

Asociaciones vegetales y espectros de fitolitos en la vegetación y en los suelos de la planicie de Puente Largo, páramo de Frontino, Urrao, Antioquia

María Teresa Flórez M.* y Luis Norberto Parra S.**

(Recibido el 12 de julio 2001)

Resumen

El páramo de Frontino, representa un medio de alto contraste en sus parámetros climáticos por lo que su vegetación tiene características xerofíticas. En estos ecosistemas las condiciones ambientales son drásticas y opera un tipo de selección abiótica; los organismos que han logrado adaptarse a estas situaciones, son condicionados por factores climáticos, edafológicos y geomorfológicos.

La mayoría de las plantas analizadas producen fitolitos, de ellas, *calamagrostis effusa*, fue la especie más dominante, seguida de *lycopodium alopecuroides*, *espeletia frontinoensis* e *hypericum juniperinum*. La morfotribu más dominante es la prismatolita, que está íntimamente relacionada con halteriolita y doliolita. Flabellulita es muy común en los suelos, sin embargo, en las especies vegetales esta solo se reporto en pequeñas cantidades en *blechnum*, *disterigma*, *paepalanthus* y *chusquea*.

----- *Palabras clave:* fitolitos, suelos, espectros, vegetación.

Vegetal associations and phytoliths spectra in vegetation and soils in Puente Largo flatland, Frontino paramo, Urrao, Antioquia

Abstract

The páramo of Frontino, represents an environment highly contrasted in its climatic parameters, due to that, its vegetation has xerofitic characteristics. In these ecosystems the environmental conditions are drastic and factors operate a type of abiotic selection; the organisms that have been able to adapt to these situations, are conditioned by climatic, edafologic and geomorphologic factors.

Most of the analyzed plants produce phytoliths, the dominant specie, was *calamagrostis effusa*, followed by *lycopodium alopecuroides*, *espeletia frontinoensis* and *hypericum juniperinum*. The dominant morfotribu is prismatolita that is intimately related with halteriolita and doliolita. Flabellulita is very common in the soils, however, among the vegetable species it is only reported in small quantities in *blechnum*, *disterigma*, *paepalanthus* and *chusquea*.

----- *Key words:* phytolith, soils, spectra, vegetation.

* Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería (CIA). Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. mtflores@udea.edu.co.

** Instituto de Ciencias Naturales y de Ecología (ICNE). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Introducción

Los fitolitos son materiales de naturaleza opalina, que se han reconocido en las preparaciones de las hojas de algunas de las plantas y de los suelos altoandinos. Su estudio está relacionado con la paleoecología del cuaternario de Colombia y del mundo, el cual se ha completado con el estudio de las diatomeas y del polen. La naturaleza química de los fitolitos les asegura un apreciable grado de perdurabilidad luego de la muerte del organismo madre.

La zona donde se desarrolló la investigación, páramo de Frontino, representa un medio altamente contrastado en sus parámetros climáticos por lo que su vegetación tiene características xerofíticas. En estos ecosistemas las condiciones ambientales son drásticas y opera un tipo de selección abiótica; los organismos que han logrado adaptarse a estas situaciones, son condicionados por factores climáticos, edafológicos y geomorfológicos. Bioclimáticamente el ecosistema se caracteriza por condiciones ambientales extremas, gran influencia biológica, baja presión atmosférica, escasa densidad del aire, baja temperatura media pero con alta temperatura del aire y del suelo, y muy bajos valores de temperatura. El clima es típicamente intertropical, con pequeñas fluctuaciones de la temperatura diaria y con distribución bimodal de la precipitación durante el año.

Área de estudio

El estudio sobre los fitolitos de la vegetación altoandina se realizó en la planicie de Puente Largo en el páramo de Frontino. Este páramo se localiza en el eje de la cordillera occidental a 20 km al norte de la cabecera municipal de Urrao, departamento de Antioquia. El acceso desde Urrao se realiza siguiendo un carreteable hasta “El Chuscal”, para continuar por la quebrada Santa Bárbara-El Quince y se continúa ascendiendo hasta llegar a las sabanas de Puente Largo-Llanogrande. Véase figura 1.

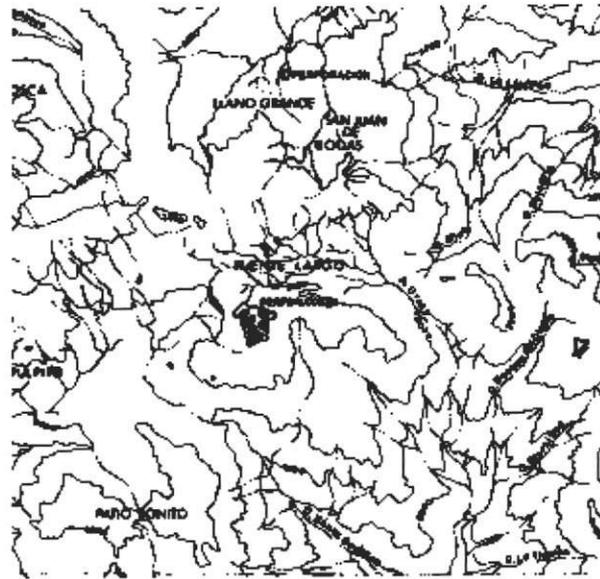


Figura 1 Localización del área de estudio. Planicie de Puente Largo, páramo de Frontino

Antecedentes

A pesar del reconocimiento temprano de materiales opalinos bien preservados en los ecosistemas altoandinos, solo en la actualidad se le está dedicando algún trabajo investigativo a estos restos paleobióticos y de ellos se espera gran diversidad de nuevos datos paleoecológicos. La presencia de fitolitos en nuestro medio ha sido reconocida en la fracción arena de algunos suelos actuales y también en materiales ligados a excavaciones arqueológicas.

En artículos recientes [1, 2] se reportan dos investigaciones relacionadas con fitolitos, en la primera, se han extraído y estudiado los fitolitos de la vegetación altoandina presente en los páramos de Belmira y Frontino en el departamento de Antioquia y se reportan las principales formas y características que tienen estos cuerpos síliceos presentes en las plantas de la vegetación abierta y del matorral; por su parte, el segundo artículo, muestra los fitolitos fósiles, muy bien preservados, en paleosuelos derivados de cenizas volcánicas demostrándose el potencial que poseen estos materiales como indicadores de algunos procesos ocurridos en el ambiente edáfico, aunque sin desmerecer importancia para la reconstrucción de la vegetación antigua.

Dos artículos de los mismos autores, y que preceden a éste [3, 4], tratan sobre una propuesta clasificatoria para los fitolitos y sobre los espectros de fitolitos en tres suelos del páramo de Frontino, con ellos, los autores muestran las clases de fitolitos presentes en la vegetación y en los suelos y establecen las relaciones que estos tienen o cómo pueden estar representados los fitolitos de las plantas en los suelos y constituirse en una herramienta paleoecológica de importancia. Esta investigación se centra en los espectros de fitolitos en las asociaciones vegetales y en los suelos y busca establecer sus relaciones paleoecológicas, tomando como base el levantamiento de veinticinco parcelas en la planicie de Puente Largo del páramo de Frontino.

Materiales y métodos

En la planicie de Puente Largo, se levantaron veinticinco parcelas de 1 m²; en cada una de ellas se recolectaron todos los ejemplares de todas las especies vegetales observadas, se obtuvieron en total 74 especies de las cuales solo 54 especies después del tratamiento presentaron fitolitos.

