



Morfología e índices ecológicos de fitolitos en gramíneas de un agroecosistema ganadero durante el periodo lluvioso

Morphology and ecological indices of phytoliths in grasses of a livestock agroecosystem during the rainy season

Jatnel Alonso Lazo* <https://orcid.org/0000-0001-8697-5981>

Susan Kelly Hernández Lemus <https://orcid.org/0000-0001-6606-9148> | susankellyh123@gmail.com

Lázaro Castro Hernández <https://orcid.org/0000-0001-8259-230X> | lls96@gmail.com

Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque

*Email: jatnelalonso72@gmail.com

Recibido: 4 de abril de 2025

Aceptado: 29 de junio de 2025

Publicado: 31 de julio de 2025

Resumen

Objetivo. Los objetivos del presente estudio fueron identificar morfológicamente los fitolitos presentes en una comunidad vegetal de gramíneas dedicadas al pastoreo y estudiar sus relaciones a través de índices ecológicos. **Materiales y métodos.** La investigación se realizó en la lechería Genético 3 del Instituto de Ciencia Animal, y se utilizó un diseño de muestreo completamente al azar en la comunidad vegetal donde por botánica tradicional se identificaron las especies *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon dactylon*, *Megathyrsus maximus*, *Urochloa decumbens*, *Paspalum notatum* y *Sporobolus indicus*. En campo se recolectaron muestras compuestas de al menos cinco individuos por especie utilizando la parte aérea de la planta, las cuales fueron secadas, molidas y procesadas para la extracción e identificación

Abstract

Objective. The objectives of this study were to morphologically identify the phytoliths present in a plant community of grazing grasses and to study their relationships through ecological indices. **Materials and methods.** The research was carried out at the Genetic Dairy 3 of the Institute of Animal Science, and a completely random sampling design was used in the plant community where, through traditional botany, the species *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon dactylon*, *Megathyrsus maximus*, *Urochloa decumbens*, *Paspalum notatum*, and *Sporobolus indicus* were identified. In the field, composite samples of at least five individuals per species were collected using the aerial part of the plant, which were dried, ground, and processed for the extraction and identification of phytoliths by op-

de fitolitos, mediante microscopía óptica. Se contaron los fitolitos en 20 campos de observación por especie y se calcularon los siguientes índices ecológicos: número total de fitolitos, número de morfotipos, abundancia relativa e índice de diversidad de Shannon. **Resultados.** Se encontraron 12 morfotipos diferentes de fitolitos, de los cuales 9 estuvieron presentes en todas las especies. Los morfotipos más frecuentes fueron esferoide liso (1 683), esferoide ornamentado (444), bilobado (378), elongado dentado (325) y células buliformes (301). Las especies *Urochloa decumbens* (3.52), *Megathyrsus maximus* (3.49) y *Sporobolus indicus* (3.48) alcanzaron los mayores valores del índice de Shannon (H'). **Conclusiones.** Los índices ecológicos reflejaron diferencias en la cantidad y diversidad de fitolitos entre las especies estudiadas. Si bien los morfotipos no son diagnósticos a nivel específico, sus patrones de distribución sugieren posibles diferencias en los mecanismos de acumulación de sílice entre las gramíneas analizadas.

Palabras clave

Clasificación, comunidad vegetal, fitolitos, pastoreo.

tical microscopy. Phytoliths were counted in 20 observation fields per species, and the following ecological indices were calculated: total number of phytoliths, number of morphotypes, relative abundance, and Shannon diversity index. **Results.** Twelve different phytolith morphotypes were found, of which 9 were present in all species. The most frequent morphotypes were smooth spheroid (1683), ornamented spheroid (444), bilobed (378), elongated toothed (325), and bulliform cells (301). The species *Urochloa decumbens* (3.52), *Megathyrsus maximus* (3.49) and *Sporobolus indicus* (3.48) reached the highest Shannon Index (H') values. **Conclusions.** The ecological indices reflected differences in the quantity and diversity of phytoliths among the studied species. Although the morphotypes are not diagnostic at a specific level, their distribution patterns suggest possible differences in the mechanisms of silica accumulation among the analyzed grasses.

