

REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

LA ACADEMIA ES ÓRGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXXVIII

JUNIO DE 2012

NÚMERO 139

DIRECTORA DE PUBLICACIONES: MARGARITA PEREA DALLOS



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Botánica (Botany)		Matemáticas (Mathematics)	
A rare new species of <i>Columnnea</i> (Gesneriaceae) from “Cordillera Occidental” in the Colombian Andes [Una nueva especie rara de <i>columnnea</i> (gesneriaceae) de la Cordillera Occidental en los Andes Colombianos] <i>Marisol Amaya Márquez, James Foley Smith</i>	137	Orthogonal systems and permutation polynomial vectors over modular algebras [Sistemas ortogonales y vectores polinomios de permutación sobre álgebras modulares] <i>Pablo A. Acosta-Solarte, Víctor S. Albis</i>	237
Leguminosas colombianas de la subfamilia Caesalpinioideae presentes en el Herbario del Real Jardín Botánico de kew, Reino Unido [The Colombian Leguminosae subfamily Caesalpinioideae deposited in the Herbarium of the Royal Botanic Gardens, Kew (K), U.K.] <i>Cesar Castellanos, G. P. Lewis</i>	141	Elementary abelian p-extensions and curves with many points [P-extensiones abelianas elementales y curvas con muchos puntos] <i>Álvaro Garzón R., Arnoldo Teherán Herrera</i>	243
Florística y sistemática filogenética innecesariamente disjuntas: el caso de <i>Aristolochia</i> , <i>Euglypha</i> y <i>Holostylis</i> (Aristolochiaceae) [Floristics and phylogenetic systematics unnecessarily disjunct: The case of <i>Aristolochia</i> , <i>Euglypha</i> y <i>Holostylis</i> (Aristolochiaceae)] <i>Favio González</i>	193	Medio Ambiente (Environment) Estudio de la resonancia de onda larga en el Pacífico Colombiano y otras bahías naturales mediante ecuaciones paramétricas [Study of long wave resonance in the Colombian Pacific and other natural bays by means of parametric equations] <i>Jaime Arturo Orejarena Cuartas, Pablo Agudelo Restrepo</i>	253
Geología (Geology) Reporte del hallazgo de un cráneo de <i>Stegomastodon waringi</i> (Holland, 1920) juvenil (Mammalia, Proboscidea) en zona rural del Municipio de Turbaná, Bolívar. Colombia [Report of the finding of a youth skull <i>Stegomastodon waringi</i> (Holland, 1920) (Mammalia, Proboscidea) in rural area of the Municipality of Turbana, Bolivar. Colombia] <i>Mauricio Pardo Jaramillo</i>	203	Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI [Climate change in Colombia: Trends turing the second half of the 20th century and possible scenarios for 21st century] <i>José Daniel Pabón</i>	261
Historia de la Ciencia (History of Science) Las lecciones de la tuberculosis [Lessons of tuberculosis] <i>Luis Fernando García</i>	211	Química (Chemistry) Transferencia de oxígeno fotoestimulada con complejos de Mo (dioxo) anclados en TiO ₂ [Photo stimulated Oxygen Atom Transfer with Mo(dioxo) complexes anchored on TiO ₂] <i>Edgar Alberto Páez Mozo</i>	279
Parangón entre dos boticas granadinas del año 1776 [Comparison between two pharmacies Grenadines 1776] <i>Santiago Díaz Piedrahita</i>	219	Notas (Notes) El Higgs: la partícula de Dios [God’s particle: the Higgs] <i>Roberto Martínez</i>	287
		Constitución de la Academia (Members of the Academy)	292
		Publicaciones de la Academia (Publications of the Academy).....	295

A RARE NEW SPECIES OF *COLUMNEA* (GESNERIACEAE) FROM “CORDILLERA OCCIDENTAL” IN THE COLOMBIAN ANDES

Marisol Amaya Márquez*, James Foley Smith**

ABSTRACT

Amaya Márquez M., J. Foley Smith: A rare new species of *Columnnea* (Gesneriaceae) from “Cordillera Occidental” in the Colombian Andes. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **36** (139): 145-148, 2012. ISSN 0370-3908.

A new species of *Columnnea* belonging to section *Ortholoma* (Gesneriaceae) from La Serranía de los Paraguas in the Valle del Cauca Department in Colombia (Cordillera Occidental) is described and illustrated.

Key words: Colombia, *Columnnea*, Flora of Colombia, Gesneriaceae, *Ortholoma*, Taxonomy, Valle del Cauca.

RESUMEN

Se describe e ilustra una nueva especie de *Columnnea* perteneciente a la sección *Ortholoma* (Gesneriaceae). La nueva especie se descubrió en La Serranía de los Paraguas, en el departamento del Valle del Cauca (Cordillera Occidental) en Colombia.

Palabras clave: Colombia, *Columnnea*, Flora de Colombia, Gesneriaceae, *Ortholoma*, Taxonomía, Valle del Cauca.

Ortholoma Benth. corresponds to the circumscription of the genus *Trichantha* Hook. Validated by Wiehler (1973, 1975), and now recognized as a section within the genus *Columnnea* (Kvist & Skog 1993). With nearly 50 species, it is the third largest section after *Collandra* and *Columnnea s.s* (Smith in prep.). Ongoing molecular phylogenetic analyses of *Columnnea* indicate that it is unlikely that *Ortholoma* will be resolved as monophyletic (Smith *et al.* submitted). However, since these analyses are incomplete and clades have not yet

been named, we here use the older published sectional name *Ortholoma*. The species in this section are herbs, usually with anisophyllous leaves at each node. They can be separated in two groups according to the presence or absence of external appendages located between the corolla lobes. The species reported in this paper is unusual in having a vegetative shoot similar to the one exhibited by the species of sect. *Collandra*, *i.e.*, leaves sessile disposed in close-set arrangement that give the shoots a “fern-frond” appearance (Wiehler 1983),

* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá, Colombia. Email: mamayam@unal.edu.co

** Department of Biological Science, Boise State University, 1910 University Drive, Boise ID 83725, U.S.A. Email: jfsmith@boisestate.edu

and flowers that have external appendages between the corolla lobes as it occurs in some species of sect. *Ortholoma*.

Columnnea paraguensis M. Amaya & J. F. Smith sp. nov. Figures 1 & 2A, B

TYPE: COLOMBIA: VALLE DEL CAUCA: Municipio El Cairo, Vereda El Brillante, natural reserve, Cerro El Inglés, 4°45'N, 76°17'W, 2450 m, May 30, 2011, *O. H. Marín-Gómez & D. A. Gómez-Hoyos 199* (Holotype, COL; Isotype, CUVIC).

C. paraguensis differs from *C. fuscihirta* L. P. Kvist & L. E. Skog in having corollas with four appendages external to and between the lobes, and the larger leaf without red spots on its abaxial side.

Suffrutescent vine, 3 m long; stem subterete, 0.6-0.9 cm diam., the epidermis green, the indument hirsute, of 9-11 celled translucent trichomes; internodes 1-2 cm long. **Leaves** opposite, strongly anisophyllous papyraceous. Larger leaf petiolate, the petioles 0.4-1 cm long, hirsute with 7-10 celled

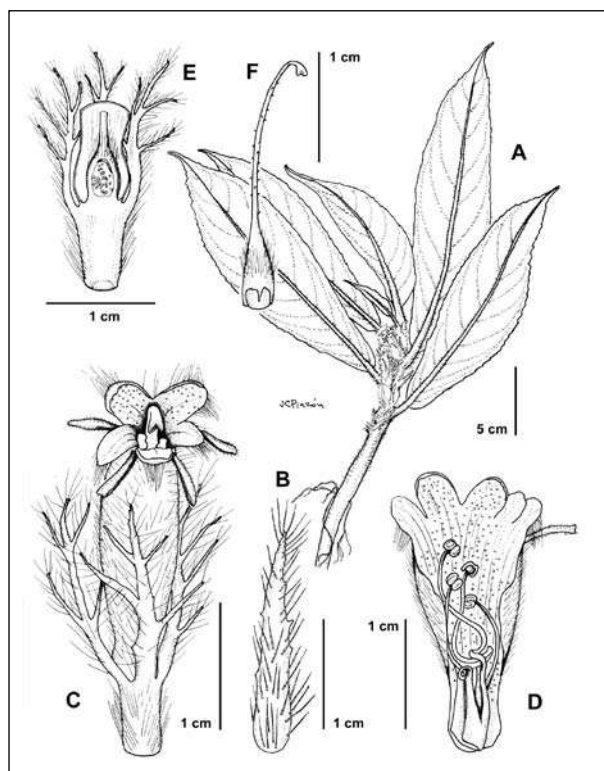


Figure 1. *Columnnea paraguensis* M. Amaya & J. F. Smith. **A.** Habit. **B.** Bract. **C.** Flower showing the four external appendages between the corolla lobes and the lacinate calyx. **D.** Corolla dissected to show the androecium and the location of the glandular trichomes on the inside. **E.** Ovary.

trichomes; blade asymmetrical, oblanceolate, 15.3-19 x 5-5.5 cm, basally oblique, apically acuminate, marginally irregularly dentate, adaxially green, pilose with 8 celled trichomes, abaxially pale green, pilose with 5-7 celled trichomes, 9-10 veined on the larger side of the blade. Smaller leaf sessile, the blade asymmetrical, lanceolate, 1.3-1.7 x 0.2-0.3 cm, basally oblique, apically long attenuate, marginally dentate, adaxially green, pilose with 9-10 celled trichomes, abaxially pale green, pilose with 9-10 celled trichomes. **Inflorescence** fasciculate, 2 flowered in the larger leaf axil; bibracteolate, the bracts lanceolate, 1.8-2.4 x 0.2-0.3 cm, pale green, adaxially glandular, abaxially pilose, marginally dentate. **Flowers** pedicellate, the pedicel 0.5-0.6 cm long, pilose with 10 celled trichomes. **Calyx** pale green, the sepals free, subequal, lanceolate, 1.2-1.8 x 0.2-0.3 cm, adaxially glandular with short headed trichomes, abaxially pilose with 10 celled trichomes; marginally lacinate. **Corolla** erect, yellow, the tube straight, slightly constricted at base and throat, curved downwards at the limb; 2.4 cm long, 0.6 cm wide at the middle, 0.3 cm wide at the constricted base, 0.4 cm at the throat; base dorsally gibbous, gibbosity 0.3 x 0.5 cm; limb bilabiate, the lobes patent, the two dorsal oblong, the others acute, 0.7 x 0.3 cm; corolla red outside and pilose at the middle of the tube, translucent at the limb; inside glandular with 2 celled trichomes, along the tube, whereas at the limb glandular only on the two dorsal lobes, with the two lateral and the ventral lobes glabrous. **Androecium** of 4 stamens, the filaments 2 cm long, pilose with unicellular trichomes, basally connate by 0.5 cm forming a folded and dorsally open staminal blade; anther sagittate, 1.5 x 1.5 mm, the connective subquadrate, 1.3 x 1.3 mm. **Gynoecium** conoidal, 0.5 x 0.3 cm, pilose with 8-10 celled trichomes; style 1.8 cm long, glandular with uniseriate, 3-celled trichomes and a glandular head; stigma bilobed, recurved. **Nectary** consisting of 2 dorsal connate glands, 1.5 x 1.5 mm. **Fruit** a green but apically purple berry, 1.3 x 0.8 cm. **Seeds** not seen.

Etymology. The species is named after La Serranía de los Paraguas to acknowledge the geographical area where the species was recently collected.

Phenology. Flowers and fruits recorded in May. This information may not reflect the full phenology of the species due to the limited specimens known.

Distribution. *Columnnea paraguensis* is known only from the type locality in the western slopes of the Cordillera Occidental in the Colombian Andes at the limit between the Valle del Cauca and Chocó Departments at 2450 m alt. The Natural Reserve of Cerro El Inglés with 355 hectares is a place with the highest records of endemism and biodiversity recorded for the Serranía de los Paraguas (Silverstone-Sopkin &

Ramos-Pérez 1995, Corporación Serraniagua 2006 (ined.). The Serranía de Los Paraguas is an important ecosystem with high relevance for the conservation of the biodiversity in Colombia.

Representative specimens. No additional collections have been seen.

Distinctive features The species is recognized vegetatively by having a translucent indument on the whole plant, although it changes to brownish on the older part of the stem and is red at the middle part of the corolla tube (Figure 2B). The leaves do not have red or purple maculae and instead are homogeneously green on the abaxial face. The inflorescences are located at a ventral position, with two flowers per inflorescence, but only one opens at a time (Figure 2B). The corolla tube has four appendages external to and between the lobes, which are typical of some species of sect. *Ortholoma* (Figure 2B), but are distinct from the corolla appendages reported for some species in sect. *Collandra*, where five appendages located inside the corolla tube form a corona

(Amaya *et al.* 2004). Although *Columnea paraguensis* has yet to be sampled in molecular phylogenetic analyses, the *Collandra*-like leaf arrangement and presence of long coarse hairs on the stem imply a relationship to *Columnea ciliata* (Wiehler) L. P. Kvist & L. E. Skog/ *C. illepidata* Moore clade (Smith in prep.).

Columnea paraguensis is also closely morphologically similar to *C. fuscihirta* (Fig. 2C). Both species are suffrutescent climbers, have a larger leaf that is asymmetrical and oblanceolate of similar size to the leaves of *C. fuscihirta*, with the base oblique, the apex acuminate and the margin irregularly dentate; pedicel short; calyx pale green or green-yellow with margin lacinate; corolla cylindrical, yellow; four stamens with filaments pilose, and stigma bilabiate and recurved at maturity. On the other hand, the main difference between the two species is the presence of the four external corolla appendages in *C. paraguensis* which are absent in *C. fuscihirta*. More characters that help to distinguish between these species are presented in Table 1.

A



B



C



Figure 2. *Columnea paraguensis* **A.** Vegetative shoot with subsessile leaves disposed in close-set arrangement giving the plant a fern like appearance (*sensu* Wiehler 1983). **B.** Inflorescence showing only one flower open at the time. The corolla shows the four external yellow appendages, a bilabiate limb, and a red external indument at the middle of the tube; basally a pale green fruit covered by a pale green, lacinate calyx is observed. **C** *Columnea fuscihirta* L. P. Kvist & L. E. Skog. Vegetative shoot dorsiventral with subsessile leaves in a close-set arrangement; flowers showing an architecture defined by the following traits limb tubular, yellow, subactinomorphic, absence of corolla appendages, and a pale green fimbriate calyx.

Table 1. Comparison of morphological characters between *C. paraguensis* and *C. fuscihirta*.

Character	<i>C. paraguensis</i> M. Amaya & J. F. Smith	<i>C. fuscihirta</i> L. P. Kvist & L. E. Skog
Larger leaf petiole length	0.4-1 cm	1.5-2.3 cm
Larger leaf abaxial face color	Green	Green with red macula apically
Number of veins on the larger leaf	9-10	7-10
Shorter leaf shape	Asymmetrical, lanceolate	Asymmetrical, narrow ovate
Shorter leaf size	1.3-1.7 X 0.2-0.3 cm	2-6 X 0.8-2.5 cm
Bract size	1.8-2.4 X 0.2-0.3 cm	0.6-0.8 X 0.1-0.2 cm
Sepal adaxial indument	Glandular headed (2-3 celled trichomes)	Hirsute (8-10 celled trichomes)
Corolla shape	Subventricose, slightly constricted at the base and throat, curved down at the limb level; four external appendages among the lobes	Subventricose, slightly constricted at the base and throat, curved down at the limb level; external appendages absent
Corolla length	2.4-3 cm	3.1-3.9 cm
Corolla limb	Bilabiate	Subactinomorphic
Stamen filament's length	2 cm	3.5 cm
Ovary indument	Pilose	Glabrous, except apically near the style
Style length	1.8 cm	3.3 cm
Nectary	Two dorsal connate glands	One trilobed dorsal gland

Acknowledgments

MAM wishes to express her appreciation to the National University of Colombia for the opportunity to carry out the research leading to the identification of the new species. The authors are indebted to Oscar Humberto Marín for collecting the plant and for permission to publish the pictures of *C. paraguensis* and *C. fuscihirta*; to Juan Carlos Pinzón for the elaboration of the drawing, to Diego Giraldo-Cañas and two anonymous evaluators for making valuable observations to the manuscript. JFS acknowledges support from US National Science Foundation (grant DEB0949270).

Literature cited

- Amaya, M.; L. E. Skog & L. P. Kvist. 2004. Novae Gesneriaceae Neotropiarum XII: Four new species of *Columnea* (Gesneriaceae) section *Collandra* from Colombia. *Edinburgh Journal of Botany* 60 (3): 415-424.
- Corporación Serraniagua. 2006. Development and Implementation of Private Nature Reserves in Serranía de los Paraguas. Final Report. January 2006. 14 p.
- Kvist, L. P. & L. E. Skog. 1993. The genus *Columnea* (Gesneriaceae) in Ecuador. *Allertonia* 6 (5): 327-400.
- Silverstone-Sopkin P. A. & J. E. Ramos-Pérez 1995. Floristic Exploration and Phytogeography of the Cerro del Torrá, Chocó, Colombia. In: Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest. Churchill, S. P, H. Balslev, E. Forero & J. L. Luteyn. (Eds.) The New York Botanical Garden. New York. 169-186 pp.
- Wiehler, H. 1973. One hundred transfers from *Alloplectus* and *Columnea*. *Phytologia* 27 (5): 309-329.
- _____. 1975. Name changes in Neotropical Gesneriaceae. *Selbyana* 1: 32-35.
- _____. 1983. A synopsis of the Neotropical Gesneriaceae. *Selbyana* 6: 1-219.

Recibido: 1 de febrero de 2012

Aceptado para publicación: 22 de mayo de 2012

LEGUMINOSAS COLOMBIANAS DE LA SUBFAMILIA CAESALPINOIDEAE PRESENTES EN EL HERBARIO DEL REAL JARDÍN BOTÁNICO DE KEW, REINO UNIDO

Cesar Castellanos*, G. P. Lewis**

RESUMEN

Castellanos C., G.P. Lewis: Leguminosas colombianas de la subfamilia *caesalpinioideae* presentes en el herbario del Real Jardín Botánico de Kew, Reino Unido Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 149-200, 2012. ISSN 0370-3908.

Se presenta la revisión de las especies de leguminosas colombianas de la subfamilia *Caesalpinioideae* depositadas en el Herbario del Real Jardín Botánico de Kew (K), Reino Unido. Se consultaron 532 ejemplares pertenecientes a las tribus *Cercideae*, *Detarieae*, *Caesalpinieae* y *Cassieae*. Las tribus con mayor diversidad a nivel de género son *Detarieae* y *Caesalpinieae* (13 y 14 géneros respectivamente); a nivel de especie el género más diverso es *Senna* (35 spp.). Se propone una nueva combinación taxonómica, se designa un lectotipo y se citan nuevos registros para Colombia. Se discute además la información sobre colecciones históricas y taxones endémicos de Colombia.

Palabras clave: *Caesalpinioideae*, colecciones históricas, Colombia, Kew, *Leguminosae*.

ABSTRACT

A review of the Colombian *Leguminosae* subfamily *Caesalpinioideae* deposited in the Herbarium of the Royal Botanic Gardens, Kew (K), U.K. is presented. 532 specimens belonging to the tribes *Cercideae*, *Detarieae*, *Caesalpinieae* and *Cassieae* were studied. Tribes *Detarieae* and *Caesalpinieae* are most genus rich (with 13 and 14 genera respectively); the most speciose genus is *Senna* (35 spp.). A new combination is proposed, a lectotype is designated, and new records for Colombia are included. Historical collections and endemic taxa of Colombian *Caesalpinioideae* are discussed.

Key words: *Caesalpinioideae*, Colombia, historical collection, Kew, *Leguminosae*,

* Becario del programa Bentham-Moxon Trust, Royal Botanic Gardens, Kew. Reino Unido, 2011. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás - Sede Villavicencio, Meta, Colombia; e-mail: cesarcas1a@gmail.com

** Royal Botanic Gardens, Kew; Richmond, Surrey, TW9 3AB, UK; e-mail: g.lewis@kew.org

Introducción

El herbario Kew (K) se fundó en 1853 cuando obtuvo las colecciones privadas de botánicos como William Hooker, George Bentham y Miles Joseph Berkeley. Actualmente se considera como uno de los herbarios más importantes del mundo y cuenta con aproximadamente 7 millones de ejemplares y cerca de 350.000 tipos. Kew se destaca no sólo por el número de plantas depositadas, sino por actualizar constantemente la nomenclatura de los grupos taxonómicos a su cargo. Todos los ejemplares depositados en K están organizados por áreas geográficas, de tal forma que las exicatas dentro de cada género ingresan a la colección de acuerdo al lugar de procedencia (**Figura 1**). Las colecciones de Colombia están catalogadas en el área 17, junto con las de Panamá, Venezuela, Ecuador, Perú y Bolivia.

Aunque no se conoce exactamente cuántos ejemplares de plantas colombianas están depositados en el herbario de Kew, en cuanto a las leguminosas de la subfamilia Caesalpinioideae se pudo establecer durante el desarrollo de este estudio que existen 532 exicatas. Este número con toda seguridad aumentará en los próximos años gracias a la inclusión de nuevos ejemplares adquiridos por parte del herbario y por los trabajos actualización e identificación de plantas que aún están indeterminadas.

Este trabajo presenta el estado actual de las colecciones colombianas de las Leguminosae - Caesalpinioideae depositadas en el herbario de Kew, y se suministran datos sobre colecciones históricas y especies endémicas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Herbario del Real Jardín Botánico de Kew (K), Reino Unido. Se revisaron 532 ejemplares que incluyen desde las colecciones históricas de los siglos XVIII y XIX realizadas por botánicos como Edouard F. André, Wilhelm Kalbreyer, Friedrich Lehmann, Jean J. Linden, Jose C. Mutis, Louis S. Schlim, Richard Spruce y José J. Triana, hasta las colecciones más recientes. El tratamiento taxonómico de las tribus y géneros se hizo de acuerdo con **Lewis et al.** (2005); las especies dentro de cada género están organizadas alfabéticamente. Los datos relacionados con el lugar de colección, distribución, gradiente altitudinal y nombre común de cada especie se basan en su totalidad en la información disponible en las etiquetas de herbario de los ejemplares consultados. Sin embargo, se han hecho las anotaciones pertinentes, tanto en los ejemplares de herbario como en el texto de este trabajo, cuando ha habido cambios de ubicación de las localidades debido a las modificaciones en los límites de los departamentos a través de los años. Cuando el ejemplar

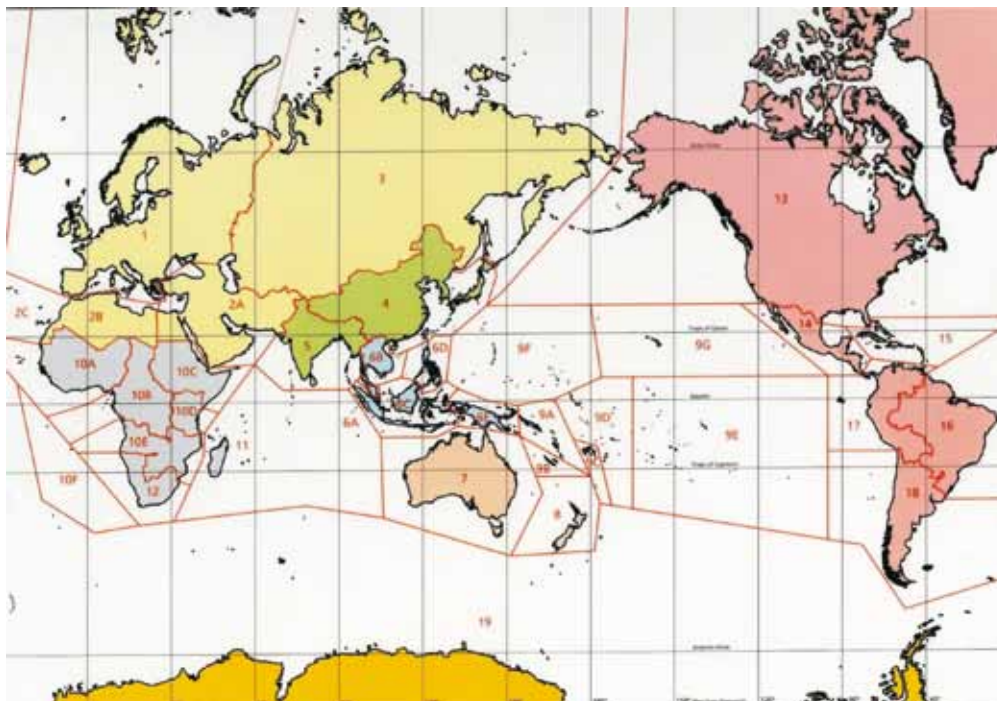


Figura 1. Mapa de áreas geográficas para catalogar e ingresar las colecciones al Herbario K.

tipo de un taxón proviene de Colombia se cita toda la información disponible; en caso contrario sólo se hace referencia al país de origen. De igual forma los sinónimos de cada taxón se citan de forma completa sólo si proceden de Colombia. Las siglas utilizadas son: est: ejemplar estéril; fl: ejemplar con flores; fr: ejemplar con frutos; K: herbario de Kew; s.c.: sin nombre del colector; s.f: sin fecha de colección; s.n.: sin número de colección; el símbolo ® después del año significa que no se conoce la fecha exacta de colección del ejemplar, pero se dispone de la fecha de ingreso al herbario Kew. Las regiones naturales de Colombia se tomaron con base en la cartografía IGAG: (http://190.254.22.44/mapas_de_colombia/IGAC/Regnatu5.pdf).

Resultados

Colecciones históricas

Los registros históricos de Leguminosae: Caesalpinioideae depositadas en Kew datan de 1783. Los ejemplares más antiguos corresponden a *Peltogyne paniculata* y *Poeppegia procera* recolectados por Mutis [No. 2347, 4684] entre 1783 – 1808 (**Fig. 2a-b**); sin embargo, en la etiqueta no se registró la localidad precisa, sólo “*Plantae Expeditionis Botanicae Mutisii Vice-Regni Novae-Granatae*”.

Las colecciones consultadas del siglo XIX inician con ejemplares obtenidos por Cluming [No. 1175], Linden [No. 1336], Schlim [Nos. 2, 6, 106, 174, 186, 259, 268–69, 270, 281, 291, 374, 941, 1083] y Seeman [No. 1040] entre los años 1831 y 1852. Les siguen en orden cronológico las de Triana [Nos. 224, 4384–86, 4390, 4394, 4399, 4404, 4410, 4412–13, 4418–19, 4422, s.n.] quien recolectó entre 1851 y 1857; Holton [Nos. 978, 980–81, 984, s.n.], Spruce [No. 3501], Hartweg [No. 954] y Teueren [No. 2229] entre los

años 1852 y 1857; André [múltiples colecciones entre los Nos. 180 al 2914] entre 1875 y 1876; y finalmente Kalbreyer [Nos. 267, 415, 695–96, 839, 1737, 1774, 1802], Rolbreger [No. 415], Lehmann [múltiples colecciones entre los Nos. 935 al 8988], H.H. Smith [múltiples colecciones entre los Nos. 20 al 2537] y Sprague [Nos. 96, 138, 267, 280] entre 1878 y 1899.

Las colecciones correspondientes a principios del siglo XX pertenecen a White [Nos. 1, 11], Dawe [múltiples colecciones entre los Nos. 220 al 1818], Tracey [Nos. 303, 396, 397], Allen [Nos. 90, 96, 204, 264, 311, 415, 480], Kehall [No. 360], Collenette [No. 628], Killip [Nos. 11535, 16525, 16886, 19655, 20146, 20750] y Klug [Nos. 1688, 1733, 1751, 1830], realizadas entre los años 1903 y 1930.

Colectores mejor representados

El colector con mayor número de registros de Caesalpinioideae de Colombia en Kew es James Zarucchi de quien se tienen 69 ejemplares (13 % del total). La mayor parte de sus colecciones (55.1%) provienen de la región de la Amazonia (Vaupés) y de la región Andina (21.7%, Antioquia); el resto de ejemplares (23.2%) corresponden a las regiones de la Orinoquia y Caribe. Le siguen en cantidad, las colecciones del colombiano José J. Triana y del francés Édouard F. André con 35 y 41 registros respectivamente, provenientes de diferentes localidades, algunas de ellas no muy bien especificadas; Herbert H. Smith con 29 registros de la región Caribe (Magdalena), F.C. Lehmann con 27 registros de diferentes localidades y Oscar Haught con 24 colecciones de la región Andina (valle del Magdalena Medio), región Caribe (La Guajira y Magdalena) y la región de la Orinoquia (Meta y Vichada).

Localidades

La región Andina, con un total de 221 registros, es la más rica en cuanto a número de ejemplares depositados en Kew; de ella, los departamentos de Antioquia y Cundinamarca poseen 55 y 61 colecciones respectivamente, que incluyen diferentes géneros como *Bauhinia*, *Brownea*, *Chamaecrista*, *Senna* y *Tara*. La región Caribe es la segunda en número de colecciones con 113 ejemplares principalmente del departamento del Magdalena (43 registros). De la región amazónica existen 107 ejemplares, principalmente de los departamentos de Amazonas (20 registros) y Vaupés (61 registros), con géneros como *Dimorphandra*, *Eperua*, *Heterostemon*, *Macrobium* y *Tachigali*. Las colecciones restantes provienen de la región Pacífica de la cual existen 28 ejemplares provenientes de los departamentos del Valle del Cauca y Chocó. La región menos representada corresponde a la Orinoquia con sólo 21 registros provenientes de los departamentos del Meta



Figura 2. Colecciones históricas de Mutis. A. *Peltogyne paniculata*. B. *Poeppegia procera*.

1. *Bauhinia beguinotii* var. *gorgonae* (Killip ex R.S. Cowan) Wunderlin, restringida a la Isla Gorgona en la costa Pacífica.
2. *Bauhinia petiolata* (DC.) Triana ex Hook.f. var. *petiolata*, Valle del Magdalena Medio, región Andina.
3. *Brownea santanderensis* Quiñones, departamento de Santander, Valle del Magdalena Medio, región Andina.
4. *Brachycylix vageleri* (Harms) R.S. Cowan, departamentos de Santander y Antioquia, Valle del Magdalena Medio, región Andina.
5. *Chamaecrista glandulosa* (L.) Greene var. *andreana* (Britton) H.S. Irwin & Barneby, departamentos de Cundinamarca y Tolima, Valle del Magdalena Medio; Nariño en el Valle del río Patía; Norte de Santander, región Andina.
6. *Chamaecrista glandulosa* (L.) Greene var. *tristricula* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby, departamento de Cundinamarca, vertiente occidental de la cordillera Oriental, región Andina.
7. *Jacqueshuberia amplifolia* R.S. Cowan, departamento del Vaupés, región Amazónica.
8. *Macrolobium colombianum* (Britton & Killip) Killip var. *colombianum* departamento del Chocó, región Pacífica.
9. *Macrolobium colombianum* var. *metaense* R.S. Cowan, departamento del Meta, región de la Orinoquia.
10. *Macrolobium extensum* R.S. Cowan, departamentos de Chocó y Valle del Cauca, región Pacífica de Colombia.
11. *Orpahnodendron bernalii* Barneby & J.W. Grimes, departamento de Antioquia, región Andina.
12. *Schnella stelonoba* Britton & Killip, departamento de Santander, Valle del Magdalena Medio, región Andina.
13. *Schnella vestita* Benth., departamentos de Cundinamarca y Tolima, Magdalena Medio, región Andina.
14. *Senna huilana* (Britton & Killip) H.S. Irwin & Barneby, departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Santander, Tolima y Valle del Cauca, región Andina.
15. *Senna macranthera* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby var. *lindeni* H.S. Irwin & Barneby, departamentos de Santander, Cundinamarca y Boyacá, región Andina.
16. *Senna papillosa* (Britton & Rose) Standley var. *angusta* (Britton & Killip) H.S. Irwin & Barneby, departamento

del Meta y en el occidente del departamento del Guaviare, región de la Orinoquia.

17. *Senna quinquangulata* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby var. *meizonoloba* H.S. Irwin & Barneby, departamento del Chocó y occidente del departamento de Antioquia, valle de los ríos Dagua y San Juan, región Pacífica.
18. *Senna trianae* H.S. Irwin & Barneby, valle del río Magdalena y norte del departamento del Tolima, región Andina.

Colecciones tipo

En total, 26 ejemplares tipo procedentes de Colombia están depositados en el herbario de K. Estas colecciones corresponden a cuatro holotipos: *Brownea ariza* (= *Brownea grandiceps*), *Cassia schlimii* (= *Chamaecrista cordistipula*), *Schnella vestita* y *Senna macranthera* var. *Lindeni*; un lectotipo: *Bauhinia kalbreyeri* (= *Bauhinia picta*) y 21 isotipos de diferentes taxones.

Diversidad

Kew cuenta con 134 especies de leguminosas Caesalpinioideae colombianas distribuidas en cuatro tribus y 36 géneros (Tabla 2). Las tribus con mayor diversidad a nivel de género son Detarieae y Caesalpinieae (13 y 14 géneros respectivamente), le sigue Cassieae con siete géneros y finalmente Cercideae con dos géneros. A nivel de especie la mayor diversidad corresponde a *Senna* (35 sp.), seguido por *Macrolobium* y *Chamaecrista* (14 sp. cada uno).

Tratamiento taxonómico

LEGUMINOSAE SUBFAMILIA CAESALPINIOIDEAE

(DC.) K. R. Robertson & Y. T. Lee, J. Arnold Arbor. 57(1): 1. 1976.

TRIBU CERCIDEAE

Tribu Cercideae Bronn, Form. Pl. legumin. ad Sect. 134, 131. 1822.

Tribu *Bauhinieae* Benth. in Hook., J. Bot. 2: 74. 1840.

1. BAUHINIA L., Sp. Pl. 374. 1753.

Especie tipo: *Bauhinia divaricata* L.

Amaria S. Mutis ex Caldas, Semanario Nueva Granada 2: 25. 1810. **Tipo:** *Amaria petiolata* S. Mutis ex DC. Lectotipo designado por Britton & Killip en Ann. New York Acad. Sci. 35: 164. 1936.

Tabla 2. Diversidad de leguminosas Caesalpinioideae colombianas en el herbario K.

SUBFAMILIA	TRIBU	GÉNERO	ESPECIES
CAESALPINIOIDEAE	CERCIDEAE	<i>Bauhinia</i>	8
		<i>Schnella</i>	6
	DETARIEAE	<i>Brachycylix</i>	1
		<i>Brownea</i>	6
		<i>Browneopsis</i>	1
		<i>Copaifera</i>	2
		<i>Crudia</i>	1
		<i>Cynometra</i>	2
		<i>Dicymbe</i>	1
		<i>Eperua</i>	3
		<i>Heterostemon</i>	2
		<i>Hymenaea</i>	2
		<i>Maclobium</i>	14
		<i>Peltogyne</i>	3
		<i>Prioria</i>	1
	CASSIEAE	<i>Batesia</i>	1
		<i>Cassia</i>	3
		<i>Chamaecrista</i>	14
		<i>Dialium</i>	1
		<i>Dicorynia</i>	1
		<i>Poeppigia</i>	1
		<i>Senna</i>	35
	CAESALPINIEAE	<i>Caesalpinia</i>	3
		<i>Campsiandra</i>	4
		<i>Dimorphandra</i>	2
		<i>Diptychandra</i>	1
		<i>Guilandina</i>	1
		<i>Jacqueshuberia</i>	1
		<i>Haematoxylum</i>	1
		<i>Hoffmannseggia</i>	1
		<i>Libidibia</i>	3
		<i>Orphanodendron</i>	1
		<i>Schizolobium</i>	1
<i>Parkinsonia</i>		2	
<i>Tachigali</i>		3	
<i>Tara</i>	1		

Ariaria Cuervo Márquez, Prehist. & Viajes. 219. 1893.

Tipo: *Ariaria superba* Cuervo Márquez. Lectotipo designado por Wunderlin en J. Bot. Res. Inst. Texas 3(2): 636. 2009.

1. *Bauhinia aculeata* L., Sp. Pl. 1: 374. 1753.

Localidad del tipo: "Habitat in America calidiore." (Posiblemente Colombia o Venezuela. **Wunderlin**, 1983. Holotipo BM).

Bauhinia emarginata Mill., Gard. Dict. ed. 8 no. 5. 1768.

Tipo: Colombia. Bolívar: Cartagena, *Houstoun s.n.* (Holotipo BM).

Bauhinia rotundata Mill., Gard. Dict. ed. 8. no. 7. 1768.

Tipo: Colombia. Bolívar: Cartagena, *Houstoun s. n.* (Holotipo BM).

Bauhinia schultzei Harms, Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 24: 210. 1928. **Tipo:** Colombia. Magdalena: Sierra Nevada de Santa Marta, upper Río Frío, *Schultze 428* (Holotipo fragmento F).

Hábito: Árboles y arbustos espinosos, hasta 10 m.

Distribución y hábitat: Ampliamente distribuida desde México hasta Panamá, Venezuela, Bolivia, Ecuador, Perú y Colombia. El Herbario Kew tienen registros de *Bauhinia aculeata* en los departamentos de Magdalena, Norte de Santander y Santander; donde crece en el bosque seco tropical (*sens. Holdridge 1977*) y en las zonas áridas, semiáridas e intervenidas, entre los 150 y 1800 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Bolívar: Arroyo Hondo, 8 nov 1854, *Holton s.n.* [fl.]. **La Guajira:** Hato Nuevo, 11 may 1944, *Haught 4153* [fl.]. **Norte de Santander:** Ocaña to Pamplona, Salazar, 19 dic 1878, *Kalbreyer 839* [fl.]. **Santander:** Surata, vicinity of Surata, 4–10 ene 1927, *Killip & A.C. Smith 16525* [fl.].

Nota: **Wunderlin** (1983) reportó que el Holotipo de *Bauhinia schultzei* está en herbario de Berlín; sin embargo, el primer autor revisó las colecciones tipo de B y no fue posible encontrar este ejemplar.

2. *Bauhinia beguinotii* Cufod., Arch. Bot. Sist. 9: 192. 1933.

Localidad del tipo: COSTA RICA.

2a. *Bauhinia beguinotii* Cufod. var. *gorgonae* (Killip ex R.S. Cowan) Wunderlin, Ann. Miss. Bot. Gard. 60: 570. 1973.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

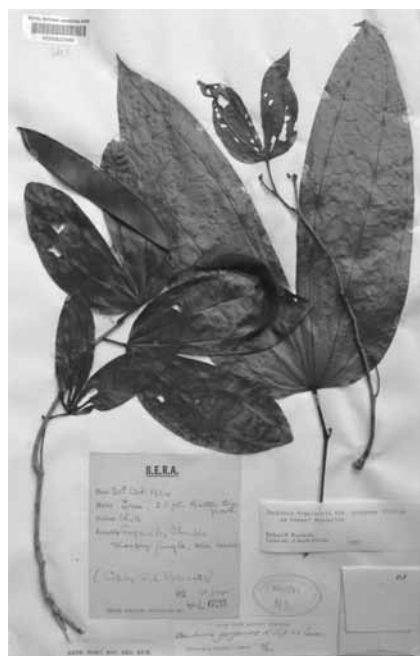


Figura 3. *Bauhinia beguinotii* var. *gorgonae*, *Collenette 628*.
Taxon endémico de la isla Gorgona.

Bauhinia gorgonae Killip ex R.S. Cowan, Bol. Soc. Venez. Ci. Nat. 22: 281. 1961.

Tipo: Colombia. Departamento de Cauca, municipio de Guapi: isla Gorgona, 11 feb 1939, *Killip & García-Barriga 33170* (Holotipo US; Isotipos COL, BM, US).

Hábito: Arbustos y pequeños árboles, hasta 10 m.

Distribución y hábitat: *Bauhinia beguinotii* var. *gorgonae* es endémica de la isla Gorgona en el Pacífico de Colombia. Habita el bosque tropical siempre verde desde el nivel del mar hasta los 100 m.

Ejemplares examinados en K. Cauca: Gorgona Island, 20 oct 1924, *Collenette 628* [fr.]; Gorgona Island, 7 jul 1924, *Kehall 360* [est.]; Gorgona, 10 jul 1924, *St. George Expedition 380* [fl.].

3. *Bauhinia longicuspis* Spruce ex Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 185. 1870.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles y arbustos.

Distribución y hábitat: Ocurre en Bolivia, Brasil, Perú, Venezuela y Colombia. El único registro de Kew proviene del departamento del Meta a 300 m de altitud.

Ejemplar examinado en K. Meta: Prov. de Bogotá, Villavieco, Bassin du Meta, 1851–1857, *Triana 4413* [fr.].

4. *Bauhinia pauletia* Pers., Syn. Pl. 1: 455. 1805.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles espinosos.

Distribución hábitat: *Bauhinia pauletia* se extiende desde México hasta Colombia y Venezuela, introducida en Puerto Rico. Existe un registro en K para el departamento de La Guajira donde que crece en áreas secas hasta los 100 m de altitud.

Ejemplar examinado en K. La Guajira: near Galán, 40 km south of Riohacha, 23 oct 1944, *Haught 4418* [fr.].

5. *Bauhinia petiolata* (S. Mutis ex DC.) Triana ex Hook. f., Bot. Mag. 103: pl. 6277. 1877.

5a. *Bauhinia petiolata* (S. Mutis ex DC.) Triana ex Hook. f. var. *petiolata*

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Amaria petiolata S. Mutis ex DC., Prodr. 2: 519. 1825. **Tipo:** Colombia. “In temperatis Regni Novo-granatensis”, 1760–1808, S. Mutis 2398 (Holotipo MA; Isotipo US).



Figura 4. *Bauhinia petiolata* var. *petiolata*, Triana 4412. Taxón endémico de Colombia.

Amaria sessilifolia Mutis ex DC., Prodr. 2: 519. 1825. *Bauhinia sessilifolia* (S. Mutis ex DC.) Quiñones, Ann. Miss. Bot. Gard. 75(3):1155. 1988. **Tipo:** Colombia, sin localidad precisa, 1760–1808, *Mutis 2724* (Holotipo MA; Isotipo US – fragmento).

Nombre común: Mulatico.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 15 m.

Distribución y hábitat: *Bauhinia petiolata* var. *petiolata* es un taxón endémico de Colombia. Crece en el bosque húmedo tropical (*sens. Holdridge*, 1977) entre los 100 y 600 m. Todos los registros de este taxón existentes en Kew provienen del departamento de Cundinamarca.

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: quebrada Cachimbulo, Prov. Tocaima in valle flum. Funza Andiun, 19 feb 1876, *André 1810* [fr.]; Prov. de Bogotá, Tocaima et le Magdalena, 1851–1854, *Triana s.n.* [fl.]; quebrada Cabaña, hacienda El Cucharo between Tocaima and Pubenza, 8 may 1944, *Killip et al. 38350* [fr.].

Nota 1. Wunderlin (2006) reconoció dos variedades de *Bauhinia petiolata*. La variedad *petiolata* es endémica de Colombia y la variedad *caudigera* crece en Panamá y Venezuela. Las dos variedades se diferencian por la presencia (var. *petiolata*) o ausencia (var. *caudigera*) de tomento en el ovario.

Nota 2. Quiñones (1988) revisó los ejemplares históricos colombianos de *Amaria sessilifolia* S. Mutis ex DC. y los comparó con *Bauhinia petiolata* (S. Mutis ex DC.) Triana ex Hook. f.; sustentada en las diferencias morfológicas de las dos taxones la citada autora transfirió *Amaria sessilifolia* al género *Bauhinia*. Sin embargo, **Wunderlin** (2006) no reconoció a *Bauhinia sessilifolia* y señala que los ejemplares analizados por Quiñones corresponden a plantas anómalas de *Bauhinia petiolata*.

6. *Bauhinia picta* (Kunth) DC., Prodr. 2: 515. 1825.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Pauletia picta Kunth, in Humboldt, Bonpland & Kunt, Nov. Gen. Sp. 6: 316. 1824. **Tipo:** Colombia. Departamento de Santander, along the Río Magdalena, near the confluence with Río Opón, between Bojorque and isla de Bruja, may 1801, *Humboldt & Bonpland 1604* [fl.] (Holotipo P; Isotipos, B(W) P).

Bauhinia kalbreyeri Harms, Repert. Spec. Nov. Regni Veg. 19: 65. 1923. **Tipo:** Colombia, Murri, 19 jul 1880, *Kalbreyer 1802* [fl.] (Lectotipo K, designado por Wunderlin en *Sida* 22(1): 116. 2006. Isolectotipos: F-fragmento, US).



Figura 5. Lectotipo de *Bauhinia kalbreyeri* (= *B. picta*), *Kalbreyer 1802*, depositado en K.

Nombre común: Pata de vaca.

Hábito: Grandes árboles y arbustos, pueden alcanzar 40 m.

Distribución y hábitat: Nativa de Panamá y Colombia. En Kew existen registros de los departamentos de Antioquia, Boyacá y Santander, donde crece en áreas abiertas e intervenidas, en el borde de los bosques y caminos; desde los 250 a 1100 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de Remedios, 14–17 kms NO. de Remedios en la vía a Zaragoza, región de Cerro Cabeza, margen del río Tucupé, 15 sep 1987, *Callejas et al. 5177* [fl., fr.]; Murri, 19 jul 1880, *Kalbreyer 1802* [fl.] (Lectotipo de *Bauhinia kalbreyeri*); Segovia, 2 dic 1947, *Sandeman 5575* [fl.]. **Boyacá:** El Humbo (“El Umbo region”), of Mt. Chapon, extreme western part of Dept. Boyacá, north–west of Bogotá, 30 sep 1932, *Lawrance 492* [fl.]. **Santander:** Carare River, 2 dic 1917, *Dawe 456* [fl., fr.].

7. *Bauhinia tarapotensis* Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2):198. 1870.

Localidad del tipo: PERÚ.

Ariaria superba Cuervo Márquez, Prehist. & Viajes 219. 1893. **Tipo:** Perú (ver Nota 2),

Neotipo F designado por Wunderlin en J. Bot. Res. Inst. Texas 3(2): 636. 2009; Isoneotipos MB, G, K, WIS).

Hábito: Árboles y arbustos.

Distribución y hábitat: Habitan en Colombia, Ecuador, Perú, y Brasil. En Colombia crece en la región Amazónica, en los departamentos de Putumayo y Caquetá, y en la región de la Orinoquia en el departamento del Meta. Se ha registrado en áreas boscosas y alrededores de cuerpos de agua.

Ejemplar examinado en K. Putumayo: Umbria, oct–nov 1930, *Klug 1830* [fl.].

Nota 1: Forero (1966) analizó la identidad de *Ariaria superba* Cuervo Márquez, una especie válidamente descrita dentro del género monotípico *Ariaria*, pero que pasó desapercibida por anteriores investigadores, y transfirió este taxón a la sinonimia de *Bauhinia tarapotensis* Benth.

Nota 2. Wunderlin (2009), designó el neotipo de *Ariaria superba* de un ejemplar de Perú; sin embargo, en la descripción escrita por Cuervo Márquez se especifica que la localidad tipo de este taxón está en Colombia, departamento del Meta, curso medio del río Ariari, bocas de Iracá. **Forero** (1966) citó varios ejemplares depositados en COL procedentes del área descrita por **Cuervo Márquez** (1893).

8. *Bauhinia ungulata* L., Sp Pl. 374. 1753.

Localidad del tipo: “Habitat in America”.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles, hasta 7 m.

Distribución y hábitat: Brasil, Bolivia, Colombia, Costa Rica, México Nicaragua, Paraguay, Perú y Venezuela. Los registros de K indican que *Bauhinia ungulata* crece en zonas cálidas de los departamentos Colombianos de Bolívar y Cesar, hasta los 300 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Bolívar: 10 km al sureste de Montería, 12 ene 1949, *Barkley et al. 19bo215* [fl.]; Buenavista, east of Sincé, s.f., *Pennell 3977* [fr.]. **Cesar:** Prov. de Ocaña, Aguachica 1846–1852, *Schlim 269* [fl.].

2. SCHNELLA Raddi, Quar. Piant. Nuov. Bras. 32. 1820.

Especie tipo: *Schnella macrostachya* Raddi

1. *Schnella glabra* (Jacq.) Dugand, Rev. Acad. Colomb. Ci. Exact. 4:137. 1941.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Bauhinia glabra Jacq., Enum. Syst. Pl. 20.1760; Select. Stirp. Amer. Hist. 119. 1763. **Tipo:** COLOMBIA. De-

partamento de Bolívar, Cartagena, “*in sylvis & fruticis*”, *Jacquin* (Holotipo desconocido, posiblemente BM o W, [D’Arcy, 1970]).

Hábito: Lianas y bejucos con zarcillos.

Distribución y hábitat: Ocurre desde México hasta el norte de Suramérica y Brasil, Cuba y Trinidad. Se presentan registros en K para los departamentos de Atlántico, Caquetá, La Guajira, Magdalena y Norte de Santander; crecen en diferentes ambientes como cerca de los cuerpos de agua, zonas boscosas o en áreas abiertas y secas, desde el nivel del mar hasta los 320 m.

Ejemplares examinados en K. Atlántico: Barranquilla District, Puerto Colombia, 18 abr 1974, *Plowman 3525* [fr.]. **Caquetá:** río Ortegua, margen izquierda, una o dos vueltas más arriba de Tres Esquinas, 17 ene 1969, *Cuatrecasas et al. 27190* [fl.]. **Cesar:** Aguachica, Magdalena Valley, 2 feb 1917, *Dawe 410* [fl.]; Prov. de Ocaña, Aguachica, 1846-1852, *Schlim 270* [fl.]; Chimichagua, 30 km NE. of El Banco, 9 ago 1938, *Haught 2232* [fl.]; Roadside about 10 km north of Codazzi, 19 oct 1943, *Haught 3757* [fl.]. **La Guajira:** Guajira, open land, 2 dic 1916, *Dawe 504* [fl.]. **Magdalena:** Santa Marta, 11 jul 1903@, *H.H. Smith 21* [fl.]. **Norte de Santander:** valle del río Peralonso, alrededores de Santiago, 21 dic 1948, *Barkley & Araque 18ns103* [fl.]. **Localidad desconocida:** Flora Neogranadina–Magdaleneana, La Vuelta, 2 nov 1854, *Holton 989* [fl.].

Nota. Se consultaron los ejemplares del Herbario BM, pero no fue posible localizar allí el ejemplar tipo.

2. *Schnella guianensis* (Aubl.) Wunderlin, *Phytoneuron* 49: 3. 2010.

Localidad del tipo: GUAYANA FRANCESA.

Hábito: Lianas y bejucos trepadores.

Distribución y hábitat: Se extiende desde México hasta el norte de Suramérica y Trinidad. Existe un registro en K procedente del departamento de Antioquia, donde habita en áreas de bosque intervenido.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: Caucasia; along road Nechi, 20 km from Caucasia–Planeta Rica road, 4 km W of Hacienda Costarica, 21 mar 1987, *Zarucchi et al. 4910* [fl., fr.].

3. *Schnella hymenaeifolia* (Triana ex Hemsl.) Britton & Rose, *N. Amer. Fl.* 23(4): 208. 1930.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

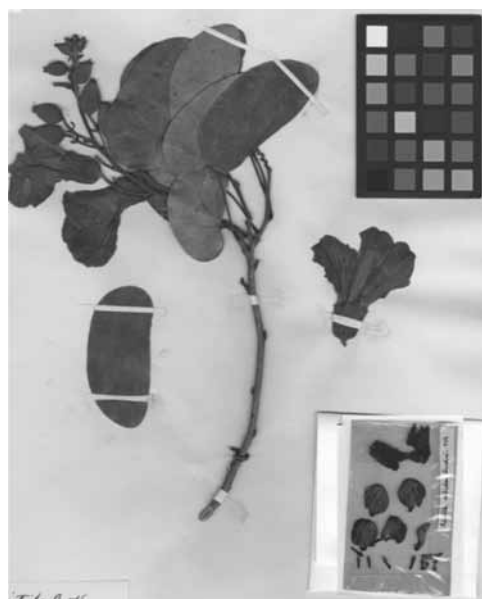


Figura 6. Isotipo de *Schnella nitida* (= *S. hymenaeifolia*), *André 1938*, depositado en K.

Schnella nitida Britton & Killip, *Ann. New York Acad. Sci.* 35(3): 164. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Tolima “Piedras, ad ved, montis Tolima, Andium centralium Novae Granatae”, 1 mar 1876, *André 1938* [fl.] (Holotipo NY; Isotipos F, K, US).

Hábito: Lianas y bejucos trepadores.

Distribución y hábitat: Nativa de Colombia y Panamá. Los registros de K para Colombia provienen del departamento del Tolima en donde crece en áreas intervenidas y de bosque seco.

Ejemplares examinados en K. Tolima: Piedras, 29 oct 1938, *Haught 2401* [fl.]; Prov. de Mariquita, Piedras, valle de Magdalena, 1851 – 1857, *Triana s.n.* (2 ejemplares) [fl.]; Piedras, 1 mar 1876, *André 1938* [fl.] (Isotipo de *Schnella nitida*).

Nota: *Britton & Killip* (1936) utilizaron ejemplares de Kew etiquetados por Triana como *Schnella hymenaeifolia* para describir una nueva especie: *Schnella nitida*. En este trabajo se ha incluido a *Schnella nitida* como sinónimo de *Schnella hymenaeifolia*, aunque aún no existe un trabajo taxonómico detallado respecto a este género.

4. *Schnella stenoloba* Britton & Killip, *Ann. New York Acad. Sci.* 35(3): 163. 1936.

Localidad del tipo: Colombia, Magdalena River, sep 1916, *Dawe 442* (Holotipo: US; Isotipo K).



Figura 7. Isotipo de *Schnella stenoloba*, Dawe 442, endémica de Colombia, región Andina de Colombia.

Hábito: Lianas y bejucos.

Distribución y hábitat: *Schnella stenoloba* es una especie endémica de Colombia y muy poco conocida. Al parecer su distribución se extiende por la cuenca media y baja del río Magdalena entre los departamentos de Santander, Antioquia, Cesar y Magdalena.

Ejemplares examinados en K. Localidad desconocida: banks of Magdalena River, 2 feb 1917, Dawe 442 [fl.] (Isotipo); Isla Brava, secus rivas flum. Magdalena, dic 1875, André 355 [est.].

5. *Schnella umbriana* Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 162. 1936.

Localidad del tipo: Colombia, Departamento de Putumayo, Umbria, oct – nov 1930, Klug 1733 [fl.] (Holotipo US; Isotipo K)

Hábito: Lianas y bejucos.

Distribución y hábitat: *Schnella umbriana* está aparentemente restringida a la regiones de la Amazónica y la Orinoquia de Colombia.

