

# Tendencias del análisis de fitolitos en Colombia. Una revisión crítica de la sistemática y las metodologías desde una perspectiva arqueológica<sup>1</sup>

William Andrés Posada Restrepo

Candidato a PhD Geografía, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia  
Dirección electrónica: waposadare@unal.edu.co

Posada, William (2014). "Tendencias del análisis de fitolitos en Colombia. Una revisión crítica de la sistemática y las metodologías desde una perspectiva arqueológica". En: *Boletín de Antropología*. Universidad de Antioquia, Medellín, Vol. 29, N.º 48, pp. 164-186.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.boan.v29n48a07>  
Texto recibido: 07/07/2014; aprobación final: 10/10/2014

**Resumen.** Desde hace más de treinta años, en Colombia se han empleado los fitolitos como indicadores paleobotánicos dentro de la investigación arqueológica y paleoecológica. A pesar de ello, la mayoría de estudios realizados exhiben un patrón muy limitado de alcances y resultados que denota falencias de orden metodológico, cuyo impacto inhibe su propio desarrollo y el de sus disciplinas más cercanas. A partir de la consulta de una base de datos bibliográfica y de las experiencias documentadas por el autor, se revisaron los estudios que han registrado el hallazgo, aplicación o análisis de fitolitos en Colombia, reconociendo varios inconvenientes conceptuales y procedimentales relacionados con cuatro aspectos críticos de este proxy: la taxonomía, la afinidad botánica, los procesos tafonómicos y las colecciones de referencia. Las ideas obtenidas de la revisión sugieren que un manejo distinto y más adecuado de estos aspectos, permitirá superar los principales percances metodológicos y trascender algunas de las restricciones intrínsecas de los fitolitos.

*Palabras clave:* arqueología, fitolitos, paleoecología, Colombia, métodos en arqueología.

---

<sup>1</sup> Versión desarrollada y actualizada de la ponencia "Tendencias del análisis de fitolitos en Colombia: apuntes metodológicos para una reflexión crítica desde la Arqueología", presentado en el Simposio "Paleoecología humana y Arqueología en Colombia" durante el XIV Congreso Colombiano de Antropología (Universidad de Antioquia, 2012).

## **Trends of phytolith analysis in Colombia. A critical review of systematics and methodologies from an archaeological perspective**

**Abstract.** For more than thirty years, phytoliths have been used as paleobotanical indicators in archaeological and paleoecological research in Colombia. However, most studies show limited scope and results, suggesting methodological voids with impacts on their own development and the development of related disciplines. Based on experiences documented by the author as well as a bibliographic database, this paper reviewed the studies that report the recovery, application and analysis of phytoliths in Colombia, recognizing several conceptual and technical problems related to four critical aspects: taxonomy, botanical affinity, taphonomic processes and reference collections. The insights gained suggest that a different and more appropriate approach to these aspects will help overcome the main methodological mishaps as well as the intrinsic restrictions of phytoliths.

*Keywords:* Archaeology, Phytoliths, Methodology, Paleoecology.

## **Tendências da análise de fitólitos na Colômbia. Uma revisão crítica da sistemática e as metodologias desde uma perspectiva arqueológica**

**Resumo.** Há mais de trinta anos são empregados os fitólitos na Colômbia, como indicadores paleobotânicos dentro da pesquisa arqueológica e paleoecológica. Apesar disso, a maioria dos estudos realizados exibe um padrão muito limitado de alcances e resultados que denota falhas de ordem metodológica cujo impacto inibe seu próprio desenvolvimento e o de suas disciplinas mais próximas. Com base na consulta de uma base de dados bibliográficos e nas experiências documentadas pelo autor, foram revisados os estudos que têm registrado o achado, a aplicação ou análise de fitólitos na Colômbia, reconhecendo vários inconvenientes conceituais e de procedimento relacionados a quatro aspectos críticos deste proxy: a taxonomia, a afinidade botânica, os processos tafonômicos e as coleções de referência. As ideias obtidas da revisão sugerem que um manejo diferente e mais adequado destes aspectos, permitirá superar os principais desajustes metodológicos e transcender algumas das restrições intrínsecas dos fitólitos.

*Palavras-chave:* Arqueologia, Fitólitos, Metodologia, Paleoecologia.

### **Introducción**

En realidad son pocos los proyectos de investigación en Colombia que han empleado el análisis de fitolitos como método de investigación. Su estudio en el país se remonta a finales de los años 70 cuando Elizabeth Schreve-Brinckman (1978) publicó los primeros reportes de fitolitos recuperados en los núcleos palinológicos del sitio El Abra. Pocos años más tarde, Dolores Piperno (1985) realizaría el primer trabajo sistemático de fitolitos en el contexto arqueológico del Valle del Dorado en Calima. Allí se plantearon por primera vez en Colombia los criterios morfométricos más importantes para identificar los fitolitos característicos de plantas como las palmas, las calabazas y el maíz, quienes se perfilaron como las protagonistas del naciente escenario paleobotánico de la arqueología colombiana. Desde entonces, un reducido número de investigadores de las áreas de biología, arqueología, suelos y geología, han desarrollado paulatinamente este tipo de análisis en respuesta tanto

a las nuevas elaboraciones teóricas de las distintas disciplinas (cambio climático, génesis de suelos, domesticación, agricultura), como a los demás retos científicos que plantea la evidencia empírica recuperada en el registro fósil y arqueológico.

Si bien el ritmo de publicaciones internacionales en torno al análisis de fitolitos crece a una gran velocidad, esto no significa necesariamente un avance en su desarrollo, así como tampoco supone una motivación para su uso e implementación en la investigación colombiana, debido a que la información que aportan los estudios a menudo no compensa la inversión hecha en términos de esfuerzo y dinero. Esta situación pone de manifiesto una contradicción ciertamente interesante: de una parte, los fitolitos se consideran como un proxy válido, accesible y expedito para ser aplicado en proyectos de investigación. Mientras que, por otra parte, son vistos como herramientas disfuncionales que le aportan muy poco a la arqueología y a la investigación paleoambiental. Esta última opinión radica en una expectativa frustrada proveniente de los alcances y procedimientos de la palinología, que tras varios años de desarrollos y aplicaciones, dispone ya de un corpus técnico y teórico que muchos esperan hallar también en los estudios de fitolitos (Zurro, 2006). Pero tal apreciación no podía ser más ingenua si se tienen en cuenta las diferencias conceptuales que gobiernan uno y otro proxy y que exigen un manejo metodológico igualmente distinto.

**Tabla 1.** Listado de documentos y publicaciones que incluyen análisis de fitolitos en Colombia

Año	Departamento	Fuente	Autor
1978	Cundinamarca	Palynological study of the upper quaternary sequence in the Abra corridor and rockshelters (Colombia). En <i>Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology</i> 25: 1-109	Schreve-Brinkman, Elizabeth J.
1985	Valle del Cauca	"Phytolith records from prehistoric agricultural fields in the Calima Region" en <i>Pro Calima Archeologisches Projekt in Westlinchen Kolumbien, Sudamerika</i> , Numero 4. Pp 37-40.	Piperno, Dolores
1998	Amazonas	The origins of agriculture in the lowland neotropics. Academic Press.	Piperno, Dolores R. y Deborah M. Pearsall
1998	Cundinamarca y Boyacá	Identificación de fitolitos en el cálculo dental de individuos prehispánicos de Tunja (Boyacá), y Soacha Cundinamarca. Tesis inédita. Universidad Nacional de Colombia.	Parra, Ricardo
1999	Antioquia	"Atlas de fitolitos de la vegetación altoandina. Páramos de Belmira y Frontino, departamento de Antioquia" En: <i>Silicofósiles Altoandinos</i> . Colciencias-BID, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Universidad de Antioquia, Universidad de Ponta Grossa.	Florez, Maria Teresa y Luis Norberto Parra
1999	Caldas	Fitolitos en los paleosuelos ándicos Altoandinos, San Félix, departamento de Caldas" En: <i>Silicofósiles Altoandinos</i> . Colciencias-BID, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Universidad de Antioquia, Universidad de Ponta Grossa.	Florez, Maria Teresa y Luis Norberto Parra

