

PÉREZ ARBELAEZIA

Nº 19 - Diciembre de 2008

ISSN 0120-7717



Jardín Botánico de Bogotá
José Celestino Mutis
Centro de Investigación y Desarrollo Científico



ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ
1896 - 1972

Sacerdote - Investigador
Fundador del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

PÉREZ
ARBELAEZIA

Publicación del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, dedicada a la memoria de su fundador, el doctor *Enrique Pérez Arbeláez*, quien consagró su vida a institucionalizar la tradición científica de Colombia y a fomentar la investigación, divulgación y defensa de nuestros recursos naturales.



Mutisia clematis L.

Planta ornamental nativa seleccionada como emblema del Jardín Botánico de Bogotá. Debe su nombre a la exaltación que el ilustre botánico *Linneo* quiso hacer en homenaje a *José Celestino Mutis*.

Es una planta trepadora con zarcillos, hojas tomentosas en tonalidades verde grisáceo y flores casi siempre pedunculares, que con su color rojo vivo atraen insectos y colibríes.



Alcalde Mayor de Bogotá, D.C.
Samuel Moreno Rojas

Jardín Botánico de Bogotá «José Celestino Mutis».

Junta Directiva

Juan Antonio Nieto Escalante
Secretario Distrital de Ambiente

Carlos Ossa Escobar
Rector - Universidad Distrital
Francisco José de Caldas

Tomás León Sicard
Director - Instituto de Estudios Ambientales, IDEA. Universidad Nacional de Colombia

Germán Galindo Hernández
Fundación Humedal La Conejera

Ángel Guarnizo Vásquez
Coordinador Unidad de Turismo de Naturaleza – Instituto de Turismo de Bogotá

Eugenia Ponce de León Chaux
Directora General - Instituto Alexander von Humboldt

Comité Directivo

Herman Martínez Gómez
Director Jardín Botánico

Julio César Pulido Puerto
Secretario General (E)

Eduardo Villegas Flórez
Subdirector Científico

Frank Leonardo Hernández Ávila
Subdirector Educativo y Cultural

Federico de Jesús Bula Gutiérrez
Subdirector Técnico y Operativo

Hugo Alejandro Sánchez Hernández
Jefe Oficina Asesor Jurídico

Julio César Pulido Puerto
Jefe Oficina de Planeación

Francisco Bocanegra Polanía
Jefe Oficina de Arborización

Amparo Morales Amador
Jefe Oficina de Control Interno

PÉREZ ARBELAEZIA

Número 19 - Diciembre de 2008

Publicación Anual

PÉREZ ARBELAEZIA © 2008 - ISSN 0120-7717

La revista *Pérez Arbelaezia* es la publicación científica anual del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Está dirigida a investigadores, estudiantes, científicos y a todas las personas interesadas en los temas que esta aborda.

Publica artículos científicos originales e inéditos que desarrollan temas de botánica, biología de especies y ecología de ecosistemas altoandinos; a la vez, abre el espacio para la presentación de ensayos, reflexiones, revisiones y conferencias que aportan al conocimiento de dichas disciplinas, así como de otras áreas misionales de la entidad tales como la arborización urbana, la agricultura urbana y la educación ambiental.

Comité Editorial Jardín Botánico

La edición de las publicaciones del Jardín Botánico de Bogotá se realiza de manera participativa ascendente a través de Comités Operativos integrados por interlocutores válidos de cada subdirección y dependencia, la coordinación editorial, la firma editora externa y el nivel directivo de la entidad, que conforman el comité editorial.

En la planeación, compilación, coordinación y edición de esta revista participaron por parte del Comité Operativo Interno de la Subdirección Científica:

Johanna Katherine Bernal Sotelo
Vilma Isabel Jaimes Sánchez
Pamela Tatiana Zúñiga Upegui
Eduardo Villegas Flórez

Investigadora
Investigadora
Investigadora
Subdirector Científico

Comité Editorial Honorario

Santiago Madriñán Restrepo	Profesor. Departamento de Ciencias Biológicas Universidad de los Andes
Hernán Mauricio Romero	Profesor. Departamento de Biología Universidad Nacional de Colombia
Andrés Etter Rothlisberger	Profesor - Investigador Departamento de Biología y Territorio Universidad Javeriana

Director revista Pérez Arbelaeza

Eduardo Villegas Flórez

Subdirector Científico

Coordinación general editorial Jardín Botánico de Bogotá

José Celestino Mutis

Litta Buitrago Sandoval

Editora

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

Coordinación editorial

Patricia Jaramillo M. - Comunicación Ambiental

- **Corrección de rigor científico:**

Martha Yaneth Vallejo

Germán Ignacio Andrade Pérez

- **Corrección de estilo:**

Juan Carlos Gómez Amaya

- **Diseño y diagramación:**

Bibiana Andrea Alturo M.

Jovana Angélica Noguera V.

Impresión

Imprenta Nacional de Colombia.

Ilustración carátula

Mutisia clematis L. Lámina Expedición Botánica.

La reproducción total o parcial de un artículo debe citar la fuente. Corresponde a los autores la total responsabilidad de las ideas, tesis y conceptos emitidos en sus respectivos artículos.

Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis

Av. Calle 63 No. 68-95 / Teléfono: 437 7060 / Fax: 630 5075 www.jbb.gov.co



Grupo de Árbitros

Camilo Cárdenas	Docente – Investigador	Universidad Nacional de Colombia
Carlos A. Devia C.	Docente – Investigador	Departamento de Ecología Pontificia Universidad Javeriana
César Ruíz	Investigador	Conservación Internacional
Eduardo Behrentz	Director	Centro de estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional – Universidad de los Andes
Jeroen Pascal	Consultor	Internacional Royal Haskoning
Jorge Jácome	Profesor Asistente	Departamento de Biología Pontificia Universidad Javeriana
José Hipólito Isaza	Docente	Departamento de Química Universidad del Valle
José Ignacio Barrera	Coordinador	Escuela de Restauración Ecológica Pontificia Universidad Javeriana
Luis David Gómez	Coordinador	Prácticas Estudiantiles Pontificia Universidad Javeriana
María Soledad Hernández	Investigadora	Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - Sinchi
Nancy Isabel Castillo	Docente - Investigadora	Laboratorio Agroambiente 2015
Luis Guillermo Baptiste	Subdirector	Instituto Alexander von Humboldt
Orlando Rangel	Docente – Investigador	Universidad Nacional de Colombia
Roxana Yockteng	Profesora asociada	Departamento Sistemático de Evolución Museo Nacional de Historia Natural
Willian Fernando Castrillón	Docente	Universidad Distrital Francisco José de Caldas

