



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

Aporte a la misión de los jardines botánicos de Colombia frente al cambio climático

Cleef, A.M.

Publication date

2013

Document Version

Final published version

Published in

Memorias: II Encuentro internacional de ecología aplicada a la conservación de la flora: los jardines botánicos afrontando el cambio climático: 4 a 6 de diciembre de 2012 - Bogotá, D.C. Colombia

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Cleef, A. M. (2013). Aporte a la misión de los jardines botánicos de Colombia frente al cambio climático. In A. Vásquez Cerón, & S. Rudas Ll. (Eds.), *Memorias: II Encuentro internacional de ecología aplicada a la conservación de la flora: los jardines botánicos afrontando el cambio climático: 4 a 6 de diciembre de 2012 - Bogotá, D.C. Colombia* (pp. 36-49). Subdirección Científica Jardín Botánico de Bogotá. http://jbb-repositorio.metabiblioteca.org/bitstream/001/675/1/Memorias-Evento-CC-Sept.%2026_alta%20%281%29.pdf

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.



Foto: Bob Bronshoff

PRESENTACIÓN ppt.

AUDIO CONFERENCIA

Aporte a la misión de los jardines botánicos de Colombia frente al cambio climático⁴

Antoine M. Cleef

Profesor emérito, Universidades de Ámsterdam y Wageningen, Holanda.

Introducción

En los últimos años, con regularidad, se han podido observar los efectos del cambio de clima en los Andes, en las tierras bajas de la Amazonia y Orinoquia, en el delta del Cauca y Magdalena y en la región del Chocó. De la misma manera, en las últimas décadas, los efectos del Niño y La Niña se presentan cada vez con mayor vigor; para el caso de Colombia: demasiadas lluvias (La Niña) o una época larga de sequía fuerte (El Niño).

En la primera parte de éste artículo mostraré lo más relevante del aspecto histórico del cambio global para Colombia y lo que se podría esperar hacia el futuro. En la segunda parte, quiero sugerir algunas acciones para la conservación de la flora endémica, vulnerable y en peligro, de los bosques y páramos, en términos de su protección y de una tecnología de reproducción fácil y eficiente para reforestar y restaurar con especies nativas de la región, en terrenos privados, comunales y del Estado; una posible solución para conservar y mantener la megadiversidad de la flora nativa de los biomas de Colombia.

⁴ Artículo presentado por el conferencista.

Historia del clima y la vegetación de Colombia

Ningún país en el Trópico tiene tantos estudios paleoecológicos de los últimos 25.000 años como Colombia, gracias al Profesor Dr. Thomas van der Hammen y a su sucesor Henry Hooghiemstra de la Universidad de Ámsterdam, quienes también han contribuido a la formación de muchos estudiantes de doctorado, colombianos y holandeses, que hoy día son profesionales en Colombia, Europa y en otras partes del mundo.

Inicialmente vale la pena documentar los cambios grandes del clima del pasado desde el Plioceno tardío y el Pleistoceno hasta hoy día, con los datos de paleoecología basados en polen y otros proxies.

Colombia es único en la región tropical, puesto que cuenta con el registro histórico de 2,2 millones de años desde el Plioceno tardío, presentes en 586 m de sedimentos de la Sabana de Bogotá, que dieron origen al núcleo de Funza (Torres *et al.* 2013). De la historia de la Sabana de Bogotá se sabe desde 1984 y 2006 cuando Henry Hooghiemstra y respectivamente Vladimir Torres, defendieron (*cum laude*) su tesis de doctorado en Ámsterdam (Hooghiemstra 1984, Torres 2006).

Se han documentado unas 40 épocas glaciares en los sedimentos de la Sabana, allí se observa que ninguna época glacial se presenta igual a otra, sobre todo en niveles de humedad ambiental. Generalmente estas diferencias se caracterizan por frío y más sequía, con precipitaciones más bajas y con niveles de CO₂ más bajos que hace 80 años, antes del incremento actual del contenido de dióxido de carbono en la atmósfera.

Durante la época glacial había una presión atmosférica baja de CO₂ de 180 ppm, que favorecía sobre todo a las gramíneas con el sistema de fotosíntesis C4, hoy día más común en los Llanos y en la parte baja de los Andes colombianos (Boom *et al.* 2001).

Es evidente que la interpretación de los fenómenos de la vegetación del pasado tiene mucho que aportar a la ecología: los rangos ecológicos actuales de los géneros y de las especies sirven para calibrar e interpretar los registros polínicos fósiles. Así se reconocen los taxa (de polen) del páramo, subpáramo, bosque andino, bosque subandino y de otras formaciones secas.

Actualmente predominan en los páramos las especies del sistema de fotosíntesis C3 con una presión atmosférica de CO₂ de 280 ppm, que era el valor característico antes del calentamiento global. No sabemos qué va a pasar en el futuro con valores elevados de gas carbónico y su mitigación (Van der Hammen *et al.* 2002); en mayo de 2013 la atmósfera del mundo ha pasado el marco de 400 ppm a nivel del mar. En la Sabana de Bogotá por la altitud está cerca de 300 ppm. Tampoco podemos hablar de una posible época glacial del futuro con valores todavía más altos del mismo. Hoy en día se está aplicando modelaje, entre otras la herramienta BIOME-3, en la palinología continental de Colombia, con el fin de generar información sobre el comportamiento futuro de estos valores (Marchant *et al.* 2001).