**Tabla 1.** (continuación)

1999	Nariño	Agricultura prehispánica y sociedades complejas en Tumaco, Colombia. En Arqueología del Area Intermedia N°1. Pp 49-82	Patiño, Diógenes
2000	Antioquia	Catálogo preliminar de fitolitos producidos por algunas plantas asociadas a las actividades humanas en el suroeste de Antioquia, Colombia. En crónica forestal y del medio ambiente N°15. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.	Monsalve, Carlos
2000	Cauca	Ocupaciones tempranas en bosques tropicales de montaña. Editorial Universidad del Cauca. Popayán	Gnecco, Cristóbal
2001	Antioquia	“Propuesta de clasificación morfológica para los fitolitos Altoandinos colombianos” En: Crónica forestal y del medio ambiente 16. Posgrado en bosques y conservación ambiental. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.	Parra, Luis Norberto y Maria Teresa Florez
2001	Antioquia	Asociaciones vegetales y espectros de fitolitos en la vegetación y en los suelos de la planicie de puente largo, páramo de Frontino, Urrao, Antioquia En Revista Facultad de Ingeniería N°23. Pp 39-54	Flórez, Maria Teresa y Luis Norberto Parra
2001	Quindío	Proyecto de desarrollo vial doble calzada Armenia - Pereira - Manizales autopista del café	Rodríguez Triviño, Elkin
2002	Caldas y Risaralda	Identificación de plantas alimenticias en el Cauca Medio durante el Holoceno temprano y medio. En Boletín de Antropología, Vol 15, N°32. Universidad de Antioquia. Medellín	Aceituno, Francisco; Jaramillo, Alexis; Treserras, Jordi; Loaiza, Nicolás y Lina Vélez.
2004	Valle del Cauca	Identificación en el cálculo dental de individuos prehispánicos del Valle del Cauca. Universidad Nacional, Facultad de Odontología, Bogotá.	Ramírez Diana y Ricardo Andrés Otálora
2004	Antioquia	Fitolitos presentes en algunas especies de Poaceae del páramo de Frontino (Antioquia). Tesis de grado para optar al título de bióloga. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia.	Martinez, Jenny
2005	Antioquia	Análisis facial de alta resolución de sedimentos del Holoceno tardío en el Páramo de Frontino, Antioquia. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.	Parra, Luis Norberto
2006	Antioquia	“Los fitolitos como herramienta pedogenética de un Andisol de la cuenca de Piedras Blancas” En: Suelos Ecuatoriales. Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. Vol 36, N°1. 43-51.	Florez, Maria Teresa, Parra, Luis Norberto y Daniel Jaramillo
2006	Antioquia	El bosque domesticado, el bosque cultivado: un proceso milenario en el valle medio del río Porce en el noroccidente colombiano. En Latinamerican antiquity, Vol 17 N°4	Castillo, Neyla y Javier Aceituno
2008	Cauca	Reconstrucción de la historia climática y de distribución vegetal durante el Holoceno, a partir de 8.670 14c años AP, en el sitio Teta 2, sur del valle geográfico del río Cauca, Colombia. Tesis inédita. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.	Giraldo Muñoz, Laura

Tabla 1. (continuación)

2008	Putumayo	Antiguos habitantes en ríos de aguas negras. Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia	Morcote Ríos, Gaspar
2009	Antioquia	Evidencias paleoecológicas del manejo del bosque subandino. Ocupaciones humanas durante el Holoceno en la cuenca media del río Porce (Antioquia, Colombia). En Boletín de Antropología Universidad de Antioquia vol23, N°40. Pp 229-258.	Cardona, Luis Carlos y Carlos Monsalve
2009	Cundinamarca	Utilización de fitolitos como herramienta paleoecológica en el humedal de Jaboque. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.	Orjuela, María Andrea
2009	Chocó	Acercamiento arqueobotánico a las poblaciones prehispánicas del sitio “La Esperanza”, bahía del Aguacate, municipio de Acandí, Chocó. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.	Mateus, Jorge
2010	Antioquia	“Microscopia de pedocomponentes en un sitio arqueológico del occidente de Antioquia. Énfasis en arqueobotánica y paleo ecología” En Boletín Científico Centro de Museos 14 (1): 17 – 40, Museo de Historia Natural. Manizales, Colombia.	Posada, William y Luis Norberto Parra
2011	Valle del Cauca	Paleodieta de una población prehispánica temprana del valle geográfico del río cauca a partir del análisis de microresiduos contenidos en cálculo dental. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Manizales.	Triana Vega, Angélica
2011	Antioquia	Nuevos descubrimientos arqueológicos en la ciudad de Medellín. Programa de arqueología preventiva plan de movilidad 2008-2011. Secretaría de infraestructura física, Alcaldía de Medellín.	Aristizábal, Pablo
2011	Valle del Cauca	Paelodieta y fitolitos en cálculo dental de poblaciones tempranas del valle geográfico del río Cauca (500 a.c. 500 d.c)	Gil López, Blanca
2012	Caldas	Batatabati: Uso de Plantas en Contextos Rituales Prehispanicos del Municipio de Chinchiná	Buriticá, Yiset
2012	Valle del Cauca	Ocupaciones humanas y el medio ambiente en el Valle del río Cauca (Sector Laguna de Sonso) 8000-0 A.C.: Segunda etapa. Informe final	Cardale de Schrimppff, Marianne
2012	Antioquia	Jericó. Herencia y paisaje prehispánico del suroeste de Antioquia. Municipio de Jericó, IDEA, Universidad de Antioquia. Editorial Endymion.	Gómez, Alba Nelly y Santiago Ortiz
2012	Amazonas	Las Terras Pretas del Igarapé Takana. Un sistema de cultivo precolombino en Leticia-Amazonas, Colombia	Morcote Ríos, Gaspar y Tomás León Sicard
2012	Amazonas	Plantas y grupos humanos: estudio de la paleovegetación y la subsistencia a través de fitolitos fósiles del sitio arqueológico de Peña Roja (medio río Caquetá-amazonia colombiana)	Castiblanco Quiroga, Julieth
2013	Boyacá	Caracterización de 10 alimentos prehispánicos de Boyacá a partir de fitolitos	Poveda, Nathaly
2013	Cundinamarca	Arte rupestre y ritual. Un estudio arqueológico de los petroglifos de El Colegio (Cundinamarca). En Revista Colombiana de Antropología Vol 49 (1)	Arguello, Pedro y Juan Carlos Rodríguez

En efecto, los fitolitos tienen propiedades ópticas esencialmente distintas del polen debido a su composición y forma. También es común la asimetría en por lo menos un plano morfológico debido a la complejidad de la estructura celular donde se origina y a los efectos de una distribución desigual de sílice por procesos fisiológicos particulares (Piperno, 1988: 16-20 y Prychid, Rudall y Gregory, 2003), sin mencionar la variabilidad que introducen los procesos edáficos y sedimentarios en la morfología, la distribución, la cantidad y el tamaño de los fitolitos (Madella y Lancelotti, 2012). Pero tal vez el más discutido rasgo que podría ser el principal responsable de su desestimación, es la relativa representatividad que posee su morfología respecto a la planta de origen (Rovner, 1971), ya que gran parte de los fitolitos no son producidos bajo un control genético selectivo, sino bajo un proceso de absorción involuntaria y desordenada de sílice que se acumula progresivamente en las células, en los tejidos o en las reservas internas de las plantas (drusas, ráfides), cuya relación con un taxón específico es mínima, puesto que expresa la estructura histológica elemental de las plantas vasculares (Raven, Evert y Eichhorn, 2012: 512).