Ejemplares examinados en K. Putumayo: Umbria, forest, oct–nov 1930, Klug, 1733 [fl.] (Isotipo); **Meta:** La Vanguardia, in valle flum. Guatiquia ad vedem Orient. Andium Bogoteus, 10 ene 1876, André 1048 [fl.].



Figura 8. Holotipo de *Schnella umbriana*, Klug 1733, región Amazónica de Colombia.

Nota: Woodson & Schery (1951) hicieron una breve anotación referente a las similitudes morfológicas existentes entre *Schnella umbriana* y *S. guianensis*; las cuales vuelven a ser retomadas por Wunderlin (1976). Aunque reconocemos las similitudes morfológicas de los dos taxones, en este trabajo se han citado independiente hasta que se realice un tratamiento de este grupo.

6. *Schnella vestita* Benth., Pl. Hartw. 171. 1845.

Localidad del tipo: Colombia, departamento de Cundinamarca, “Prope pagum Pandi, Prov. de Bogotá” Hartweg 962 [fl.] (Holotipo K; Isotipos F, K, NY, LD, LE).

Hábito: Lianas y bejucos.

Distribución y hábitat: *Schnella vestita* es una especie endémica de Colombia, habita el suroccidente de Cundinamarca y el oriente del Tolima en la región Andina, entre los 400 y los 1250 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: Panche, in declivis Occid. Andium André 1737 [fl.]; Near the village of Pandi, in the province of Bogotá, s.f. Hartweg 962 [fl.] (Holotipo e Isotipo); Pandi, Piedras + Valle du Magdalena. Provs. de Bogotá + Mariquita, 1851 – 1854, Triana 4410 [fl.]. **Tolima:** Magdalena, Prov. de Piedras, 6 dic 1853, Holton 988 [fl.].

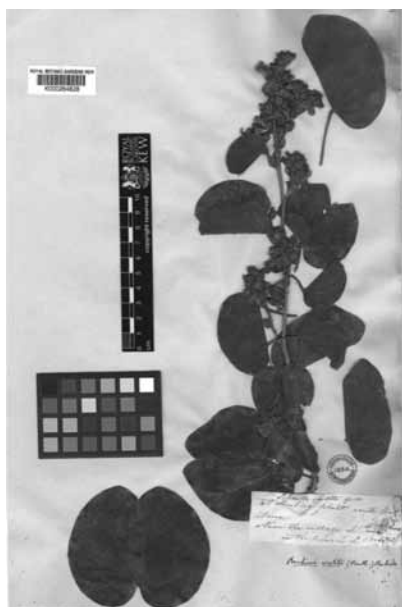


Figura 9. Holotipo de *Schnella vestita*, Hartweg 962, región Andina de Colombia.

TRIBU DETARIEAE

Tribu Detarieae *sens. lat.* Polhill 1994.

Tribu Detarieae DC., Prodr. 2: 521. 1825.

Tribu Cynometreae Benth. in Hook., J. Bot. 2: 74. 1840, *emend.* Léonard, Mém. Acad. Roy. Sci. Belg. 30(2): 94. 1957.

Tribu Phyllocarpeae Britton & Rose, N. Amer. fl. 23(4): 201. 1930.

Tribu Amherstieae Benth. in Hook., J. Bot. 2: 73. 1840, *emend.* Léonard, Mém. Acad. Roy. Sci. Belg. 30(2): 94. 1957.

Subfamilia Brachystegioideae Hutch., Gen. fl. pl.: 225. 1964.

Tribu Macrolobieae Breteler, Advan. Legum. Syst. 7, Phylogeny: 59. 1995.

3. PRIORIA Griseb., Fl. Brit. W. I.: 215. 1860.

Especie tipo: *Prioria copaifera* Griseb.

1. *Prioria copaifera* Griseb., Fl. Brit. W. I.: 215. 1860.

Localidad del tipo: “Hab. Jamaica”.

Hábito: Árboles y arbustos, hasta 40 m.

Distribución y hábitat: Nicaragua, Panamá, Colombia, Costa Rica y Jamaica. En Colombia se ha registrado habitando el bosque primario y perturbado de la región Pacífica, hasta los 300 m. de altitud.

Usos: Los Pescadores de río en Colombia utilizan la resina obtenida de los árboles para sellar o tapan las filtraciones de botes y canoas.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: Turbo, carretera Tapón del Darién, sector río León–lomas Aisladas, km 37, 29 nov 1983, *Brand & González 677* [fl.]; Darién, 27 feb 1919®, *Dawe 888* [est.].

4. *EPERUA* Aubl., Hist. Pl. Guiane. 1: 369, tab. 142. 1775.

Especie tipo: *Eperua falcata* Aubl.

1. *Eperua falcata* Aubl., Hist. Pl. Guiane. 1: 369, tab. 142. 1775.

Localidad del tipo: “Habitat in silvis Guianae”.

Hábito: Árboles de porte alto, hasta 40 m.

Distribución y hábitat: Colombia, Surinam, Brasil, Guayana Francesa y Venezuela. El registro de K para Colombia indica que crece en la región Amazónica, cerca a los cuerpos de agua de la cuenca del río Vaupés.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, along stream near base of Cerro de Mitú, *Zarucchi & Balick 1765* [fr.].

2. *Eperua leucantha* Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 225. 1870.

Localidad del tipo: “hábitat in sylvis humidis ad Rio Negro superiorem, ad fl. Uaupés et Casiquiare frequens”.

Hábito: Árboles, hasta 25 m.

Distribución y hábitat: Ocurre en la región Amazónica de Colombia y Venezuela, así como en la cuenca del Río Negro en la Amazonia de Brasil. En Colombia se ha registrado en bosques perturbados, áreas de inundación y de arenas blancas. Posiblemente polinizado por colibríes [*Barbosa & Madriñan 8407*].

Ejemplares examinados en K. Guainía: Maimachi, Seranía del Naquén, Maimachi, alrededores y mina vieja, 11 abr 1993, *Barbosa & Madriñan 8407* [fl.]. **Vaupés:** Mitú and vicinity, along small stream at base of Cerro de Mitú, 21 jul 1979, *Zarucchi 2505* [fl.].

3. *Eperua purpurea* Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 226. 1870.

Localidad del tipo: “hábitat in sylvis Caatingas ad fl. Rio Negro et Uaupés frequens”

Hábito: Grandes árboles, hasta 60 m.

Distribución y hábitat: Sureste de Colombia, noroeste de Brasil y la Amazonia de Venezuela. En Colombia se ha re-

gistrado en bosques perturbados, áreas de inundación y de arenas blancas de la cuenca del río Vaupés. Posiblemente polinizado por colibríes [Schultes & Cabrera 19338].

Usos: Las semillas cocinadas se usan para remover las manchas de aceite. También se utiliza como alimento cocinando las semillas y preparando en forma de puré.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: río Vaupés, between Mitú and Javareté, Tipiaca, 14–24 may 1953, *Schultes & Cabrera 19338* [fr.].

5. PELTOGYNE Vogel, *Linnaea* 11: 410. 1837.

Especie tipo: *Peltogyne discolor* Vogel.

1. *Peltogyne mexicana* Martínez, *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. México* 31(1–2): 123–131. 1961.

Localidad del tipo: MÉXICO.

Hábito: Árboles, hasta 20 m.

Distribución y hábitat: *Peltogyne mexicana* presenta una distribución alopatrica, al parecer restringida a la región Caribe en México, Panamá y Colombia; habita en terrenos altos y arcillosos (**da Silva 1976**).

Ejemplar examinado en K. Bolívar: municipio de San Jacinto, ca. 16 km NW. of San Jacinto, Cerro Maco, ca. 200 m SE of radar installation, 8 ago 1985, *Zarucchi & Cuadros 4017* [fr.].

2. *Peltogyne paniculata* Benth. in Hook., *J. Bot.* 2: 96. 1840.

Localidad del tipo: “High lands adjoining lagoons near the Rio Negro”.

2a. *Peltogyne paniculata* subsp. *pubescens* (Benth.) M.F. Silva, *Acta Amazon.* 6(1, supl.): 38. 1976.

Localidad del tipo: “GUYANA”.

Hábito: Árboles, hasta 30 m.

Distribución y hábitat: Colombia, Guyana, Surinam, Guayana Francesa, Brasil y Venezuela. Existen registros colombianos en K para los departamentos Antioquia, Cesar, Santander, habitando el bosque húmedo tropical (*sens. Holdridge*, 1977) del valle del Magdalena, entre los 80 y 300 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de Caucasia, vía Caucasia-El Bagre, 46 km de Caucasia SE. vereda “La Ilusión” 8 jul 1987, *Callejas et al. 4443* [fl.]; Caucasia, hacienda Quintero, 6 sep 2000, *Fonnegra 7199*

[fl.]; municipio Zaragoza, trayecto del río Tiquí a Zaragoza, 12 jul 1987, *Callejas et al. 4619* [fl.]. **Cesar:** Rincón Hondo, near Lake Zapatoza, Magdalena Valley, 16 ago 1924, *Allen 415* [fl.]; 22 ago 1924, *Allen 480* [fl., fr.]. **Santander:** Vélez, 8 km adentro de Campo Capote, 23 jun 1969, *Cabrera 673* [fl.]. **Localidad desconocida:** *Plantae Expeditionis Botanicae Mutisii Vice-Regni Novae-Granatae 1783–1808*, *Mutis 2347* [fl.]; Magdalena valley, 7 feb 1917®, *Dawe 495* [fl., fr.].

Nota: **da Silva** (1976) y **da Silva et al.** (1998) reconocieron dos subespecies de *Peltogyne paniculata*. La subespecie *paniculata* habita en Brasil, la Guayana Venezolana y Surinam; y la subespecie *pubescens* crece en Brasil, Guayana Francesa y Venezolana, Surinam y Colombia.

3. *Peltogyne parvifolia* Spruce ex Benth. in Mart., *Fl. Bras.* 15(2): 233. 1870.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Hábito: Pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Región amazónica de Colombia, Brasil y Venezuela. Un registro en K habitando las partes bajas y áreas de granito en el parque “El Tuparro”.

Ejemplar examinado en K. Vichada: parque Nacional Natural “El Tuparro” lower río Tuparro, 27 feb 1985, *Zarucchi & Barbosa 3484* [fr.].

Nota 1: **da Silva** (1976) reconoció dos variedades de *Peltogyne parvifolia*. La variedad *parvifolia* crece en la región Amazonas-Orinoquia de Colombia, Brasil y Venezuela, en tanto que la variedad *glabra* se distribuye entre los ríos Negro y Guainía de Brasil y Venezuela. En el trabajo de **da Silva et al.** (1998, pág. 95) la vars. *parvifolia* y *glabra* fueron publicadas como subsp. *parvifolia* y subsp. *glabra*; sin embargo, esta nueva jerarquía taxonómica no puede ser aceptada porque no fue publicado de acuerdo a las normas establecidas en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica; por lo cual las variedades publicadas por **da Silva** (1976) se mantienen como válidas y se asume la anotación de subespecies asignada por **da Silva et al.** (1998, pág. 95) como un error tipográfico.

Nota 2: El registro colombiano de *Peltogyne parvifolia* en K pertenecen a la variedad *parvifolia*, aunque en este trabajo se presentan a nivel de especie debido a la información original de la etiqueta.

Nota 3. Existe un ejemplar de *Peltogyne* en K, que parece corresponder a *P. cf. venosa*, sin embargo sólo se presenta a manera de anotación hasta que se pueda confirmar la identidad de este taxón.

6. HYMENAEA L., Sp. Pl. 1192. 1753.**Especie tipo:** *Hymenaea courbaril* L.**1. *Hymenaea courbaril* L.**, Sp. Pl. 2: 1192. 1953.**Localidad del tipo:** "Habitat in Brasilia".**Hábito:** Árboles, hasta 20 m.**Distribución y hábitat:** México y Centro América, Las Antillas, Colombia, Guayana Francesa, Surinam, Brasil, Bolivia y Venezuela. Dos registros en K para Colombia habitando el valle bajo del río Magdalena.**Ejemplares examinados en K. Magdalena:** Santa Marta, 1898–1901, *H.H. Smith 2027* [fl.]. **Localidad desconocida:** Magdalena valley, jun 1920, *Dawe 966* [est].**2. *Hymenaea oblongifolia* Huber**, Bol. Mus. Goeldi. Hist. Nat. Ethnogr. 5(2): 386. 1909.**Localidad del tipo:** COLOMBIA, departamento del Vaupés, Macaya River, vicinity of Cachivera del Diablo and mouth of river, 14 may 1943, *Schultes 5429* [fr.] (Isotipo K).**Nombre común.** Lengua indígena: Punaive: wa-ka-ma. Barasana: Kev-nui. Kuripako: ken-nee. Lingoa Geral: jutaki. **Castellano:** Algarrobo, coca.**Hábito:** Árboles**Distribución y hábitat:** Se distribuye entre Colombia, Brasil, Perú y Venezuela. De acuerdo con los registros colombianos en K, crece en la región Amazónica, en bosques y márgenes de ríos, entre los 100 y 600 m. de altitud.**Usos:** Frutos comestibles. La resina se mezcla con barro para hacer piezas de cerámica.**Ejemplares examinados en K. Amazonas:** al sur de la desembocadura de la quebrada Bocaduche, en el río Caquetá, frente a la isla Sumaeta, 17 ago 1994, *van Dulme 257* [fr.]. **Vaupés:** río Apaporis, Soratama (near mouth of río Kananarí), 4 dic 1951, *Schultes & Cabrera 14817* [fl.]; Macaya-Ajaju River confluence: Mount Chiribiquete, 15–16 may 1943, *Schultes 5424* [fr.]; Macaya River, 14 may 1943, *Schultes 5429* [fr.] (Isotipo).**7. COPAIFERA L.**, Sp. Pl. ed. 2: 557. 1762. nom.cons.**Especie tipo:** *Copaifera officinalis* (Jacq.) L. (*Copaiva officinalis* Jacq.).**1. *Copaifera guianensis* Desf.**, Mem. Mus. Paris 7: 376. 1821.**Localidad del tipo:** "GUIANA".**Hábito:** Árboles, hasta 50 m.**Distribución y hábitat:** Panamá, Colombia, Brasil, y Guayana Francesa, Surinam. En Colombia se ha registrado en la región Amazónica, cerca de los cuerpos de agua.**Ejemplar examinado en K. Amazonas:** río Loretoyacu, 2 nov 1946, *Blook & Schultes 46–301* [fr.]**2. *Copaifera officinalis* (Jacq.) L.**, Sp. Pl. ed. 2, 1: 557. 1762.**Localidad del tipo:** "Habitat in Brasilia, Antillis".**Hábito:** Árboles, hasta 30 m.**Distribución y hábitat:** Nicaragua, Indias Occidentales, Martinica, Jamaica, Trinidad–Tobago, Brasil, y Venezuela. La información disponible sobre esta especie indica que habita en bosques deciduos, bosques de galería, sabanas y bosques siempreverdes de tierras bajas, hasta los 300 m. de altitud.**Ejemplar examinado en K. Localidad desconocida:** Colombia, sin localidad específica, 22 abr 1905, *White 1* [fr.].**Nota:** *Copaifera officinalis* no fue citada para Colombia en los trabajos de **Dwyer** (1951, 1954) y **Xena & Berry** (1998). Se conoce la amplia distribución de esta especie en la cuenca media y baja del río Orinoco, por lo que el registro de White, podría corresponder a la región de la Orinoquia de Colombia.**8. CRUDIA Schreb.**, Gen. Pl. 1: 282. 1789. nom. cons.**Especie tipo:** *Crudia spicata* (Aubl.) Willd. (*Apalatoa spicata* Aubl.)**1. *Crudia amazonica* Spruce ex Benth.** in Mart., Fl. Bras. 15(2): 238. 1870.**Localidad del tipo:** BRASIL.**Nombre común. Lengua Makuna:** wa-hé-ro-ke.**Hábito:** Arbustos y árboles.**Distribución y hábitat:** Brasil, Colombia y Guayana Francesa. Habita en bosques bien conservados cerca de las fuentes de agua.**Ejemplar examinado en K. Amazonas:** río Miritiparaná, caño Guacayá, 24 abr 1952, *Schultes & Cabrera 16265* [fl.].**9. CYNOMETRA L.**, Sp. Pl. 1: 382. 1753.**Especie tipo:** *Cynometra cauliflora* L.**1. *Cynometra bauhiniifolia* Benth.** in Hook., J. Bot. 2: 99. 1840.

Hábito: Arbustos y árboles.

Distribución y hábitat: Venezuela, Perú, Brasil, Colombia, Argentina y Guayana Francesa. El registro de K indica que *Cynometra bauhiniifolia* crece en zonas de márgenes de ríos y áreas de inundación de la cuenca del río Vaupés en la región Amazónica de Colombia.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, along lower río Kuduyarí, 29 jul 1975, *Zarucchi 1456* [fr.].

Nota: En América existen dos variedades de *Cynometra bauhiniifolia*: la variedad *meridiana* que crece en Argentina; y la variedad *bauhiniifolia* que crece en Venezuela, Perú, Brasil, Colombia, y las Guayanas.

2. *Cynometra spruceana* Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 247. 1870.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Colombia, Venezuela, Perú y Brasil. El registro de K para Colombia indica que *Cynometra spruceana* crece en márgenes de río y áreas de inundaciones de la cuenca del río Vaupés, en el SE. de la región Amazónica.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, inundated stream across from Mitú, 21 may 1976, *Zarucchi 1622* [fr.].

10. BRACHYCYLIX (Harms) R.S. Cowan, Koninkl. Nederl. Akad. Wetensch. Proc. (C) 78 (5):464. 1975.

Especie tipo. *Brachycylix vageleri* (Harms) R. S. Cowan (*Heterostemon vageleri* Harms).

Heterostemon subgenero *Brachycylix* Harms, Notizblatt 11: 291–293. 1927.

1. *Brachycylix vageleri* (Harms) R.S. Cowan, Koninkl. Nederl. Akad. Wetensch. Proc. (C) 78 (5):464. 1975.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Heterostemon vageleri Harms, Notizbl. Bot. Gart. Berlin-Dahlem 9(84): 291–293. 1925. **Tipo:** Colombia. Departamento de Santander, Buena Fortuna am Carare, 21 ago 1923, *Vageler 70* (Holotipo B, destruido; Isotipo US).

Nombre común: Guamo rosado.

Hábito: Árboles, hasta 35 m.

Distribución y hábitat: *Brachycylix vageleri* es un género representado por una especie endémica de Colombia. Habita

en los departamentos de Santander y Antioquia, en la cuenca media del río Magdalena, región Andina.

Ejemplares examinados en K. Santander: Cimitarra, por la vía al aeropuerto, a 10 km al noreste del pueblo, 23 feb 2008, *Castellanos et al. 449* [est.]; vicinity of Barrancabermeja, near El Centro, Magdalena Valley, between Sogamoso and Carare Rivers, 13 sep 1936, *Haught 1978* [fl.].

Nota 1: La etiqueta del ejemplar [Haught 1978] reporta que para 1936, esta especie era muy común en los bosques de la región Magdalena medio de Santander, sin embargo, **Castellanos** (2009) indica que la tala excesiva de esta especie ha reducido dramáticamente las poblaciones originales y enfrenta riesgo de extinción.

Nota 2: Se consultaron las colecciones del herbario de Berlín y no se encontró el holotipo de *Brachycylix vageleri* lo cual indica que al parecer si pudo perderse durante la II guerra mundial.

11. HETEROSTEMON Desf., Mem. Mus. Paris 4: 248. 1818.

Especie tipo: *Heterostemon mimosoides* Desf.

1. *Heterostemon conjugatus* Spruce ex Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 216. 1870.

Localidad del tipo: BRASIL.

Nombre común. Lengua Cuevo: Mave Cobua. Nombre del fruto: mave Jeivea.

Hábito: Árbol muy ramificado.

Distribución y hábitat: Amazonas, en el sureste de Colombia, noroeste de Brasil y suroeste de Venezuela. En Colombia, se ha registrado en los bosques bien conservados y los ecotonos entre el bosque y la sabana de la zona de vida bosque húmedo tropical (*sens. Holdridge*, 1977) del Amazonas entre los 100 y 300 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Vaupés: Forest between Itilla and Macaya forest, 1–7 abr 1943, *Schultes 5356* [fl.]; Mitú and vicinity, in forest along road from town, 17 may 1976, *Zarucchi 1580* [fr.]; environs of Mitú, trail from the house of Enrique Portua to the Cerro of Mitú, 29 oct 1976, *Davis 185* [fl.]; bank of río Kubiyú, tropical rain forest, 25 mar 1970, *Soejarto & Lockwood 2427* [fl.]; Caño Cubiyú, comunidad Indígena La Sabana, 28 abr 1993, *Madriñan et al. 1200* [fl.].

2. *Heterostemon mimosoides* Desf., Mém. Hist. Nat. 4: 249. 1818.

2a. *Heterostemon mimosoides* Desf var. *mimosoides*.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 15 m.

Distribución y hábitat: Área Amazónica conformada por Colombia, Venezuela y Brasil, Guyana y Surinam. En Colombia, habita en márgenes de ríos, y zonas inundables de los departamentos de Vaupés y Vichada, entre los 80 y 300 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Vichada: Parque Nacional Natural “El Tuparro” río Tuparro, along small stream at Raudal El Tuparro, moist watercourse of dried stream, 27 feb 1985, *Zarucchi & Barbosa 3472* [fr.]. **Vaupés:** Mitú and vicinity, along lower río Tí, 22 sep 1976, *Zarucchi 2110* [fl.]; Soratama (above mouth of río Kananaquí) and vicinity, *Schultes & Cabrera 19834* [fl.].

12. BROWNEA Jacq., Enum. Syst. Pl. 6 :26. 1760. nom. cons.

Especie tipo: *Brownea coccinea* Jacq.

1. *Brownea grandiceps* Jacq. 3(4): 287–289. 1971.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Brownea ariza Benth., Pl. Hartw. 171. 1845. *Hermesias ariza* (Benth.) Kuntze, Revis. Gen. Pl. 1:191 1891. **Tipo:** Colombia, departamento de Cundinamarca “In sylvis



Figura 10. Holotipo de *Brownea ariza* (= *B. grandiceps*) en Cundinamarca.

juxta Guaduas, Prov. Bogotá, alt. 1400 ped. ubi ab incolis Ariza dicitur”, *Hartweg s.n.* (Holotipo e Isotipo K).

Brownea holtonii Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 167. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento del Tolima, Honda, 26 abr 1854, *Holton s.n.* (Holotipo NY; Isotipo US).

Nombre común: Palo de cruz, rozo, palo-santo.

Hábito: Arbusto y árboles, hasta 15 m.

Distribución y hábitat: Noroeste de Suramérica, desde Venezuela hasta Perú. En Colombia, los registros de K indican que habita cerca a los cuerpos de agua, entre los 200 y 1200 m. de altitud.

Usos: medicinal, para controlar las hemorragias preparando un extracto con las flores.

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: quebrada Cachimbulo, ene 1876, *André 1063* [fl.]; quebrada Cachimbulo jun Viota, 19 feb 1876, *André 1809* [fl.]; portillo Girardot-Bogotá, feb 1922, *Hanbury-Tracy 422* [fl.]; Guaduas, *Hartweg s.n.* [fl.,fr.] (Holotipo e Isotipo de *B. ariza*) **Magdalena:** Santa Marta, 11 feb 1903, *H.H. Smith 931* [fl.]; Santa Marta, San Antonio, Sierra de Santa Marta, 6 abr 1939, *Hanbury-Tracy 509* [fl.]; Santa Marta, 1845?, *Hooker s.n.* [fl.]. **Meta:** Villavicencio, ad. ved. Oriental And. Bogotá. 3 ene 1876, *André 1153* [fl.]. **Putumayo:** Umbría, oct-nov 1930 *Klug 1688* [fl.]. **Valle del Cauca:** Cali, Route de Palenque, s.f., *André 440* [fl.]. **Vaupés:** estación biológica Caparú, sur oriente del departamento del Vaupés, límites con el departamento de Amazonas, y la República de Brasil, 15 ene 1996, *Palacios & Rodríguez 84* [fl.]. **Tolima:** Prov. de Bogotá, Valle du Magdalena-Mariquita, 1851-1857, *Triana s.n.* [fl.]. **Localidad desconocida:** Darién, 27 nov 1919®, *Dawe 883* [est.].

1a. *Brownea* cf *negrensis* Benth.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, along stream near base of Cerro Mitú, 26 jun 1976, *Zarucchi 1767* [est.].

Nota: *Brownea negrensis* es sinónimo de *B. grandiceps* (fide **Klitgaard**, 1991), pero se presenta aquí de forma separada hasta que se confirme la identidad de este taxón.

2. *Brownea macrophylla* Linden ex Mast., Gard. Chron. 777. 1873.

Localidad del tipo: Colección de W. H. Crawford, sin localidad precisa. (Lectotipo lamina a color, Figura 149 en Mast. 1873. Lectotipo designado por B. Klitgaard en Nord. J. Bot. 11(4): 442. 1991).

Brownea antioquiensis Linden, Cat. 3. 1869. **Tipo:** Colombia, departamento de Antioquia, Medellín. (Holotipo desconocido).

Hábito: Árboles, hasta 25 m.

Distribución y hábitat: Ampliamente distribuido en el noroeste de Suramérica: Colombia, Panamá, Ecuador, Perú y Venezuela. Habita en áreas cercanas a cuerpos de agua. En K se tienen registros para los departamentos de Boyacá, Meta, Santander y Tolima, entre los 100 y 1000 m. de altitud.

Usos: la corteza se prepara en infusión y se toma controlar las hemorragias.

Ejemplares examinados en K. Boyacá: Forest at stream-side, El Humbo ("El Umbo region"), Mt Chapon, extreme western part of Dept. Boyacá, north-west of Bogotá, 15 nov 1932, *Laurence* 587 [fl.]. **Meta:** Villavicencio, 2 feb 1948, *Sandeman* 5795 [fl.]. **Santander:** Barrancabermeja, vicinity of "Barranca Bermeja", Magdalena Valley between Sogamoso and Colorado Rivers, Camp. Mesa, 13 ene 1935, *Haught* 1515 [fl.]. **Tolima:** Magdalena Valley, mountain on N side of Honda-Mariquita road, 22 jul 1957, *Grubb et al.* 38 [fl.].

3. *Brownea multijuga* Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 164. 1936.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento del Chocó, "headwaters of río Tutunendo, east of Quibdó", *Archer* 2177 (Holotipo US; Isotipo NY).

Hábito: Grandes árboles, hasta 35 m.

Distribución y hábitat: Zonas de tierras bajas y pendientes de la Cordillera Occidental de Colombia, desde Chocó hasta Ecuador. De acuerdo con *Klitgaard* (1991) habita márgenes de ríos y bosques primarios de la selva lluviosa tropical, desde los 40 a 800 m. de altitud.

Ejemplar examinado en K. Norte de Santander: Ocaña, 5 dic 1878, *Rolbreger* 415 [fl.].

4. *Brownea rosa-de-monte* Berg, Phil. Trans. Roy. Soc. London 63: 174. 1773.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Desde Costa Rica hasta el norte de Suramérica.

Ejemplar examinado en K. Valle del Cauca? posiblemente Buenaventura, 1851 – 1857, *Triana* 4422 [fl.]. **Localidad desconocida:** Nova Granada, dic 1847 – ene 1848, *Seemann* 1040 [fl.].

Nota: *Woodson & Schery* (1951) y *Klitgaard* (1991) discuten el estatus taxonómico de esta especie y sugieren que podría corresponder a *Brownea macrophylla*. Se mantiene en este trabajo la identidad de *B. rosa-de-monte* hasta que futuros estudios determinen el estatus taxonómico de estas dos especies.

5. *Brownea santanderensis* Quiñones, Caldasia 18(86): 18. 1995.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento de Santander, vicinity of Barrancabermeja, Magdalena valley, between, Sogamoso and Carare rivers, 27 oct 1936, *O. Haught* 2038 [fl.] (Holotipo, US; Isotipo NY).

Hábito: Arbustos y pequeños árboles, hasta 6 m.

Distribución y hábitat: *Brownea santanderensis* es una especie endémica de Colombia, departamento de Santander, pero es muy probable que también crezca en el departamento de Antioquia. Habita en márgenes de río y zonas boscosas del valle medio del Magdalena, región Andina.

Ejemplar examinado en K. Santander: Municipio de Cimitarra, vereda la Verde, margen derecho de la quebrada La Verde, afluente de la quebrada Chontarales, 30 km al noreste del pueblo, 22 feb 2008, *Castellanos et al.* 448 [est.].

6. *Brownea tillettiana* Velásques & Agostini, Ernestia 5: 4. 1981.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Hábito: Árboles, hasta 6 m.

Distribución y hábitat: Los datos disponibles sobre *Brownea tillettiana* indican que esta especie sólo se había registrada en el NO. de Venezuela, donde se considera nativa (*Velásques & Agostini*, 1981). Crece en bosques primarios hasta los 450 m. de altitud.

Ejemplar examinado en K. Santander: Municipio de Barrancabermeja, jul 1888, *Wier* 52 [fl.].

Nota. El ejemplar de K fue identificado por Agostini en 1982 y muestra similitudes morfológicas con *B. santanderensis*, se requieren más colecciones para confirmar la identidad de esta especie.

13. *BROWNEOPSIS* Huber, Bol. Mus. Para. 4: 197, 565. 1906.
Especie tipo: *Browneopsis ucayalina* Huber

1. *Browneopsis excelsa* Pittier, Contr. U.S. Natl. Herb. 18(4): 157. 1916.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Hábito: Grandes árboles.

Distribución y hábitat: Registrada en Panamá y Colombia. El único registro de K indica que habita en los bosques húmedos del departamento de Antioquia a 70 m. de altitud.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: río Claro, Parque Ecológico El Cañón del río Claro, river bank along concrete path, by projecting platform, 6 feb 1997, *Pennington et al.* 687 [est.].

14. MACROLOBIUM Schreb., Gen. Pl. 1. 30. 1789.

Especie tipo: *Macrolobium vuapa* J. F. Gmelin, Syst. Nat. 2: 93. 1791.

1. *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 224. 1870.

Localidad del tipo: "Rooponoony and Essequibo Rivers".

Nombre común. Lengua Puinave: a-na-der'. **Castellano:** tufán.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 40 m.

Distribución y hábitat: Brasil, Bolivia, Colombia, Guayana Francesa, Surinam, Perú y Venezuela. En Colombia habita la región amazónica, en los departamentos de Amazonas, Caquetá y Vaupés, en bosques de inundación y zonas intervenidas, hasta los 250 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: Cuenca del medio Caquetá, en la orilla del río Caquetá, 21 oct 1990, *Duivenvoorden et al.* 458 [fl.]; trapezio amazónico, Loretoyacu River, nov 1946, *Schultes & Black* 8640 [fr.]. **Caquetá:** río Orteguaza, margen izquierda, San Luis, Junto a la quebrada Miramar, 16 ene 1969, *Cuatrecasas & Soderstrom* 27134 [fr.]; Solano, 8km SE. of Tres Esquinas on Río Caquetá below mouth of Río Orteguaza, 7 mar 1945, *E. Little & R. Little* 9640 [fr.]. **Vaupés:** Río Apaporis, entre el río Pacoa y el río Kananarí, Soratama, 16 ago 1951, *Schultes & Cabrera* 13548 [fl.].

2. *Macrolobium angustifolium* (Benth.) R.S. Cowan, Mem. New York Bot. Gard. 8(4): 314. 1953.

Localidad de tipo: BRASIL.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 30 m.

Distribución y hábitat: Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guayana Francesa, Surinam, Perú y Venezuela. En Colombia habita la región amazónica del suroriente, usualmente en

áreas de inundación y riveras de los ríos de la cuenca del Vaupés.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, lower río Kubiyú, along river, 27 sep 1976, *Zarucchi* 2158 [fl.].

3. *Macrolobium colombianum* (Britton & Killip) Killip ex L. Uribe, *Caldasia* 4: 213. 1946.

3a. *Macrolobium colombianum* (Britton & Killip) Killip ex L. Uribe var. *colombianum*



Figura 11. Isotipo de *Outea colombiana* (= *Macrolobium colombianum* var. *colombianum*) en Choco.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Outea "(?)" *colombiana* Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 166. 1936. **Tipo:** Colombia. Departamento del Chocó, Prov. de Chocó, itsme de San Pable. Mar 1852, *Triana* 4419 [fl.] (Holotipo NY; Isotipos BM, COL, K, US).

Hábito: Arbusto.

Distribución y hábitat: *Macrolobium colombianum* var. *colombianum* es un taxón endémico de Colombia, habita las selvas del Chocó, en la región Pacífica.

Ejemplares examinados en K. Chocó: Prov. de Chocó, itsme de San Pable. 1851-1857, *Triana 4419* [fl.] (Isotipo de *Outea colombiana*), *Triana s.n.* [fl.]

3b. *Macrolobium colombianum* var. *metaense* R.S. Cowan, Mem. New York Bot. Gard. 8(4): 328. 1961.



Figura 12. *Macrolobium colombianum* var. *metaense*, Haught 2555, taxón endémico de Colombia.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento del Meta, “Acacias”, ago 1946, R. Jaramillo et al. 412 (Holotipo US; Isotipo COL).

Hábito: Arbusto. Hasta 2.5 m

Distribución y hábitat: *Macrolobium colombianum* var. *metaense* es un taxón endémico de Colombia, conocido sólo en el departamento del Meta, región de la Orinoquia.

Ejemplar examinado en K. Meta: on quebrada Negra, near Villavicencio, 21 ene 1939, Haught 2555 [fl.].

Nota: Cowan (1953) reconoció 5 variedades de *Macrolobium colombianum*. Las variedades *monagasense* y *ocumarensis* habitan en Venezuela, las variedades *colombianum* y *metaense* son nativas de Colombia, y la variedad *bicuspidum* habita en Venezuela y la región nororiental de Colombia. Esta última variedad no está representada en las colecciones de K.

4. *Macrolobium discolor* Benth., Fl. Bras. 15(2): 222. 1870.

Localidad del tipo: BRASIL.

4a. *Macrolobium discolor* (Benth.) var. *egranulosum* R.S. Cowan, Mem. New York Bot. Gard. 8(4): 292. 1961.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Hábito: Arbusto, hasta 3 m.

Distribución y Hábita: Región amazónica de Colombia y Venezuela. El registro de K señala que *Macrolobium discolor* var. *egranulosum* habita en el áreas abiertas y sabanas SE. de Colombia, en la cuenca del río Vaupés.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, along río Vaupés between río Tí and rapids of Mandí, savanna of caño Timbo, forest 1 hr from Río Vaupés, 23 sep 1976, Zarucchi 2112 [fl.].

Nota: Cowan (1953) y Cowan & Berry (1998) reconocieron 3 variedades de *Macrolobium discolor*. La variedad *caudiculatum* está presente en la región Amazónica del Vaupés en Brasil, la variedad *discolor* habita en región del norte del Amazonas en Brasil, y en Venezuela; y la variedad *egranulosum* habita en Venezuela y la región Amazónica de Colombia.

5. *Macrolobium extensum* R.S. Cowan, Proc. Biol. Soc. Wash. 86(3): 452. 1973.

Localidad del tipo: Colombia, Departamento de Chocó, area of Baudó, on right bank of river Baudo, about 16.2 km

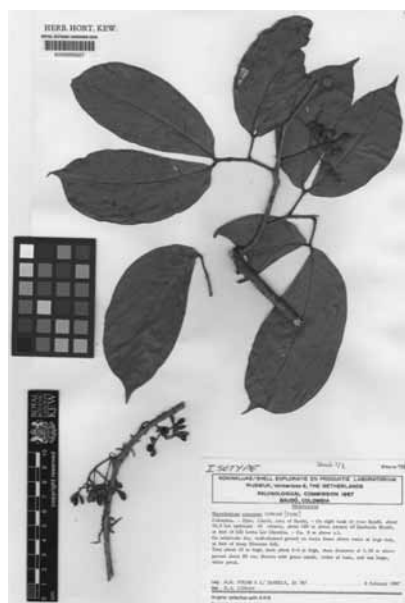


Figura 13. Isotipo de *Macrolobium extensum*, especie endémica de Colombia.

upstream of estuary, about 120 m above estuary of Quebrada Birudó, at foot of hill Lola Los Chorritos, 6 feb 1967, *Fuchs & Zanella 21787* (Holotipo US; Isotipos COL, F, G, K, S).

Hábito: Árboles, hasta 10 m.

Distribución y hábitat: *Macrobium extensum* es una especie endémica de Colombia, está distribuida en la región Pacífica de Colombia entre los departamentos de Chocó y Valle del Cauca, habita las zonas boscosas de los márgenes de ríos.

Ejemplar examinado en K. Chocó: Departamento de Chocó, area of Baudó, 6 feb 1967, *Fuchs & Zanella 21787* (Isotipo).

6. *Macrobium gracile* Spruce ex Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 223. 1870.

Localidad de tipo: BRASIL.

6a. *Macrobium gracile* Spruce ex Benth. var. *debile* (Ducke) R.S. Cowan, Mem. New York Bot. Gard. 8(4): 275. 1953.

Localidad de tipo: BRASIL.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Amazonia de Brasil y Colombia. El registro de K indica que habita en áreas de inundación y márgenes de ríos de la cuenca del Vaupés.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, lower río Paraná–Pichuna, along river, 7 sep 1976, *Zarucchi 1979* [fr.].

Nota. Cowan (1953) y Cowan & Berry (1998) reconocieron cuatro variedades de *Macrobium gracile* para Suramérica. La variedad *gracile* habita en la región Amazónica, en la cuenca del río Negro de Colombia, Venezuela y Brasil; la variedad *confertum* es endémica de Venezuela; la variedad *machadoense* habita en la cuenca alta del río Mahcado, Brasil; y la variedad *debile* crece en Brasil y Colombia.

7. *Macrobium limbatum* Spruce ex Benth., Trans. Linn. Soc., London 25: 307. 1865.

Localidad de tipo: BRASIL.

Nombre común: Nibugaicarapao.

Hábito. Árboles, hasta 23 m.

Distribución y Hábitat: Colombia, Brasil, Perú, y Venezuela. Los registros de K indican que crece en bosques de tierra

firme y áreas cercanas a los cuerpos de agua del departamento del Amazonas.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: río Caquetá, margen derecho, frente a Villa Azul, terraza baja, 23 ago 1989, *van Angel et al. 13A* [fl.]; Parque nacional Cahuinar, lago El Pescado, rebalse alto bosque de tierra firme, 5 oct 1990, *fundación Puerto Rastrojo 368* [est.].

Nota: Esta especie no fue reportada para Colombia en los trabajos de Cowan (1953) y Cowan & Berry (1998). Se presenta como el primer registro para Colombia, ampliando el rango de distribución de esta especie.

8. *Macrobium modicopetalum* Schery, Ann. Miss. Bot. Gard. 30: 88. 1943.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Hábito: Arbusto y árboles, hasta 10 m.

Distribución y hábitat: Panamá y Colombia. Al parecer esta especie está restringida en Colombia a las selvas primarias y bosque húmedo tropical de la región Pacífica.

Ejemplar examinado en K. Valle del Cauca: río Dagua, s.f., *B.T. Lehmann 1129* [fl.].

Nota: Cowan (1953) reconoció el ejemplar de *B.T. Lehmann 1129* como *Macrobium modicopetalum*, pero aclaró que este ejemplar exhibe diferencias que lo podrían catalogar dentro un nuevo taxón y sugiere la recolección de más ejemplares para desarrollar un estudio completo.

9. *Macrobium molle* (Benth.) R.S. Cowan, Mem. New York Bot. Gard. 8(4): 289. 1953.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles, hasta 12 m.

Distribución y hábitat: Amazonia entre Colombia y Brasil. De acuerdo con los registros de K, esta especie habita en las riveras de los ríos, y zonas de inundación de la cuenca del río Vaupés en Colombia.

Ejemplares examinados en K. Vaupés: Mitú and vicinity, lower río Paraná–Pichuna, along river, 7 sep 1976, *Zarucchi 1971* [fr.]; inundated stream across from Mitú, 24 jun 1976, *Zarucchi & Balick 1724* [fl.].

10. *Macrobium multijugum* (DC.) Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 222. 1870.

Localidad del tipo: GUAYANA FRANCESA “Cayenne”.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 37 m.

Distribución y hábitat: Colombia, Venezuela, Guayana Francesa, Surinam y Perú. Habita en la región Amazónica del sureste de Colombia, en los departamentos de Caquetá, Vaupés y Vichada, en áreas sometidas a inundación y bosques de galerías.

Ejemplares examinados en K. Caquetá: Araracuara, sobre la mesa de arenisca cerca a la pista aérea, 21 oct 1990, *Duivenvoorden et al.* 331 [fl.]. **Vaupés:** Mitú and vicinity, inundated stream across from Mitú, 22 may 1976, *Zarucchi* 1626 [fr.]. **Vichada:** Parque Nacional Natural “El Tuparro” lower part of caño arepa, a tributary of the río Tomo ca. 16 km W.–SW. of La Línea Roja, 14 mar 1985, *Zarucchi & Barbosa* 3709 [fr.].

11. *Macrobium pittieri* (Rose) Schery, Ann. Miss. Bot. Gard. 38: 33. 1951.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Hábito: Arbustos.

Distribución y hábitat: Restringida a Colombia y Panamá. La información disponible en K indica que es una planta poco frecuente y habita en el ecotono de bosque y zonas abiertas, cerca a cuerpos de agua.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: municipio de Remedios, 14–17 km NO. de Remedios en la vía a Zaragoza, región del Cerro Cabezas, margen del río Tucupé, 15 sep 1987, *Callejas et al.* 5175 [fr.].

12. *Macrobium stenosphon* Harms, Repert. Nov. Sp. 3: 51. 1906.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Pseudouvouapa stenosphon (Harms) Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 166. 1936. **Tipo:** Colombia. Departamento del Cauca “häufig an den Ufern der flusse Timbiqui und Micay”, *F.C. Lehmann* 8987. (Lectotipo NY, designado por R. S. Cowan en *Mem. New York Bot. Gard.* 8(4): 326; Isolectotipos K, F – fragmento).

Nombre común: Chiparo, dormilón.

Hábito: Árboles, hasta 15 m.

Distribución y hábitat: Conocida sólo de Colombia y Ecuador. En Colombia crece en la región Pacífica entre los departamentos de Cauca, Chocó, Valle del Cauca y posiblemente Nariño. Habita la selva primaria y zonas de inundación.

Ejemplares examinados en K. Cauca: Häufig an den Ufern der flusse Timbiqui und Micay, *F.C. Lehmann* 8987 [fl.] (Isolectotipo). **Chocó:** Prov. de Chocó, Novitá, 1851 – 1857,

Triana 4418, [fl.]; río Taparal off río San Juan, 27 ago 1962, *Hugh–Jones* 352 [fl.], *Robinson* 280 [fr.].

13. *Macrobium suaveolens* Spruce ex Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 219. 1970.

Localidad del tipo: BRASIL.

13a. *Macrobium suaveolens* Spruce ex Benth. var. *uaupesense* R.S. Cowan

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Arbustos y árboles.

Distribución y hábitat: cuenca del río Negro entre Colombia y Brasil. Los registros de K muestran que esta especie habita en la cuenca del río Vaupés, en áreas abiertas y sabanas.

Ejemplares examinados en K. Vaupés: Mitú and vicinity, lower río Paraná–Pichuna, savanna at major rapids, 6 sep 1976, *Zarucchi* 1964 [fl.]; 8 sep 1976, *Zarucchi* 1997 [fl.].

Nota: Cowan (1953) reconoció cinco variedades de *Macrobium suaveolens*. La variedad *suaveolens* habita en la Amazonia del noroeste de Brasil, y en Venezuela, la variedad *pakarimense* habita en Venezuela y las Guayanas, las variedades *rondonianum* y *petiolatum* crece en la Amazonia de Brasil. La variedad *uaupesense* crece en la amazonia de Brasil y Colombia, cuenca del río Negro.

14. *Macrobium venulosum* Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 223. 1870.

Localidad del tipo: Venezuela.

Hábito: Árboles, hasta 15 m.

Distribución y hábitat: aparentemente restringida a la cuenca del Río Negro en Colombia y Brasil. De acuerdo con los registros de K, esta especie crece en las zonas selváticas bien conservadas de la cuenca del río Negro, cerca de los cuerpos de agua.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Río Negro, vicinity of Piedra de Cocui, 27 dic 1947, *Schultes & López* 9530 [fr.].

15. DICYMBE Spruce ex Benth. & Hook. f., Gen. Pl. 1: 564. 1865.

Especie tipo: *Dicymbe corymbosa* Spruce ex Benth.

1. *Dicymbe stipitata* R.S. Cowan, Brittonia, 10(1): 29. 1958.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento del Vaupés, Circasia, margen derecha del río granitos, 9 oct 1939, *Cuatrecasas* 7153 (Holotipo US).

Hábito: Árboles.

Distribución y hábitat: Colombia y Brasil. En Colombia habita la región Amazónica en áreas de inundación y riveras de ríos de la cuenca del Vaupés.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, along río Vaupés, at Circasia, at edge of open white sandy area, 14 sep 1976, *Zarucchi 2060* [fl.].

Nota: *Dicymbopsis* fue aceptado como sinónimo de *Dicymbe* por **Mackinder** (2005). Sin embargo, esta misma autora señalo que *Dicymbopsis* podría corresponder a un género distinto.

TRIBU CASSIEAE

Tribu Cassieae Bronn 1822; *emend* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 1.1982.

Tribu Poeppigieae Britton & Rose, N. Amer. fl. 23(4): 201.1930.

16. POEPPIGIA C. Presl, Symb. Bot. 1: 16. 1830.

Especie tipo: *Poeppigia procera* C. Presl

1. *Poeppigia procera* C. Presl, Symb. Bot. 1: 16. 1830.

Localidad del tipo: CUBA.

Hábito: Árboles, hasta 18 m de alto.

Distribución y hábitat: Un género monoespecífico distribuido desde México a Colombia, Venezuela, Perú, Bolivia, Brasil y Cuba. En Colombia habita la región Amazónica en áreas de inundación y riveras de ríos de la cuenca del Vaupés.

Ejemplares examinados en K. Magdalena: Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith 261* [fl., fr.]. Santa Marta 1844, s.c., s.n [fl.] **localidad desconocida:** “Vice-Regni Novae-Granatae, 1783 – 1808, *Mutis 4684* [fl.].

17. DIALIUM L., Mant. 1: 3, 11. 1767.

Especie tipo: *Dialium indum* L.

1. *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith, Lloydia 2(3): 184. 1939.

Localidad del tipo: “Is croît dans les grandes forêts de la Guiane, en allant de la crique des Galibis à la riviere de Sinémari”.

Nombre común. Lengua indígena: Punaive: wo-pee. **Castellano:** Tamarindo.

Hábito: Arboles, hasta 30 m.

Distribución y hábitat: Ampliamente distribuida desde el sureste de México, centro América, Colombia, Guayana Francesa y Venezolana, Surinam, Ecuador, Perú, Brasil, Bolivia y Venezuela. En Colombia habita en el bosque húmedo tropical – bosque muy húmedo tropical (*sens. Holdridge, 1977*), entre el nivel del mar y los 1000 m.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio Tarazá, corregimiento “El 12”, 210 km NE. de Medellín, vía El 12– Barrancoblanco, km 3, 9 nov 1987, *Callejas et al. 5490* [fl.]; Amalfi, mina La Vetilla, margen derecha quebrada Vetilla, 13 oct 1991, *Tuberquia & Gómez 18* [fl.]; Caucasia; along road Nechi 20 km from Caucasia – Planetarica road, Hacienda Costarica, 21 mar 1987, *Zarucchi et al. 4863* [fr.]. **Vaupés:** río Pacoa, near mouth, 5 dic 1951, *Schultes & Cabrera 14769* [fl.].

18. DICORYNIA Benth. in Hook., J. Bot. 2: 82. 1840;

emend. Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 81. 1870.

Especie tipo: *Dicorynia paraensis* Benth.

1. *Dicorynia paraensis* Benth. in Hook., J. Bot. 2: 82. 1840; *emend.* Benth. in Mart., Fl. Bras. 15(2): 81. 1870.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles, hasta 37 m.

Distribución y hábitat: Colombia, Venezuela y Brasil. En Colombia se ha registrado en el departamento del Amazonas y posiblemente crece también en el departamento de Guainía; habita la cuenca del río Negro, cerca a los cuerpos de agua.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: Peña Roja, varzea, 13 oct 1993, *van Dulmen et al. 168* [fl.]; río Caquetá, margen derecho frente a Villa Azul, terraza baja, 6 sep 1989, *van Andel 233* [fl.], 12 sep 1989, *van Andel 271* [est.]. **Guainía:** “Colombia-Venezuela”, border ad flum Guainía-Rio Negro supra ostium flum. Casiquiare, 1854, *Spruce 3501* [fl.].

19. BATESIA Spruce ex Benth. in Benth. & Hook. f., Gen. Pl. 1: 563. 1865.

Especie tipo: *Batesia floribunda* Spruce ex Benth.

1. *Batesia floribunda* Spruce ex Benth., Trans. Linn. Soc. London. 25: 303, pl 37. 1866.

Localidad del tipo: BRASIL., “Prope Panuré ad Rio Vaupés, oct 1852 – ene 1853”.

Spruce 2780 (Lectotipo K, seleccionado aquí; Isolectotipos K [3], F, GH, NY, RB.).

Nombre común: Chocho.

Hábito: Árboles, hasta 30 m.

Distribución y hábitat: El género *Batesia* presenta una especie, *B. floribunda*, distribuida en Brasil, Colombia, Guayana Francesa y Perú. El registro de K para Colombia indica que habitando los bosques primarios del departamento de Caquetá.

Ejemplares examinados en K. Colombia: Caquetá: surroundings of Araracuara, 4 dic 1990, *Wijninga & Quinteiro 602* [fl.]; **Brasil:** “Prope Panuré ad Rio Vaupés”, *Spruce 2780* [cuatro ejemplares tipificados].

Lectotipificación de *Batesia floribunda*.

George **Bentham** (1866) describió *Batesia floribunda* con base en los ejemplares de *Spruce 2780* depositados en Kew. Sin embargo, en el protólogo Bentham no seleccionó un ejemplar tipo por lo que se hacía necesaria la correspondiente lectotipificación. Para el efecto, se estudiaron los cuatro duplicados de *Spruce 2780* depositados en el Herbario K. Un ejemplar está estéril mientras los tres restantes presentan flores, frutos y/o semillas. De estos tres últimos ejemplares, uno carece de información adicional como anotaciones personales de Bentham y otros datos asociados y en consecuencia fue descartado como posible lectotipo. En los dos ejemplares restantes se evaluó la cantidad de información disponible en las etiquetas, la presencia de anotaciones de Bentham y la si-



Figura 14. Lectotipo de *Batesia floribunda*.

militud con la iconografía original [**Bentham**, 1866, fig. 37]. Tan solo un ejemplar reúne todas las características citadas, por lo cual fue seleccionado como el lectotipo.

20. CHAMAECRISTA [Brynne] Moench, Meth. Pl. Hort. Bot. Marburg. 272. 1794.

Especie tipo: *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench (*Cassia nictitans* L.).

1. *Chamaecrista adiantifolia* (Spruce ex Benth.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 641. 1982.

1a *Chamaecrista adiantifolia* (Spruce ex Benth.) H.S. Irwin & Barneby var. *adiantifolia*

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles y arbustos.

Distribución y hábitat: *Chamaecrista adiantifolia* se distribuye en la cuenca alta de los ríos Negro y Vaupés en la Amazonia de Brasil, Colombia y Venezuela (**Irwin & Barneby** 1982b). En K existen registros para la región Amazónica del departamento de Vaupés en Colombia donde habita las riberas de los ríos y áreas inundadas de la cuenca del río Vaupés.

Ejemplares examinados en K. Vaupés: Mitú and vicinity, inundated stream across from Mitú, 24 jun 1976, *Zarucchi 1723* [fl.]; Mitú and vicinity, along lower río Kuduyarí, 2 sep 1976, *Zarucchi 1935* [fr.].

Nota: **Irwin & Barneby** (1982b) reconocieron dos variedades de *Chamaecrista adiantifolia*: var. *adiantifolia* y var. *pteridophylla*. En Colombia crece la variedad *adiantifolia*; en tanto que la variedad *pteridophylla* se distribuye en el valle medio y bajo del Amazonas en Brasil, en el Orinoco en la Guayana Venezolana y en la Amazonia de Venezuela.

2. *Chamaecrista apoucouita* (Aubl.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 642. 1982.

Localidad del tipo: GUAYANA FRANCESA.

Hábito: Árboles y arbustos.

Distribución y hábitat: Las Guayanas y la cuenca alta y media del Amazonas en Brasil y Colombia. Un registro en K para las áreas intervenidas del departamento del Vaupés, Colombia.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: Mitú and vicinity, along road from town, 15 may 1976, *Zarucchi 1563* [fr.].

3. *Chamaecrista cordistipula* (Mart.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 721. 1982.



Figura 15. Holotipo de *Cassia schlimii* (= *Chamaecrista cordistipula*) en el departamento del Cesar.

Localidad del tipo: BRASIL

Cassia schlimii Benth., Trans. Linn. Soc. London 27: 571. 1871. **Tipo:** Colombia, departamento del Cesar, “Prov. de Ocaña, Aguachica” *Schlim* 281. (Holotipo K; Isotipos BM, BR, F, MPU, NY, P, US).

Hábito: Hierba perenne de un eje o muy ramificado desde la base.

Distribución y hábitat: Colombia, Brasil, Paraguay y Venezuela. Ocurre en sabanas y campos abiertos de la península de La Guajira y el valle del Magdalena de Colombia, desde el nivel del mar hasta 800 m. Kew cuenta con registros de *Chamaecrista cordistipula* para los departamentos de Bolívar, Cesar y Magdalena.

Ejemplares examinados en K. Bolívar: Buenavista, east of Since, 22 ene 1918, *Pennell* 4009 [fl.]. **Cesar:** near lake Zapatosa, Magdalena Valley, Rincón Hondo, on savanna, 5 ago 1924, *Allen* 264 [fl.]; Becerril, 60 km NE. of Chiriguaná, 26 ago 1938, *Haught* 2292 [fl.]; Prov. de Ocaña, Aguachica, 1846 – 1852, *Schlim* 281 [est.] (Holotipo de *Cassia schlimii*). **Magdalena:** Santa Marta, 11 jul 1903, *H.H. Smith* 66 [est].

4. *Chamaecrista desvauxii* (Collad.) Killip, Brittonia 3(2): 165. 1939.

Hábito: Hierbas erectas o postradas y pequeños arbustos.