CONTENIDO

Presentación.....	10
Reflexiones en torno a la Educación Ambiental en Bogotá a partir de la implementación de Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA, en siete quebradas del Distrito Capital. Alexander Delgado/Luisa Galindo/Luz Marina Buitrago/Néstor Céspedes/Edna Margarita Vargas/Maritzá Suárez/Edwin Ussa	15
Aspectos ambientales y paleoambientales de los enclaves secos y el caso particular del valle del Checua (Nemocón, Colombia). Thomas van der Hammen.....	35
Modelo de distribución potencial de <i>Condalia thomasi</i> (Rhamnaceae), especie endémica del valle del río Checua, Sabana de Bogotá, Colombia. Catalina Giraldo P./Carolina Alcázar Caicedo.....	49
Ensayo experimental con microorganismos benéficos y su potencial uso en la implementación de los proyectos de restauración ecológica en el Distrito Capital. Claudia Cristina Rojas Marulanda.....	71
Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo. Sandra Pilar Cortés Sánchez.....	85
Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo. Camilo A. Correa Ayram.....	115
Eficacia de dos hongos entomopatógenos para el control de <i>Pseudococcus</i> spp. Raúl H. Posada Almanza/Lermen Forigua Acosta	141
Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. Diana C. Corzo Barragán.....	153

Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y aceites esenciales de las especies vegetales <i>Valeriana pilosa</i> , <i>Hesperomeles ferruginea</i> , <i>Myrcianthes rhopaloides</i> y <i>Passiflora manicata</i> frente a microorganismos patógenos.	
Andrea J. Lizcano Ramón/María E. Torres Cárcamo/Jenny L. Vergara González.....	163
Vegetación potencial en la cuenca media del río Tunjuelo y procesos de cambio en la cobertura vegetal, otro enfoque metodológico para un análisis multitemporal.	
Sandra Pilar Cortés Sánchez.....	189
Requerimientos de edición para la publicación de artículos en la revista.....	205

PRESENTACIÓN

Apreciado lector:

Desde 1985 la revista *Pérez Arbelaez* ha sido el medio a través del cual el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis presenta los resultados de las investigaciones realizadas por el equipo de científicos dedicados al conocimiento de los ecosistemas altoandinos y sus componentes, así como las de investigadores y entidades afines con el fin de aportar en el cumplimiento de los objetivos estratégicos institucionales.

En esta oportunidad, en cumplimiento a los objetivos «Fortalecer los cambios de actitud de la población frente a la valoración, uso y conservación de la flora» y «Aumentar las áreas donde se apliquen estrategias de conservación de la flora de bosque Andino y páramo» se publica el artículo resultado del convenio interadministrativo entre la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, sobre la aplicación de la metodología Escenarios Vivos de Aprendizaje, EVA, entendidos como *espacios dentro de un territorio compuesto por elementos geográficos, biológicos y sociales que interactúan con las dinámicas de producción económica*.

A través de los EVA se pretende realizar la identificación, caracterización, análisis, comprensión y transformación de las relaciones que se dan entre dichos elementos. Su aplicación tuvo lugar mediante plantaciones participativas y pedagógicas en algunos sectores urbanos y rurales de las quebradas Limas y sus afluentes, Zanjón de la Estrella, Trompetica, Chiguaza, Nutria, Morales, Bolonia y Santa Librada en la cuenca del río Tunjuelo.

En torno al objetivo «Aumentar las áreas donde se apliquen estrategias de conservación de la flora de bosque Andino y páramo» se presenta el artículo del doctor Thomas van der Hammen *Aspectos ambientales y palaeoambientales de los enclaves secos y el caso particular del valle del Checua, Nemocón, Colombia*, en el que hace una descripción detallada de la vegetación, el ambiente, los palaeodatos y los cambios climáticos y de vegetación de los enclaves xerofíticos y subxerofíticos para llegar al origen, especiación y adaptación del género *Condalia* en Nemocón, donde encontró, como él mismo dice «una especie arborecente nueva en la

Sabana de Bogotá, un género nuevo para Colombia y, hasta donde sabemos, endémica en la región de Checua».

En la misma área se llevó a cabo el estudio *Modelo de distribución potencial de Condalia thomasiiana (Rhamnaceae), especie endémica del valle del río Checua, Sabana de Bogotá, Colombia*, cuyas poblaciones están en peligro crítico de extinción especialmente por la fragmentación del único hábitat donde están presentes.

El objetivo de esta investigación fue explorar un modelo de distribución potencial para conocer patrones y relaciones existentes entre los datos de presencia conocida y las variables ambientales de sitio. Se encontró que la especie *Condalia thomasiiana* solo está distribuida en la zona media baja de valle del río Checua en los municipios de Nemocón y Suesca, en un área total de 78,6 km², entre los 2.600 y los 2.880 m. Por este motivo se plantean alternativas de conservación de esta especie endémica y de su área de permanencia actual.

Sobre el objetivo «Aumentar la calidad ambiental de los ecosistemas estratégicos y del paisaje de la ciudad» se presenta el artículo *Ensayo experimental con microorganismos benéficos con miras a implementar en modelos de restauración ecológica en el Distrito Capital*, que muestra los resultados obtenidos en la multiplicación con plantas trampa y reporta la presencia de esporas nativas de las especies *Lycianthes hycioides* (gurrubo), *Dodonaea viscosa* (hayuelo) y *Persea mutisii* (aguacatillo) en tres estados de crecimiento.

El empleo de microorganismos para el mejoramiento de las calidades edáficas o para la biofertilización de plantas ha sido empleado en los últimos años como estrategia para mejorar los rendimientos o disminuir la cantidad de agroquímicos al suelo. Tras los resultados obtenidos se propone el empleo de microorganismos benéficos (micorrizas y rhizobium) para inocular las especies que el Jardín Botánico José Celestino Mutis emplea en modelos de restauración ecológica.