Keywords

Classification, plant community, phytoliths, grazing.

Introducción

Los fitolitos son biominerales que se forman en tejidos vegetales vivos y desempeñan múltiples funciones fisiológicas y ecológicas. Estos cuerpos microscópicos contribuyen al sostén estructural de las plantas, el secuestro de metales pesados (Gonçalves *et al.*, 2015), la defensa contra herbívoros e imparten tolerancia contra estrés biótico y abiótico (Xu *et al.*, 2023). Están compuestos de un 66% a un 98% de silicio, cantidades de agua entre 4 y 9% y pequeñas cantidades de Al, Fe, Mn, P, Cu, N y C orgánico, que van desde < 1% hasta el 5% del peso total de los fitolitos (Anala y Nam-bisan, 2015; Bhat *et al.*, 2018).

Las gramíneas en particular son grandes acumuladoras de sílice en sus tallos y hojas (Hodson *et al.*, 2005). Este rasgo les confiere ventajas adaptativas frente a la herbivoría y puede estar asociado a propiedades agronómicas como la resistencia mecánica y la productividad forrajera (Lepsch y Paula, 2006).

La nomenclatura de estos cuerpos describe varios tipos y morfotipos en función del órgano de la planta en el que se forman (hojas, tallos y raíces) y del sitio específico de formación (inter o intracelular). Sin embargo, son escasos los estudios que integran esta clasificación morfológica con herramientas cuantitativas como los índices ecológicos, los cuales

podrían contribuir a comprender si existen patrones estructurales relacionados con el valor nutritivo de las gramíneas empleadas en la alimentación animal en ambientes tropicales.

En tal sentido, los objetivos del trabajo fueron identificar morfológicamente los fitolitos presentes en una comunidad vegetal de gramíneas dedicadas al pastoreo y analizar su diversidad y distribución mediante el uso de índices ecológicos.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó en las áreas de pastoreo de la unidad lechera Genético 3 perteneciente al Instituto de Ciencia Animal, situado en el municipio de San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba, entre los 22° 53' latitud N y los 82° 02' longitud O y a 92 msnm.

Toma de muestra

Los muestreos se realizaron en el periodo lluvioso (mayo a octubre) en dos hectáreas de una comunidad vegetal destinada al pastoreo, establecida sobre un suelo ferralítico rojo típico (Hernández *et al.*, 2015). Se aplicó un diseño completamente al azar, utilizando como unidad de muestreo parcelas de 1 m². El área total evaluada fue de 200 m², distribuidos en 20 parcelas seleccionadas aleatoriamente dentro del pastizal.

En cada parcela se identificaron las especies presentes y se recolectaron muestras compuestas de al menos cinco individuos por especie. Las gramíneas identificadas fueron: *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon dactylon*, *Megathyrsus maximus*, *Urochloa decumbens*, *Paspalum notatum* y *Sporobolus indicus*. Para el análisis de fitolitos se recolectó exclusivamente la parte aérea de las plantas, fijando una altura de corte de 5 cm sobre el nivel del suelo; además, todas las especies colectadas fueron herborizadas según técnicas usadas en taxonomía (Baró *et al.*, 2017) y las muestras incorporadas al herbario del Instituto de Ciencia Animal (HICA), el cual se encuentra asociado al herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de la Habana con el acrónimo (HFA).

Procesamiento de las muestras

Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Biomasa y se colocaron en estufa de circulación de aire forzado hasta que mantuvieran peso constante; posteriormente fueron molidas en molino de martillo IKA® MF 10 Basic y tamizadas a 1 mm en la UCELAB (Unidad Central de Laboratorio) para determinar el contenido de fitolitos según Parr *et al.* (2014).

