores de los constituyentes de la pared celular se consideran la huella dactilar o patrón de ordenamiento de los constituyentes de la pared celular de las gramíneas tropicales (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018) lo que predispone una digestibilidad baja (<50 %), bajo contenido de proteína y contenidos de fibra superiores al >70 % (Rosales & Sánchez-Pinzón, 2005) similar a lo que se observó para *D. spicata*.

Los valores de digestibilidad y contenido de proteína pueden modificarse mediante sistemas de manejo que consideren la edad del pasto, la bio-fertilización y la aplicación de riego para condicionar el valor de ADF y NDF y, con ello el valor nutritivo del forraje (Abd El-Hack *et al.*, 2018). Este tipo de estrategias las desarrolló Horvant (2002) y concluyó que, cuando se valora a *D. spicata* en estado tierno, sus valores químicos mejoran, aumenta la proteína cruda y se reduce el contenido en fibra. Asimismo, se reportan respuestas favorables a nivel productivo cuando se aplica fertilización nitrogenada principalmente (Hill *et al.*, 2018).

Tabla 4. Fraccionamiento de la pared celular y valor nutritivo de *D. spicata* en dos litorales costeros (Océano Pacífico y Golfo de California) en Baja California Sur, México.

Litoral costero	Fracción fibrosa (%)					
	NDF	ADF	Hcel	IAAD	CEL	LIG
Océano Pacífico	64.26±4.06	33.92±2.44	31.08±2.80	4.50±1.86	29.91±1.76	1.76±0.36
Golfo de California	66.80±4.68	35.72±3.05	30.07±6.98	4.17±2.38	31.40±2.63	2.24±1.18
P	0.22	0.18	0.73	0.74	0.18	0.31
±SE	1.17	0.83	0.43	0.15	0.68	0.22
	Valor nutritivo					
	DRM (%)	DDRM (%)	OMD (%)	ME (kcal kg DRM ⁻¹)		
Océano Pacífico	63.75±14.34	42.21±1.79	41.50±1.45	1398.28±54.19		
Golfo de California	67.43±9.72	41.09±2.06	40.32±1.96	1354.27±73.13		
P	0.47	0.22	0.16	0.16		
±SE	1.69	0.51	0.54	20.25		

NDF= Fibra detergente neutro; ADF= Fibra detergente ácido; Hcel= Hemicelulosa; IAAD= Cenizas insolubles en detergente ácido; CEL= Celulosa; LIG= Lignina; N= Nitrógeno; N-FND= Nitrógeno enlazado a la fibra detergente neutro; N-FDA= Nitrógeno enlazado a la fibra detergente ácido; CP= Proteína bruta; DRM= Materia seca; DDRM= Digestibilidad de la materia seca; OMD= Digestibilidad de la materia orgánica; ME= Energía metabólica; NLE= Energía neta de lactancia; NFE= Energía neta de engorde; ±SE: Error estándar.

Continuación

Tabla 4. Fraccionamiento de la pared celular y valor nutritivo de *D. spicata* en dos litorales costeros (Océano Pacífico y Golfo de California) en Baja California Sur, México.

Litoral costero	Fracción nitrogenada (%)			
	N ³	N-FDN	N-FDA	CP
Océano Pacífico	0.87±0.43	50.72±27.58	7.06±14.42	5.46±2.71
Golfo de California	0.91±0.50	45.03±26.71	3.61±7.96	5.66±3.12
P	0.12	0.10	0.07	0.66
±SE	0.012	0.10	0.12	0.26
	Valor nutritivo			
	NLE (kcal kg DRM ⁻¹)		NFE (kcal kg DRM ⁻¹)	
Océano Pacífico	703.6±61.97		556.63±47.27	
Golfo de California	708.48±42.36		518.24±63.80	
P	0.16		0.17	
±SE	14.27		17.66	

NDF= Fibra detergente neutro; ADF= Fibra detergente ácido; Hcel= Hemicelulosa; IAAD= Cenizas insolubles en detergente ácido; CEL= Celulosa; LIG= Lignina; N= Nitrógeno; N-FND= Nitrógeno enlazado a la fibra detergente neutro; N-FDA= Nitrógeno enlazado a la fibra detergente ácido; CP= Proteína bruta; DRM= Materia seca; DDRM= Digestibilidad de la materia seca; OMD= Digestibilidad de la materia orgánica; ME= Energía metabólica; NLE= Energía neta de lactancia; NFE= Energía neta de engorde; ±SE: Error estándar.