Distribución: Norte y Suramérica (México a Argentina), pero ausente en las indias Occidentales. En K se encuentran registros para los departamentos de Meta y Vaupés en Colombia, donde crecen en las sabanas y riveras de los ríos entre los 200 y 300 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Meta: Open Savannah, Boca de Monte, Llanos de San Martín, 16 ago 1950, *S.G. Smith & Idrobo* 1414 [fl.]. **Vaupés:** Caño Cabiayú, comunidad indígena La Sabana, 26 abr 1993, *Madriñan et al.* 1165 [est.].

Nota: **Irwin & Barneby** (1982b) reconocieron 16 variedades de *Chamaecrista desvauxii*, de las cuales la variedad *brevipes* presenta la más amplia distribución con poblaciones en Brasil, Bolivia, Colombia, Honduras, Guayana Francesa y Venezolana, Perú, Surinam y Paraguay. Las variedades *desvauxii*, *glauca*, *langsдорffii*, *malacophylla* y *mollissima* crecen en Brasil, Belice, Colombia, México, Paraguay y Argentina; las variedades *latifolia*, *peronadenia* y *pirebebutiensis* habitan en Brasil y Paraguay; la variedad *saxatilis* en Brasil, Guayana Francesa y Surinam; la variedad *triumvralis* está presente en la cuenca media del Orinoco entre Colombia y Venezuela; la variedad *piptostegia* habita la cuenca del Amazonas y las variedades *circumdata*, *graminea*, *linearis* y *modesta* están restringida a Brasil.

4a. *Chamaecrista desvauxii* (Collad.) Killip var. *brevipes* DC. ex Collad., Pittonia 4(20d): 31. 1899.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Hábito: Hierbas postradas o ascendente.

Distribución y hábitat: Bolivia, Brasil, Colombia, Guayana Francesa, Paraguay, Perú y Venezuela. Kew tiene un registro para la región de los llanos Orientales en el departamento Meta en Colombia, habitando áreas con amplia exposición solar.

Ejemplar examinado en K. Meta: Llanos de Cumaral, in And. Orient. Bogotá, 6 ene 1876, *André* 1190 [fl., fr.].

4b. *Chamaecrista desvauxii* (Collad.) Killip var. *langsдорffii* (Kunth ex Vogel) H.S. Irwin & Barneby, New York Bot. Gard. 35(2): 879. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

Chamaecrista lehmannii Britton & Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 184. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento del Huila, “Guagua”. (Holotipo NY; Isotipos F, K, US).

Hábito: Pequeños arbustos erectos.

Distribución y hábitat: Con amplia distribución en Brasil y con una extensión inusual en el valle alto del río Magdalena en el departamento de Huila en Colombia.

Ejemplar examinado en K: Huila: Guagua, s.f., B.T. Lehmann 1095 [fl., fr.] (Isotipo de *Chamaecrista lehmannii*).

4c. *Chamaecrista desvauxii* (Collad.) Killip var. *mollissima* (Benth.) H.S. Irwin & Barneby, New York Bot. Gard. 35(2): 868. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

Cassia tetraphylla var. *colombiana* H.S. Irwin, Mem. New York Bot. Gard. 12(1): 104. 1964. **Tipo:** Colombia, departamento de Santander, “18 km S. of Socorro”, 28 jun 1944, St. John 20538. (Holotipo NY; Isotipos GH, MICH, UC, US).

Hábito: Pequeños arbustos.

Distribución y hábitat: México, Centro América, Guayana Francesa, Colombia, Brasil, Belice, Venezuela y Argentina. Los registros de K indican que *Chamaecrista desvauxii* var. *mollissima* está presente en la región amazónica y la región Andina de Colombia.

Ejemplares examinados en K: Caquetá: Araracuara, sobre la mesa de areniscas cerca a la pista aérea, 14 de oct 1990, Duivenvoorden et al. 184 [fl., fr.]. **Santander:** Bucaramanga, may 1948, Sandeman 5989 [fl., fr.]. **Localidad desconocida:** New Granada, jun 1891, Berke 299 [fl.]; New Granada, jul 1873, Bruchiiller s.n. [fl., fr.].

4d. *Chamaecrista desvauxii* (Collad.) Killip var. *piptostegia* (Vogel) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 874. 1982.

Localidad tipo: COLOMBIA, Vaupés: sabanas sobre piedras areniscas, +/- 450 m, Cerro Yapoboda, río Kuduyarí, 5–6 oct 1951, Schultes & Cabrera 14362 [fl.] (Holotipo NY; Isotipo US).

Hábito: Arbustos.

Distribución y hábitat: Cuenca del Orinoco en Venezuela, Brasil cerca a la frontera con Surinam y probablemente presente en la Guayana Francesa. Habita los campos y sabanas de arenas, cuarcitas de la cuenca del Vaupés en Colombia, entre los 250 – 500 m de altitud.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: río Kuduyarí (tributary of río Vaupés), Yapoboda, quartzite savannah near headwaters, 4 sep 1956, Barclay et al. 571 [fl.].

5. *Chamaecrista flexuosa* (L.) Greene, Pittonia 4: 27. 1899.

Localidad del tipo: BRASIL.

5a. *Chamaecrista flexuosa* (L.) Greene var. *flexuosa*

Cassia arenaria Kunth, Nov. Gen. & Sp. 6: 370. 1824. **Tipo:** Colombia, “Crescit in arenosis, umbrosis, prope Maypure” [on Río Orinoco in Vichada], *Humboldt & Bonpland* 833, (Holotipo P; Isotipos B, P).

Hábito: Plantas herbáceas.

Distribución y hábitat: México y Cuba, hasta el norte de Argentina. Los registros de K indican que crece en el valle del Magdalena, departamento del Cesar, en áreas expuestas, rocosas o intervenidas entre el nivel del mar y los 100 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Cesar: near lake Zapatosa, Magdalena Valley, Rincón Hondo, on savanna, 1 ago 1924, Allen 206 [fl.]; 18 km west of La Jagua, 30 jul 1943, Haught 3575 [est.].

Nota: Irwin & Barneby (1982b) reconocen dos variedades de *Chamaecrista flexuosa*: var. *flexuosa* y var. *texana*. En Colombia crece la variedad *flexuosa*, la cual se extiende desde el sur de México hasta el norte de Argentina, y Cuba. La variedad *texana* crece desde el sur de Texas, U.S.A. hasta el sur de México.

6. *Chamaecrista glandulosa* (L.) Greene, Pittonia 4: 286, 1899.

Localidad del Tipo: “Habitat in Jamaica.”

Nota 2: Irwin & Barneby (1982b) reconocieron nueve variedades de la *Chamaecrista glandulosa* de las cuales sólo una tiene amplia distribución en América: *Ch. glandulosa* var. *flavicomis*, que habita desde México hasta Bolivia. Las variedades restantes tiene distribución restringida así: las vars. *andreana* y *tristicula* son endémica de Colombia; la var. *parralensis* es nativa de México; la var. *brasiliensis* es endémica de Brasil; la var. *balsasana* habita en Perú; las vars. *rapidarum* y *crystallina* crecen en la cuenca del Orinoco entre Colombia y Venezuela, y la var. *andicola* habita los andes de Perú, Ecuador y Bolivia.

6a. *Chamaecrista glandulosa* (L.) Greene var. *andreana* (Britton) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 796. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).



Figura 16. Isotipo de *Chamaecrista andreana* (= *Chamaecrista glandulosa* var. *andreana*) en el departamento del Tolima.

Chamaecrista andreana Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 186. 1936. **Tipo:** Colombia. Departamento de Tolima, entre Piedras e Ibagué, base oriental del monte de Quindío, Tolima, *André* 1974 (Holotipo NY; Isotipo K).

Chamaecrista pennellii Britton & Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 185. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Cundinamarca “open loam between Fusagasugá and Pandí”, 30 nov 1917, *Pennell* 2749 (Holotipo US; Isotipos GH, K, NY).

Hábito: Hierba postrada.

Distribución y hábitat: *Chamaecrista glandulosa* var. *andreana* es un taxón endémico de Colombia. Habita el valle medio del Magdalena en los departamentos de Cundinamarca, Norte de Santander, Tolima y el valle alto del río Patía en Nariño, desde los 500 a los 2000 m de altitud.

Ejemplares examinados en K: **Cundinamarca:** Fusagasugá, ene 1922, *Tracey* 397 [fl., fr.]; open loam between Fusagasugá and Pandí, 30 nov 1917, *Pennell* 2749 [fr.], (Isotipo de *Ch. pennellii*). **Nariño:** Prov. de Popayán, Andes de Pasito, 1851 – 1857, *Triana* 4394 [est.]. **Tolima:** Piedras at Ibagué ad vedem Orienti. montis Quindío, 3 mar 1876, *André* 1974 [fl.], (Isotipo de *Chamaecrista andreana*).

6b. Chamaecrista glandulosa (L.) Greene var. *flavicomis* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 788. 1982.

Localidad del tipo: “Crescit prope fluvium Orinoci”.

Chamaecrista arborescens Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 186. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Norte de Santander “Open hillside Culaga Valley, north of Toledo, 4 mar 1927, Killip & A.C. Smith 20146 (Holotipo NY; Isotipo A, F, GH, K US.).

Nombre común: Canguala.

Hábito: Hierbas subfruticulosas, arbustos y algunas veces pequeños arboles.

Distribución y hábitat: De amplia distribución desde México a Bolivia. En K se encuentran ejemplares para los departamentos de Antioquia, Cauca, Magdalena, Norte de Santander y Valle del Cauca; habitando áreas abiertas desde los 300 a 2650 m de altitud.

Ejemplares examinados en K: **Antioquia:** Medellín, dic 1947, *Sandeman* 5526 [fl., fr.]. **Cauca:** Popayán, 1906®, *F.C. Lehmann s.n.* [fl., fr.]. Prov. de Popayán, La Horqueta, 1851 – 1857, *Triana s.n.* [fr.]; Prov. de Cauca, Valle del Cauca, 1851–1857, *Triana s.n.* [fl.]; **Magdalena:** Sierra Nevada de Santa Marta, southeastern slopes: Hoya del río Donachuí, Cancurúa, fields and forest, 10 oct 1959, *Cuatrecasas & Romero–Castañeda* 24699 [fl., fr.]; **Norte de Santander:** open hillside, Culagá Valley, near Tapatá north of Toledo, 3–8 mar 1927, *Killip & A.C. Smith* 20146 [fr.], (Isotipo de *Chamaecrista arborescens*). **Valle del Cauca:** Western Cordillera at Versailles, 29 abr 1919®, *Dawe* 1818, 1819 [fl.]; Naranjo, río Dagua (And Occid.) 1 abr 1876, *André* 2514 [fl.]; río Quilcase in alta valle flum. Cauca, 20 abr 1876, *André* 2814 [fl., fr.]. Pavas, open hills north of Pavas, Cordillera Occidental, *Pennell* 5477 [fl.]. “Prov. de Cauca, Valle del Cauca”, 1851 – 1857, *Triana* 4390 [fl.]; Auf Playa, las Juntas del Dagua, Cauca, jul 1893, *F.C. Lehmann* 4392 [fl., fr.]. **Localidad desconocida:** Colombia, 1867®, *Lobb* 243 [fl., fr.].

6c. Chamaecrista glandulosa (L.) Greene var. *tristicula* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 793. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Cassia tristicula Kunth, Nov. Gen. & Sp. 6(qu): 367. 1824. **Tipo:** Colombia, “in Regno Novo – Granatensis, prope Fusagasugam, alt 940 hex” (Holotipo P; Isotipo B).

Hábito: Plantas herbáceas y pequeños arbustos.

Distribución y hábitat: *Chamaecrista glandulosa* var. *tristicula* es una especie endémica de Colombia, aparentemente restringida la vertiente occidental de la cordillera Oriental,

departamento de Cundinamarca donde habita áreas abiertas y zonas rocosas entre los 450 y 2000 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: Anolaima, 30 ene 1883, *F.C. Lehmann* 2505 [fl., fr.]; Cachipay.– Girardot – Bogotá railway, abr 1921, *Tracey* 396 [fl., fr.]; Prov. de Bogotá, Cáqueza, 1851–1857, *Triana s.n.* [fl.]; Prov. de Bogotá, Cujio et Viota, 1851–1857, *Triana s.n.* [fl., fr.]; Fusagasugá, 6 feb 1876, *André* 1398 [fl., fr.]; Prov. de Bogotá, Fusagasugá, 1851 – 1857, *Triana s.n.* [fl., fr.]; Near the village of Tena in the province of Bogotá, 1854®, *s.c.* [fl., fr.]; Teva Pr. Tequendama, 14 dic 1853, *Holton s.n.* [fr.]; **Localidad desconocida:** Colombia, 1867®, *Hartweg* 961 [fl., fr.]. Villavicencio? s.f., *Andre s.n.* [fl.].

7. *Chamaecrista hispidula* (Vahl) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 661. 1982.

Localidad del tipo: “Habitat in America meridionali”.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: México, Centro América, Cuba, Colombia, Brasil y Venezuela. Habita en sabanas, áreas con poca cobertura vegetal, márgenes de río y áreas xerofíticas, entre los 100 y 400 m. de altitud. Se dispone de muy poca información sobre su hábitat en Colombia.

Ejemplar examinado en K. Cesar: Prov. de Ocaña, Aguachica, 1846–1852, *Schlim* 268 [fl.].

8. *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench, Meth. Pl. Hort. Bot. Marburg: 272. 1794.

Nota: Irwin & Barneby (1982b) reconocieron cuatro subespecies de *Chamaecrista nictitans*. La subespecie *brachypoda* se distribuye entre Brasil, Paraguay y Bolivia; en tanto que las subespecies *disadena*, *nictitans* y *patellaria* crecen desde el centro de México y las Indias Occidentales hasta Argentina.

8a. *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench subsp. *nictitans*

Localidad del tipo: ESTADOS UNIDOS “Habitat in Virginia”.

8a1. *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench subsp. *nictitans* var. *jaliscensis* (Greenman) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 834. 1982.

Cassia riparia Kunth, Nov. Gen. & Sp. 6: 369. 1824. *Chamaecrista riparia* (Kunth) Britton, Bull. Torr. Club 44: 11. 1917. **Tipo:** Colombia, departamento de Bolívar “in ripa fluminis Magdalenae, prope Mompox”. (Holotipo P).

Hábito: Hierbas y pequeños arbustos.

Distribución y hábitat: Ampliamente distribuida desde México hasta Colombia, Ecuador, Argentina y Cuba. Habita en sabanas, áreas intervenidas y a lo largo de vías y caminos. En Colombia se ha registrado en el bosque muy húmedo tropical (*sens. Holdridge*, 1977).

Ejemplares examinados en K. Magdalena: Santa Marta, 1898–1901, *H.H. Smith* 275 [fl.], 2537 [fr.]. **Valle del Cauca**, municipio Buenaventura, community of San Isidro, secondary vegetation along unpaved road from San Isidro to Juanchaco and in dense secondary forest, 15 nov 1979, *van Rooden et al.* 618 [fl., fr.].

Nota: Irwin & Barneby (1982b) reconocieron cuatro variedades de *Chamaecrista nictitans* subsp. *nictitans*. La variedad *aspera* se distribuye en la costa Atlántica desde el sur de Carolina hasta la Florida en Estados Unidos; la variedad *diffusa* crece en toda la región Caribe; la variedad *mensalis* habita en el sur de Estados Unidos y norte de México la variedad *jaliscensis* se distribuye en Cuba, Jamaica, México hasta NW. de Perú y Occidente de Argentina, y la variedad *nictitans* es endémica de Estados Unidos.

8b. *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench subsp. *patellaria* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 814. 1982.

8b1. *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench subsp. *patellaria* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby var. *paraguariensis* (Chod. & Hassl.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 815. 1982.

Localidad del tipo: PARAGUAY.

Chamaecrista browniana Britton & Rose, N. Amer. Fl. 23(5): 293. 1930. **Tipo:** Colombia, departamento de Cundinamarca “between Quetame and Susumuco”, 24 ago 1917, *Pennell* 1351. (Holotipo NY).

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: Centroamérica, Colombia, Brasil, Venezuela, Bolivia y Paraguay. Habita la región Andina de Colombia en el valle del río Magdalena, hasta los 2000 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Tolima: San Agustín, 24 mar 1899, *Sprague* 257 [fl.]; Líbano loan hill, 11 dic 1917, *Pennell* 2934 [fr.]; río Páez – río Ullucos, mar 1890, *F.C. Lehmann* 5365 [fr.]. **Norte de Santander:** Prov. de Ocaña, environs de Ocaña, 1850, *Schlim* 106 [fr.].

8b2. *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench subsp. *patellaria* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby var. *ramosa* (Vog.) H.S.

Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 818. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: México, Venezuela, Brasil, Cuba y Jamaica. En Colombia habita en zonas intervenidas, sabanas, márgenes de vías y caminos y áreas cercanas a cuerpos de agua, puede encontrarse hasta el nivel del mar hasta los 2000 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de San Jerónimo; km 10 of road San Jerónimo-Medellín, 19 sep 1987, *Zarucchi et al.* 5417 [fl.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898-1901, *H.H. Smith* 274 [fl.], 707 [fl.]. **Norte de Santander:** Prov. de Ocaña, Ocaña, 1850, *Schlim* 174 [fr.]; **Valle del Cauca:** Calima valley, NW. of Restrepo, 5 jul 1962, *Robinson* 33 [fr.]; entre Madroñal y Buenaventura, margen de la carretera entre selva dañada km 14–19, 22 feb 1969, *Cuatrecasas & Patiño* 27475 [fr.]; Santa Rosa, Dagua valley, 22 sep 1922, *Killip* 11535 [fr.].

9. *Chamaecrista parvistipula* (Benth.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 704. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: Brasil y Colombia. En K existen registros para el departamento del Vichada en Colombia, donde esta especie crece en áreas abiertas o bosques intervenidos.

Ejemplar examinado en K. Vichada: Parque Nacional Natural “El Tuparro” ca. 11 km NE. of El Tapón, on road to Centro Administrativo, open recently–burned savanna, 18 mar 1985, *Zarucchi & Barbosa* 3748 [fl.].

10. *Chamaecrista pilosa* (L.) Greene, Pittonia 4(20): 28. 1899.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: México, Centro América, Indias Occidentales, Colombia, Venezuela, Trinidad y Brasil; introducida en Estados Unidos. En K se tienen registro de esta especie para la región Caribe de Colombia, habitando áreas abiertas hasta los 300 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Atlántico: Sabanilla, 5 oct 1922, *Pennell* 12071 [fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 11 jul 1903®, *H.H. Smith* 276 [fl., fr.]. **Localidad desconocida:** seashore near Colombia, 26 ene 1857, *Teueren!* 2229 [fl., fr.].

11. *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene, Pittonia 4:31. 1899.

Nota: Irwin & Barneby (1982b) reconocieron dos variedades de *Chamaecrista rotundifolia*: la var. *rotundifolia* y la var. *grandiflora*. Ambos taxones presentan una amplia distribución desde Centroamérica hasta Argentina.

11a. *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene. var. *grandiflora* (Benth.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 731. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Hierbas, pueden alcanzar hasta 3 m.

Distribución y hábitat: Centro América, Colombia, Las Guayanas, Ecuador, Brasil, Paraguay y Argentina. Habita en sabanas, en los alrededores de vías y caminos.

Ejemplares examinados en K. Tolima: Auf Savaneu jau Wejeu um Neiva, 3 ene 1883, *F.C. Lehmann* 2373 [fl., fr.]; La Plata, Tolima, oct–nov, sin año, *F.C. Lehmann* 8479 [fr.]; La Plata, Tolima, mar 1901, *B.T. Lehmann* 1054 [fr.].

11b. *Chamaecrista rotundifolia* (Pers.) Greene. var. *rotundifolia*

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: Desde Sur de Estados Unidos hasta Argentina. Habita en sabanas, en los alrededores de vías y caminos y algunas veces en las orillas de ríos y quebradas.

Ejemplar examinado en K. Huila: north of Neiva at outskirts of city, upper basin of río Magdalena, 10 jun 1950, *S.G. Smith* 1122 [fr.].

12. *Chamaecrista serpens* (L.) Greene, Pittonia 4(20): 29. 1899.

Localidad del tipo: “hábitat in Jamaica”.

Hábitat: Hierbas.

Distribución y hábitat: Desde el suroeste de Estados Unidos hasta el norte de Argentina. Habita en sabanas abiertas y áreas desforestadas o intervenidas.

Ejemplares examinados en K. Magdalena: Santa Marta, near sea level, 11 jul 1903®, *H.H. Smith* 67 [fr., fl.]. **Tolima:** cerca de Piedras, in aolium petruca arida, 1 mar 1876, *André* 1919 [fl., fr.]; Prov. Ibagué, ad vedem Orient. montis Quindío in arenosis, 3 mar 1876, *André* 1980 [fl.].

13. *Chamaecrista trichopoda* (Benth.) Britton & Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 185. 1936.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Hierbas perennes o de corta duración.

Distribución y hábitat: Bolivia, Brasil, Colombia y Venezuela. En K se ha registrado en la zona cálida de la costa norte de Colombia, cerca del nivel del mar.

Ejemplar examinado en K. Magdalena, Santa Marta, jul 1903®, *H.H. Smith 709* [fr.].

14. *Chamaecrista viscosa* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 661. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo)

Cassia viscosa Kunth, Nov. Gen. & Sp. 6(qu): 360. 1823.
Grimaldia viscosa (Kunth) Britton & Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 187. 1936.
Tipo: Colombia. Mesa de Cuello, near Contreras, and Ibagué.

Hábito: Arbustos y subarbustos, con un eje o ramificados desde la base.

Distribución y hábitat: Departamentos de Cundinamarca, Meta y Vichada. Crece entre los 100 y 1800 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: Prov. de Bogotá, Lomas de Viota, 1851 – 1857, *Triana s.n.* [fl.]; entre Quetame et Caqueza, in declis. Orient. And. Bogotá, 31 oct 1875, *André 867* [fl., fr.]. **Meta:** Villavicencio, 21 ene 1899, *Sprague 96* [fl.]. **Vichada:** Parque Nacional Natural “El Tuparro” El Tapón, recently–burned savanna (burned ca. 13 February) 21 mar 1985, *Zarucchi & Barbosa 3818* [fl.].

21. SENNA [K. Bauhin] Miller, Gard. Dict. , Abr. ed. 4, 3. 1754.

Especie tipo: “*Senna alexandrina* sive foliis acutis Caspar Bauhin Pinax 397” =*Senna alexandrina* Mill., 1768.

1. *Senna aculeata* (Benth.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 478. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Arbustos espinosos, hasta 3 m.

Distribución y hábitat: Brasil, Bolivia, Paraguay, Venezuela y Colombia. Habita en sabanas y áreas de inundación.

Ejemplar examinado en K. Cesar: near lake Zapatosa, Magdalena valley, Chimiguana on savanna, jul 1924, *Allen 96* [fl.].

Nota: Irwin & Barneby (1982b) y **Barneby** (1998) no incluyeron dentro de la distribución geográfica de *Senna aculeata* a Colombia.

2. *Senna alata* (L.) Roxb., Fl. Ind., ed. 1832. 2: 349. 1832.

Localidad del tipo: “Habitat in America calidiore”.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles, hasta 3 m., ampliamente ramificados.

Distribución y hábitat: de amplia distribución en toda América, y actualmente circuntropical. Habita en los bosques de galería, en los bancos de arena que forman los ríos, y en las sabanas.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: Municipio de Tarazá, corregimiento “El 12”, vía El 12 – Barrancoblanco, finca Las Mercedes, 14 dic 1986, *Callejas et al. 3200* [fl.]. **Chocó:** río Taparal off río San Juan, 27 ago 1962, *Bridge-man 355* [fl.]. **Localidad desconocida:** par tout dans la région chaude, 1851–1857, *Triana s.n.* [fl., fr.].

3. *Senna atomaria* (L.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 589. 1982.

Localidad de tipo: “Hatitat in América”.

Hábito: Arbustos subarborescentes, deciduos o semideciduos.

Distribución y hábitat: Occidente y suroeste de México, Centro América, Indias Occidentales y norte de Colombia. Habita en el bosque seco tropical de Colombia, desde el nivel del mar hasta los 300 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Bolívar: municipio de Cartagena, ca. 12 km SW. of crossing of Canal del Dique at Pasacaballos, Isla Barú, 6 ago 1985, *Zarucchi & Cuadros 3933* [fr.]; municipio de San Jacinto, 8 km from San Jacinto on road to cerro Maco, 8 ago 1985, *Zarucchi 4067* [fr.]. **La Guajira:** Guajira península, 31 mar 1917, *Dawe 592* [fl.], 2 dic 1916, *Dawe 519* [fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898–1901, *H.H. Smith 20* [fl., fl.]; Prov. de Santa Marta, Santa Marta, 1852, *Schlim 941* [fl., fr.].

4. *Senna bacillaris* (L. f.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 111. 1982.

Localidad del tipo: “habitat in Surinamo”.

4a. *Senna bacillaris* (L. f.) H.S. Irwin & Barneby var. *bacillaris*, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 113. 1982.

Hábito: Arbustos subarborescentes, hasta 8 m.

Distribución y hábitat: Centro América, Antillas, norte de Colombia, Trinidad Tobago, Guyana, Surinam. Guayana Francesa, Brasil. Habita en bosques de galerías y sabanas y márgenes de bosques.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de San Rafael 3.1 km E. of San Rafael, along Guatapé – San Rafael road, margin secondary forest ca. 0.5 km N. of road, 26 oct 1987, *Brant & Roldan 1524* [fr.]. **Boyacá:** Region of Mt. Chapon, extreme west part of Dept. of Boyacá north-west of Bogotá, forest edge El Humbo (“El Umbo region”) 26 sep 1932, *Lawrance 475* [fr.]. **Cesar:** along watercourse near Codazzi, 3 oct 1947, *Haught 3712* [fl.]; Prov. de Ocaña, Aguachica, 1846–1952, *Schlim 291* [fl.]. **La Guajira:** On río Rancheria, near Barrancas, 11 feb 1944, *Haught 3985* [fl., fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1998–1901, *H.H. Smith 700* [fl., fr.].

4b *Senna bacillaris* (L. f.) H.S. Irwin & Barneby var. *ben-thamiana* (J.F. Macbr.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 114. 1982.

Localidad del tipo: PERÚ.

Nombre común: Chocho

Hábito: Arbustos subarborescentes, hasta 8 m.

Distribución y hábitat: Centro América, Antillas, norte de Colombia, Trinidad, Tobago, Las Guayanas, Brasil. Habita en bosques riparios, bancos de arena formados por los ríos y áreas de inundación, bosques de galerías y sabanas, así como en los bordes de bosques. En Colombia se ha registrado en el bosque húmedo tropical (*sens. Holdridge, 1977*), en la región Andina y la Amazonia, desde el nivel del mar hasta los 1800 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: valle of the río Anorí between Dos Quebradas and Anorí, Planta Providencia and vicinity, slope above hydroelectric station, 28 sep 1984, *Zarucchi 3270* [fl., fr.]; Segovia, 7 dic 1947, *Sandeman 5588* [fl.]. **Caquetá:** región de Florencia, Morelia, vereda de Santander entre selva en quebradas del río Bodoquero, 19 ene 1969, *Cuatrecasas & Soderstrom 27202* [est.]. **Cundinamarca:** La Esperanza, 18 abr 1932, *Cuatrecasas 3160* [fr.]; near Caqueza, ene 1943, *Schultes 5706a* [fl.]. **Meta:** Prov. de Bogotá, Villavicencio, 1851 – 1857, *Triana s.n.* [fl.]; Villavicencio, 24 ene 1899, *Sprague 138* [fl.]; Llanos – Meta, mar 1938, *Sandeman 5904* [fl.]. **Tolima:** Dolores, s.f. *F.C. Lehmann 7343* [fl.]. **Santander:** vicinity of “Barranca Bermeja”, Magdalena Valley between Sogamos and Colorado River, camp. Zarzal, 10 dic 1934, *Haught 1450* [fl.]. **Vaupés:** Mitú and vicinity, along airstrip in Mitú, 2 sep 1976, *Zarucchi 1937* [fl.].

5. *Senna bicapsularis* (L.) Roxb., Fl. Ind. ed. 1832, 2: 342. 1832.

5a. *Senna bicapsularis* (L.) Roxb. var. *bicapsularis*

Localidad del tipo: “hábitat in India”

Hábito: Arbustos.

Distribución y hábitat: Panamá, Indias Occidentales, Colombia, Trinidad, Las Guayanas, Brasil y Venezuela; naturalizada en varios lugares de Suramérica. Los registros de Colombia en K indican que esta especie crece en áreas cálidas y secas; algunas veces crece cerca a los cuerpos de agua.

Ejemplares examinados en K. Magdalena: Damp soil along stream, on highway 28 km south of Riohacha, 9 dic 1944, *Haught 4486* [fl.]; Santa Marta, 1898–1901, *H.H. Smith 256* [fl.]. **La Guajira:** Maicao, 22 mar 1939, *Handbury–Tracy 290* [fl.].

Nota: Irwin & Barneby (1982a) y Barneby (1998) reconocieron 2 variedades de *Senna bicapsularis*. En Colombia crece la variedad *bicapsularis*; en tanto que la variedad *augusti* crece desde el sur de Ecuador hasta el sur de Perú.

6. *Senna dariensis* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 128. 1982.

Nota: Irwin & Barneby (1982a) reconocieron 4 variedades de *Senna dariensis*. Las variedades *dariensis* y *gatunensis* habitan en Costa Rica, Panamá y Colombia; la variedad *hypoglauca* parece estar restringida a Panamá y la variedad *smaragdina* habita entre Ecuador y Colombia.

6a. *Senna dariensis* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby var. *dariensis* Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 130. 1982.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Chamaefistula bolivarensis Britton & Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 176. 1936.

Tipo: Colombia, departamento de Bolívar, Tierra Alta, río Sinú, 7–10 mar 1918, *Pennell 4666* (Holotipo NY; Isotipo US).

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 18 m.

Distribución y hábitat: Región boscosa entre Panamá y Colombia. Se ha registrado en las riveras de los ríos y bosques húmedos hasta los 530 m. de altitud.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: roadside (secondary-growth) 8 km east of Turbo, 6 abr 1945, *Haught 4546* [fl., fr.].

6b. *Senna dariensis* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby var. *gatunensis* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 131. 1982.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 18 m.

Distribución y hábitat: Colombia, Panamá y Costa Rica. No se dispone de suficiente información sobre el hábitat de esta especie. Se ha reportado creciendo en áreas boscosas y cercanas a los cuerpos de agua.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: municipio de Anorí, Providencia–Toma de Algibes, a lo largo del río Anorí, 12 jul 1987, *Callejas et al.* 4574 [fl.].

6c. *Senna dariensis* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby var. *smaragdina* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 133. 1982.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 18 m.

Distribución y hábitat: Colombia y Ecuador. Se conoce su distribución en el sur de Colombia, departamento de Nariño, donde crece en los bosques bien conservados, en remanentes de bosques intervenidos y en bosques de galerías, cerca a la costa.

Ejemplar examinado en K. Nariño: Tumaco, roadside (secondary–growth) 8 km east of Turbo, s.f. *Haid!* 1841 [fr.].

7. *Senna hayesiana* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 133. 1982.

Localidad del tipo: PANAMÁ.

Chamaefistula acuminata Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 172. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Antioquia, “Independence Park Medellín”, mar 1927, *Toro* 61. (Holotipo: NY).

Chamaefistiula subcoriacea Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 174. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Santander, “Upper Río Lebrija Valley”, 29 dic 1926, *Killip y A.C.Smith* 16276. (Holotipo: NY).

Chamaefistiula apiculata Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 175. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Antioquia, “Titiribí, vicinity of Medellín”, 20 ago 1927, *Toro* 419. (Holotipo: NY).

Cassia racemosa Mutis, Diario 2: 370. 1958. **Tipo:** Colombia, departamento de Tolima, Mariquita.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Desde el norte de México hasta Colombia, y el NW. de Venezuela. Los registros de K para Colombia indican que esta especie habita en los departamen-

tos de Antioquia, Cesar, Magdalena, Norte de Santander y Santander; en ecosistemas de bosque seco tropical, bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo tropical (*sens.* **Holldridge**, 1977), en zonas abiertas, o en márgenes de bosques, desde el nivel del mar hasta los 1200 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: El Bagre, along road near airport, secondary vegetation, 23 sep 1984, *Zarucchi* 3257 [fl.]; municipio de Cáceres, kms 10–15 SE. de Cáceres, sobre la troncal La Paz, 5 nov 1987, *Callejas et al.* 5366 [fl.]; municipio de Cáceres, 13 km W. of El Jardín, finca El Amparo, old secondary forest with few primary remnants, 23 nov 1986, *Zarucchi & Cárdenas* 4219 [fl.]; municipio de Liborina, carr. Liborina–Sabanalarga, 3 km N. de Liborina, 8 mar 1986, *Callejas et al.* 2230 [fl.]; municipio de Tarazá, corregimiento “El 12” vía El 12 – Barroblanco, finca Las Mercedes, 14 dic 1986, *Callejas et al.* 3199 [fl.]; municipio de Mutatá, sitio Aguas Claras, 3.5 km N de Mutatá, bosque primario a la margen derecha de la vía, 20 nov 1987, *Callejas et al.* 5712 [fl.]. **Cesar:** Ocaña to Pamplona, Río de Oro, 23 ago 1878, *Kalbreyer* 695 [fl.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith* 253 [fl., fr.]; Santa Marta, 1844, s.c., [fl.]; SitioNuevo – Magdalena valley, nov 1875, *André* 215 [fl.]. **Norte de Santander:** Prov. de Ocaña, environs de Ocaña, 1850, *Schlim* 6 [fl.]. **Santander:** en los alrededores de Lebrija, en suelos secos y pedregosos, 28 ago 1948, *Araque–Molina* 352 [fl.].

8. *Senna hirsuta* (L.) H.S. Irwin & Barneby, Phytologia 44(7): 499. 1979.

Localidad del tipo: “Habitat in America”.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: Centro y sur América. Los registros de K indican que esta que en la especie crece entre los 700 y 1800 m. de altitud, en áreas expuestas y cerca a cuerpos de agua.

Ejemplares examinados en K. Cauca: Popayán, s.f., *F.C. Lehmann* 5511 [fl.]; río Páez, s.f., *F.C. Lehmann* 5364 [fl.]. **Cundinamarca:** Fusagasuga, And. Or., 4 feb 1876, *André* 1479 [fl.]. La Mesa, abr 1948, *Sandeman* 5926 [fl., fr.].

9. *Senna huilana* (Britton & Rose ex Britton & Killip) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 196. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Chamaefistula huilana Britton & Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 172. 1936. **Tipo:** Colombia. Departamento de Huila, “Cordillera Oriental,

east of Neiva, Huila”, 2000-2500 m., ago 1-8 1917, *Rusby & Pennell 639* (Holotipo NY).

Chamaefistula micradenia Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 176. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento del Tolima “in forest La Virginia, Libano”, 22 dic 1917, *Pennell 3278*. (Holotipo NY).

Hábito: Arbustos, hasta 3 m.

Distribución y hábitat: *Senna huilana* es una especie endémica de Colombia, donde habita la región Andina en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Santander, Tolima, y en la región Pacífica del departamento de Valle del Cauca. Se conoce muy poco sobre esta especie, pero los registros de K indican que habitaba en zonas boscosas bien conservadas cerca de los cuerpos de agua, y en los bordes de bosques, entre los 300 y 1800 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: Prov. Antioquia, río Verde, 18 jul 1880, *Kalbreder 1774* [fl.]. **Cundinamarca:** Prov. de Bogotá, Viota, 1851-1857, *Triana 4385* [fl.]. **Valle del Cauca:** Las Juntas del Dagua, Buenaventura, s.f., *F.C. Lehmann 5360* [fl.].

10. *Senna italica* P. Miller, Gard. Dict. ed. 8, no. 2, 1768.

Localidad del tipo: No establecido.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: nativo de África, pero bien establecido en las regiones costeras de Colombia.

Ejemplares examinados en K. La Guajira: municipio de Uribia, corregimiento Puerto Bolívar, orillas del mar, y alrededores del Puerto Bolívar, 6 may 1988, *Roldan et al. 1035* [fr.].

11. *Senna macranthera* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 181. 1982.

Localidad de tipo: BRASIL.

Nota: Irwin & Barneby (1982b) reconocieron 16 variedades de *Senna macranthera*, de las cuales las variedades *macranthera*, *nervosa*, *micans*, *striata*, y *pudibunda* habitan en Brasil. La variedad *lindenii* es endémica de Colombia, la variedad *quadrifoliolata* habita en Venezuela y la variedad *andina* está restringida a Perú.

11a. *Senna macranthera* (Collad.) H.S. Irwin & Barneby var. *lindenii* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 187. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento de Boyacá, municipio de Soatá (Tunja), 1842-43, *Linden 1336* [fl.] (Holotipo K).



Figura 17. Holotipo de *Senna macranthera* var. *lindenii* un taxón endémico de Colombia.

Hábito: Arbusto y árboles, hasta 9 m.

Distribución y hábitat: *Senna macranthera* var. *lindenii* es un taxón endémico de Colombia. Crece en la región Andina entre los departamentos de Santander, Cundinamarca y Boyacá.

Ejemplar examinado en K. Boyacá: Prov. Tunja, Soatá, 1843-1843, *Linden 1336* [fl.] (Holotipo).

12. *Senna macrophylla* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 137. 1982.

12a. *Senna macrophylla* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby var. *gigantifolia* (Britton & Killip) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 139. 1982.

Localidad del tipo: PERÚ.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 9 m.

Distribución y hábitat: Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil. Los registros de K para Colombia indican que habita en la región Amazónica, en el bosque húmedo tropical (sensu Holdridge, 1977), en bosques secundario y bosques de galerías; entre los 200 y 600 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Caquetá: Araracuara, bosque secundario terrazas bajas, 18 mar 1993, *Vester & Matapi 762* [fl.]; río Caquetá, Araracuara, bosque secundario, 9 sep 1991, *Vester 518* [est.]. **Putumayo:** along río Mocoa, above

the confluence with río Putumayo, 7 ago 1964, *Soejarto et al.* 1248 [fl.]. **Vaupés:** tropical rain forest trail from río Vaupés to Cerro Mitú, 21 mar 1970, *Soejarto & Lockwood* 2477 [est.].

12b *Senna macrophylla* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby var. *macrophylla* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 140. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo)

Cassia macrophylla Kunth. 1822–3, II. cc. **Tipo:** Colombia, “Crescit in ripa fluvii Sinu, prope Carthagera (Regno Novo–Granatensis) (Holotipo P; Isotipo NY).

Chamaefistula hazenii Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 172. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Caldas, “In forest La Palmita, west of Armenia, 1100–1300 m, 23 jul 1922, *Pennell, Killip & Hazen* 8613. (Holotipo US; Isotipo NY).

Nombre común: Caña–fistula de monte.

Hábito: Arbusto.

Distribución y hábitat: Colombia, Venezuela y Panamá. Crece en áreas abiertas y en las márgenes de los ríos y bancos de arena, entre los 300 y 1700 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Boyacá: Region of Mt. Chapon, extreme western part of Dept. Boyacá, north–west of Bogotá, 28 jul 1932, *Lawrance* 364 [fl.]. **Cauca:** La Paila, 29 abr 1853, *Holton* 980 [fl.]. **Cundinamarca:** Prov. de Bogotá, El Hospicio?, 1851–1857, *Triana* 4384 [fl.]; Viota, And. Or. 19 feb 1876, *André* 1811 [fl.]. **Huila:** San Agustín, 25 mar 1899, *Sprague* 288 [fl.]. **Localidad desconocida:** “Colombia”, s.f., *F.C. Lehmann* 6679 [fl.]; Junara, s.f., *F.C. Lehmann* 3286 [fl.].

Nota: Irwin y Barneby (1982a) reconocieron dos variedades de *Senna macrophylla*, la var. *macrophylla* y la var. *gigantifolia*. Ambas variedades crecen en el norte de Suramérica.

13. *Senna multiglandulosa* (Jacq.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 357. 1982.

Localidad del tipo: Cultivada.

Cassia tomentosa L. Suppl. Pl. 231. 1781. **Tipo:** Colombia, “hábitat in America meridionali, *Mutis*” (Holotipo enviado a Linneo por José Celestino Mutis LINN 528/23).

Nombre común: Alcaparro.

Hábito: Hierbas altas.

Distribución y hábitat: México, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Crece en áreas abiertas, desde los 200 a 2600 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: Bosque bajo la cumbre cerca de Santa Helena, camino entre Medellín y Rionegro, oct 1944, *Robledo & Aztralaga* 18 [fl.]. **Cauca:** Silvia, 25 ago 1881, *F.C. Lehmann* 935 [fl.]. **Cundinamarca:** sabana de Bogotá, 30 sep 1916, *Dawe* 220 [fl.]; Prov. de Bogotá, plateau de Bogotá, 1851 – 1857, *Triana* 224 [fl.]; Bogotá, sabana, 1917, *Tracey* 295 [fl.]; Fontinbon, Prov. Bogotá in alta planitie, 30 ene 1876, *André* 1283 [fl.]; sabana de Bogotá, Ciudad Universitaria, jardines del Instituto de Ciencias Naturales, 6 ene 1969, *Cuatrecasas* 27019 [fl.]. **Putumayo:** Valley of Sibundoy, Sibundoy, 29 may 1946, *Schultes & Villareal* 7642 [fl.].

14. *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 492. 1982.

Localidad del tipo: Guayana Francesa.

14a. *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby subsp. *lindleyana* var. *peregrinatrix* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 499. 1982.

Hábito: Árboles

Distribución y hábitat: Originario de Brasil, pero naturalizado en Venezuela y Colombia.

Ejemplar examinado en K. Cesar: edge of forest, about 15 km north of Becerril, 23 sep 1943, *Haught* 3698 [fl.].

Nota: Irwin y Barneby (1982b) reconocieron 3 subespecies de *Senna multijuga*. La subespecie *doylei* es nativa de México; la subespecie *multijuga* presente dos variedades (var. *multijuga* y var. *verrucosa*) que habitan en Brasil, Bolivia, Colombia, y Venezuela; y la subespecie *lindleyana* presenta dos variedades: la var. *lindleyana* y *peregrinatrix*, ambas nativas de Brasil.

15. *Senna mutisiana* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 512. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Cassia mutisiana Kunth, Mimoses 142. 1824. **Tipo:** Colombia, “Crescit in Regno Novo – Granatensis”.

Nombre común: Copo, bio.

Hábito: Subarbustos.

Distribución y hábitat: Colombia y Venezuela. Aparentemente crece en la región Andina colombiana desde el departamento de Hila hasta Norte de Santander.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: Giraldo, km 27 of road Cañasgordas–Santa Fé de Antioquia, disturbed roadside, 7 nov 1988, *Zarucchi et al.* 7235 [fl.]; Giraldo, mu-

incipio de Manglares, 8 km N. de Manglares, vía Santa Fé – Mutatá, 18 nov 1987, *Callejas et al.* 5620 [fl.]; Santa Fé de Antioquia, vía Uramita – Santa Fé de Antioquia 13 km de Uramita, 7 ago 1987, *Callejas et al.* 5123 [fl., fr.]; Provincia Antioquia, Medellín, 29 sep 1880, *Kalbreyer* 1737 [fl.]. **Cundinamarca:** Cordillera Oriental, 5 km S of Ubaque, 17 jun 1944, *John* 20512 [fl.]; Prov. Bogotá, Ubaque, 18 jun 1880, *Holton s.n.* [fl.]; Prov. de Bogotá, la versante Occiden. des Andes de Bogotá, 1851–1857, *Triana s.n.* [fl., fr.]; between the village of Villeta and Guaduas in the province of Bogotá. s.f., *Hartweg* 960 [fl., fr.]; Quesame, Bogotá, jul 1897, *F.C. Lehmann* 8763 [fl., fr.]. **Norte de Santander:** Prov. de Ocaña, Ocaña, 1850, *Schlim* 186 [fl.].

16. *Senna occidentalis* (L.) Link, Handb. 2: 140. 1831.

Localidad del tipo: “Habitat in Jamaica”.

Hábito: Hierbas.

Distribución y hábitat: Ampliamente distribuida en América. En K se encuentran registros de diferentes departamentos de la región Andina y Caribe de Colombia entre los 600 y 1600 m. de altitud. Crecen en áreas abiertas y cerca de los cuerpos de agua.

Ejemplares examinados en K: **Antioquia:** Santa Fé de Antioquia, along road Santa Fé de Antioquia–Anzá, km 9 from crossing of río Tonuzco on way to Anzá, along west bank of río Cauca, 19 sep 1987, *Zarucchi* 5462 [fr.]. **Atlántico:** Barranquilla ad ostium flum. Magdalene, 2 oct 1875, *André* 205 [fr.]. **Cesar:** near lake Zapatosa, Magdalena Valley, Rincón Hondo, on savanna, 6 ago 1924, *Allen* 311 [fl., fr.]. **Cundinamarca:** Viota, in And. Oriental., dic 1875, *André* 1716 [fl.]; near the village of Villeta, in the Province of Bogotá, 1854 @, *Hartweg* 954 [fl., fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith* 70 [fl.]. **Valle del Cauca:** Tocota, Cali, 1906@, *F.C. Lehmann* 8988 [fl., fr.]. **Localidad desconocida:** Isla Brava (Magdalena), 8 oct 1875, *André* 340 [fr.]; partout dans la région Chaude, 1851–1857, *Triana s.n.*, [fl., fr.].

17. *Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 252. 1982.

Localidad del tipo: “Habitat in Cuba”.

Hábito: Hierbas y subarbustos.

Distribución y hábitat: Probablemente nativa de América pero actualmente con distribución circumtropical. En K se encuentran registros para las regiones húmedas de la región Caribe y Andina, desde el nivel del mar hasta los 300 m de altitud.

Usos: Se utiliza como sustituto del café.

Ejemplares examinados en K. **Antioquia:** municipio de Carepa, bosque de la estación experimental Tulenapa – Corpoica, 3 mar 2005, *Fonnegra et al.* 8899 [fl.]. **Cesar:** Near lake Zapatosa, Magdalena Valley, Chiriguana, on savana, ago 1924, *Allen* 90 [fl., fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith* 31 [fr.]; *H.H. Smith* 71 [fr.]. **Montería:** Córdoba, 28 sep 1969, *Anderson* 1804 [fl., fr.].

18. *Senna pallida* (Vahl) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 531. 1982.

18a. *Senna pallida* (Vahl.) H.S. Irwin & Barneby var. *pallida*

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Cassia pallida Vahl, *Ecol. Amer.* 3: 12. 1807. **Tipo:** Colombia. “hatitat ad St. Martham”. *Von Rohr s.n.* (Holotipo C!).

Hábito: Arbustos, subarborescentes, hasta 4 m.

Distribución y hábitat: Brasil, Venezuela, Colombia, Antillas Menores, México y Centro América. Los registros de K para Colombia indican que esta especie crece en zonas xerofíticas con poca vegetación, en los bordes de las zonas boscosas y en las márgenes de las vías y caminos; desde el nivel del mar hasta los 1100 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. **Bolívar:** Cartagena, 2 dic 1947, *Sandeman* 5501 [fl.]. **Cauca:** Río Guachicono, in *Silvis nolis Convalis aitae Caucanae*, 4 abr 1876, *André* 2744 [fl.]; Mercaderes, 31 oct 1946, *Haught* 5158 [fl.]; km 134 on road from Pasto to Popayán, 23 oct 1969, *B. Maguire & C. Maguire* 61878 [fl., fr.]. **La Guajira:** near Riohacha, 10 nov 1944, *Haught* 4428 [fl., fr.]. **Cauca:** río Guachicono, in *silvis nolis convallis aitae Caucanae*, 4 abr 1876, *André* 2744 [fl.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith* 249 [fl., fr.]. **Nariño:** Patia valley, s.f., *F.C. Lehmann* 7792 [fl., fr.]. **Localidad desconocida:** Greniadito, searis rivis flum. Magdalena, 5 oct 1875, *André* 223 [fl., fr.].

Nota: **Irwin & Barneby** (1982b) reconocieron 17 variedades de *Senna pallida*. La variedad *shreveana* habitan en México y Guatemala; las variedades *longirostrata*, *tuerckheimiana* y *foliolosa* habitan en Guatemala; la var. *quiedondilla* crece desde México hasta Nicaragua; la variedad *nemorosa* es nativa de Perú; la variedad *cordillerae* crece en Costa Rica y la variedad *bahamensis* habita en las Bahamas y Cuba. La variedad con el mayor rango de distribución geográfica corresponde a var. *pallida*, que crece en México, Centroamérica, Antillas Menores, Brasil, Colombia y Venezuela. El país con mayor cantidad de variedades endémicas

de *S. pallida* es México con 11 registros: *brachyrrhachis*, *delgadoana*, *gaumeri*, *geminiflora*, *goldmaniana*, *isthmica*, *lemniscata*, *macdougalliana*, *palmeri*, *trichocraspedon*, y *triquetripes*.

19. *Senna papillosa* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 125. 1982.

19a. *Senna papillosa* (Britton & Rose) H. S. Irwin & Barneby var. *angusta* (Britton & Killip) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 128. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Chamaefistula angusta Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 173. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento del Meta “Thickets near río Guatiquia, Villavicencio”, 1-2 sep 1917, *Pennell 1585*. (Holotipo NY).

Hábito: Subarbustos y árboles, hasta 10 m.

Distribución y hábitat: *Senna papillosa* var. *angusta* es un taxón endémico de Colombia. Crece en el departamento del Meta y en el occidente del departamento del Guaviare, región de la Orinoquia.

Ejemplar examinado en K. Meta: Villavicencio, roadside between airport and the town, 20 ago 1963, *Soejarto 562* [fl.].

19b. *Senna papillosa* (Britton & Rose) H.S. Irwin & Barneby var. *papillosa*

Localidad del tipo: MÉXICO.

Chamaefistula fluviatilis Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 172. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Santander, “In tickets along river, vicinity of Puerto Wilches”, 28 nov 1926, *Killip & Smith 14782* (Holotipo NY; Isotipo US).

Chamaefistula curranii Rose ex Britton & Killip Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 174. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Bolívar “vicinity of Estrella, caño Papa-yal, lands of Loba” abr-may 1916, *Curran 348* (Holotipo US).

Hábito: Subarbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: En Centro América se distribuye en México, Costa Rica, Nicaragua, Belice, Panamá, Colombia y Venezuela. Habita en zonas abiertas y en márgenes de bosques secundarios y primarios, así como cerca a los cuerpos de agua.

Ejemplares examinados en K. Cauca: Popayán, s.f., *F.C. Lehmann 8478* [fl.]. **Magdalena:** roadside near Codazzi, 2

nov 1943, *Haught 3799* [fl.]. **Cesar:** Near lake Zapatosa, Magdalena Valley, Rincón Hondo in forest, 18 ago 1924, *Allen 431* [fl., fr.]. **Quindío?:** La Balsa – Quindío (Cauca), 14 mar 1876, *André 2308* [fl.].

Nota: Irwin y Barneby (1982a) reconocieron dos variedades de *Senna papillosa*. La var. *papillosa* habita en centro América, Venezuela y Colombia y la var. *angusta* es endémica de Colombia.

20. *Senna pendula* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 378. 1982.

20a. *Senna pendula* (Willd.) H.S. Irwin & Barneby var. *advena* (Vogel) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 389. 1982.

Hábito: Subarbustos, pueden superar los 5 m.

Distribución y hábitat: En Centro América y el Caribe, Colombia y Venezuela. Los registros de Kew para Colombia indican que esta especie habita la región andina entre los 1500 a 2500 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: Medellín, 22 oct 1947, *Barkley 17c337* [fr.]. **Cauca:** Popayán, s.f., *F.C. Lehmann 5507* [fl.]; Chiribio, pass Gamba, Popayán, s.f., *F.C. Lehmann 7806, 7807* [fl.]; Prov. de Popayán, 1851–1857, *Triana 4399* [fl., fr.]. **Cundinamarca:** Cáqueza et Quetame in And. Orient., 31 oct 1875, *André 890* [fl.]. **Norte de Santander:** roadside 8–11 kms N of Pamplona on road to Cucuta, 11 may 1979, *Luteyn et al. 7642* [fl., fr.]; Prov. de Ocaña, San Pedro, 1846 – 1852, *Schlim 374* [fl.]. **Valle del Cauca:** La Paila, 17 mar 1853, *Holton 984* [fl.].

20b. *Senna pendula* (Willd.) H.S. Irwin & Barneby var. *pendula*

Localidad del tipo: “hatitat in America Meridionali”.

Hábito: Subarbustos.

Distribución y hábitat: Colombia, Brasil y Bolivia. Crece en la región Andina y Caribe hasta los 600 m. de altitud

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: Fusagasuga, in And. Bogotá, 5 feb 1876, *André 1476* [fl., fr.]; Fusagasuga, Quebrada Seca about 5 km from Fusa along road to Girardot, jun 1967, *Martin & Plowman 109* [fl.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith 699* [fl.].

21. *Senna pistaciifolia* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 641. 1982.

21a. *Senna pistaciifolia* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby var. *pistaciifolia*

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Cassia pistaciifolia Kunth, Nov. Gen. & Sp. 6(folio): 349 (“pistaciaefolia”), 1824. **Tipo:** Colombia, departamento del Cauca “Crescit locis montosis, inter urbem Popayán et Meneses” (Holotipo P–HBK, Isotipo B).

Chamaesenna colombiana Britton & Killip, Ann New York Acad. Sci. 35(3): 179. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Antioquia “vicinity of Medellín”, 5 feb 1928, Toro 866 (Holotipo NY).

Nombre común: Alcaparro.

Hábito: Subarbustos.

Distribución y hábitat: Crece entre Ecuador y Colombia. Habita en áreas de bosque intervenido.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de La Ceja, km 8 of road La Ceja–La Union, disturbed roadside vegetation, 2 oct 1987. *Zarucchi et al. 6121* [fl.]; Prov. de Antioquia, 1851 – 1857, *Triana s.n.* [fl., fr.]. **Cauca:** along road between Popayán and Munchique, 15 km E of Veinte de julio, 19 jul 1997, *Croat & Gaskin 80025* [fr.]; Popayán, s.f., *F.C. Lehmann 7793* [fl., fr.], 8539 [fl.]. **Risaralda:** municipio de Santa Rosa de Cabal, ca. 300 m. al E de Termales de Santa Rosa, 2 oct 1985, *Wolf 190* [fl.].

Nota: De las tres variedades de *Senna pistaciifolia* (var. *pistaciifolia*, var. *glabra* y var. *picta*) reconocidas por **Irwin y Barneby** (1982a), sólo la var. *pistaciifolia* crece en Colombia; las variedades restantes crecen entre Ecuador y Bolivia.

22. *Senna quinquangulata* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 153. 1982.