Fueron utilizados cinco gramos de cada muestra los cuales se calcinaron en mufla a 500 °C durante seis horas. Las cenizas se transfirieron a tubos de ensayos donde se retiraron los carbonatos con una solución de ácido clorhídrico al 10 % en baño María a 70 °C por 30 min; luego se centrifugaron a 3 000 rpm durante cinco minutos y se eliminó el sobrenadante. Este proceso se repitió con agua destilada y luego con peróxido de hidrogeno 15 %, seguido de dos lavados con agua destilada. Finalmente, las muestras se colocaron en etanol y se deshidrataron en estufa a 60 °C, para pesarlas en balanza analítica.

Los fitolitos contenidos en las cenizas calcinadas fueron colocados en recipientes plásticos identificados, herméticamente cerrados y conservados al ambiente en el Laboratorio de Biomasa. Para la caracterización morfológica de los fitolitos se pesó en balanza analítica Intell-Lab™ Balance, model: PA 200, capacity: 200 g, resolution: 0.0001 g, 0.0010 g de fitolitos de cada una de las especies y se colocaron en porta objetos. Para su fijación se aplicó, antes de colocar el cubreobjeto 0.1 ml del medio Neo-Mount, el cual se preparó en una dilución total de 0.5 ml (0.25 ml bálsamo de Canadá + 0.25 ml Xilol o dimetilbenceno).

Se utilizó microscopio óptico (OPTECH, Optical Technology, Mod. B3,) con cámara digital (Microscope Digital Eyepiece, DCM-310, 3.0M pixels, CMOS, USB 2.0) adaptada al micro y el programa de visualización de campo para microscopio óptico (ScopePhoto, Scope Tek ScopePhoto, Copyright (C) 2003-2010, Versión: Windows XP/Vista/7, Built: Seo 262010 10.45:31) para la observación de los fitolitos. En la identificación de los morfotipos se empleó el Código Internacional para Nomenclatura de Fitólitos (Neumann *et al.*, 2019).

Para el cálculo de los índices ecológicos se seleccionaron al azar 20 campos de observación por cada especie, se utilizó un microscopio óptico con objetivo de 40X. En cada campo se identificaron los morfotipos de fitolitos presentes y se realizó un conteo individual de cada tipo. A partir de estos datos se elaboró una base datos que permitió calcular los siguientes índices ecológicos: número total de fitolitos, número total de morfotipos, abundancia relativa por morfotipo y el índice de diversidad de Shannon.