En cada parcela se tomó una muestra de los primeros cinco centímetros del suelo, eliminando inicialmente la capa de "lithering", para observar la presencia de los fitolitos en los suelos y buscar las relaciones de estos con las plantas que constituyen la cobertura de las parcelas. Las plantas recolectadas se clasificaron en el herbario Gabriel Gutiérrez Villegas (MEDEL) de la Universidad Nacional, Sede de Medellín.

Para el trabajo de fitolitos sólo se extrajeron de la planta las hojas más maduras y de mayor tamaño, las cuales fueron codificadas con el mismo número que se puso a las plantas para el herbario. Aunque las especies recolectadas pertenecían a la vegetación que se encontraba en las parcelas, no puede decirse que toda la vegetación existente fue muestreada en su totalidad, o que, la que fue muestreada, aportó suficiente material para aprovecharse.

Tratamiento de muestras en el laboratorio

Las muestras de plantas fueron sometidas a un pretratamiento inicial para eliminar las impurezas y adherencias; en este caso, cada muestra fue lavada en agua y ultrasónificada para eliminar tierra, excrementos orgánicos y otras partículas que pudieran introducir ambigüedades en las observaciones. Luego, para el tratamiento de las muestras de suelos y de plantas se siguió el método de *dry ashing*, seguido por Flórez y Parra [5]. Una vez tratadas las muestras de hojas y suelos, estas se dejaron en agua alcoholizada para su montaje y observación al microscopio de luz transmitida, conteo, rotulación y preservación posterior.

El trabajo microscópico se enfocó hacia los fitolitos más representativos, más raros y poco comunes dentro de cada una de las especies, dichas fotografías se tomaron en blanco y negro y se conservan como parte del archivo fotográfico de la fitoteca. Finalmente, se seleccionaron las placas para la fitoteca del laboratorio de paleoecología de la Universidad Nacional, sede Medellín.

Conteo de componentes

Realizados los montajes, se procedió a realizar el conteo de 300 granos de fitolitos en cada placa, siguiendo el método indicado por Lorente. Luego del conteo de los "taxa" que componen las muestras, se obtuvo la matriz de resultados con el número de veces que aparece cada taxón en ella y que constituye la información primaria, con la cual se hizo el análisis cualitativo y cuantitativo de los fitolitos.

Análisis estadístico

Se tomaron como base los conteos realizados tanto en las parcelas como en las placas, ambos, se llevaron a porcentajes. Se obtuvieron dos matrices, una denominada "cobertura" que relaciona las diversas especies de plantas encontradas en cada parcela y la otra, denominada "suelos" que relaciona los fitolitos encontrados en los suelos de cada parcela.

Para correlacionar las dos matrices: cobertura y suelos, se siguió la clasificación de fitolitos propuesta por Flórez y Parra [4]. En el caso de la matriz de cobertura, esta se formó teniendo en cuenta la siguiente ecuación: $N = (ff)(fp)(fs)$ donde: (ff) es la frecuencia de forma; (fp) es la frecuencia de la planta y (fs) es la frecuencia de supervivencia, de tal manera que ambas matrices quedaran expresadas de igual forma, así: las filas corresponden a las veinticinco parcelas y las columnas corresponden a las catorce morfotribus que se hallan tanto en las

especies como en los suelos reportada por Flórez y Parra [4]. Véase tabla 1 y figura 2.

Algunas de las especies después de combustión no aportaron material suficiente para la obtención de los fitolitos, la cantidad de cenizas fue muy pequeña lo cual impidió la posterior etapa del tratamiento que es netamente química, por tanto, aunque pudieron haber sido productoras de fitolitos, no fue posible reportarlas. En otros casos, en que la especie sí era suficiente, después de tratamiento, no se observó ningún tipo de fitolitos.

Tabla 1 Morfotribus y morfogéneros para los fitolitos en los suelos de la planicie de Puente Largo, páramo de Frontino, Antioquia

Morfotribus	Morfogéneros		
1. Flabellulita	a) Verrugoflabellulita d) foveaflabellulita	b) psiloflabellulita e) oculoflabellulita	c) undolaflabellulita
2. Aculeolita	a) verrugoaculeolita	b) psiloaculeolita	c) foveaculeolita
3. Prismatolita	a) psiloprismatolita d) crateroprismatolita g) dentinoprismatolita	b) maculaprismatolita e) catenoprismatolita h) undolaprismatolita	c) foveaprismatolita f) espinoprismatolita
4. Estrobilolita	a) psiloestrobilolita	b) foveaestrobilolita	c) undolaestrobilolita
5. Braquiolita	a) foveabraquiolita d) psilobraquiolita g) undolabraquiolita	b) espinobraquiolita e) sculptubraquiolita h) sulcabraquiolita	c) verrugobraquiolita f) reticulobraquiolita
6. Botulita	a) undulobotulita d) alatabotulita	b) psilobotulita e) verrugobotulita	c) craterobotulita f) foveabotulita
7. Halteriolita	a) psilohalteriolita d) foveahalteriolita	b) craterohalteriolita e) maculahalteriolita	c) verrugohalteriolita f) espinohalteriolita
8. Doliolita	a) psilodoliolita d) sulptudoliolita	b) craterodoliolita	c) foveadoliolita
9. Osiolita	a) psiloosiolita d) verrugoosiolita	b) foveaosiolita	c) undolaosiolita
10. Pileolita	a) psilopileolita d) crateropileolita	b) foveapileolita e) undulapileolita	c) maculapileolita f) verrugopileolita
11. Globulolita	a) psiloglobulolita d) foveaglobulolita g) alatoglobulolita	b) maculaglobulolita e) anulaglobulolita h) florisglobulita	c) verrugoglobulolita f) undolaglobulolita
12. Longolita	a) pilolongolita d) larvalongolita	b) undolalongolita e) craterolongolita	c) verrugolongolita
13. Atipolita	I. Coloreados	II. Incoloros	III. Ephippiulita: a) psiloephippiulita b) verrugoephippiulita
	IV. Cilindrita: a) verrugocilindrita b) esferocilindrita.	V. Triangulita: a) psilotriangulita b) verrugotriangulita c) foveatriangulita d) craterotriangulita e) reticutriangulita.	VI. Capilusita: a) longuscapilusita b) breviscapilusita c) aristacapilusita.
14. Amorfolita	Sin forma aparentemente conocida o parte de una forma no muy clara.		