El análisis de la fracción fibrosa mediante Análisis de Componentes Principales (PCA) (Figura 4) sugiere en función de la longitud de los vectores una gran variabilidad en PH, contenido de DRM, NDF, lignina, celulosa y ADF y muy poca variabilidad en el rendimiento de DRM y DM, contenido de cenizas, longitud de tallos, número de hojas verdes y contenido de hemicelulosa; mientras que, la apertura del coseno del ángulo señaló fuertes correlaciones entre dos grupos que se encuentran en un plano sagital a ambos lados del gráfico. Asimismo, dentro de los puntos más cercanos al origen se encontró la condición del pasto, hemicelulosa, rendimiento de DRM, número y longitud de tallos, cenizas, y número de hojas verdes, lo cual afirma que dentro del estudio prospectivo y de caracterización que se desarrolló son éstas últimas variables las que mayor peso tienen en la descripción o expresión del resto de las variables consideradas para el presente estudio.

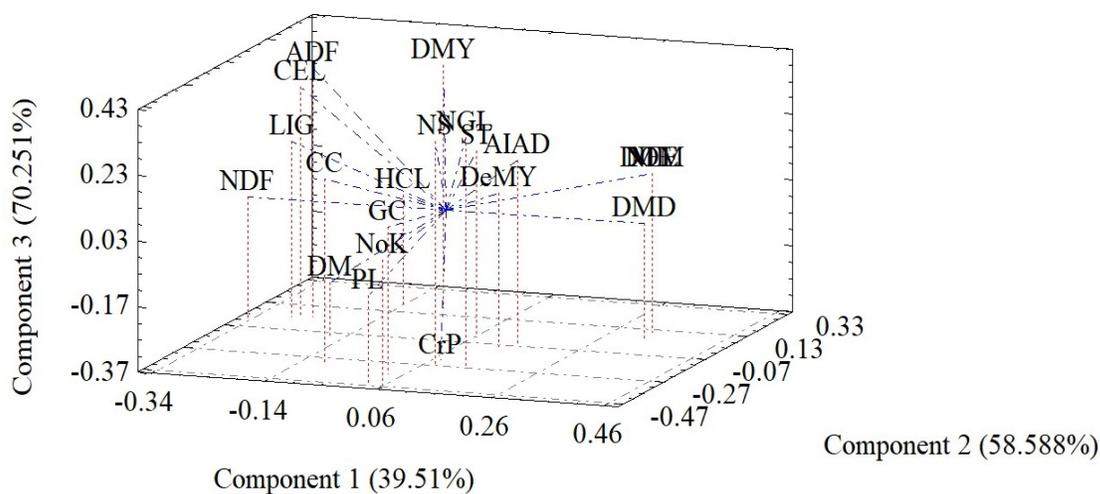


Figura 4. Análisis de componentes principales (ACP) mediante gráficos de pesos de componentes para variables morfo-productivas y químicas de *D. spicata* colectado en dos litorales costeros (Océano Pacífico y Golfo de California) en Baja California Sur, México.

CL: Litoral Costero; GC: Condición del pasto; ST: Grosor del tallo; SN: Número de tallos; NN: Número de nudos; PH: Altura de la planta; GLN: Número de hojas verdes; RtoDRM: Rendimiento de materia seca; RtoDM: Rendimiento de materia muerta; CP: Proteína cruda; DRM: Materia seca; NDF: Fibra detergente neutro; ADF: Fibra detergente ácido; HCL: Hemicelulosa; IAAD: Cenizas insolubles en detergente ácido; CEL: Celulosa; LIG: Lignina; OMD: Digestibilidad de la materia seca; DMO: Digestibilidad de la materia orgánica; ME: Energía metabolizable; NLE: Energía Neta de Lactación; NFE: Energía Neta de Engorde.

En el análisis de extracción e incorporación de minerales y su relación, se obtuvo variabilidad para todas las variables, correlacionándose según la amplitud del coseno del ángulo, el litoral costero y condición del pasto con la extracción e incorporación de Ca^{+2} y favoreciendo la relación incorporación/extracción de K^{+1} y P^{+3} , lo cual es un indicativo de que estos minerales son los más variables dentro de cada litoral y que su incorporación por parte de la planta se relaciona directamente con el pasto costero con el cual crece. El resto de los minerales mostraron relaciones de antagonismo-sinergismo para la extracción por parte de la planta e incorporación por la misma (Figura 5).