Para Bogotá se podría entender que la Sabana entraría de nuevo en la zona de bosque alto-andino, si se aplicaran las calibraciones de decrecimiento de la temperatura medio anual y los valores más bajos de la concentración atmosférica de CO₂. Incluso, con más frío, se presentaría el páramo en la Sabana. Para Quibdó por ejemplo, cuando se aplican calibraciones de la misma magnitud para su altitud, no cambiaría el bioma. Quibdó se quedará en el bioma de bosque pluvial tropical (hoy día a casi 1.000 msnm). Sin embargo, estos escenarios no tienen mucho sentido actualmente.

De otro lado, el modelo aplicado BIOME-3 permite ver también qué va a pasar en el futuro cercano. Con un incremento de la temperatura medio anual en el país y en la Sabana de Bogotá (2.550 msnm) es de esperar que entrarían más especies de la zona superior del bosque subandino. Por ejemplo, hoy día es más común ver el yarumo sembrado en la Sabana. Es decir, las zonas de la vegetación se están moviendo hacia arriba.

Recientemente se han publicado otros dos núcleos de sedimentos interesantes, analizados con una resolución alta. Estos núcleos provienen de la Laguna de Fúquene (2.540 m) y de la Laguna La Cocha (2.740 m). El de la Laguna de Fúquene tiene 64 metros y una historia de 285.000 AP. La resolución por centímetro de sedimento es de casi 70 años (Bogotá-Angel *et al.* 2011, Groot *et al.* 2011); el de La Cocha solamente 12 m y 14.000 años de historia. La resolución es de casi 45 años por 2 centímetros (González-Carranza *et al.* 2012).

En los sedimentos de Fúquene se encuentran evidencias de la subida rápida de la temperatura medio anual, causando al mismo tiempo una subida rápida del límite de bosque en unos 80 años. Es durante el Eemien, el periodo interestadial más cálido entre 237 y 236 años AP, cuando el límite del bosque andino subió de 2.200 a 3.400 msnm, un incremento de casi 7 grados temperatura medio anual (Bogotá-Angel *et al.* 2011). Época en la que aún no había llegado el hombre.

El registro polínico de la Laguna La Cocha (2.780 msnm) en Nariño es completamente holocénico, con los últimos 14.000 años (González-Carranza *et al.* 2012). La resolución de cada 2 cm corresponde a alrededor de 25 años. En La Cocha el bosque andino ha subido gradualmente hasta el nivel actual de 3.500-3.600 msnm. Todos los eventos son nítidamente fechados con C14. Así entenderemos mucho mejor la dinámica y resiliencia del bosque y páramo de la región. Estos fenómenos son muy útiles para el modelaje del cambio global en los Andes ecuatoriales.

Velasquez & Hooghiemstra (2013) presentaron un diagrama de polen de alta resolución de los últimos 17 mil años del páramo de Frontino en el norte de la cordillera Occidental.

Durante el periodo más frío de la última época glacial, las zonas de bosque andino y subandino estaban altitudinalmente más cerca una de la otra, que hoy día. El 'lapse rate' (gradiente térmico vertical) era de 0,76 grados Celsius /100 m diferencia de altitud; ahora tenemos un promedio alrededor de 0,6 grados Celsius/100 m altitudinalmente y es de suponer que con el incremento de la temperatura medio anual, los límites superiores de los bosques subandinos y andinos también van a subir más. Este calentamiento limitado tendrá muchas consecuencias a mediano y largo plazo. El 'lapse rate' va a alcanzar valores de 0,5 hasta 0,4 grados Celsius/100 m.

El efecto más fuerte se sentirá en el páramo, con la subida actual del límite superior del superpáramo. Las especies vasculares en mayor peligro de extinción son las endémicas, como algunas de las asteráceas (géneros *Diplostephium*, *Floscaldasia*, *Pentacalia* y *Senecio*) y de las brasicáceas (*Draba* spp.) entre otras.

En el momento existe un programa global de monitoreo en Colombia, el proyecto GLORIA que tiene ubicadas parcelas en el alto páramo de Lagunillas de la Sierra Nevada del Cocuy (Cuesta *et al.* 2012). Además, se han instalado hace un año, unas seis parcelas permanentes a 4.300 msnm. En los Cerros de La Plaza (Arauca), ubicadas en el límite superior del páramo de gramíneas con el superpáramo.

Se espera que el monitoreo a futuro revele que las parcelas del superpáramo serían invadidas por el páramo de gramíneas, durante este siglo. Así nos acercamos a efectos de cambio climático de corto plazo. Por otra parte, cambios 'multianuales' como los del fenómeno de La Niña y El Niño sí son actuales y en Colombia se manifiestan particularmente como excesiva humedad (lluvias torrenciales) o sequía extrema. Sin embargo, estos fenómenos no

se presentan de la misma manera en todo el país, hay zonas donde sus efectos son más fuertes que en otras. Aunque no es posible predecir el comportamiento de estos eventos climáticos en el futuro, con exactitud, efectos como los del fenómeno del Niño en Colombia, se harán visibles de inmediato en la flora y la vegetación, como consecuencia de la sequía. En este sentido, serán los cultivos, potreros y embalses los que muestren los más rápidamente dichos efectos, por la escasez de agua potable y agua de riego.

La Niña se presentó al final de año 2010 en la Sabana de Bogotá y en otras regiones del país, con muchas lluvias e inundaciones. La incomodidad ambiental se aumentó con las inundaciones del río Bogotá por las aguas negras y muy contaminadas, puesto que no existen suficientes diques protectores y las construcciones en el lecho máximo del río, son un gran problema.