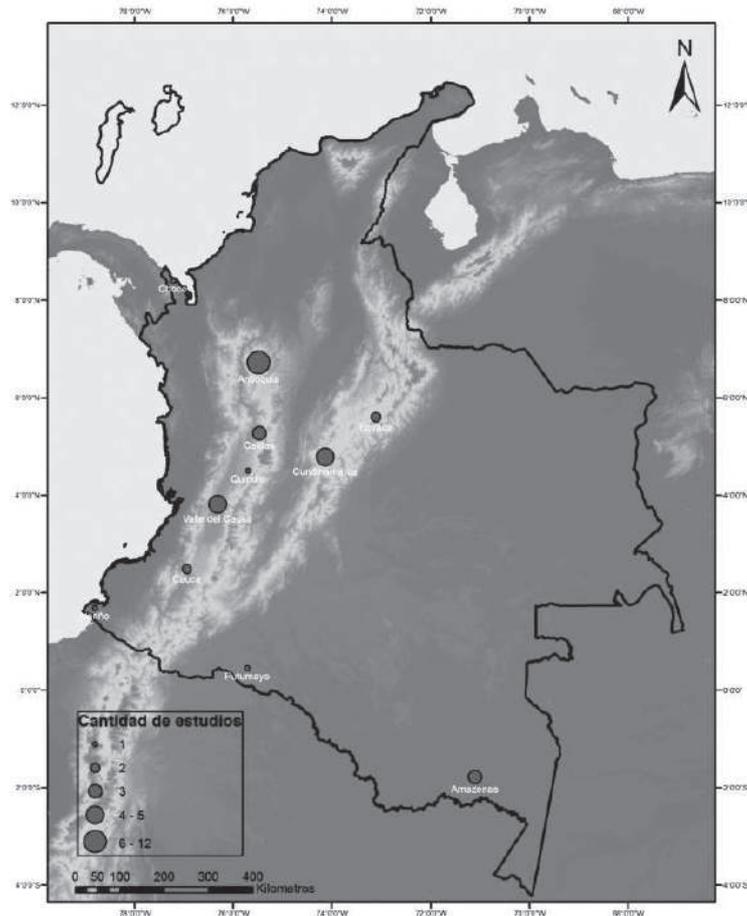
Lo cierto es que tanto el polen como los fitolitos padecen estos mismos fenómenos, aunque con obvias diferencias cualitativas y cuantitativas (Restrepo, 2009: 266 y Schreve-Brinkman, 1978: 103) que limitan la producción de información sobre la planta de origen y su ecología inmediata. Aun así, la superación de estos vicisitudes por procedimientos metodológicos específicos es un hecho indudable que ha demostrado el análisis polínico y los estudios multiproxy en los últimos años. En tal sentido, conviene examinar mejor el análisis de fitolitos ya que ofrece una variedad de posibilidades que otros proxies no tienen y que se han documentado ampliamente en la literatura científica desde hace ya varias décadas (Albert, 2006; Alexandré et al., 1997; Bryant, 1993; Flórez y Parra, 1999b; Madella, Alexandré y Ball, 2005; Pearsall, 1989; Piperno, 1988; Posada y Parra, 2010; Rapp y Mulholland, 1992 y Rovner, 1971).

El interés real por este proxy en Colombia se advierte apenas desde finales de los años 90, cuando aumenta el número de investigaciones que lo emplean y que tienden al aumento en los últimos dos años, pese a que experimentó un estancamiento significativo entre 2002 y 2007 (véanse tabla 1 y figura 1). Esta coyuntura puede conducir bien sea a su desarrollo y mejoramiento o, por el contrario, a su imprecisión y estancamiento, si no se evalúan oportunamente sus logros y sus desaciertos. No sobra decir que sea cual fuere el rumbo que tomen estos estudios, habrá serias implicaciones en la producción de conocimientos arqueológicos y paleoecológicos tanto para Colombia como para toda la región y el continente.

Por tal razón las tentativas de trabajo que emplean estos indicadores en el país, deberán reconocer en el análisis de fitolitos una metodología que involucra varias disciplinas y en donde la especificidad de los contextos y la variabilidad biológica inherente, exigen un cambio permanente, tanto en los protocolos de tra-

tamiento y conteo de las muestras como en la interpretación misma de los datos obtenidos. Esta observación parte de la consideración de los fitolitos como conjuntos en contraposición al de individuos (Bremond et al., 2005; Kaplan, Smith y Sneddon, 1992; Zurro, 2006), de la importancia del contexto sedimentario en el cual se recuperan (Madella y Lancelotti, 2012), de las propiedades intrínsecas del fitolito, del tipo de colecciones de referencia empleadas y del riesgo que implica el mecanicismo metodológico que ya empieza a notarse en estos estudios.

Lejos de hacer una presentación de lo que son los fitolitos y sus métodos y sus técnicas, este artículo tratará de identificar los aspectos más críticos de su estudio en Colombia, haciendo algunas recomendaciones metodológicas de interés para diversas disciplinas en los contextos del trópico andino.



**Figura 1.** Mapa de distribución de los análisis de fitolitos hechos en Colombia entre los años 1978 y 2013

El procedimiento partió de las observaciones hechas por el autor en colecciones de referencia particulares y en muestras arqueológicas procedentes de varias regiones andinas de Colombia,<sup>2</sup> así como en la sistematización de 34 fuentes bibliográficas sobre estudios de fitolitos que constituyen los únicos trabajos conocidos en el país (véase tabla 1). Valga decir que si bien algunas de estas fuentes apenas reportan los hallazgos de fitolitos, sin mayores detalles sobre la metodología, la información del especialista responsable permitió inferir las principales variables de registro por alusión a sus trabajos previos. Esta fue la medida frente a la escasa disponibilidad de los informes técnicos originales.

La base de datos consignó, entre otros, el propósito del análisis de fitolitos, el sistema taxonómico empleado, el método de afinidad botánica, la presencia de estudios tafonómicos complementarios y la disponibilidad y tipo de colecciones de referencia (véase tabla 2). Muchos de estos criterios fueron retomados de discusiones académicas previas<sup>3</sup> y ayudaron a identificar los temas críticos para el desarrollo del análisis de fitolitos en el país, a saber: la taxonomía, la afinidad botánica, el contexto edáfico o sedimentario y las colecciones de referencia.

**Tabla 2.** Variables consideradas en la base de datos bibliográfica

<b>Título</b>	Del documento o fuente bibliográfica
<b>Autor</b>	Del documento o fuente bibliográfica. El nombre del analista de fitolitos se incorporó en la variable observaciones.
<b>Año</b>	Del documento o fuente bibliográfica
<b>Sitio/yacimiento</b>	De donde proviene específicamente la muestra fitolítica
<b>Región</b>	Andes Orientales, Andes Centrales, Andes Occidentales, tierras bajas del Caribe, tierras bajas del Pacífico, tierras bajas amazónicas, valle interandino del río Cauca.
<b>Departamento</b>	Jurisdicción político-administrativa (Colombia)
<b>Propósito del análisis</b>	Colección de referencia, Estudio de agricultura, reconstrucción paleoambiental, caracterización de suelos, estudio etnobotánico, paleodieta, funcionalidad de artefactos, áreas de actividad específica
<b>Tipo de documento fuente</b>	Informe técnico inédito, tesis de pregrado inédita, tesis de posgrado inédita, artículo de revista, capítulo de libro, libro, Folleto

- 2 Las muestras fueron analizadas como parte de consultorías privadas para estudios de arqueología preventiva en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Risaralda y Valle del Cauca, entre los años 2006 y 2013.
- 3 Simposio Paleoecología del Area Intermedia (V Congreso de Arqueología en Colombia, 2009); Simposio Arqueología Ambiental en el Area Intermedia (VI Congreso de Arqueología en Colombia, 2010); Primer Encuentro Internacional de Estudios en Arqueología Ambiental (Universidad de Caldas, 2011); Simposio Paleoecología Humana y Arqueología en Colombia (XIV Congreso Colombiano de Antropología, 2012).

**Tabla 2.** (continuación).

<b>Taxonomía empleada</b>	Anatómica, botánica, morfológica, combinación de ellas
<b>Método de afinidad botánica</b>	Forma 2D, forma 3D, tamaño, ornamentación, frecuencias relativas, Combinación de ellas
<b>Tipo de colección de referencia</b>	Asociación vegetal/bioma, grupo taxonómico, plantas útiles, suelo superficial
<b>Análisis tafonómico realizado</b>	Estratigrafía, pedogénesis, daños/corrosión, densidades relativas, combinación de ellas
<b>Plantas identificadas</b>	Especímenes botánicos de cualquier categoría taxonómica
<b>Observaciones</b>	Datos de interés general

### La taxonomía y la afinidad botánica de los fitolitos

La revisión bibliográfica reveló que existe una variedad de concepciones en torno a lo que es la taxonomía de los fitolitos. Esto no solo quiere decir que haya distintos sistemas de clasificación de fitolitos que, por demás, es una condición lógica, sino que la definición misma de taxonomía es polisémica entre los autores, lo que a menudo conduce a una confusión conceptual más que a una variada oferta de tipos o nomenclaturas.

Para unos autores la taxonomía es entendida como el correlato botánico del fitolito, es decir, como el método para identificar en estos su planta de origen. En esta “taxonomía botánica” de los fitolitos, cada tipo es equivalente a una categoría específica de la sistemática vegetal (familia, género, especie, etc.), aun cuando cada uno posee su respectiva descripción de forma y tamaño. En este sentido, la denominación de un fitolito identificado en la muestra es exactamente igual a la de su presunta planta de origen, independientemente de si es actual o arqueológico.