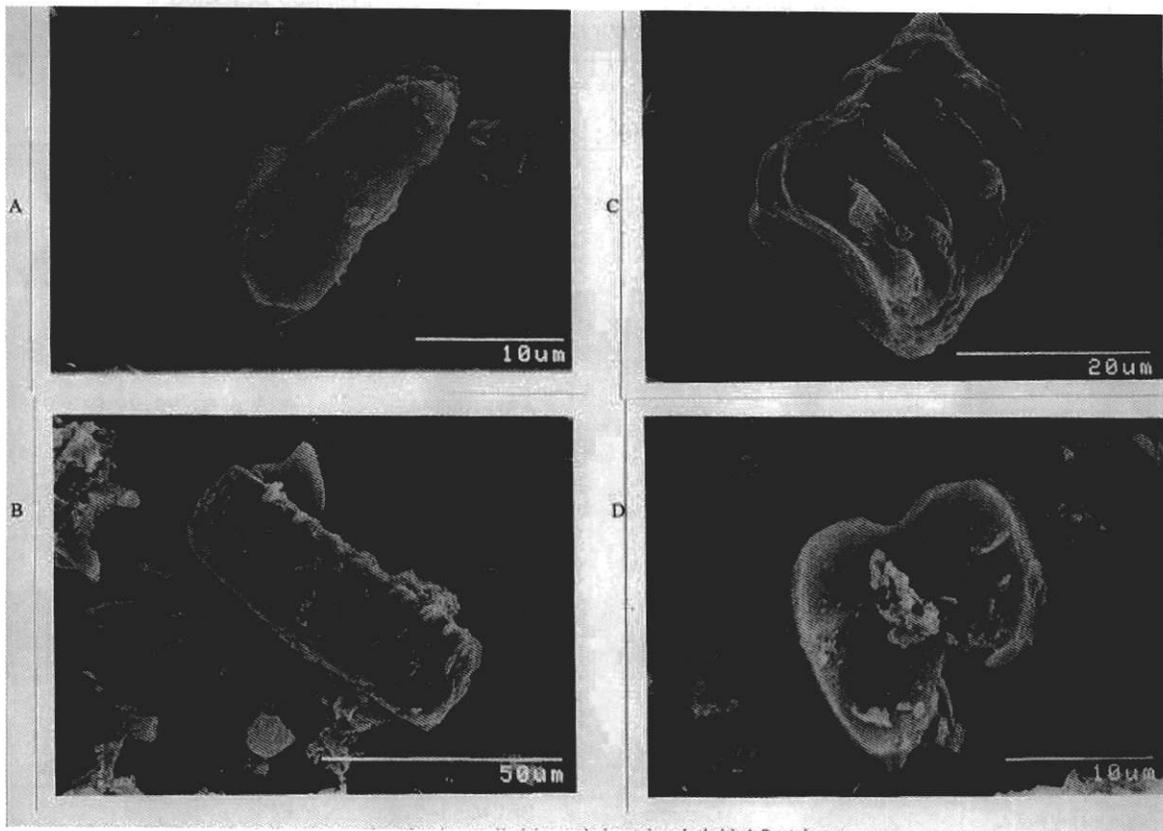


Figura 2 Fotografías de algunos de los morfotribus presentes en los suelos y la vegetación de las parcelas levantadas en la planicie de Puente Largo

Resultados

Muchas especies de plantas producen depósitos de sílice sólida (ácido silícico amorfo, H_2SiO_4), en las paredes de la célula de hojas, semillas, frutas, raíces y madera. Estas acumulaciones aparecen en varias formas y ornamentaciones que son los elementos requeridos en la taxonomía, en algunos casos. Después de la descomposición de la materia orgánica, se preserva la sílice sólida que es conocida como ópalo de plantas o fitolitos. Estos cuerpos silíceos son comunes en los suelos tropicales y sedimentos, sin embargo, la identificación de estos todavía es un problema.

En esta investigación se levantaron veinticinco parcelas en la planicie de Puente Largo y, dentro de ellas se recolectaron 74 especies, de las cuales, sólo 54 mostraron la presencia de fitolitos, como se relaciona en la tabla 2, en ella se presen-

ta el nombre científico de la especie, el nombre abreviado utilizado para el análisis estadístico, la familia a la cual pertenece la especie y las parcelas en las cuales se encontró cada especie.

La tabla 3 muestra el dominio de algunas especies en cada parcela, esto es, dominante cuando varias especies estaban en una proporción mayor del 20%, y, muy dominante cuando esta era del 50% o más.

Espectros vs asociaciones vegetales

En la región andina por encima de los 2.500 m, en la vía entre el Chuscal y Puente Largo, a la orilla del camino, tal como lo expresan Rangel, Sánchez & Ariza [7], se establecen rodales de *myrica pubescens*, acompañados por *alnus acuminata*. En las laderas domina el bosque de *weinmannia sp.*, y *clethra fagifolia*.

Tabla 2 Relación de las especies vegetales encontradas en las veinticinco parcelas levantadas en la planicie de Puente Largo, páramo de Frontino

<i>Especie</i>	<i>Nombre abreviado</i>	<i>Familia</i>	<i>Parcela en donde fue recolectada</i>
<i>Oreopanax ruizii</i> Decne. & Planch.	Oreoruiz	ARALIACEAE	P13
<i>Gnaphalium</i> sp.	Gnapante	ASTERACEAE	P12
<i>Hieracium</i> cf. <i>Aviale</i> Kunth <i>P14, P16, P18, P21, P22, P23</i>	Hieravil	ASTERACEAE	P1, P2, P3, P4, P6, P8, P9,
<i>Diplostegium</i> cf. <i>revolutum</i> S.F. Blake	Diplrev	ASTERACEAE	P1, P2, P4, P5, P21, P22
<i>Oritrophium peruvianum</i> (Lam.) Cuatrec.	Oritperu	ASTERACEAE	P2, P6, P7, P12
<i>Baccharis tricuneata</i> (L. f.) Pers. <i>P18, P23</i>	Bractric	ASTERACEAE	P3, P6, P7, P8, P9, P12, P15,
<i>Ageratina tinifolia</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Agertini	ASTERACEAE	P12
<i>Espeletia frontinoensis</i> Cuatrec.	Espefron	ASTERACEAE	P1, P2, P11, P14, P15, P16, P17, P19, P21, P22, P23, P24, P25
<i>Bidens triplinervia</i> Kunth	Bidetrip	ASTERACEAE	P12
<i>Blechnum loxense</i> (Kunth) Hook. ex Salomon	Blecloxe	BLECHNACEAE	P1, P8, P9, P10, P12, 14, P15, P17, P21, P22
<i>Blechnum auratum</i> (Fée) R.M. Tryon & Stolze	Blecaura	BLECHNACEAE	P3, P13, P16, P23, P24, P25
<i>Puya antioquiensis</i> L.B. Sm. & Read	Puyantio	BROMELIACEAE	P1, P8, P10, P17, P20, P22
<i>Greiga volcánica</i>	Greivolc	BROMELIACEAE	P13
<i>Hypericum juniperinum</i> Kunth in H.B.K. <i>P14, P15, P18, P24, P25</i>	Hypejuni	CLUSIACEAE	P1, P2, P3, P7, P8, P9, P11,
<i>Oreobulus obtusangulus</i>	Oreobang	CLUSIACEAE	P15, P17, P21
<i>Oreobolus venezuelensis</i> Steyerm.	Oreovene	CYPERACEAE	P6, P7
<i>Rhynchospora macrochaeta</i> Steud. ex Boeck.	Rhynmacr	CYPERACEAE	P6
<i>Carex pichichensis</i>	Carexpich	CYPERACEAE	P1, P4, P16, P17, P19, P21, P22
<i>Elaphoglossum glabellum</i> J. Sm.	Elapglab	DRYOPTERIDACEAE	P18
<i>Gaultheria erecta</i> Vent.	Gaulerec	ERICACEAE	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P15, P25
<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Nied.	Distala	ERICACEAE	P16, P17, P19, P20, P22, P23
<i>Befaria resinosa</i>	Befaresi	ERICACEAE	P17
<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC. <i>P14, P16, P21, P22</i>	Pempros	ERICACEAE	P1, P2, P8, P9, P11, P12,
<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold	Cavebrac	ERICACEAE	P25
<i>Paepalanthus columbiensis</i> Ruhland	Paepcolu	ERIOCAULACEAE	P5, P12, P14, P18
<i>Halenia foliosa</i> Gilg	Halefoli	GENTIANACEAE	P3, P21, P23
<i>Geranium multiceps</i> Turcz.	Geramult	GERANIACEAE	P12, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23
<i>Grammitis moniliformis</i> (Lag. ex Sw.) Proctor	Gramonil	GRAMMITIDACEAE	P1, P12, P14, P22

Tabla 2. (continuación)