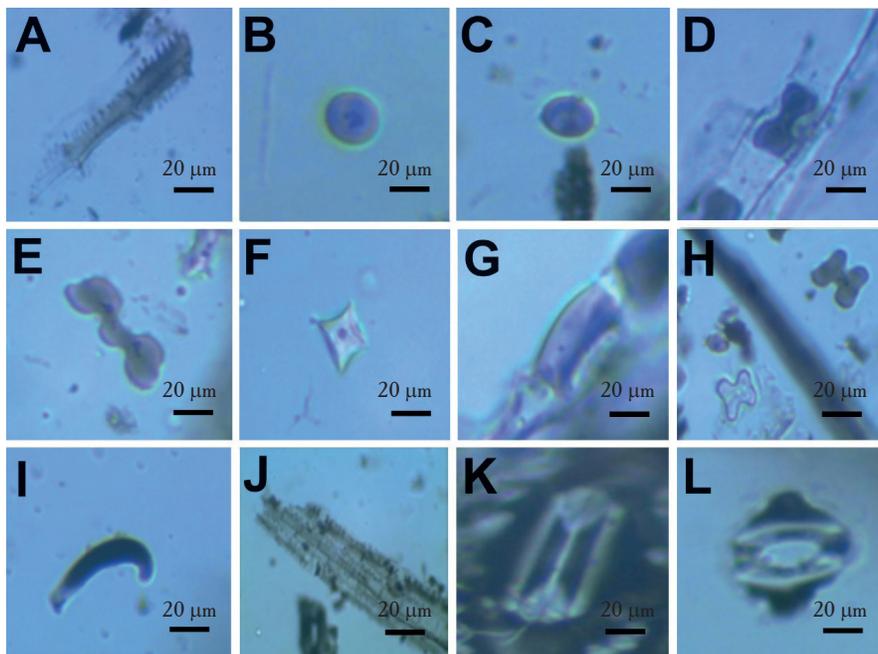
Resultados

Los estudios morfológicos evidenciaron la presencia de 12 morfotipos de fitolitos, nueve de los cuales fueron comunes en todas las especies analizadas. Estos morfotipos comunes fueron: elongado dentado, esferoides lisos, esferoide ornamentado, bilobado, polilobado, trapezoide, silla de montar y dos tipos de esqueletos de sílice formados en células articuladas, denominados en este caso fitolitos estomáticos, ya que su formación ocurrió en las estomas. En cambio, los morfotipos en forma de cruz, aguzados y traqueal se observaron exclusivamente en las especies *Cynodon dactylon*, *Megathyrus maximus*, *Paspalum natatun* y *Sporobolus indicus* (figura 1).

En cuanto a la frecuencia relativa (figura 2), los morfotipos más abundantes fueron el esferoide liso (1 683), esferoide ornamentado (444), bilobado (378), elongado dentado (325) y traqueal (301). Los de menor representación fueron aguzado (24) y polilobado (33).

Figura 1

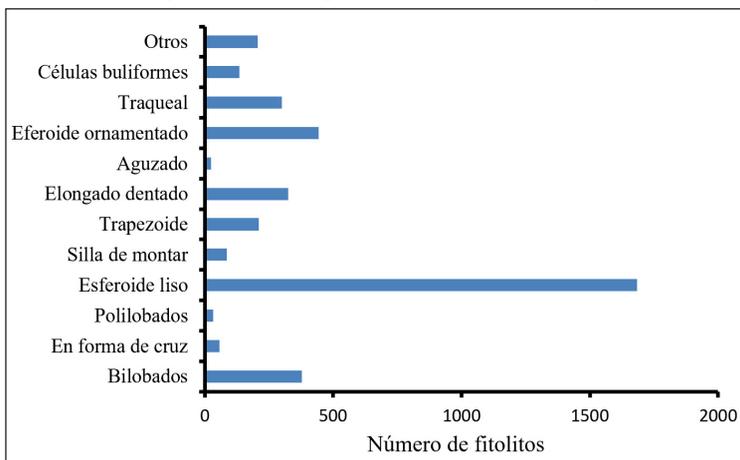
Morfotipos de fitolitos presentes en gramíneas sometidas a pastoreos



A: Elongado dentado (ELO_DET); B: Esferoide liso (SPH_PSI); C: Esferoide Ornamentado (SPH_ORN); D: Bilobado (BIL); E: Polilobado (POL); F: Trapezoide (TRZ); G: Silla de montar (SAD); H: Forma de cruz (CRO); I: Aguzado (ACU_BUL); J: Traqueal (TRA) y K-L: Estomáticos. Entre paréntesis, código según ICPN 2.0 (Neumann *et al.*, 2019).

Figura 2

Número de fitolitos según los morfotipos identificados en seis gramíneas de pastoreo



Los índices ecológicos obtenidos (cuadro 1) mostraron un total 3 879 fitolitos identificados, distribuidos en 12 morfotipos. El mayor número de fitolitos (1 121) se encontró en *Paspalum notatum*, aunque en esta especie sólo se identificaron 11 morfotipos; por el contrario, *Cynodon nlemfuensis* presentó la menor cantidad total (299) de fitolitos y también el menor número de morfotipos registrados. El índice de diversidad de Shannon indicó diferencias significativas entre las gramíneas estudiadas. De esta forma, *Urochloa decumbens* ($H' = 3.52$), *Megathyrus maximus* ($3 H' = 0.49$) y *Sporobolus indicus* ($H' = 3.48$) exhibieron los mayores valores, lo que sugiere una mayor riqueza de morfotipos y una distribución más uniforme entre ellos.