Si bien esa asociación directa entre el fitolito y la planta supone plena identificación de sus atributos y la irrefutabilidad de la evidencia, tal forma de concebir la taxonomía de los fitolitos antiguos riñe con el *Código Internacional de Nomenclatura de Algas, Hongos y Plantas* (antiguo código de nomenclatura botánica) al omitir la regla de taxón-fósil, conocida anteriormente como regla de Parataxa (MacNeill et al., 2012), la cual afirma que los restos o partes de una planta no son equivalentes a la planta entera u original, máxime si son recuperados de un contexto sedimentario. La relación existente entre ambas entidades descansa en el concepto de *afinidad*, gracias al cual el fitolito adquiere un significado botánico y ecológico específico, justo como ocurre con los hallazgos paleontológicos y como podría ser el caso, también, de los fitolitos hallados en contextos arqueológicos o cuaternarios (Flórez y Parra, 1999b; Rueda, 1975; Taylor, Taylor y Krings, 2009; Zucol y Brea, 2005). Por lo tanto, una sistemática de fitolitos propia y distinta a la de las plantas enteras vivas describiría con mayor rigor y especificidad los caracteres ópticos, estructurales y morfométricos de estos cuerpos opalinos, tal como ya

ocurrió con la propuesta del Código Internacional para la Nomenclatura de Fitólitos (Madella, Alexandré y Ball, 2005) y que lamentablemente no logró la aceptación que pretendía.<sup>4</sup>

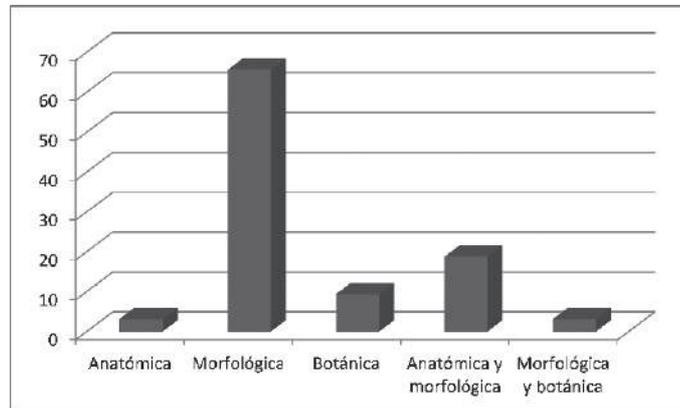
Pero, por otra parte, prevalece en el país una concepción de la taxonomía como un sistema de clasificación u ordenamiento de los fitólitos, en este caso, según su forma. Así, cada categoría se denomina de acuerdo con la morfología del fitolito, independientemente de su origen botánico, de su contexto de recuperación o de su edad, tal y como se venía haciendo desde Christian Ehrenberg en el siglo XIX hasta finales de los años 80 a nivel mundial (Rapp y Mulholland, 1992). Bajo esta perspectiva, los atributos de edad, contexto y origen botánico se asumen como datos complementarios que implican procedimientos distintos al de la clasificación y que en la mayoría de casos son de orden interpretativo más que descriptivo.

En Colombia se han empleado principalmente los sistemas de clasificación morfológica propuestos por Bertoldi del Pomar (1971), Parra y Flórez (2001) y Zucol y Brea (2005) (véase gráfico 1), cuya denominación es relativamente similar entre ellos con relación al criterio de forma y donde además se conserva el título binomial para cada clase. En estos casos, no existe un planteamiento explícito para relacionar un determinado morfotipo con una planta específica. Además, en la mayoría de casos la clasificación recae sobre la forma del fitolito en una sola de sus vistas, esto es, en su geometría plana o en dos dimensiones, sin la advertencia de las demás formas presentes en la totalidad de su volumen. No obstante, en algunos casos se consideran variables como la ornamentación y las medidas para precisar las formas descritas y aportar información ecológica o sobre su origen botánico.

Si la intención es indagar sobre la producción intrínseca de fitólitos por las plantas, su rol en los procesos edáficos o por el ciclo de la sílice biogénica, de seguro una clasificación bidimensional de los fitólitos y su orfandad botánica no generarán mayores trastornos en la investigación. Sin embargo, en el ámbito de la arqueología o de la paleobotánica este asunto se considera crítico y de la mayor relevancia; la razón es que la afinidad botánica (y paleoecológica por extensión) del fitolito, además de depender de una referencia precisa, directa y bien conocida, solo es alcanzable tras su plena identificación y clasificación. Mientras el fitolito sea un

---

4 Si bien esta fue una interesante propuesta de clasificación en su momento, fue rechazada por algunos científicos al no estar subordinada al Código Internacional de Nomenclatura Botánica con todo lo que ello implicaba (Erra, 2010 y Zucol y Brea, 2005). No obstante, el hecho de que los mismos autores que la propusieron no la empleasen a cabalidad en sus estudios más recientes, denota una clara imperfección, debido en parte a la imposibilidad práctica de cumplir la totalidad de sus descriptores. La propuesta por ejemplo, no explica los patrones de medición para fitólitos sin simetría o sin un eje morfológico claro a pesar de que estos se presentan con mucha frecuencia. También, aunque aparentemente no es una exigencia *sine qua non* en la nomenclatura, le confiere gran importancia al origen anatómico del fitolito, pese a la dificultad en identificar ese aspecto en especímenes fósiles o arqueológicos.

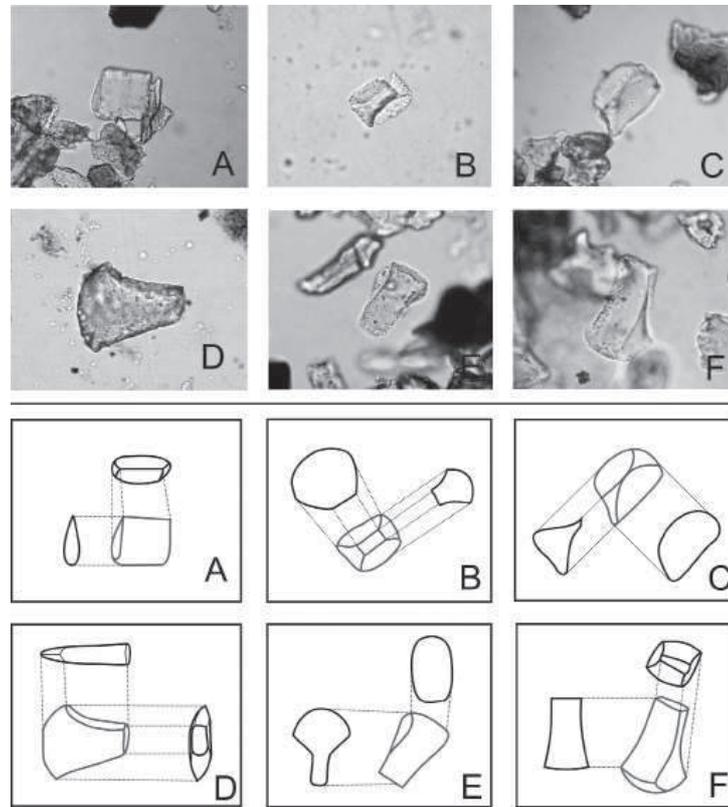


**Gráfico 1.** Frecuencias relativas de cada una de las taxonomías de fitolitos adoptadas en Colombia

cuerpo tridimensional a menudo asimétrico e irregular, tal y como ya se ha documentado bien, su verdadera forma exige dos o más vistas, además de ciertos parámetros ópticos de observación que descubran su volumen aproximado (relieve, opacidad, índice de refracción, etc.). Esta omisión es la responsable de que muchos fitolitos sean clasificados erróneamente, haciendo que las formas reportadas por un autor para determinada especie, no coincidan con las reportadas por otro en esa misma especie, o que las frecuencias registradas en una muestra sean exageradas, debido a una mala agrupación de tipos.

En la figura 2 se muestran las variaciones morfológicas que sufre un mismo fitolito según su observación en distintas vistas. Nótese también las variaciones morfométricas por procesos fisiológicos y sedimentarios que actúan de manera diferencial sobre los fitolitos.

Adicionalmente, en Colombia también se han empleado los sistemas de Pearsall (1989), Piperno (1988) y Twiss, Suess y Smith (1969), quienes acuden en un mismo sistema a categorías morfológicas, botánicas y anatómicas siguiendo criterios del antiguo Código de Botánica. En estos sistemas no hay una unificación de criterios para la designación de los fitolitos, de tal manera que mientras unos se llaman según su planta de origen (p. ej. Panicoides), otros se denominan según su forma (p. ej. silla de montar) y otros según su tejido de origen o proveniencia anatómica (p. ej. mesófilo). No obstante el desorden nominativo, estos sistemas consideran explícitamente la geometría tridimensional de los fitolitos en los procedimientos de identificación y clasificación, al igual que establecen claves o parámetros de relación y autenticidad para resolver su afinidad botánica, como por ejemplo las dimensiones y la ornamentación superficial (Miller-Rosen, 1992; Pearsall y Dinan, 1992; Rovner y Russ, 1992). A pesar de ello, menos de una cuarta parte de los estudios revisados en Colombia emplearon rigurosamente estos aciertos taxonómicos.