Especie	Nombre abreviado	Familia	Parcela en donde fue recolectada
<i>Sisyrinchium micranthum</i> Cav.	Sisymicr	IRIDACEAE	P1, P2
<i>Juncus effusus</i> L. Kunth	Juncefus Juncbogo	JUNCACEAE JUNCACEAE	P21, P24 <i>Juncus bogotensis</i> P3, P4, P9
<i>Bomarea linifolia</i> (Kunth) Baker	Bomalini	LILIACEAE	P25
<i>Huperzia cruenta</i> (Spring) Rothm.	Hupercrue	LYCOODIACEAE	P2, P3, P4, P5, P6, P8
<i>Huperzia subulata</i> (Desv. ex Poir.) Holub	Hupersubu	LYCOODIACEAE	P9
<i>Lycopodium clavatum</i> L. P15, P16, P18, P19, P20, P22, P23	Lycoclav	LYCOODIACEAE	P2, P4, P5, P7, P8, P12, P14,
<i>Lycopodium alopecuroides</i> L.	Lycoalop	LYCOODIACEAE	P15, P21
<i>Oxalis albicans</i>			P11, P12
<i>Miconia tinifolia</i> Naudin	Micotini	MELASTOMATACEAE	P25
<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	Myrsdepe	MYRSINACEAE	P13
<i>Myrteola nummularia</i> (Poir.) O. Berg	Myrtnumu	MYRTACEAE	P1
Orquidaceae sp.	Orquidac	ORQUIDACEAE	P17
<i>Plantago rigida</i> Kunth	Plantrigi	PLANTAGINACEAE	P21
<i>Paspalum cf. trianae</i> Pilg.	Pasptria	POACEAE	P6, P8, P12, P21, P25
<i>Cortaderia bifida</i> Pilg.	Cortbifi	POACEAE	P12, P14, P15, P16, P24, P25
<i>Calamagrostis effusa</i> (Kunth) Steud.	Calaefus	POACEAE	P1, P2, P4, P6, P7, P8, P9, P11, P14, P15, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P25
Poaceae sp (pubescente)	Poacpube	POACEAE	P1, P3, P5, P9
<i>Jamesonia bogotensis</i>	Jamebogo	PTERIDACEAE	P11, P14, P16, P18, P25
<i>Ranunculus nubigenus</i> Kunth ex DC.	Ranunubi	RANUNCULACEAE	P3
<i>Lachemilla orbiculata</i> (Ruiz & Pav.) Rydb.	Lachorbi	ROSACEAE	P12
<i>Nertera granadensis</i> (Mutis ex L. f.) Druce	Nertgran	RUBIACEAE	P3, P4, P8, P9, P11
<i>Arcytophyllum nitidum</i> P19, P20	Arcyniti	RUBIACEAE	P6, P14, P15, P16, P17, P18,
<i>Aragoa occidentalis</i> subsp. Occidentalis	Aragocid	SCROPHULARIACEAE	P7, P19, P22
<i>Valeriana bracteata</i> Benth.	Valebrac	VALERIANACEAE	P4, P5
<i>Valeriana stenophylla</i>	Valesten	VALERIANACEAE	P21

Cerca de los 3.000 m de altitud, se establecen los bosques andinos con *ocotea callophylla*, *miconia jahnii*, *clethra fimbriata*, *clethra fagifolia*, *drimys granadensis* y dos especies de *weinmannia* de hoja dividida. Luego de los 3.200 m aparece el bosque andino, dominado por especies de *freziera*, *hesperomeles lanuginosa* con elementos de 25 m

de altura, *geisanthus andinus*, *orepanax aff. ruizianum*, *orepanax sp.*, *vallea stipularis*, *persea ferruginea*, *gaidendron punctatum*, *myrsine parvifolia* y *macleania rupestris*, que en localidades como Llanogrande entra en contacto con la vegetación de los matorrales y de los frailejones del páramo.

Tabla 3 Parcelas dominadas por algunas especies

Parcelas	Especie dominante
P1 55%, P2 35%, P4 68%, P6 87%, P7 65%	<i>Calamagrostis effusa</i> (Kunth) Steud
P3 45%, P8 66%, P9 70%, P11 40%	<i>Hypericum juniperinum</i> Kunth in H.B.K
P5 62%	<i>Poaceae</i> sp. (pubescente)
P10 95%, P20 80%	<i>Puya antioquiensis</i> L.B. Sm. & Read
P12 65%	<i>Oritrophium peruvianum</i> (Lam.) Cuatrec
P13 90%, P23 80%	<i>Blechnum auratum</i> (Fée) R.M. Tryon & Stolze
P14 50%, P18 50%	<i>Paepalanthus columbiensis</i> Ruhland
P15 50%	<i>Oreobulus obtusangulus</i>
P16 20% de cada una, P17 40% de <i>Espeletia</i> y P19 70% de <i>Arcyctophyllum</i>	<i>Arcyctophyllum nitidum</i> , <i>Pernettya prostata</i> , <i>Espeletia frontinoensis</i>
P21 50%	<i>Valeriana stenophylla</i>
P22 65%	<i>Aragoa occidentalis</i>
P24 90%	<i>Cortadeira bifida</i>
P25 30% de cada una	<i>Jamesonia bogotensis</i> , <i>Espeletia frontinoensis</i>

El límite altitudinal de la vegetación arbórea se observa nítidamente a 3.600 m, de altura, en donde es frecuente encontrar matorrales dominados por *miconia salicifolia*, *vaccinium floribundum*, *pernettya prostata* y por especies de *hypericum*.

Rangel, Sánchez & Ariza [7], proponen las siguientes asociaciones vegetales que pudieron ser evidenciadas en algunas de las parcelas levantadas en este estudio:

Asociación *aragoa occidentalis-espeletia frontinoensis*. Esta asociación se encuentra en las parcelas P19 y P22. Las especies características electivas son *calamagrostis efusa*, *hieracium avilae*, *pernettya próstata*. La vegetación de la alianza incluye matorrales y frailejonales. La cobertura promedio de estrato rasante es del 60%; la del estrato herbáceo es de 69% y la del arbustivo es de 53%. Se presenta en ambientes con substratos encharcados y en ocasiones en tierra firme.

Asociación *blechnum loxensis-espeletia frontinoensis*. Esta asociación se encuentra en las parcelas P1, P14, P15, P16, P17, P21, P22,

P23, P24 y P25. La especie característica exclusiva es *blechnum loxensis*; características electivas son *espeletia frontinoensis*, *calamagrostis densiflora* y *vaccinium floribundum*. El frailejónal con un estrato rasante con 62% de cobertura; el estrato herbáceo tiene 65% de cobertura y el arbustivo el 59% de cobertura. Se presenta en sitios planos hasta ligeramente inclinados, incluye áreas con substratos húmedos hasta zonas pedregosas como en los alrededores de Puente Largo, Llanogrande, El Llano de Rodas y la llanura de Santa Bárbara.

Asociación *oreobulus venezuelensis-arcyctophyllum nitidum*. Esta asociación se encuentra en la parcela P6. Las especies características exclusivas son *achyrocline alata*, *loricaria colombiana* y *rhaccocarpus purpuracens*; características electivas son *oritrophium peruvianum*, *oreobulus venezuelensis*, *lysipomia muscoides* y *puya antioquiensis*, como característica preferente aparece *pernettya prostata*. El estrato rasante tiene cobertura promedio de 43%, el estrato herbáceo 27% y el arbustivo 53%. Se presenta en zonas secas y pedregosas.

Asociación *disterigma empetrifoli-diplostephium revolutum*. Esta asociación se presenta en la parcela P22. Esta asociación es común encontrarla con *paspalum trianae*. Matorral con un estrato rasante homogéneo que a manera de tapete domina n cobertura 84%; el estrato herbáceo con 34% de cobertura y el arbustivo con 51% de cobertura. Se presenta en sitios encharcados, pantanos, turberas inundadas y terrazadas como en Puente Largo, Llanogrande y Alto El Burro.