22a. *Senna quinquangulata* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby var. *quinquangulata*

Localidad del tipo: GUAYANA FRANCESA

Chamaefistula klugii Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 172. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento del Putumayo “Umbria”, 11 nov 1930, *Klug 1751* (Holotipo NY; Isotipo F, K, US).

Hábito: Arbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: De amplia distribución desde México hasta el SE. de Brasil. Crece en las orillas de los ríos y llega a ser abundante en las áreas intervenidas de bosque secundario.

Ejemplar examinado en K. Putumayo: Umbría, in forest, 11 nov 1930, *Klug 1751* [fl.] (Isotipo de *Chamaefistula klugii*).



Figura 18. Isotipo de *Chamaefistula klugii* (= *Senna quinquangulata* var. *quinquangulata*) Klug 1751, en el departamento del Putumayo.

22b. *Senna quinquangulata* (Rich.) var. *meizonoloba* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 156. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA, Chocó, 1 – 2 km SE of Yuto on road to Lloró (+/– 30 km S of Quibdó), *Gentry & Rentería 23782* (Holotipo NY; Isotipo MO).

Hábito: Arbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: *Senna quinquangulata* var. *meizonoloba* es un taxón endémico de Colombia, habita la región Pacífica, en el valle de los ríos Dagua y San Juan en el departamento del Chocó, y en el occidente del departamento de Antioquia. Crece en el bosque húmedo y muy húmedo tropical (*sens. Holdridge*, 1977).

Ejemplar examinado en K. Antioquia: municipio de Tarazá, corregimiento El 12, 210 km NE. de Medellín, vía El 12–Barrancoblanco km 3, 9 nov 1987, *Callejas et al. 5495* [fr.].

Nota: De acuerdo con **Irwin & Barneby** (1982a), *Senna quinquangulata* está conformada por dos variedades. En Colombia habita una variedad endémica: *S. quinquangulata*

var. *meizonoloba*; en tanto que la var. *quinguangulata* tiene un rango de distribución más amplio que va desde México hasta el SE. de Brasil.

23. *Senna reticulata* (Willd.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 458. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

Cassia strobilacea Kunth, Nov. Gen. Sp. 6: 347. 1824. **Tipo:** Colombia, departamento de Antioquia “Crescit in silvis ad ripam fluminis Magdalenae prope La Bocca de San Bartholome” (Holotipo P; Isotipo B).

Hábito: Arbustos arborescentes, hasta 8 m.

Distribución y hábitat: México, Centro América, Colombia, Trinidad, Las Guayanas, Ecuador, Perú, Brasil y Bolivia. Los registros de K indican que la especie habita en zonas boscosas y en los bosques de galerías de la región Andina colombiana, desde el nivel del mar hasta los 600 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de Carepa, bosque de la estación experimental Tulenapa – Corpoica, 3 mar 2005, *Fonnegra et al.* 8897 [fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith* 248 [fl., fr.]. **Cundinamarca:** Prov. de Bogotá, Tocaima, valle de Magdalena, 1851–1857, *Triana s.n.* [est.]. **Valle del Cauca:** Cartago ad rivas flum. de La Vieja, s.f., *André* 180 [fl., fr.]; La Paila, 1853, *Holton s.n.* [fl., fr.]; **Vaupés:** Mitú and vicinity, along río Vaupés at Mitú, 8 ago 1976, *Zarucchi et al.* 1876 [fr.]; Mitú and vicinity, along road near airport, 28 mar 1975, *Zarucchi et al.* 1101 [fr.].

24. *Senna robinii* (Benth.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 520. 1982.

Localidad del tipo: América tropical.

Peirania santanderensis Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 181. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Norte de Santander “between Pamplonita and Chinácota, río Pamplonita valley”, 17 mar 1927, *Killip & A.C. Smith* 20750 (Holotipo NY; Isotipos K, US).

Hábito: Árboles, hasta 8m.

Distribución y hábitat: Norte de Colombia, Venezuela, Pacífico de Ecuador y Cuba. Los registros de K indican que la especie crece en áreas intervenidas, zonas abiertas y sabanas, así como en las pendientes de las montañas de la región Andina colombiana.

Ejemplares examinados en K. Norte de Santander: Prov. de Ocaña, environs de Ocaña, 1851, *Schlim* 2 [fl., fr.]; around

Ocaña, 1878, *Kalbreyer* 267 [fl.]; between Pamplonita and Chinácota, 17 mar 1927, *Killip & A.C. Smith* 20750 [fl.] (Isotipo de *Peirania santanderensis*). **Santander:** exposed disturbed roadsides, Barbosa, to 6 km NNE. of town, 9 may 1979, *Luteyn et al.* 7610 [fl., fr.].



Figura 19. Isotipo de *Peirania santanderensis* (= *Senna robinii*-*folia*) Killip & A.C. Smith 20750 en el departamento del Norte de Santander.

25. *Senna ruiziana* (G. Don) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 150. 1982.

Localidad del tipo: PERÚ

Hábito: Arbustos subarborescentes y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Colombia, Perú y Ecuador. En Colombia crece en el bosque húmedo tropical (*sens. Holdridge*, 1977) entre los 400 y 1600 m. de altitud. Es una especie aparentemente poco frecuente.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: valley of río Anorí between Dos Bocas and Anorí, Planta Providencia and vicinity, 30 sep 1984, *Zarucchi* 3337 [fl., fr.].

Nota: Irwin & Barneby (1982a) reconocieron dos variedades de *Senna ruiziana*. En Colombia habita la variedad *ruiziana*, en tanto que la variedad *micranda* habita en Bolivia y el SE. de Perú.

26. *Senna santanderensis* (Britton & Killip) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 355. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Adipera santanderensis Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 178. **Tipo:** Colombia, departamento de Santander, "... río Suratá Valley, above Suratá, Santander, 2000 to 2300 m.", 6 ene 1927, *Killip & A.C. Smith 16697*. (Holotipo NY; Isotipo US).

Nombre común: Alcaparro.

Hábito: Arbusto, hasta 4 m.

Distribución y hábitat: Colombia y Venezuela. En Colombia habita la zona montañosa de la cordillera oriental entre los departamentos de Boyacá, Santander y Norte de Santander, hasta los 3500 m de altitud. Crece en sabanas y lugares abiertos de la región Andina colombiana.

Ejemplares examinados en K. Boyacá: beside trail between hacienda Ritacuba and Guican, 1 ago 1957, *Grubb et al. 205* [fl., fr.]; Sierra Nevada del Cocuy, 20 ago 1957, *Grubb et al. 638* [fl., fr.]. **Santander:** vicinity of California, 11–27 ene 1927, *Killip & A.C. Smith 16886* [fl.].

27. *Senna siamea* (Lam.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 98. 1982.

Hábito: Árboles, hasta 15 m.

Distribución y hábitat: desde el sur de México hasta el norte de Colombia, norte de Venezuela y Brasil. Los registros de K indican que crece en áreas de bosque intervenido y en los márgenes de vías y caminos de los departamentos de Antioquia y Córdoba.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de Caucasia, along road to Nechí, 17 km from Caucasi–Panetarica road, 7 km W. of Hacienda Costarica, 22 mar 1987, *Zarucchi et al. 4918* [fl.]. **Córdoba:** 10 miles north of Planetarica, roadside, 22 may 1974, *Plowman & Wade–Davis 3733* [fr.].

28. *Senna silvestris* (Vellozo) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 87. 1982.

28a. *Senna silvestris* (Vellozo) H.S. Irwin & Barneby subsp. *Silvestris* Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 89. 1982.

28a1. *Senna silvestris* (Vellozo) H.S. Irwin & Barneby subsp. *silvestris* var. *silvestris*

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 20 m.

Distribución y hábitat: Colombia, Brasil, Venezuela y Bolivia. De acuerdo con los registros de K, en Colombia habita en

bosques de galerías, en áreas abiertas, sabanas y en las orillas de vías y caminos.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: mesa de arenisca parte disectada, 15 ago 1993, *Vester 774* [fl., fr.]. **Boyacá:** Boyacá, 5 jul 1920, *Dawe 911* [fr.]. **Meta:** Villavicencio, Mar 1948, *Sanderman 5826* [fl., fr.]. **Vaupés:** Mitú, highland, 10 sep 1956, *Barclay et al. 642* [fl.]; Mitú and vicinity, along road from town, 15 may 1976, *Zarucchi 1571* [fl.]; Mitú and vicinity, lower río Paraná–Pihuna along river, 10 sep 1976, *Zarucchi 2025* [fl.]; Mitú and vicinity, Urania, 20 nov 1976, *Zarucchi 2242* [fr.]; **Vichada:** Parque Nacional Natural "El Tuparro" along Caño Peinilla, ca. 18 km W. of Centro Administrativo, forest and adjacent savanna, 6 mar 1985, *Zarucchi & Barbosa 3612* [fl.].

Nota: Irwin & Barneby (1982a) y Barneby (1998), reconocieron 2 subespecies y 6 variedades de *Senna silvestris*. La subespecie *bifaria* (con tres variedades: *velutina*, *unifaria* y *bifaria*) está presente en Brasil, Bolivia y Paraguay. La subespecie *silvestris*, con las variedades *guaranitica* y *sapindifolia* está presente en la costa Atlántica de Brasil; y la variedad *silvestris* crece en Colombia, Brasil, Venezuela y Bolivia.

29. *Senna smithiana* (Britton & Killip.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 132. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA. (ver bajo el basónimo).

Chamaefistula smithiana Britton & Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 172. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento de Magdalena, Santa Marta, 10 sep 1898, *H.H. Smith 251* (Holotipo NY. Isotipos F, MICH, US).

Hábito: Arbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Parece estar restringida a la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia, hasta los 350 m de altitud; y a la Serranía de Perijá en el estado de Zulia en Venezuela. Habita las zonas de bosque intervenido.

Ejemplar examinado en K. Magdalena: Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith 250* [fl.].

30. *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 600. 1982.

30a. *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby var. *spectabilis*, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 603. 1982.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Cassia speciosa Kunth, Nov. Gen. Sp. 6: 338. 1824. **Tipo:** Colombia "Crescit in ripa fluminis Magdalena, juxta oppidum Teneriffe" *Humboldt & Bonpland* (Holotipo P).

Cassia edulis Posada, Adansonia 10: 187. 1872. **Tipo:** Colombia, departamento de Antioquia “Croit a Medellin, où on lui donne le nom de *Canafistula macho*. Les enfas mange la pulpeet même l'épiderme du fruit”.

Nombre común: Jasal.

Hábito: Árboles y arbustos.

Distribución y hábitat: Centro América y probablemente introducida en las Antillas Mayores; Colombia, cuenca del Orinoco en Venezuela, Perú, Bolivia, Argentina, Paraguay y Brasil. En Colombia habita la región Andina hasta los 1800 m de altitud, en bosque seco y/o bosques intervenidos y áreas abiertas.

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: La Mesa, 1854–1857, *Triana s.n.* [fl.]. **Huila:** along trail in cleared area, Juntas, W of Algeciras, 4 may 1944, *E. Little* 7803 [fl., fr.].

Nota. Irwin & Barneby, (1982b) reconocieron dos variedades de *Senna spectabilis*: var. *spectabilis* y var. *excelsa*. En Colombia habita la variedad *spectabilis*, en tanto que la variedad *excelsa* está restringida al SE. de Bahía, N–centro de Minas y al E–centro de Goiás en Brasil.

31. *Senna spinescens* (Vogel) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 213. 1982.

Localidad del tipo: BRASIL.

31a. *Senna spinescens* (Vog.) H.S. Irwin & Barneby var. *schultesiana* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 215. 1982.

Localidad de tipo: Colombia, Vaupés, río Apaporis at Soratama (above mouth of río Kananarí, 6 feb 1952, *Schultes & Cabrera* 15183 [fl.] (Holotipo US).

Hábito: Arbustos arborescentes.

Distribución y hábitat: Brasil en la cuenca alta de los río Negro y Vaupés, y en Colombia a lo largo de los ríos Apaporis y Vaupés en el departamento del Vaupés; y en el río Caquetá en el departamento del Amazonas.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: río Caquetá, Araracuara, bosque secundario, 14 feb 1991, *Vester & Román* 224 [fl., fr.]. **Vaupés:** Mitú and vicinity, along río Vaupés between ríos Kubiyú and Yí, 20 jul 1979, *Zarucchi* 2503 [fl., fr.]; 9 jul 1976, *Zarucchi* 1828 [fr.]; Mitú and vicinity, lower ríos Kubiyú, 22 abr 1975, *Zarucchi* 1242 [fr.].

Nota: De acuerdo con **Irwin & Barneby** (1982a), *Senna spinescens* está conformada por dos variedades: la var. *spi-*

nescens que habita en las cuencas del Amazonas y el Orinoco, así como en Costa Rica; y la var. *schultesiana* que crece en Colombia y Brasil.

32. *Senna trianae* H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 163. 1982.

Localidad de tipo: COLOMBIA, departamento de Cundinamarca, 14 km W–NW. of Melgar, 8 ene 1974, *Davidse* 5799 [fr.] (Holotipo: MO).

Hábito: Arbustos hasta 3 m. de alto.

Distribución y hábitat: *Senna trianae* es una especie endémica de Colombia. Crece en pendientes secas y rocosas o en los márgenes de los bosques, entre los 300 a 1300 m de altitud. Conocida sólo del valle del río Magdalena y del norte del Tolima.

Ejemplares examinados en K: Cundinamarca: Prov. de Bogotá, La Mesa, 1851 – 1857, *Triana* 4404 [fl.]. **Localidad desconocida:** Prov. de Mariquita, Quindío, 1851 – 1857, *Triana* 4486 [fl.].

33. *Senna undulata* (Benth.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 157. 1982.

Localidad del tipo: “BRITISH GUIANA”.

Hábito: Arbustos hasta 3 m.

Distribución y hábitat: Islas de la región Caribe, Norte y Centro América, cuenca del Amazonas en Brasil, y delta del Orinoco, Las Guayanas y región Andina de Colombia. Habita en sabanas, márgenes de bosques y bosques intervenidos del valle del río Magdalena.

Ejemplares examinados en K. Tolima: Honda ad rivas fluvium Magdalena, dic 1875, *André* 697 [fl.]. **Localidad desconocida:** Poponte, 16 dic 1924, *Allen* 857 [fl.].

34. *Senna viarum* (Little) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(2): 474. 1982.

Localidad del tipo: COLOMBIA,

Chamaesenna velutina Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 179, pl II. 1936. *Cassia velutina* (Britton & Killip) García–Barriga & Forero–González, Cat. Ilust. Pl. Cundinamarca 3: 61. 1968. **Tipo:** Colombia Norte de Santander, “in the plaza of Mutiscua, 20 feb 1927, *Killip & Smith* 19655 (Holotipo NY; Isotipo K, US).

Nombre común: Alcaparro.

Hábito: Árboles.



Figura 20. Isotipo de *Chamaesenna velutina* (= *Senna viarum*) Killip & A.C. Smith 19665, en el departamento del Norte de Santander.

Distribución y hábitat: Nativa de los Andes de Colombia y Ecuador, pero ampliamente cultivada como ornamental en diferentes ciudades de Colombia.

Ejemplares examinados en K. Cundinamarca: Sabana de Bogotá, Ciudad Universitaria, jardines del Instituto de Ciencias Naturales, 6 ene 1969, *Cuatrecasas* 27021 [fl.]; Bogotá, 1920, *Tracey* 302 [fl.]. **Norte de Santander:** vicinity of Mutiscua, open hillside, 20–22 feb 1927, *Killip & A.C. Smith* 19655 [fl.] (Isotipo de *Chamaesenna velutina*).

35. *Senna viminea* (L.) H.S. Irwin & Barneby, Mem. New York Bot. Gard. 35(1): 160. 1982.

Localidad del tipo: “Habitat in Jamaica”.

Chamaefistula tocotana Rose ex Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 174. 1936. **Tipo:** Colombia, departamento del Valle del Cauca “Cuesta de Tocotá, road from Buenaventura to Cali”, *Pittier* 720 (Holotipo US; Isotipo NY).

Hábito: Arbustos.

Distribución y hábitat: Jamaica, Costa Rica, Colombia, Venezuela. En Colombia habita hacia el norte de la Cordillera Oriental hasta los 1680 m de altitud.

Ejemplar examinado en K: Cesar: Ocaña to Pamplona, Río de Oro, 23 ago 1878, *Kalbreyer* 696 [fl.].

Nota: La Localidad Río de Oro hizo parte de la provincia de Ocaña durante el siglo XIX y actualmente pertenece al departamento del Cesar.

22. CASSIA L., Sp. Pl. 376. 1753.

Especie tipo: *Cassia fistula* L.

1. Cassia fistula L., Sp. Pl. 377. 1753.

Localidad del tipo: INDIA.

Hábito: Árboles deciduos o semideciduos.

Distribución y Hábitat. Nativa del SE. de Asia, pero frecuentemente cultivada como planta ornamental en diferentes países de América, incluyendo Colombia.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: municipio Tarazá, corregimiento El 12, 212 kms NE. de Medellín, río Cauca, right margin on road from El 12 to Barroblanco, hacienda Las Mercedes, 15 jun 1987, *Daly et al.* 5261 [fl.].

2. Cassia grandis L. f., Suppl. 230. 1781.

Localidad del tipo: “habita in Surinamo”.

Nombre común: Cañafístula, algarrobo, Tamarindo.

Hábito: Árboles semideciduos.

Distribución y hábitat: Antillas Mayores y Menores, Brasil, Colombia, Cuba, Jamaica, La Española, México, Nicaragua, Perú, cuenca del Orinoco en Venezuela. Los ejemplares depositados en K registran la presencia de *Cassia grandis* en los departamentos de Antioquia, Cauca, Magdalena y Valle del Cauca, entre los 70 y 1000 m de altitud, habitando áreas de bosque secundario y/o bosques de tierras bajas.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de Carepa, bosque de la estación experimental Tulenapa – Corpoica, 3 mar 2005, *Fonnegra et al.* 8915 [fl.]; municipio de Caucaasia, along road to Nechi (border with Dpto. Córdoba) ca. 6 km from Caucaasia – Planetarica road, 14 dic 1986, *Zarucchi & Echeverria* 4533 [fr.]. **Cauca:** El Naranjo – Cauca, 26 mar 1876, *André* 2562 [fl.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith* 2061 [fl.]. **Valle del Cauca:** municipio de Buga, margen derecha del río Cauca, junto a la laguna de Sonsó, 25 feb 1969, *Cuatrecasas et al.* 27523 [fl.]; Tulna, La Paila, s.f., *F.C. Lehmann* 4614 [fl.]; La Paila, 30 mar 1853, *Holton* 981 [fl.] **Localidad desconocida:** Bassin du Mesa, 1851 – 1857, *Triana s.n.* [fl.].

3. Cassia moschata Kunth, Nov. Gen. & Sp. 6 (qu): 338. 1824.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento de Bolívar, Mompós; “Crescit in sylvis, ad fluvium Magdalenae, prope Mompox”.

Hábito: Árboles y arbustos semidecíduos.

Distribución y hábitat: Se distribuye desde el SE. de México hasta el norte de Suramérica. Los registros de K en los departamentos de Antioquia y Meta muestran que *Cassia moschata* habita en bosques secundarios, áreas intervenidas y sabanas desde el nivel del mar hasta los 500 m. de altitud.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de Caucasia, along road to Nechi ca. 16 km from Caucasia – PlanetaRica, secondary forest path on Hacienda Las Americas, Brant & Escobar 1230 [fr.]; Caucasia; along road to Nechi 17 km from Caucasia – Planetarica road, 7 km W of Hacienda Costarica, 22 mar 1987, Zarucchi et al. 4920 [fl., fr.]. **Meta:** Villavicencio, feb 1948, Sandeman 5781 [fl.].

TRIBU CAESALPINIEAE

Tribu Caesalpinieae Rchb. 1832.

Tribu Ceratonieae Rchb. (1832).

Tribu Dimorphandreae Benth. (1840).

Tribu Sclerobieae Benth. (1865).

Tribu Moreae Britton & Rose (1930).

23. HAEMATOXYLUM L., Sp. Pl. 384. 1753.

Especie tipo. *Haematoxylum campechianum* L.

1. Haematoxylum brasiletto H. Karst., Fl. Columb. 2: 27, p1. 114. 1862.

Localidad del tipo: COLOMBIA, “Habitat regiones calidas et aridas montanas ad pedes Andium Columbiae septentrionalis, ab incolis “Brasil” vel “Brasiletto”.

Nombre común: Brasil.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Costa Rica, México, y Guatemala hasta Colombia. Los registros de K indican que habita en el bosque seco tropical (*sens. Holdridge*, 1977) de Colombia, región Caribe.

Ejemplares examinados en K. Magdalena: Santa Marta, 1898 – 1901, H.H. Smith 258 [fl., fr.]; on foothills around Santa Marta, 7 feb 1917 ®, Dawe 480 [est.]. **La Guajira:** on road to south from Riohacha, 10 jun 1944, Haught 3917 [fl.]. **Localidad desconocida:** Colombia, 31 dic 1917 ®, Dawe 575 [fl.].

24. TARA Molina, Sag. Stor. Nat. Chili, ed. 2, 153. 1810.

Especie tipo: *Tara tinctoria* Molina. (= *T. spinosa*)

1. Tara spinosa (Molina) Britton & Rose, N. Amer. Flora 23(5): 320. 1930.

Localidad del tipo: PERÚ.

Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze, Revis. Gen. Pl. 3(2): 54. 1898.

Coulteria tinctoria Kunth, Nov. Gen. Sp. 6:331. 1824. **Tipo:** Colombia, “Crescit in Prov. Popayanensi, prope Carthaginem...”, (Holotipo P).

Coulteria horrida Kunth, Nov. Gen. Sp. 6:330. 1824. **Tipo:** Colombia, (Holotipo P).

Nombre común: Guarango, dividivi.

Hábito: Arbustos y árboles, generalmente espinosos.

Distribución y hábitat: Brasil y Colombia. Se tienen registros en K para las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena, en zonas de bosque seco de Colombia.

Uso: se emplea como fuente de taninos.

Ejemplares examinados en K. Cauca: prope pagum El Tambo, al marginem ribrae, 19 nov 1939, von Sneider 2293 [fl.]. **Cundinamarca:** garden in Bogotá, 7 sep 1920, Tracey 303 [fl., fr.]; municipio Chipaque, near town of Chipaque, 31 ago 1956, Barclay & Cabrera 481 [fr.]; Chipaque, Bogotá, jul 1817, F.C. Lehmann 8764 [fl., fr.]; municipio de Mosquera, around the lake La Herrera, dry slope, 6 ago 1963, Soejarto 334 [fl.]. **Antioquia:** Antioquia, s.f., s.c. 283 [fl.]. **Localidad desconocida:** Colombia, 31 oct 1916, Dawe 378 [fr.].

25. GUILANDINA L., Sp. Pl. 1: 381. 1753.

Especie tipo: *Guilandina bonduc* L.

1. Guilandina bonduc L., Sp. Pl. 1: 381. 1753. [= *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb., Fl. Ind., 2: 362. 1832]

Localidad del tipo: India.

Hábito: Arbusto trepadores espinosos.

Distribución y hábitat: Ampliamente distribuida en todas las regiones tropicales, bosques húmedos y costas marina. En Colombia se ha registrado en la zona norte de la región Andina y en la región Caribe. Crece en las orillas de los cuerpos de agua y en suelos arenosos.

Ejemplares examinados en K. Antioquia: municipio de Arboletes, orillas de la playa, 30 sep 1986, Roldan et al. 515

[fl.]. **Bolívar:** municipio de Cartagena, Canal del Dique at Pasacaballos, Isla Baru, along Playa Mohán, sand dunes, 6 ago 1985, *Zarucchi & Cuadros 3955* [fl.]; Cartagena, 10 nov 1854, *Holton 977* [fl.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898 – 1901, *H.H. Smith 2062* [fl.]. **Localidad desconocida:** Amaraale (ó Amasales!), coste du Pacifique, 1851 – 1857, *Triana s.n.* [fr.].

26. CAESALPINIA L., Sp. Pl. 1: 380. 1753; Gen. Pl. ed. 5: 178. 1754 (“*Caesalpina*”).

Especie tipo: *Caesalpinia brasiliensis* L.

1. *Caesalpinia cassioides* Willd., Enum. Pl. 444. 1809.



Figura 21. *Caesalpinia cassioides*, White II, en el departamento del Cauca.

Localidad del tipo: “Habitat in America Meriodionalis”.

Caesalpinia andreana Micheli, J. Bot. 6: 193. 1892. **Tipo:** Colombia, “Frecuens ad flumen S. Jorge in Valle Cauca, abr 1876, *Andre 2914* (Holotipo G; Isotipos F, K).

Nombre común: Palo Brasil.

Hábito: Arbustos y pequeños árboles espinosos.

Distribución y hábitat: Colombia, Ecuador y Perú. Habita entre los 100 y 2600 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Cauca: Habitat the Patia Valley, 1895, *White II* [fl.]; Río San Jorge, 15 abr 1876, *An-*

dré 2914 [fr.] (Isotipo de *Caesalpinia andreana*). **Valle del Cauca:** municipio de Tuluá, corregimiento Mateguadua, Jardín Botánico, laderas, 1 ene 1985, *Devia 846* [fl., fr.]; Cali, Universidad del Valle, 28 sep 1985, *Silverstone–Sopkin 2004* [fl, fr.]; municipio de Roldanillo, vereda El Hobo en seguida de Inspección de Policía, carretera Roldanillo–Bolívar, parte plana del valle del río Cauca al occidente del río Cauca, 30 abr 1989, *Silverstone–Sopkin & Ramos–P 5139* [fl, fr.]. **Localidad desconocida:** río Toro, río Hondo, s.f., *F.C. Lehmann 8659* [fl.]. Patía, s.f., *B.T. Lehmann 824* [fl.]. Las Mojarras, Patio Isal, *F.C. Lehmann 7794* [fr.].

2. *Caesalpinia decapetala* (Roth) Alston, Handb. Fl. Ceylon 6: 89. 1931.

Localidad del tipo: India.

Hábito: Arbustos trepadores, hasta 10 m.

Distribución y hábitat: Nativo de Asia e introducido en Colombia como ornamental.

Ejemplar examinado en K. Cauca: Popayán, norte vereda Calibio, desvío margen derecha, carretera Popayán – Calibio, 25 oct 1990, *Ruiz & Rengifo 1026* [fr.].

3. *Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw., Obs. 166. 1791.

Localidad del tipo: “Habitat in Indiis”.

Hábito: Arbustos y árboles espinosos.

Distribución y hábitat: Probablemente originaria de N. América (W. Mexico and Guatemala) pero introducido en Colombia y en todas las áreas tropicales. Muy utilizada para el ornato de jardines y parques.

Ejemplares examinados en K. Cesar: Prov. de Ocaña, Aguachica, 1846–1852, *Schlim 259* [fl., fr.]. **La Guajira:** Riohacha, 28 mar 1939, *Hanbury–Tracy 279* [fl., fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898–1901, *H.H. Smith 265* [fl., fr.]. **Localidad desconocida:** San Pablo, 8 sep 1852, *Holton s.n.* [fl., fr.], Pita (Guataqui?) in valle Magdalena {cultivada}, 10 oct 1875, *André 466* [fl.], Ortega, s.f., *B.T. Lehmann 1096* [fl., fr.].

27. LIBIDIBIA Schltld. Linnaea 5: 192. 1830.

Especie tipo: *Poinciana coriaria* Jacq., Select. Strip. Amer. Hist. 123, t. 175. Fig. 36. 1763. = *Libidibia coriaria* (Jacq.) Schltld.

1. *Libidibia coriaria* (Jacq.) Schltld., Linnaea 5: 193. 1830. [= *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd., Sp. Pl. 2:5321799].

Localidad del tipo: Curaçao.

Nombre común: Dividivi.

Hábito: Árboles, hasta 9 m.

Distribución y hábitat: México y Centro América, Indias Occidentales, Colombia y Venezuela. En Colombia se ha registrado en el bosque seco tropical (*sens.* Holdridge, 1977) y en bosques deciduos y semideciduos de la región Caribe.

Usos: La fruta es comestible y también se utiliza para broncear el cuerpo (Haught 4393).

Ejemplares examinados en K. Atlántico: Finca Totumo, 15km north west of Luruaco between Barranquilla and Cartagena, 29 abr 1982, *Hughes 137* [fr.]. **Bolívar:** municipio de Arjona, 7 km E.SE. of Arjona on road to Piedras, side road to finca La Mata, vegetation along hedgerow, 14 ago 1985, *Zarucchi & Cuadros 4155* [fl.]; municipio de Cartagena, ca. 6 km SW. of crossing of Canal del Dique at Pasacaballos, Isla Baru, 6 ago 1985, *Zarucchi & Cuadros 3930* [fl.]; municipio de San Fernando, 4 km S–SE. of Santa Rosa, remnant and secondary vegetation, 2 ago 1985, *Zarucchi & Cuadros 3923* [fr.]; municipio de Santa Catalina, along border with Dept Atlántico on road to El Cerrito, dry thorn scrub forest, 30 jul 1985, *Zarucchi & Cuadros 3851* [fl.]; municipio San Martín de Loba, entre hacienda Las Marías y la ciénaga del Totumo, 17 feb 1989, *Marulanda 819* [est.]. **Cesar:** Valledupar, 1 may 1844, s.c. [fl., fr.]. **La Guajira:** abundant in the Guajira country, 2 dic 1916. *Dawe 503* [fl., fr.]; Rather dry terrain, near Fonseca, 5 oct 1944, *Haught 4393* [fl., fr.]. **Magdalena:** Santa Marta, 1898–1901, *H.H. Smith 19* [fl.].

Nota: Dawe, reportó en la etiqueta de herbario # 503, que entre 1910 y 1916 se exportaron desde la Riohacha, más de 17. 6 toneladas de la fruta del “dividivi”. Esta fruta, muy utilizada para tinción, se convirtió en el principal producto comercial de origen vegetal de principios del siglo XX en la península de la Guajira.

2. *Libidibia glabrata* (Kunth) Castellanos & G. P. Lewis. comb. nov.

Localidad del tipo: PERÚ. (ver bajo el basónimo).

Caesalpinia glabrata Kunth, Nov. Gen. Sp. 6: 326–327. 1823. **Tipo:** Perú “Crescit inter urbem Caxamarcae et pagum Magdalenae Peruvian, alt 700 hex”, *Bonpland 3712* (Holotipo P, no visto, F – fragmento!).

Caesalpinia corymbosa Benth., Pl. Hartw. 117. 1843. **Tipo:** Ecuador, *Hartweg 651* (Holotipo K; Isotipo F – fragmento).

Libidibia corymbosa (Benth.) Britton & Killip, Ann. New York Acad. Sci. 35(3): 189. 1936.



Figura 22. *Libidibia glabrata* Castellanos & G.P. Lewis. comb. nov. *H.H. Smith 17*.

Caesalpinia paipai Ruiz & Pav., Fl. Peruv. 4, Ic. 375, 1830.

Tipo: Perú “Limae et Chancay”, (Lectotipo Ic. 375, designado por Macbride en: Field Mus. Nat. Hist. Bot. Ser. (*Fl. Perú*) 13, 3, 1: 193. 1943).

Hábito: Arbustos o pequeños árboles, hasta 6 m.

Distribución y hábitat: Perú, Colombia y Ecuador. El registro de K indica que la especie crece en el bosque seco tropical de la región Caribe de Colombia.

Ejemplar examinado en K. Magdalena: Santa Marta, 1898–1901, *H.H. Smith 17* [fl.].

3. *Libidibia punctata* (Willd.) Britton, Sci. Surv. Porto Rico & Virgin Islands. 5: 378. 1924.[= *Caesalpinia punctata* Willd., Enum. Pl. 1: 445. 1809].

Localidad del tipo: BRASIL.

Nombre común: Ébano, granadillo, aguadulce.

Hábito: Árboles, hasta 20 m.

Distribución y hábitat: Antillas, Venezuela, Las Guayanas, Colombia y posiblemente Ecuador. En ha registrado en las áreas cálidas de la región Caribe de Colombia.

Uso: Maderable, la madera es muy apreciada por su dureza y durabilidad.

Ejemplares examinados en K. Bolívar: municipio de Cartagena, ca. 2 km S of Arroyo de Piedras, 10 ago 1985, *Zaruc-*

chi & Cuadros 4070 [fl.]; municipio de Santa Catalina, along border with Dept Atlántico on road to El Cerrito, dry thorn scrub forest, 30 jul 1985, Zarucchi & Cuadros 3853 [fl.]; municipio San Martín de Loba, bosque relictual en colina cerca a Pueblo Nuevo, 19 feb 1989, Marulanda 894 [est.]. **La Guajira:** Near Carraipia, 31 mar 1917, Dawe 593 [est.]; Near Hato Nuevo, 18 sep 1944, Haught 4360 [fl.]. **Magdalena:** Hoya del río Cesar, hoyo del río Azucarbuena, región El Callao, hacienda Santa Marta (Globe de Maldonado Abajo y Potosí), 30 oct 1959, Cuatrecasas & Romero-Castañeda 24966 [fr.]; Tayrona national Park, dry slopes overlooking Caribbean, 3 jul 1984, Gentry & Cuadros 47585 [est.].

28. HOFFMANNSEGGIA Cav., Icon. 4: 63. 1798, nom. cons.

Especie tipo: *Hoffmannseggia falcaria* Cav. nom. illeg. [= *H. glauca* (Ortega) Eifert].

1. Hoffmannseggia viscosa (Ruiz & Pav.) Hook. & Arn., Bot. Mis. 3: 209. 1833. [= *Caesalpinia viscosa* (Ruiz & Pav.) Fisher, Bot. Gaz. 18(4): 123. 1893; basónimo: *Larrea viscosa* Ruiz & Pav., Fl. Peruv 4: 377].

Localidad del tipo: PERÚ.

Hábito: Hierbas o sufrutices procumbentes.

Distribución y hábitat: Desde Ecuador hasta el norte de Chile. Se conoce que habita desde el nivel del mar hasta los 2500 m. de altitud, pero no se dispone de información para esta especie en Colombia.

Ejemplares examinados en K. Dpto. desconocido: Colombia Occidentalis, 1831, Cuming, 1175 [fr.]; Colombia, s.f., Lobb 249 [fr.].

Nota: Los ejemplares de *Hoffmannseggia viscosa* que están depositados en K, fueron determinados por B.B Simpson en 2003, sin embargo en el trabajo Simpson *et al.* (2005) no se hace referencia a la inclusión de Colombia dentro del rango geográfico de dispersión de esta especie.

29. DIPTYCHANDRA Tul., Ann. Sci. Nat. sér. 2, 20: 139. 1843.

Especie tipo: *Diptychandra epunctata* Tul.

1. Diptychandra sp.

Hábito: Arbustos y árboles, hasta 10 m.

Distribución y hábitat. No se dispone de suficiente información sobre este taxón en Colombia.



Figura 23. *Diptychandra sp.*, nuevo registro para Colombia.

Ejemplar examinado en K: Antioquia: Anorí, 1 oct 1984, Zarucchi 3339 [fl.].

Nota: Los autores de este trabajo se encuentran actualmente estudiando este taxón y próximamente determinarán si corresponde a una nueva especie, o si se trata de la ampliación del rango de distribución de un taxón ya descrito.

30. TACHIGALI Aubl., Hist. Pl. Guiane 372. 1775.

Especie tipo: *Tachigali paniculata* Aubl.

1. Tachigali cavipes (Spruce ex Benth.) J.F. Macbr., Publ. Field Mus. Nat. Hist., Bot. Ser., 13: 127. 1943.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles, pueden alcanzar más de 20 m.

Distribución y hábitat: Se distribuye entre los tributarios de los ríos Vaupés en Brasil y Colombia, río Guainía de Venezuela, e Iquitos en Perú. En Colombia habita únicamente en la región amazónica, en las riveras de los ríos y zonas de inundación en la cuenca del Vaupés, hasta los 250 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Vaupés: Mitú and vicinity, along río Vaupés near mouth of río Kaduyarí, 25 jun 1976, Zarucchi 1746 [fl.]; Mitú and vicinity, along río Vaupés at mouth of río Kaduyarí, 20 nov 1976, Zarucchi 2241 [fr.]; río Vaupés, two miles upriver from Mitú, on seasonally inundated river banks, 1 nov 1976, Davis 223 [fl.]; río Vaupés, vic. Cerro Mitú, 4 sep 1959, Maguire *et al.* 44106 [fl., fr.];

bank of río Vaupés, below the confluence with río Kubiyú, 26 mar 1970, *Soejarto & Lockwood 2430* [fl.].

2. *Tachigali paniculata* Aubl., Hist. Pl. Guiane 1: 372. 1775.

Localidad del tipo: GUAYANA FRANCESA “Habitat ad ripam fluvii Sinemariensis..”.

Hábito: Árboles.

Distribución y hábitat: Bolivia, Brasil, Colombia, Perú y Venezuela. En Colombia habita en la región Amazónica ocupando áreas cerca a los cuerpos de agua.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: trapezio Amazónico, Loretoyacu river, sep 1946, *Schultes 8266* [fl.]; *Schultes & Black 8360* [fl.].

3. *Tachigali rigida* Ducke, Arq. Inst. Biol. Veg. 4(1): 12. 1938.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Pequeños árboles.

Distribución y hábitat: Brasil, Colombia y Venezuela. El registro de K en Colombia indica que crece en la región Amazónica del Vaupés, cerca a los cuerpos de agua.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: río Negro at confluence of ríos Guainía and Casiquiare, caño Ducuruapo (Igarapé Rana), 13–17 sep 1947, *Schultes & López 9389* [fl.].

31. JACQUESHUBERIA Ducke, Arch. Jard. Bot. Rio de Janeiro 3: 118. 1922. **Especie tipo:** *Jacqueshuberia quin-quangulata* Ducke.

1. *Jacqueshuberia amplifolia* R.S. Cowan, Bot. Mus. Leaflet 18(4): 150. 1958.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento del Vaupés, río Kubiyú, Cerro Kañendá, Savannah about 15 miles upstream from mouth, 10 nov 1952, *Schultes & Cabrera 18402*, (Holotipo US).

Hábito: Árboles, hasta 5 m.

Distribución y hábitat: *Jacqueshuberia amplifolia* es una especie endémica de la región Amazónica de Colombia, habita en la cuenca del río Vaupés, departamento del Vaupés, en márgenes de ríos y Sabanas.

Ejemplares examinados en K. Vaupés: Mitú and vicinity, lower río Kubiyú, savanna, 25 sep 1976, *Zarucchi 2137* [fl.], 14 jul 1979, *Zarucchi 2467* [est.].



Figura 24. *Jacqueshuberia amplifolia*, *Zarucchi 2137*, endémica de la región Amazónica de Colombia.

32. SCHIZOLOBIUM Vogel, Linnaea 11: 399. 1837.

Especie tipo: *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (= *Cassia parahyba* Vell.).

1. *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake Contr. U.S. Natl. Herb. 20(7): 240. 1919.

Localidad del tipo: BRASIL

1a. *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake var. *amazonicum* (Ducke) Barneby, Brittonia 48(2): 178. 1996.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles.

Distribución y hábitat: Desde la Cuenca del Amazonas en Brasil y Bolivia, hasta el S-este de México. Los registros de K indican que crece en áreas cercanas a los cuerpos de agua y bosques de galería.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: Trapecio amazónico, Amazonas river, Leticia, sep – nov, 1944, *Schultes 6148* [fl.]; Trapecio amazónico, Boiauassú, nov 1945, *Schultes 6804* [fl.]. **Boyacá:** Region of Mt. Chapon, extreme western part of Dept. Boyacá, north–west of Bogotá, 15 oct 1932, *Lawrence 537* [fl.].

Nota: Barneby (1996) reconoció dos variedades de *Schizolobium parahyba*. En Colombia crece la variedad *amazoni-*

cum, en tanto que la variedad *parahyba* está restringida al SE de Brasil.

33. PARKINSONIA L., Sp. Pl. 1: 375. 1753.

Especie tipo: *Parkinsonia aculeata* L.

1. *Parkinsonia aculeata* L., Sp. Pl. 1: 375. 1753.

Localidad del tipo: "Habitat in America calidore".

Hábito: Árboles espinosos, hasta 10 m.

Distribución y hábitat: Ampliamente distribuido en la región neotropical, sur de Argentina y África. Los registros de K para Colombia indican que la especie crece desde el nivel del mar hasta los 1200 m de altitud, en zonas cálidas.

Ejemplares examinados en K. Atlántico: Finca Totumo, 15 km north west of Luruaco, between Barranquilla and Cartagena, 29 abr 1982, *Hughes 139* [fr.]. **Valle del Cauca:** río Dagua, Cali, s.f., *F.C. Lehmann 5366* [fr.]; río Dagua, Cali, s.f. *B.T. Lehmann 1146* [fr.]; La Paila, 24 feb 1853, *Holton 978* [fl., fr.].

2. *Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pavón) Hawkins, Pl. Syst. Evol. 216: 63. 1999.

Localidad del tipo: PERÚ

Nombre común: Quika.

Hábito: Arbustos espinosos.

Ejemplares examinados en K. Boyacá: near Sierra del Nevado del Cocuy, in maderal vegetation beside road between El Espino and Capitanejo, 20 ago 1957, *Grubb et al. 415* [fl., fr.]. **La Guajira:** near coast at Tucuraca, abundant in the sand lands, 2 dic 1916, *Dawe 502* [fr.]; municipio de Uribía, carretera Albania – Puerto Bolívar, km 70, 6 may 1988, *Roldan & García 1031* [fr.]; municipio de Uribía, carretera Puerto Bolívar – Uribía, km 30, 7 may 1988, *Roldan & Silva 1045* [fl., fr.].

34. CAMPSIANDRA Benth., in Hooker, J. Bot. 2: 93. 1840.

Especie tipo: *Campsiandra comosa* Benth.

1. *Campsiandra angustifolia* Spruce ex Benth., in Mart., Fl. Bras. 15(2): 55. 1870.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles, hasta 8 m.

Distribución y hábitat: Venezuela, Brasil, Bolivia, Colombia. Habita en bosques de galería.

Ejemplares examinados en K. Amazonas: cuenca del medio Caquetá, en la orilla del Caquetá, 21 oct 1990, *Duivenvoorden et al. 460* [fl.]. **Vaupés:** Mitú and vicinity, along río Vaupés, below mouth río Kuduyari, 25 jul 1976, *Zarucchi 1860* [fl.]; Mitú and vicinity, along río Vaupés, about 1 km below Urania, 19 nov 1976, *Zarucchi 2239* [fr.].

2. *Campsiandra chigo-montero* Stergios, Novon, 6(4): 439. 1996.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Nombre común: Lengua indígena **Puinave:** ye-pa-kert.

Hábito: Árboles, hasta 12 m.

Distribución y hábitat: Región Amazónica de Brasil, Bolivia, Venezuela y Colombia. Habita en bosques riparios. No se dispone de información suficiente para esta especie en Colombia.

Ejemplar examinado en K. Amazonas: Trapecio amazónico, interior regions trapecios between Amazon and Putumayo, oct 1945, *Schultes 6765* [fl.].

Nota: **Stergios** (1996) y **Stergios** (1998), no citaron a Colombia dentro del rango de distribución geográfica de *Campsiandra chigo-montero*. Esta especie se ha citado aquí soportado en un ejemplar identificado por Stergios en 1998 y depositado en el herbario K [*Schultes 6765*]

3. *Campsiandra gomez-alvareziana* Stergios Novon, 6(4): 445. 1996.

3a. *Campsiandra gomez-alvareziana* Stergios var. *pusilliflora* Stergios, Novon, 6(4): 447. 1996.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Hábito: Árboles, hasta 35 m.

Distribución y hábitat: Amazonas de Colombia y Venezuela. Habita en zonas sometidas a inundación, en suelos aluviales, entre los 100 y 200m.

Ejemplar examinado en K. Vaupés: río Apaporis, río Pacoa y río Kananarí, Soratama, 27 ago 1951, *Schultes & Cabrera 13724* [fl.].

Nota: Este ejemplar fue erróneamente etiquetado por Stergios en el herbario K como *Campsiandra chigo-montero*. Se efectuó la corrección en la exicata con base en la publicación del ejemplar tipo citado en la publicación **Stergios** (1996).

4. *Campsiandra laurifolia* Benth., J. Bot. Hook. II. 94. 1840; in Mart. Fl. Bras. XV. II.54. 1870.

Localidad del tipo: BRASIL.

Hábito: Árboles.

Distribución y hábitat: región amazónica de Colombia, Brasil y Venezuela. Los registros consultados en K indican que esta especie crece en la cuenca del río Vaupés, en la región Amazónica, en bosques primarios y márgenes de ríos, hasta los 250 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Vaupés: río Apaporis, entre el río Pacoa y el río Kananarí, Soratama, 16 ago 1951, *Schultes & Cabrera 13551* [fl.]; región de San Felipe a orillas del río Guainía, 21 nov 1948, *Barkley & Araque-Molina 18va000* [fl.].

Nota: *Stergios* (1996) citó cinco ejemplares Colombianos de *Campsiandra laurifolia* (*Barkley & Araque-Molina 18va000*, *Schultes & Cabrera 12656*, *13551*, *14996* y *Schultes et al. 18033*) como material examinado en el herbario de Kew. Sin embargo, después de consultar todas las colecciones en K se estableció que los ejemplares *Schultes & Cabrera 12656*, *14996* y *Schultes et al. 18033* aparentemente no están en Kew.

35. DIMORPHANDRA Schott, in Sprengel, Syst. Veg. 4(2) append.: 404. 1827.

Especie tipo: *Dimorphandra exaltata* Schott.

1. *Dimorphandra pennigera* Tul., Arch. Mus. Hist. Nat. 4: 187. 1844.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Hábito: Árboles, hasta 24 m.

Distribución y hábitat: Región amazónica de Colombia, Perú, Brasil y Venezuela. Habita en bosques riparios y bosques siempreverdes de tierras bajas, frecuentemente en las orillas de los ríos y cuerpos de agua; hasta los 300 m de altitud.

Ejemplares examinados en K. Caquetá: serranía de Chiribiquete, campamento sur, margen del río, aguas arriba de la cascada grande, bosque cerca de la orilla del río con suelos muy húmedos, 6 ago 1990, *Estrada et al. 650* [est.].

2. *Dimorphandra vernicosa* Spruce ex Benth., in Benth. & Hook. f., Gen. Pl. 1: 588. 1867.

Localidad del tipo: VENEZUELA.

Hábito: Arbusto, hasta 5 m.

Distribución y hábitat: Región amazónica de Colombia, Brasil y Venezuela. En K existen registros para Colombia

de la amazonia suroriental, departamentos Caquetá, Guainía y Vaupés. Crece en el bosque húmedo y bosque muy húmedo tropical (sensu **Holdridge**, 1977), en sabanas y áreas abiertas.

Ejemplares examinados en K. Caquetá: Araracuara, en bosque bajo de Bonnetia, sobre la mesa de areniscas cerca a la pista aérea, 14 oct 1990, *Duivenvoorden et al. 150* [fl., fr.]. **Guainía:** caño Colorado, aeropuerto "La Esperanza" 15 abr 1993, *Barbosa & Mandriñan 8454* [fr.]. **Vaupés:** Río Negro, San Felipe (El Castillo), below confluence of río Guainía and Casiquiare, 12 dic 1947, *Schultes & López 9340* [fl.]; Mitú and vicinity, lower río Kubiyú, open areas in savanna, 25 sep 1976, *Zarucchi 2130* [fl.], 8 nov 1976, *Zarucchi 2182* [fl., fr.].

36. ORPHANODENDRON Barneby & J. W. Grimes, Brittonia 42(4): 249. 1990. **Especie tipo:** *Orphanodendron bernalii* Barneby & J. W. Grimes

1. *Orphanodendron bernalii* Barneby & J. W. Grimes, Brittonia 42(4): 249. 1990.



Figura 25. Isotipo de *Orphanodendron bernalii*, Bernal et al. 1482, endémica de la región Ansin, en el departamento de Antioquia.

Localidad del tipo: COLOMBIA, departamento de Antioquia, en potrero con árboles, 14 km al sur de Mutatá, en la carretera a Dadeiba, 19 jul 1988, *R. Bernal et al. 1482* (Holotipo COL; Isotipos K, LLANOS, MO, NY, US).

Hábito: Árboles, hasta 15 m.

Distribución y hábitat: *Orpahnodendron bernalii* es un género y una especie endémica de Colombia. Habita en áreas intervenidas del departamento de Antioquia, región Andina.

Ejemplar examinado en K. Antioquia: 14 km al sur de Da-deiba, R. Bernal et al. 1482 (Isotipo).

Nota 1: Los autores de este trabajo se encuentran realizando estudios morfológicos y moleculares con el género *Orphanodendron*.

Nota 2. El primer autor visitó la localidad tipo de *Orphanodendron bernalii* en el municipio de Mutata, departamento de Antioquia durante los primeros meses de 2012, y encontró que las poblaciones de esta especie están disminuidas y fuertemente amenazadas por procesos de tala selectiva y ampliación de la frontera agrícola.

Discusión

Como resultado del estudio de los ejemplares depositados en Kew, se registró un total de 134 especies entre las cuales se destacan las siguientes novedades taxonómicas: La lectotipificación de *Batesia floribunda* y una nueva combinación en el género *Libidibia*: *L. glabrata* (Kunth) Castellanos & G. P. Lewis.

Quiñones (2005), siguiendo la clasificación tradicional de las leguminosas, realizó una sinopsis de las Caesalpinioideae colombianas y registró 39 géneros y 5 tribus. Comparando los datos de **Quiñones** (2005) con la información aquí suministrada podemos presentar como nuevos registros para Colombia las siguientes especies: *Schnella stenoloba*, *Schnella umbriana*, *Brownea tillettiana*, *Macrolobium limbatum*, *Senna italica*, *Hoffmannseggia viscosa*, *Diptychandra* sp. y *Campsiandra chigo-montero*. De los taxones anteriormente citados y con base en la literatura disponible se ha incluido un nuevo género para Colombia (*Diptychandra*) y la ampliación del rango de distribución en Suramérica de tres especies registradas para Colombia (*Hoffmannseggia viscosa*, *Brownea tillettiana* y *Campsiandra chigo-montero*).

En cuanto a endemismos de la subfamilia Caesalpinioideae, no se encontraron publicaciones que indique el número total de taxones endémicos y sus localidades. Como una forma de aportar información al sistema nacional de biodiversidad y a los programas de conservación que realizan diferentes instituciones públicas y privadas del país, se presenta en este trabajo un total de 18 taxones endémicos y su área de distribución.

Agradecimientos

El primer autor agradece al programa Bentham-Moxon Trust del Real Jardín Botánico de Kew, por otorgar la beca de vi-

sita y consulta a los ejemplares Colombianos de leguminosas de la subfamilia Caesalpinioideae depositados en K; de igual forma agradece a los Dres. Robert Vogt y Albert Dieter Stevens del Jardín Botánico de Berlín (B) y Jonathan Gregson del Herbario del Museo Británico (BM) por permitir la consulta de ejemplares tipo y la confirmación de datos de colecciones históricas. La Dra. Bente Klitgaard gentilmente aportó importantes recomendaciones y sugerencias al trabajo, principalmente en relación con los géneros *Brownea* y *Browneopsis*. Especial agradecimiento al Dr. Enrique Forero por la revisión crítica del manuscrito y por aportar valiosas sugerencias.

Bibliografía

- Barneby, R. C.** 1996. Neotropical Fabales at NY: Asides and Oversights. *Brittonia* 48(2): 174–187.
- Barneby, R. C.** 1998. *Senna* in J. A. Steyermark, P. Berry & B. K. Holst (eds.), *Flora of the Venezuelan Guayana*, vol. 4, pp. 101–113. Saint Louis: Missouri Botanical Garden.
- Benthams, G.** 1866. Description of some new genera and species of tropical Leguminosae. *Trans. Linn. Soc. London*. 25: 297–321.
- Britton, N.L. & E.P Killip.** 1936. Mimosaceae and Caesalpinioideae of Colombia. *Ann. New York Acad. Sci.* 35(3): 101–208.
- Castellanos, C.** 2009. Leguminosae subfamilia Caesalpinioideae en el departamento de Santander (Colombia). En: Forero, E. (ed.), *Estudios en Leguminosae Colombianas II*. Bibl. José Jerónimo Triana 21: 363–386. Publ. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Cowan, R.S.** 1953. A taxonomic revision of the genus *Macrolobium* (Leguminosae–Caesalpinioideae). *Mem. New York Bot. Gard.* 8(4): 257–342.
- Cowan, R.S. & P.E. Berry.** 1998. *Macrolobium*, in J. A. Steyermark, P. Berry & B. K. Holst (eds.), *Flora of the Venezuelan Guayana*, vol. 4, pp. 74–88. Saint Louis: Missouri Botanical Garden.
- Cuervo Márquez, C.** 1893. Prehistoria y Viajes: *Ariaria superba*. 219. 1893.
- D'Arcy, W.G.** 1970. Jacquin names, some notes on their typification. *Taxon* 19: 554–560.
- Dwyer, J.D.** 1951. The Central American, West Indian, and South American species of *Copaifera* (Caesalpinioideae) *Brittonia* 7: 143–172.
- Dwyer, J.D.** 1954. Studies on the new world species of *Copaifera*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 81(3): 179–187.
- Forero, E.** 1966. La identidad de *Ariaria superba* Cuervo Márquez (Caesalpinioideae–Bauhinioideae). *Mutisia* 30:1–6.
- Holdridge, L.R.** 1977. Ecología basada en zonas de vida. Trad. H. Jiménez Saa. San José, Costa Rica, IICA, 216 p.
- Irwin, H.S. & R.C. Barneby.** 1982a. The American Cassiinae. A synoptical revision of Leguminosae tribe Cassieae subtribe Cassiinae in the New World. *Mem. New York Bot. Gard.* 35(1): 1–454.
- Irwin, H.S. & R.C. Barneby.** 1982b. The American Cassiinae. A synoptical revision of Leguminosae tribe Cassieae subtribe Cassiinae in the New World. *Mem. New York Bot. Gard.* 35(2): 455–918.
- Klitgaard, B.B.** 1991. Ecuadorian *Brownea* and *Browneopsis* (Leguminosae – Caesalpinioideae): Taxonomy, palynology, and morphology. *Nord. J. Bot.* 11: 433–449.