En cumplimiento al mismo objetivo se expone el trabajo *Caracterización fisionómica, estructural y florística de algunas comunidades vegetales en la cuenca media del río Tunjuelo*. A pesar de la fuerte transformación el 39,8 por ciento de este territorio aún presenta vegetación de tipo natural y seminatural correspondiente a las formaciones vegetales de las regiones de vida andina y paramuna. En este estudio

se presenta la caracterización de cuatro tipos fisionómicos de vegetación entre los que se cuentan pastizales subxerófitos, matorrales subxerófitos, vegetación de páramo y bosques ribereños, que corresponden a quince comunidades vegetales descritas con relación a su composición florística y estructura y se mencionan algunos aspectos ecológicos de los ecosistemas relacionados.

Así mismo se presenta el artículo *Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo*, en el cual se propone un modelo de conectividad estructural y funcional entre los fragmentos de vegetación natural que aún persisten. Los resultados demuestran que a nivel de paisaje el estado de conectividad estructural de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo está ampliamente influenciado por el dominio en general de la matriz antrópica.

De acuerdo con los resultados encontrados es evidente el bajo grado de conectividad estructural de las coberturas de bosque y matorral y, por el contrario, la vegetación riparia confirmó su propiedad de elemento conector del paisaje presentando un alto grado de conectividad espacial. Por medio de las rutas de mínimo costo se pudo confirmar la importancia de asegurar la conectividad por medio de la vegetación riparia y al mismo tiempo disminuir el grado de resistencia por parte de la matriz antrópica.

Adicionalmente se presenta el trabajo *Eficacia de dos hongos entomopatógenos para el control de Pseudococcus spp.* debido al complejo de insectos succionadores pertenecientes al género *Pseudococcus* (Hemiptera: Pseudococcidae) que afecta entre otras especies vegetales al caucho sabanero, *Ficus soatensis* Dugand, especie ampliamente empleada en la arborización urbana de Bogotá. Su asociación con el insecto llevó a evaluar mecanismos de control eficiente, poco contaminantes y con tiempos de residencia bajos por las condiciones de ambiente urbano.

Se evaluó la mortalidad ejercida por los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en formulación de polvo soluble en cinco concentraciones, más un testigo, bajo un diseño completamente aleatorizado sobre el complejo *Pseudococcus* spp. en condiciones de laboratorio.

Los tratamientos evaluados no mostraron efecto sobre la plaga, posiblemente por la especificidad de virulencia de las cepas o la formulación del producto;

el trabajo sugiere la evaluación de otras cepas y nuevas formulaciones para encontrar aislamientos eficaces.

Con relación al objetivo «Aumentar el conocimiento, la oferta, el uso y el aprovechamiento de especies vegetales presentes en los ecosistemas Andinos del Distrito Capital y la región» se realizaron investigaciones como *Análisis y selección del método más apropiado para eliminar las saponinas en dos variedades de Chenopodium quinoa* y *Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos y aceites esenciales de las especies vegetales Valeriana pilosa, Hesperomeles ferruginea, Myrcianthes rhopaloides y Passiflora manicata frente a microorganismos patógenos*.

En el primero se analizó y seleccionó el método más apropiado para eliminar las saponinas de dos variedades amargas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), amarilla de maragani y sajama morada, según criterios de costo beneficio, con el fin de incentivar la propagación, el uso y el manejo de la especie en la región debido a sus características.

Este estudio permitirá a los productores primarios hacer la desaponificación con un método económico y favorable con el ambiente. Los métodos de desaponificación valorados fueron: por vía húmeda, combinado, químico, seco y termomecánico; el mejor resultado se obtuvo con el método combinado, porque se logró eliminar el 75 por ciento de las saponinas.

En el segundo, y mediante la técnica de difusión de disco en agar de Kirby-Bauer, se midió la susceptibilidad *in vitro* de los microorganismos patógenos seleccionados frente a sustancias de origen natural con potencial antimicrobiano. En este trabajo se concluyó que el extracto etanólico de *Passiflora manicata* fue el que presentó mayor acción frente a todos los microorganismos, permitiendo realizar el fraccionamiento con los diferentes solventes identificando a la fase acuosa como la responsable del principio activo con potencial antimicrobiano.

Este trabajo recomienda darle continuidad a futuras investigaciones en torno a la potencialidad antimicrobiana de las especies seleccionadas, para lo cual es necesario aislar y elucidar la molécula capaz de inhibir a los microorganismos tratados.

El artículo *Vegetación potencial en la cuenca media del río Tunjuelo y procesos de cambio en la cobertura vegetal, otro enfoque metodológico para un análisis multitemporal* presenta los

resultados obtenidos tras la interpretación de los procesos de cambio ocurridos en la vegetación a partir de la comparación entre el modelo de vegetación potencial, como escenario ecosistémico original, y el mapa de cobertura vegetal actual, con lo cual se logró establecer que el 54 por ciento de los ecosistemas naturales del área de estudio han sido transformados, mientras que apenas un 24 por ciento se encuentra con ecosistemas que abarcan comunidades vegetales de bosque, páramo, vegetación riparia, matorrales y herbazales subxerófitos en conservación, los cuales son importantes para sostener la biodiversidad local y regional.

Los resultados de estas investigaciones sin duda aportan al conocimiento sobre los ecosistemas altoandinos y son muy importantes para garantizar la sostenibilidad de los servicios ambientales de la ciudad. Esperamos que contribuyan al desarrollo sostenible de nuestra región y aporten beneficios a la comunidad en general.



Herman Martínez Gómez

Jardín Botánico de Bogotá

José Celestino Mutis

Director

Aspectos ambientales y paleoambientales de los enclaves secos y el caso particular del valle del Checua (Nemocón, Colombia)

Por

THOMAS VAN DER HAMMEN

Recibido: 17 de septiembre de 2009 / Aceptado: 2 de noviembre de 2009

Los enclaves secos: vegetación, ambiente y paleodatos

No deja de ser sorprendente que todavía se pueda encontrar una especie arborescente nueva en la Sabana de Bogotá, además de un género nuevo para Colombia y, hasta donde se sabe, endémica en la región de Checua (municipio de Nemocón). Su distribución original podría haber sido algo mayor, ya que son muy pocos los restos que quedan del bosque de Gurrumay (*Condalia*) y en áreas cercanas donde las condiciones de clima y suelo son parecidas, como los alrededores de la laguna de Suesca donde ya no existe nada de bosque y solo queda alguno que otro ejemplar de, por ejemplo, el espino *Duranta mutisii*.