Asociación *halenia foliosa-braccharis tricuneata*. Esta asociación se presenta en la parcela P3. Es común encontrarla con *rhynchospora caucana*, *sisyrinchium microcephalus*, *carex pichichensis* y *valeriana stenophylla*. La vegetación del orden incluye matorrales, frailejonales y herbazales, en donde domina la cobertura el estrato arbustivo y prados y colchones de plantas vasculares en los cuales domina el estrato rasante. La vegetación se establece en sustratos muy variados, prevalecen los ambientes encharcados, las turberas y las orillas de lagunetas, pero también arraiga en sustratos firmes, rocosos, pedregosos o con suelos no encharcados.

En este estudio se proponen las siguientes asociaciones:

1. *Espeletia frontinoensis*-*hypericum juniperinum*
2. *Arcytophyllum nitidum*-*pernettya prostata*-*espeletia frontinoensis*
3. *Jamesonia bogotensis*-*espeletia frontinoensis*.

La primera, presente en las parcelas P1, P2, P14, P15, P24 y P25; la segunda asociación se observó en las parcelas P14 y P16; la tercera asociación se encontró en las parcelas P11, P14, P16 y P25. Estas asociaciones se encuentran relacionadas con *espeletia frontinoensis*, *calamagrostis densiflora*, *vaccinium floribundum* *oritrophium peruvianum*, *oreobolus venezuelensis*, *puya antioquiensis*, y *pernettya próstata*, entre otras. La vegetación incluye matorrales, frailejonales y herbazales, que se establece en sustratos muy variados: ambientes encharcados, turberas, sustratos firmes, rocosos, pedregosos o suelos no encharcados.

La figura 3 resume la cantidad de fitolitos encontrados en algunas de las especies vegetales de las veinticinco parcelas levantadas en el páramo de Frontino.

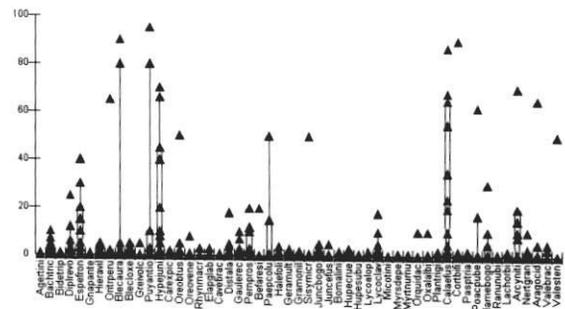


Figura 3 Especies vegetales en las parcelas levantadas en la planicie de Puente Largo

Con base en los datos aportados por las tablas 1 y 2 y por la figura 3, se tiene lo siguiente:

1. *Calamagrostis effusa*, fue la especie más dominante, se observó en dieciocho de las veinticinco parcelas levantadas, le siguió *lycopodium alopecuroides*, presente en catorce parcelas, *espeletia frontinoensis*, presente en trece parcelas e *hypericum juniperinum*, en doce parcelas.
2. Las especies menos dominantes fueron *oreopanax ruizii*, *gnaphalium sp.*, *miconia tinifolia*, *myrsine dependens*, *myrteola nummularia*, *orquidaceae sp.*, y *plantago rigida*, entre otras, que solo se encontraron en una parcela, sin embargo esto no significa que su presencia en alguna de ellas haya sido de bajo porcentaje, como fue el caso de *orquidaceae sp.*, de la que se reportó 10% en la parcela P17.
3. Algunas parcelas presentaron 80% o más de una sola especie, por ejemplo, en P24, el 90% es *cortadeira bifida*; en las parcelas P13 y P23 el 90 y 80%, respectivamente de *blechnum auratum* y en P10 y P20 el 95 y 80% de *puya antioquiensis*.
4. En algunas parcelas se observó que la variedad de especies no permitió que alguna de ellas dominara, por ejemplo, P16 y P25.

Espectros vs asociaciones de fitolitos

Para el análisis se tuvieron en cuenta tres aspectos: redundancia, polimorfismo y monomorfismo.

La redundancia hace referencia a que un mismo morfotribus o morfogénero se presenta en varias especies, por ejemplo prismatolita, es común en *poaceas*, *juncaceae* y *gramíneas*.

El polimorfismo se refiere a que una especie produce varias morfotribus o varios morfogéneros, por ejemplo *juncaceae* produce aculeolitas, botulitas, prismatolitas y halteriolitas.

El monomorfismo es cuando una especie tiene una sola morfotribu o morfogénero, por ejemplo *celastraceae*, *cavendishia brateata* o *hesperomeles ferruginea* solo tienen globulitas.

La figura 4 muestra la presencia de las diversas morfotribus (fitolitos) en los suelos y las especies vegetales de las veinticinco parcelas levantadas en el páramo de Frontino y en la figura 2, se muestran algunos de esos fitolitos.

De la figura 4 puede extraerse la siguiente información:

1. Todas las morfotribus de fitolitos reportadas por Flórez & Parra [4], se encuentran en los

suelos y en las plantas de las parcelas consideradas, pero las cantidades de estos, difieren notablemente entre una y otra parcela y entre una y otra planta.

2. La morfotribu más dominante es prismatolita, que está íntimamente relacionada con halteriolita y doliolita. estrobilolita fue regular en los suelos, aunque nunca excedió los 20 granos (base de 300 granos), en las plantas el comportamiento fue más irregular pero tuvo incrementos que llegaron hasta los 30 granos en *poaceae*. También tuvieron comportamiento similar halteriolita, aculeolita; pileolita fue regular en los suelos de las parcelas entre P1 y P23 y estuvo ausente en los suelos de las parcelas P24 y P25, sin embargo, tuvo un comportamiento muy regular en las plantas de las parcelas estudiadas.

3. Las morfotribus menos dominantes son braquiolita, osiolita, longolita y atipolita en los suelos de las parcelas, mientras que en la vegetación son flabellulita, braquiolita y pileolita, botulita está casi ausente en la vegetación de las parcelas.

4. Las parcelas que presentan condiciones de humedad como P5, P14, P18, P22, P16 y P17 y las que están bajo condiciones de arbustal o matorral como P2, P3 y P8 presen-

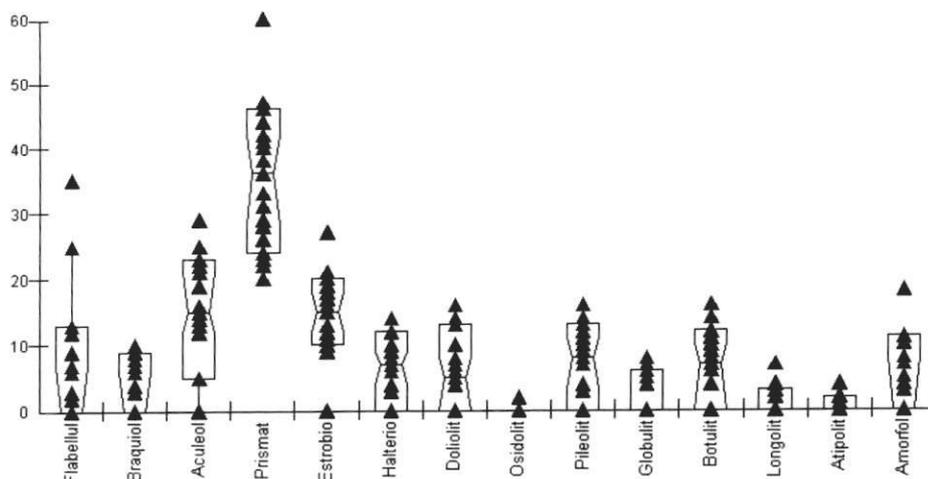


Figura 4 Morfotribus en los suelos y las especies vegetales de las parcelas de la planicie de Puente Largo

tan más bajos contenidos de fitolitos que las otras que están bajo condiciones secas, de praderas o puyales como P1, P4, P6, P7, P9, P10, P11, P12, P13, P15, P19, P20, P21, P23, P24 y P25.