**Figura 2.** Variaciones de los morfotipos buliformes Flabelulita (B, C, D, E, F) y Braquiulita (A) (*sensu* Bertoldi, 1971 y Parra y Flórez, 2001) según su posición y observación plana

Ahora bien, tamaño, forma y ornamentación representan un buen ensamble para la descripción de los fitolitos y su ulterior identificación con un espécimen botánico. Sin embargo, un recurso que ayuda cada vez más a reducir las propiedades desconcertantes de los fitolitos<sup>5</sup> y a aumentar el éxito en su afinidad botánica, es la cuantificación de los morfotipos y su correlación con el espectro producido por grupos florísticos previamente estudiados.

Múltiples autores han documentado la producción de fitolitos tanto para taxones específicos como para formaciones vegetales enteras, hallando ausencias, máximos, mínimos y promedios de determinados morfotipos en los distintos taxones de plantas, incluso, en distintos órganos en el interior de esos taxones (Bozarth, 1992;

5 Básicamente los fenómenos de multiplicidad y de redundancia (Piperno, 1988 y Rovner, 1971). El primero se refiere a la presencia de múltiples morfotipos en un mismo taxón vegetal, mientras que el segundo alude a la presencia de un mismo morfotipo en distintos taxones vegetales.

Chandler-Ezell, Pearsall y Zeidler, 2006; Flórez y Parra, 1999a; Kaplan, Smith y Sneddon, 1992; Monsalve, 2000; Orjuela, 2007; Parra y Flórez, 2001; Pearsall, 1989; Piperno, 1988; Poveda, 2013). Parra y Flórez (2001: 50), por ejemplo, encuentran que en las praderas y los páramos de la Cordillera Occidental dominadas por *Calamagrostis*, *Carex*, *Paspalum*, *Hypericum* y *Cortadeira*, se produce un numeroso espectro de fitolitos encabezado por Halteriolita, Doliolita y Prismatolita, que en conjunto y por sus cantidades serían indicadoras de tales biomas. De igual manera, Orjuela (2007: 56) afirma que si bien los tipos Clavaelita, Braquiolita y Prismatolita son frecuentes tanto en la vegetación de ribera, como en la vegetación flotante y emergente en un humedal de Bogotá, el patrón fitolítico se presenta en distintas proporciones para cada comunidad florística, sugiriendo que la redundancia puede aminorarse tras una inspección más precisa de dichas asociaciones y de sus frecuencias relativas. Gracias a hallazgos como estos, en otros países han empezado a desarrollar índices como el cociente variables/consistentes (Tsartsidou et al., 2007), el índice fitolítico Iph (Diester-Hass et al., 1973 en Alexandré et al., 1997) o el cociente dicotiledoneas/Poaceae (Bremond et al., 2005) que basados en la asociación de varios morfotipos y sus frecuencias relativas, permiten hacer reconstrucciones paleoecológicas más allá de las restricciones que impone la redundancia de tipos. Una aproximación similar ha sido desarrollada por Peto (2013) para identificar las condiciones ambientales predominantes en la formación de suelos, estableciendo una firma fitolítica no solo de la vegetación dominante sino también del clima, la litología, la geomorfología y la edad. Estos enfoques que combinan cantidad y diversidad resultan particularmente útiles en el estudio de procesos fitoproductivos, en sinecología y en biogeografía histórica.

Dado que las mayores productoras de fitolitos son las gramíneas y que su ciclo de vida es mucho más corto que el de las plantas arbóreas, algunos autores señalan que a diferencia del polen, las densidades de fitolitos en el suelo no muestran una relación directa entre la dominancia de una especie en una comunidad vegetal determinada y el espectro fitolítico proveniente de esa comunidad (Hyland, Smith y Sheldon, 2013; Orjuela, 2007), por cuanto los agrupamientos estadísticos y los procedimientos de inferencia no deben seguir los mismos parámetros que en palinología sino acudir a los espectros arrojados por colecciones modernas.<sup>6</sup> Esto, sumado a la baja diversidad de morfotipos básicos, explica por qué siempre hay una sobrerrepresentación de fitolitos de gramíneas y otras hierbas en las muestras de suelo o sedimento que hacen que muchos resultados de análisis sean predecibles y homogéneos. Empero, las nuevas tendencias de análisis y las observaciones

---

6 Sin perder de vista que los análogos modernos no reproducen la totalidad de las especies del pasado ni sus peculiares patrones de comportamiento ecológico.

hechas hasta aquí, sugieren que son deficiencias metodológicas más que cualquier otra cosa.

Así pues, al cabo de examinar los sistemas taxonómicos, sus criterios de identificación y descripción, es posible apreciar una diferencia fundamental entre lo que es la forma de clasificar los fitolitos y la forma de atribuírselos a una planta específica. En otras palabras, la distinción entre lo que es la taxonomía y lo que es la afinidad botánica, pese a que en este caso ambas se consideran inseparables. Teniendo en cuenta esto y las frecuentes limitaciones reportadas en la literatura colombiana al respecto, podría decirse que en la sistemática de fitolitos para la investigación arqueológica o paleoecológica, la debilidad recae sobre la metodología de afinidad botánica, es decir, sobre los criterios que establecen un vínculo fidedigno entre el fitolito y su planta de origen, asunto que podría encauzarse mejor al integrar complementariamente la forma 3D, el tamaño, la ornamentación y las frecuencias relativas. Es importante resaltar aquí que la descripción de estas formas y atributos exige el discernimiento previo de las formas completas, de sus densidades y de la selección de aquellos morfotipos que por su tamaño y gravedad específica se conservan mejor y se pueden observar plenamente.

A continuación, se discuten otros atributos descriptivos de los fitolitos que a pesar de no tener relación con las taxonomías descritas o de no poseer valor desde el punto de vista de la afinidad botánica, permiten extraer información imprescindible sobre otros aspectos ecológicos, tafonómicos y culturales.

### **Suelos, tafonomía y procesos de (trans)formación**

No solo es importante estudiar el ambiente general que acompañó a las plantas durante su periodo de vida, sino también aquel que dominó durante los años sucesivos a su muerte y que pudo imprimirles cambios significativos a los fitolitos que finalmente quedaron.

Sería ingenuo pensar que en un ambiente sedimentario de varios cientos de años, los elementos de mayor resistencia a la conservación se mantuvieran tal cual fueron depositados inicialmente. Por eso, en arqueología, el análisis de los procesos de formación de sitios es tan conocido como lo es la tafonomía, en el caso de la paleoecología. De cualquier manera, se trata de una serie de estudios transdisciplinarios que permiten comprender los procesos diagenéticos o de alteración del registro fitolítico, una vez entra en su contexto de depositación (Lawrence, 1971; Madella y Lancelotti, 2012; Schiffer, 1987). Su importancia es crucial, toda vez que permite reconstruir los agentes y procesos que acompañaron al fitolito desde su depósito inicial hasta su recuperación, facilitando la corrección de errores de interpretación y la explicación de rasgos particulares e inusuales en su aspecto y contexto. Por eso,

muchos investigadores no se conforman con el hallazgo de fitolitos diagnósticos en sus muestras, sino que indagan por datos complementarios que permitan precisar su aparición y erradicar toda fuente de sesgo o desconfianza.