Sin embargo, el fenómeno de El Niño está documentado hace 235.000 AP en los arrecifes de corales en el Pacífico y a partir de estos datos, pareciera que en un paisaje natural, sin ocupación humana, los daños no son tan grandes. Los bosques nativos y páramos naturales ya tienen experiencia del pasado, son ecosistemas con mucha resiliencia. Más susceptibles a los efectos dañosos de El Niño y La Niña son los bosques con un fuerte impacto humano y los páramos pastoreados, con quemas frecuentes y con cultivos.

Finalmente llegaremos a la evidencia actual del cambio de clima. Un hecho cierto es que la temperatura media anual ha subido casi un grado Celsius durante los últimos 30 años (IDEAM, R. Lozano, com. pers.), lo que tiene consecuencias especialmente en los páramos, por lo que se ha podido observar este año (antes, desde los años 80 era imposible entrar al páramo por la presencia de las FARC y narcotraficantes).

Comparando con la situación que he visto en la época 1971-1973 (cuando se estudió la vegetación de los páramos de la Cordillera Oriental (Cleef 1981)) actualment e se presentan las siguientes evidencias de cambio climático:

- (1) El derretimiento de la parte baja de la cobertura de la nieve en la Sierra Nevada del Cocuy, ya documentado por otros investigadores. El límite bajo de la capa de nieve de 4.750 m a principios de los 70, ha subido hasta casi 4.900 m hoy día (según la exposición e inclinación algo más arriba o más abajo). Actualmente se presenta un gran desarrollo de la vegetación pionera de biomasa muy baja en estos sitios, en la que se destacan musgos

acrocárpicos como *Polytrichum juniperinum*, líquenes como *Dictyonema glabratum* (anteriormente *Cora pavonia*), especies de *Stereocaulon* y *Peltigera*. En febrero de 2012 se realizó la vuelta del Cocuy pasando por unos pasos altos que hace 40 años no eran accesibles por la nieve y hielo, curiosamente el límite inferior del superpáramo parece que todavía está en 4.300 m, lo que indica que la zona del superpáramo ha aumentado verticalmente con unos 150 m.

- (2) Parece que el cordón de matorrales zonales del subpáramo subió aproximadamente 30-40 m en altitud. Comprobado en una sola localidad en la carretera de Cogua a San Cayetano donde cerca al paso sale el camino a la Laguna Verde (municipio de Tausa).
- (3) De la misma forma subió el frente superior de las turberas de *Sphagnum* (3.700 m en la zona de Bogotá), a costa de los cojines de las turberas de *Plantago rigida*, en la laguna glaciaria ubicada más al oeste, a casi 3.750 m, como se observa en Andabobos, páramo de Sumapaz. En 1972 había solamente presencia de *Sphagnum cuspidatum* flotando, en gran parte sumergida entre los cojines flotantes de *Plantago rigida*. En mayo de 2012 observé que la mayor parte de los cojines de *Plantago rigida* estaba completamente invadida por otras especies de *Sphagnum*, *S. cuspidatum* estaba todavía en su lugar pero más abundante, sumergida entre los cojines. Esta observación está sustentada con fotos y en levantamientos de la turbera de hace 40 años.

No obstante, (2) y (3) requieren más observaciones de otros sitios.

Estas son mis observaciones de excursiones en los páramos del año 2012 respecto a los efectos del cambio global más visibles en los páramos.

Desafíos para los jardines botánicos

Un reto importante para la conservación de la flora del país y por lo tanto para los jardines botánicos es el que se genera por su ubicación y la orografía compleja ya que Colombia tiene una cantidad de biomas ecuatoriales diferentes. Por esta razón es importante la localización geográfica y altitudinal de los jardines de botánica de Colombia, en conexión directa con el (los) bioma(s) presente(s) en el lugar. Esto se hace más claro con unos ejemplos (figura 1).

Por otro lado, a corto plazo la amenaza más grande para los ecosistemas de alta montaña son las minas de carbón, oro y otros minerales. El efecto se presenta en los bosques andinos, altoandinos y en los páramos. Actualmente el bioma de páramo está bajo protección de ley que prohíbe cualquier impacto humano. El páramo es clave en la recolección de aguas de las lluvias y de las nieblas frecuentes, muchas turberas y lagunas glaciares que disponen

de agua potable para los pueblos, ciudades y metrópolis ubicadas más abajo, siendo este el servicio ecosistémico más importante del páramo. El cinturón protector de bosques altoandinos y andinos (parte superior) es indispensable para no drenar el páramo, en el caso de una mina presente en el límite superior del bosque. Por otra parte existen muchas relaciones ecológicas entre la fauna y flora del páramo y bosque, que aseguran el funcionamiento de ambos ecosistemas.

Desde hace mucho tiempo las actividades agropecuarias (ganadería y siembra de papa), asociadas con quemas y degradación de las tierras en el páramo y el ecotono del bosque andino especialmente, también han afectado los servicios ecosistémicos (principalmente el agua), como consecuencia de un uso no sustentable que llevaría a la degradación total de las tierras (Cárdenas *et al.* 2002, Hofstede 1995, Vargas *et al.* 2002, Verweij 1996). Al mismo momento va reduciendo la cantidad de agua disponible como se presenta menos retención del agua en la vegetación y el suelo.

La presencia humana con fincas a gran escala en el páramo es algo que comenzó hace un siglo, no existía anteriormente (Fosberg 1944, Notestein & King 1932, Cuatrecasas 1934, Guhl 1964).