Cuadro 1

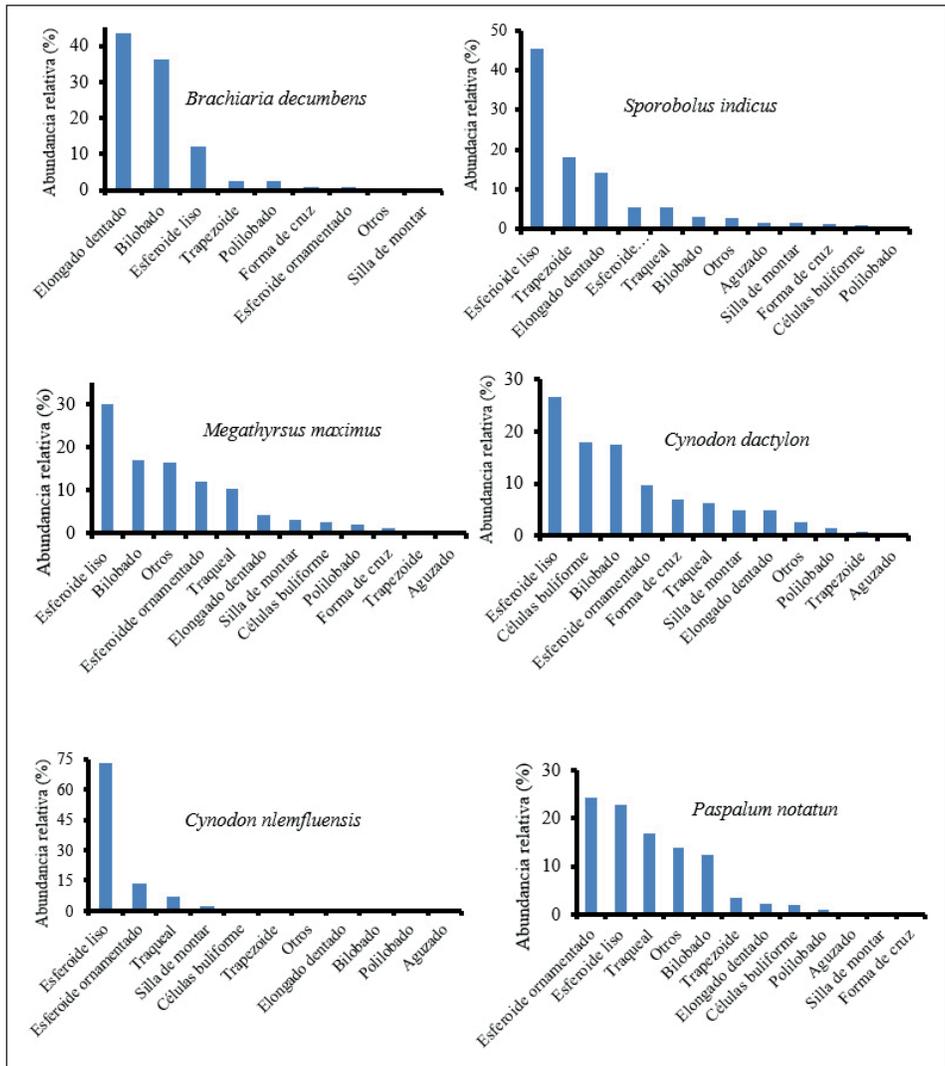
Índices ecológicos de fitolitos presentes en diferentes especies de gramíneas