5. Flabellulita es una morfotribu muy común en los suelos, sin embargo, en las especies vegetales esta solo se reporto en pequeñas cantidades en *blechnum*, *disterigma*, *paepalanthus* y *chusquea*. Su presencia en los suelos puede estar asociada a las células de la inflorescencia o de las raíces de algunas plantas que deben ser muy comunes en el páramo ya que las cantidades reportadas en los suelos así lo indican, en este estudio solo se tomaron las hojas más maduras obteniéndose resultados poco contundentes, se espera en otras aproximaciones al conocimiento, observar otras partes de las especies y determinar quien realmente es el productor de este tipo de fitolitos.

Especies vegetales vs fitolitos

La figura 5, obtenida del análisis de correlación canónica realizado en el MVSP, muestra la distribución de las parcelas y la forma como estas se han asociado, respondiendo a aspectos netamente ambientales definidos por las diversas asociaciones vegetales que se dan en ellas.

De la figura 5, se evidencia lo siguiente:

- a. En el primer cuadrante, superior derecho, se asocian las parcelas P1, P6, P7, P11, P12, P13, P22, P24 y P25 que están caracterizadas por la presencia de especies como: *espeletia*, *blechnum*, *carex*, *pernettia*, *calamagrostis*, *paspalum*, *hupertzia*, *oritrophyum*, *hypericum*, *gaultheria*, *juncos*, *cortadeira*, entre otras. Todas estas especies son comunes de tierras secas o de praderas.
- b. En el segundo cuadrante, inferior derecho, se forman tres grupos, uno muy cercano al eje que se asocia al grupo del primer cuadrante, los otros dos comprendidos se asocian así: uno conformado por las parcelas P10, P15 y P20 que se caracterizan por tener especies vegetales tales como *bhechnum*, *puya* y *calamagrostis*, esencialmente; estas parcelas también son secas y se les ha designado como puyales. El segundo grupo esta conformado por las parcelas P16, P17 y P19, que están representadas en términos generales por las asociaciones *espeletia-blechnum* y *espeletia-aragoa* que pertenecen a ambientes encharcados y en ocasiones de tierra firme.
- c. En el tercer cuadrante, superior izquierdo, se forman dos grupos, uno muy cercano al eje

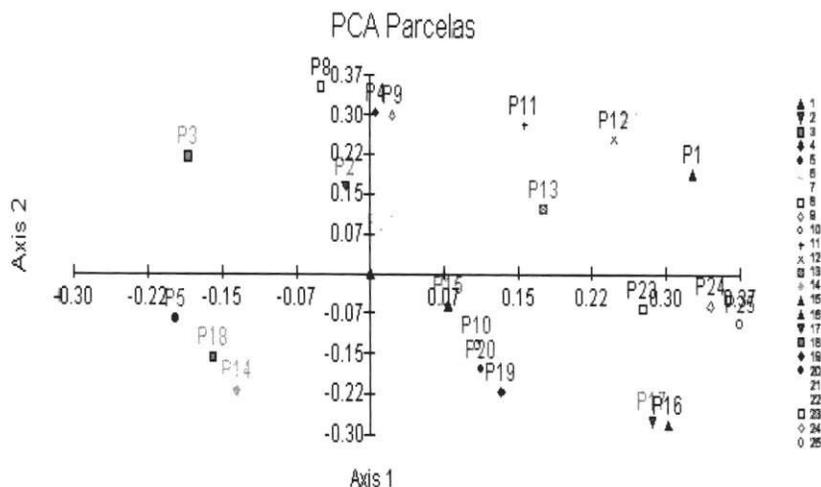


Figura 5 Distribución y agrupamiento de parcelas, en la planicie de Puente Largo

“y” conformado por las parcelas P2, P4, P8, P9 y P21 que se caracterizan por contener *diplostephium*, *espeletia*, *hypericum*, *calamagrostis*, *puya*, *blechnum*, *poaceae*, *juncaceae*, entre otras, todas estas especies son de substrato seco y de ambiente de arbustales o matorrales. El segundo grupo está integrado por la parcela P3, en la que son características *braccharis*, *blechnum*, *hypericum*, *hieracium* y *bomarea*, entre otras, aunque también pertenece a un ambiente seco y de arbustal, se encuentra muy distante del grupo anterior debido a que en P3 lo dominante es *hypericum*.

- d. En el cuarto cuadrante, inferior izquierdo, se forma un grupo conformado por las parcelas P5, P14, P18 y P22 que esta representado por especies como *paepalanthus*, *lycopodium*, *valeriana*, *espeletia*, *blechnum*, *diplostephium* y *disterigma*, dominantes de ambientes húmedos y encharcados.
- e. Las especies más comunes, aunque no siempre las más dominantes en las parcelas fueron: *calamagrostis*, *hieracium*, *pernettya*, *espeletia* y *blechnum*.

- f. Las especies más dominantes en las parcelas fueron: *calamagrostis effusa*, *hypericum juniperinum*, *poaceae sp.*, *puya antioquiensis*, *valeriana stenophylla*, *aragoa occidentalis*, *oritrophium peruvianum*, *blechnum auratum*, *paepalanthus columbiensis* *cortadeira bifida* y *oreobulus obtusangulus*.

La figura 6, creada a partir del mismo análisis de correspondencia canónica en el MVSP, muestra la distribución de las parcelas y sus asociaciones, la distribución de los diversos morfotipos de fitolitos encontrados en los suelos y en las especies vegetales y sus asociaciones y la manera como se interrelacionan las parcelas y los fitolitos de las especies vegetales y de los suelos.

De la figura 6, se concluye:

- a. En el primer cuadrante, superior derecho, se asocian halteriolita-doliolita y prismatolita que están bien representadas en las parcelas P1, P6, P7, P11, P12 y P13, que se caracterizan por contener *calamagrostis*, *poaceas*, *sisyrinchium*, *espeletia*, *blechnum*, *carex*, *paspalum*, *braccharis*, *hypericum*, *oreobulus*, *cortadeira*, entre otras, todas productoras de este tipo de fitolitos.