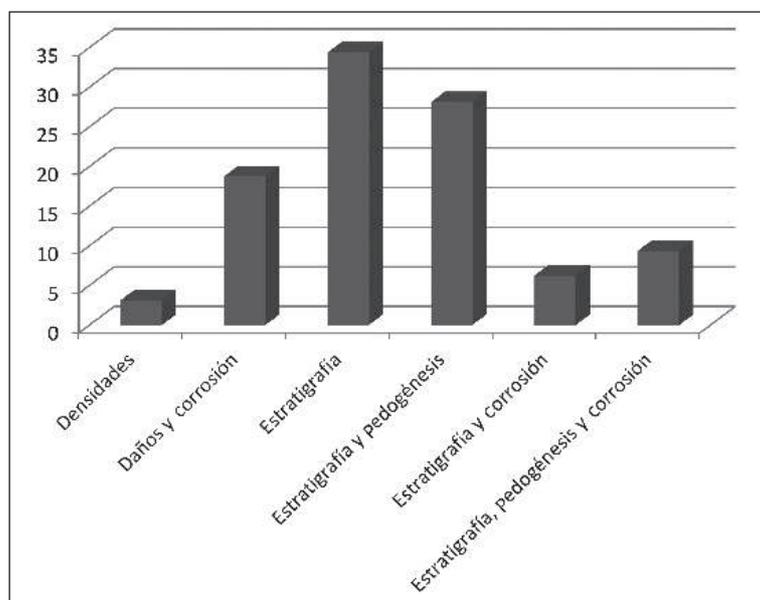
Uno de los aspectos que más intriga a los investigadores es la fiabilidad estratigráfica de los fitolitos. A pesar de que las técnicas empleadas para resolver la estratigrafía de artefactos o de sedimentos mayores a 0,05 mm son necesarias también en estudios con microrrestos fósiles, es claro que los fitolitos se recuperan frecuentemente de ambientes edáficos, donde la porosidad y las sustancias que transitan por dichos poros pueden alterar su distribución en el perfil, máxime si los índices de pluviosidad y las tasas de meteorización son altas, como suele ocurrir en muchas zonas del trópico americano.

La estabilidad de las partículas microscópicas en el perfil del suelo depende, entonces, de su patrón de poros, del régimen de precipitación (o de riego) y de la forma y el tamaño de los fitolitos. En el trópico las condiciones climáticas influyen considerablemente en el transporte en profundidad de los fitolitos y en extensas áreas de una misma cuenca sedimentaria (Alexandré et al., 1999 y Fishkis et al., 2010). Estos efectos se reducen cuando los fitolitos presentan formas aciculares, proyecciones irregulares en su ornamentación o espesores considerables (Fishkis et al., 2010). Al final, todas estas condiciones permanecen al margen de la textura y la estructura del suelo, las cuales definen las condiciones de drenaje y porosidad que influyen fuertemente en los procesos de translocación. Por ello, no solo la estratigrafía sedimentaria sino también la pedogénesis desempeñan un papel crucial en la interpretación de los fitolitos y demás microrrestos botánicos.

A pesar de que el 92% de los estudios revisados con fitolitos fósiles incorporaron algún tipo de lectura de perfiles y análisis de suelos (véase gráfico 2), únicamente el 16% de esa cifra empleó tal información en la interpretación de los fitolitos, mientras que el 76% restante no lo hizo, pese al registro ocasional de horizontes argílicos que indican procesos de iluviación de partículas finas, o de la ocurrencia de horizontes hidromórficos que podrían retener y concentrar los fitolitos debido a su naturaleza impermeable.

Si bien Alexandré et al. (1999) y Posada y Parra (2010) han planteado una correlación entre la antigüedad de los fitolitos en el ambiente edáfico y ciertos patrones de corrosión, solamente ocho estudios describieron la corrosión de los fitolitos para complementar la información estratigráfica y cronológica de los contextos.

Por otra parte, la diversidad morfológica de los fitolitos no solo es efecto de la multiplicidad o el polimorfismo inherente a ellos. Tanto la disolución química como la fragmentación física o el redondeamiento por procesos sedimentarios y pedogenéticos inciden en este aspecto, de ahí que sea tan importante tener presente que las variaciones de una forma básica no siempre son genéticas sino también tafonómicas.

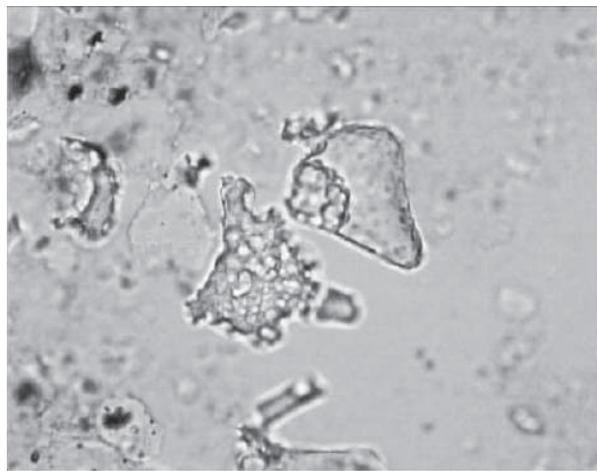


**Gráfico 2.** Distribución de frecuencias relativas de los análisis tafonómicos y complementarios en estudios de fitolitos en Colombia

Un primer caso está relacionado con el régimen de humedad del ambiente y resulta crítico en las observaciones y conteos: se trata de la reacción del suelo y su efecto en la disolución química de los fitolitos. Según Piperno (1988), los fitolitos se disuelven comúnmente en ambientes cuyos niveles de pH son inferiores a 3 o superiores a 9, sin embargo, valores cercanos a 4 son bastante comunes en Colombia así como también la disponibilidad de ácidos fúlvicos en el suelo que, actuando conjuntamente, pueden acelerar la disolución de los fitolitos. El resultado es la corrosión a distintos niveles en su superficie, al punto de transformar los morfotipos en cuerpos indiferenciados, que revelan que la homogeneidad del espectro fitolítico, a menudo, es la manifestación de distintos morfotipos en estados similares de alteración (véase figura 3) (Cabanés, Weiner y Shahack-Gross, 2011 y Hyland, Smith y Sheldon, 2013). Este fenómeno es común en fitolitos derivados de células buliformes y en suelos ácidos con abundante carbono orgánico y humedad (Alexandré et al., 1999 y Cabanés, Weiner y Shahack-Gross, 2011).

De igual manera, ahora desde un punto de vista físico, la fracturación o fragmentación mecánica de los fitolitos en el suelo también es un hecho frecuente (Cabanés, Weiner y Shahack-Gross, 2011). Los fitolitos voluminosos, de dimensiones superiores a 10  $\mu\text{m}$ , son los que mayor potencial de resistencia y conservación tienen frente a estos accidentes, además de que ofrecen mejores condiciones de obser-

vacación al investigador. Esta anotación deriva de la revisión de algunos estudios en los que se clasificaron (bidimensionalmente) los fragmentos de un morfotipo, como si fueran de un fitolito original —por cierto de otro tipo— conduciendo a obvios errores de interpretación. Esto, sin embargo, no desestima la posibilidad de registrar, de alguna manera, los fragmentos de sílice o de fitolitos, ya que un examen juicioso de estos datos podría ser una aproximación interesante a los procesos de perturbación mecánica del suelo.



**Figura 3.** Fitolitos en forma de abanico (*sensu* Piperno, 1988) en distintos estados de corrosión por disolución química en un Typic Plaggantrept del departamento de Antioquia

Ahora bien, un conocimiento general de las propiedades del suelo no solo es útil para rastrear en campo la migración de fitolitos o sus procesos de transformación morfológica, ya que también los procedimientos de laboratorio requieren información edáfica para ajustar los protocolos de tratamiento de las muestras. Contrario al ejercicio habitual de varios investigadores y laboratoristas, el procesamiento de las muestras de suelo para la extracción de fitolitos, si bien conserva una estructura básica de dispersión, ataques ácidos y separación densimétrica, requiere modificaciones permanentes en el uso de determinados reactivos, en los tiempos de digestión a los que se someten y en la manipulación físico-mecánica de las muestras, dependiendo del tipo de suelo y de sus factores de formación. En este sentido, no existe una receta única para el tratamiento de muestras de suelo para fitolitos, por cuanto los protocolos deberán considerar la variabilidad geográfica de los suelos y sus distintos parámetros de resistencia a la defloculación de partículas y a la disolución de sustancias.

### **Colecciones de referencia de fitolitos**

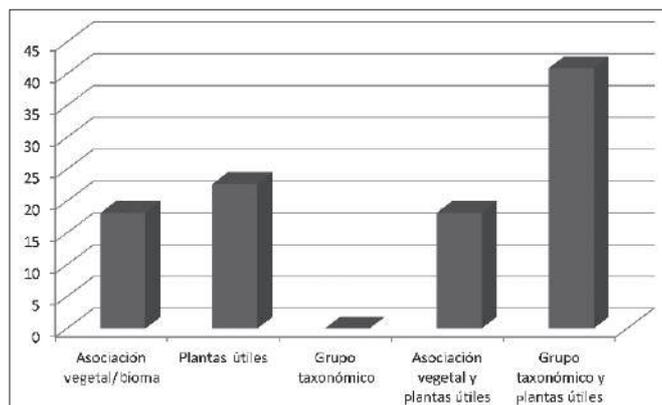
En gran parte de la bibliografía revisada, se formula reiteradamente la necesidad de crear más colecciones de referencia fitolítica con especímenes botánicos modernos, aduciendo que es la mejor forma de controlar los efectos de la multiplicidad, la redundancia y la persistencia de los fitolitos en la perspectiva de consolidar su uso en arqueología y paleoecología.