Especies	Índices ecológicos		
	Total de fitolitos (N)	Número de morfotipos de fitolitos (S)	Índice de Shannon (H')
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	299	9	3.23
<i>Cynodon dactylon</i>	930	12	3.28
<i>Megathyrus maximus</i>	522	12	3.49
<i>Urochloa decumbens</i>	495	12	3.52
<i>Paspalum notatum</i>	1 121	11	3.29
<i>Sporobolus indicus</i>	512	12	3.48
Total	3879	12	—

El índice de abundancia relativa de los morfotipos de fitolitos mostró patrones diferenciados entre las gramíneas estudiadas (figura 3). El morfotipo circular fue el más frecuente en *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon dactylon*, *Megathyrus maximus* y *Sporobolus indicus*. En cambio, en *Urochloa decumbens* y *Paspalum notatum* predominaron los morfotipos células alargadas y globulares, respectivamente.

Figura 3

Abundancia relativa (%) de morfotipos de fitolitos en seis especies de gramíneas de pastoreo



Discusión

Los estudios morfológicos de fitolitos en comunidades vegetales destinadas al pastoreo continúan siendo escasos, a pesar del potencial de estos cuerpos silíceos como marcadores taxonómicos, ecológicos y funcionales. Investigaciones previas proponen sistemas de clasificación morfológica (Zucol y Brea, 2005; Taylor *et al.*, 2009; Rashid *et al.*, 2019), aunque en muchos casos no posibilitan realizar comparaciones entre sí, ya que la definición misma de

taxonomía a menudo conduce a una confusión conceptual más que a una variada oferta de tipos o nomenclatura (Posada, 2014). Esto obedece, en parte, a que muchos morfotipos aún carecen de características diagnósticas definidas (Xiaohong y Binrong, 2022).

Este hecho se relaciona directamente a que los fitolitos toman la forma de las células en las que se forman o de los espacios intercelulares donde se biomineralizan, siendo característicos del órgano vegetal de origen (Kast, 2019). Así, estos depósitos silíceos pueden presentar formas regulares como esféricas, elipsoidales, cónicas, cilíndricas, rectangulares o cúbicas o adoptar morfologías más complejas, como estructuras en cruz, en forma de sombrero, en abanico o de barra, especialmente cuando se forman en espacios intracelulares.

En este estudio, la aplicación del ICPN 2.0 (Neumann *et al.*, 2019) permitió identificar y clasificar los morfotipos encontrados con un criterio estandarizado. La correspondencia observada entre ciertos morfotipos y las especies vegetales de origen se explica, en parte, porque la formación de fitolitos no responde a un control genético estricto, sino a un proceso de acumulación progresiva de sílice en los tejidos, regulado por factores fisiológicos y ambientales (Mathur y Roy, 2020).

El número de fitolitos encontrado en esta investigación reafirma que su formación en gramíneas es abundante, en comparación con otras familias de plantas. Al estudiar estos cuerpos opalinos, Pearse y Ball (2019), observaron que tanto las gramíneas como otras herbáceas producen fitolitos en gran cantidad, aunque suelen presentar morfotipos más comunes y poco diagnósticos, mientras que los arbustos y los árboles a menudo no los generan con menor frecuencia, pero tienden a formar morfotipos más distintivos desde el punto de vista taxonómico. Esta diferencia podría estar relacionada con el hecho de que, en muchas especies leñosas, la formación de fitolitos se limita principalmente al follaje, los frutos y las semillas (An y Xie, 2022).

Otro aspecto a considerar es que un mismo tipo morfológico de fitolito puede aparecer en especies vegetales de diferentes familias (Radini, 2024), lo que puede generar problemas de en la identificación taxonómica, especialmente en ausencia de criterios diagnósticos bien definidos (Neumann *et al.*, 2017).