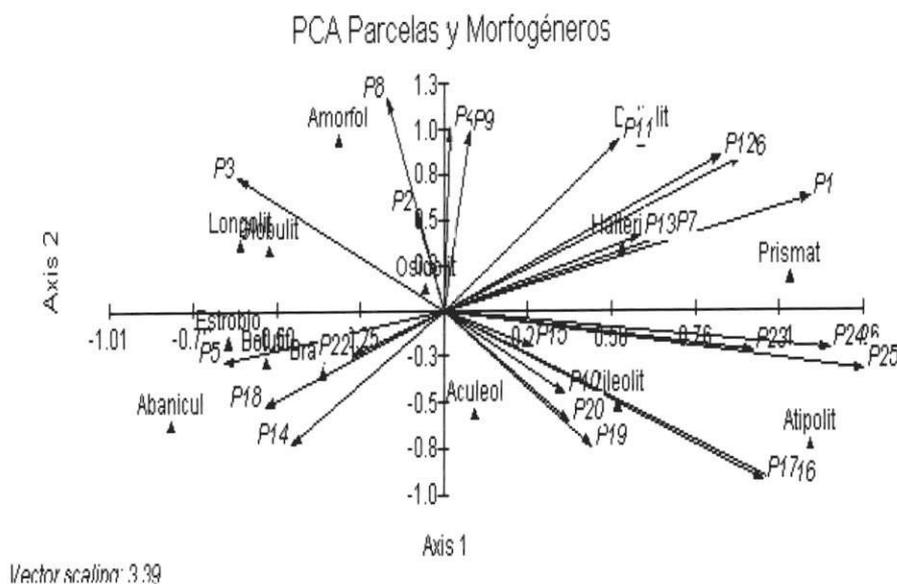


Figura 6 Distribución y asociación de parcelas y fitolitos y sus interrelaciones

- b. En el segundo cuadrante, inferior derecho, se forma un grupo, constituido por aculeolita-pileolita y, otro, constituido por atipolita. El primero está asociado con las parcelas P10, P15, P19 y P20 que se caracterizan por contener *blechnum*, *puya*, *espeletia*, *hypericum*, *oreobulus*, *licopodium*, *calamagrostis*, *aragoa*, *disterigma* y *arcithophylum*, entre otras, dichas especies son productores de este tipo de fitolitos. Para el segundo grupo, atipolita, está relacionado con las parcelas P16, P17, P23, P24 y P25, que presentan la asociación *blechnum-espeletia*, *espeletia-aragoa* y *diplostephyum-disterigma*, *hypericum-espeletia*, además de *arcythophylum*, *disterigma*, *geranium* y *carex*, entre otras, estas especies vegetales se caracterizan por contener morfogéneros muy particulares y diferentes a los encontrados en las demás especies.
- c. En el tercer cuadrante, superior izquierdo, se forman tres grupos: uno en el centro dominado por osiolita que se relaciona con la parcela P2 caracterizada por *hieracium*, *lycopodium*, *oritrophyum*, *pernettya*, etc.; un segundo grupo dominado por amorfolitas que se relacionan con la parcela P6, caracterizada por la asociación *oreobulus-arcythophylum*, y el tercer grupo formado por longolita y botulita, relacionadas con la parcela P3 que se caracteriza por la presencia de *blechnum*, *hypericum*, *gaulteria*, *halenia*, *bomarea*, etc. Todas estas especies productoras de este tipo de fitolitos.
- d. En el cuarto cuadrante, inferior izquierdo, se forma un grupo integrado por flabellulita (abaniculita), botulita, estrobilolita y braquiolita que están relacionadas con las parcelas P5, P14, P18 y P22, estas parcelas se caracterizan por contener *diplostephyum*, *paepalanthus*, *juncos*, *hupertzia*, *espeletia*, *blechnum*, *braccharis*, *jamesonia*, *puya* y *calamagrostis*, entre otras, todas productoras de este tipo de fitolitos.

Espectro de supervivencia

La cantidad de fitolitos presentes dentro de cada suelo está relacionada con la producción intrín-

seca de fitolitos del ecosistema, con su grado de preservación dentro de este y con el tiempo que dure su acumulación; como aspecto particular, los suelos presentan cantidades altas de fitolitos.

En relación con el grado de preservación se observa gran variedad de morfotribus en el suelo, en particular, carece de morfotribus delicados como placas o filamentos.

Flórez & Parra [6] reportan que muchos fitolitos presentan hidratación y corrosión intensa debido al ambiente pedogenético al cual están sometidos, hecho que permite evidenciar su susceptibilidad al desgaste y posible desaparición como fitolito.

No todos los fitolitos presentan una cadena degenerativa o reaccionan de igual forma al ataque químico o a los procesos pedogenéticos, estos fenómenos son más notorios en los fitolitos de las morfotribus flabellulita y braquiolitas y con menor efecto los de la morfotribu prismatolita; el tamaño de los fitolitos influye notoriamente en su transformación siendo más frecuente en fitolitos de menor tamaño y en los que tienen formas de láminas que los que son de formas más robustas y mayor tamaño.

Cuando el morfogénero se encuentra en el suelo se observa modificación morfológica, esto implica que muchos morfogéneros hayan sido transformados por procesos pedogenéticos y lo que se observa hoy es solo una respuesta a esos procesos.

La ventaja principal de los fitolitos como microfósiles es su preservabilidad en los suelos y sedimentos en condiciones aeróbicas en donde el polen y esporas normalmente no sobreviven. Además, estos tienen un especial valor e importancia en la reconstrucción de la historia de vegetación local. En relación con el grado de preservación se observa una gran variedad de morfogéneros en el suelo, sin embargo, el espectro morfológico cuando llega al suelo muchas veces se pierde.

Existe un deterioro selectivo espectral por degradación como respuesta no solo a los diversos procesos dados en el suelo sino a su contextura y fragilidad, los más susceptibles son delgados, laminares y muy pequeños.

Análisis estadístico

Inicialmente se trabajaron las matrices con los datos originales con el objeto de buscar las relaciones de los fitolitos de las plantas recolectadas en cada parcela con la de los fitolitos encontrados en los suelos de estas y se efectuó el análisis de componentes principales, el análisis canónico y las correlaciones de Spearman y Pearson; de este análisis se concluye que:

1. Las variables canónicas de los dos conjuntos de datos no presentan una correlación significativa.
2. No son variables discriminatorias para poder distinguir si las morfotribus representan grupos de especies.
3. Desde el punto de vista estadístico no se puede afirmar si existe relación entre los dos grupos: suelos y cobertura.

Teniendo en cuenta lo anterior y con el objeto de encontrar las correlaciones entre las dos matrices: cobertura y suelos y con base en la clasificación de fitolitos propuesta por Flórez & Parra [4], se tomó la matriz de cobertura y se llevó a una matriz similar a la de suelos, tomando la siguiente ecuación: $N = (ff) (fp) (fs)$ donde: (ff) es la frecuencia de forma de los fitolitos encontrados en las especies vegetales de las parcelas; (fp) es la frecuencia de la planta en cada parcela y (fs) es la frecuencia de supervivencia del fitolito.

Convertida la matriz de cobertura a los mismos términos de la matriz de suelos, es decir, dos matrices con veinticinco filas (veinticinco parcelas) y catorce columnas (catorce morfotribus), se procedió a realizar el análisis de componentes principales, el análisis canónico y el cluster análisis; de este procedimiento se resalta el agrupamiento mostrado por el cluster análisis, véase figura 7.

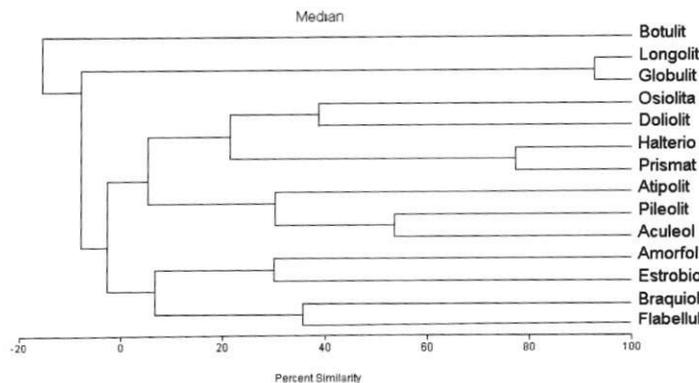


Figura 7a Cluster de fitolitos de la correlación entre las especies vegetales los suelos