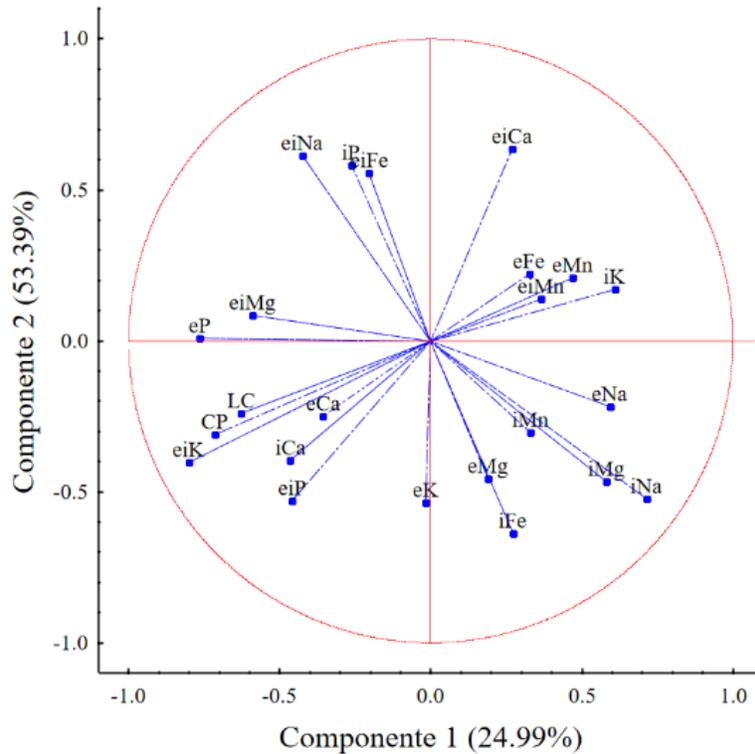


Figura 5. Valores de componentes para extracción e incorporación de minerales a través de hojarasca de *D. spicata* colectado en dos litorales costeros (Océano Pacífico y Golfo de California) en Baja California Sur, México.

CL: Litoral Costero; GC: Condición del pasto; eCa⁺²: Extracción de calcio; eMg⁺²: Extracción de magnesio; eK⁺¹: Extracción de potasio; eNa⁺¹: Extracción de sodio; eFe⁺²: Extracción de hierro; eMn: Extracción de manganeso; eP⁺³: Extracción de fósforo; iCa⁺²: Incorporación de calcio; iMg⁺²: Incorporación de magnesio; iK⁺¹: Incorporación de potasio; iNa⁺¹: Incorporación de sodio; iFe⁺²: Incorporación de hierro; iP⁺³: Incorporación de fósforo; eiCa⁺²: Incorporación/extracción de calcio; eiMg⁺²: Incorporación/extracción de magnesio; eiK⁺¹: Incorporación/extracción de potasio; eiNa⁺¹: Incorporación/extracción de sodio; eiFe⁺²: Incorporación/extracción de hierro; eiMn⁺²: Incorporación/extracción de manganeso; eiP⁺³: Incorporación/extracción de fósforo.

La mayoría de los minerales mostraron menor variabilidad en la extracción respecto a su incorporación por parte de la planta. La extracción de minerales puede relacionarse con la disponibilidad y requerimientos de la planta que se mantienen estables a lo largo del crecimiento y desarrollo de esta, siempre y cuando el litoral costero o condición de crecimiento de la planta no constituya un factor que determine alguna condición especial, como competencia por nutrientes o estrés por defoliación. La incorporación a partir de la hojarasca o material muerto resulta variable a partir del tipo de mineral (móvil o inmóvil) y su intervención en los procesos metabólicos de la planta.