El bosque de *Condalia*, como el *Xylosmo-Condaliatum* (van der Hammen 1997; Cortés 2007/8), se encuentra en áreas con precipitación entre aproximadamente 500 y 600 mm, sobre suelos alfisoles a altitudes que oscilan entre 2550 y 2800 m. Las temperaturas medias se ubican entre 11/12°C y 14/15°C aproximadamente, en conjunto lo que correspondería a Bosque montano bajo subxerofítico o Bosque Andino bajo subxerofítico. La presencia de varias especies de plantas de tierras más bajas parece indicar que el área es relativamente caliente con relación a su altitud y que probablemente no se presentan heladas o que estas son muy escasas.

Una zona de Bosque seco montano bajo con precipitación de 700 mm, o algo mayor, se encuentra a altitudes entre 2600 y 2700/2800 m en los Cerros del

centro de la Sabana, como en el caso de los cerros del occidente de Chía. Estos bosques tienen todavía algunas especies en común con el de *Condalia*, como *Duranta mutisii*, *Xylosma spiculiferum*, *Myrsine guianensis*, *Hesperomeles gondotiana* y *Cordia cylindrostachya*, pero muchos otros son diferentes y de porte mayor.

El mayor enclave seco de la Sabana se encuentra en el sur suroeste, en el área de Soacha-Mondoñedo-Bojacá, a altitudes entre aproximadamente 2550 y 2800 m. La precipitación en esta zona llega a valores tan bajos como entre 500 y menos de 400 mm. Esta vegetación xerofítica, de clima más seco, como el «matorral de tuna y hayuelo» (de *Opuntia schumannii* y *Dodonaea viscosa*, y con especies como *Solanum lycioides*, *Ageratina leyvense* y *Stevia lucida*) tiene también algunas especies en común con el bosque de *Condalia* como *Opuntia schumannii*, *Dodonaea viscosa* y *Selaginella sellowii*. Una especie muy especial de esta vegetación xerofítica es la cactácea medio subterránea *Wigginsia vorwerkiana* (que se encontró por primera vez en los años 50 y de la que se dice que para encontrarla hay que andar descalzo).

Se ve entonces una secuencia de comunidades vegetales en la zona altitudinal montana baja o Andina baja con relación a una precipitación descendente, de Bosque seco Andino bajo, vía Bosque Andino subxerofítico (de *Condalia*) a vegetación xerofítica de la zona Andina baja (arbustiva hasta abierta), especialmente el matorral de tuna, hayuelo y *Solanum lycioides* (descritas o mencionadas en Vink y Wijninga 1987, van der Hammen 1997 y 1998, Cortés, van der Hammen & Rangel 1999/2000 y Cortés 2007).

Estos tipos de vegetación subxerofítica hasta xerofítica se encuentran en «enclaves», es decir, en áreas relativamente aisladas que por su posición geográfica se encuentran al abrigo de las lluvias y rodeadas por áreas de mayor precipitación. Frecuentemente la vegetación original de estos matorrales y bosques bajos se encuentra degradada por la presencia de toros, vacas o cabras y por quemas, que causan la desaparición de las especies arbustivas y la extensión de las especies xerofíticas herbáceas.

Aunque el área del enclave xerofítico de Soacha-Mondoñedo-Bojacá debe haber existido desde que se había levantado la Cordillera, hace por lo menos 2,5 millones de años, la vegetación debe haber cambiado mucho durante los períodos glaciales, con climas bastante más fríos y más secos; se podría

haber convertido en un subpáramo muy seco, tal vez debido a una sequía que fue mermada por la menor evaporación, pero de todos modos debió haber resultado en la desaparición de muchas de las especies actuales que podrían haberse establecido en sitios a centenares de metros más abajo en la vertiente occidental de la Cordillera.

En este «enclave» como en el de Checua, en la Formación Mondoñedo, se han encontrado muchos restos óseos, defensas y muelas de mastodontes (*Haplomastodon waringi*) y también algunos del caballo americano (*Equus amerhippus*) Lasalle y Mylodon, cuya edad es de la última Glaciación y especialmente del máximo, alrededor de 20000 años (pueden haber vivido en la Sabana de Bogotá desde el último interglacial, hasta el Tardiglacial). Casi siempre estos restos óseos se encuentran inmediatamente encima de un estrato de suelo plintítico de una edad de aproximadamente 30000 años que se convierte en coraza dura al ser expuesto al aire. Todo parece indicar que durante la época de máxima sequía (*Last glacial maximum*, LGM) les faltó agua a los mastodontes y muchos podrían haberse muerto por esta razón, como pasa con los elefantes del África en condiciones similares.

El estudio de la estratigrafía y de la geomorfología del área muestra que la fuerte erosión de los suelos no es solo de hoy en día, aunque sin duda se ha extendido mucho más bajo la influencia humana. Ya durante las primeras fases de levantamiento de la Cordillera (después de aproximadamente 4 millones de años) se formaron sedimentos coluviales y se depositaron cenizas volcánicas (formación Balsillas). Luego continuó la formación de estos tipos de sedimentos que cubren los cerros, durante el Pleistoceno (formación Vistahermosa). Durante el máximo de la última Glaciación se formó el suelo plintítico en el tope de los suelos y coluvios anteriores, se formaron cárcavas de erosión muy profundas, que comenzaron a llenarse en el Tardiglacial, primero con un suelo oscuro que corresponde al interestadial de Guantiva, que contiene en su parte más superior un intervalo con carbón vegetal, fechado con radiocarbono alrededor de 10850 años AP, que representa el efecto del comienzo del último estadal, El Abra. Con el frío y la sequía de este estadal comenzó la coluviación que llenó estas cárcavas. Nuevas cárcavas y coluviones se deben haber presentado durante intervalos más secos del Holoceno, desde hace 10000 años AP, pero con la influencia humana reciente se han incrementado fuertemente estos procesos (para la historia de esta región ver van der Hammen & Parada 1958,



van der Hammen 1965 y van der Hammen *et al* 1980; ver también los artículos correspondientes, perfiles y mapas en van der Hammen 1995 y 2003).