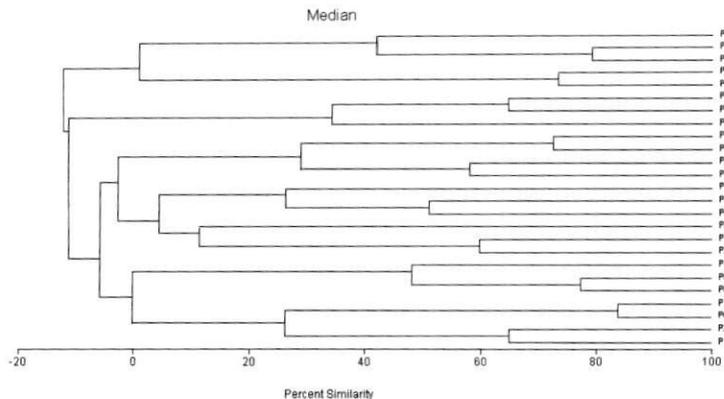


Figura 7b Cluster de las parcelas de la correlación de especies vegetales los suelos

El "cluster" de la figura 7a hace referencia al agrupamiento de las diversas morfotribus de fitolitos presentes en los suelos y en las diversas especies vegetales de estos suelos. En él puede verse la formación de dos grupos en el primer nivel, uno conformado por botulita y el otro por las demás morfotribus; en el segundo nivel se forman tres grupos, uno, conformado por botulita, otro conformado por longolita-globulita y el tercero por las demás morfotribus; en el tercer nivel se forman cuatro grupos, uno, formado por botulita, el segundo, formado por longolita-globulita, el tercero, formado por osiolita-doliolita-halteriolita-prismatolita-atipolita-pileolita y aculeolita y, el cuarto grupo formado por amorfolita-estrobilolita-braquiolita y flabellulita.

En los niveles más inferiores se forman las asociaciones: halteriolita-prismatolita; osiolita-doliolita; pileolita-aculeolita; amorfolita-estrobilolita y braquiolita-flabellulita.

El "cluster" de la figura 7b muestra el agrupamiento de las diversas parcelas, el cual está reflejado por la formación, en un primer nivel, de dos grupos, uno, constituido por las parcelas P10, P16, P17, P19 y P20, que coincide con el agrupamiento mostrado en la figura 5, y que se caracteriza por que son parcelas dominadas por *puya*, *arcythophyllum*, *espeletia*, *blechnum* y *calamagrostis*, entre otras.

Un segundo nivel, muestra la formación de tres grupos, uno, constituido por las parcelas P10, P16, P17, P19 y P20, otro, conformado por las parcelas P13, P23 y P24, que presentan vegetación con características de condiciones secas y, un tercer grupo conformado por las demás parcelas.

A un tercer nivel se conforman cuatro grupos, uno, formado por las parcelas P10, P16, P17, P19 y P20; otro, formado por las parcelas P13, P23 y P24; otro, formado por las parcelas P2, P3, P4, P5, P7, P14, P15, P18, P21 y P22, algunas, bajo condiciones secas ya sea de arbustal o matorral y otras bajo condiciones húmedas (P5, P14, P18 y P22). El cuarto grupo, lo conforman las parcelas P1, P6, P8, P9, P11, P12 y P25, características, en su generalidad, de condiciones secas, tal como puede evidenciarse en la figura 5.

A niveles más inferiores se forman las asociaciones: P16 y P17, caracterizadas por la asociación *espeletia frontinoensis-arcythophyllum nitidum*; P10 y P20, presentan *puya antioquiensis*; P23 y P24, se caracterizan por que son dos parcelas que casi, en su totalidad, 80 y 90%, respectivamente, poseen una sola especie, en la parcela P23, domina *blechnum auratum*, mientras que en la parcela P24, domina *cortadeira bifida*, ambas de condiciones secas. P21 y P4, se caracterizan por la presencia de varias especies vegetales comunes, entre ellas, *calamagrostis*, *valeriana*, *juncos* y *carex*, entre otras; P15 y P3, tienen especies vegetales muy similares, casi todas de condiciones secas, entre ellas, *hypericum*, *braccharis*, y *blechnum*; P18 y P5, tienen en común la presencia de *paepalanthus*; P7 y P2, se caracterizan por la presencia de *calamagrostis*; P8 y P9, tienen, casi dominando, *hypericum juniperinum*; P12 y P6, difieren en especies vegetales y en cantidades, pero todas las especies de ambas parcelas están bajo condiciones secas; P21 y P1, son muy diversas, P21, tiene vegetación de arbustal o matorral mientras que en P1 la vegetación es de praderas, pero ambas secas.

Conclusiones

La mayoría de las plantas analizadas producen fitolitos, lo cual, es importante para trabajos paleoecológicos, porque su hallazgo e identificación permite realizar reconstrucciones paleobotánicas, sin embargo, las cantidades de fitolitos encontrados en los suelos, en la mayoría de los casos, es mucho más alta que la que se encuentra en las hojas de las plantas, de estos suelos, hecho que pone en evidencia que dicha herramienta debe ser usada con moderación porque si bien ella puede indicar que en un determinado lugar existió cierta vegetación no es prueba contundente de la abundancia de esa determinada vegetación.

Los fitolitos constituyen una herramienta paleoecológica importante y aunque pueden ayudar a establecer el paleoclima, aún su conocimiento es muy incipiente para que ellos pueden cons-

tituirse en una herramienta definitiva en la reconstrucción paleobotánica, el hecho de que una planta tenga diversas células que por su forma y funcionamiento son similares a las de otras plantas, crea obstáculos por el hecho de que una vez estas se conviertan en cuerpos silíceos, se acumulan en el suelo impidiendo establecer a ciencia cierta, cuales de todos esos fitolitos pertenecen realmente a una determinada especie, es posible sin duda, determinarlo a partir de una hoja o raíz de una planta pero una vez depositados en el suelo, su afinidad con una u otra especie es prácticamente imposible.

Agradecimientos

Los autores desean expresar un profundo agradecimiento al Comité para el Desarrollo de la Investigación –CODI– de la Universidad de Antioquia y al Instituto de Ciencias Naturales y Ecología –ICNE– de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, a los biólogos Cesar A. Velásquez y Darío Sánchez, a Jorge Pérez, curador del herbario de la Universidad Nacional de Medellín y de manera especial a la auxiliar de investigación Alejandra Vasco Gutiérrez, estudiante de Biología en la Universidad de Antioquia.

Referencias

1. Flórez, M. T. y Parra, S. L. "Atlas de fitolitos de la vegetación altoandina en los páramos de Belmira y Frontino, Antioquia". En: *Revista de Silicofósiles Altoandinos*. pp. 3-41. Ed. Colciencias. Universidad Nacional. Universidad de Antioquia. 1999.
2. _____, "Fitolitos en paleosuelos ándicos altoandinos, San Félix, departamento de Caldas". En: *Revista de Silicofósiles Altoandinos*. pp. 42-56. Ed. Colciencias. Universidad Nacional. Universidad de Antioquia. 1999.
3. _____, *Espectros de fitolitos en tres suelos ándicos del páramo de Frontino, departamento de Antioquia*. Codi. Universidad de Antioquia. Universidad Nacional. En Prensa. 1999.
4. _____, *Propuesta de Clasificación Morfológica para los fitolitos en Colombia*. Codi. Universidad de Antioquia. Universidad Nacional. En Prensa. 2001.
5. Folger, W. Burkle, L. and Heezen, B. *Opal Phytoliths in a North Atlantic dust fall*. *Science*, 155: 1.243-1.244. 1967.
6. Parra, L.N., 1991. *Geología Glacial del páramo de Frontino*. U. Nacional de Colombia, Medellín, 44 p. Inédito.
7. Rangel, O., 1989. *Características bioecológicas y problemáticas de manejo de la región paramuna de Colombia*. En: *Suelos ecuatoriales*. Revista de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Vol. XIX. No. 1. pp.11-18.