Conclusiones

El hábitat de *Distichlis spicata* se encuentra en los litorales costeros (Océano Pacífico y Golfo de California) que comprenden Baja California Sur, México. En el litoral costero del Océano Pacífico se ubica a nivel de dunas, mientras que en el Golfo de California es parte de la vegetación de pastos costeros y de marismas, en ambos se encuentra asociado a otros pastos o creciendo solo. El litoral costero en conjunto con la condición de crecimiento (asociado o solo) influye en la longitud del pasto, pero sin repercusiones en su morfometría y acumulación de materia seca. Los aspectos morfométricos y productivos sugieren una aptitud forrajera, mientras que, su composición química se caracteriza por el patrón bromatológico de las gramíneas tropicales consistente en altos contenidos de fibra y contenidos bajos de proteína y de degradabilidad ruminal, sin existir una predisposición a variar por las condiciones de crecimiento dentro de cada litoral costero. El *D. spicata* es afectado mayoritariamente por la condición de crecimiento y según el litoral para incorporar minerales mediante la hojarasca, mientras que, en la extracción de estos se centra en Ca^{+2} y Na^{+1} . Se deben realizar más estudios para confirmar la aptitud para forraje.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo: JLLR y BMA; desarrollo de la metodología, JLLR y ETD; manejo de software, JAAQ; validación experimental, BMA y ETD.; análisis de resultados, JLLR; manejo de datos, JAAQ; escritura y preparación del manuscrito, JLLR; redacción, revisión y edición, BMA, ETD y JAAQ.; administrador de proyectos, BMA; adquisición de fondos, ETD. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación se financió con recursos de proyecto de COSCYT (convocatoria 2023), CIBNOR y de CONAHCYT, así como de recursos internacionales (JICA-SATREPS-JST, Tottori University, Japón).

Agradecimientos

Al personal técnico del CIBNOR, Álvaro González Michel del laboratorio de hidrología e irrigación, por su contribución para la ubicación del pasto dentro de la Península y vías de acceso al mismo a partir de su experiencia en campo; Manuel Salvador Trasviña Castro y Myriam Lizzeth Hernández de Haro del laboratorio de edafología por la asesoría en el procesamiento y ensayos físico-químicos de las muestras de suelo colectadas; Pedro Luna García, Adrián Jordán Castro, Raymundo Ceseña Núñez y Saúl Edel Briseño Ruiz, del campo agrícola experimental por su apoyo en la actividad de muestreo de suelo y de pastos en la porción Sur de la Península de Baja California y Kassandra Rodríguez por su colaboración en el procesamiento de las muestras

vegetales y control del proceso de secado de las mismas; Diana Fischer por la traducción y edición del manuscrito en inglés.

Declaraciones éticas

No aplica.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International (2016). 20th ed.; AOAC International: Rockville, MD, USA.
- Abd El-Hack, M.E., Mahmoud Alagawany, A.S.E., El Sayed, M.D., Hala, M.N.T., Ahmed, S.M.E., Shaaban, S.E., & Ayman, A.S. (2018). Effect of forage *Moringa oleifera* L. (Moringa) on animal health and nutrition and its beneficial applications in soil, plants and water purification. *Agriculture*, 8(9), 1-22. <https://doi.org/10.3390/agriculture8090145>.
- Al Daini, H., Norman, H.C., Young, P., & Barrett-Lennard, E.G. (2013). The source of nitrogen (NH_4^+ or NO_3^-) affects the concentration of oxalate in the shoots and the growth of *Atriplex nummularia* (Oldman saltbush). *Functional Plant Biology*, 40(10), 1057-1064. doi: 10.1071/FP13060. <https://doi.org/10.1071/FP13060>
- Al-Dakheel, A., Al-Hadrami, G., Al-Shorabi, S., & AbuRumman, G. (2006). Optimizing management practices for maximum production of two salt-tolerant grasses: *Sporobolus virginicus* and *Distichlis spicata*. Pp. 44-50 in *The Seventh Annual UAE University Research Conference*. Dubai: College of Food and Agriculture.
- Al-Shorepy, S.A., Alhadrami, G.A., & Al-Dakheel, A.J. (2010). Growth performances and carcass characteristics of indigenous lambs fed halophyte *Sporobolus virginicus* grass hay. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(5), 556-562. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90094>
- Barbosa, O.A. (2020). Relaciones entre los tipos fisionómicos de vegetación y los suelos de un bajo salino del centro este de San Luis (Argentina). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba.
- Barbosa, O.A., Álvarez-Rogel, J., & Lavado, R.S. (2023). Forage offer from a saline wetland of Central Argentina (San Luis Province). *Wetlands Ecology and Management*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11273-023-09945-0>
- Barrett-Lennard, E.G., Hayley, C.N., & Kingsley, D. (2016). Improving saltland revegetation through understanding the 'Recruitment Niche': Potential lessons for ecological restoration in extreme environments. *Restoration Ecology*, 24, S91-97. <https://doi:10.1111/rec.12345>
- Bartlett, M.S. (1937). Properties of sufficiency and statistical test. Proceedings of the Royal