La cuestión de los análogos modernos si bien se basa en el principio de uniformitarismo de la geología moderna y en los principios clásicos de la biología comparada, reconoce que la regularidad de los caracteres biológicos no reside en la igualdad sino más bien en ciertas condiciones de comparabilidad que parten de leyes físicas y de la teoría evolutiva, advirtiendo con ello que las colecciones modernas no reproducen la totalidad de los patrones botánicos del pasado. Considerando esto y las demás observaciones, podría decirse que la sensación de insuficiencia está parcialmente justificada, sobre todo porque la deficiencia de colecciones no es únicamente un asunto de cantidad, sino también de criterios cualitativos que orienten su creación y su uso, de acuerdo con las características de cada investigación.

En Colombia, por ejemplo, el 76% de los estudios de fitolitos han acudido a colecciones de referencia para identificar los morfotipos de muestras arqueológicas o fósiles. Sin embargo, entre ellos existen diferentes tipos de colecciones, dependiendo de los intereses y de los recursos disponibles por parte de cada investigador (véase gráfico 3). Este asunto es crucial, dado que, dependiendo del propósito, la colección debe seguir ciertos parámetros de selección de las plantas y de los órganos específicos de esas plantas. En este orden de ideas, si la intención es reducir la multiplicidad y la redundancia, tal como lo han manifestado varios autores, la colección de referencia debería priorizar el análisis de grupos taxonómicos enteros (familias, subfamilias, géneros, especies) para agotar las posibilidades morfométricas existentes y de esta manera identificar qué fitolitos son comunes y qué fitolitos son diagnósticos según su frecuencia de aparición en cada taxón.

Así las cosas, los estudios etnobotánicos que buscan identificar taxones muy concretos, deberían reproducir ese mismo tipo de colecciones en lugar de aquellas que emplean plantas útiles únicamente, sin un discernimiento previo de los fitolitos diagnósticos o redundantes en ellas. Lo mismo ocurre con las reconstrucciones paleoecológicas, que requieren colecciones de referencia por asociaciones vegetales más que por cualquier otro criterio, incluso, colecciones provenientes del suelo superficial de cada bioma para identificar su peculiar “firma fitolítica” (Alexandré et al., 1999; Bremond et al., 2005; Flórez, Parra y Jaramillo, 2006; Hyland, Smith y Sheldon, 2013 y Peto, 2013). Más interesante aún, sería generar colecciones de referencia de fitolitos provenientes de suelos bajo determinadas circunstancias culturales, como por ejemplo campos de cultivo, viviendas o industrias productivas

basadas en ciertas plantas (Shahack-Gross et al., 2004). Las posibilidades son tan grandes como la necesidad misma de innovar en dichas colecciones.



**Gráfico 3.** Frecuencias absolutas de cada tipo de colección de referencia en los estudios de fitolitos en Colombia

Por tal razón, una investigación sobre paleodieta no se resuelve necesariamente con una colección de referencia de plantas comestibles, así como tampoco con una colección de referencia de biomas específicas. Estas afirmaciones expresan la urgencia de crear colecciones de referencia con un criterio más preciso que el de la simple demanda, ya que la incompatibilidad entre el caso tomado como referente y el caso bajo estudio son la verdadera causa de la insuficiencia de información, que con frecuencia invocamos, aludiendo a la escases de colecciones disponibles.

Es importante mencionar que en vista de que las colecciones modernas permiten controlar mejor las variables morfométricas y la afinidad botánica y anatómica de los fitolitos, conviene unificar criterios de descripción y clasificación que hagan más asequible y contrastable la información obtenida. En tal sentido, la cooperación recíproca entre varios investigadores será la mejor forma de avanzar en el desarrollo de los fitolitos y consolidarlos como uno de los más importantes proxies del momento.

### Consideraciones finales

Este ensayo constituye un balance, un tanto específico, de los análisis de fitolitos hechos en Colombia tras más de tres décadas de su aplicación en estudios arqueológicos, edafológicos y paleoecológicos. Surge de las dudas, aciertos, inconformidades y hallazgos obtenidos en varios resultados de investigación, en los cuales fue

posible apreciar un patrón regular de comportamiento investigativo: la aplicación mecánica de los conceptos y las metodologías en procesos empíricos que requieren criterios más amplios para el tratamiento, la clasificación y la interpretación de los fitolitos. La sugerencia inmediata es evaluar los propósitos de investigación a la luz de aspectos como la taxonomía y la afinidad botánica, el contexto de recuperación edafosedimentario y el tipo de colecciones de referencia empleados, todos ellos considerados cruciales, en este caso, por su incidencia en la interpretación del registro y en la ulterior producción de conocimientos. Confiamos en que estas conclusiones e ideas serán ajustadas y complementadas conforme avance el desarrollo de los análisis y de las reflexiones transdisciplinarias.

Las discusiones planteadas aquí sugieren cambios en la forma de concebir no solo los fitolitos sino buena parte de la investigación arqueológica y paleoecológica. En el ámbito arqueológico, las ventajas que advierten los enfoques cuantitativos y el uso de asociaciones fitolíticas, proponen una aproximación a la subsistencia, no ya desde la simple identificación de recursos particulares, sino desde la organización de actividades y procesos, haciendo que los datos empíricos y las metodologías se sitúen al nivel de los actuales desarrollos teóricos de la disciplina en esta materia. En el ámbito paleoecológico, es necesario asumir que los fitolitos se comportan distinto al polen en muchos aspectos, particularmente en los patrones de producción que controlan las frecuencias relativas que quedan en el suelo, por cuanto exigen al investigador otra lógica de interpretación que acuda más a las estadísticas de correlación y menos a los clásicos diagramas descriptivos. En todo caso, la creación de colecciones de referencia más precisas y la consideración del contexto de depositación, harán parte de una agenda mucho más rigurosa para el estudio ulterior de los fitolitos en tareas de paleorreconstrucción.

Queda claro que el análisis de fitolitos es todavía muy embrionario en el país, pero también es claro el camino que se ha recorrido y las direcciones que puede tomar, según las prioridades que fijen sus investigadores.

### **Agradecimientos**

Especial reconocimiento a Luis Norberto Parra Sánchez y a Nicolás Loaiza Díaz por los valiosos comentarios y aportes hechos a una primera versión de este artículo.

### **Referencias bibliográficas**

- Albert, Rosa (2006). "Reconstrucción de la vegetación en África oriental durante el Plio-Pleistoceno a través del estudio de fitolitos: la garganta de Olduvai (Tanzania)". En: *Ecosistemas*, Buenos Aires, Vol. 15, N.º 1, pp. 47-58.
- Alexandré, Ann et al. (1997). "Phytoliths: indicators of grassland dynamics during late Holocene in intertropical Africa". En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 136: 213-229.