En cuanto a la diversidad morfológica observada, el índice de Shannon reflejó diferencias entre especies, con los mayores valores en *Urochloa decumbens*, *Megathyrus maximus* y *Sporobolus indicus*, este patrón sugiere mayor heterogeneidad en los tipos de células silicificadas en estas gramíneas, posiblemente asociado tanto a factores genéticos como a estrategias adaptativas frente al pastoreo o al estrés hídrico, condiciones comunes durante el periodo lluvioso en sistemas ganaderos tropicales. Los resultados podrían indicar mayor plasticidad fenotípica o con estrategias adaptativas frente a diversas condiciones ambientales o de manejo en pastoreo.

Desde un enfoque ecológico, la abundancia relativa de ciertos morfotipos en determinadas especies podría ser utilizada como herramienta útil para estudios de dieta en herbívoros, trazabilidad de forraje consumido y reconstrucción paleoecológica en agroecosistemas. Investigaciones recientes (Chowdhary *et al.*, 2023) demostraron que los perfiles fitolíticos permiten diferenciar especies incluso a nivel intraespecífico, lo cual amplía las posibilidades de aplicación en arqueobotánica, ecología trófica y estudios de manejo ganadero.

En este sentido, el uso combinado entre análisis morfotipológicos y herramientas ecológicas representa una vía prometedora para caracterizar comunidades vegetales de pastizales, especialmente en regiones tropicales donde se requiere avanzar hacia modelos de manejo más sostenible del recurso forrajero.

Conclusiones

Las gramíneas *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon dactylon*, *Megathyrsus maximus*, *Urochloa decumbens*, *Paspalum notatum* y *Sporobolus indicus*, integrantes de una comunidad vegetal destinada al pastoreo, presentaron diferentes morfotipos de fitolitos.

En todas las especies se identificaron los siguientes morfotipos: esferoide liso, esferoide ornamentado, elongado dentado, bilobado, polilobado, trapezoide, silla de montar y dos esqueletos de sílices formados en células articuladas. El morfotipo esferoide liso fue el más abundante en el conjunto de muestras analizadas.

Los índices ecológicos aplicados reflejaron diferencias en la cantidad y diversidad de fitolitos entre las especies estudiadas, lo que sugiere patrones de acumulación diferenciados. Si bien los morfotipos identificados no son diagnósticos a nivel específico, su composición relativa mostró variaciones que podrían asociarse con particularidades anatómicas o funcionales propias de cada especie.

Literatura citada

- An, X.; Xie, B. (2022). Phytoliths from Woody Plants: A Review. *Diversity*, 14: 339. <https://doi.org/10.3390/d14050339>
- Anala, R. y Nambisan, P. (2015). Study of morphology and chemical composition of phytoliths on the surface of paddy straw. *Paddy and Water Environment*, 13(4): 521-527. <https://doi.org/10.1007/s10333-014-0468-5>
- Baró, I.; Oviedo, R.; Echevarría, R.; Verdecia, R.; Ferro, J.; Rosa, R. y Fuentes, I. M. (2017). Creación y manejo de herbarios. In C. A. Manciana y D. D. Cruz (Eds.), *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas (AMA)*. 502 p.
- Bhat, M. A.; Shakoor, S. A.; Badgal, P. y Soodan, A. S. (2018). Taxonomic Demarcation of *Setaria pumila* (Poir.) Roem. y Schult., *S. verticillata* (L.) P. Beauv., and *S. viridis* (L.) P. Beauv. (Cenchrinae, Paniceae, Panicoideae, Poaceae) From Phytolith Signatures. *Frontiers in Plant Science*, 9: 864-896. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00864>
- Chowdhary, P.; Bhat, M. A.; Badgal, P.; Shakoor, S. A.; Mir, B. A. y Soodan, A. S. (2023). Phytolith profiles of *Lolium perenne* L. from the Kashmir Himalayas. *Brazilian Journal of Botany*, 46: 997-1014. <https://doi.org/10.1007/s40415-023-00915-7>
- Gonçalves, A. C.; Yoshihara, M. M.; Carvalho, E. A.; Strey, L. y Moraes, A. J. (2015). Teores de nutrientes e metais pesados em plantas de estragão submetidas a diferentes fertilizações. *Revista Ciência Agronômica*, 46(2): 233-240. <http://www.scielo.br/pdf/rca/v46n2/0045-6888-rca-46-02-0233.pdf>
- Hernández, J. A.; Pérez, J. J.; Bosch, I. D. y Castro, S. N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 93 p; ISBN:978-959-7023-77-7.
- Hodson, M. J.; White, P. J.; Mead, A. y Broadley, M. R. (2005). Phylogenetic variation in the sil- icon composition of plants. *Annals of botany*, 96(6): 1027-104. <https://doi.org/10.1093/aob/mci255>
- Katz, O. (2019). Silicon content is a plant functional trait: Implications in a changing world. *Flora*, 254: 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.08.007>