- Society of London. Series A-Mathematical and Physical Sciences. 160(901), 268-282. <https://doi.org/10.1098/rspa.1937.0109>
- Beetle, A.A. (1943). The North American variations of *Distichlis spicata*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 70(6), 638-650. <https://doi.org/10.2307/2481721>
- Bondaruk, V.F., Oñatibia, G.R., Fernández, R.J., Agüero, W., Blanco, L., Bruschetti, M., Kröpfl, A., Loydi, A., Pascual, J., Peri, P., Peter, G., Quiroga, R.E., & Yahdjian, L. (2022). Forage provision is more affected by droughts in arid and semi-arid than in mesic rangelands. *Journal of Applied Ecology*, 59(9), 2404-2418. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14243>
- Brizuela, M.A., Cid, M.S., Miñón, D.P., & Grecco, R.F. (1990). Seasonal utilization of saltgrass (*Distichlis* spp.) by cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 30(3-4), 321-325. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(90\)90022-Z](https://doi.org/10.1016/0377-8401(90)90022-Z)
- Bustan, A., Pasternak, D., Pirogova, I., Durikov, M., Devries, T.T., El-Meccawi, S., & Degen, A.A. (2005). Evaluation of saltgrass as a fodder crop for livestock. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(12), 2077-2084. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2227>
- Cáceres, O., & González-García, E. (2000). Metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales. *Pastos y Forrajes*, 23(2), 87-103.
- Chen, C. (2015). Application of growth models to evaluate the microenvironmental conditions using tissue culture plantlets of *Phalaenopsis sogo* Yukiudian 'V3'. *Scientia Horticulturae*, 191, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.05.007>
- Crespo, G., Rodríguez, I., & Martínez, R.O. (2000). Balance N-P-K En Un sistema de producción de leche con pastizal de *Cynodom nlemfluensis* y banco de biomasa de *Pennisetum purpureum* Clon CT-115. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 34, 167-174.
- DeFalco, L.A., Scoles-Sciulla, S.J., & Beamguard, E.R. (2017). The role of salinity tolerance and competition in the distribution of an endangered desert salt marsh endemic. *Plant Ecology*, 218(4), 475-486. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0704-3>
- Di Bella, C.E., García-Parisi, P.A., Lattanzi, F.A., Druille, M., Schnyder, H., & Grimoldi, A.A. (2019). Grass to legume facilitation in saline-sodic steppes: influence of vegetation seasonality and root symbionts. *Plant and Soil*, 443, 509-523. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04247-y>
- Echeverría, J., Paniagua-Zambrana, N.Y., & Bussmann, R.W. (2020). *Distichlis spicata* (L.) Greene. Poaceae. In: Paniagua-Zambrana, N.Y. & Bussmann, R.W. (eds.). *Ethnobotany of the Andes, Ethnobotany of Mountain Regions*, Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28933-1_102.
- Elzenga, T., Barrett-Lennard, E.G., & Choukr-Allah, R. (2021). Developments in adaptation to salinity at the crop level. Pp. 353-356. In: *Future of sustainable agriculture in saline environments*, edited by Negacz, K., Vellinga, P., Barrett-Lennard, E., Choukr-Allah, R., & Elzenga, T. CRC Press, Taylor and Francis Group. Boca Raton, London, and New York.
- Escobar-Hernández, A., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J.L., Hernández-Contreras, H., Murillo-Amador, B., & López-Aguilar, D.R. (2005). Principal component analysis for determining forage potential of saltgrass *Distichlis spicata* L. (Greene) in coastal ecosystems of Baja California Sur, Mexico. *Técnica Pecuaria de México*, 43(1), 13-25. Access on line: <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1395>
- Espejel, I., Jiménez-Orocio, O., Castillo-Campos, G., Garcillán, P.P., Álvarez, L., Castillo-Argüero, S., Durán, R., Ferrer, M., Infante-Mata, D., Iriarte, S., León de la Luz, J.L., López-Rosas, H., Medel Narváez, A., Monroy, R., Moreno-Casasola, P., Rebman, J.P., Rodríguez-Revelo,