Como los enclaves secos en general no tienen lagunas ni pantanos donde se podrían haber acumulado sedimentos o turba durante miles de años, no se dispone sino de muy pocos datos históricos directos sobre ellos. Lo más importante son los diagramas de polen de la Laguna de La Herrera (van der Hammen & González 1965, van der Hammen 2003), que queda en la zona xerofítica del suroeste de la Sabana.

La sedimentación en esta laguna, principalmente diatomita, comenzó hace 5000 años. Como era de esperarse de las plantas de la vegetación xerofítica, así como de casi todos entomófilos, hay muy poca representación en el diagrama de polen y solo están representadas por Gramíneas (Poaceae) que tienen entre 30 y 40 por ciento en la parte entre 5000 y 2700 años AP. En esta parte hay hasta 30 por ciento de *Ophioglossum*, que desaparece luego; *Evolvulus* está presente en muchas muestras, como también *Dodonaea* (ver adelante).

Entre 2700 y 2000 años AP el clima se vuelve más seco, ya que el nivel de la laguna es mucho más bajo, se forma un intervalo turboso y aparecen indicadores inequívocos de la presencia y de actividades de agricultores indígenas (polen de maíz). Después de 2000 años AP se vuelve el clima de nuevo algo más húmedo, ya que sube el nivel de la laguna. Poco antes de 700 años AP (1250 después de Cristo) el nivel de la laguna baja nuevamente y la presencia de carbón vegetal en el sedimento indica una mayor presencia y actividad indígena, y comienza también la eutrofización del agua que culmina después de la Conquista. En cuanto a la presencia humana entre 2700 y 2000 AP (o hasta más tarde) corresponde sin duda a la cultura Herrera, de la que se ha excavado asentamientos en los cerros cercanos (Broadbent 1971). Más tarde la presencia humana corresponde a la Muisca o Chibcha.

Lo que es evidente es que en la época de la presencia humana aumentan las Gramíneas (pastos) también por sus actividades agrícolas. Después de la Conquista aumenta más la influencia humana y con el incremento de quemas y la presencia de toros se sigue degradando la vegetación xerofítica, convirtiendo los matorrales parcialmente en tipos de vegetación más herbácea.

Como ya se dijo la gran mayoría de las especies de vegetación xerofítica-subxerofítica son entomófilas (polen distribuido por insectos) y no anemófilas (polen distribuido por el viento) como las gramíneas y los árboles aliso y roble; la entomofilia limita su presencia en la «lluvia de polen» que llega a los sedimentos de lagunas y pantanos. Una especie de la vegetación subxerofítica que sí tiene una distribución mayor por el viento/aire es el arbusto *Dodonaea viscosa* (hayuelo). Es una especie de importancia en los enclaves secos del sur y suroeste de la Sabana de Bogotá y también en Checua y los bosques de *Condalia*. No solamente se encuentra en estas áreas, sino también en la zona de Bosque seco montano bajo (Bosque Andino bajo seco); cuando desaparece este bosque por influencia humana los suelos se disecan, se erosionan y degradan, es decir, las condiciones se vuelven más secas para las plantas.

En los diagramas de polen del Plioceno, Pleistoceno y Holoceno de la Sabana de Bogotá aparece . De la secuencia de casi 600 m de sedimentos de laguna y de pantano de la Sabana del Plioceno —hace más de 3 millones de años— se registró la presencia de *Dodonaea* asociada a vegetación abierta de gramíneas, lo que indica la existencia en esa área de vegetación subxerofítica o xerofítica o de suelos erosionados (Torres 2006).

Por otro lado no se menciona la presencia de polen de *Dodonaea* en un estudio palinológico y estratigráfico del Plioceno y del Cuaternario inferior de la región de la Sabana—Cuenca alta del río Bogotá (van der Hammen *et al* 1973) y tampoco se encontró en el Cuaternario inferior de la sección de Funza (Hooghiemstra 1984). En los sedimentos del último millón de años fueron registrados granos de polen de *Dodonaea* con cierta frecuencia (van der Hammen & González 1960/63, Hooghiemstra 1984).

Datos más detallados del Tardiglacial de la región de Fúquene, después del Pleniglacial superior con vegetación de páramo seco, que da inicio al interestadial de Guantiva, hace aproximadamente 12500-13000 años AP, muestran un incremento considerable de la temperatura y la extensión pionera de *Dodonaea*, *Myrsine* (Rapanea), *Myrica* y *Quercus* (roble) sobre suelos erosionados del período frío y seco anterior. Luego es escasa la presencia de *Dodonaea* durante el Holoceno (cuando el área se cubre de bosques de roble y encenillo), para finalmente extenderse abundantemente en todo el área cuando llega la deforestación y erosión de suelos causados por las actividades del hombre (van Geel & van der Hammen 1973).



También en Boyacá hay evidencia de la relación de la extensión de *Dodonaea* con la conversión de áreas de bosque de roble en campos de cultivo y su sucesivo abandono desde la época indígena (van der Hammen 1962, van der Hammen, Jaramillo y Murillo 2007/08). También en los diagramas de polen de la Laguna de la Herrera se ve la presencia de *Dodonaea* en este enclave xerofítico en los 5000 años representados, pero se incrementan notoriamente en la época más fuerte de la influencia humana.

Datos interesantes aporta también el análisis palinológico de los sedimentos de la Laguna de Pedro Palo, que se encuentra en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental, a una altitud de aproximadamente 2000 m (parte superior del Bosque subandino) (Hooghiemstra & van der Hammen 1993). Los diagramas muestran la secuencia desde la última parte del Pleniglacial superior y todo el Tardiglacial hasta el Holoceno. La Laguna se encuentra en un «escalón» de la vertiente que presenta una fuerte inclinación desde la Sabana hacia el valle del Magdalena. Durante la última parte del Pleniglacial superior (anterior a 12500–13000 años AP) la curva de las gramíneas es muy alta, lo que indica el dominio de vegetación abierta acompañada de Compuestas (Asteraceae).