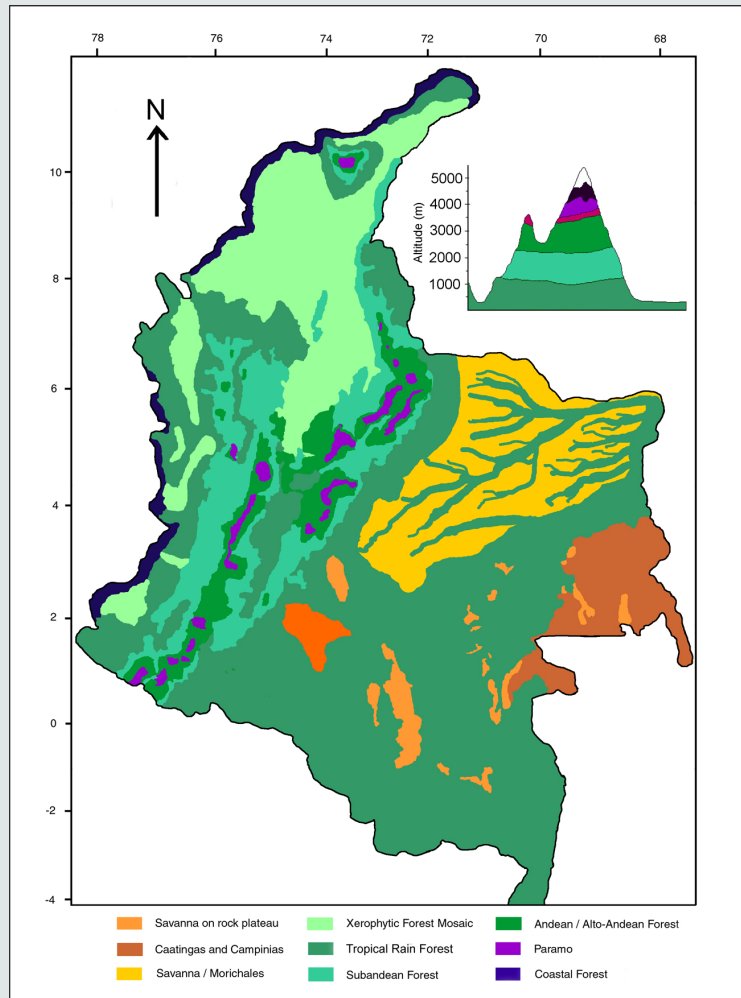


Figura 1. Mapa de los biomas actuales de Colombia
(Adaptado de IGAC, 1998).

Muchos terrenos degradados como potreros con pocas especies vegetales muestran un paisaje transformado con erosión. Además se presenta la tala de los últimos bosques y matorrales para obtener leña para cocina, construcción y postes. En estos terrenos habrá mucha tarea para la restauración (de páramo o bosque alto andino), en la cual el Jardín Botánico de Bogotá juega un papel importante con su experiencia tecnológica en restauración.

Se propone como acción permanente de los jardines botánicos seguir con la preservación del material vivo de las especies de plantas de Colombia en peligro de extinción, principalmente las endémicas. Este objetivo requiere de antemano un estudio de caso, usando los libros rojos y la información de los botánicos. Vale la pena organizar listas de estas especies en peligro.

Se recomienda también una colaboración mucho más concreta en este proceso de conservación de especies vivas, con los Parques Nacionales Naturales de Colombia y con las reservas regionales (reservas de la Fundación Natura, del Departamento y de municipios) y de la Sociedad Civil (privadas). En la entrada de Parques Nacionales o en los centros de visitantes se podría organizar un Orquidario con orquídeas epífitas y otras epífitas como bromeliáceas y helechos, pues son las especies más difíciles de observar al estar en troncos altos y en el dosel. En el caso de páramo sería interesante un jardín 'educativo' con las especies de frailejones del Parque, más algunas especies llamativas de hierbas y arbustos. También se podría usar los diferentes hábitats cercanos para poner avisos de las especies seleccionadas.

Una tarea importante sería el desarrollo de las técnicas para la reproducción de especies nativas claves para las obras y proyectos de restauración y reforestación, en las tierras degradadas (de agricultura y de minas). Pienso que los Jardines con su personal científico podrían jugar un papel importantísimo en el diseño de técnicas de reproducción vegetativa o con semillas de especies promisorias, para restaurar páramos y bosques. Los viveros comerciales podrían, luego, aprovechar de la oferta de especies nativas para estos objetivos. Al lado del Jardín Botánico, las Reservas de la Sociedad Civil podrían colaborar con terrenos para hacer los ensayos de reproducción, puesto que son las áreas con más biodiversidad concentrada de la zona y tienen relevancia para estas reservas.

Finalmente en el caso específico del Jardín Botánico de Bogotá, sugiero un *Jardín sucursal* del páramo en el páramo de Cruz Verde en la zona de Cerro La Viga y la Laguna El Verjón (3.460 msnm), para muestrear las especies

endémicas y en peligro de extinción en su hábitat del páramo bajo (figura 2). El terreno está ubicado al sur de la carretera que sale del barrio Egipto de Bogotá a Choachí. Aquí debe aparecer un terreno vigilado con una entrada que va de la carretera al Cerro La Viga, siguiendo el tramo remanente del camino colonial empedrado hasta el Cerro La Viga. Al pie del Cerro se encuentra la Laguna El Verjón con la hidroserie, con juncos y turberas de *Sphagnum* con las puyas majestuosas (*Puya goudotiana*) (figuras 3 a 10).