- N., Sánchez-Escalante, J., & Vanderplank, S. (2017). Flora en playas y dunas costeras de México. *Acta Botánica Mexicana*, (121), 39-81. <https://doi.org/10.21829/abm121.2017.1290>
- El-Shaer, H.M. (2010). Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the near east region. *Small Ruminant Research*, 91(1), 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.01.010>
- Ferreira, V., Albariño, R., Larrañaga, A., LeRoy, C.J., Masese, F.O., & Moretti, M.S. (2023). Ecosystem services provided by small streams: an overview. *Hydrobiologia*, 850, 2501-2535. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05095-1>
- Garrett, A., Saito, L., Athey, S., Goehring, N., & Verdur, P. (2020). Experimental halophyte growth in saline environments. *Journal of the Nevada Water Resources Association*, 1(2020), 5-28. <https://doi.org/10.22542/jnwra/2020/1/1>
- Glenn, E.P., & O'Leary, J.W. (1985). Productivity and irrigation requirements of halophytes grown with seawater in the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments*, 9(1), 81-91. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31273-4](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31273-4)
- Goering, H.K., & Van Soest, P.J. (1970). Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagent, Procedures and Some Applications): *Agriculture Handbook No. 379*.
- Hasnain, M., Abideen, Z., Ali, F., Hasanuzzaman, M., & El-Keblawy, A. (2023). Potential of halophytes as sustainable fodder production by using saline resources: A review of current knowledge and future directions. *Plants*, 12, 2150. <https://doi.org/10.3390/plants12112150>
- Hill, T.D., Sommer, N.R., Kanaskie, C.R., Santos, E.A., & Oczkowski, A.J. (2018). Nitrogen uptake and allocation estimates for *Spartina alterniflora* and *Distichlis spicata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 507, 53-60. <http://doi.org/10.1016/j.jembe.2018.07.006>
- Horvant, J. (2002). *Distichlis stricta*. Saltgrass, desert saltgrass. Agricultura. Retrieved March 1, 2023 (<http://www.usask.ca/agriculture/plantsci/classes/range/distichlis.html>).
- Howard, R.J., Rafferty, P.S., & Johnson, D.J. (2020). Plant community establishment in a coastal marsh restored using sediment additions. *Wetlands*, 40(4), 877-892. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01217-z>
- ICBA. (2006). *Biosalinity News. Newsletter of the International Center of Biosaline Agriculture (ICBA)*. Dubai.
- James, J.J., & Richards, J.H. (2005). Plant N capture from pulses: Effects of pulse size, growth rate, and other soil resources. *Oecologia*, 145(1), 113-122. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0109-1>
- Kaiser, H.F. (1974). An index of factor simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31-36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>
- Karberg, J.M., Beattie, K.C., O'Dell, D.I., & Omand, K.A. (2018). Tidal hydrology and salinity drives salt marsh vegetation restoration and phragmites australis control in New England. *Wetlands* 38(5), 993-1003. <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1051-4>
- Kudoh, A., Megonigal, J.P., Langley, J.A., Noyce, G.L., Sakai, T., & Whigham, D.F. (2023). Reproductive responses to increased shoot density and global change drivers in a widespread clonal wetland species, *Schoenoplectus americanus*. *Estuaries and Coasts*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12237-023-01249-z>
- León de la Luz, J.L., Medel-Narváez, A., & Domínguez-Cadena, R. (2015). Floristic diversity and notes on the vegetation of Bahía Magdalena area, Baja California Sur, México. *Botanical Sciences* 93 (3), 1-22. <https://doi.org/10.17129/botsci.159>