Un elemento de esta vegetación es también *Dodonaea*, indicando sequía, mientras otros elementos señalan temperaturas mucho más bajas (algunos elementos de subpáramo). También en el Tardiglacial se encuentra todavía *Dodonaea*, pero en el Holoceno desapareció. El diagrama de polen sugiere entonces la existencia de Bosque Andino seco y subandino y de subpáramo seco y, más abajo, quizás hasta el mismo Valle del Magdalena, de vegetación subxerofítica de donde podría haberse «fugado» *Condalia*.

Los grandes cambios climáticos y de vegetación en la región y sus consecuencias para los enclaves xerofíticos y subxerofíticos

Aunque no hay mucha información «prehistórica» sobre la vegetación xerofítica sí se conoce mucho sobre los cambios climáticos y de vegetación en general. De la Cordillera Oriental y de la Sabana de Bogotá se dispone de datos casi continuos de los últimos 3.5 millones de años, basados en el análisis de polen de los centenares de metros de sedimentos de la laguna que existió en el área y que desapareció hace unos 30000 años.

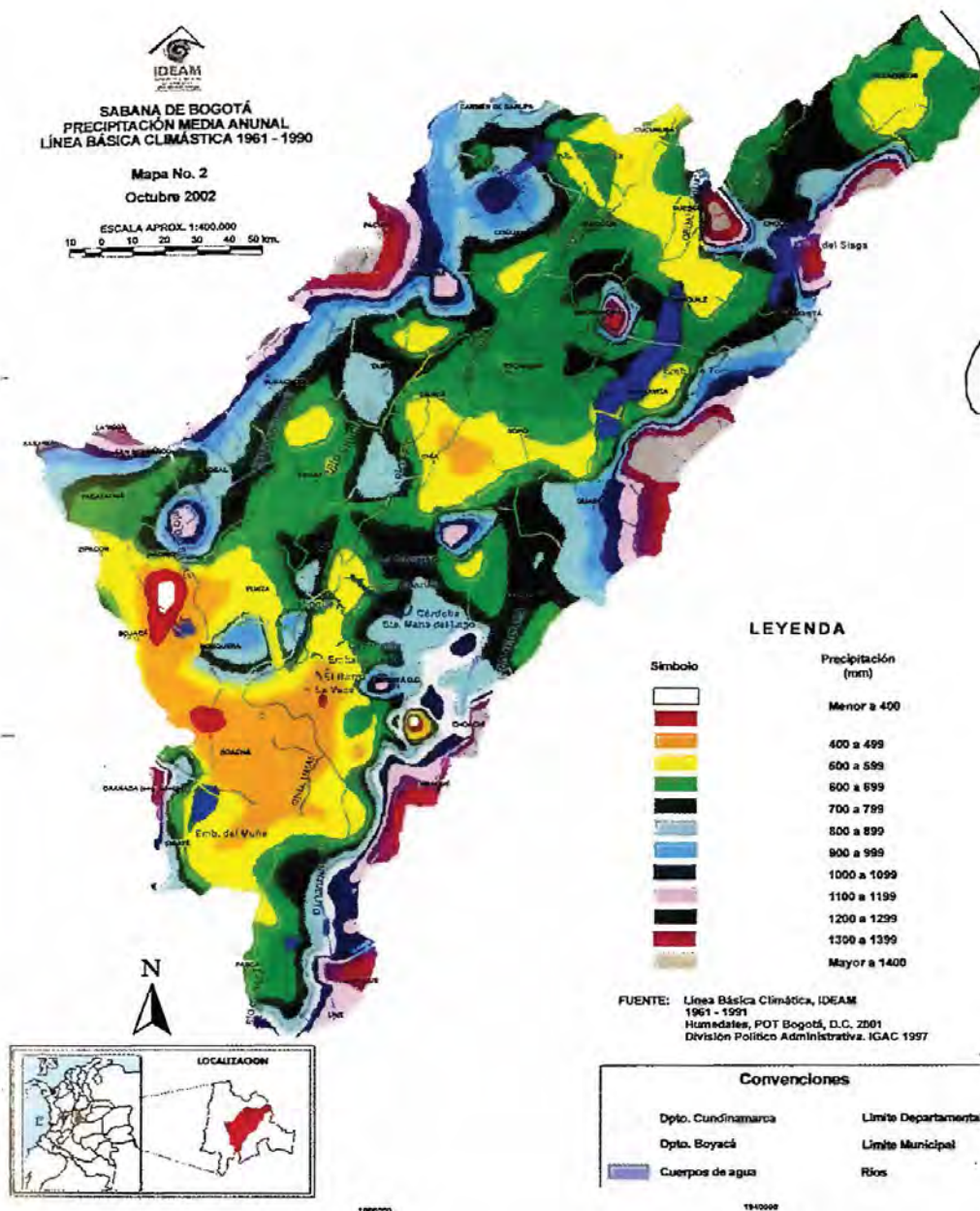


Figura 1. Mapa de precipitación media anual de la Sabana de Bogotá – Cuenca Alta del Río Bogotá. Línea básica climática 1961-1990. IDEAM, Hilda Gutiérrez, 2001/2. Están bien visibles (colores claros) los enlaces secos, xerófiticos (el de Soacha-Monclovia-Bojacá en el suroeste y el de Checua en el norte (al norte de Nemocón).

Estos datos ayudan a la reconstrucción de lo que posiblemente ha pasado con los enclaves secos y de la posible historia del Condaliatum y de su especie principal y endémica la *Condalia thomasi* J. L. Fernández Alonso (1997).

Los grandes cambios climáticos que desplazaron y en parte cambiaron las zonas y tipos de vegetación son de los períodos glaciales e interglaciales. El ejemplo mejor conocido es el del último ciclo glacial-interglacial que corresponde aproximadamente con los últimos 80000 años. El Pleniglacial inferior, entre aproximadamente 80000 y 60000 años AP, fue muy frío y más seco; el Pleniglacial medio, entre aproximadamente 60000 y 30000 años AP, fue frío y húmedo; y el Pleniglacial superior, con el máximo de la última glaciación, fue muy frío y muy seco. El Tardiglacial comenzó hace unos 13000 años, cuando comenzó el interestadial de Guantiva —correspondiente a los interestadiales de Bölling y Alleröd de Europa—, con temperaturas muy cerca de las del Holoceno, interrumpido luego, entre 11000 y 10000 años AP, por el estadal de El Abra —correspondiente al *Younger Dryas* europeo—, la última fase fría y en parte relativamente seca de la última Glaciación.