Considero esto una revelación para capitalinos y turistas nacionales e internacionales, y será una atracción turística nueva e importante para Bogotá, puesto que la presencia de puyas y frailejones será una motivación importante para pasar un día muy especial. La gente de la zona podría trabajar como guía, vigilante y en la recepción/cafetería. Todo esto a una media hora de Bogotá. Habría que cuidar mucho que no se presenten fuegos provocados.

Solamente en Mérida, Venezuela, hay acceso directo al páramo con frailejones por un teleférico (que parte del tiempo no funciona). La cercanía de un paisaje como estos no se presenta en otra parte.

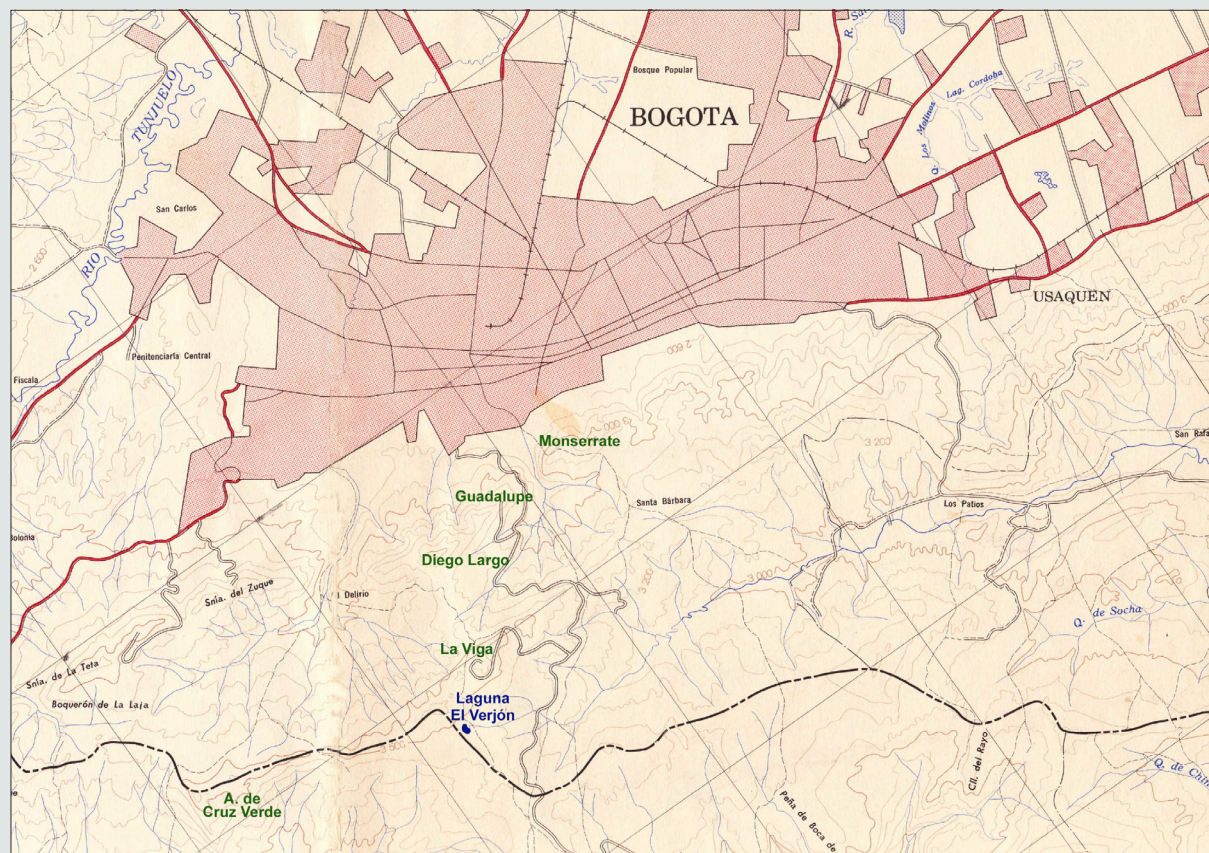


Figura 2. Mapa topográfico del páramo de Cruz Verde con la zona del cerro La Viga y la Laguna El Verjón.