- Lewis, G.P.** 2005. Tribe *Caesalpinieae* in: Lewis, G., B. Schrire, B. Mackinder & M. Lock (eds.) 2005. *Legumes of the World*, 127–161, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Lewis, G.P., B. Schrire, B. Mackinder & M. Lock** (eds.) 2005. *Legumes of the World*, Royal Botanic Gardens, Kew. 577 pp.
- Mackinder, B.** 2005. Tribe *Detarieae* in: Lewis, G., B. Schrire, B. Mackinder & M. Lock (eds.) 2005. *Legumes of the World*, 69–109, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Quiñones, L. M.** 1988. Una nueva combinación en *Bauhinia* (Fabaceae-Caesalpinioideae). *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75:1156. 1988.
- _____. 2005. Leguminosae subfamilia Caesalpinioideae. En: Forero, E. & C. Romero (eds.), *Estudios en Leguminosas Colombianas*. Col. Jorge Álvarez-Lleras 25: 301-328. Publ. Acad. Colomb. Cien. Ex. Fis. Nat., Inst. A. v. Humboldt, Inst. Ciencias Naturales y Red Lat. de Botánica. Bogotá.
- Silva, M. F. da** 1976. Revisão taxonômica do gênero *Peltogyne* Vog. (Leguminosae-Caesalpinioideae). *Acta Amazonica* 6 (Suppl. 1): 1–61.
- Silva, M.F. da., A.S. Tavares & P.E. Berry.** 1998. *Cynometra* and *Dimorphandra*, in J. A. Steyermark, P. Berry & B. K. Holst (eds.), *Flora of the Venezuelan Guayana*, vol. 4, 49–51; 58– 62. Saint Louis: Missouri Botanical Garden.
- Simpson, B.B., J.A. Tate & A. Weeks.** 2005. A. The biogeography of *Hoffmannseggia* (Leguminosae, Caesalpinioideae, Caesalpinieae) *J. Biogeography* 32(2): 15–27.
- Stergios, B.** 1996. Contributions to South American Caesalpinieae. II. A Taxonomic update of *Campsandra* (Caesalpinieae). *Novon*, 6(4): 434–459.
- Stergios, B.** 1998. *Campsandra* in J. A. Steyermark, P. Berry & B. K. Holst (eds.), *Flora of the Venezuelan Guayana*, vol. 4, pp. 18–30. Saint Louis: Missouri Botanical Garden.
- Velásques, D. & G. Agostini.** 1981. Dos nuevas especies Venezolanas de *Brownea* (Leguminosae: Caesalpinioideae), *Ernestia* 5: 1-12.
- Woodson, R.E. & R.W. Schery.** 1951. Flora of Panamá, part 5, fascicle 3, Leguminosae, part 2, *Ann. Missouri Bot. Gard.* 38(1): 1–94.
- Wunderlin, R.** 1976. The Panamanian species of *Bauhinia* (Leguminosae). *Ann. Missouri Bot. Gard.* 63: 346– 354.
- Wunderlin, R.** 1983. Revision of the arborescent *Bauhinia* (Fabaceae: Caesalpinioideae: Cercideae) native to Middle America. *Ann. Miss. Bot. Gard.* 70(1): 95–127.
- Wunderlin, R.** 2006. Revision of *Bauhinia* subgenus *Bauhinia* Section *Amaria* (Cercideae: Caesalpinioideae: Fabaceae). *Sida* 22: 97–122.
- Wunderlin, R.** 2009. Revision of *Bauhinia* subgenus *Bauhinia* section *Pauletia* series *Ariaria* (Cercideae: Caesalpinioideae: Fabaceae) *J. Bot. Res. Inst. Texas* 3(2): 629–637.
- Xena, N. & P.E. Berry.** 1998. *Copaifera*, in J. A. Steyermark, P. Berry & B. K. Holst (eds.), *Flora of the Venezuelan Guayana*, vol. 4, pp. 45–47. Saint Louis: Missouri Botanical Garden.

Recibido: 12 de enero de 2012

Aceptado para publicación: 25 de mayo de 2012

LISTA NUMÉRICA DE TAXONES

- | | | | | | |
|------|---|--------|-------------------------------------|--------|---|
| 1-1 | <i>Bauhinia aculeata</i> | 5-2 | <i>Peltogyne paniculata</i> | 14-3b | <i>Macrolobium colombianum</i> var. |
| 1-2 | <i>Bauhinia beguinotii</i> | 5-3 | <i>Peltogyne parvifolia</i> | | <i>metaense</i> |
| 1-2a | <i>Bauhinia beguinotii</i> var. <i>gorgonae</i> | 6-1 | <i>Hymenaea courbaril</i> | 14-4 | <i>Macrolobium discolor</i> |
| 1-3 | <i>Bauhinia longicuspis</i> | 6-2 | <i>Hymenaea oblongifolia</i> | 14-4a | <i>Macrolobium discolor</i> var. |
| 1-4 | <i>Bauhinia pauletia</i> | 7-1 | <i>Copaifera guianensis</i> | | <i>egranulosum</i> |
| 1-5 | <i>Bauhinia petiolata</i> | 7-1 | <i>Copaifera officinalis</i> | 14-5 | <i>Macrolobium extensum</i> |
| 1-5a | <i>Bauhinia petiolata</i> var. <i>petiolata</i> | 8-1 | <i>Crudia amazonica</i> | 14-6 | <i>Macrolobium gracile</i> |
| 1-6 | <i>Bauhinia picta</i> | 9-1 | <i>Cynometra bauhiniifolia</i> | 14-6a | <i>Macrolobium gracile</i> var. <i>debile</i> |
| 1-7 | <i>Bauhinia tarapotensis</i> | 9-2 | <i>Cynometra spruceana</i> | 14-7 | <i>Macrolobium limbatum</i> |
| 1-8 | <i>Bauhinia unguolata</i> | 10-1 | <i>Brachycylix vageleri</i> | 14-8 | <i>Macrolobium modicopetalum</i> |
| 2-1 | <i>Schnella glabra</i> | 11-1 | <i>Heterostemon conjugates</i> | 14-9 | <i>Macrolobium molle</i> |
| 2-2 | <i>Schnella guianensis</i> | 11-2 | <i>Heterostemon mimosoides</i> | 14-10 | <i>Macrolobium multijugum</i> |
| 2-3 | <i>Schnella hymenaeifolia</i> | 11-2a | <i>Heterostemon mimosoides</i> var. | 14-11 | <i>Macrolobium pittieri</i> |
| 2-4 | <i>Schnella stenoloba</i> | | <i>mimosoides</i> | 14-12 | <i>Macrolobium stenosiphon</i> |
| 2-5 | <i>Schnella umbriana</i> | 12. 1 | <i>Brownea gandiceps</i> | 14-13 | <i>Macrolobium suaveolens</i> |
| 2-6 | <i>Schnella vestita</i> | 12. 1a | <i>Brownea</i> cf <i>negrensis</i> | 14-13a | <i>Macrolobium suaveolens</i> var. |
| 3-1 | <i>Prioria copaifera</i> | 12-2 | <i>Brownea macrophylla</i> | | <i>uaupesense</i> |
| 4-1 | <i>Eperua falcata</i> | 12-3 | <i>Brownea multijuga</i> | 14-14 | <i>Macrolobium venulosum</i> |
| 4-2 | <i>Eperua leucantha</i> | 12-4 | <i>Brownea rosa-de-monte</i> | 15-1 | <i>Dicymbe stipitata</i> |
| 4-3 | <i>Eperua purpurea</i> | 12-5 | <i>Brownea santanderensis</i> | 16-1 | <i>Poeppigia procera</i> |
| 5-1 | <i>Peltogyne mexicana</i> | 12-6 | <i>Brownea tillettiana</i> | 17-1 | <i>Dialium guianense</i> |
| | | 13-1 | <i>Browneopsis excelsa</i> | | |

- 18-1 *Dicorynia paraensis*
- 19-1 *Batesia floribunda*
- 20-1 *Chamaecrista adiantifolia*
- 20-1a *Chamaecrista adiantifolia* var. *adiantifolia*
- 20-2 *Chamaecrista apoucouita*
- 20-3 *Chamaecrista cordistipula*
- 20-4 *Chamaecrista desvauxii*
- 20-4a *Chamaecrista desvauxii* var. *brevipes*
- 20-4b *Chamaecrista desvauxii* var. *langsдорffii*
- 20-4c *Chamaecrista desvauxii* var. *mollissima*
- 20-4d *Chamaecrista desvauxii* var. *piptostegia*
- 20-5 *Chamaecrista flexuosa*
- 20-5 *Chamaecrista flexuosa* var. *flexuosa*
- 20-6 *Chamaecrista glandulosa*
- 20-6a *Chamaecrista glandulosa* var. *andreaana*
- 20-6b *Chamaecrista glandulosa* var. *flavicomia*
- 20-6c *Chamaecrista glandulosa* var. *risticula*
- 20-7 *Chamaecrista hispidula*
- 20-8 *Chamaecrista nictitans*
- 20-8a *Chamaecrista nictitans* subsp. *nictitans*
- 20-8a1 *Chamaecrista nictitans* subsp. *nictitans* var. *jaliscensis*
- 20-8b *Chamaecrista nictitans* subsp. *patellaria*
- 20-8b1 *Chamaecrista nictitans* subsp. *patellaria* var. *paraguariensis*
- 20-8b1 *Chamaecrista nictitans* subsp. *patellaria* var. *ramosa*
- 20-9 *Chamaecrista parvistipula*
- 20-10 *Chamaecrista pilosa*
- 20-11 *Chamaecrista rotundifolia*
- 20-11a *Chamaecrista rotundifolia* var. *grandiflora*
- 20-11b *Chamaecrista rotundifolia* var. *rotundifolia*
- 20-12 *Chamaecrista serpens*
- 20-13 *Chamaecrista trichopoda*
- 20-14 *Chamaecrista viscosa*
- 21-1 *Senna aculeata*
- 21-2 *Senna alata*
- 21-3 *Senna atomaria*
- 21-4 *Senna bacillaris*
- 21-4a *Senna bacillaris* var. *bacillaris*
- 21-4a *Senna bacillaris* var. *benthamiana*
- 21-5 *Senna bicapsularis*
- 21-5a *Senna bicapsularis* var. *bicapsularis*
- 21-6 *Senna dariensis*
- 21-6a *Senna dariensis* var. *dariensis*
- 21-6b *Senna dariensis* var. *gatunensis*
- 21-6b *Senna dariensis* var. *smaragdina*
- 21-7 *Senna hayesiana*
- 21-8 *Senna hirsuta*
- 21-9 *Senna huilana*
- 21-10 *Senna itálica*
- 21-11 *Senna macranthera*
- 21-11a *Senna macranthera* var. *lindenii*
- 21-12 *Senna macrophylla*
- 21-12a *Senna macrophylla* var. *gigantifolia*
- 21-12b *Senna macrophylla* var. *macrophylla*
- 21-13 *Senna multiglandulosa*
- 21-14 *Senna multijuga*
- 21-14a *Senna multijuga* subsp. *lindleyana* var. *peregrinatrix*
- 21-15 *Senna mutisiana*
- 21-16 *Senna occidentalis*
- 21-17 *Senna obtusifolia*
- 21-18 *Senna pallida*
- 21-18 *Senna pallida* var. *pallida*
- 21-19 *Senna papillosa*
- 21-19a *Senna papillosa* var. *angusta*
- 21-19b *Senna papillosa* var. *papillosa*
- 21-20 *Senna pendula*
- 21-20a *Senna pendula* var. *advena*
- 21-20b *Senna pendula* var. *pendula*
- 21-21 *Senna pistaciifolia*
- 21-21a *Senna pistaciifolia* var. *pistaciifolia*
- 21-22 *Senna quinquangulata*
- 21-22a *Senna quinquangulata* var. *quinquangulata*
- 21-22b *Senna quinquangulata* var. *meizonoloba*
- 21-23 *Senna reticulata*
- 21-24 *Senna robinifolia*
- 21-25 *Senna ruiziana*
- 21-26 *Senna santanderensis*
- 21-27 *Senna siamea*
- 21-28 *Senna silvestris*
- 21-28a *Senna silvestris* subsp. *silvestris*
- 21-28a1 *Senna silvestris* subsp. *silvestris* var. *silvestris*
- 21-29 *Senna smithiana*
- 21-30 *Senna spectabilis*
- 21-30 *Senna spectabilis* var. *spectabilis*
- 21-31 *Senna spinescens*
- 21-31a *Senna spinescens* var. *schultesiana*
- 21-32 *Senna trianae*
- 21-33 *Senna undulata*
- 21-34 *Senna viarum*
- 21-35 *Senna viminea*
- 22-1 *Cassia fistula*
- 22-2 *Cassia grandis*
- 22-3 *Cassia moschata*
- 23-1 *Haematoxylum brasiletto*
- 24-1 *Tara spinosa*
- 25-1 *Guilandina bonduc*
- 26-1 *Caesalpinia cassioides*
- 26-2 *Caesalpinia decapetala*
- 26-3 *Caesalpinia pulcherrima*
- 27-1 *Libidibia coriaria*
- 27-2 *Libidibia glabrata*
- 27-3 *Libidibia punctata*
- 28-1 *Hoffmannseggia viscosa*
- 29-1 *Diptychandra* sp.
- 30-1 *Tachigali cavipes*
- 30-2 *Tachigali paniculata*
- 30-3 *Tachigali rigida*
- 31-1 *Jacqueshuberia amplifolia*
- 32-1 *Schizolobium parahyba*
- 32-1a *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

- | | | | | | |
|------|----------------------------------|-------|--|------|--------------------------------|
| 33-1 | <i>Parkinsonia aculeata</i> | 34-3. | <i>Campsiandra gomez-alvareziana</i> | 35-1 | <i>Dimorphandra pennigera</i> |
| 33-2 | <i>Parkinsonia praecox</i> | 34-3a | <i>Campsiandra gomez-alvareziana</i>
var. <i>pusilliflora</i> | 35-2 | <i>Dimorphandra vernicosa</i> |
| 34-1 | <i>Campsiandra angustifolia</i> | 34-4 | <i>Campsiandra laurifolia</i> | 36-1 | <i>Orphanodendron bernalii</i> |
| 34-2 | <i>Campsiandra chigo-montero</i> | | | | |

LISTA DE EJEMPLARES EXAMINADOS

En el listado de ejemplares examinados, se presenta primero, el nombre del autor en negrita, seguido por el número de colección. Dentro del paréntesis, el primer número en negrita corresponde al género y el segundo número corresponde a las especies asignadas dentro del texto.

- Allen** 90 (21-17); 96 (21-1); 206 (20-5a); 264 (20-3); 311 (21-16); 415 (5-2a); 431 (21,19b); 480 (5-2a); 857 (21-33).
- Anderson** 1804 (21-17).
- André** 180 (21-23); 205 (21-16); 215 (21-7); 223 (21-18a); 340 (21-16); 355 (2-4); 440 (12-1); 466 (26-3); 697 (21-33); 867 (20-14); 890 (21-20a); 1048 (2-5); 1063 (12-1); 1153 (12-1); 1190 (20-4a); 1283 (21-13); 1398 (20-6c); 1476 (21-20b); 1479 (21-8); 1716 (21-16); 1737 (2-6); 1809 (12-1); 1810 (1-5a); 1811 (21-12b); 1919 (20-12); 1938 (2-3); 1974 (20-6a); 1980 (20-12); 2308 (21-19b); 2514 (20-6b); 2562 (22-2); 2744 (21-18a); 2814 (20-6b); 2914 (26-1); s.n. (20-6c).
- Araque-Molina** 352 (21-7).
- Barkley & Araque** 18ns103 (2-1); 18va000 (34-4).
- Barclay & Cabrera** 481 (24-1).
- Barbosa & Madriñan** 8407 (4-2); 8454 (35-2).
- Barkley** 17c337 (21-20a).
- Barkley et al.** 19bo215 (1-8); 571 (20-4d); 642 (21-28a1).
- Berke** 299 (20-4c).
- Bernal et al.** 1482 (36-1).
- Brand & González** 677 (3-1).
- Brant & Escobar** 1230 (22-3).
- Brant & Roldan** 1524 (21-4a).
- Bridgeman** 355 (21-2).
- Bruchiiller** s.n. (20-4c).
- Blook & Schultes** 46-301 (7-1).
- Cabrera** 673 (5-2a).
- Callejas et al.** 2230 (21-7); 3199 (21-7); 3200 (21-2); 4443 (5-2a); 4574 (21-6b); 4619 (5-2a); 5177 (1-6); 5123 (21-15); 5175 (14-11); 5366 (21-7); 5490 (17-1); 5495 (21-22b); 5620 (21-15); 5712 (21-7).
- Castellanos et al.** 448 (12-5); 449 (10-1).
- Collenette** 628 (1-2a).
- Cuatrecasas** 27019 (21-13); 27021 (21-34); 3160 (21-4b).
- Cuatrecasas & Patiño** 27475 (20-8b2).
- Cuatrecasas & Romero-Castañeda** 24966 (27-3); 24699 (20-6b).
- Cuatrecasas & Soderstrom** 27134 (14-1); 27202 (21-4b).
- Cuatrecasas et al.** 27190 (2-1); 27523 (22-2).
- Cuming** 1175 (28-1).
- Croat & Gaskin** 80025 (21-21a).
- Daly et al.** 5261 (22-1).
- Davis** 185 (11-1); 223 (30-1).
- Dawe** 220 (21-13); 378 (24-1); 410 (2-1); 442 (2-4); 456 (1-6); 480 (23-1); 495 (5-2a); 502 (33-2); 503 (27-1); 504 (2-1); 519 (21-3); 575 (23-1); 592 (21-3); 593 (27-3); 883 (12-1); 888 (3-1); 911 (21-28a1); 966 (6-1); 1818-1819 (20-6b).
- Devia** 846 (26-1).
- Duivenvoorden et al.** 150 (35,2); 184 (20,4c); 331 (14,10); 458 (14,1); 460 (34,1).
- Estrada et al.** 650 (35-1).
- Fonnegra** 7199 (5-2a).
- Fonnegra et al.** 8897 (21-23); 8899 (21-17); 8915 (22-2).
- Fuchs & Zanella** 21787 (14-5).
- Fundación Puerto Rastrojo** 368 (14-7).
- Gentry & Cuadros** 47585 (27-3).
- Grubb et al.** 38 (12-2); 205 (21-26); 415 (33-2); 638 (21-26).
- Haid!** 1841 (21-6c).
- Hanbury-Tracy** 279 (26-3); 290 (21-5a); 422 (12-1); 509 (12-1).
- Hartweg** 954 (21-16); 960 (21-15); 961 (20-6c); 962 (2-6); s.n. (12-1).
- Haught** 1450 (21-4b); 1515 (12-2); 1978 (10-1); 2232 (2-1); 2292 (20-3); 2401 (2-3); 2555 (14-3b); 3575 (20-5a); 3698 (21-14a); 3712 (21-4a); 3757 (2-1); 3799 (21-19b); 3917 (23-1); 3985 (21-4a); 4153 (1-1); 4360 (27-3); 4393 (27-1); 4418 (1-4); 4428 (21-18a); 4546 (21-6a); 4486 (21-5a).
- Holton** 977 (25-1); 978 (33-1); 980 (21-12b); 981 (22-2); 984 (21-20a); 988 (2-6); 989 (2-1); s.n. (1-1); (20,6c); (21-15); (21-23); (22-2); (26-3).
- Hooke** s.n. (12-1).
- Hughes** 137 (27-1); 139 (33-1).
- Hugh-Jones** 352 (14-12).
- John** 20512 (21-15).
- Kalbreyer** 267 (21-24); 695 (21-7); 696 (21-35); 839 (1-1); 1737 (21-15); 1774 (21-9); 1802 (1-6).
- Kehall** 360 (1-2a).
- Killip** 11535 (20-8b2).
- Killip & A.C. Smith** 16525 (1-1); 16886 (21-26); 19655 (21-34); 20146 (20-6b); 20750 (21-24).
- Killip et al.** 38350 (1-5a).

- Klug** 1688 (12-1); 1733 (2-5); 1751 (21-22a); 1830 (1-7).
- Lawrance** 364 (21-12b); 475 (21-4a); 492 (1-6); 537 (32-1a); 587 (12-2).
- Lehmann, B.T.** 824 (26-1); 1054 (20-11a); 1146 (33-1); 1096 (26-3); 1095 (20-4b); 1129 (14-8).
- Lehmann, F.C.** 935 (21-13); 2373 (20-11a); 2505 (20-6c); 3286 (21-12b); 4392 (20-6b); 4614 (22-2); 5360 (21-9); 5364 (21-8); 5365 (20-8b1); 5366 (33-1); 5507 (21-20a); 5511 (21-8); 6679 (21-12b); 7343 (21-4b); 7792 (21-18a); 7793(21-21a); 7794 (26-1); 7806 (21-20a), 7807 (21-20a); 8478 (21-19b); 8479 (20-11a); 8539 (21-21a); 8659 (26-1); 8763 (21-15); 8764 (24-1); 8987 (14-12); 8988 (21-16); s.n. (20-6b).
- Linden** 1336 (21-11a).
- Little, E.** 7803 (21-30a).
- Little, E. & Little, R.** 9640 (14-1).
- Lobb** 243 (20-6b); 249 (28-1).
- Luteyn et al.** 7610 (21-24) 7642 (21-20a).
- Madriñan et al.** 1165 (20-4); 1200 (11-1).
- Maguire, B. & Maguire, C.** 61878 (21-18a).
- Maguire et al.** 44106 (30-1).
- Martin & Plowman** 109 (21-20b).
- Marulanda** 819 (27-1); 894 (27-3).
- Mutis** 2347 (5-2a); 4684 (16-1).
- Palacios & Rodríguez** 84 (12-1).
- Pennell** 2749 (20-6a); 2934 (20-8b1); 3977 (1-8); 4009 (20-3); 5477 (20-6b); 12071 (20-10).
- Pennington** 687 (13-1).
- Plowman** 3525 (2-1).
- Plowman & Wade-Davis** 3733 (21-27).
- Robinson** 33 (20-8b2); 280 (14-12).
- Rolbreger** 415 (12-3).
- Robledo & Aztralaga** 18 (21-13).
- Roldan & García** 1031 (33-2).
- Roldan & Silva** 1045 (33-2).
- Roldan et al.** 515 (25-1); 1035 (21-10).
- Ruiz & Rengifo** 1026 (26-2).
- Seemann** 1040 (12-4).
- Sandeman** 5501 (21-18a); 5526 (20,6b); 5575 (1,6); 5588 (21,4b); 5781 (22,3); 5795 (12,2); 5826 (21,28a1); 5904 (21,4b); 5926 (21,8); 5989 (20,4c).
- Schlim** 2 (21-24); 6 (21-7); 106 (20-8b1); 174 (20-8b2); 186 (21-15) 259 (26-3); 268 (20-7); 269 (1-8); 270 (2-1); 281 (20-3); 291 (21-4a); 374 (21-20a); 941 (21-3).
- Schultes** 5356 (11-1); 5424 (6-2); 5429 (6-2); 5706a (21-4b); 6148 (32-1a); 6765 (34-2); 6804 (32-1a); 8266 (30-2).
- Schultes & Black** 8360 (30-2); 8640 (14-1)
- Schultes & Cabrera** 13548 (14-1); 13551 (34-4); 13724 (34-3a); 14769 (17-1); 14817 (6-2); 16265 (8-1); 19834 (11-2); 19338 (4-3).
- Schultes & López** 9340 (35-2); 9389 (30-3); 9530 (14-14)
- Schultes & Villareal** 7642 (21-13)
- Silverstone-Sopkin** 2004 (26-1).
- Silverstone-Sopkin & Ramos-P** 5139 (26-1)
- Smith, H.H.** 17 (27-2); 19 (27-1); 20 (21-3); 21 (2-1); 31 (21-17); 66 (20-3); 67 (20-12); 70 (21-16); 71 (21-17); 248 (21-23); 249 (21-18a); 250 (21-29); 253 (21-7); 256 (21-5a); 258 (23-1); 261 (16-1); 265 (26-3); 274 (20-8b2); 275, (20-8a1); 276 (20-10); 699 (21-20b); 700 (21-4a); 707 (20-8b2); 709 (20-13); 931 (12-1); 2027 (6-1); 2061 (22-2); 2062 (25-1); 2537 (20-8a1).
- Smith, S.G.** 1122 (20-11b).
- Smith, S. G. & Idrobo** 1414 (20-4).
- Soejarto** 334 (24-1); 562 (21-19a).
- Soejarto & Lockwood** 2427 (11-1); 2430 (30-1); 2477 (21-12a).
- Soejarto et al.** 1248 (21-12a).
- Sprague** 96 (20-14); 138 (21-4b); 257 (20-8b1); 288 (21-12b).
- Spruce** 2780 (19-1); 3501 (18-1)
- St. George Expedition** 380 (1-2a)
- Teueren?** 2229 (20-10)
- Tracey** 295 (21-13); 302 (21-34); 303 (24-1); 396 (20-6c); 397 (20-6a).
- Triana** 224 (21-13); 4384 (21-12b); 4385 (21-9); 4390 (20-6b); 4394 (20-6a) 4399 (21-20a); 4404 (21-32a); 4410 (2-6); 4413 (1-3); 4418 (14-12); 4419 (14-3a); 4422 (12-4); 4486 (21-32a) s.n. (1-5a); (2,3); (12-1); (14-3a); (20-6b); (20-6c); (20-14); (21-4b); (21-15); (21-21a); (21-2); (21-16) (21-23); (21-30a); (22-2); (25-1)
- Tuberquia & Gómez** 18 (17-1)
- van Andel** 233 (18-1); 271 (18-1).
- van Angel et al.** 13A (14-7).
- van Dulmen** 257 (6-2).
- van Dulmen et al.** 168 (18-1)
- van Rooden et al.** 618 (20-8a1)
- von Sneidern** 2293 (24-1)
- Vester** 518 (21-12a); 774 (21-28a1).
- Vester & Matapi** 762 (21-12a)
- Vester & Román** 224 (21-31a).
- White** 1 (7-2); 11 (26-1).
- Wier** 52 (12-6).
- Wijninga & Quintero** 602 (19-1).
- Wolf** 190 (21-21a).
- Zarucchi** 1242 (21-31a); 1456 (9-1); 1563 (20-2); 1571 (21-28a1); 1580 (11-1); 1622 (9-2); 1626 (14-10); 1723 (20-1a); 1746 (30-1); 1767 (12-1a); 1828 (21-31a); 1860 (34-1); 1935 (20-1a); 1937 (21-4b); 1964 (14-13a); 1971 (14-9); 1979 (14-6a); 1997 (14-13a); 2025 (21-28a1); 2060 (15-1); 2110 (11-2); 2112 (14-4a); 2130 (35-2); 2137 (31-1); 2158 (14-2); 2182 (35-2); 2239 (34-1); 2241 (30-1); 2242 (21-28a1); 2467 (31-1); 2503 (21-31a); 2505 (4-2); 3257 (21-7); 3270 (21-4b); 3337 (21-25); 3339 (29-1); 4067 (21-3); 5462 (21-16).
- Zarucchi & Balick** 1724 (14-9); 1765 (4-1).
- Zarucchi & Barbosa** 3472 (11-2); 3484 (5-3); 3612 (21-28a1); 3709 (14-10); 3748 (20-9); 3818 (20-14).
- Zarucchi & Cárdenas** 4219 (21-7).
- Zarucchi & Cuadros** 3851 (27-1); 3853 (27-3); 3923 (27-1); 3930 (27-1); 3933 (21-3); 3955 (25-1); 4017 (5-1); 4070 (27-3); 4155 (27-1).
- Zarucchi & Echeverria** 4533 (22-2).
- Zarucchi et al.** 1101 (21-23); 1876 (21-23); 4863 (17-1); 4910 (2-2); 4918 (21-27); 4920 (22-3); 5417 (20-8b2); 6121 (21-21a); 7235 (21-15).

FLORÍSTICA Y SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA INNECESARIAMENTE DISYUNTAS: EL CASO DE *ARISTOLOCHIA*, *EUGLYPHA* Y *HOLOSTYLIS* (ARISTOLOCHIACEAE)

Favio González*

RESUMEN

González, F.: Florística y sistemática filogenética innecesariamente disyuntas: El caso de *Aristolochia*, *Euglypha* y *Holostylis* (Aristolochiaceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 201-209, 2012. ISSN 0370-3908.

En la reciente monografía de Aristolochiaceae para la Flora del Paraguay, se retomó la delimitación tradicional de *Aristolochia* con respecto a los géneros monotípicos *Euglypha* y *Holostylis*. La presencia de sinapomorfias morfológicas y moleculares de *Aristolochia* en *Euglypha* y *Holostylis*, así como la reevaluación de los rasgos diagnósticos y diferenciales de *Euglypha* y *Holostylis*, que resultan ser ambiguos, homoplásicos, clinales o propios de semaforontes florales tardíos, aportan evidencia concluyente para subordinar a *E. rojasiana* y *H. reniformis* en *Aristolochia*. El reconocimiento de *Aristolochia*, tal como el seguido en la monografía mencionada, implica la parafilia de este taxón, lo cual va en contra de los principios lógicos de la sistemática filogenética. Los análisis filogenéticos de las Aristolochiaceae basados en caracteres morfológicos y moleculares aportan evidencia suficiente para incluir a *Euglypha* y *Holostylis* dentro de *Aristolochia*, ya que resultan anidados en el clado formado por los subgéneros *Aristolochia* + *Pararistolochia*, y dentro de éste, en el subgénero *Aristolochia*, y más exactamente en la sección americana *Gymnolobus*.

Palabras clave: *Aristolochia*, clasificaciones filogenéticas, clasificaciones lineanas, *Euglypha*, *Holostylis*, florística en Sur América, sistemática filogenética.

ABSTRACT

The recently published monograph of Aristolochiaceae for the Flora of Paraguay revives the traditional delimitation of *Aristolochia* with respect to the monotypic genera *Euglypha* and *Holostylis*. The presence of both morphological and molecular synapomorphies of *Aristolochia* in *Euglypha* and *Holostylis*, as well as the reevaluation of the diagnostic and differential traits of *Euglypha* and *Holostylis*, which are shown to be ambiguous, homoplastic, clinal or present only in late floral semaphoronts, provide conclusive evidence to subordinate *E. rojasiana* and *H. reniformis* in *Aristolochia*. The recognition of *Aristolochia*, such as that followed in the mentioned monograph, implies the paraphyly of this taxon, which stands against the logic principles of the phylogenetic systematics. The morphological and molecular-based phylogenetic analyses of the Aristolochiaceae, which provide sufficient evidence to merge *Euglypha* and *Holostylis* within *Aristolochia*, as the first two

* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, AA 7495, Bogotá, Colombia.

are nested in the clade formed by the subgenera *Aristolochia* + *Pararistolochia*, and more precisely within the New World subgenus *Aristolochia* sect. *Gymnolobus*.

Key words. *Aristolochia*, *Euglypha*, *Holostylis*, phylogenetic classifications, phylogenetic systematics, Linnean classifications, South American floristics.

Introducción

“As a scientific discipline, taxonomy makes progress by eliminating its errors. In most, if not all cases, the elimination is of paraphyletic (or polyphyletic) assemblages of taxa (e.g. Insectivora, Invertebrata, Reptilia, Green algae, Gymnosperms, Protists, etc.).

(Williams *et al.* 2005:858).

Con cerca de 550 especies, el género *Aristolochia sensu lato* (i. e. incluidos los géneros monotípicos suramericanos *Euglypha* y *Holostylis*) es el más grande de los cuatro géneros monofiléticos de la familia Aristolochiaceae. La monofilia de *Aristolochia s. l.* está sustentada por evidencia morfológica y molecular, examinada tanto en análisis separados como combinados (González, 1997, 1999a; González & Stevenson, 2002; González *et al.*, 2005, 2012; Kelly & González, 2003; Murata *et al.*, 2001; Ohi-Toma *et al.*, 2006; Wanke *et al.*, 2006). No obstante, en la monografía de Aristolochiaceae recientemente publicada para la Flora del Paraguay (Ahumada, 2010; Ramella *et al.*, 2010) se retomó la delimitación tradicional de *Aristolochia* (i. e. *Aristolochia sensu stricto*), y el reconocimiento de los géneros *Euglypha* y *Holostylis*, lo cual implica la parafilia de *Aristolochia* con respecto a los otros dos géneros (Fig. 1), e ignora por completo los resultados de los análisis filogenéticos mencionados.

El presente trabajo reevalúa en detalle los rasgos morfológicos diagnósticos y diferenciales empleados en las descripciones de *Euglypha* y *Holostylis*, con respecto a los de *Aristolochia*, discute este caso como un ejemplo más en el que se ignora la evidencia biológica al mantener grupos parafiléticos, y ratifica la necesidad de incorporar *Euglypha* y *Holostylis* dentro de *Aristolochia*, a fin de redefinir este último como un taxón monofilético.

Materiales y métodos

Se examinaron numerosos ejemplares de herbario de *Euglypha* y *Holostylis* (véase lista de ejemplares examinados) y plantas vivas de *H. reniformis* cultivadas en los invernaderos de las universidades de Viena (Austria) y Bonn (Alemania). Las descripciones de las flores de *Aristolochia* (Fig. 2 A-E) siguen la terminología empleada por Hoehne (1927, 1942), Pfeifer (1966), Ahumada (1967) y González (1990, 1994).

El cladograma de la Fig. 1 es un árbol resumen de los análisis realizados por González (1997, 1999a), Murata *et al.* (2001), González & Stevenson (2002), Kelly & González (2003), González *et al.* (2005, 2012), Ohi-Toma *et al.* (2006) y Wanke *et al.* (2006).

Resultados y discusión

Euglypha

Este taxón monoespecífico fue descrito por Chodat & Hassler (1906) como género diferente de *Aristolochia*, con base en la presencia de una constricción en la base del utrículo (Fig. 2F), y de cápsulas oblatas y aparentemente indehiscentes (Fig. 2J). Estos rasgos fueron descritos en el protólogo como “Genus novum Aristolochiæ affinis, a quo differt stylo subperigoneali, fructu 6 partito in coccus excrescens, haud capsulari, coccis centro tantum adfixis ceterum liberis obcordatis indehiscentibus” (Chodat & Hassler, 1906:138). *Euglypha* fue reconocido como género por Hauman (1923), Hoehne (1927, 1942), Ahumada (1967, 2010), Toursarkissian (1973) y Huber (1960, 1985, 1993), entre otros. En el tratamiento taxonómico de Schmidt (1935, seguido por Hoehne, 1942), el género fue incluso segregado en su propia tribu (Euglypheae).

La primera evidencia de que *Euglypha* es parte de *Aristolochia* se presentó en un análisis filogenético preliminar basado en evidencia morfológica (González, 1997). Desde entonces, se ha propuesto incorporar a esta especie como parte de *Aristolochia*, debido a que posee todas las sinapomorfias de este género (Fig. 1, nodo 1): (1) Perianto fuertemente bilateral; (2) perianto diferenciado en utrículo, tubo y limbo; (3) perianto curvado (González & Stevenson, 2000b, 2002); y (4) fusión congénita de los estambres y los lóbulos estigmáticos en una estructura denominada ginostemo (González & Stevenson, 2000a, 2002). Adicionalmente, posee las sinapomorfias del clado formado por los subgéneros hermanos *Aristolochia* + *Pararistolochia* (perianto abaxialmente cóncavo y tricomas cónicos en la superficie interna del tubo y del limbo del perianto; Fig. 1, nodo 2; González & Stevenson, 2000a, 2000b, 2002), del subgénero *Aristolochia* en particular (limbo monosimétrico, fusión congénita casi completa de los tres lóbulos del perianto en uno o dos la-

bios, y seis lóbulos estigmáticos; Fig. 1, nodo 3; **González & Stevenson, 2000a, 2000b, 2002**), y de la sección *Gymnolobus* (lóbulos estigmáticos sin reborde supraestaminal; Fig. 1, nodo 4; **González & Stevenson, 2000a, 2002**), en donde *E. rojasiana* Chodat & Hassl. queda anidada.

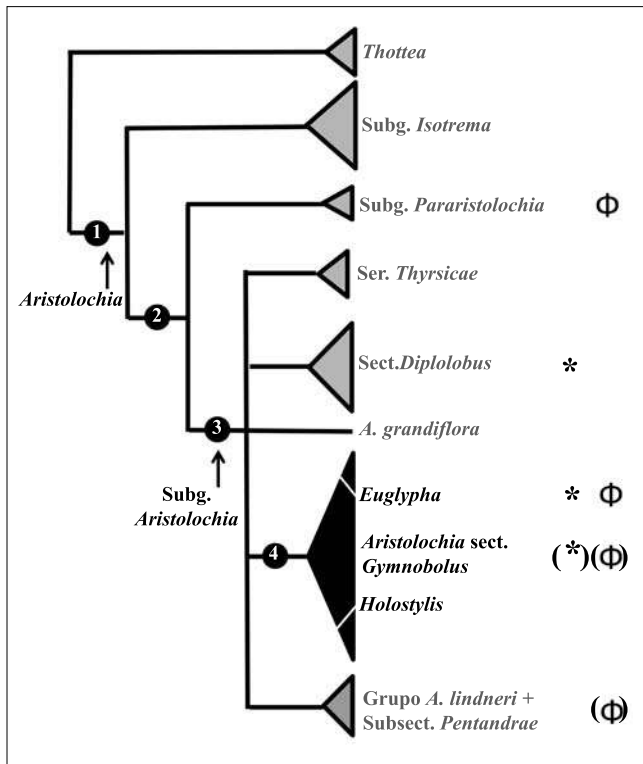


Figura 1. Cladograma resumen de *Aristolochia* s. l. (i. e. incluidos los géneros monotípicos *Euglypha* y *Holostylis*). Los números indican los clados en los cuales resultan anidados *Euglypha* y *Holostylis*: (1) *Aristolochia*; (2) subgéneros *Aristolochia* + *Pararistolochia*; (3) subgénero *Aristolochia*; (4) *A.* sect. *Gymnolobus* s. str. Las sinapomorfías respectivas están explicadas en el texto. Nótese la evolución independiente de una constricción elongada de la base del utrículo (asteriscos) en *Euglypha*, en aproximadamente la mitad de las especies de la sect. *Diplolobus* y en algunas especies de la sect. *Gymnolobus* y en algunas especies de la sect. *Gymnolobus* y del clado formado por el Grupo *A. lindneri* y la subsect. *Pentandrae*.

Un análisis detallado del primer rasgo diferencial de *Euglypha*, la constricción en la base del utrículo (Fig. 2F), indica que dicho rasgo también se presenta en muchas de las aproximadamente 40 especies de la sección *Diplolobus* (Fig. 2E) del Viejo Mundo y en por lo menos dos especies mexi-

canas (*A. styoglossa* Pfeif. y *A. rostrata* Pfeif.; véase **Pfeifer, 1970**) de la sección americana *Gymnolobus*. Además, una comparación de este rasgo en especies de *Aristolochia* pone en duda que se trate de un estado discreto, ya que se observa una variación interespecifica clinal, desde utrículos no constrictos basalmente (Fig. 2A), incipientemente constrictos (Fig. 2B), cortamente constrictos (Fig. 2C) o aún reflexos y con procesos digitiformes basiscópicos (Fig. 2D).

En cuanto a las cápsulas oblatas y aparentemente indehiscentes de *Euglypha* (Fig. 2J), se aprecia que estos dos rasgos se

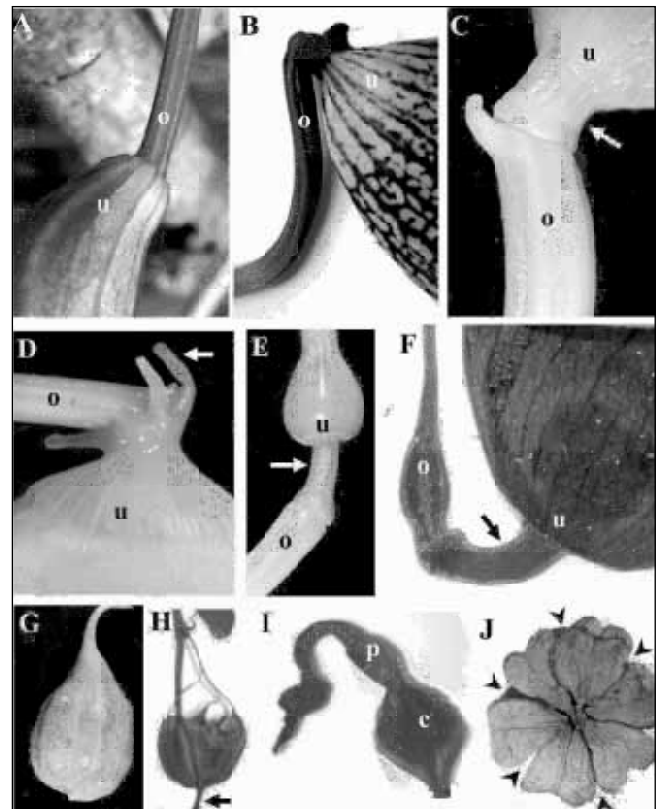


Figura 2. Características diagnósticas de 'Euglypha' comparadas con las de especies de *Aristolochia*. **A-F.** Base del utrículo: **A**, no constricta en *A. maxima* Jacq. (**González 4322**); **B**, asimétrica y levemente constricta en *A. ringens* Vahl (**González 3575**); **C**, moderadamente constricta (flecha) en *A. fimbriata* Cham. (**González 3624**); **D**, con seis extensiones digitiformes basiscópicas (flecha) en *A. trilobata* L. (**González 3625**); **E**, fuertemente constricta (flecha) en *A. zollingeriana* Miq. (**Tsou 1178**); **F**, fuertemente constricta (flecha) en *A. rojasiana* (syn: *E. rojasiana*; **Hassler & Rojas 2351**, tipo). **G-J.** Cápsulas. **G**, de *A. nummularifolia* Kunth (**González 4175**); **H**, de *A. clementis* (**Clemente 6446**), con esterilización del tercio distal (flecha); **I**, de *A. watsoni* (**Holmgren et al. 15605**), en la cual el perianto persistente (p) retrasa la apertura de la cápsula (c); **J**, de *A. rojasiana* (**Arenas 314**), con los seis carpelos separados (flechas). o, ovario; u, utrículo.

deben a la reducción extrema de la longitud de la cápsula y del número de semillas. Usualmente se forma solo una sola semilla en cada uno de los seis carpelos de *E. rojasiana*, y es frecuente que se desarrollen por completo solamente 4 ó 5 de los 6 carpelos (véase, p. ej. la Fig. 2 en **Chodat & Hassler**, 1906).

La dehiscencia de las cápsulas en la mayoría de especies de *Aristolochia* ocurre en dos fases secuenciales (**González**, 1990, 1999a; **González & Stevenson**, 2002): (1) Separación de los carpelos; (2) separación de las márgenes de cada carpelo (si la cápsula es septicida), o ruptura de los septos intercarpelares (si la cápsula es septifraga). La aparente indehiscencia en *Euglypha rojasiana* ocurre por constreñimiento mecánico causado por el acortamiento extremo del ovario; no obstante, claramente ocurre la primera fase de dehiscencia de la cápsula (Fig. 2J). Casos similares de oligospermia y cápsulas cortas con dehiscencia reducida, ocurren en algunas especies de *Aristolochia* (Fig. 2 G-I), rasgos asociados con la esterilización de la región distal del ovario, por ejemplo en *A. clementis* Alain (Fig. 2H) o con el retardo en la dehiscencia causado por la persistencia del perianto, por ejemplo en *A. watsoni* Wootton & Standley (Fig. 2I).

Los análisis filogenéticos mencionados en la introducción y en el examen de los caracteres diagnósticos de *Euglypha*, aportan evidencia suficiente (sinapomorfias) para reiterar la inclusión de la única especie de este género dentro de *Aristolochia*, y para cuestionar como caracteres filogenéticos, los rasgos diferenciales de dicho género monotípico. Por lo tanto, en seguida se presenta la descripción detallada de la especie, bajo el binomio *A. rojasiana*. Este binomio fue empleado por primera vez, de manera incidental y no formal, por **Hosseus** (1921); a la vez, se anotan todos los ejemplares hasta la fecha examinados por el autor, los cuales deben llevar esta nueva combinación.

Aristolochia rojasiana (Chodat & Hassl.) Hosseus, Bol. Acad. Nac. Ci. 26:43. 1921. *Euglypha rojasiana* Chodat & Hassl., Bull. Herb. Boiss., ser. 2, 6: 138. 1906. **Tipo:** Paraguay. Gran Chaco: Loma Clavel, 23°20'Sur, nov 1903 (fl, fr), *E. Hassler & T. Rojas 2351* (Holótipo G; isótipos BM, CORD, G, GH, K, LIL, MO, P, UC, US). = ***Aristolochia rojasiana*** (Chodat & Hassl.) F. González, *Caldasia* 19 (1-2): 123. 1997.

Bejucos glabrescentes. Pecíolo (0.5-)1-2 cm largo, esparcidamente pubérulo. Lámina ovada a angosto-ovada, 3.3-9(-11) x 2.2-6(-7) cm, cartácea a membranácea, base cordada, no peltada, seno triangular a oblongo, 1-1.8 cm profundo, ápice agudo a obtuso, haz glabra a esparcidamente pubérula, envés glabro, venas primarias basales 5, palmeadas, venas de orden mayor poco conspicuas y formando areolas lisas por el

envés. Pseudostípulas ausentes. Ramas floríferas frondosas o a veces con las hojas tectrices reducidas. Pedúnculo más ovario 1.5-2.5 cm largo, glabrescente, grácil, ovario engrosado y corto con respecto al pedúnculo, hasta de 4 mm largo, pubérulo entre los surcos intercarpelares, no rostrado, el tercio apical angostado por cerca de 1 mm largo, no seminífero. Perianto glabrescente exteriormente, fuertemente reflexo entre el utrículo y el tubo; utrículo subgloboso, con una constricción basal hasta de 3.5 mm largo, la región inflada 6-10 mm largo, 4-5 mm diámetro, tubo subinfundibular, 7-10 mm largo, ca. 2 mm diámetro proximal y 4 mm diámetro distal, reflexo y formando un ángulo de ca. 90-120° con respecto al utrículo, limbo angosto-ovado, 1-1.7 x 0.6-0.8 cm, en ángulo de ca. 150-180° con respecto al tubo, ápice acuminado, largamente decurrente. Cápsula oblata, ca. 0.6-0.8 largo x 1.5-2 cm ancho, estriada, formada por seis mericarpos cordiformes que se separan casi totalmente durante la dehiscencia, a veces asimétrica debido al atrofiamiento de uno o dos carpelos, rostro corto. Semillas por lo general una por carpelo, cordiformes, no aladas, ca. 10 x 6 mm, rafe prominula.

Distribución: Santa Cruz (Bolivia), Mato Grosso do Sul (Brasil), Alto Paraguay, Boquerón, Central, Concepción, Olimpo y Presidente Hayes (Paraguay), y Chaco y Formosa (Argentina). Crece en suelos secos y arcillosos, bajos pantanosos, chacos, bordes de campos y "caapoes".

Ejemplares examinados. BOLIVIA. Santa Cruz: Nuflo de Chávez Province, estancia San Miguelito, 200 km NE de la ciudad de Santa Cruz, puesto San Miguelito, al SO del Puesto, 17°01'S, 61°52'W, 280 m, 28-29 jun 1995 (fl, fr), *A. Fuentes 773* (MO); Cordillera, Bañados del Izozog, estancia Cacharí, 450 m, 16 ene 1993 (fl), *G. Navarro 1799* (MO); prov. Cordillera, Bañados del Izozog, 360 m, 19°06'S, 62°20'W, 5-15 ene 1993 (fl, fr), *I. Vargas et al. 1905* (NY).

BRASIL. Mato Grosso do Sul: Porto Murтинho, 18 mar 1985 (fl, fr), *G. Hatschbach & J. M. Silva 49258* (HBG, MO, NY, UC, UEC).

PARAGUAY. Alto Paraguay: Puerto Casado (Chaco), Puerto La Victoria, 22°20'S, 57°55'W, ene 1917 (fl, fr), *T. Rojas 2401* (MO); Olimpo, Pto. Diana, 7 ene 1974 (fl, fr), *P. Arenas 314* (CTES, MO); Pte. Olimpo, 11 ene 1974 (fl, fr), *P. Arenas 337* (CTES, MO); Bahía Negra, Chaco paraguayano, 15 nov 1946 (fl), *T. Rojas 13763* (L, MO). **Alto Paraná:** Reserva Tatí Yupí, 4 mar 1980 (fl, fr), *Itaipú Binacional 626* (MO). **Boquerón:** Mayor Pedro Lagerenza, 5 abr 1978 (st), *A. Schinini & E. Bordas 14905* (CTES). **Central:** Emboscada, dic 1971 (fl, fr), *A. Schinini 4187* (CTES, G, GH, LP). **Concepción:** Concepción, próximo al aeródromo, 25 feb 1968 (fl), *L. Z. Ahumada 3497* (MO, S); 11 feb 1972 (fl), *L. Z. Ahumada 4619* (UC); Colonia San Lázaro, 22°10'S,

57°55'W, dic 1930 (fl), *T. Rojas 5465* (MO). **Presidente Hayes:** Fu. General Bruguez, 7 ene 1980 (fl, fr), *P. Arenas 1647* (CTES); Pozo Colorado, 93 km antes de Concepción, 4 mar 1980 (fl, fr), *Bernardi 20154* (MO); estancia Santa Asunción, km 200 ruta Transchaco, detrás de la casa, 23°53'49"S, 58°35' 22"W, 13 feb 2004 (fl, fr), *M. Peña-Chocarro et al. 1691* (MO); ruta Trans-Chaco, km 245, 18 dic 1987 (fl), *A. Schinini & R. Palacios 25820* (CTES, MO). **Sin localidad precisa:** "Gran Chaco", sin fecha (fl), *A. Pride s.n.* (K).

ARGENTINA. Chaco: Primero de Mayo, camino Colonia Benítez a Resistencia, feb 1930, *T. Meyer 155* (SI); depto. Resistencia, Barranqueras, 23 dic 1950 (fl), *T. Meyer 16252* (W); Primero de Mayo, Colonia Benítez, 1 mar 1931 (fl, fr), *A. G. Schulz 167* (CTES, MO, P); Primero de Mayo, Colonia Benítez, 3 jul 1941 (st), *A. G. Schulz 2991* (CTES); Colonia Benítez, 17 sep 1946 (fr), *A. G. Schulz 6467* (CTES); Primero de Mayo, entre Colonia Benítez y Antequera, 31 jul 1967 (fr), *A. G. Schulz 15992* (CTES); Primero de Mayo, Colonia Benítez, camino a Antequera, 30 dic 1973 (fl), *A. G. Schulz 18728* (CTES). **Formosa:** Dept. Pilcomayo, Parque Nacional Pilcomayo, alrededores de Puesto Algarrobo, Estero Poí, 10 nov 1991 (fl), *R. Fortunato et al. 2175* (MO); dept. Pilcomayo, Parque Nacional Pilcomayo, La Alegría, 11 nov 1991 (fl), *R. Fortunato et al. 2248* (MO); dept. Pilcomayo, Parque Nacional Pilcomayo, Estero Poí, alrededores de Puesto Algarrobo, 18 mar 1992 (fl), *R. Fortunato et al. 2893* (MO); jun 1919 (fr), *Jørgensen 2772* (GH, SI); Pilcomayo, Loma Parí, 20 dic 1946 (fl), *Morel 1879* (CTES).

Holostylis

Este género monoespecífico fue descrito como diferente de *Aristolochia* por **Duchartre** (1854), con base en la forma campanulada del perianto (Fig. 3A-D) y la aparente ausencia de lóbulos estigmáticos en el ginostemo. Estos rasgos fueron descritos en el protólogo como "Hoc genus differt an *Aristolochia* calyce basi non in utriculo inflato nec superius in tubum contracto sed campanulato, styloque tantum apice crenato non in lobos diviso" (**Duchartre**, 1854:33). *Holostylis* fue reconocido por **Duchartre** (1864), **Masters** (1875), **Hoehne** (1927, 1942), **Huber** (1960, 1985, 1993), y **Ahumada** (2010), entre otros. **Baldacci** (1894) empleó la aparente forma campanulada del perianto como una forma transicional que permitiría asociar a *Aristolochia* y *Asarum*, este último un género de cerca de 120 especies del hemisferio Norte, que posee flores actinomorfas y en muchos casos campanuladas. En el tratamiento taxonómico de **Schmidt** (1935, seguido por **Hoehne**, 1942), fue incluido, junto con *Aristolochia*, en la tribu Aristolochieae.

Los caracteres diferenciales de *Holostylis* mencionados en el protólogo corresponden a flores completamente desarro-

lladas y en anthesis, en las cuales el perianto adquiere una forma campanulada (Fig. 3 B-D) y el ginostemo parece entero en su región apical. No obstante, los estudios de desarrollo floral en este género (**González & Stevenson**, 2000a, 2000b) muestran, en primer lugar, que el perianto en flores jóvenes es monosimétrico y diferenciado en utrículo, tubo y limbo (Fig. 3A); incluso, existe una siringe entre el utrículo y el tubo (Fig. 3E), homóloga a la que se forma en muchas especies de *Aristolochia* y que reduce el ingreso al utrículo. En fases posteriores de crecimiento del perianto, la diferenciación entre el tubo y el limbo se hace incipiente durante preantesis y anthesis (Fig. 3A-E). La superficie interna de la porción correspondiente al tubo y a limbo (indiferenciados en flores antéticas) posee tricomas cónicos cortos, blanquecinos (Fig. 3C, D). Estos tricomas son una sinapomorfía del clado formado por los subgéneros *Aristolochia* + *Pararistolochia* (Fig. 1, nodo 2). En cuanto al ápice del ginostemo, durante anthesis y post-anthesis éste parece ser entero (Fig. 3E); no obstante, en estados tempranos de desarrollo se aprecia claramente la presencia de seis lóbulos estigmáticos (Fig. 26D en **González & Stevenson**, 2000a), característica sinapomórfica del subgénero *Aristolochia* (Fig. 1, nodo 3).

Análisis filogenéticos mencionados basados en evidencia morfológica (e.g. **González**, 1997, 1999a; **González & Stevenson**, 2002; **Kelly & González**, 2003) y molecular (**González et al.**, 2005, 2012.; **Wanke et al.**, 2006) y la reevaluación de los caracteres diagnósticos de *Holostylis* examinados tanto en flores maduras como durante el desarrollo floral temprano, presentan evidencia contundente a favor de incluir la única especie de este género dentro de *Aristolochia*. A continuación se presenta la descripción detallada de la especie y se anotan todos los ejemplares hasta la fecha examinados por el autor, los cuales deben llevar la combinación propuesta por **González** (1999b).

Aristolochia holostylis F. González, Rev. Acad. Colomb. Ci. Exact. 23(8): 338-339. 1999. *Holostylis reniformis* Duchartre, Ann. Sci. Nat. Bot. ser. 4, 2:33-35. 1854. *Duchartrella reniformis* (Duchartre) O. Kuntze, Rev. Gen. Pl. 2: 563-564. 1891. *Aristolochia reniformis* (Duchartre) F. González, Caldasia 19(1-2): 124. 1997, non Willd. Sp. Pl. (1805), nec Vell. Fl. Flum. (1827). Tipo: **Brasil**. Goiás: 1836-1841 (fl, fr), *Gardner 3970* (lectotipo, G; isolectotipos: BM, G, K, NY, P, FI-WEB).