Hace 10000 años AP comienza el actual interglacial, el Holoceno, con un clima relativamente caliente y con variaciones de temperatura y precipitación de amplitud en general más pequeña que los de la última Glaciación. Es importante anotar que el gradiente térmico, actualmente en el orden de 0.6°C por cada 100 m de altitud, fue mayor durante el máximo de la última Glaciación —el Pleniglacial superior— que fue del orden de 0.75°C .

Durante el último millón de años se presentaron 10 ciclos glacial-interglacial, cada uno de cerca de 100000 años. Entre 2.4 y 1 millón de años AP se presentaron muchos más, con una frecuencia en parte mayor (van der Hammen & González 1960, 1963; van der Hammen 2007; Hooghiemstra 1984, 1985; van der Hammen & Hooghiemstra 1995; Wille *et al* 2001; Torres 2006).

Es evidente, entonces, que durante toda esta historia del Cuaternario hubo grandes cambios de temperatura y también de precipitación. Se toma como ejemplo la última Glaciación. Durante el máximo de esta, alrededor de 23000–18000 años AP, las temperaturas medias anuales en la Sabana de Bogotá eran unos 8°C más bajas que en la actualidad, lo que significa que la «zona Andina baja» de la Sabana —actualmente entre 2500/2600 y 2800 m de altitud— se

encontró durante varios miles de años entre aproximadamente 1700 y 2000 m o más abajo, mientras que el clima era bastante más seco: la precipitación anual fue entonces de un 40 por ciento menos que la actual (Van Geel & van der Hammen 1973).

De esta manera es probable que *Condalia* y su bosque bajaran por lo menos hasta este nivel. Antes y después se debe haber movido entre estas altitudes y las actuales. En vista de que el clima era bastante más seco que actualmente, podría haber causado un clima local en esta zona —actualmente de condensación— más parecido al de su área actual. Así que en principio *Condalia* y sus acompañantes podrían haber sobrevivido al máximo de la última Glaciación y eventualmente también las muchas glaciaciones anteriores, aunque no sabemos cuándo llegó por primera vez y cuándo se adaptó a su área de distribución actual.

Aspectos de origen, adaptación y especiación

Fernández Alonso (1997) menciona que el género *Condalia* (Rhamnaceae) cuenta con 17-18 especies que se encuentran especialmente en zonas áridas, desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica hasta Chile y Argentina. Su mayor centro de distribución se encuentra en América del Norte y se conocen 7 especies en Sudamérica. Una especie se presenta en las Antillas holandesas —Curazao y Bonaire—, donde se encuentra hasta cerca del nivel del mar, y en el norte de Venezuela, en los departamentos de Falcon y Lara, en altitudes entre 500 y 1000 m donde forma matorrales enanos con *Prosopis*, en zonas muy secas con dunas (Fernández-Alonso 1997).

Condalia beriquesii es la especie más cercana a la *C. thomasiana*. *Condalia weberbaueri* se encuentra en zonas altas y secas de la vertiente pacífica del Perú y por consiguiente es ecológicamente más afin a la *C. thomasiana* (Fernández Alonso 1997). Parece así que especies del género se pudieron adaptar genéticamente a climas más fríos y posiblemente podrían haber ayudado al cambio climático de las glaciaciones que al nivel bajo tropical del mar fue en el orden de aproximadamente $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ sin que hubiese posibilidad de «escapar» a zonas más bajas. Así, la *Condalia henriquezii* ya adaptada a este descenso de temperatura pudo luego fácilmente subir a la zona seca entre 500 y 1000 m, en donde se encuentra actualmente en Venezuela, y luego a altitudes aún bastante mayores.

Como el clima era mucho más seco durante el máximo de las últimas y anteriores glaciaciones, su distribución territorial podría haber sido mucho mayor, lo que habría facilitado su llegada a otras áreas más lejanas como Checua, donde podría haberse adaptado más a la mayor altura y a otros factores medioambientales del área.

No hay información acerca de cuándo pudo haber llegado *Condalia* porque no existen datos palinológicos del área de Checua, pero un estudio genético del género o de especies sudamericanas más cercanas como *C. henriquezii*, *C. thomasi* y *C. weberbaueri* podría permitir una primera indicación de la edad de la posible separación de las especies y con eso de la llegada y adaptación. En cuanto al medio de transporte de las semillas lo más probable es que fuera por medio de las aves que comen sus frutos, por lo que un estudio ornitológico sobre estas especies, incluyendo sus desplazamientos estacionales u ocasionales —teniendo en cuenta la extensión y la situación de las poblaciones de *Condalia* durante las glaciaciones—, sería importante para poder aclarar este tema.

Es evidente entonces que con relación a la historia de los enclaves de vegetación xerofítica y subxerofítica, en especial de la historia de *Condalia thomasi* y de sus bosques en la región de Checua, hay más preguntas que conocimientos. No obstante, la respuesta a estas preguntas tiene relación con temas fundamentales de distribución y especiación y por lo tanto es importante comenzar a realizar los estudios correspondientes en los aspectos indicados, como son su genética, su distribución y su situación durante los máximos glaciales.

Erosión y conservación

Otras preguntas importantes para contestar son las relacionadas con la erosión de suelos y la conservación. Por un lado está la restauración de bosques ya degradados y por otro la regeneración de los bosques, ambos para asegurar la supervivencia de especies, especialmente de *Condalia* y sus ecosistemas. Investigaciones al respecto con experimentos *in situ* comenzaron hace varios años (ver Groenendijk 2005) y ojalá puedan continuarse por otros años más, ya que los procesos de crecimiento de especies leñosas en climas secos y con suelos erosionados son muy lentos. Algunos estudios y sus resultados obtenidos son tratados parcialmente en esta publicación. Son muy importantes los del Jardín Botánico de Bogotá, los del Instituto de Ciencias Naturales y los de la Umata. El interés público que ha causado el Gurrumay y sus bosques secos da mucha esperanza y fe en el futuro de la conservación de estos ecosistemas y de la vida en general.