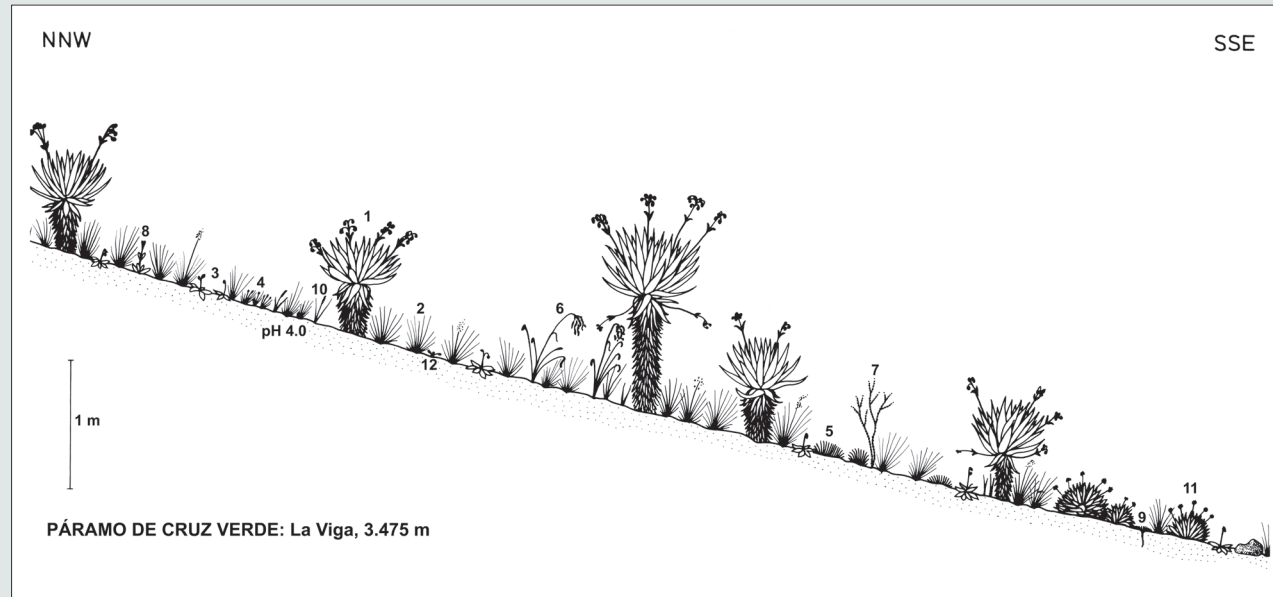


Figura 3. Frailejonal-pajonal de *Espeletia grandiflora* y *Calamagrostis effusa* del páramo prop. dicho bajo con *Oreobolus goeppingeri* y *Castratella piloselloides*.

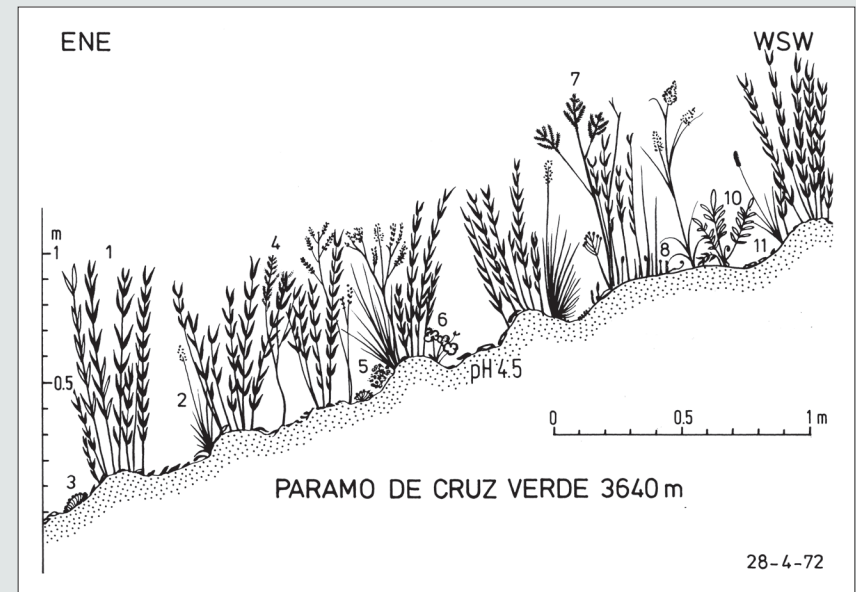
1. *Espeletia grandiflora*
2. *Calamagrostis effusa*
3. *Castratella piloselloides*
4. *Rhynchospora oreoboloidea*
5. *Oreobolus goeppingeri*
6. *Rhynchospora macrochaeta*
7. *Arcytophyllum nitidum*
8. *Gentianella corymbosa*
9. *Hypochaeris sessiliflorus*
10. *Carex* sp.
11. *Paepalanthus andicola* var. *villosus*
12. *Azorella cuatrecasasii*

(Adaptado de Cleef 1981).

Figura 4. Chuscal de *Chusquea tessellata* con arbustillos de *Arcytophyllum nitidum*.

1. *Chusquea tessellata*
2. *Calamagrostis effusa*
3. *Paepalanthus karstenii*
4. *Arcytophyllum nitidum*
5. *Cladonia confusa* f. *bicolor*
6. *Geranium santanderiense*
7. *Aragoa abietina*
8. *Lycopodium clavatum* ssp. *contiguum*
9. *Rhynchospora ruiziana*
10. *Blechnum loxense*
11. Hojarasca del bambú *Chusquea tessellata*

(Adaptado de Hooghiemstra 1984)