- León de la Luz, J.L., Rebman, J.P., Van Devender, T.R., Sánchez-Escalante, J.J., Delgadillo-Rodríguez, J., & Medel-Narváez, A. (2018). El conocimiento florístico actual del noroeste de México: Desarrollo, recuento y análisis del endemismo. *Botanical Sciences*, 96(3), 555-568. <https://doi.org/10.17129/botsci.1885>
- Laanbroek, H.J., Zhang, Q.F., Leite, M., Verhoeven, J.T.A., & Whigham, D.F. (2018). Effects of *Rhizophora mangle* leaf litter and seedlings on carbon and nitrogen cycling in salt marshes - potential consequences of climate-induced mangrove migration. *Plant and Soil*, 426(1-2), 383-400. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3611-z>
- Leake, J.E., Squires, V., & Shabala, S. (2022). Rethinking rehabilitation of salt-affected land: New perspectives from Australian experience. *Earth*, 3(1), 245-258. <https://doi.org/10.3390/earth>.
- Ledeá-Rodríguez, J.L., Verdecia-Acosta, D., La O-León, O., Ray-Ramírez, J.V., Reyes-Pérez, J.J., & Murillo-Amador, B. (2018). Caracterización química de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 1-18. <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.32910>
- Lewis, D.W., & McConchie, D. (2012). *Analytical Sedimentology*. Springer Science and Business Media.
- Li, X., Norman, H.C., Hendry, J.K., Hulm, E., Young, P., Speijers, J., & Wilmot, M.G. (2018). The impact of supplementation with *Rhagodia preissii* and *Atriplex nummularia* on wool production, mineral balance, and enteric methane emissions of merino sheep. *Grass and Forage Science*, 73(2), 381-391. <https://doi.org/10.1111/gfs.12314>
- López Soto, M.M., Koch, S.D., Flores-Cruz, M., & Engleman, E.M. (2009). Anatomía comparada de la lámina foliar del género (Poaceae). *Acta Botánica Mexicana*, (89), 1-23. <https://doi.org/10.21829/abm89.2009.302>
- Lymbery, A.J., Kay, G.D., Doupe, R.G., Partridge, G.J., & Norman, H.C. (2013). The potential of a salt-tolerant Plant (*Distichlis spicata* Cv. NyPa Forage) to treat effluent from inland saline aquaculture and provide livestock feed on salt-affected farmland. *Science of the Total Environment*, 445-446, 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.058>
- Massey, F.J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 46(253), 68-78. <https://doi.org/10.1080/01621459.1951.10500769>
- Massimi, M., Al-Rifae, M., Alrusheidat, J., Al-Dakheel, A., Ismail, F., & Al-Ashgar, Y. (2016). Salt-tolerant triticale (X *Triticosecale* Witt) cultivation in Jordan as a new forage crop. *American Journal of Experimental Agriculture*, 12(2), 1-7. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2016/24292>
- Meixler, M.S., Kennish, M.J., & Crowley, K.F. (2018). Assessment of plant community characteristics in natural and human-altered coastal marsh ecosystems. *Estuaries and Coasts*, 41(1), 52-64. <https://doi.org/10.1007/s12237-017-0296-0>
- Montesinos, D.B. (2012). Halophytic vegetation of three andean localities in the pacific streams of south Peru. *Chloris Chilensis: Revista Chilena de Flora y Vegetación*, 15(2), 1-25.
- Mohammed, F., Şabik, S., Sevindik, A. E., Pehlivan, E., & Sevindik, M. (2020). Determination of antioxidant and oxidant potentials of *Thymbra spicata* collected from Duhok-Iraq. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology*, 8(5), 1171-1173. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i5.1171-1173.3341>
- Negacz, K., Vellinga, P., Barrett-Lennard, E., Choukr-Allah, R., & Elzenga, T. (2021). Future of Sustainable Agriculture in Saline Environments. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org>