H. reniformis Duchartre f. *minor* Chodat in Bull. Herb. Boiss. Ser. 2, 3:787. 1903. Tipo: Paraguay. Amambay: "In dumetis pr. Bellavista in regione cursus superioris fluminis Apa", Dec 1901-1902, *E. Hassler 8061a* (Holotipo: G; isótipos: A, BM, G, K, MO, NY, RB, S, UC).



Figura 3. Características diagnósticas de *Aristolochia holostylis* (syn.: *Holostylis reniformis* (González 3899). **A.** Rama florífera, con tres botones florales en desarrollo (de derecha a izquierda) y una flor en anthesis. **B.** Flor en anthesis, vista frontal, y cápsula. **C, D.** Perianto durante anthesis temprana (**C**) y tardía (**D**). **E.** Sección longitudinal de una flor en anthesis. **c,** cápsula; **g,** ginostemo; **l,** limbo; **o,** ovario; **s,** siringe; **t,** tubo; **t-l,** porción tubo-limbo indiferenciada en anthesis; **u,** utrículo.

Aristolochia campanulata Duchartre, *nomen nudum* in Gardner 3970 (FI-WEBB No. 159368).

Hierbas o subarbustos con raíces fasciculadas, homorrhizas, rizoma muy corto, y ramas glabrescentes, ascendentes o a veces postradas, usualmente fistulosas, hasta de 50 cm largo, con entrenudos cortos. Hojas basales por lo general reducidas y subsésiles. Hojas distales con peciolo de 2-3.5 cm largo y lámina reniforme, ancha a muy anchamente ovada, 7-15(-28) x 12-20(-35) cm, cartácea, base cordada, cuneada, no peltada, seno 2.5-5 cm profundo, más ancho que profundo, ápice redondeado, haz glabra, micropunteada, envés glabrescente, micropunteado, glauco, venación actinódroma, venas primarias 5(7), prominentes por el envés, venas de orden mayor prominulas por ambas caras formando un retículo denso. Pseudoestípulas ausentes. Ramas floríferas usualmente basales, elongadas, laxas, hasta de 20 cm largo, con ca. 5-10 hojas reducidas (bracteiformes), subsésiles, una

flor en la axila de cada hoja. Pedúnculo floral y ovario 1.5-3 cm largo, esparcidamente pubérulo, con un rostro distal de ca. 0.5 mm. Perianto en flores en desarrollo monosimétrico y diferenciado en utrículo, tubo y limbo, en flores antéticas aparentemente campanulado y ligeramente monosimétrico, craso, glabro por fuera; utrículo obovoide, 6-12 mm largo, ca. 5 mm diámetro, ampliado en una porción inflada correspondiente al tubo y a un corto limbo, 1.5-2.5 x 1.5-3 cm, en ángulo de ca. 180° con respecto al utrículo, con tricomas cónicos cortos, blanquecinos en la superficie interna; anteras seis, extrorsas, ditecas, lineariformes, formando un ginostemo casi tan largo como el utrículo; ginostemo con ápice oblicuo y aparentemente entero, pero con seis lóbulos estigmáticos rudimentarios y diferenciados en estados tempranos de desarrollo, densamente pilosos, con tricomas uncinados; ovario hexacarpelar y hexalocular. Cápsula cilíndrica, 3-5 cm largo, cortamente rostrada, con frecuencia ligeramente curvada. Semillas ovoides, 5-7 x 4-6 mm, 2-3 mm grosor,

cara adaxial cóncava, opaca, casi completamente cubierta por la rafe prominente y ensanchada, cara abaxial convexa, lustrosa, lisa, marrón clara, margen amarillenta.

Distribución. *Aristolochia holostylis* ha sido recolectada en Bolivia (Beni y Santa Cruz), Brasil (Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul y Tocantins) y Paraguay (Amambay). Crece en “capoeiras”, “cerrados” y bosques de galería adyacentes a “cerrados” y “chapadas”, en suelos arenosos y pedregosos, en alturas que oscilan entre 200-750 m.

Ejemplares examinados. BOLIVIA. Beni: Huacaraje, 63°45'W 13°31'S, 11 abr 1979 (fl, fr), *A. Krapovickas & A. Schinini 34825* (CTES, MO). **Santa Cruz:** Prov. Velasco, afuera de San José de Campamento, 60°59'29"W, 15°09'20"S, 230 m, 25 ene 1997 (fl), *J. Guillén et al. 314* (COL, MO); Nuflo de Chávez, 250 m, 15°43'S, 63°06'W, 27 abr 1977 (fl, fr), *A. Krapovickas & A. Schinini 31886* (CTES, SI).

BRASIL. Goiás: Goiás Velha, 22 Jan 1967 (fl), *A. P. Duarte 10240* (RB); Vale do Paraná, Rio dos Macacos, 5 feb 1967 (fl), *A. P. Duarte 10307* (RB); Gurupi, 27 dic 1969 (fl), *G. Eiten & L. E. Eiten 10034* (K, MO, NY); Serra da Cangalha, 8°05'S, 46° 02'W, 19 mar 1978 (fr), *W. Fonseca 125* (RB); Barra do Rio Paranariba, 1894-1895 (fl, fr), *A. Glaziou 22034* (G, K, RB); Goiás Velho, 7 feb 1978 (fl, fr), *R. M. Harley 20440*, (K); between Posse and Alvorada, 600 m, 17 Apr 1966 (fl, fr), *H. S. Irwin et al. 14954* (COL, CONN, NY); ca. 15 km S of S of Niquelândia, ca. 750 m, 22 Jan 1972 (fl, fr), *H. S. Irwin et al. 34746* (COL, CONN, NY); ca. 15 km S of Niquelândia, ca. 750 m, 22 Jan 1972 (fl, fr), *H. S. Irwin et al. 34776, 34776 A* (COL, CONN, NY); ene 1893 (fl), *E. Ule 489* (CORD, HBG); 18 km from Alto Paraíso de Goiás on the road to Nova Roma, c. 14°07'S 47°20'W, 14 jun 1994 (st), *J.A. Ratter et al. 7352V* (K). **Maranhão:** Loreto, Ilha de Balsas region, Fazenda Aldeia on trail to Faz. Morros, 200-300 m, 12 Apr 1962 (fl), *G. Eiten & L. T. Eiten 4288* (K, MO, NY); Imperatriz, behind Rodobrás, station on south side of city of Imperatriz, 5°33'S, 47°28'W, 6 Jan 1970 (fl), *G. Eiten & L.T. Eiten 10196* (MO); rodovía Grajau-Barro do Corda, c 5 km da cidade de Grajau, 23 abr 1983 (fl, fr), *M. F. F. Silva et al. 1191* (NY); Imperatriz, Bananal, 15 km S of Imperatriz along Belém-Brasília highway (BR 010), approx. 5°40'S, 47°26'W, 290 m, 29 feb 1980 (fl, fr), *T. Plowman et al. 9369* (COL, NY); Tuntum, lugar Palmerinha, a 74 km de Tuntum, 27 feb 1983 (fl, fr), *J. U. Santos et al. 710* (COL, NY); Barra da Corda, Cocal Grande, 34 km NE of Barra do Corda along the Río Mearim, 5°24'S, 45°06'W, 7 mar 1983 (fl), *G. E. Schatz et al. 880* (COL, NY); Grajaú, Rodovia Grajaú-Barra do Corda, 23 abr 1983 (fl, fr), *M. F. F. Silva et al. 1191*, (COL, HBG, NY). **Mato Grosso:** Sto. Antonio de Leverger, 18 ene 1979 (fl), *A. Maciel 30* (BM); Coxipro, pr.

Cuiabá, 12 jun 1902 (fl, fr), *G. Malme 2704* (S); Cuiabá, nov 1903 (st), *G. Malme s.n.*, (S); Sto. Antonio de Leverger, 31 Jan 1989 (fl), *L. Mantone et al. s.n.* (RB); “in arenosis humidusculis pr. Matto Grosso”, Jan 1828 (fl, fr), *Riedel 1255*, (LE); Cuiabá, dstr. N. Senhora, da Guia, 26 abr 1981 (fl, fr), *M. Sazima & C. Nunes da Cunha 12644*, (K, UEC). **Mato Grosso do Sul:** Bela Vista, 11 ene 1972 (fl, fr), *L. Z. Ahumada 4565* (GH, UC); idem, (fl), *L. Z. Ahumada 4567* (MO) (fl), *L. Z. Ahumada 4570* (NY); Río Verde, Serra da Pimenteira, 12 nov 1973 (fl), *G. Hatschbach & C. Koczicki 33142* (CTES, HBG, NY, UC). **Tocantins:** Arraias, Rodovia Campos Belos a Taguatinga, 11 feb 1994 (fl), *G. Hatschbach et al. 60350* (CTES). **Sin localidad precisa:** (fl), *Burchell 6499* (K, P), 21 feb 1828? (fr), *Burchell 6720* (K), (fr) *Burchell 8854* (K); (fl), *Pohl s.n.* (BM); 6 nov 1943 (fl), *A. Macedo 365* (MO). “Brazil (fr), *Riedel s.n.* (BM).

PARAGUAY. Amambay: Bella Vista, afueras de Bella Vista, 12 feb 1982 (fl, fr), *J. Fernández-Casas 6281* (MA, MO, NY); Bella Vista, “cursus superioris fluminis Apa”, Dec 1901-1902 (fl, fr), *E. Hassler 8061* (A, G, K, MO, NY, RB, S, UC); Bella Vista, cercanías del Río Apa, ene 1972 (fl), *A. Schinini 4243* (G); Bella Vista, Río Apa, 20 ene 1971 (fl), *A. Schinini 12188* (CTES); Bella Vista, Río Apa, 25 ago 1980 (fl), *A. Schinini & E. Bordas 20630* (CTES); Bella Vista, Río Apa, 28 mar 1951 (fl, fr), *G. J. Schwarz 12223* (CTES, MO); Bella Vista, Río Apa, 15 dic 1983 (fl), *R. Vanni et al. 313* (TEX).

Nombre vernáculo y usos. “Flor de sapo” (Ituitaba, *Macedo 365*). “Taken as a tea to help in the rapid healing of wounds” (*Ratter et al. 7352*).

Monofilia, parafilia y monografías

Las clasificaciones lineanas y los nombres formales de los taxones son, por sí mismos, conceptos constitutivos de hipótesis susceptibles a evaluación por parte de la sistemática contemporánea (véase *Schuh*, 2003). La sistemática filogenética ha sido considerada útil y necesaria al momento de reevaluar las clasificaciones precladísticas, entre otras razones porque ofrece principios lógicos y aspectos metodológicos para poner a prueba las hipótesis de parentesco. En efecto, la hipótesis inicial en todo análisis filogenético se fundamenta en el *Hilfsprinzip* o principio de auxiliaridad, definido por *Hennig* (1982:121) como “das Vorhandensein apomorpher Merkmale bei verschiedenen Arten “stets den Verdacht (!) auf Verwandtschaft” (d.h. den Verdacht auf Zugehörigkeit der betreffenden Arten zu einer monophyletischen Gruppe)” (“la presencia de caracteres apomórficos en varias/diferentes especies es indicio de parentesco (i. e. el indicio de la pertenencia de dichas especies a un grupo monofilético)).

Recientemente, varios autores han defendido la aceptación de grupos parafiléticos en las clasificaciones contemporáneas (e. g. **Sosef**, 1997, **Brummitt**, 2003, 2006, 2008; **Brummitt & Sosef**, 1998; **Nordal & Stedje**, 2005; **Hörandl**, 2006, 2007, 2010). Aunque muchas de estas propuestas se fundamentan en aspectos teóricos, otras invocan las aparentes ventajas prácticas al momento de reconocer tales grupos (véase, p. ej. **Van Wyk**, 2007 para el caso de taxonomía de plantas en regiones megadiversas). Tales propuestas han sido detallada-, amplia- y contundentemente refutadas por numerosos autores (e. g. **Dias et al.**, 2005; **Potter & Freudenstein**, 2005; **Williams et al.**, 2005; **Ebach et al.** 2006), quienes demostraron que las clasificaciones jerárquicas lineanas son totalmente compatibles con la aplicación del concepto de monofilia, que no requieren el reconocimiento de taxones parafiléticos, y que, por lo tanto, el taxónomo no tiene razones lógicas para ignorar los análisis filogenéticos.

El balance logrado entre el conocimiento taxonómico y el filogenético de nuestras biotas genera nuevo conocimiento y esquemas alternativos de la clasificación; por lo tanto, estas dos disciplinas deben ser complementarias más que disyuntas. Las categorías lineanas dan los nombres taxonómicos a ser evaluados; es decir, los nombres formales son conceptos (**Schuh**, 2003) y están fundamentalmente ligados a una hipótesis biológica (la existencia de un taxón natural reconocible por caracteres intrínsecos), no a una arbitrariedad nominal. La perpetuación del uso de nombres tradicionalmente reconocidos a lo largo de la taxonomía lineana pretende, erróneamente, aplicar la propiedad de estabilidad que un sistema de clasificación debe proporcionar. No obstante, este supuesto confunde la estabilidad absoluta con la estabilidad nomenclatural requerida durante la refutación de hipótesis filogenéticas (véase **Schuh**, 2003). En vez de eliminar o corregir un error taxonómico a partir de un análisis filogenético, ejemplos como el de *Aristolochia* como taxón parafilético perpetúa la individualidad de géneros inaceptables a la luz de copiosa evidencia actual. Los análisis filogenéticos poseen el valor agregado de ser la base explícita al momento de evaluar las clasificaciones lineanas precladísticas, de detectar parafilia, y de rectificar o redefinir los taxones para la sistemática del Siglo XXI. **Kubitzki** (2000:65) comentó al respecto, “[m]ost botanists, irrespective of their adherence to special schools of thinking, would agree that the units of classification should be monophyletic... Nearly 200 years ago, this latter aspect had been anticipated by Goethe when he said: Gliederung ohne Steigerung gibt uns kein Interesse” (“Grouping without refinement does not interest us”).

Conclusiones

El primero de los rasgos diferenciales de *Euglypha* como género diferente de *Aristolochia* (utrículo con una constricción

basal) ocurre en otras especies de *Aristolochia*, y es de variación clinal (continua, no discreta) a nivel interespecífico (Fig. 2 A-F); el segundo rasgo (cápsula oligosperma y aparentemente indehiscente) ocurre como resultado del acortamiento extremo del ovario, que no altera la primera fase de la dehiscencia de las cápsulas típicas en *Aristolochia* (separación de los carpelos; Fig. 2G-J), aunque impide la segunda fase (separación de los márgenes de cada carpelo). En cuanto a los rasgos diferenciales de *Holostylis* (perianto campanulado y ginostemo entero), éstos resultan ser solamente manifestaciones ontogenéticas tardías, ya que en estados tempranos de desarrollo floral se detectan claramente las sinapomorfias de las aproximadamente 550 especies del género *Aristolochia*, esto es, el perianto monosimétrico diferenciado en utrículo, tubo y limbo, y el ginostemo apicalmente lobulado.

La presencia de las sinapomorfias de *Aristolochia* en *Euglypha* y *Holostylis*, y la falla de criterios de homología primaria de los rasgos diferenciales en estos dos últimos, evidencian contundentemente la subordinación de *E. rojasiana* y *H. reniformis* en *Aristolochia*. En caso contrario, el reconocimiento tradicional de *Aristolochia* en su sentido estricto invoca de manera innecesaria la parafilia de este taxón, lo cual va en contra de los principios lógicos de la sistemática filogenética y de los análisis basados en datos morfológicos, moleculares, o combinados, que en ningún caso aportan evidencia a favor de aceptar *Euglypha* y *Holostylis* como diferentes de *Aristolochia*. El reconocimiento de *E. rojasiana* y *H. reniformis* conllevaría a un caos nomenclatural innecesario dentro de la clasificación interna de *Aristolochia* basada en monofilia, debido a que estas dos especies se encuentran anidadas en los subclados más diversos del género, subordinados de la siguiente manera (Fig. 1): (a) el clado formado por los subgéneros *Aristolochia* + *Pararistolochia*, conformado por cerca de 400 especies; (b) el subgénero *Aristolochia*, conformado por cerca de 370 especies; (c) la sección *Gymnolobus*, con cerca de 200 especies.

Agradecimientos

A. S. Vogel (Universidad de Viena) y C. Neinhuis (Technische Universität Dresden) por permitir acceso a las colecciones vivas de *Aristolochia holostylis*. A N. L. Pabón-Mora (Instituto de Biología, Universidad de Antioquia), por su colaboración en la preparación de las figuras del presente artículo. A los curadores de los distintos herbarios que facilitaron en préstamo los ejemplares examinados durante el presente estudio.

Bibliografía

- Ahumada, L. Z.** 1967. Revision de las Aristolochiaceae argentinas. Op. Lill. 16: 1-148.

- . 2010. Aristolochiaceae. In: L. Ramella & P. Perret (eds.), Flora del Paraguay **41**: 1-74. Conservatoire et Jardin botaniques, Ville de Genève, Suiza.
- Baldacci, A.** 1894. Affinità delle Aristolochiacee e dei generi Aristolochiacei. Boll. Soc. Bot. Ital. **1894**: 49-54.
- Brummitt, R. K.** 2003. Further dogged defense of paraphyletic taxa. Taxon **52**: 803-804.
- . 2006. Am I a bony fish? Taxon **55**: 268-269.
- . 2008. Evolution in taxonomic perspective. Taxon **57**: 1049-1050.
- & **M. S. M. Sosef.** 1998. Paraphyletic taxa are inherent in Linnaean classification – A reply to Freudenstein. Taxon **47**: 411-412.
- Chodat, R. & E. Hassler.** 1906. Novitates Paraguarienses. Bull. Herb. Boiss., ser. 2, **6**: 138-141.
- Dias, P., L. C. S. Assis & R. G. Udulutsch.** 2005. Monophyly vs. paraphyly in plant systematics. Taxon **54**: 1039-1040.
- Duchartre, P.** 1854. Tentamen methodicae divisionis generis *Aristolochia*. Ann. Sci. Nat. Bot. ser. 4, **2**: 29-76.
- . 1864. Aristolochiaceae. In: A. P. de Candolle (ed.), Prodrum Systematis Naturalis Regni Vegetabilis. Paris, **15(1)**: 421-498.
- Ebach, M. C., D. M. Williams & J. J. Morrone.** 2006. Paraphyly is bad taxonomy. Taxon **55**: 831-832.
- González, F.** 1990. Aristolochiaceae. Flora de Colombia. Monografía No. 12. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, 184 pp.
- . 1994. Aristolochiaceae. Flora de Ecuador. Monograph No. 51. Council for Nordic Publications in Botany, Copenhagen, Denmark.
- . 1997. Hacia una filogenia de *Aristolochia* y sus congéneres neotropicales. Caldasia **19 (1-2)**: 93-108.
- . 1999a. A phylogenetic analysis of the Aristolochioideae (Aristolochiaceae). Ph. D. Dissertation. City University of New York, New York.
- . 1999b. Un nuevo nombre para *Holostylis reniformis* (Aristolochiaceae). Rev. Acad. Colomb. Ci. Exact. **23 (88)**: 337-339.
- & **D. W. Stevenson.** 2000a. Gynostemium development in *Aristolochia* (Aristolochiaceae). Bot. Jahrb. Syst. **122**: 249-291.
- & ———. 2000b. Perianth development and systematics of *Aristolochia*. Flora **195**: 370-391.
- & ———. 2002. A phylogenetic analysis of the subfamily Aristolochioideae (Aristolochiaceae). Rev. Acad. Colomb. Ci. Exact. **26 (98)**: 25-60.
- , **C. Neinhuis & S. Wanke.** 2005. Phylogenetic relationships of Aristolochiaceae subfamily Aristolochioideae based on molecular and morphological data. Abstracts, XVII International Botanical Congress, Vienna, Austria, p. 202.
- , **S. Wagner, L. Symmank, K. Salomo, M. S. Samain, S. Isnard, N. Rowe, C. Neinhuis & S. Wanke.** 2012. Multiple vicariance events explain complex trans-Pacific disjunct lineages within *Aristolochia* subgenus *Isotrema* (Aristolochiaceae). J. Biogeogr. (submitted).
- Hauman, L.** 1923. Les Aristolochiacées de L'Argentine et de L'Uruguay. An. Mus. Nac. Hist. Nat. Buenos Aires **32**: 315-338.
- Hennig, W.** 1982. Phylogenetische Systematik. Verlag Paul Parey, Berlin.
- Hoehne, F. C.** 1927. Monographia illustrada das aristolochiaceas brasileiras. Mem. Inst. Oswaldo Cruz **20(1)**: 67-175, t. 16-103.
- . 1942. Aristolochiaceas. Fl. Brasílica **15(2)**: 3-141, t. 1-123.
- Hörandl, E.** 2006. Paraphyletic versus monophyletic taxa – Evolutionary versus cladistic classifications. Taxon **55**: 564-570.
- . 2007. Neglecting evolution is bad taxonomy. Taxon **55**: 1-5.
- . 2010. Beyond cladistics: Extending evolutionary classifications into deeper time levels. Taxon **59**: 345-350.
- Hosseus, C. C.** 1921. Estudios comparativos sobre la vegetación de las provincias de La Rioja y de San Juan. Bol. Acad. Nac. Cienc. Córdoba, Argentina **26**: 43.
- Huber, H.** 1960. Zur Abgrenzung der Gattung *Aristolochia* L. Mitt. Bot. Staatssamml. München **3**: 531-553.
- . 1985. Samenmerkmale und Gliederung der Aristolochiaceen. Bot. Jahrb. Syst. **107**: 277-320.
- . 1993. Aristolochiaceae. In: K. Kubitzki (ed.), The families and genera of vascular plants, **2**: 129-137. Springer, Berlin.
- Kelly, L. M. & F. González.** 2003. Phylogenetic relationships in Aristolochiaceae. Syst. Bot. **28**: 236-249.
- Kubitzki, K.** 2000. Plant systematics at the end of a century. Pp. 65-74 in B. Nordenstam, G. El-Ghazaly & M. Kassas (eds.), Plant Systematics for the 21st Century. Wenner-Gren International Series, Vol. 77. Portland Press, London.
- Masters, M. T.** 1875. Aristolochiaceae. In: C. F. P. von Martius (ed.), Flora Brasiliensis **4(2)**: 76-114, t. 17-26. Frid. Fleischer, Leipzig.
- Murata, J., T. Ohi-Toma, S. Wu, D. Darnaedi, T. Sugawara, T. Nakanishi & H. Murata.** 2001. Molecular phylogeny of *Aristolochia* (Aristolochiaceae) inferred from *matK* sequences. Acta Phytotax. Geobot. **52**: 75-83.
- Nordal, I. & B. Stedje.** 2005. Paraphyletic taxa should be accepted. Taxon **54**: 5-6.
- Ohi-Toma, T., T. Sugawara, H. Murata, S. Wanke, C. Neinhuis & J. Murata.** 2006. Molecular phylogeny of *Aristolochia* sensu lato (Aristolochiaceae) based on sequences of *rbcl*, *matK*, and *phyA* genes, with special reference to differentiation of chromosome numbers. Syst. Bot. **31**: 481-492.
- Pfeifer, H. Wm.** 1966. Revision of the North and Central American hexandrous species of *Aristolochia* (Aristolochiaceae). Ann. Missouri Bot. Gard. **53**: 115-196.
- . 1970. Two new hexandrous Mexican *Aristolochias*. Univ. Connecticut Occas. Papers **1**: 291-297.
- Potter, D. & J. V. Freudenstein.** 2005. Character-based phylogenetic Linnaean classification: taxa should be both ranked and monophyletic. Taxon **54**: 1033-1035.
- Ramella, L., P. Perret & L. Z. Ahumada.** 2010. Sinónimos nuevos y tipificaciones en la familia Aristolochiaceae de la Flora del Paraguay. Candollea **65**: 113-116.
- Schmidt, O. C.** 1935. Aristolochiaceae. In: A. Engler & K. Prantl (eds.), Die natürlichen Pflanzenfamilien. Ed. 2, **16b**: 204-242.
- Schuh, R. T.** 2003. The Linnaean system and its 250-year persistence. Bot. Rev. **69**: 59-78.
- Sosef, M. S. M.** 1997. Hierarchical models, reticulate evolution and the inevitability of paraphyletic supraspecific taxa. Taxon **46**: 75-85.
- Toursarkissian, M.** 1973. Las Aristolochiáceas chaqueñas. Notas Preliminares para la Flora Chaqueña. Secretaría de Agricultura y Gan. de la Nación **5**: 14-29.
- Van Wyk, A. E.** 2007. The end justifies the means. Taxon **56**: 645-648.
- Wanke, S., F. González & C. Neinhuis.** 2006. Systematics of pipevines: Combining morphological and fast-evolving molecular characters to investigate the relationships within subfamily Aristolochioideae (Aristolochiaceae). Int. J. Pl. Sci. **167**: 1215-1227.
- Williams, D. M., M. C. Ebach & Q. Wheeler.** 2005. 150 reasons for paraphyly: a response. Taxon **54**: 858.

Recibido: 2 de mayo de 2012

Aceptado para publicación: 4 de junio de 2012

GEOLOGÍA**REPORTE DEL HALLAZGO DE UN CRÁNEO DE
STEGOMASTODON WARINGI (HOLLAND, 1920) JUVENIL
(MAMMALIA, PROBOSCIDEA) EN ZONA RURAL
DEL MUNICIPIO DE TURBANÁ, BOLÍVAR. COLOMBIA****Mauricio Pardo Jaramillo*****RESUMEN**

Pardo Jaramillo, M.: Reporte del hallazgo de un cráneo de *Stegomastodon Waringi* (Holland, 1920) juvenil (Mammalia, Proboscidea) en zona rural del municipio de Turbaná, Bolívar. Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 137-143, 2012. ISSN 0370-3908.

En 1994 se realizó el hallazgo de un cráneo de Mastodonte juvenil en zona rural del Municipio de Turbaná. El presente reporte describe el ejemplar y expone de manera resumida el criterio de los diferentes autores acerca de la nomenclatura y posición sistemática de los mastodontes suramericanos. La pieza es asignada provisionalmente a la especie *Stegomastodon waringi* (Holland, 1920), hasta que un pronunciamiento oficial de la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica resuelva y aclare la validez de los criterios taxonómicos y la prevalencia de los diferentes nombres usados a través del tiempo para clasificar los restos de este grupo de la megafauna Suramericana.

Palabras clave: Mastodonte, *Stegomastodon*, *Haplomastodon*, taxonomía, megafauna.

ABSTRACT

In the year 1994 was the discovery of a juvenile mastodon skull in the rural area of Turbaná town. This report describes the sample and briefly summarized the approach of different authors concerning the nomenclature and systematic position of the South American mastodons. The specimen is tentatively assigned to the specie *Stegomastodon waringi* (Holland, 1920), until an official statement from the International Commission of Zoological Nomenclature resolve and clarify the validity of the taxonomic criteria and the prevalence of the different names used over time to classify the remains of this group of South American megafauna.

Key words: Mastodons, *Stegomastodon*, *Haplomastodon*, taxonomic, megafauna.

* Servicio Geológico Colombiano, Subdirección de Geología Básica, Bogotá.
Email: mpardo@ingeminas.gov.co

Introducción

En el primer semestre de 1994 al sur de la ciudad de Cartagena de Indias se realizó de manera fortuita el hallazgo de un cráneo de mastodonte juvenil en sedimentitas de la Unidad Detrítica de La Popa. En ese mismo año El Museo Geológico Nacional José Royo y Gómez del Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS), adelantó la prospección del hallazgo Paleontológico encabezado por la Dra. María Páramo Fonseca, dichas labores permitieron confirmar que los restos fósiles correspondían a un fragmento craneal de mastodonte juvenil denominados hasta entonces restos de Mastodonte de Turbaná (preliminarmente UC-1 o IPN-43). En ese momento el INGEOMINAS indicó la relevancia del hallazgo y solicitó a los propietarios del predio la donación de la pieza a una entidad museística regional; así en el año 2004 el señor Álvaro Durango donó formalmente a la Universidad de Cartagena la pieza paleontológica, la cual fue albergada y cuidada en el Claustro de San Agustín de la Universidad de Cartagena, bajo la custodia del profesor Wilson Blanco, profesor titular del programa de Historia de la Universidad de Cartagena. Posteriormente la pieza fue examinada en el año 2005 por el paleontólogo Carlos Villarroel y el Arqueólogo Gonzalo Correal, quienes en su momento y con base en las observaciones realizadas clasificaron la pieza dentro del género *Haplomastodon*. En Octubre de 2009 se suscribió formalmente el convenio interadministrativo celebrado entre la Universidad de Cartagena y el Museo Geológico Nacional del Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, en el marco del cual se trasladaron los restos fósiles a los laboratorios del Museo en la ciudad de Bogotá, con el fin de realizar las respectivas labores de curatoría y preparación de las piezas para su adecuada conservación y posterior exhibición en los predios de la Universidad de Cartagena. La preparación de los restos estuvo a cargo del Señor Gerardo Vargas Quintero, técnico del laboratorio 1 de microfósiles del Museo Geológico Nacional de INGEOMINAS y de Mauricio Pardo Jaramillo, geólogo-paleontólogo de la misma institución y autor del presente reporte.

La historia de la taxonomía o clasificación de los mastodontes Sur Americanos es bastante compleja ya que esta ha sufrido constantes revisiones y clasificaciones, aun cuando los criterios para su determinación han sido básicamente los mismos, como lo son la forma y presencia o no de banda de esmalte en las defensas, la morfología y manera de desgaste en los molares y la forma general del cráneo. Resultado de estas variadas maneras de entender la taxonomía de este grupo fósil son las diferentes corrientes que existen en la actualidad para clasificar los proboscídeos suramericanos, sin que hasta el momento la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica se haya pronunciado oficialmente al respecto.

Los mastodontes suramericanos son bunodontos, es decir que sus molares poseen montículos separados y redondeados para triturar sus alimentos. Estos montículos presentan una compleja estructura que consta de un patrón seriado de hileras transversales o lofos. Cada lofo posee dos cúspides principales con forma de cúpula (conos o colinas) y cada una de estas cúpulas puede o no exhibir de manera adyacente cúspides más pequeñas (cónulos o conoletes) lo cual origina diferentes figuras en la superficie oclusal del molar a medida que este se desgasta.

Cabrera (1929) reconoce 3 géneros de mastodontes para Argentina: *Cuvieronius* OSBORN, 1923, *Notiomastodon* CABRERA, 1929 y *Stegomastodon* POHLIG, 1912, diferenciando *Notiomastodon* de *Stegomastodon* por tan solo la persistencia de una banda lateral de esmalte sin torsión en las defensas de *Notiomastodon*, rasgo que es reconocido por autores posteriores en individuos juveniles de *Haplomastodon* HOFFSTETTER, 1950 y *Stegomastodon* (Prado *et al.*, 2005., Alberdi y Corona, 2005., Ferretti, 2008.). Posteriormente Hoffstetter (1950) describe *Haplomastodon* basado en material de Ecuador, considerándolo un subgénero de *Stegomastodon*, luego, en 1952 el mismo autor elevó este rango a género, basándose en la ausencia de un foramen transversal en el atlas, carácter que luego sería desvirtuado por otros autores (Simpson y de Paula Couto, 1957; Ficarelli *et al.*, 1993, 1995). Así, Hoffstetter considera válidos los géneros *Cuvieronius*, *Stegomastodon* y *Haplomastodon* y estima que *Notiomastodon* es en realidad una variación de *Stegomastodon*. Simpson y de Paula Couto (1957) reconocen la presencia en Sur América de los géneros *Cuvieronius*, *Stegomastodon* y *Haplomastodon* y guardan sus reservas en cuanto al género *Notiomastodon*, al que consideran, al igual que Hoffstetter, una variación de *Stegomastodon*. Con respecto a las diferencias entre *Haplomastodon* y *Stegomastodon* afirman, que la estructura de los molares en *Stegomastodon* es más compleja, sin embargo, la alternancia entre pretritros (cúspide con cónulos accesorios) y posttritros (cúspides sin cónulos accesorios) en cada lofo de los molares es más marcada en estos dos géneros que en *Cuvieronius*; siendo los molares de *Stegomastodon* menos bunodontos que los de *Haplomastodon* y *Cuvieronius*. Ficarelli *et al.* (1993, 1995) consideran válidos para Sur América tres géneros de mastodontes: *Cuvieronius*, *Haplomastodon*, representado por la especie *H. waringi* (HOLLAND, 1920) y *Stegomastodon*, representado por la especie *S. platensis* (AMEGHINO, 1888). Alberdi y Prado (1995), proponen un esquema simplificado, incluyendo *Haplomastodon* y *Notiomastodon* dentro del género *Stegomastodon*, reduciendo a dos el número de géneros reportados en Sur América con tan solo 3 especies: *Cuvieronius hyodon* (FISCHER, 1814), *Stegomastodon waringi* y *Stegomastodon platensis*, consideran pues, que las

diferencias asignadas entre los restos de *Stegomastodon* y *Haplomastodon* son tan reducidas que no se deben considerar genéricas. Ferretti (2008) hace una completa revisión de la historia de la sistemática de los proboscídeos suramericanos, aceptando en cuanto a los géneros, la revisión que en su momento hicieron Simpson y Paula Couto (1957), no sin anotar que esta nomenclatura sigue en controversia. Ferretti (2009, 2010) propone designar *Haplomastodon chimborazi* (PROAÑO, 1922) de Ecuador nombre válido y Neotipo de *H. waringi*, argumentando diversas razones que son rebatidas por Pasenco (2010), Lucas (2010) y Demirjian (2010) en sendas publicaciones del Boletín de Nomenclatura Zoológica.

Lucas (2009, 2010) aconseja conservar el uso del nombre *Mastodon waringi* HOLLAND, 1920, tal como fue establecido en su momento, pero designando un Neotipo, ya que el holotipo de Pedra Vermelha (Brasil) consta de material no diagnóstico. Mothé, Avilla y Winck (2010), estudian varios aspectos de los Gonfoterios del rico yacimiento de Aguas de Araxá en Brasil y con respecto a la nomenclatura acogen el uso del nombre *Stegomastodon waringi* para clasificar los mastodontes del mismo yacimiento que en 1957 Simpson y Paula Couto catalogaron como *Haplomastodon waringi*. En estudios paleoecológicos publicados por Dominato, Mothé, Costa da Silva y Avilla (2011) sobre los mismos restos de Aguas de Araxá, usan el nombre *Haplomastodon waringi*, sin embargo un poco después Asevedo, Winck, Mothé y Avilla (2011) hacen un estudio con los restos de este mismo yacimiento (Aguas do Araxá) acerca de la paleo-dieta de estos animales, pero esta vez los clasifican, posiblemente siguiendo en parte la propuesta de Madden (1984), como *Notiomastodon platensis*, respaldando esta última opción está en prensa el trabajo de Mothé *et al* (2011) en donde se revisan las colecciones de los principales museos del Cono Sur y proponen el uso de este nuevo nombre para denominar los mastodontes Suramericanos diferentes de *Cuvieronius hyodon*, añadiendo una nueva forma de ver la intrincada historia taxonómica del grupo.

Materiales y Métodos

El cráneo examinado en el presente trabajo (IGM p881179) será resguardado en calidad de comodato en la Universidad de Cartagena, (Bolívar), en un lugar especial dispuesto por la facultad de Ciencias Humanas de dicha Institución; por su parte la Curatoría y mantenimiento de la pieza será responsabilidad del Museo Geológico Nacional 'José Royo y Gómez'.

Se ha seguido la propuesta de Alberdi *et al.* (2002) para la descripción general de los molares y el registro de los da-

tos morfológicos y morfométricos, ya que este es el trabajo que mejor ilustra con dibujos y esquemas las características dentales y craneales a medir. Para el registro de estos datos se utilizaron los instrumentos usuales para dicha tarea: un calibrador digital de 6 pulgadas y una cinta métrica.

Las características de la pieza de estudio indican que se trata de un individuo juvenil, por esta razón *las medidas tomadas tienen primordialmente la finalidad de describir el ejemplar*, no sobra anotar que dichos datos deben ser tratados con sumo cuidado a la hora de hacer análisis estadísticos comparativos con otros restos craneales de Gonfoterios, pues el individuo exhibe molares deciduales y como es de suponer no ha completado su crecimiento.

Paleontología sistemática

Orden: PROBOSCIDEA Illiger, 1811
 Superfamilia: ELEPHANTOIDEA Gray. 1821
 Familia: Gomphotheriidae Hay, 1922
 Género: *Stegomastodon* Pohlig, 1912
Stegomastodon waringi (Holland, 1920)

Numero de Catálogo: IGM p881179

Procedencia geográfica: Finca Paricuica. Área rural del municipio de Turbaná (Bolívar), a aproximadamente 22 Km. al Sur del casco urbano de la Ciudad de Cartagena de Indias; en inmediaciones del canal del Dique- Puerto Badel y del Yacimiento Arqueológico de Puerto Hormiga.

Repositorio: El espécimen estudiado reposará en el Claustro de San Agustín de La Universidad de Cartagena (Bolívar), haciendo parte del Inventario Paleontológico Nacional del Museo Geológico Nacional 'José Royo y Gómez' De IN-GEOMINAS; bajo el número de catálogo IGM p881179.

Descripción

El material estudiado consta de un cráneo de un individuo juvenil, con dos molares deciduos trilofodontos (dM^2 y dM^3), izquierdos y derechos respectivamente y los primeros molares definitivos (M) completamente formados e incluidos en el maxilar. El cráneo sufrió una fractura dorsiventral en la parte media del lado derecho del maxilar, que distorsiona y "adelanta" aparentemente la posición del dM^3 derecho, esta fractura desplaza ligeramente hacia la izquierda todo el premaxilar; así mismo la parte distal del arco zigomático derecho (proceso zigomático temporal) esta fracturada y desplazada haciendo difícil reconocer la fosa temporal; evidencias de dicho fracturamiento son los numerosos fragmentos óseos sueltos que se encuentran en la matriz, así como el resque-

brajamiento del material óseo. De la arcada yugal (proceso zigomático del maxilar) solo se conservan las uniones de éstas con el maxilar, preservándose un área un poco mayor de la arcada yugal izquierda. El premaxilar exhibe el alveolo derecho de la defensa bastante deteriorado mientras que el alveolo izquierdo conserva la raíz de la misma. La orientación de los dos lados del premaxilar (y la parte más anterior del maxilar) junto con los alveolos de las defensas es casi paralela. La incisura dental es estrecha.

Molares (Tabla 1)

Tabla 1. Medidas de los molares.

(Medidas en milímetros)	Longitud máxima	Ancho Colina 1	Ancho Colina 2	Ancho Colina 3
dM ² izq.	82.8	60.1	62.8	57
dM ² der.	*78	*	*	58
dM ³ izq.	107.6	72.2	76.4	72.4
dM ³ der.	109.4	73.6	76	*68.9

* Medidas aproximadas por encontrarse roto o incompleto el material.

Los molares en general presentan una morfología bunodonta relativamente sencilla; en los molares desgastados (dM²) se distinguen claramente los postritos de los pretritos, es decir, en estos últimos cúspides de las colinas acompañadas de cónulos accesorios que por desgaste dibujan figuras más o menos treboladas del lado lingual, mientras que las colinas del lado bucal al desgastarse originan superficies de oclusión con formas más o menos rectangulares (figura 1). En

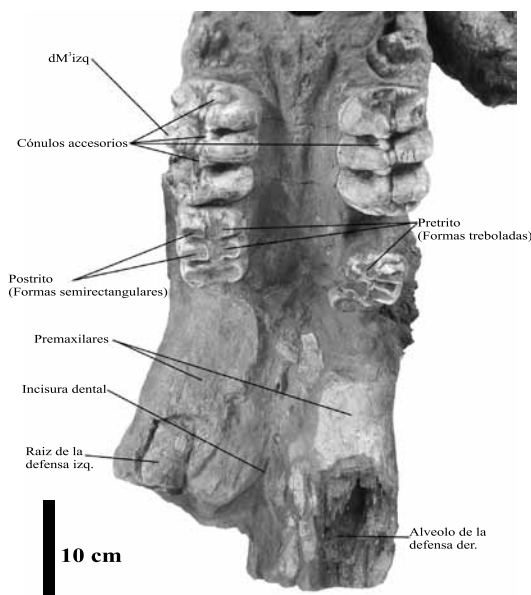


Figura 1. IGM p881179. Vista parcial palatal del cráneo. Incluye premaxilar, paladar y molares.

los molares dM³ las colinas del lado lingual presentan dos cónulos accesorios hacia la parte media del molar, de manera evidente se puede predecir que si éstos sufriesen desgaste exhibirían estructuras treboladas similares a las anteriormente descritas.

Segundo Molar superior deciduo izquierdo (dM² izq.): Se encuentra completo. Exhibe un avanzado estado de desgaste, el primer lofo que es el que está más gastado presenta una superficie oclusal cóncava de forma semirectangular. En el segundo y tercer lofo se distinguen claramente los pretritos, en el lado lingual dibujando figuras treboladas en la superficie oclusal, y respectivamente los postritos del lado bucal (o labial) que muestran con el desgaste una superficie oclusal de forma semirectangular. Este molar presenta un cingulo o borde posterior muy grueso.

Tercer Molar superior deciduo izquierdo (dM³ izq.): En el lofo 1 la colina del lado bucal se encuentra rota completamente; posee un cónulo accesorio bilobulado en la parte mesial. El lofo 2 se encuentra completo, en la colina lingual se aprecian 3 cónulos accesorios dispuestos hacia la línea media del molar. El lofo 3 tiene la colina bucal rota en la parte posterior, faltando toda la corona hasta su base.

Segundo molar superior deciduo derecho (dM² der): En el lofo 1 falta todo el lado bucal (postrito). En el lofo 2 la colina lingual se encuentra rota (faltante) no pudiéndose apreciar su morfología. En el lofo 3 la cumbre de la colina bucal está desportillada.

Tercer molar superior deciduo derecho (dM³ der): El primer lofo presenta dos coneletes muy bajos y anchos en la parte delantera del molar. Los lofos 1 y 2 están prácticamente completos y sin desgaste, muy bien preservados, excepto que en la colina bucal del segundo lofo, muy cerca de su parte más alta, falta una pequeña porción del esmalte. Al lofo 3 le falta media colina del lado bucal, posee un cónulo accesorio posterior roto así como también falta la parte posterior lingual del talón de este molar.

Vista ventral (Tabla 2)

El basicráneo en general incluyendo el esfenoideas (figuras 1 y 2) y la región occipital (Figura 3) se encuentran bien preservados. Palatino estrecho con quilla central suave, la cual se empieza a bifurcar 7,8 cm antes de la fosa de las coanas. Del pterigoides derecho e izquierdo solo se preservó la base la cual constituye a su vez los bordes laterales de la fosa de las coanas. El cóndilo occipital y la región occipital están bien preservados, en ésta última se aprecian claramente las fosas y la cresta del ligamento nucal.

Tabla 2. Medidas de la vista ventral del cráneo.

Característica	Centímetros
Ancho entre los pseudomeatos auditivos externos	43.5
Ancho entre los bordes externos de las fosas de articulación mandibular	38.4
Ancho entre los bordes internos de las fosas de articulación mandibular	22.8
Ancho entre los bordes anterolinguales de los molares	9.16
Ancho entre los bordes posterolinguales de los molares	6.84
Ancho de las coanas	6.04
Distancia entre el plano anterior de los molares y la terminación de la espina palatina	24.5
Distancia entre la terminación de la espina palatina y el borde anterior del foramen magnum	26.8
Diámetro máximo del premaxilar	10.5
Ancho máximo de la caja craneana	57.0
Anchura de la fosa del ligamento nugal	8.2
Ancho entre los bordes latero-externos de los cóndilos occipitales	23.3
Ancho entre los bordes latero-internos de los cóndilos occipitales	8.0
Anchura máxima del cráneo del vértex a la parte externa-inferior de los cóndilos occipitales	42.0
Distancia entre el vértex y la cima del ligamento nugal	9.5
Longitud de la fosa de la cresta del ligamento nugal	13.5

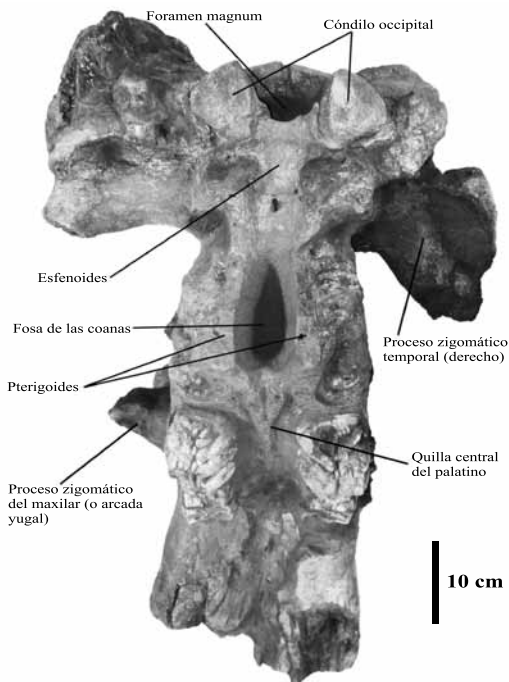


Figura 2. IGM p881179. Vista ventral del cráneo. (Basicráneo).

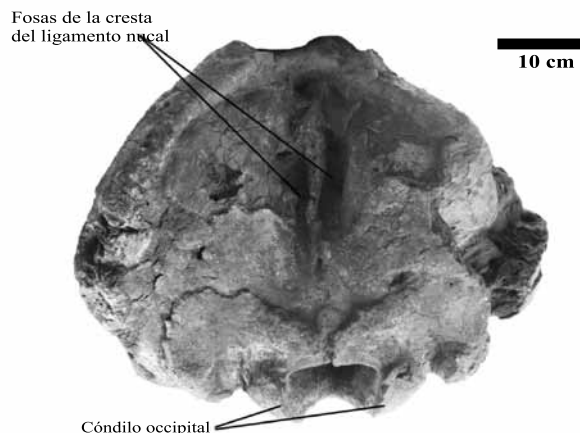


Figura 3. IGM p881179. Vista posterior del cráneo.

Vista dorsal (Tabla 3)

En general la superficie del cráneo en esta vista no está bien preservada, en varios lugares del cráneo se presentan fragmentos óseos no articulados dentro de una matriz limoarenosa, dicha situación dificultó la preparación de este lado de la pieza. La parte antero-superior del premaxilar derecho exhibe una fractura con desplazamiento de la parte bucal superior que da a esta parte del premaxilar un aspecto abultado, esta estructura está constituida en parte por hueso esponjoso, sin embargo todo el “promontorio” no corresponde a material óseo sino a sedimento areno-limoso que sirve de soporte a las partes de hueso desplazadas; dicha fractura continúa hacia la parte posterior y atraviesa de forma diagonal todo el premaxilar derecho.

Tabla 3. Medidas de la vista dorsal del cráneo.

Característica	Centímetros
Longitud máxima del cráneo en el plano sagital	84,3
Distancia entre el vértex y el plano superior del orificio nasal	22
Altura máxima del orificio nasal	10,1
Longitud del premaxilar en el plano sagital	48.4
Anchura mínima entre las crestas temporales	20.35*
Anchura máxima suborbitaria	31.5*
Anchura de los premaxilares al nivel de la depresión infraorbitaria	29.4*
Anchura del proceso nasal	8.3
Anchura máxima del orificio nasal	12*

*medidas aproximadas por encontrarse roto o incompleto el material.

En general el premaxilar presenta varias fracturas adicionales sin desplazamiento, la orientación de las mismas va en sentido perpendicular al eje del cráneo. El premaxilar de-

recho preservó su parte anterior en mayor longitud que el izquierdo, sin embargo se puede observar que los dos lados del mismo son subparalelos y no se evidencia una divergencia en la orientación de los mismos a medida que se avanza hacia la parte anterior del cráneo.

La superficie de la parte posterior del premaxilar derecho no se preservó; debido a que justo en esa parte ya el hueso exhibe una compleja estructura neumática muy evidente en la parte lateral y posterior del premaxilar, lo cual influye en la preservación, pues los espacios vacíos en estas estructuras no permiten que los delgados huesos presentes soporten el peso del sedimento y los demás huesos craneales. La parte anterior de maxilar derecho se encuentra fracturada, es este sector se aprecian varios fragmentos no articulados soportados por matriz limoarenosa.

No se preservó tampoco parte alguna del material óseo del lado izquierdo del orificio nasal y del frontal, este último se encuentra fracturado sin desplazamiento y esta soportado por la matriz sedimentaria limoarenosa; la situación es diferente si se avanza hacia la parte distal o posterior del cráneo en dónde el parietal se encuentra muy fracturado, aquí los fragmentos de este hueso se encuentran desplazados entre sí y están soportados al igual que el frontal por la matriz del interior del cráneo.

Discusión y Conclusiones

La propuesta de Lucas (2009, 2010), en opinión del autor de este trabajo es muy viable, en ella aconseja conservar el uso del nombre *Mastodon waringi* HOLLAND, 1920, tal como fue establecido en su momento, pero designando un Neotipo, ya que el holotipo de Pedra Vermelha (Brasil) consta de material no diagnóstico. Esta última propuesta sería igualmente aplicable en el caso de que se siguiera la opinión de Alberdi y Prado (1995) que considera *Haplomastodon* como sinónimo junior de *Stegomastodon*, pues la especie *warangi* como se mencionó anteriormente está definida con material incompleto, mal preservado y no diagnóstico. El planteamiento de Alberdi y Prado de agrupar en el género *Stegomastodon* los mastodontes suramericanos diferentes del género *Cuvieronius*, tiene fuertes cimientos en cuanto a la gran variabilidad de caracteres intraespecíficos observados en los restos fósiles de mastodontes, en dónde por ejemplo se observan aspectos morfológicos diferentes incluso en molares derechos e izquierdos del mismo individuo; ya Cabrera (1929), menciona la gran variabilidad intraespecífica presente en Elefantes Africanos de una misma población en Kenia, en donde tan solo por la forma de las defensas él habría podido distinguir cuando menos seis o siete tipos o formas muy diferentes entre sí. Con respecto a la propuesta de Mothé *et al* (2011) hay

que considerar que la diagnosis del género *Notiomastodon* definida en su momento por Cabrera, establece "...incisivos superiores sencillamente encorvados en todas las edades, y con una banda lateral de esmalte," característica que puede estar presente en individuos juveniles o adultos jóvenes.

Las razones expuestas anteriormente, así como las características de los molares del ejemplar en estudio conducen a optar por la propuesta de Alberdi y Prado en cuanto a la clasificación de la pieza. El principal carácter diagnóstico que nos permite ubicar al ejemplar dentro de la especie *Stegomastodon waringi* (HOLLAND, 1920) de acuerdo con lo expuesto por Alberdi y Prado, entre otros autores, es que los dos lados del premaxilar (y la parte más anterior del maxilar) junto con los alveolos de las defensas son casi paralelos, además que la incisura dental es estrecha.

El ejemplar presenta los segundos y terceros molares deciduos, los cuales se identifican como tal por varias razones, la primera de ellas es ser trilofodontos, la segunda es que los molares incluidos en la zona maxilar poseen más de 3 lófos y la tercera es que un primer diente deciduo dM^1 debería haber sido bilofodonto (de acuerdo con Mothé *et al*, 2010). Se decidió llamar deciduos a los molares expuestos del mastodonte debido a que al ser trilofodontos serán reemplazados tarde o temprano por molares definitivos con más de tres lófos. (*Aunque* también sería válido llamarlos $M1$ y $M2$ si se considera que el Molar totalmente incluido en el maxilar corresponde con el $M3$).

Sin embargo, tal y como se describió en la introducción, la taxonomía de los mastodontes suramericanos es un tema aún por resolver y a la hora de identificar y ubicar taxonómicamente restos fósiles de proboscídeos, se debe tener en cuenta la intrincada historia taxonómica del grupo, y por supuesto, esperar a que la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica se pronuncie en este caso y dictamine las directrices a seguir en la materia.

Agradecimientos

A la Dra. María Páramo por sus sugerencias y comentarios. A la Dra. María Teresa Alberdi, por el envío de bibliografía y sus valiosas observaciones. Al Dr. Marco Ferretti por resolver amablemente algunas preguntas hechas vía e-mail. Al señor Gerardo Vargas por la dedicación y ayuda en la curatoria y preparación de la pieza. A Gilberto Mendoza por su interés. Gracias también al Profesor Wilson Blanco de la Universidad de Cartagena y a José Enrique Arenas, director del Museo Geológico Nacional por su interés y las gestiones administrativas requeridas para el traslado del material a la ciudad de Bogotá.

La investigación se encontró amparada por los proyectos de inversión nacional 'BPIN Ampliación del Conocimiento Geológico y Recursos del Territorio Colombiano y 'BPIN Ampliación del Conocimiento Geológico y del Potencial de Recursos del Subsuelo de la Nación' Código 0043-00015-0000.