- Lepsch, I. F. y Paula, L. M. A. (2006). Fitólitos em solos sob cerradões do triângulo mineiro: relações com atributos e silício adsorvido. *Caminhos de Geografia*, 7(19): 185-190. <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15499>.
- Mathur, P. y Roy, S. (2020). Nanosilica facilitates silica uptake, growth and stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 157: 114-127. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.10.011>
- Neumann, K.; Chevalier, A. y Vrydaghs, L. (2017) Phytoliths in archaeology: recent advances. *Vegetation History and Archaeobotany*, 26(1): 1-3. <https://doi.org/10.1007/s00334-0160598-3>
- Neumann, K.; Strömberg, A. E.; Ball, T.; Albert, R. M.; Vrydaghs, L. y Cummings, L. S. (2019). International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany*, 124: 189-199. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz064>
- Parr, J. F. y Sullivan, L. A. (2014). Comparison of two methods for the isolation of phytolith occluded carbon from plant material. *Plant and soil*, 374(1-2): 45-53. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1847-1>
- Pearce, M. y Ball, T. B. (2019). A study of phytoliths produced by selected native plant taxa commonly used by Great Basin Native Americans. *Vegetation History and Archaeobotany*, 29(2): 213-228. <https://doi.org/10.1007/s00334-019-00738-1>
- Posada, W. A. (2014). Tendencias del análisis de fitolitos en Colombia. Una revisión crítica de la sistemática y las metodologías desde una perspectiva arqueológica. *Boletín de Antropología Universidad de Antioquia*, 29(48): 164-186. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55733909007>
- Radini, A. (2024) Archaeobotany: Plant Microfossils. En: Encyclopedia of Archaeology (segunda edición). Elsevier. Cyprus Institute, Nicosia, Cyprus. Pp 698-707. <https://10.1016/b978-0-323-90799-6.00114-2>
- Rashid, I.; Mir, S. H.; Zurro, D.; Dar, R. A. y Reshi, Z. A. (2019). Phytoliths as proxies of the past. *Earth-Science Reviews*, 194: 234-250. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.05.005>
- Taylor, T. N.; Taylor, E. L. y Krings, M. (2009). *Paleobotany. The biology and evolution of fossil plants.* Academic Press, New York, USA. 1252 p. ISBN 978-0-12-373972-8
- Xiaohong, A. y Binrong, X. (2022). Phytoliths from Woody Plants: A Review. *Diversity*, 14(5): 339 <https://dpi.org/10.3390/d14050339>
- Xu, R.; Huang, J.; Guo, H.; Wang, C. y Zhan, H. Z. (2023). Functions of Silicon and Phytolith in Higher Plants. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1): e2198848. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2198848>
- Zucol, A. y Brea, M. (2005). Sistemática de fitolitos, pautas para un sistema clasificatorio. Un caso en estudio en la Formación Alvear (Pleistoceno inferior), Entre Ríos, Argentina. *Ameghiniana*, 42(4): 685-704. <https://www.ameghiniana.org.ar/index.php/ameghiniana/article/view/934>