- [org/10.1201/9781003112327](https://doi.org/10.1201/9781003112327)
- Norman, H.C., Cocks, P.S., & Galwey, N.W. (2020). Populations of two annual clover species evolved in response to 13 years of grazing management and phosphate fertilizer application. *Grass and Forage Science*, 75(1), 64-75. <https://doi.org/10.1111/gfs.12460>
- Norman, H.C., Humphries, A.W., Hulm, E., Young, P., Hughes, S.J., Rowe, T., Peck, D.M., & Vercoe, P.E. (2021). Productivity and nutritional value of 20 species of perennial legumes in a low-rainfall mediterranean-type environment in southern Australia. *Grass and Forage Science*, 76(1), 134-158. <https://doi.org/10.1111/gfs.12527>
- Norman, H.C., Masters, D.G., & Barrett-Lennard, E.G. (2013). Halophytes as forages in saline landscapes: Interactions between plant genotype and environment change their feeding value to ruminants. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 96-109. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.003>
- Pensiero, J.F., Zabala, J.M., del Marinoni, L., & Richard, G.A. (2021). Native and naturalized forage plant genetic resources for saline environments of the southernmost portion of the American Chaco. Pp. 339-380 in *Saline and Alkaline Soils in Latin America*. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52592-7_18
- Peterson, P.M., Soreng, R.J., Davidse, G., Filgueiras, T.S., Zuloaga, F.O., & Judziewicz, E.J. (2001). Catalogue of new world grasses (Poaceae): II. Subfamily Chloridoideae. Contributions from the United States National Herbarium 41.
- Rasser, M.K., Fowler, N.L., & Dunton, K.H. (2013). Elevation and plant community distribution in a microtidal salt marsh of the western Gulf of Mexico. *Wetlands*, 33(4), 575-583. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0398-9>
- Robertson, S.M., Lyra, D.A., Mateo-Sagasta, J., Ismail, S., & Akhtar, M.J.U. (2019). Financial analysis of halophyte cultivation in a desert environment using different saline water resources for irrigation. In: Hasanuzzaman, M., Nahar, K. & Öztürk, M. (eds). *Ecophysiology, abiotic stress responses and utilization of halophytes*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3762-8_17
- Rosales, R.B., & Sánchez-Pinzón, S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 69-82. https://doi.org/10.21930/rcta.vol6_num1_art:39
- Salman, I.S., Barrett-Lennard, E.G., Kadhim, K., Ismail, S., & Norman, H.C. (2013). Salt-tolerant forages for irrigated saline land in central Iraq. Proceedings of the 22nd International Grasslands Congress, 15-19 September 2013, Sydney, pp. 1652-1654.
- Santelmann, M.V., Boisjolie, B.A., Flitcroft, R., & Gomez, M. (2019). Relationships between salt marsh vegetation and surface elevation in coos bay estuary, Oregon. *Northwest Science*, 93(2), 137-154. <https://doi.org/10.3955/046.093.0205>
- Sigua, G.C., & Hudnall, W.H. (1991). Gypsum and water management interactions for revegetation and productivity improvement of brackish marsh in Louisiana. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 22(15-16), 1721-1739. <https://doi.org/10.1080/00103629109368530>
- Smith, A.P., Zurcher, E., Llewellyn, R.S., & Norman, H.C. (2022). Designing integrated systems for the low rainfall zone based on grazed forage shrubs with a managed interrow. *Agronomy*, 12(10), 2348. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102348>
- Van Soest, P.V., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*,

- 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Srinivas, A., Rajasheker, G., Jawahar, Devineni, P.L., Parveda, M., Kumar, S.A., & Kavi Kishor, P.B. (2018). Deploying mechanisms adapted by halophytes to improve salinity tolerance in crop plants: focus on anatomical features, stomatal attributes, and water use efficiency. In: Kumar, V., Wani, S., Suprasanna, P., Tran, L.S. (eds). Salinity responses and tolerance in plants, Volume 1. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4_2
- Torres, V., López, V., & Noda, A. (1993). Example for application o multivariate techniques in different stages of the evaluation and screening of pastures species. II. Multivariate analysis of variance. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 27, 247.
- Valiela, I., Chenoweth, K., Lloret, J., Teal, B., Howes, D., & Goehringer Toner, D. (2023). Salt marsh vegetation change during a half-century of experimental nutrient addition and climate-driven controls in great sippewissett marsh. *Science of the Total Environment*, 867, 161546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161546>
- Ventura, Y., & Sagi, M. (2013). Halophyte crop cultivation: The case for Salicornia and Sarcocornia. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 144-53. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010>
- Vogt, Ch. (2015). Clasificación de las comunidades halófilas de las estepas salinas en la cuenca del riacho Yakaré Sur, Chaco Boreal, Paraguay. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural del Paraguay*, 19(2), 41-49.
- Yensen, N.P., & Weber, C.W. (1985). A review of *Distichlis spp.* for production and nutritional values. Pp. 809-8222 in *Arid lands today and tomorrow*, edited by E. Whitehead, C. Hutchinson, B. Timmermann, and Y. Varady. Boulder: Westview Press.
- Zamin, M., & Khattak, A.M. (2018). Evaluating *Sporobolus spicatus* ecotypes under different mowing heights for turf use. *Sarhad Journal of Agriculture*, 34(1), 114-122. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2018/34.1.114.122>
- Zhang, Q.F., & Laanbroek, H.J. (2020). Tannins from senescent *Rhizophora mangle* mangrove leaves have a distinctive effect on prokaryotic and eukaryotic communities in a *Distichlis spicata* Salt Marsh Soil. *FEMS Microbiology Ecology* 96(9). <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa148>
- Zucol, A.F., Patterer, N.I., Moya, E., & Fernández Pepi, M.G. (2019). Phytolith analysis of the main species of *Distichlis sp.* (*Chloridoideae*: Poaceae) distributed in south America. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 269. <https://doi:10.1016/j.revpalbo.2019.06.004>