Bibliografía

- Alberdi, M. T., Prado J.L.** 1995. Los Mastodontes de América del Sur. En: Alberdi, M.T., Leone, G., y Tonny, E.P. (eds.). Evolución Biológica y climática de la región pampeana durante los últimos 5 millones de años. Un ensayo de correlación con el mediterráneo Occidental. Monografías, Museo de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, 12: 277-292.
- Alberdi M.T., Prado J.L., Cartelle C.** 2002. El registro de *Stegomastodon* (Mammalia, Gomphotheriidae) en el Pleistoceno Superior de Brasil. Revista Española de Paleontología, 17(2): 217-235.
- Alberdi, M. T., Corona-M, E.** 2005. Revisión de los Gonfoterios en el Cenozoico tardío de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22. P. 246-260.
- Asevedo, L., Winck, G. R., Mothé, D., Avilla, L. S.** 2011. Ancient diet of the Pleistocene gomphothere *Notiomastodon platensis* (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae) from lowland mid-latitudes of South America: Stereomicrowear and tooth calculus analyses combined. EN PRENSA. Quaternary International (2011), doi:10.1016/j.quaint.2011.08.037.
- Cabrera, A.,** 1929. Una revisión de los Mastodontes Argentinos. Revista del Museo de La Plata 32: 61-144.
- Demirjian, V.** 2010. Comment on the proposed conservation of usage of *Mastodon waringi* Holland, 1920 (currently *Haplomastodon waringi*; Mammalia, Proboscidea) by designation of a neotype. Bulletin of Zoological Nomenclature. V. 67. Issue 4, pp. 333.
- Dominato, V. H., Mothé, D., Costa Da Silva, R., Avilla, L.** 2011. Evidence of scavenging on remains of the gomphothere *Haplomastodon waringi* (Proboscidea: Mammalia) from the Pleistocene of Brazil: Taphonomic and paleoecological remarks. Journal of South American Earth Sciences 31 (2011) 171-177
- Ferretti, M. P.,** 2008. A Review of South American Proboscideans. In: Lucas, S. G., Morgan, G. S., Spielmann, J. A., Prothero, D. R. (Eds.), Neogene Mammals. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin, 44, pp. 381-392.
- Ferretti, M. P.,** 2009. Comment on the proposed conservation of usage of *Mastodon waringi* Holland, 1920 (currently *Haplomastodon waringi*; Mammalia, Proboscidea) by assignment of a neotype. Bulletin of Zoological Nomenclature. V. 66, Issue 4, pp. 358-359.
- Ferretti, M. P.,** 2010. Anatomy of *Haplomastodon chimborazi* (Mammalia, Proboscidea) from the late Pleistocene of Ecuador and its bearing on the phylogeny and systematics of South American gomphotheres. Geodiversitas:32 (4). Publications Scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.663-721.
- Ficcarelli, G., Azzaroli, A., Borselli, V., Coltorti, M., Dramis, F., Fejfar, O., Hirtz, A., Torre, D.** 1993. Stratigraphical and Paleontological aspects of Late Quaternary deposits in the Interandean Depression of Northern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 6,3: 145-150.
- Ficcarelli, G., Borselli, V., Herrera, G., Moreno-Espinosa, M., Torre, D.** 1995. Taxonomic remarks on the South American Mastodons referred to *Haplomastodon* and *Cuvieronius*. *Geobios*, 28(6): 745-756.
- Hoffstetter, R.,** 1950. Observaciones sobre los mastodontes de Sud América y especialmente del Ecuador. *Haplomastodon*, subgen. Nov. de *Stegomastodon*; Publicaciones Escuela Politécnica Nacional, 1950, v. I, p.1-49.
- Hoffstetter, R.,** 1952. Les Mammifères Pléistocènes de la République de l'Equateur: Mémoires des Société Géologique de France, v. 66, p. 1-391.
- Holland, W. J.,** 1920. Fossil mammals collected at Pedra Vermelha, Bahia, Brazil, by Gerald A. Waringi. *Annals of Carnegie Museum*, 13, 224-232.
- Lucas, S.G.** 2010. Comment on the proposed conservation of usage of *Mastodon waringi* Holland, 1920 (currently *Haplomastodon waringi*; Mammalia, Proboscidea) by designation of a neotype. Bulletin of Zoological Nomenclature. V. 67. Issue 2. Pp. 181-182.
- Madden, C. T.,** 1984. The Proboscidea of South America. Geological Society of America, abstracts with programs 12: 474.
- Mothé, D., Avilla, L. S., Winck, G. R.,** 2010. Population structure of the gomphothere *Stegomastodon waringi* (Mammalia: Proboscidea: Gomphotheriidae) from the Pleistocene of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 82 (4): 983-996.
- Mothé, D., Avilla, L. S., Cozzuol, M., Winck, G. R.** 2011. Taxonomic revision of the Quaternary gomphotheres (Mammalia: Proboscidea: Gomphotheriidae) from the South America lowlands. IN PRESS. Quaternary International (2011), doi:10.1016/j.quaint.2011.15.018.
- Osborn, E. C.,** 1923. New subfamily, generic, and specific stages in the evolution of the Proboscidea. *Amer. Mus. Novitates*, No. 99, pp. 1-4.
- Pasenko, M. R.** 2010. Comment on the proposed conservation of usage of *Mastodon waringi* Holland, 1920 (currently *Haplomastodon waringi*; Mammalia, Proboscidea) by designation of a neotype (Case 3480). Bulletin of Zoological Nomenclature. V. 67. Issue 1. Pp. 96.
- Pohlig, H.,** 1912. Sur une vieille mandibule de « Tetracaulodon ohioiticum ». Blum., avec défense in situ. Bulletin de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie. Bruselles. Tome XXVI, pp. 187-193.
- Prado, J. L., Alberdi, M. T., Azanza, B., Sánchez, B., Frassinetti, D.,** 2005. The Pleistocene Gomphotheriidae (Proboscidea) from South America. *Quaternary International* 126-128, 21-30.
- Simpson, G. G., De Paula Couto, C.,** 1957. The Mastodons of Brazil. *American Museum of Natural History* 112 (2), 131-185.

Recibido: 26 de septiembre de 2011

Aceptado para publicación: 2 de junio de 2012

HISTORIA DE LA CIENCIA**LAS LECCIONES DE LA TUBERCULOSIS****Luis Fernando García Moreno*****RESUMEN**

García Moreno, L.F.: Las lecciones de la tuberculosis. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 211-217, 2012. ISSN 0370-3908.

La historia de la ciencia muestra como los avances científicos en un área específica puede impactar el desarrollo de otras áreas del conocimiento. En este trabajo se presenta una revisión histórica sobre la forma como la investigación en tuberculosis ha permitido avanzar en el conocimiento de diferentes aspectos de la respuesta inmune, no necesariamente relacionados con esta infección. Fenómenos como el de la respuesta inmune mediada por células T, la hipersensibilidad retardada, la genética de la resistencia y susceptibilidad a las infecciones y la presentación de antígenos proteicos y no proteicos se han comprendido gracias a investigaciones realizadas en el modelo de la tuberculosis. Igualmente, las pruebas de hipersensibilidad retardada y los adyuvantes se generaron a partir de estudios en tuberculosis. Puesto que esta enfermedad continúa siendo uno de los problemas más importantes en salud pública a nivel mundial y que para lograr su control es necesario continuar investigándola en forma intensa, es predecible que los resultados de las futuras investigaciones continúen enseñándonos lecciones de impacto en otras áreas, más allá de los límites de la tuberculosis.

Palabras claves: tuberculosis, respuesta inmune, historia.

ABSTRACT

The history of science shows that the scientific advancements in a particular area may impact the development of other areas of knowledge. This work presents a historical review of the way in which research on tuberculosis has led to the discovery and better understanding of the immune response, not necessarily related to tuberculosis. Phenomena like T-cell mediated immunity, delayed hypersensitivity, genetics of the resistance and susceptibility to infections and the presentation of protein and non-protein antigens have been understood thanks to findings in the tuberculosis model. Additionally, the delayed hypersensitivity tests and the adjuvants were developed through research in tuberculosis. Given that this disease continues to be one of the major public health problems worldwide and that its control would require intensive scientific research it is possible to foresee that it will continue teaching us about important biological phenomena, even beyond the tuberculosis boundaries.

Key words: tuberculosis, immune response, history

* Profesor titular. Grupo de Inmunología Celular e Inmunogenética, Instituto de Investigaciones Médicas, Facultad de Medicina. Director Científico (e) Sede de Investigación Universitaria (SIU), Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: Ifgarcia@udea.edu.co

La tuberculosis ayer y hoy

La historia de la ciencia no muestra una direccionalidad en la secuencia de descubrimientos que consolidan un paradigma, ni en éstos se circunscriben al objeto de estudio inicialmente seleccionado. Uno de los elementos que permiten el avance de la ciencia es que los fenómenos naturales se repiten y los hallazgos en un determinado campo pueden extrapolarse a otro, lo que permite construir hipótesis y diseñar experimentos aplicables a otros sistemas. Así en el campo de la biomedicina, se encuentran enfermedades que si aún fuéramos capaces de erradicarlas, tendríamos que continuar estudiándolas por todo lo que ellas nos pueden enseñar. Una de estas enfermedades es la tuberculosis. Esta enfermedad es causada por la infección con *Mycobacterium tuberculosis*, bacilo descubierto por Robert Koch (Figura 1) en 1882, por lo cual obtuvo el premio Nobel en 1905.



Figura 1. Robert Koch (1843-1910). Descubre el bacilo de la tuberculosis (*Mycobacterium tuberculosis*) (http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1905/koch-bio.html)

Desde entonces, los aspectos biológicos, clínicos y epidemiológicos de la infección han sido investigados intensamente; sin embargo, la tuberculosis continúa siendo uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial, como lo demuestran los informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), según los cuales en 2009 se generaron 9.4 millones de casos nuevos y 1.5 millones de muertes por tuberculosis en el mundo. Es así como se presentaron 25.753 casos nuevos diarios, 18 casos nuevos cada minuto, 4.603 muertes diarias y 191 muertes por hora.

Estas cifras indican que aún no disponemos de las herramientas diagnósticas, profilácticas y terapéuticas necesarias para su erradicación y que, adicionalmente, existen muchos aspectos fundamentales por esclarecer en la biología del patógeno y en la respuesta del hospedero. Por lo tanto, es necesario todavía emprender una mejor investigación y dedicar más recursos para lograr el control y eventualmente la erradicación de la tuberculosis. De todas maneras, es importante precisar que la investigación sobre la tuberculosis no ha sido en vano y que el conocimiento adquirido desde el hallazgo de la micobacteria, ha permitido desarrollar métodos diagnósticos y encontrar antibióticos efectivos, con los cuales se ha logrado el control parcial de la enfermedad en muchas regiones del mundo. Sin embargo, la persistencia de altas tasas de incidencia en muchos países del hemisferio, particularmente en el África sub-sahariana, India, la antigua Unión Soviética y algunos países de América Latina, así como la asociación de la tuberculosis con la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), además de la emergencia de cepas de *Mycobacterium tuberculosis* resistentes a algunos y en ocasiones a todos los antimicrobianos disponibles, mantienen a la tuberculosis como una de las prioridades para la salud pública a nivel mundial. En Colombia, de acuerdo a las cifras del Instituto Nacional de Salud en 2009 se reportaron 10913 casos de tuberculosis (Informe Epidemiológico Nacional 2009. Subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública. Instituto Nacional de Salud. Bogotá).

El impacto de la investigación en tuberculosis sobre otras áreas del conocimiento

El estudio de la infección causada por *M. tuberculosis* ha puesto en evidencia las complejas relaciones hospedero-patógeno que ocurren durante esta infección, convirtiéndola en un modelo para la investigación microbiológica e inmunológica de fenómenos biológicos más generales que trascienden el campo de la tuberculosis. El presente trabajo trata precisamente sobre estas lecciones logradas como resultado de las investigaciones sobre tuberculosis. Trataremos de mostrar aquellos fenómenos que se han descubierto al estudiar el modelo de la tuberculosis, particularmente aquellos que han tenido impacto en la inmunología.

Según evidencias recientes, el *Mycobacterium tuberculosis* se originó como especie en África hace aproximadamente 5 millones de años, casi simultáneamente con el *Homo sapiens*, y desde entonces lo ha acompañado en su colonización del planeta en un proceso de coevolución adaptativa (Gagneux and Small 2007), la que ha tenido como resultado que hoy, de acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud, la tercera parte de la población mundial esté infectada por el bacilo tuberculoso. Infortunadamente, a pesar del tiempo que

ambas especies han compartido, el equilibrio en la relación hospedero-parásito solo se ha logrado parcialmente y la bacteria continúa siendo patógena para su hospedero

Los postulados de Koch (1883)

Durante la segunda mitad del siglo XIX los investigadores de la escuela francesa de Louis Pasteur y de la alemana de Robert Koch, descubrieron muchos microorganismos causantes de enfermedades de gran importancia humana y veterinaria, por lo cual este periodo se ha denominado la época de oro de la microbiología. Debido al entusiasmo y expectativas que, con justificada razón, despertaron estos avances, era necesario definir un marco teórico para la demostración del carácter infeccioso de una enfermedad y su etiología por un determinado microorganismo. Este marco conceptual fue dado por los “Principios de Koch”, que aunque atribuidos al insigne investigador, parece ser que en realidad fueron postulados por Friedrich Loeffler (1852-1915), uno de sus discípulos. Estos postulados guiaron la búsqueda de los patógenos en los sitios afectados por la enfermedad, estimularon el desarrollo de medios de cultivo *in vitro* y de modelos *in vivo* en animales de experimentación que permitieran replicar la enfermedad natural; éstas premisas continúan hoy siendo fundamentales en la investigación de las enfermedades infecciosas:

Los postulados de Koch

- El patógeno debe estar presente en la lesión
- El patógeno debe ser aislado en cultivo puro
- El patógeno debe causar una enfermedad similar en animales de experimentación

Aislamiento de colonias microbianas (1881): Descubrimiento del clonaje.

Como parte de la búsqueda de medios de cultivo que permitieran cumplir con el segundo de los postulados, el aislamiento en estado puro del microorganismo, Koch se concentró en el desarrollo de medios de cultivo sólidos o semisólidos, a diferencia de Pasteur quien trabajó principalmente en medios líquidos. Estos medios sólidos le permitieron a Koch y sus discípulos el aislamiento de colonias bacterianas derivadas de una sola bacteria, lo cual en el lenguaje actual equivale al aislamiento de clonas. Es decir, que fueron Koch y sus discípulos en esa remota época quienes inventaron las primeras técnicas de clonaje.

Tuberculina (1890)

Uno de los aportes más perdurables de los estudios de Koch fue el de la tuberculina. Poco después del descubrimiento

del *M. tuberculosis*, Koch inició experimentos reinoculando cobayos previamente infectados con el bacilo y luego inoculándolos con preparaciones del caldo de cultivo en que había crecido el bacilo, una preparación que hoy se conoce como “tuberculina vieja” (OT). Inicialmente, Koch propuso utilizar la tuberculina como tratamiento para los pacientes tuberculosos, para lo cual realizó un estudio que alcanzó a incluir 1769 pacientes, pero en el que rápidamente se evidenció que la tuberculina no tenía ningún efecto terapéutico. Este estudio se considera como el primer ensayo clínico multicéntrico realizado a gran escala y pudiera ser catalogado como un precursor del moderno “translational research” (Vilaplana and Cardona 2010). Lo que si fue evidente desde estos experimentos era que la inoculación intradérmica de la tuberculina en individuos infectados generaba 48-72 horas después de su aplicación, una reacción inflamatoria local que no se presentaba en los individuos no infectados. A partir de entonces la tuberculina se ha utilizado con fines diagnósticos, principalmente en niños y en países donde no se utiliza la vacunación con *Mycobacterium bovis* BCG, con fines epidemiológicos para determinar la prevalencia de infección en una determinada población, y con fines inmunológicos para evaluar la inmunocompetencia de un individuo infectado. Sin embargo, la demostración que la inyección intradérmica de un producto microbiano induce una reacción inflamatoria tardía, hoy denominada hipersensibilidad retardada, en quienes están infectados por ese microorganismo se ha aplicado en otras enfermedades como la lepra (lepromina) leishmaniasis (*Leishmania* o prueba de Montenegro), toxoplasmosis (toxoplasmina), histoplasmosis (histoplasmina), e inclusive para dermatitis de contacto, entre otras. El análisis histológico de estas reacciones muestra un infiltrado linfocitario, principalmente T CD4+, y monocitos-macrófagos alrededor de las vénulas post-capilares.

La primera lección de inmunogenética

Uno de los episodios más tristes de la historia de la medicina ocurrió en 1930 en Lübeck (Alemania), donde 249 niños fueron inoculados accidentalmente con *Mycobacterium tuberculosis* al utilizar un vial erróneamente marcado como *Mycobacterium bovis* BCG, bacteria no virulenta utilizada como vacuna antituberculosa. De estos niños, 76 (30.5%) murieron de tuberculosis; sin embargo, 173 (69.5%) desarrollaron lesiones menores pero 12 años después ninguno había desarrollado la enfermedad activa. Aunque a la tuberculosis se le había atribuido un componente de susceptibilidad genética, este desafortunado episodio en el que los niños recibieron una misma dosis de micobacterias virulentas, evidenció que existían individuos susceptibles y resistentes. Estudios posteriores en animales de experimentación y en humanos han confirmado que efectivamente hay varios genes que con-

trolan la respuesta inmune al *M. tuberculosis* y por ende la resistencia y la susceptibilidad a la infección y la enfermedad (Baghdadi et al. 2006; Cobat et al. 2009; Pan et al. 2005). Algunos de estos genes participan también en la respuesta a otros patógenos que comparten con el bacilo tuberculoso componentes de la respuesta inmune (Burgner et al. 2006; Quintana-Murci et al. 2007; Skamene et al. 1982). Esa primera y triste lección de inmunogenética abrió el campo de la genética de las enfermedades infecciosas, hoy ampliamente estudiada por inmunólogos y genetistas con el propósito de identificar individuos y poblaciones susceptibles en quienes implementar medidas profilácticas y de vigilancia epidemiológica que permitan una intervención temprana y eficaz.

El adyuvante completo de Freund (CFA)

En 1942 Freund y McDermott describieron el efecto de la inoculación de antígenos solubles emulsificados en aceite mineral que contenía o no *M. tuberculosis* muerto. En esa forma estos investigadores lograron incrementar significativamente la respuesta inmune, en particular para antígenos que cuando eran inoculados en soluciones acuosas se comportaban como pobres inmunógenos. La emulsión de antígeno en aceite mineral se conoce como Adyuvante incompleto de Freund (IFA) el cual se caracteriza por inducir esencialmente una respuesta de anticuerpos, mientras que la inoculación de la emulsión de antígeno en aceite mineral y *M. tuberculosis* muerto, denominada Adyuvante completo de Freund (CFA) (Figura 2), induce una respuesta principalmente celular. Desde entonces estos adyuvantes fueron una herramienta valiosísima en el estudio de la respuesta inmune a una gran variedad de antígenos en animales de experimentación, como lo demuestran las más de 10.000 citaciones del Adyuvante completo de Freund, en una búsqueda realizada recientemente en la base de datos Medline. Es preciso mencionar la utilización de estos adyuvantes para la inducción de enfermedades autoinmunes en animales con determinados acervos genéticos, al inocular antígenos propios del individuo y a los cuales normalmente el sistema inmune no responde, emulsificados en CFA, tal es el caso la encefalitis autoinmune experimental (EAE) en la cual la inoculación de algunas proteínas del sistema nervioso, como la proteína básica de la mielina emulsificada en CFA, induce una enfermedad similar a la esclerosis múltiple del humano, o la artritis inducida por adyuvante, modelo de la artritis reumatoidea (Freund et al. 1950). Estos modelos experimentales han permitido investigar en detalle la patogénesis de muchas enfermedades de importancia clínica. En el humano no es posible utilizar los adyuvantes de Freund debido a la gran reacción inflamatoria que causan; sin embargo, la utilización de sustancias que aumentan la respuesta inmune ha sido ampliamente empleada en las vacunas, principalmente el alum-

bre, y actualmente existe mucho interés en el desarrollo de nuevos adyuvantes que permitan inducir respuestas inmunes protectoras con un mínimo de efectos adversos. Inicialmente se postuló que el efecto potenciador de estos adyuvantes era causado por la liberación lenta y prolongada de los antígenos en el depósito del aceite mineral o del alumbre; hoy entendemos que la presencia del *M. tuberculosis* en el CFA estimula la respuesta inmune innata y particularmente la presentación antigénica por las células dendríticas que han recibido señales de carbohidratos y glicolípidos de la micobacteria a través sus receptores tipo Toll (TLR) (De Gregorio et al. 2009).



Figura 2. Jules Freund (1890-1960) (<http://www.laskerfoundation.org/awards/1959basic.htm>). Ampolleta con Adyuvante completo de Freund (foto LFG)

Nace el concepto de inmunidad celular

Tradicionalmente la respuesta inmune se ha dividido en humoral y celular. La inmunidad humoral es la que puede transferirse por el suero de un animal inmune que contiene anticuerpos específicos contra los antígenos del microorganismo en cuestión. Este tipo de inmunidad había sido demostrada desde los experimentos clásicos de von Behring y Kitasato (1890) utilizando suero de animales inmunizados con toxina diftérica que transferían la inmunidad en forma pasiva a animales no inmunizados, terapia que aún se utiliza como tratamiento para infecciones como la difteria y el tétanos, en profilaxis de algunas infecciones y en el accidente ofídico. En otras infecciones, incluyendo la tuberculosis, la transferencia pasiva de inmunidad con suero de animales inmunes no ha podido ser demostrada en forma convincente; sin embargo, en 1942 Karl Landsteiner y Merrill Chase demostraron que la hipersensibilidad de contacto al cloruro de picrilo se podía transferir con células, y posteriormente Chase (1946) demostró que la transferencia pasiva de inmunidad antituberculosa,

medida por la respuesta a la tuberculina, era posible utilizando células de nódulos linfoides de cobayos infectados con *M. tuberculosis*. Este hallazgo permitió definir los dos tipos de inmunidad: humoral y celular; la segunda característica de la respuesta antituberculosa, pero también de otras enfermedades bacterianas, parasitarias, micóticas y virales, y aún de algunos modelos de enfermedades autoinmunes como la encefalitis autoinmune experimental (EAE), modelo de la esclerosis múltiple y el rechazo de injertos de tejidos.



Figure 3. Merrill Chase (1905-2004) (http://en.wikipedia.org/wiki/Merrill_Chase)

Hipersensibilidad tipo IV o hipersensibilidad retardada

Como ya se mencionó anteriormente, el descubrimiento de la tuberculina y posteriormente de otros preparados microbianos permitió disponer de herramientas para identificar individuos previamente infectados con *M. tuberculosis* o con el correspondiente microorganismo. Así mismo se mencionó que esta reactividad puede ser transferida de animales sensibilizados a animales sin exposición previa al microorganismo por medio de células linfoides. Estas reacciones inflamatorias retardadas fueron denominadas hipersensibilidad tipo IV por Coombs y Gell en la clásica definición de los mecanismos de daño tisular causados por la respuesta inmune (Coombs 1968). Sin embargo, la distinción entre inmunidad celular, conocida hoy como inmunidad dependiente de células T, y la hipersensibilidad retardada no era clara. Fue necesario identificar a los linfocitos diferenciados en el timo, denominados linfocitos T, como las células específicas

fundamentales en ambos fenómenos (Miller 1999) y a los macrófagos como las células efectoras no específicas involucradas también en ambos eventos. Los estudios de George Mackaness (Mackaness 1964) y otros, utilizando el modelo de la infección con *Listeria monocytogenes* demostraron que los linfocitos específicamente sensibilizados son las células que reconocen a los antígenos y las que tienen la capacidad de transferir las respuestas de los animales sensibilizados a los no sensibilizados. Por el contrario, los macrófagos son inespecíficos debido a que su capacidad antimicrobiana no es solo frente al microorganismo reconocido por linfocitos T, sino también frente a otros microorganismos no relacionados; más aún, la capacidad antimicrobiana de los macrófagos es aumentada por acción de los linfocitos. Posteriormente, Carl Nathan y John David (Nathan et al. 1971) demostraron que los linfocitos T estimulados por antígenos producen moléculas, hoy llamadas linfoquinas, capaces de activar la capacidad de los macrófagos para fagocitar e inhibir la replicación intracelular, e inclusive para matar los diferentes microorganismos, incluyendo *M. tuberculosis*.

De acuerdo con lo anterior, el concepto de Inmunidad dependiente de Células T se refiere concretamente al mecanismo por el cual los linfocitos T son capaces de proteger a un hospedero a determinado tipo de infecciones, mientras que hipersensibilidad retardada se refiere a una reacción inflamatoria que puede, inclusive, causar daño a los tejidos; y nuevamente, el modelo fundamental para explicar estos fenómenos es lo que ocurre en la tuberculosis. Después de inhalado, *M. tuberculosis* alcanza los alvéolos pulmonares donde es fagocitado por los macrófagos y las células dendríticas allí presentes. Las segundas procesan los antígenos de la micobacteria y migran a los nódulos linfoides del hilio pulmonar donde los presentan a los linfocitos T específicos. Una vez diferenciados, éstos migran al sitio en el parénquima pulmonar donde está localizada la infección y son los responsables de “organizar” una estructura conocida como granuloma, en la cual los macrófagos que contienen micobacterias fagocitadas se localizan en el centro, mientras que los linfocitos T y otras células se localizan en la periferia. En condiciones normales, los linfocitos T producen las linfoquinas necesarias para activar los macrófagos y éstos detienen la multiplicación intracelular de la bacteria, de tal manera que en estas condiciones el granuloma es una estructura de defensa. Sin embargo, cuando algo falla en estos mecanismos o cuando la bacteria es muy virulenta, los macrófagos son incapaces de controlar la replicación intracelular del patógeno y eventualmente se lisan liberando los microorganismos, los cuales van a infectar nuevas células, y también sustancias intracelulares capaces de causar daño tisular. En estas condiciones, los granulomas son estructuras responsables del daño a los tejidos y por ende de enfermedad clínica. Estos eventos

ejemplificados por la patogénesis de la tuberculosis, se presentan en muchas otras infecciones bacterianas, parasitarias y micóticas.

Presentación antigénica

Uno de los eventos más importantes de la respuesta inmune es el reconocimiento de antígenos por los Linfocitos T, los cuales como consecuencia de este reconocimiento se diferencian en células T efectoras capaces de activar otras células o de atacar directamente aquellas que expresan el antígeno, y en células T de memoria capaces de reaccionar más rápida y eficientemente en un nuevo encuentro con el antígeno. Los antígenos son presentados a los linfocitos T por las moléculas del Complejo Mayor de Histocompatibilidad (Major Histocompatibility Complex - MHC), las cuales se expresan en la membrana celular y unen péptidos inmunogénicos derivados de los antígenos nativos. La evidencia experimental de la presentación antigénica a los linfocitos T y de la restricción genética por parte del MHC se originó en gran parte en los estudios de Allan Rosenthal y Ethan Shevach (Rosenthal and Shevach 1973; Shevach and Rosenthal 1973), quienes infectaron con *M. tuberculosis* cobayos de dos cepas que diferían en su MHC-II y el híbrido F1 entre éstas. Adicionalmente, tomaron células adherentes de exudado peritoneal (mayoritariamente macrófagos) de cobayos no infectados y los pulsaron con tuberculina en forma de Derivado Proteico Purificado (PPD). Posteriormente, los macrófagos pulsados con PPD se cocultivaron con linfocitos T de los nódulos linfoides de los animales infectados y se determinó su respuesta proliferativa. Los resultados demostraron que los linfocitos T proliferaban cuando eran cocultivados con macrófagos de la misma cepa y de F1, pero no con macrófagos de la cepa diferente. Estos experimentos demostraron claramente que los linfocitos T CD4⁺ reconocen los antígenos sólo en macrófagos que comparten el MHC-II, evidenciando la restricción genética impuesta por el MHC y confirmando los resultados obtenidos por Rolph Zinkernagel y Peter Doherty en linfocitos T CD8 (Zinkernagel and Doherty 1975)

Reconocimiento de antígenos no proteicos

La presentación de antígenos proteicos y su restricción por el MHC-II y MHC-I a los linfocitos T CD4⁺ o CD8⁺, respectivamente, fue claramente establecida en los años 70 como se explicó anteriormente, sin embargo, la presentación y el reconocimiento de antígenos no proteicos no fue dilucidada hasta los años 90, cuando el grupo de Michael Brenner (Beckman et al. 1994) demostró que el reconocimiento de los ácidos micólicos, ácidos grasos de cadenas largas presentes en la pared de las micobacterias y de algunos otros géneros bacterianos, requiere presentación por moléculas CD1, las

cuales están relacionadas filogenéticamente por un ancestro común, con las moléculas MHC pero sin el polimorfismo de estas últimas, a poblaciones de linfocitos T que no expresan CD4 ni CD8. De tal manera que el estudio de la respuesta de los linfocitos T a los antígenos micobacterianos, proteicos o no, ha sido fundamental para comprender el fenómeno general del reconocimiento de antígenos y de sus moléculas presentadoras de ellos ubicadas en la membrana de células especializadas en esa función.

Un paradigma cuestionado

Ya hemos mencionado la dificultad de diferenciar el papel protector de la respuesta inmune celular del papel que ésta desempeña en el daño tisular que ocurre en la tuberculosis; pero siempre se ha aceptado que la respuesta inmune frente al *M. tuberculosis* estaba dirigida a inhibir su replicación. Sin embargo, investigaciones recientes del grupo de Sebastian Gagneux (Comas et al. 2010) han demostrado que los genes mejor conservados evolutivamente en *M. tuberculosis* son los que codifican los epítopes que inducen las respuestas dependientes de las células T, sugiriendo que la micobacteria se beneficia de la respuesta inmune. Este hallazgo cuestiona uno de los paradigmas fundamentales de la inmunología y permite preguntarse si una situación similar pudiera ocurrir en otras infecciones.

Conclusión

Como lo demuestran los hallazgos de las investigaciones descritas, desde su descubrimiento, el estudio del *M. tuberculosis* y su interacción con el hospedero, en situaciones clínicas o experimentales, ha permitido entender aspectos fundamentales de la respuesta inmune y ha evidenciado fenómenos inmunológicos que se han utilizado en el estudio de la tuberculosis, de otras enfermedades infecciosas, autoinmunes y en todas aquellas en las que participan los linfocitos y los macrófagos como elementos esenciales de su patogénesis. Es, por lo tanto, predecible que investigación sobre la tuberculosis requerida para lograr eventualmente su control y continúe enseñándonos sobre fenómenos biológicos de importancia más allá de los límites de esta infección.

Agradecimientos

El autor agradece a la Doctora Ángela Restrepo Moreno por la lectura crítica y sus sugerencias sobre el manuscrito

Bibliografía

Baghdadi, J. E., M. Orlova, A. Alter, B. Ranque, M. Chentoufi, F. Lazrak, M. I. Archane, J. L. Casanova, A. Benslimane, E. Schurr,

- L. Abel.** 2006. An autosomal dominant major gene confers predisposition to pulmonary tuberculosis in adults. *J. Exp. Med.* 203:1679-1684.
- Beckman, E. M., S. A. Porcelli, C. T. Morits, S. M. Behar, S. Furlong, M. B. Brenner.** 1994. Recognition of a lipid antigen by CD1-restricted ab⁺ T cells. *Nature* 372:691-694.
- Burgner, D., S. E. Jamieson, J. M. Blackwell.** 2006. Genetic susceptibility to infectious diseases: big is beautiful, but will bigger be even better? *Lancet Infect. Dis.* 6:653-663.
- Chase, M. W.** 1946. The cellular transfer of cutaneous hypersensitivity. *J. Bacteriol.* 51:643.
- Cobat, A., C. J. Gallant, L. Simkin, G. F. Black, K. Stanley, J. Hughes, T. M. Doherty, W. A. Hanekom, B. Eley, J. P. Jais, A. Boland-Auge, P. van Helden, J. L. Casanova, L. Abel, E. G. Hoal, E. Schurr, A. AlcaIs.** 2009. Two loci control tuberculin skin test reactivity in an area hyperendemic for tuberculosis. *J. Exp. Med.* 206:2583-2591.
- Comas, I., J. Chakravarti, P. M. Small, J. Galagan, S. Niemann, K. Kremer, J. D. Ernst, S. Gagneux.** 2010. Human T cell epitopes of *Mycobacterium tuberculosis* are evolutionarily hyperconserved. *Nat. Genet.* 42:498-503.
- Coombs, R. R.** 1968. Immunopathology. *Br.Med.J.* 1:597-602.
- De Gregorio, E., U. D'Oro, A. Wack.** 2009. Immunology of TLR-independent vaccine adjuvants. *Cur. Op. Immunol.* 21:339-345.
- Freund, J., M. M. Lipton, L. R. Morrison.** 1950. Demyelination in the guinea pig in chronic allergic encephalomyelitis produced by injecting guinea pig brain in oil emulsion containing a variant of mycobacterium butyricum. *Arch.Pathol.(Chic.)* 50:108-121.
- Freund, J., K. McDermott.** 1942. Sensitization to Horse Serum by Means of Adjuvants. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 49:548-553.
- Gagneux, S., P. M. Small.** 2007. Global phylogeography of *Mycobacterium tuberculosis* and implications for tuberculosis product development. *Lancet Infect. Dis.* 7:328-337.
- Landsteiner, K., M. W. Chase.** 1942. Experiments on Transfer of Cutaneous Sensitivity to Simple Compounds. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 49:688-690.
- Mackaness, G. B.** 1964. The immunological basis of acquired cellular resistance. *J. Exp. Med.* 120:105-120.
- Miller, J. F. A. P.** 1999. Discovering the origins of immunological competence. *Ann. Rev. Immunol.* 17:1-18.
- Nathan, C. F., M. L. Karnovsky, J. R. David.** 1971. Alterations of macrophage functions by mediators from lymphocytes. *J. Exp. Med.* 133:1356-1376.
- Pan, H., B. S. Yan, M. Rojas, Y. V. Shebzukhov, H. Zhou, L. Kobzik, D. E. Higgins, M. J. Daly, B. R. Bloom, I. Kramnik.** 2005. Ipr1 gene mediates innate immunity to tuberculosis. *Nature* 434:767-772.
- Quintana-Murci, L., A. Alcais, L. Abel, J. L. Casanova.** 2007. Immunology in natura: clinical, epidemiological and evolutionary genetics of infectious diseases. *Nat.Immunol.* 8:1165-1171.
- Rosenthal, A. S., E. M. Shevach.** 1973. Function of macrophages in antigen recognition by guinea pig T lymphocytes. I. Requirement for histocompatible macrophages and lymphocytes. *J. Exp. Med.* 138:1194-1212.
- Shevach, E. M., A. S. Rosenthal.** 1973. Function of macrophages in antigen recognition by guinea pig T lymphocytes. II. Role of the macrophage in the regulation of genetic control of the immune response. *J. Exp. Med.* 138:1213.
- Skamene, E., P. Gros, A. Forget, P. A. L. Kongshavn, C. St.Charles, B. A. Taylor.** 1982. Genetic regulation of resistance to intracellular pathogens. *Nature* 297:506-509.
- Vilaplana, C., P. J. Cardona.** 2010. Tuberculin immunotherapy: its history and lessons to be learned. *Microbes Infect* 12:99-105.
- Zinkernagel, R. M., P. C. Doherty.** 1975. H-2 compatibility requirement for T cell mediated lysis of target cells infected with lymphocytic choriomeningitis virus. Different cytotoxic T cell specificities are associated with structures coded for in H-2K or H-2D. *J. Exp. Med.* 141:1427.

Recibido: 29 de septiembre de 2012

Aceptado para publicación: 4 de mayo de 2012

PARANGÓN ENTRE DOS BOTICAS GRANADINAS DEL AÑO 1776

Santiago Díaz Piedrahita*

RESUMEN

Díaz Piedrahita, S.: Parangón entre dos boticas granadinas del año 1776. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 219-235, 2012. ISSN 0370-3908.

Con base en dos inventarios, ambos realizados en 1776, bajo varios parámetros se comparan dos boticas, una ubicada en Cartagena de Indias y la otra en Santafé. Se cotejan los valores tasados por los peritos para las sustancias que fueron registradas en ambas farmacias y se proporciona información sobre algunas de las materias contenidas en las estanterías.

Palabras clave: Nueva Granada (Colombia), farmacognosia, medicamentos, sustancias terapéuticas.

ABSTRACT

Based on two inventories made in 1776, two apothecary shops are compared under various parameters. One of the shops was located in Cartagena de Indias and the other in Santafé. The substances that were registered by experts in both pharmacies are collated and information on some of the matters contained in the shelves is provided.

Keywords: Nueva Granada (Colombia), pharmacognosy, medicines, therapeutic substances.

Introducción

Durante el período colonial los médicos y los hospitales fueron escasos en la Nueva Granada (hoy República de Colombia); en Santafé, capital del Virreinato, aunque hubo protomédicos desde el primer cuarto del siglo XVII, el protomedicato, como organismo regulador de las prácticas médica y terapéutica sólo vino a organizarse debidamente al inicio del

siglo XIX. En las demás ciudades los médicos se podían contar con los dedos de la mano y en las áreas rurales brillaban por su ausencia. De la primera botica de la cual se dispone un inventario en el Virreinato data de comienzos del Siglo XVII (1608). Fue propietario de este establecimiento Diego Ordóñez de Taboada, y a juzgar por la relación pormenorizada de que se dispone, esta farmacia, ubicada en la capital virreinal, estaba bien surtida para su época. El fallecer el

* Miembro de número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

propietario el establecimiento entró en litigio; el pleito duró varios meses y dio lugar a un examen riguroso de las existencias por parte de expertos designados por la Real Audiencia. (Ronderos 2007).

La terapéutica de la época

La terapéutica aplicada a lo largo de los siglos XVII y XVIII se basaba en la teoría de los humores; los medicamentos, en su mayoría depurativos, se prescribían en forma de aguas, emplastos, ungüentos, jarabes, colirios, confecciones, extractos, simples, cordiales, píldoras, aceites, polvos, zumos o soluciones que se empleaban para baños, enemas y apósitos o en preparados que eran tomados por el paciente en forma de píldoras, jarabes o purgas. Las aguas, por lo general se elaboraban con zumos o extractos de plantas. Los aceites también eran extraídos de plantas, aunque también se usaban aceites de origen mineral y otros extraídos de animales. Las confecciones se elaboraban combinando diversas sustancias y por lo general llevaban el nombre de quien las había inventado o descubierto. Los elatuarios se preparaban a partir de simples mezclados con miel. Los emplastos se hacían mezclando un licor con un ungüento, a veces enriquecidos con otras sustancias. La oximiel llevaba vinagre y tenía consistencia de jarabe. Las tríacas eran diversas en su composición y podían contener desde tres hasta muchos ingredientes, pero casi siempre llevaban opio. Los jarabes, ungüentos y píldoras no requieren ninguna explicación.

El origen de los fármacos era diverso. En su mayoría se trataba de plantas utilizadas desde la antigüedad y descubiertas a través del método de ensayo y error, siguiendo la teoría de los signos, pero también se utilizaban materias diversas de origen animal y mineral entre las que figuraban excrementos humanos y de animales, dientes de jabalí, testículos de castor, conchas de caracol, cuernos de ciervo, semen y grasa de ballena, almizcle, cochinilla, marfil, unto de oso, manteca de puerco, tela de araña, piedra coral, alcanfor, alumbre, azufre, mercurio, algunas piedras como la magnetita y el lapislázuli y varias sales, aparte de semillas de adormidera o amapola, raíces, tallos, hojas, cortezas y resinas de alhucema, almendras, pulpas de frutos, anís, aristoloquia, eléboro, incienso, mirra, jengibre, ortiga y muchas más que, independientemente de su eficacia, eran la única solución en el tratamiento de enfermedades comunes como cámaras, comezones, peste, opilaciones, cáncer, caída de la madre, fiebre terciana, fiebre cólica, úlceras, diviesos, infecciones, aparte de otras dolencias y de las heridas y fracturas causadas por accidentes.

Entonces, como ahora, las medicinas no estaban al alcance de toda la población y los más pobres debían utilizar remedios caseros en forma de untos, ventosas, infusiones o baños

aparte de dietas, enemas y sangrías. Las comunidades culturales más pobres, como eran las de los indígenas, los negros y los campesinos se valían de un saber terapéutico ancestral basado en el conocimiento de los recursos a su alcance, es decir una terapéutica indígena con influencia africana y europea, en la que se empleaban algunas plantas y sustancias como las mencionadas por **Veza** (sin fecha), tales como el curare, el guaco, la coca o hayo, el condurango y la otoba. Bien señala este autor que todo lo concerniente con las plantas debió ser para los indígenas, materia predilecta de observación y de trabajo intelectual por la estrecha relación que tenían con ellas en lo pertinente a su bienestar y al progreso de sus comunidades.

Las boticas analizadas y las medidas empleadas

Después de la farmacia de Diego Ordóñez de Taboada (Ronderos 2007), de los dos primeros establecimientos farmacéuticos de los que se dispone de inventarios son una botica ubicada en Cartagena de Indias y otra sita en Santafé. Coincidentalmente las relaciones pormenorizadas de sus existencias datan del año 1776 y fueron hechas con quince días de diferencia, circunstancia que permite hacer un parangón no sólo en cuanto a las sustancias contenidas en los diversos anaqueles sino a los precios estimados de cada una de ellas. Resulta imposible establecer con exactitud una equivalencia de precios dado que en la época y de acuerdo con las regiones se usaban distintas medidas y se empleaban varios tipos de monedas. A pesar de estas dificultades, se hizo una comparación aproximada teniendo en cuenta factores como los valores de las monedas empleadas en Castilla y en los territorios españoles de ultramar y las medidas usadas en la época tanto en la España peninsular como en sus colonias ultramarinas. Para tales cotejos nos hemos valido de las definiciones aportadas por la primera edición del Diccionario de la Lengua Castellana, publicado en 1780 por la Real Academia de la Lengua. De acuerdo con las proposiciones proporcionadas por esta obra, el *Real* era una moneda cuyo valor equivalía a treinta y cuatro maravedíes. Esta moneda era conocida también como *Real de vellón*. Estas medidas se citan en los inventarios mediante abreviaturas.

Hubo también el *Real de plata* cuyo valor variaba según las épocas y regiones, existiendo reales cuyo monto equivalía a 1.25, 1.50 y 1.70 reales de vellón. El valor del maravedí varió con los tiempos, pero un *Maravedí de Plata*, por definición, era la trigésima cuarta parte de un Real de vellón. El maravedí de plata equivalía a un tercio del real de plata, es decir a 0.33 reales de vellón. El *Peso* era una moneda castellana cuya carga era de una onza y cuyo valor equivalía a ocho reales de plata, pero hubo *pesos gruesos* con un valor de diez reales de plata.

En cuanto a los pesos y medidas el caso es similar; la *Libra* era una pesa que por lo común constaba de dieciséis onzas pero variaba, más o menos, de acuerdo con los distintos lugares y en la boticas la libra de líquidos tenía doce onzas, es decir que había una diferencia de cuatro onzas entre la libra común y la que podríamos llamar libra farmacéutica. La *dracma* era una pesa equivalente a tres escrúpulos y a su vez un *escrúpulo* correspondía a un octavo de onza. Teniendo en cuenta estos factores y haciendo las debidas equivalencias y ajustes, hemos realizado un cálculo comparativo de precios para aquellas sustancias que aparecen en ambos inventarios. Este análisis está sujeto a ajustes y puede tener errores, pero proporciona una idea clara de las diferencias de precio de los medicamentos en Cartagena y en Santafé, donde debido al transporte fluvial y terrestre, rico en fletes, el valor de los distintos fármacos se encarecía.

Los documentos correspondientes al inventario de la botica cartagenera fueron encontrados en el Archivo General de la Nación por la distinguida historiadora Adelaida Sourdis Nájera, quien gentilmente los facilitó para este trabajo. Los pertinentes a la botica santafereña también se conservan en el Archivo General y fueron encontrados por otro destacado historiador, el padre Luís Carlos Mantilla Ruiz O.F.M. Estos últimos fueron dados a conocer en su momento como apéndice del texto del recetario franciscano publicado por Díaz & Mantilla (2002). Expreso a ambos colegas mi reconocimiento y gratitud por tan especial deferencia.

El parangón entre las dos boticas se limita a los medicamentos pues no se dispone de otros datos pertinentes a la farmacia de Cartagena; por ello se dejaron de lado los utensilios, los artefactos, los recipientes y las estanterías. Tampoco se dispone de los cuadernos o formularios de recetas, por lo cual ignoramos que formulaban los médicos y como preparaban los boticarios las diferentes formulaciones. Por los conocimientos médicos de la época sabemos que había preparaciones oficinales y magistrales que se administraban en forma de extractos, lavatorios, sahumeros, purgas, jeringadas, emplastos, fomentos, untos, opiatas, apócemas o cocimientos, tisanas o infusiones, cataplasmas frías o calientes, disoluciones, emulsiones, gargarismos, fumigaciones, jugos, enemas o ayudas, supositorios o canillas, lociones, colirios, macerados, gargarismos y ungüentos. Las dolencias frías, de acuerdo con la teoría humoral, eran tratadas con medicamentos calientes en tanto que las dolencias cálidas se trataban con plantas frías. Había humores húmedos y secos o cálidos cuyo desequilibrio se curaba con drogas de calidad opuesta al carácter del desarreglo. Varios recetarios han sido dados a conocer en nuestro medio. Para los lectores interesados en las prescripciones sugerimos los trascritos y comentados por Díaz & Mantilla (2002), Guerra (1982) y Ronderos (2009).

Infortunadamente en la relación detallada de la botica de Cartagena (Cuadro 1) faltan las páginas correspondientes al primer inventario y a la conclusión de la diligencia pericial. Por estas circunstancias ignoramos el nombre del propietario así como el valor final estimado de la botica. El valor conocido, en cuanto al importe de los específicos relacionados, es de cuatrocientos seis pesos con ochenta y cinco (\$ 406,85)¹. El análisis y evaluación de las existencias se inicia a partir del segundo inventario realizado el 18 de junio en horas de la mañana y de la tarde y continuado el 19 en la misma forma. La diligencia fue adelantada por don Nicolás Antonio de Luiz, Alguacil mayor de la ciudad, juez comisionado para tal gestión, a quien le colaboró don Nicolás del Villar y Coronado, depositario general para efecto de inventariar los medicamentos. Sirvieron como evaluadores Miguel Josef Serrano y Lara, Juan Pareja, Ramón Moreno y Manuel Joseph Triviño².

GOBIERNO CUARTO, UNO CUARTO, LIT. AÑOS DE MIL SETECIENTOS Y SETENTA Y SEIS, Y SESENTA Y SIETE.	
Por la suma de la 1 ^a --- 116 2 1/2	
1/2 media libra de Juniperos	4-
1/2 una libra Anacardos	8- --
1/2 quatro q. Algueques/ps	4- --
1/2 quatro onzas Cochinilla	2- --
1/2 dos libras Colocota	6- --
1/2 doce onzas Pida medicame ^{nto}	2- --
Con lo qual, y por ser mas de las doce de 1776, 2 1/2	
este dia, se suspendió esta diligencia, para	
no proseguir esta tarde, y la firmaron	
los señores depositario general,	
y evaluadores de todo lo qual doy fe	
Miguel Josef Serrano y Lara	
Juan Pareja	
Ramón Moreno	
Manuel Joseph Triviño	
18 de Junio de 1776	

Figura 1.- Una página del inventario de la botica de Cartagena con las firmas del depositario, los evaluadores y el escribano de la diligencia.

- 1 Esta cifra es considerable; comparada con valores actuales podría equivaler a cerca de \$40.000.000.00
- 2 Los documentos transcritos se conservan en el Archivo General de la Nación (AGN), Fondo Colonia, Miscelánea, tomo 55, folios 792 - 799.

Cuadro 1. INVENTARIO DE LA BOTICA DE CARTAGENA

2° Inventario. En la ciudad de Cartagena de las Indias, en dieciocho días del mes de junio de mil setecientos setenta y seis años, el Sr. Nicolás Antonio de Luyz, Alguacil mayor de esta dicha ciudad, Juez comisionado para esta diligencia, vino a esta Botica asociado con Dn. Nicolás del Villar y Coronado, depositario general, para efecto de inventariar los medicamentos de ella y apreciarlos por los evaluadores nombrados, lo que se fue ejecutando en la forma siguiente.

Primeramente una libra de cal de estaño en	1.- -
It. Veinte y cinco libras de Alumbre	7.6 -
It. Doce onzas Vitriolo común	3.- -
It. Ochenta y cinco libras de almártaga (almánziga?)	26.4 ½
It. Una libra de raíz de Valeriana	- .4 -
It. Una y media libra de Serpentaria virginiana	- .6. -
It. Dos libras de Orozus	- .4. -
	a la cuenta Ps. 40. - ½
	Por la suma de la Cuenta 40.- ½

It. Una libra de Brusco	- .2 -
It. Una libra y media de Dictamo blanco	2.2 -
It. Libra cuatro onzas de Filipéndula	- .5 -
It. Cuatro & de Tormentila	- .1 -
It. Dos onzas de Rubia tintoreum (tinctorium)	- .1 -
It. Media libra Pelitre	- .6 -
It. Media libra Hermodátiles	- .3 -
It. Dos libras de Turbit	2.- -
It. Dos libras de Asaro	- .4 -
It. Tres libras Yezgos	1.1 -
It. Dos libras Suelda consuela	1.- -
It. Siete libras, siete onzas Raicilla	7.4 -
It. Dos onzas Galanga	- .1 -
It. Una libra de Imperator (Imperatoria)	- .4 -
It. Media libra Jalapa	- .2-
It. Treinta y ocho Botes de Atreríaca (Tríaca?) de a 4 en libra	14.2 -
It. Diez y seis otros de a media libra	12.- -
It. Seis libras más, otra en un tarro.	4.4 -
It. Diez y seis libras de Jalea de tamarindos	4.- -
It. Dos onzas elect. Diascardo (Dioscóride?)	- .2 -
	al frente 92.4.1/2
	Por la suma de enfrente 92.4.1/2

It. Doce onzas confección de Jacintos	2.- -
It. Media libra confección gentil cordial	2.- -
It. Seis onzas confección de Alkermes	1.- -
It. Dos libras semilla de linaza	- .3 -
It. Nueve y media libras Atholvan	2.3. -

It. Una libra de Cardamomo mayor	1.6 -
It. Media libra de otro menor	1.- -
It. Dos libras Cubebas	1.4 -
It. Dos libras semillas de Agno Casto	1.4 -
It. Tres onzas dichas de hinojo	- .1 -
It. Una y media libras de Zaragut (Zaragatota?)	- .6 -
It. Una libra catorce onzas Pimienta blanca	2.3 -
It. Una libra seis onzas otra larga	1.- -
It. Una onza semilla de Oxalidis (Oxalis)	- .1 -
It. Diez onzas de Carthamo	- .3 -
It. Tres libras Cebada	- .3 -
It. Una libra doce onzas Grana Kermes	2.9 -
It. Una libra agallas de Ciprés	- .4 -
It. Una y media libras Bayas de Laurel	1.- -

A la cuenta Ps. 119.2 ½
Por la suma de la Cta. 119.2 ½

It. Media libra de Junípero	- .4-
It. Una libra de Anacardos	1.--
It. Cuatro G. Alquenquenjos (Alquenquenjes)	- .4-
It. Cuatro onzas Cochinilla	2.--
It. Dos libras Colcotan	1.--
It. Doce onzas Piedra medicamentosa	2.—

Con lo cual, y por ser más de las doce de este día, se suspendió esta diligencia para proseguirla esta tarde, y la firmaron dicho Alguacil Mayor, depositario general y evaluadores de todo lo cual doy fe.

Nicolás de Luiz, Nicolás del Villar y Coronado
Miguel Josef Serrano y Lara, Juan Pareja
Ramón Moreno Manuel Joseph Triviño

3° Inventario. En dicho día, siendo las tres de la tarde vino a esta Botica el Sr. Nicolás Antonio de Luyz, asociado con dicho Depositario General, evaluadores y yo el Escribano para efecto de proseguir el Inventario y avalúo de estos medicamentos, que queda prevenido en la diligencia antecedente, en igual se fue practicando en la forma siguiente.

Primeramente se inventario y avaluó	
Cuatro onzas de Leche de Mechoacán en	- .1.-
It. Tres onzas Cranio hominis	- .6.-
It. Dos onzas Jibia	- .1.-
It. Una libra Esperma de Ballena	2.- -
It. Tres Cantáridas	- .2.-
It. Media libra Mil pies	- .1.-
It. Dos libras Centaurea	- .4.-
It. Media libra Gordo lobo	- .3.-
It. Media libra Spica Nardo	- .4.-
It. Otra Spica Céltica	1.- -

A la Cta. P 5.6.
Por la suma de la Cta. 5.6

It. Dos libras de Salvia en	1.-.-
It. Una libra Flor de Manzanilla	-6.-
It. Una libra de Amapolas	-3.-
It. Una libra de Rosa	-3.-
It. Doce onzas de Violetas	-4.-
It. Una y media libra de Epiteimo	-3.-
It. Una libra de la de Carthamo	-4.-
It. Una libra seis onzas Macias (Macis de Nuez Moscada?)	3.7.-
It. Cuatro libras Flor de Azufre	1.4.-
It. Una libra cuatro onzas Goma de Palo Santo	1.-.-
It. Dos y media libras de Incienso	1.1.-
It. Cuatro libras cuatro onzas de Succino	2.1.-
It. Una libra de Euforbio	-6.-
It. Tres onzas Bedelio	3.-.-
It. Una y media onzas Yedra (Hiedra)	1.4.-
It. Tres onzas Anime	2.2.-
It. Dos onzas Mirra	3.-.-
It. Una libra catorce onzas de Sagapeno	5.-.-
It. Una libra cuatro onzas de Alcanfor	4.3.-
	<hr/>
	39.1.-
Por la suma de enfrente	39.1.-

It. Tres onzas Scamonea Esmirna	-5.-
It. Catorce onzas Goma Enebro	-6.-
It. Una libra doce onzas Tragacanto	-7.-
It. Cuatro onzas Amoniaco	-4.-
It. Una libra Galvano	1.2.-
It. Doce onzas Laca	-4.-
It. Doce onzas Sangre de Drago	-2.-
It.- Tres onzas de Estoraque	-2.-
It.- Doce libras Goma de Sarcocola	3.-.-
It.- Una libra Betún Judaico	-4.-
It.- Una libra Zumo Hipoquisdos	-6.-
It.- Doce libras Resina de Zaragoza	1.4.-
It.- Catorce onzas Acíbar Hepática	1.-.-
It.- Una libra Gutagamba	3.4.-
It.- Tres onzas Agárico	-2.-
	<hr/>
	P 59.5

Con lo cual y por ser más de las seis de la tarde se concluyó esta diligencia para proseguirla el día de mañana diez y nueve y la terminaron los contenidos de que doy fe.

Nicolás de Luiz, Nicolás del Villar y Coronado
Miguel Josef Serrano y Lara, Juan Pareja
Ramón Moreno Manuel Joseph Triviño

4º Inventario. En la ciudad de Cartagena de las Indias en diez y nueve días del mes de junio de mil Setecientos seten-

ta y seis años el Sr. Dn. Nicolás Antonio de Luiz, Alguacil Mayor de esta ciudad, Juez Comisionado en esta causa, vino a esta Botica asociado de Dn. Nicolás del Villar, Depositario General y de los avaluadores nombrados, e yo el escribano para efecto de proseguir los inventarios y avalúos de esos medicamentos, el que se fue haciendo en la forma siguiente.