- Alexandré, Ann et al. (1999). "Late Holocene phytolith and Carbon-Isotope record from a Latosol et Salitre, South Central Brazil". En: *Quaternary Research*, Malden, Vol. 51, pp. 187-194.
- Bertoldi del Pomar, Hetty (1971). "Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos". En: *Ameghiniana*, Buenos Aires, Vol. 8, N.ºs 3-4, pp. 317-328.
- Bozarth, Steven (1992). "Classification of opal phytoliths formed in selected dicotyledons native to the great plains". En: Rapp, George y Mulholland, Susan (eds.), *Phytolith Systematics. Emerging issues*, Plenum Press, Nueva York, pp. 37-64.
- Bremond, Laurent et al. (2005). "A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: Calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon". En: *Global and Planetary Change*, Vol. 45, pp. 277-293.
- Bryant, Vaughn (1993). "Phytolith research: a look toward the future". En: Pearsall, Deborah y Piperno, Dolores (eds.), *Current research in phytolith analysis. Applications in archaeology and paleoecology*. Museum Applied Science Center for Archaeology (MASCA), University of Pennsylvania, Philadelphia, pp. 175-181.
- Cabanes, Dan; Weiner, Steve y Shahack-Gross, Ruth (2011). "Stability of phytoliths in the archaeological record: a dissolution study of modern and fossil phytoliths". En: *Journal of Archaeological Science*, London, Vol. 38: 2480-2490.
- Chandler-Ezell, Karol; Pearsall, Deborah y Zeidler, James (2006). "Root and tuber phytoliths and starch grains document manioc (*manihot esculenta*), arrowroot (*maranta arundinacea*) and llerén (*calathea* sp.) At the Real Alto site, Ecuador". En: *Economic Botany*, Nueva York, Vol. 60, N.º 2, pp. 103-120.
- Erra, Georgina (2010). "Asignación sistemática y paleocomunidades inferidas a partir del estudio fitolítico de sedimentos cuaternarios de Entre Ríos, Argentina". En: *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, Buenos Aires, Vol. 45, N.ºs 3-4, pp. 309-319.
- Fishkis, Olga et al. (2010). "Phytolith transport in soil: A field study using fluorescent labelling". En: *Geoderma*, Nueva York, Vol. 157, pp. 27-36.
- Flórez, María Teresa y Parra, Luis Norberto (1999a). "Atlas de fitolitos de la vegetación altoandina. Páramos de Belmira y Frontino, departamento de Antioquia". En: Flórez, María Teresa y Lozano, Gustavo (eds.), *Silicofósiles Altoandinos*. Colciencias-BID, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Universidad de Antioquia, Universidad de Ponta Grossa, Medellín.
- \_\_\_\_ (1999b). "Fitolitos en los paleosuelos ándicos Altoandinos, San Félix, departamento de Caldas". En: Flórez, María Teresa y Lozano, Gustavo (eds.), *Silicofósiles Altoandinos*. Colciencias-BID, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Universidad de Antioquia, Universidad de Ponta Grossa, Medellín.
- \_\_\_\_; Parra, Luis Norberto y Jaramillo, Daniel (2006). "Los fitolitos como herramienta pedogenética de un Andisol de la cuenca de Piedras Blancas". En: *Suelos Ecuatoriales*, Medellín, Vol. 36, N.º 1, pp. 43-51.
- Hyland, Ethan; Smith, Selena y Sheldon, Nathan (2013). "Representational bias in phytoliths from modern soils of central North America: Implications for paleovegetation reconstructions". En: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, Vol. 374, pp. 338-348.
- Lawrence, David (1971). "The nature and structure of paleoecology". En: *Journal of Paleontology*, Tulsa, Vol. 45, N.º 4, pp. 593-607.
- Lawrence, Kaplan; Smith, Mary y Sneddon, Lesley-Ann (1992). "Cereal grain phytoliths of southwest Asia and Europe". En: Rapp, George y Mulholland, Susan (eds.), *Phytolith Systematics. Emerging issues*. Plenum Press, Nueva York.

- Madella, Marco; Alexandré, Ann y Ball, Terry (2005). "International Code for phytolith nomenclature 1.0". En: *Annals of Botany*, London, Vol. 96, pp. 253-260.
- \_\_\_ y Lancelotti, Carla (2012). "Taphonomy and Phytoliths: a user manual". En: *Quaternary International*, Oxford, Vol. 275, pp. 76-83
- McNeill, John et al. (2012). *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Melbourne Code, July 2011)*. Koeltz Scientific Books, Melbourne.
- Miller-Rosen, Arlene (1992). "Preliminary identification of silica skeletons from Near Eastern archaeological sites: an anatomical approach". En: Rapp, George y Mulholland, Susan (eds.), *Phytolith Systematics. Emerging issues*. Plenum Press, Nueva York, pp. 129-148.
- Monsalve, Carlos (2000). "Catálogo preliminar de fitolitos producidos por algunas plantas asociadas a las actividades humanas en el suroeste de Antioquia, Colombia". En: *Crónica forestal y del medio ambiente*, N.º15. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Orjuela, María Andrea (2007). *Utilización de fitolitos como herramienta paleoecológica en el humedal de Jaboque*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Parra, Luis Norberto y Flórez, María Teresa (2001). "Propuesta de clasificación morfológica para los fitolitos Altoandinos colombianos". En: *Crónica Forestal y del Medio Ambiente*, N.º 16. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, pp. 35-66.
- Pearsall, Deborah (1989). *Paleoethnobotany: a handbook of procedures*. Academic Press, San Diego.
- \_\_\_ y Dinan, Elizabeth (1992). "Developing a phytolith classification system". En: Rapp, George y Mulholland, Susan (eds.), *Phytolith Systematics. Emerging issues*. Plenum Press, Nueva York, pp. 37-64.
- Peto, Akos (2013). "Studying modern soil profiles of different landscape zones in Hungary: An attempt to establish a soil-phytolith identification key". En: *Quaternary International*, Oxford, Vol. 287, pp. 149-161.
- Piperno, Dolores (1985). "Phytolith records from prehistoric agricultural fields in the Calima Region". En: *Pro Calima Archeologisches Projekt in Westlinchen Kolumbien, Sudamerik*, N.º 4, pp. 37-40.
- \_\_\_ (1988). *Phytolith Analysis. An archaeological and geological perspective*. Academic Press Inc, London.
- Posada, William y Parra, Luis Norberto (2010). "Microscopia de pedocomponentes en un sitio arqueológico del occidente de Antioquia. Énfasis en arqueobotánica y paleoecología". En: *Boletín Científico Centro de Museos, Manizales*, Vol. 14, N.º 1, pp. 17-40.
- Poveda, Nathaly (2013). *Caracterización de 10 alimentos prehispánicos de Boyacá a partir de fitolitos*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Prychid, Christina; Rudall, Paula y Gregory, Mary (2003). "Systematics and Biology of Silica bodies in Monocotyledons". En: *Botanical Review*, Nueva York, Vol. 69, N.º 4, pp. 377-440.
- Rapp, George y Mulholland, Susan (eds.) (1992). *Phytolith Systematics. Emerging issues*. Plenum Press, Nueva York.
- Raven, Peter; Evert, Ray y Eichhorn, Susan (2005). En: *Biology of Plants*. 7.ª ed. W. H. Freeman and Company Publishers, Nueva York
- Restrepo, Alejandra (2009). "Problemas y potencial ecológico del componente polínico en excavaciones arqueológicas". En: *Boletín de Antropología*. Universidad de Antioquia, Medellín, Vol. 23, N.º 40, pp. 259-278.
- Rovner, Irwin (1971). "Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction". En: *Quaternary Research*, Nueva York, Vol. 1, N.º 3, pp. 343-359.

- Rovner, Irwin y Russ, John (1992). "Darwin and design in phytolith systematics: morphometric methods for mitigating redundancy". En: Rapp, George y Mulholland, Susan (eds.), *Phytolith Systematics. Emerging issues*. Plenum Press, Nueva York, pp. 37-64.
- Rueda, Jaime (1975). "La Paleobotánica y la palinología, sus relaciones y algunas aplicaciones". En: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Vol. 36, pp. 1-30.
- Schiffer, Michael (1987). *Formation Processes of the Archaeological Record*. University of Utah Press, Salt Lake City.
- Schreve-Brinkman, Elizabeth (1978). "Palynological study of the upper quaternary sequence in the Abra corridor and rockshelters (Colombia)". En: *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, Vol. 25, pp. 1-109.
- Shahack-Gross, Ruth et al. (2004). "Reconstruction of spatial organization in abandoned Maasai settlements: implications for site structure in the Pastoral Neolithic of East Africa". En: *Journal of Archaeological Science*, London, Vol. 31, pp. 1395-1411.
- Taylor, Thomas; Taylor, Edith y Krings, Michael (2009). *Paleobotany. The biology and evolution of fossil plants*. Academic Press, New York.
- Tsartsidou, Georgia et al. (2007). "The phytolith archaeological record: strenghts and weaknesses evaluated on a cuantitative modern reference collection from Greece". En: *Journal of Archaeological Science*, Vol. 34, pp. 1262-1275.
- Twiss, P. C.; Suess, Erwin y Smith, R. M. (1969). "Morphological classification of grass phytoliths". En: *Soil Science of American Proceedings*, Michigan, Vol. 33, pp. 109-115.
- Zucol, Alejandro y Brea, Mariana (2005). "Sistématica de fitolitos, pautas para un sistema clasificadorio. Un caso en estudio en la Formación Alvear (Pleistoceno inferior), Entre Ríos, Argentina". En: *Ameghiniana*, Buenos Aires, Vol. 42, N.º 4, pp. 685-704.
- Zurro, Débora (2006). "El análisis de fitolitos y su papel en el estudio del consumo de recursos vegetales en la prehistoria: bases para una propuesta metodológica materialista". En: *Trabajos de Prehistoria*, Madrid, Vol. 63, N.º 2, pp. 35-54.