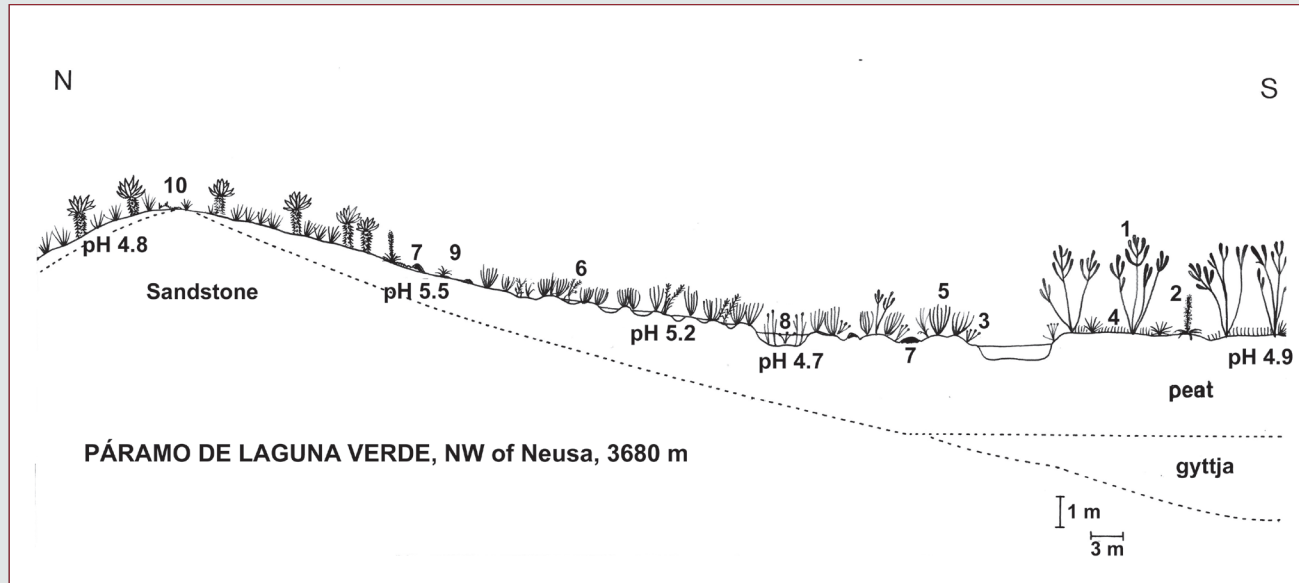


Figura 5. Subpáramo alto arbustivo de *Arcytophyllum nitidum* y *Diplostephium phylicoides*

1. *Aragoa cupressina*
2. *Rhynchospora oreoboloidea*
3. *Paepalanthus andicola* var. *villosus*
4. *Arcytophyllum nitidum*
5. *Diplostephium phylicoides*
6. *Cladonia confusa*
7. *Campylopus* sp. (Cleef 2808)
8. *Vaccinium floribundum* var. *marginatum*
9. *Pernettya hirta*
10. *Calamagrostis effusa*
11. *Geranium santanderiense*
12. *Hypericum strictum*

(Adaptado de Cleef 1981)

Figura 6. Turbera de *Chusquea tessellata* y especies de *Sphagnum* con megarosetas de *Puya goudotiana*

1. *Puya goudotiana*
2. *Puya goudotiana*, remanente de la megaroseta
3. *Chusquea tessellata*
4. *Aragoa abietina*
5. *Blechnum loxense*
6. *Diplostephium phylicoides*
7. *Geranium sibbaldoides* ssp. *elongatum*
8. *Calamagrostis effusa*
9. *Sphagnum magellanicum*
10. *Elaphoglossum engelii*
11. *Paepalanthus andicola* var. *villosus*
12. *Polytrichum juniperinum*

(Adaptado de Cleef 1981)

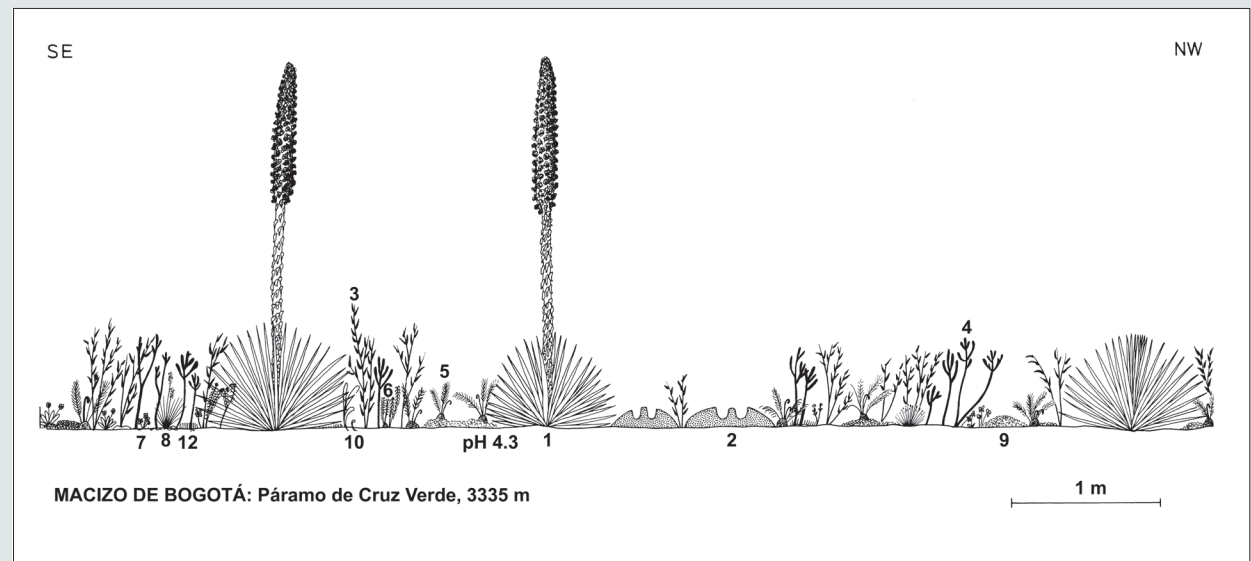




Figura 7. Páramo de Cruz Verde a 3.480 m con el Camino Viejo empedrado de la Colonia con el Cerro La Viga (Foto Cleef, 1.972).



Figura 9. Páramo de Cruz Verde a 3.480 m. Subpáramo con arbustos de *Aragoa abietina* (Plantagin) y frailejones de *Espeletia grandiflora* (Asteraceae) (Foto Cleef, 1.972).



Figura 7. Páramo de Cruz Verde a 3.460 m. Turbera de *Sphagnum* (musgo) con rosetas grandes espinosas de *Puya goudotiana* (Bromeliaceae), arbustos bajos de *Pentacalia flos-fragans* (Asteraceae) y almohadillas con *Geranium sibbaldoides* ssp. *elongatum* (Geraniaceae) (Foto Cleef, 1.972).