Agradecimientos

A la doctora Hilda Gutiérrez por suministrar el resultado del mapa de precipitación media anual de la Sabana de Bogotá – cuenca alta del río Bogotá, línea básica climática 1961-1990 realizado para el IDEAM. A la doctora Claudia Córdoba García en su calidad de Subdirectora Científica y al equipo de la Línea de conservación *in situ* del Proyecto de conservación de la especie *Condalia thomasi* que me invitaron a publicar sobre los aspectos ambientales y paleoambientales de los enclaves secos.

Bibliografía

- Broadbent, S. 1971. *Reconocimientos arqueológicos de la Laguna de La Herrera*. Rev. Col. Antropología 15: p. 171-213.
- Cortés, S. P. 2007/08, en prensa. *La vegetación boscosa y arbustiva de la cuenca alta del río Bogotá (Forest and shrub vegetation of the upper basin of the Bogotá river)*. En: T. van der Hammen (ed). «La Cordillera Oriental colombiana, transecto Sumapaz.» Studies on Tropical Andean Ecosystems/Estudios de Ecosistemas Tropandinos. Vol. 7. Cap. 33. J. Cramer (Borntraeger). Berlín/Stuttgart.
- Cortés, S. P., T. van der Hammen & J. O. Rangel. 1999. *Comunidades vegetales y patrones de degradación y sucesión en la vegetación de los cerros occidentales de Chía (Cundinamarca, Colombia)*. Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, vol. XXIII, 89: p. 529-554. Bogotá.
- Cortés, S. P., T. van der Hammen & J. O. Rangel. 2000. *Matorrales y bosques de los cerros Occidentales de Chía (Sabana de Bogotá, Colombia)*. Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. XXIV, 91: P. 201-204. Bogotá.
- Fernández-Alonso, J. L. 1997. *Nueva especie de Condalia CAV (Rhamnaceae) y notas sobre los géneros de la familia en la flora de Colombia*. Caldasia 19(1-2): p. 101-108. Bogotá.
- Groenendijk, J. 2005. *Towards recovery of native dry forest in the Colombian Andes. A plantation experiment for ecological restoration*. Tesis de doctorado Universidad de Amsterdam (137 pp). IBED, Amsterdam.
- Hooghiemstra, H. 1984. *Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogotá, Colombia: a continuous record of the last 3.5 million years*. Dissertaciones Botanicae, vol. 79: 368 pp. J. Cramer, Vaduz.

- Hooghiemstra, H.** 1995. *Los últimos tres millones de años en la Sabana de Bogotá: registro continuo de los cambios de vegetación y clima*. En: T. van der Hammen (ed.): «Pliocene y Cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores.» Análisis geográficos 24: p. 33-50. Bogotá.
- Hooghiemstra, H. & T. van der Hammen.** 1993. *Late Quaternary vegetation history and paleoecology of Laguna de Pedro Palo (subandean forest belt, Eastern Cordillera, Colombia)*. Review Palaeobotany and Palynology 77: p. 235-262.
- Torres, V.** 2006. *Plio-Pleistocene evolution of flora, vegetation and climate: a palynological and sedimentological study of a 586 m core from the Bogota Basin, Colombia*. Tesis de doctorado, Universidad de Amsterdam, IBED; 190 pp. Amsterdam.
- van der Hammen, T.** 1962. *Palinología de la región de «Laguna de los Bobos»: historia de su clima, vegetación y agricultura durante los últimos 5000 años*. Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. XI(44): 359-361.
- van der Hammen, T.** 1997. *El bosque de Condalia*. Caldasia 19 (1-2): p. 355-359. Bogotá.
- van der Hammen, T.** 1998. *Plan ambiental de la cuenca alta del río Bogotá*. 142 pp. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR. Bogotá.
- van der Hammen, T.** 2003. *Los humedales de la Sabana: origen, evolución, degradación y restauración*. En: Los humedales de Bogotá y la Sabana, p. 19-51. Conservación Internacional, Bogotá.
- van der Hammen, T.** 2007/08. *Bibliography of the Neogene and Quaternary history of the Colombian Eastern Cordillera*. En: T. van der Hammen (ed.): «La Cordillera Oriental Colombiana, Transecto Sumapaz.» Studies on Tropical Andean Ecosystems, vol. 7 (chapter 16) J. Cramer (Borntraeger), Berlín-Stuttgart.
- van der Hammen T. & E. González.** 1960. *Upper Pleistocene and Holocene climate and vegetation of the «Sabana de Bogotá» (Colombia, South America)*. Leidse Geologische Mededelingen 25: p. 261-315. Leiden.
- van der Hammen, T. & E. González.** 1963. *Historia del clima y de la vegetación del Pleistoceno superior y del Holoceno de la Sabana de Bogotá*. Boletín Geológico XI (1-3): p. 189-266. Bogotá.
- van der Hammen, T. & E. González.** 1965. *A pollen diagram from «Laguna de la Herrera» (Sabana de Bogotá)*. Leidse Geologisch Mededelingen 32: p. 183-191. Leiden.

- van der Hammen, T. & H. Hooghiemstra. 1995. *Cronoestratigrafía y correlación del Plioceno y Cuaternario en Colombia*. En: T. van der Hammen, ed.: «Plioceno y Cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores.» Análisis Geográficos 24: 51-67, Bogotá.
- van der Hammen, T., R. Jaramillo & M. T. Murillo. 2007/08. *Oak forests of the Andean forest zone of the Eastern Cordillera*. En: T. van der Hammen (ed.): «La Cordillera Oriental colombiana, transecto Sumapaz.» Estudios de Ecosistemas Tropandinos vol 7, Capítulo 28. J. Cramer (Borntraeger). Berlín-Stuttgart.
- van der Hammen, T., J. H. Werner & H. van Dommelen. 1973. *Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: a study of the Pliocene and Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its High Andean biota*. Review Palaeobotany and Palynology 16: p. 1-122. (También en: El Cuaternario de Colombia, vol 2; Amsterdam).
- van Geel, B. & T. van der Hammen. 1973. *Upper Quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern Cordillera, Colombia)*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 14: 9-92 (También en Cuaternario de Colombia, vol. 1).
- Wille, M., H. Hooghiemstra, H. Behling, K. van der Borg & A. J. Negret. 2001. *Environmental change in the Colombian Subandean forest belt from 8 pollen records: the last 50 kyr*. Vegetation History and Archaeobotany 10 p: 61-77.