Figura 10. Páramo de Cruz Verde a 3.460 m. Laguna El Verjón con una zona de juncos (*Juncus ecuadoriensis*) (Foto Cleef 1.972).

Referencias

- Bogotá-Ángel, R. G. 2011. Pleistocene centennial-scale vegetational, environmental and climatic change in the Colombian Andes: based on biotic and abiotic proxy analyses from Lake Fúquene sediments. Tesis de Ph.D. Universidad de Ámsterdam. 144 pp.
- Bogotá-A., R. G., M. H. M. Groot, H. Hooghiemstra, L. J. Lourens, M. van der Linden & J. C. Berrío 2011. Rapid climate change from north Andean Lake Fúquene pollen records driven by obliquity: implications for a basin-wide biostratigraphic zonation for the last 284 ka. *Quaternary Science Reviews* 30: 3321-3337.
- Boom, A., G. Mora, A. M. Cleef & H. Hooghiemstra. 2001. High altitude C4 grassland ecosystems in the northern Andes: relicts from glacial conditions. *Review of Paleobotany & Palynology* 115: 147-160.
- Cárdenas, C., C. Posada & J. O. Vargas 2002. Banco de semillas germinable de una comunidad vegetal de páramo húmedo sometido a quema y pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia). *Ecotropicos* 15(1): 49-58.
- Cleef, A. M. 1981. The vegetation of the páramos of the Colombian Cordillera Oriental. *Dissertationes Botanicae* 61:321 pp. J. Cramer, Vaduz.
- Cuesta, F., P. Muriel, S. Beck, R. I. Meneses, S. Halloy, S. Salgado, E. Ortiz & M.T. Becerra. (eds.). 2012. Biodiversidad y Cambio Climático en los Andes Tropicales. Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación. Red Gloria-Andes. Lima-Quito. 180 pp.
- Cuatrecasas, J. 1934. Observaciones geobotánicas en Colombia. *Trab. Mus. Nac. Cienc. Nat. Ser. Bot.* 27. Madrid.
- Fosberg, F. R. 1944. El Páramo de Sumapaz, Colombia. *J. New York Bot. Garden* 45(538): 215-259.
- González-Carranza, Z., H. Hooghiemstra & M. I. Vélez 2012. Major altitudinal shifts in Andean vegetation on the Amazonian flank show temporary loss of biota in the Holocene. *The Holocene* 22(1): 1227-1241.
- Groot, M. H. M., Bogotá, R. G., Lourens, L. J., Hooghiemstra, H., Vriend, M., Berrío, J. C., Tuenter, E., Van der Plicht, J. H., Van Geel, B., Ziegler, M. & Weber, S.L. 2011. Ultra-high-resolution pollen record from the northern Andes reveals rapid shifts in montane climates within the last two glacial cycles. *Climates of the Past* 7: 299-316.
- Guhl, E. 1964. Aspectos geográficos y humanos de la región de Sumapaz en la cordillera Oriental de Colombia. *Rev. Acad. Col. Ciencias Ex., Fís. & Nat.* 12(46): 195-212.

- Hofstede, R. 1995. Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem. Tesis de Ph.D., Universidad de Amsterdam. 199 pp.
- Hooghiemstra, H. 1984. Vegetational and climatic history of the high plain of Bogotá, Colombia. *Dissertationes Botanicae* 163: 1-202. J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
- IGAC 1998. Atlas de Colombia, version multimedia. CD-ROM.
- Marchant, R., H. Behling, J. C. Berrío, A. Cleef, J. Duivenvoorden, H. Hooghiemstra, P. Kuhry, B. Melief, B. van Geel, T. van der Hammen, G. van Reenen & M. Wille. 2001. Mid- to Late Holocene pollen-based biome reconstructions for Colombia. *Quaternary Science Reviews* 20: 1298-1308.
- Notestein, F. B. & R. E. King 1932. The Sierra Nevada del Cocuy. *The Geogr. Review* 22: 423-430.
- Torres, V. 2006. Pliocene-Pleistocene evolution of flora, vegetation and climate: a palynological and sedimentological study of a 586-m core from the Bogotá Basin, Colombia. Ph.D. Thesis University of Amsterdam 183 pp + Appendix.
- Torres, V., H. Hooghiemstra, L. Lourens, P. C. Tzedakis 2013. Astronomical tuning of long pollen records reveals the dynamic history of montane biomes and lake levels in the tropical high Andes during the Quaternary. *Quaternary Science Reviews* 63: 59-72.
- Van der Hammen, T., J. D. Pabón Caicedo, H. Gutiérrez & J. C. Alarcón. 2002. El Cambio Global y los ecosistemas de Alta Montaña de Colombia. Pp. 163-209. *En: Páramos y ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición HOTSPOT y Global Climatic tensor*, IDEAM (Ed.).
- Vargas Ríos, J. O., J. Premauer & C. Cárdenas 2002. Efecto de pastoreo sobre la estructura de la vegetación en un páramo húmedo de Colombia. *Ecotropicos* 15(1): 49-58.
- Velásquez-R., C. A. & H. Hooghiemstra 2013. Pollen-based 17-kyr forest dynamics and climate change from the Western Cordillera of Colombia: no-analogue associations and temporarily lost biomes. *Review of Palaeobotany and Palynology* 194: 38-49.
- Verweij, P. A. 1996. Spatial and temporal modelling of vegetation patterns. Burning and grazing in the paramo of Los Nevados National Park, Colombia. Tesis de Ph.D., Universidad de Amsterdam. 233 pp.