Primeramente se inventarió y avaluó dos libras de Mummia en	1.-.-
It.- Una libra extracto de Centaurea	1.-.-
It.- Una libra de Eléboro	1.-.-
It.- Media libra de Enebro	-6.-
It.- Cuatro onzas de Orozuz	-2.-
It.- Otras Católico	-4.-

Al frente Pesos 4.4.-

Por la suma de enfrente 4.4.-

It.- Diez y media libras Emplasto Diabotano simple	15.6.-
It.- Seis y media onzas de Ranas Simple	6.4.-
It.- Cinco y media onzas de Cicuta	6.7.-
It.- Dos onzas Stiptico Crolio	1.4.-
It.- Cuatro onzas de mucílagos	4.-.-
It.- Una libra doce onzas de Manus Dei	2.3 1/2
It.- Siete libras Diaquilón Mayor	5.2.-
It.- Una libra cuatro onzas de Minio	-6.-
It.- Dos y media libras de ranas con mercurio	3.6.-
It.- Una libra Óleo Galbano Croc.to	1.4.-
It.- Doce onzas de óleo Géminis	-4.-
It.- Dos libras óleo Oxicroceo	3.-.-
It.- Tres libras óleo Matrical	3.-.-
It.- Una libra óleo Diapalma	-6.-

A la cuenta Pesos 60.-1/2

Por la suma de la cuenta 60.-1/2

It.- Media libra de emplasto Benedito	-6.-
It.- Una libra contrarrotura	-6.-
It.- Una libra óleo Lascano	1.-.-
It.- Una y media libra óleo negro	1.2.-
It.- Media libra cuerno de ciervo preparado	1.-.-
It.- Dos onzas piedra Ematistis preparada	-1.-
It.- Tres onzas Polvos de Labio arménico preparado	-1.-
It.- Cuatro onzas Piedra de Lazuli preparada	-4.-
It.- Cuatro onzas Jacinto preparado	-4.-
It. Una y media onzas dientes de Jabalí preparados	-2.-
It. Libra Madre de perla preparada	-6.-
It. Dos onzas ojos de cangrejo preparados	-1.-
It. Media libra Antimonio Diforético (diaforético?) usual	3.-.-
It. Dos onzas óleo Marcial	1.-.-

Veinte y cinco libras Tártaro vitriolado a medio hacer	9.3.-

	Al frente P 82.6 ½
	Por la suma al frente 82.6 ½
It. Dos libras Sal Anglicana	4.4.-
It. Una libra cuatro onzas sal Prunela	-6.-
It. Doce onzas otra de Habas	-6.-
It. Una onza otra febrífuga de Silvio	-1.-
It. Seis onzas otra de Ajenjos	-4.-
It. Una libra Nitro Stibiado (estibiado)	-6.-
It. Seis onzas Azúcar de Alumbre	-6.-
It. Tres onzas Tártaro Emético	1.-
It. Una y media libra alumbre quemado	-6.-
It. Tres y media libras Crémor tártaro	1.2 ½
It. Treinta y una y media libras Nitro depurado	8.-
It. Una y media libra Sal de Tártaro	2.-
It. Tres libras cuatro onzas otra de Centaurea	3.2.-
It. Don onzas Sal gemma	-1.-
It. Una onza Arcano duplicado	-1.-
It. Doce onzas Mercurio dulce	3.-
It. Dos onzas que dice ser la Certa alata viridis y no lo es. -.	

	Cuenta P 110.4.
	Por la suma de la Cuenta 110.4.
It. Una cuarta de onza Panace Mercurial	-2.-
It. Una cuarta de onza de Calomelano de Rivera	-2.-
It. Media libra de Sublimado corrosivo	2.-
It. Cuatro onzas Precipitado blanco	1.-
It. Una onza Antihectico (Antiético?) de Poterio	-4.-
It. Dos libras Azafrán de metales	-2.-
It. Una libra hígado de Antimonio	1.-
It. Diez onzas vidrio de Antimonio	1.-
It. Media libra Azahar cande	-4.-
It. Dos onzas Vitriolo blanco	-2.-
It. Tres onzas Azafrán de Marte aperitivo	-2.-
It. Tres cuartas de onza Túrbid mineral	-6.-

	Al frente P 120.2
	Por la suma de enfrente 120.2
It. Tres onzas Bezoardico Jovial	2.-
It. Tres onzas coral blanco	-2.-
It. Una onza cetfope mineral	-1.-
It. Cuatro libras de Liria	-4.-
It. Seis limetas llenas de Hydrargiro	78.4.-
It. Tres libras más de otra	1.-
It. Cuatro onzas Resina de Jalapa	2.4
It. Cuatro onzas de polvos para unguento de la Condesa	-2.-
It. Media libra Azúcar vermífuga	1.-

It. Una y media onza Láudano opiado	1.-
It. Una y media otro urinario	1.-
It. Tres onzas a más de lo dicho de piedra hematitis preparada	-2.-
It. Una libra de coral rubio preparado	-1.½

	A la cuenta P. 209.1 ½
	Por la suma de la cuenta 209.1 ½
It. Media libra polvos de Altramuz	-2.-
It. Dos onzas Polvos de Deamaritón frígido	1.-
It. Media onza otros de Diarhodon abad	-2.-
It. Una y media onza de otros de Axibus	-6.-

	P. 211.3 ½

Con lo cual y por ser más de las doce, se suspendió esta diligencia para proseguirla la tarde de este día y la firmaron los contenidos de que doy fe.

Nicolás de Luys
Nicolás del Villar
Miguel Josef Serrano y Lara
Juan Pareja
Ramón Moreno
Manuel Joseph Treviño

5° Inventario. En dicho día diez y nueve siendo como las tres de la tarde el Sr. Dn. Nicolás Antonio de Luys, Alguacil Mayor, asociado con don Nicolás del Villar, Depositario General y evaluadores nombrados y yo el escribano, vino a esta Botica para proseguir la diligencia prevenida en la antecedente, la que se fue ejecutando en la forma siguiente.

Primeramente se inventarió y avaluó una onza de polvos Imperiales en	-4.-
It. Una libra otros de Ruibarbo	2.-
It. Una onza otro tostado	-2.-
It. Cuatro onzas de los de Quina	-4.-
It. Una y media onza Píldoras antiasmáticas	-6.-
It. Una onza otras Católicas	-4.-
It. Media onza otras Marciales	-2.-
It. Media onza otras Creta Palma	-2.-
It. Dos onzas otras Mercuriales	-2.-
It. Media onza otras histéricas	-2.-
It. Dos onzas trocitos de Nariz sin opio	-4.-
It. Una libra Tintura de Menjui (Benjuí)	1.-

A la cuenta Ps. 8.2
Por la suma de la cuenta 8.2

It. Media onza tintura de piedra hematitis (astringente) aperitiva	-1.-
--	------

It. Media onza otra hematitis astringente	-1.-
It. Media libra Colirio San Franco	-4.-
It. Dos onzas Tintura laca acuosa	-1.-
It. Dos onzas de la otra espiritosa	-1.-
It. Media libra Tintura de Azafrán	-4.-
It. Diez onzas otra de Aloes	-4.-
It. Cuatro onzas otra de Mirra	-3.-
It. Cuatro onzas otra Anticólica	-4.-
It. Una libra otra de Marte aperitiva	1.-
It. Media libra otra de Castor	-6.-
It. Media onza otra de Ámbar	-1.-
It. Cuatro onzas otra de Succino	-3.-
It. Dos onzas Elíxir proprietatis	-2.-
It. Cuatro onzas Elíxir Vitriolado	-4.-

Al frente P. 14.1”

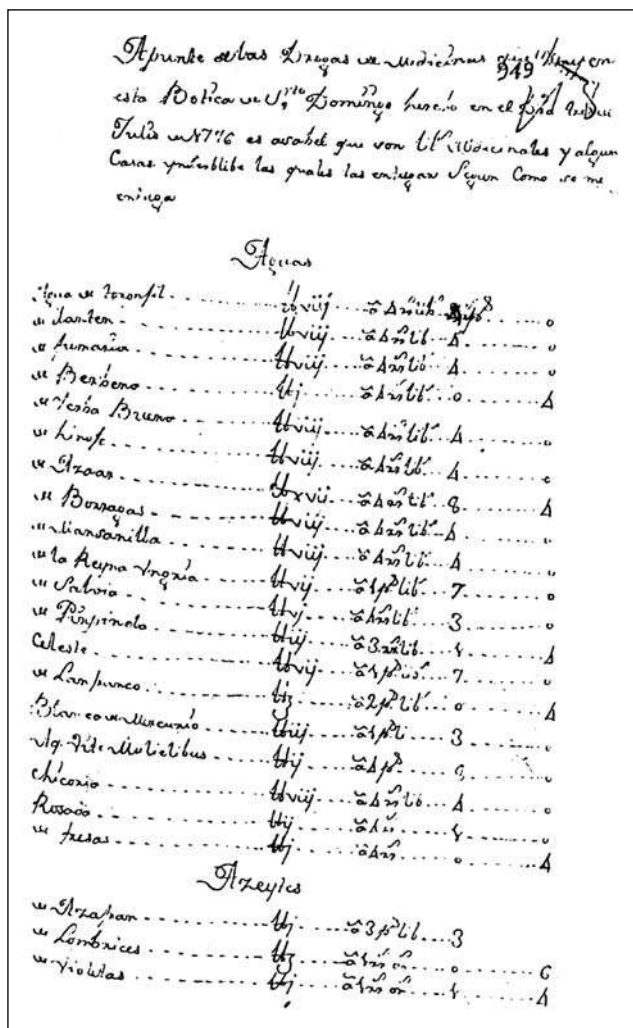


Figura 2.- Primera página del inventario de la Botica del Convento de Santo Domingo en Santafé

La relación pormenorizada del establecimiento santafereño se refiere a los medicamentos conservados en la Botica del convento de Santo Domingo (Cuadro 2). Esta relación fue firmada el 3 de julio de 1776 por el Prior y ministro de dicho convento, fray Antonio Cabrejo O.P. y por el notario de la institución, fray Josef Antonio Pontón O.P.

Cuadro 2. INVENTARIO DE LA BOTICA DE SANTAFÉ

Apunte de las drogas de medicinas que hay en esta Botica de Santo Domingo hecho el día tres de julio de 1776 es a saber que son Libras de Medicinales y algunas cosas inservibles las cuales las entregaré según como se me entrega³:

Aguas				
Agua de toronjil	lb. viij	a 4 reales libra	4 pesos	0
de Llantén	lb. viij	a 4 rs. lib.	4	0
de Fumaria	lb. viij	a 4 rs. lib.	0	4
De Verbena	lb. j	a 4 rs. lib.	4	0
de Hierba Buena	lb. viij	a 4 rs. lib.	4	0
de hinojo	lb. viij	a 4 rs. lib.	8	4
de Borrajas	lb. viij	a 4 rs. lib.	4	0
de Manzanilla	lb. viij	a 4 rs. lib.	4	0
de la Reina Hungría	lb. ij	a 1 ps. lib.	7	0
de Salvia	lb. vj	a 4 rs. lib.	3	0
de Pimpinela	lb. ij	a 3 rs. lib.	1	4
Celeste	lb. ij	a 1 ps. iis	7	0
de San Franco	lb. ζ	a 2 ps. lib.	0	4
Blanco de Mercurio	lb. ij	a 1 ps. lib.	3	0
Aq. Vital Mulielibus	lb. ij	a 4 ps.	5	0
Chicoria	lb. viij	a 4 rs. lib.	4	0
Rosada	lb. ij	a 4 rs.	1	0
de Fresas	lib. j.	a 4 rs.	0	4
Aceites				
de Azafrán	lib. j	a 3 pesos libra	3	
de lombrices	lb. 3	a 3 rs. on.	0	6
de Violetas	lib. j	a 1 rs. on	1	4
de Amáziga	lib. i	a 2 rs. on	3	
de Linaza	lib. j 3	a 4 re. on.	2	1
Onfacino rosado	ζ viij	a 1 rs. on	1	
Rosada	lb. j	a 1 rs. on.	1	1
Castor	lb. j 3	a 2 rs. on	4	1
Manzanilla	lb. j	a 1 rs.	1	1
de Nardos	ζ x	a 2 rs. on	2	1
de Calabazas	ζ iiij	a 1 rs. on	0	1
de Ruda	ζ ij	a 1 rs. on	0	2
de Cachorros	lb. ij	a 4 rs. on	12	
de Ajenjos	lb. 3	a 1 rs. on	0	
de Hypericon	lb. j3	a 1 rs. on	2	2

3 Archivo General de la Nación, Fondo Conventos 36.

<i>Jarabes</i>				<i>Elatuarios</i>					
de Tabaco simple	lb. ij3	a 1 rs. on	3	6	Católico	ζ vj	a ½ rs. on	0	3
de Tabaco compuesto	lb. iij	a 2 rs. on	9		<i>Extractos</i>				
de Succino	lb. ij3	a 4 rs. on	15		de Erebolo	lb. ij	a 6 ps. lib	12	
de Agraz	lb. j	a ½ rs. on	0	6	de Orosul (Orosus)	ζ ij	a 1 ps. on	2	
Rosas secas	lb. j3	a ½ rs.on	1	1	de zumo de				
de Alquermes	lb. j	a 1 rs.on	1	4	hiposquítidos	lb. j.ζxj	a 3 ps. lib	5	5
Católico	lb. ij	a 2 rs.on	6		de opio gomado	lb. jζiij	a 10 ps. lib	12	4
Rosado	lb. j	a ½ rs.on	0	6	de fécula de Aro	lb. ij	a 3 ps. lb	6	
de Chicoria compt ^o .	lb. j	a 2 rs.on	3		de Asina	lb. 3	a 2 rs. on	1	1
de Verdolagas	lb. j	a ½ rs.on	0	6	de Leche de tierra	ζ v	a 1 rs. on	0	5
de Violetas	lb. 3	a ½ rs.on	0	3	Tríaca Magna	lb. xj	a 1 rs. on	1	4
de Pimpinela	lb. iij	a ½ rs.on	2	2	Addabuste	lb. xj	a 1 rs. on	0	6
de Arrayán	lb. ij	a ½ rs.on	1	4	Mercurio simple	lb. j3	a 1 rs. on	2	2
de Naranjas compt ^o .	lb. j	a ½ rs.on	0	6	Mercurio compuesto	lb. j	a 2 rs. on	3	
de Althaea ternilis	lb. iij	a ½ rs.on	3		Amarillo	lb. j	a 1 rs. on	1	4
Arrope de Moras	lb. iij	a ½ rs.on	3		Equeciáco	lb. 3	a 1 rs. on	0	6
de corteza de Cidra	lb. j3	a ½	1	1	del Padre Mitalla	lb. j	a 2 rs. on	3	
de Fumaria	lb. iij	a ½	2	1	de Diapalma	lb. j	a 1 rs. on	1	4
de Limón	lb. 3	a ½ rs.on	0	3	de Rosas	lb. iiij	a 1 rs. on	6	
de Ortigas	lb. iij	a ½ rs.on	2	2	de Rosas sandalino	lb. ij	a 2 rs. on	6	
de Cinco raíces	lb. ij	a ½ rs.on	1	4	de Calabazas	lb. ij	a 2 rs. on	6	
de dos raíces	lb. iij	a ½ rs.on	2	2	de Agripa	lb. ij	a 2 rs. on	6	
de Oximiél simple	lb. 3	a ½ rs.on	0	3	Bálsamo Arceo	ζ ij	a 2 rs. on	0	4
de flores de Claveles	lb. j3	a ½ rs.on	1	1	Andarite	lb. j3	a 2 rs. on	4	4
Vinagre rosado	lb. j3	a ½	1	1	Pomada de Valencia	lb. j	a 2 rs. on	3	
Vinagre Esquirfítico	lb. 3	a ½	0	3	de Basilicón	lb. iij	a 2 rs. on	9	
de simientes de Anís	lb. ij	a ½	1	1	de Tutia	ζ iij	a 2 rs. on	1	
de Chicoria simple	lb. 3	a ½ rs.on	0	3	de Desopilativo	lb. j3	a 2 rs. on	4	4
de Amapolas blancas	lb. j	a ½ rs.on	0	6	de Bálsamo Manglet	ζ iij	a 1 rs. on	0	4
de Manzanas	lb. iiij	a ½ rs.on	3		Manteca de oso	ζ vj	a 1 rs. on	0	6
de Culantrillo	lb. iij	a ½ rs.on	2	2	Manteca de león	ζ iij	a 1 rs. on	0	4
de Toronjil	lb. ij	a ½ rs.on	1	4	Tuétanos de res	lb. j	a ½ rs. on	0	6
de Amapolas	lb. 3	a ½ rs.on	0	3	Manteca de Azahar	lb. ij	a ½ rs. on	1	4
de Llantén	lb. iij	a ½ rs.on	2	2	Manteca de Cacao	ζ x	a 4 rs. on	5	
de Coclearia	lb. ij	a ½ rs.on	1	4	Manteca de Ballena	ζ j	a 4 rs.	0	4
de Escorzonera	lb. j	a ½ rs.on	0	6	Manteca de Macho	ζ ij	a 1 rs. on	0	2
de Polipodio	lb. j	a ½ rs.on	0	6	<i>Gomas y resinas</i>				
de Azetoso	lb. j	a ½ rs.on	0	6	de Almaciga	ζiij	a 4 rs.on	2	
de Pectoral	lb. j	a ½ rs.on	0	6	de Bedelio				
<i>Pulpas</i>					de Algarrobo	lb. iij	a		
Caña fístola	lb. x	a 1 rs.on	15		de Amoniaco	lb. j3	a 3 ps. lib	4	4
de Tamarindos	lb. iiij	a 1 rs.on	6		de Limón	lb. j	a 3 ps. lib		
<i>Confecciones</i>					de Estoraque				
de Claveles	lb. ij	a 1 rs.on	3		de la Tierra	lb. iij	a 3 ps. lib	9	
de Rosas	lb.	a ½ rs.on	0	6	de Guayacán	ζ ij	a 1 ps. on	2	
de Jacinto	ζ iij	a 3 rs.on	12		de Asafétida	lb. jζiij	a 3 ps. lib	4	
de Hamec.	lb.	a 1 rs.on	06		de Opoponaco	lb. 3	a 3 ps. lib	1	4
de Dioscoride frascatore	ζ j	a 1 rs.on	01		Sarcorcola	ζiij	a 3 ps. lib	1	0
de Alquilme	ζ j	a 1 rs.on	0	4	Resina Jalapa	lb. 3	a 3 ps. lib	5	

Nuez Moscada	ζ3	a 1 ps.on	0	4	Líquido	ζij	a 2 rs. dram	0	4
Hisopo húmedo	lb.j	a 4 rs.on	6		Tintura antihistérica	ζij	a 2 rs. dram	0	4
Cardenillo	ζj	a 4 rs.on	0	4	Tintura Azafrán	ζij	a 1 ps.on		
Alumbre quemado	ζj	a 4 rs.on	0	4	Tintura Azafrán alcanforado				
Castóreos	ζiii	a 1 ps.on	4		Tintura Mirra	ζij	a 1 ps.	2	
Trementina de la Tierra	lb.j	a 1 rs.on	1	4	Tintura Marte				
Carne Muma	lb.ij	a 1 ps.on	24		Espíritu. de Hollín	ζj	a 2 ps.on	2	
Caña Fístola	lb.x	a 2 rs.lib	2	4	Espíritu				
Cantáridas	lb.j	a 4 rs.on	6		de Trementina	ζj	a 2 rs.	0	2
Polipodio	lb.3	a 2 rs.on	1	4	Espíritu de Vitriolo	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Díctamo Real	ζj	a 1 rs.on	0	1	Espíritu Nitro Ácido	ζj	a 2 rs. dram	0	2
Flor de Paraguay	lb.j	a 1 rs.on	1	4	Espíritu Nitro dulce	ζj	a 2 rs. dram	0	2
Hojas de Hisopo	lb.ij	a 2 rs.on	3		Espíritu cráneo humano	ζiij	a 2 ps.on	6	
Rosas secas	lb.j	a 1 ps.lb	1		Espíritu Sal Dulce	ζiij	a 2 ps.on	6	
Amapolas	ζij	a 1 ps.on	2		Espíritu Coclearia	ζiij	a 1 ps.on	3	
Raíz de China	lb.ij	a 4 rs.lib	1		Espíritu de Rosas	ζ3	a 1 ps. on	0	4
Pimienta larga	lb.j	a 2 rs.on	3		Espíritu de Succino	ζj	a 3 rs. dram	0	3
Quina quina	ζij	a 4 rs.on	1		Espíritu Cuerno				
Raíz de Butua	ζiii	a 2 rs.on	1		Ciervo	ζ3	a 4 ps.on	2	
Semillas Ameos	lb.ij	a 4 rs.on	12		Espíritu Sal de Amoniac	ζ3	a 4 ps. on	2	
Cordiada (Cordiales)					Espíritu oleoso de Silvio	ζij	a 3 ps.dram	6	
Azafrán de Metaliza		2 ps.on	10		Aceites esenciales				
Besoal Jovial	ζiija	a 1 ps.on	03		de Hierba buena	ζj	a 3 ps.on	3	
Besoal de Luna	ζij	a 2 ps.on	04		Aceites de Enebro	ζj	a 4 ps.on	4	
Besoal Ansorve.	ζj	a 1 ps.on	1		Aceites de Trementina				
Besoal Milenar	ζiii	a 1 ps.	4		Aceites ad Rubareos	ζj	a 1 ps.on	1	
Besoal Marcial	ζj3	a 1 ps.	1	4	Aceite de Tomillo	ζij	a 4 ps.on	8	
Besoal de Venus	ζij	a 1 ps.	2		Aceite de Alcarabea	ζv	a 1 ps.on	5	
Besoal Animal	ζij	a 1 ps.on	0	3	Aceite de Ruta	ζiij	a 2 ps.on	6	
Elise de Paracelso	ζvj	a 4 rs.on	03		Aceite de Tártaro destilado	ζj3	a 4 ps.on	6	
Bálsamo Azufre anisado	ζiij3	a 3 ps.on	5		Aceite de Anís	ζiii	a 4 ps.on	16	
Bálsamo Azufre trementinado	ζ3	a 3 ps.	1	4	Aceite de Clavos	ζij	a 4 ps.on	1	
Bálsamo de Jerusalén	ζij	a 6 rs. dram	1	4	Aceite de Naranjas	ζj	a 6 rs.dram	0	6
Bálsamo Católico	ζx	a 4 ps.on	40		Aceite de Sera	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Bálsamo Anodino	ζj	a 3 ps.on	3		Aceite de Canela	ζj	a 1 ps.escru	1	
Elise uterino	ζ3	a 4 rs.on	0	2	Aceite de Cominos	ζj3	a 2 ps.on	3	
Manteca de hombre	ζ3	a 1 rs. dram	0	1	Aceite de alacranes	ζj	a 1 ps.on	1	
Jarabe balsámico	lbj	a 2 ps.on	2		Aceite de Limón	ζiij	a 4 ps.on	16	
Leche virginal	ζiij	a 1 ps.on	3		Aceite de Succino	ζj	a 3 ps.on	03	
Liquidámbar	ζij	a 1 ps.on	2		Aceite de Mejorana	ζv	a 2 ps.on	10	
Tintura Marte					Aceite de Hinojo	ζiij	a 4 ps.on	16	
Aperitivo	ζij	a 2 rs. dram	4		Aceite de Vitriolo	ζv	a 4 ps.on	20	
Tintura Antimonio	ζiij	a 2 ps.on	6		Aceite de Poleo	ζj	a 2 rs.dram	0	2
Tintura color	ζj	a 3 ps.on	3		Aceite de Euforbio	ζtj	a 2 ps.on	4	
Tintura de Beleño	ζij	a 4 ps.on	8		Aceite de Romero	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Tintura Goma Laca	ζij	a 4 rs.on	1		Hígado de Antimonio	ζj	a 2 ps.on	2	
Tintura Láudano					Polvo Guteta.	ζ3	a 3 rs.	1	4

Arcano Duplicado	ζj	a 4 ps.	4	
Polvos Diamargaritón	ζj	a 2 ps.on	2	
Polvos de Alejandro Quintillo	ζj	a 4 rs.on	0	4
Polvos de cochinillas	ζj	a 2 rs.dram		2
Polvos de víboras	ζij	a 4 rs.dram	1	
Polvos imperiales	ζj3	a 2 ps.on	3	
Polvos Estomacón de Palacios	ζj	a 1 ps.on	1	
Polvos pectorales	9i	a 2 rs. escru	0	2
Polvos de tribus	ζ3	a 1 ps.	0	4
Polvos de cráneo	ζij	a 3 rs.dram	0	6
Sal Tártaro vitriolado	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Sal de Artemisa	ζiij	a 1 ps.on	3	
Sal Poliscreta	ζij	a 1 ps.on	2	
Magno Criste Pelardo	ζ3	a 8 rs.on	0	4
Sal de Taray	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Sal de Azufre	ζ3	a 4 ps.on	2	
Sal volátil de Cornu Cervi	ζ3	a 4 ps.on	2	
Sal foliad Tártaro	ζij	a 1 ps.on	2	
Sal Borrajas	ζj	a 1 ps.on	1	
Sal de hierbabuena	ζij	a 2 ps.on	4	
Sal de Ajenjos	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Sal de Apio	ζij	a 1 ps.on	2	
Nitro Estibiado	ζj	a 1 ps.on	1	
Sal de Centaurea	ζij	a 1 ps.on	0	4
Sal de Eneldo	ζij	a 1 ps.on	2	
Tártaro emético	ζj3	a 2 ps.on	3	
Antimonio Diaforético Succinado	ζj	a 2 ps.on	2	
Antimonio Diaforético usual	ζiij	a 2 ps.on	8	
Azúcar de Saturno	ζj	a 4 ps.on	1	
Magisterio de perla	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Madre de Perla p.p.	ζij	a 2 rs.dram	0	4
Piedra hematites	ζij	a 1 ps.on		2
Cuerno de ciervo p.p.	ζ3	a 1 rs.dram	0	4
Cristal montano	ζj	a 1 ps.on	1	
Tucia p.p.	ζ3	a 1 ps.on	0	4
Color p.p.	ζij	a 2 ps.on	04	
Esmeraldas p.p.	ζvj	a 2 ps.on	12	
Esponja p.p.	ζvj	a 2 rs.dram	1	4
Ámbar gris	ζ3	a 4 ps.on	2	
Agua de Canela	ζj	a 1 rs.dram	0	1
Clisse de Inglaterra	ζvj	a 1 ps.on	6	
Espíritu de Beros	lbiij	a 1 ps.on	24	
Agua Fuerte	ζv	en ps.	02	
Agua Triacal	ζ3	a 1 ps.on	00	1
Precipitado Blanco	ζj3	a 2 ps.on	0	3
Precipitado Rubio	ζij	a 2 ps.on	4	
Azúcar Cande	ζj	a 2 ps.on	0	2

Óleo Trementina	ζj	a 2 rs.dram	0	2
Tintura Castóreos	ζiij	a 3 ps.on	9	
Panacea de Oro	ζiij	a 4 ps.on	20	

Utensilios

Frasqui de la Cordialera	ciento treinta y siete	137
Botecitos finos de cordialera	veinte y cuatro	024
Botes de loza fina	catorce	014
Objetos de loza de Cartagena	ciento veinte y cuatro	124
Objetos hechizos chiquitos	noventa y cuatro	094
Frascos de marca mayor	diez y seis	016
Otros ordinarios	ciento y seis	106
Limetas de cristal	nueve	009
Otras ordinarias	veinte y seis	026
Onzas grandes y chiquitas	treinta y seis	036
Cajas chicas y grandes	cincuenta y seis	056
Cajones viejos en la rebotica	veinte y cuatro	024
El mostrador con dos cajones		
Una mesa vieja con dos cajones		
Mostrador en la cocina		
Escaparate viejo		
Mesa chica		
Cuatro sillas		
Un peso grande sin marco		
Dos pesos chiquitos el uno descompuesto		
Un marquito de media libra		
Alambique grande		
Uno otro chiquito roto		
Una olleta rota		
Una paila mediana		
Una campanita de cobre		
Almirez grande de bronce con una mano de hierro		
Almirez mediano y otro chiquito con sus manos de cobre		
Un embudo, una medida y una cuchara y dos espátulas		
Plata que todo pesa nueve onzas		
Cuatro embudos de hojalata		
Tres espátulas de hierro y una de cobre		
Dos morteros uno de piedra y otro de jaspe		
Tres Pharmacopeas		
Un librito de dispensatorio		
Un libro de Madama Forger		
Una prensa de palo.		

Antonio Cabrejo Ante mi, fray *Josef Antonio Pontón*
Ministro y Prior Notario del Convento

En los dos establecimientos algunas de las sustancias relacionadas en los inventarios son similares, aunque hay específicos que sólo aparecen en una de las dos boticas; en ambos casos casi todos los elementos y confecciones tenían un valor comercial elevado, tal como fue tasado por los respectivos peritos. A manera de ejemplo valga señalar que veinticinco

libras de alumbre costaban 7.6 pesos y siete libras de raicilla valían 7.4 pesos. En el caso de Cartagena el inventario se hizo por estantes y el valor se calculó en libras y onzas. En el caso de Santafé se realizó por tipos de substancias, aguas, aceites, jarabes, pulpas, confecciones extractos etc. Estas substancias fueron avaluadas en libras, onzas y fracciones menores. Los costos de los distintos medicamentos fueron calculados en pesos y en reales.

Cuadro 3.
COMPARACIÓN DE PRECIOS DE ALGUNAS
MATERIAS CONTENIDAS EN AMBAS BOTICAS

Substancia	Precio en Cartagena	Precio en Santafé
Ajenjo (sal)	\$0.66 onza (sal)	\$ 1 onza
Almáciga	\$ 0.30 libra	Real 2 onza
Alumbre	\$ 3.28 libra	\$ 2 libra
Alumbre quemado	\$ 4 libra	Real 4 onza
Ámbar gris	\$ 2 onza	\$ 4 onza
Amoniaco	\$ 1 onza (sales de)	\$ 1 onza
Anime	\$ 0.73 onza (goma de)	\$ 0.6 onza
Antiético de Poterio	\$ 4 onza	\$ 3 onza
Antimonio (diaforético)	\$ 6 libra (tintura)	\$ 2 onza
Antimonio	\$ 0.10 onza	\$ 2 libra
Azafrán de Metales	\$ 0.06 onza	\$ 2 onza
Azúcar cande	\$ 0.5 onza	\$ 2 onza
Besoal jovial	\$ 0.6 onza	\$ 1 onza
Cantáridas	\$ 0.6 libra	Real 4 onza
Católico (bálsamo)	\$ 1 onza (bálsamo)	\$ 4 onza
Cráneo hominis	\$ 2.0 onza	Real 3 dracma
Carne mummia	\$ 0.50 libra	\$ 16 libra
Cártamo	\$ 0.30 onza	Real 2 onza
Centaurea	\$ 0.27 onza	Real 4 onza
Centaurea (extracto)	\$ 0.06 onza (sal de)	\$ 1 onza
Cochinillas	\$ 2.0 onza	Real 3 onza
Confección de Alkermes	\$ 0.16 onza	\$ 1 onza
Confección de Jacinto	\$ 0.16 onza	\$ 3 onza
Contrarrotura (emplasto)	Real 4 onza	\$ 6 libra
Diabotano (emplasto)	\$ 0.92 onza	\$ 1 onza
Diapalme	\$ 0.37 onza	Real 2 onza
Diaquilón mayor	\$ 0.05 onza	Real 4 onza
Díctamo Real	\$ 0.08 onza	Real 1 onza
Eléboro	\$ 1 libra	\$ 6 libra
Enebro (goma de)	\$ 2.3 onza (aceite de)	\$ 4 onza
Escamonea (de Esmirna)	\$ 1.6 onza (de Alepo)	\$ 1.6 onza

Espíritu de Succino	\$ 0.07 onza (aceite)	\$ 3 onza
Estoraque	\$ 1.5 onza	\$ 1.2 onza
Flor de azufre	\$ 1.5 onza	Real 1 onza
Hiedra	\$ 1.5 onza (goma de)	\$ 1.8 onza
Hígado de antimonio	\$ 0.06 onza	\$ 2 onza
Hipoquisdos (zummo)	\$ 6 libra	\$ 3 libra
Jalapa	\$ 0.25 onza	\$ 1 onza
Laca	\$ 3 onza	\$ 2.5 onza
Macías	\$ 0.25 onza	Real 4 onza
Madre perla (preparado)	\$ 6 libra	Real 2 dracma
Manus Dei	\$ 0.08 onza	Real 4 onza
Marcial (óleo)	\$ 0.5 onza (bezoar)	\$ 1 onza
Manzanilla (Flor)	\$ 6 libra (Agua)	Real 4 libra
Manzanilla (Aceite)		Real 1 libra
Mechoacán (Leche)	\$ 0.25 onza (Raíz)	\$ 0.25 onza
Mercurio dulce	\$ 2 libra	\$ 6 libra
Minio	\$ 0.3 onza	\$ 0.20 onza
Mirra	\$ 1.5 onza (tintura de)	\$ 1 onza
Nitro estibiado	\$ 6 Libra	\$ 1 onza
Orozuz	\$ 0.50 onza (extracto)	\$ 1 onza
Oxicroceo (óleo)	\$ 3 onza (emplasto)	Real 4 onza
Pimienta larga	\$ 0.16 onza	Real 2 onza
Polvos de quina	\$ 1 onza	Real 4 onza
Polvos de ruibarbo	\$ 2 libra	\$ 1 onza
Precipitado blanco	\$ 0.25 onza	\$ 2 onza
Pulpa de tamarindo	\$ 0.25 onza	Real 1 onza
Raicilla (polvos)	\$ 0.06 onza	\$ 1 onza
Raíz de jalapa	\$ 0.25 onza	\$ 1 onza
Ranas simple	\$ 1 onza (emplasto)	Real 4 onza
Resina de Jalapa	\$ 9.2 libra	\$ 3 libra
Rosas	\$ 0.18 libra (Confección)	Real 0.5 onza
Sagapeno	\$ 0.16 libra (goma de)	\$ 3 libra
Sal gema	\$ 0.01 onza	\$ 0.6 onza
Sal de Tártaro	\$ 0.24 onza (vitriolado)	\$ 1 onza
Salvia	\$ 0.50 libra	Real 4 libra
Succino	\$ 2.09 libra	Real 1 onza
Tártaro emético	\$ 0.33 onza	\$ 2 onza
Tintura de Azafrán	\$ 8 libra	Real 2 dracma
Tintura de Marte		
Aperitiva	\$ 1 libra	Real 2 dracma
Tintura de Mirra	\$ 0.7 onza	\$ 1 onza
Tormentila	\$ 0.25 onza	\$ 3 onza
Tragacanto	\$ 0.6 onza (goma de)	\$ 3 libra
Turbit (mineral)	\$ 0.12 onza	Real 1 onza
Violetas	\$ 3 onza (aceite)	Real 1 onza
Vitriolo	\$ 0.25 onza	Real 4 onza
Vitriolo blanco	\$ 1 onza	\$ 1 onza

El valor total de la botica de Cartagena, en cuanto a medicamentos inventariados, fue superior a doscientos once pesos con treinta y cinco (\$ 211.35), una cifra muy elevada para la



Figura 3. Dos aspectos del interior de una botica de la época.

época. El valor total de la de Santafé, descontado el costo de los muebles, tasados en seiscientos sesenta y seis pesos (\$ 666), fue de mil cuatrocientos treinta y tres pesos (\$ 1433) discriminados así: aguas: 60.6, aceites, 34.0, jarabes 78.4, pulpas, 21.0, confecciones 13.0, extractos 98.3, gomas y resinas 57.5, polvos 13.8, raíces 83.8, piedras 271.0, emplastos 153.2, píldoras 11.0, semillas 10.4, sales 36.4 y simples 490.8. A la luz de estas cifras la botica de Santafé no sólo estaba mejor surtida sino que tenía mayor valor y era digna de un convento, institución donde el potencial económico era superior al de cualquier boticario particular.

Antes de pasar a la comparación detallada creemos oportuno aclarar los nombres de algunas materias (plantas y sustancias) que han caído en desuso o que son poco conocidas con el fin de facilitar la comprensión de las materias mencionadas en los cuadros y a la vez entender la calidad, composición y origen de los medicamentos relacionados. Las definiciones corresponden a la época pero, para beneficio de los lectores, se han complementado con los nombres botánicos de las especies y con algunas referencias.

Ababuste. Ababol? Amapola?

Acetoso. Agrio.

Agárico. Hongo nacido en los troncos del Lárice y de otros árboles que producen bellotas. (*Fomes fomentarius*).

Agua fuerte. Se definía como licor que se saca por destilación al fuego del nitro y del vitriolo, usada para disolver plata y otros metales. También se llamaba *Aqua Stygia*. Ácido nítrico ligeramente diluido.

Almáciga. Resina destilada del Lentisco.

Agnocasto. Planta de lugares húmedos parecida al Sauce y a la Sabina. También se aplica a la resina destilada del Lentisco.

Alquermes. Confección excitante hecha de polvos de lapislázuli, canela y jugo del kermes.

Alquequenje. Planta solanácea con frutos rodeados por un cáliz acrescente utilizados como diurético. (*Physalis alkenkengi*).

Azafrán de metales. Quizás óxido de hierro u orín? Entonces se definía como moho que cría el hierro.

Azúcar cande o azúcar de piedra. El que a fuerza de varias cocciones (cuatro o cinco) se clarifica y endurece.

Azúcar de Saturno: Acetato de plomo.

Bálsamo. Era una planta resinosa conocida desde la antigüedad y que destilaba un licor usado como medicinal. Por extensión tal nombre pasó a ser un tipo de sustancia, por lo que existen diversas clases de bálsamos como el Bálsamo Arceo y el Bálsamo Manglet.

Benjuí. Goma aromática y de color rojo destilada de un árbol llamado Laserpicio (Hoy *Laserpitium siler*; entonces *L. latifolium*). Vulgarmente se le llamaba Menjui.

Betún judáico. Especie de barro fluido, tenaz y pegajoso con parte de azufre que mana del lago de Asfaltite en la Judea. Corresponde al alquitrán de petróleo.

Bezár. Piedra de la que hay varias especies como oriental, occidental, germánica, mineral y artificial.

Bezo. Labio grueso. *Labium crassum*. En los inventarios aparece como **Labio arménico**. Se aplicaba al borde de algunas llagas.

Bezoar. Contra veneno. Originalmente era una concreción o cálculo de las vías digestivas u urinarias de algún mamífero al que se atribuían propiedades curativas. En la época se definía como bezal o bezar. **Bezoárico.** Se aplica a los medicamentos que llevan piedra bezar y a otros que son contra-veneno o contra enfermedades malignas. En los inventarios aparece como besoal y se incluye en la categoría de los cordiales. Todas son remedio contra el veneno y otros males". Algunos lo llaman bezaar y otros Bezoar. *Lapis bezobarius.*"

Brusco. Planta esmilácea de tallos flexibles cubiertos de cladodios retorcidos y flores verdosas que nacen en el centro de tales cladodios y producen frutos del tamaño y el color de una guinda. (*Ruscus sp.*)

Cachorros. Se aplicaba el término a las crías de los perros.

Calomelanos. Protocloruro de mercurio sublimado empleado como purgante, vermífugo y antisifilítico.

Caparrosa. Especie de sal congelada de un agua verde que destilan las minas de cobre. La hay blanca, verde y azul. Se conocía también como vitriolo.

Carne mummia (momia). Era la carne muerta, casi siempre desecada entre arena caliente, conservada con la ayuda de aromas y bálsamos. Originalmente se obtenía de momias.

Cártamo. Azafrán silvestre o yerba alazor. *Crocum hortense.*

Castóreo. Nombre dado a los testículos del castor.

Católico. Se entendía por católico infalible o cierto. Por ello había un unguento calificado de católico.

Catolicón. Sustancia elatuarial y purgante.

Clisse de Inglaterra. Quizás es Clíster, que era un medicamento y a la vez una ayuda.

Cremor tártaro. Tartrato de potasio.

Cubeba. Simientes aromáticas de *Piper cubeba* de sabor amargo.

Desopilativo. Utilizado para descongestionar vías obstruidas.

Diacatolicón. Elatuario purgante hecho con hojas de sen, cañafístola, raíz de ruibarbo y pulpa de tamarindo.

Diamargaritón. Composición medicamentosa elaborada con perlas y otros ingredientes. Hacíanse con ella polvos y tabletas que se empleaban para fortificar cabeza y estómago y el corazón.

Diaquilón. Ungüento para hacer emplastos usados para ablandar los tumores.

Diascardo. Diascordio. Composición medicinal tónica y astringente hecha básicamente de escordio. (*Teucrium scordonia*).

Elatuario. Purgante. El nombre deriva del de una planta cucurbitácea y se aplicaba inicialmente a un medicamento

purgante y fuerte hecho con el zumo del cohombro amargo (*Ecballium elaterium*).

Élise o elice. Aparentemente es elixir. En los inventarios figuran elise uterino y elice de Paracelso.

Epítima. Bebida reconfortante usada para mitigar el dolor. Aunque existen diversas fórmulas, por lo general contenía, aparte de timo, azúcar, azafrán y canela finamente pulverizados. Epítima, según la definición y en sentido riguroso equivalía a sobrepuesto y confortante.

Epítimo. Nombre dado a las flores de timo (*Thymus vulgaris*). Es una palabra compuesta formada por el prefijo epi y el nombre Thymum.

Escamonea. Gomorresina sólida y medicinal extraída de una planta originaria de Siria que lleva el mismo nombre. (*Cynanchum acutum*). Se utilizaba como purgante.

Escordio. Hierba aromática de flores azules y hojas vellosas. (*Teucrium scordonia*).

Esquirítico. Contra la Angina ?

Estibio. Alcohol. Estibiado era pasado por alcohol o conservado en solución alcohólica.

Estrobio. Ardoroso, estimulante ?

Filipéndula. Hierba parecida a la zanahoria con raíces tuberculosas feculentas, pendientes entre sí de una especie de hilos. (*Enanthe filipendula*).

Gálbano. Gomorresina aromática de color gris amarillento o blanquecino, untuosa, amarga al gusto, y desagradable al olfato que se saca de la incisión de una planta que nace en Siria y que tiene el mismo nombre *Galbanum*. Se trata de una umbelífera usada en medicina y perfumería.

Galenga. Raíz aromática medicinal proveniente de China. Existían dos clases de Galenga conocidas como mayor y menor.

Gordolobo. Planta medicinal y venenosa. (*Verbascum thapsus*).

Gutagamba. Árbol de la India, de la familia de las gutíferas, cuya gomorresina entra en la composición de algunos barnices y antiguamente empleada en medicina.

Guteta. Gutapercha?

Hermodátil. Mercurio.

Hidrargiro. Mercurio sublimado también llamado Solimán.

Hígado de Antimonio. Mezcla de color de hígado, algo transparente y a medio vitrificar, que resulta al fundir en un cristal partes iguales de antimonio y potasa con un poco de sal común. Existía también el hígado de azufre que se hacía derritiendo azufre con potasa.

Hipoquisdos. Hipocisto. Especie de planta nominada *Cytinus hypocistis*.

Hisopo. Hierba aromática y espigada de flores azulosas. (*Hyssopus officinalis*).

Hisopo húmedo. Mugre de la lana de las ovejas y de los carneros que se recoge luego de lavar la lana. Corresponde a la lanolina impura. Al evaporarse se solidifica y da una pasta untuosa que se utilizaba en farmacia.

Imperatoria. Planta de semillas aromáticas y amargas. (*Peucedanum ostruthium*).

Kermes o Kernes. Quermes. Gusano que se cría dentro del coco de algunos granos y que produce una tintura de color carmesí. Es la larva de un hemíptero. La hembra al poner los huevos forma agallas que dan el color a los granos. En farmacia era una mezcla de color rojizo hecha con óxido y sulfuro de antimonio que se empleaba como medicamento en las enfermedades de los órganos respiratorios.

Leche de tierra. Polvos purgantes extraídos de la lejía que queda después de sacado el salitre, los cuales se calcinan a fuego fuerte y repetido y se endulzan lavándolos varias veces en agua. Por su color se denominaron *Lac terrae*.

Litargirio. Óxido de plomo fundido en láminas o escamas pequeñas lustre vítreo y de color amarillo o rojizo. Lo había de oro, por dar visos parecidos a este metal, y de plata por contener plata interpuesta.

Magnético. Lo perteneciente a la piedra imán.

Mercurio Dulce. Calomelanos.

Mimo. Tetróxido de plomo.

Onfacino. Aceite de olivas verdes.

Opiata. Bebida compuesta de opio y otros simples para hacer dormir.

Opopónaco. Goma, amarilla por fuera y blanca por dentro, grasa y muy frágil, amarga y de olor desagradable. Se extrae de una planta originaria de Macedonia, *Opopanax*.

Orozús. Planta leguminosa del género *Glyzyrrhiza*.

Panace. Planta usada por los boticarios para extraer el opopónaco.

Panacea. Nombre que daban los boticarios a algunas medicinas que regularmente se administran en polvos o píldoras.

Pelitre. Planta de frutos rojos parecida al arrayán. (*Ruscus sp.*)

Piedra de Litargirio. Monóxido de plomo.

Piedra hematitis. Mineral de hierro de color rojo.

Piedra LázuLi. LapislázuLi. Mineral de color azul intenso y gran dureza.

Piedra lipis. El vitriolo azul, traído de Hungría y Chipre, que según algunos aparecía en las minas del cobre y que se formaba de la solución del cobre en espíritu acuoso de vitriolo. Es una piedra de color azul vistoso, cáustica y mundificante que se usaba en las llagas pequeñas como las aftas de la boca.

Sagapeno. Licor hecho de la fécula de la férula, una planta originaria de Media y Abulia. Por extensión es la gomorreina trasparente, algo leonada, de olor fuerte y sabor acre utilizada como antiespasmódico.

Sal anglicana. Sal de Inglaterra.

Sal de amonio o amoniacal. Cloruro amónico.

Sal de Glaubern o admirable. Sulfato sódico.

Sal dulce. Posiblemente es la misma "sal índica" que es el azúcar que se endurece y cuaja de lo que sudan las cañas dulces. Corresponde a fructosa o sal de frutas.

Sal gema. Cloruro de sodio.

Sal marina. Cloruro de sodio impuro.

Sal prunela. Era un medicamento hecho de nitro disuelto con fuego, y en él la flor de azufre. Corresponde a una mezcla de nitrato de potasa con un poco de sulfato que se obtenía arrojando un poco de azufre en polvo sobre nitro fundido.

Sal de plomo o de Saturno. Acetato neutro de ese metal.

Sarcocola. Licor de sabor amargo extraído de un árbol originario de Persia.

Solimán. Azogue sublimado o Hidrargiro, también conocido como Sublimado corrosivo.

Stiptico croilo. Estíptico es lo que tiene la virtud de apretar y consiguientemente de desecar y estreñir. Equivale a astringente. Se daba también el nombre de estíptico al quien padecía de estreñimiento.

Succino. Lo mismo que Ámbar o Electro. **Succinado** es lo que lleva ámbar.

Tártaro. Materia terrea y salitrosa extraída del vino, evaporándolo durante el proceso de fermentación. En este proceso se forma una costra que se pega a la vasija que lo contiene. El crémor tártaro corresponde a esa costra pulverizada y purificada por reverberación hasta obtener cristales. Hay crémor rojo y blanco según el vino de donde provenga. En ambos casos corresponde a bitartrato de potasio impuro.

Ticia. Tucia. Atutía. Óxido de zinc mezclado con otras sales metálicas que se adhiere a manera de costra en las chimeneas de los hornos donde se fabrica latón. Por extensión se da este nombre al ungüento medicinal preparado con tal sustancia.

Turbit. Raíz resinosa de una planta convolvulácea proveniente de las Indias Orientales empleada como purgante drástico. (*Alypum turpetum*).

Vitriolo blanco. Caparrosa blanca. Es la sal formada por el ácido sulfúrico con cobre o hierro. La blanca es sulfato de zinc.

Yezgo. Planta similar al Saúco común, con propiedades similares y aun más eficaces. (*Sambucus ebulus*).

Zaragut. Planta de semillas negras y pequeñas utilizada como medicinal. (*Arum italicum*).

En ambas boticas priman las materias de origen vegetal seguidas de los minerales y de las materias de origen animal. Estas sustancias podían utilizarse solas, en forma de pulpas o polvos, o podían servir de base para la confección de aguas, jarabes, extractos, pomadas o ungüentos. Algunas de estas materias medicinales eran comunes y de fácil consecución, en tanto que otras eran difíciles de obtener. Como es fácil presumir, los elementos y compuestos empleados para aliviar o curar las diferentes dolencias eran aquellos tradicionalmente utilizados en Europa. Las plantas eran las cultivadas en la zona mediterránea, aunque varias especies provenían del Medio Oriente y de Asia. Menos de una docena de especies de las que aparecen en los inventarios son originarias de América; se trata de aquellas que por sus marcadas virtudes se habían incorporado, poco a poco, a la farmacopea universal. Tal el caso del tabaco, la cañafístola, el cacao, la jalapa, el guayacán, la caraña, la raicilla, el mechoacán, la quina y la flor de Paraguay. Algunas de las materias minerales y de origen animal se podían obtener en suelo americano, pero la mayoría se importaban de Europa, lo cual las hacía costosas. Las relaciones pormenorizadas de las boticas permiten concluir que el precio de los medicamentos, independientemente de su origen, era elevado y que las confecciones y preparados no estaban al alcance de toda la población, es decir que el acceso a los medicamentos estaba limitado a los estratos más altos de la sociedad y era altamente costoso.

El número de específicos registrados en la botica de Cartagena fue de doscientos tres, pero teniendo en cuenta que faltan el primer inventario y la conclusión de la diligencia pericial, se pueden añadir cerca de sesenta ítems, lo que daría un total aproximado de doscientos sesenta y cinco sustancias, en comparación con la botica de Santafé que contenía trescientos cuarenta y dos, con la ventaja de que, desde el punto de vista cualitativo, se trataba en su mayoría de preparaciones como aguas, aceites, jarabes, confecciones, extractos, emplastos, píldoras, cordiales y espíritus, que eran destilados altamente purificados, los cuales contrastan con las materias brutas, sales, pulpas, raíces, semillas y polvos que priman en la Botica de Cartagena y que entonces se conocían como simples.

Conclusiones

1. Las relaciones pormenorizadas de las boticas permiten concluir que el precio de los medicamentos, independientemente de su origen, era alto, tanto en Cartagena como en Santafé. Las confecciones y preparados no estaban al alcance de toda la población. Dicho de otra forma, el acceso a los medicamentos, de una parte estaba limitado a los estratos más altos de la sociedad; de otra, era altamente costoso.
2. El número de específicos registrados en la botica de Cartagena fue de 203. Teniendo en cuenta que faltan las páginas correspondientes al primer inventario y a la conclusión de la diligencia pericial, se pueden añadir cerca de 60 ítems lo que daría un total aproximado de 265 sustancias. En contraste, la botica de Santafé contenía 342 ítems.
3. En la botica de Cartagena priman los simples que corresponden a materias brutas, sales, pulpas, raíces, semillas y polvos. En la de Santafé abundan preparados como aguas, aceites, jarabes, emplastos, ungüentos, confecciones, eluorios, extractos, cordiales, píldoras, sales, soluciones y espíritus. La botica de Santafé no sólo estaba mejor surtida sino que tenía mayor valor comercial. No en vano era propiedad de un convento, donde el potencial económico era superior al de cualquier boticario particular.
4. En general los fármacos eran más costosos en Santafé, pero existen excepciones. En ambos casos la casi totalidad de los ítems corresponde a sustancias importadas desde Europa. Ese costo más alto de la mayoría de los medicamentos se explica por los fletes, pues el valor original se incrementaba con el costo del transporte por el río Magdalena y el ascenso, por camino de herradura a la capital.
5. En los dos inventarios se mencionan quinientos cinco medicamentos. De tan amplia lista, apenas una decena corresponden a plantas de origen americano como son el palo de Mechoacán, la caraña, la raicilla, la quina-quina, el tabaco, el cacao, la jalapa, el guayacán, la flor de Paraguay y la trementina de la tierra. Las demás son de origen asiático, o mediterráneo, por ser este un mercado de tradición europea.
6. Hay cerca de cien específicos que sólo aparecen en el inventario de la Botica de Cartagena, en tanto que cerca de doscientos cincuenta son exclusivos de la de Santafé. El número de sustancias comunes es cercano a la centena, (un 50% del inventario de la botica de Cartagena y un 30% de la de Santafé) circunstancia que permite inferir que se aplicaba un tipo de terapéutica similar. A su vez, las materias mencionadas en ambas boticas coinciden con los recetarios conocidos para la época. Dicho de otra manera, los tratamientos eran los mismos para dolencias similares en las dos ciudades. En ambos casos responden a la tendencia galénica de la medicina, imperante entonces.

Para facilitar la lectura en los cuadros en la transcripción se utiliza la grafía actual.

Agradecimientos. Agradezco a Adelaida Sourdís Nájera y a Luís Carlos Mantilla O.F.M. por facilitarme los inventarios

de las boticas analizadas y a Inés Bernal de Ramírez por sus valiosos comentarios.

Bibliografía

- Díaz Piedrahita, S. & L.C. Mantilla.** 2002. *La Terapéutica en el Nuevo Reino de Granada. Un recetario Franciscano del Siglo XVIII*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá D.C.
- Guerra, F.** 1982. *El Tesoro de Medicinas de Gregorio López, 1542 – 1596*. Ediciones Cultura Hispánica del Instituto de Cooperación Iberoamericana. Madrid.
- Real Academia Española.** 1780. *Diccionario de la Lengua Española*, Madrid.
- Ronderos, P.** 2007. *El dilema de los rótulos. Lectura del Inventario de una botica santafereña de comienzos del Siglo XVII*. Colección Taller y Oficio de la Historia. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Ronderos, M.P.** 2009. *Principios de Cirugía. Tratado de Cirugía, Jerónimo Ayala, Natural de Madrid, Cirujano en esta Corte. Año 1724*. Biblioteca del Nuevo Reino de Granada, Instituto Colombiano de Antropología e Historia. Bogotá D.C.
- Vezga, F.** (sin fecha) *Botánica Indígena*. Selección Samper Ortega de Literatura Colombiana 47. Tercera Edición. Editorial Minerva, Bogotá.

Recibido: 26 de abril de 2012

Aceptado para publicación: 4 de junio de 2012

ORTHOGONAL SYSTEMS AND PERMUTATION POLYNOMIAL VECTORS OVER MODULAR ALGEBRAS

Pablo A. Acosta-Solarte*, Víctor S. Albis**

Abstract

Acosta-Solarte, Pablo A. & Víctor S. Albis: Orthogonal systems and permutation polynomial vectors over modular algebras. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **36** (139): 237–242, 2012. ISSN 0370-3908.

Known results on orthogonal systems and permutation polynomials vectors over finite fields are extended to modular algebras of the form $L_\nu = K[X]/(p(X)^\nu)$, where K is a finite field, $p(X) \in K[X]$ is an irreducible polynomial, $\nu = 1, 2, \dots$, and to the algebra of formal power series $L[[Z]]$, where $L_1 = K[X]/(p(X)) = L$.

Key words: Permutation polynomial, orthogonal systems, permutation polynomial vectors.

Resumen

Resultados sobre sistemas ortogonales y vectores de polinomios de permutación se extienden a las álgebras modulares de la forma $L_\nu = K[X]/(p(X)^\nu)$, donde K es un cuerpo finito, $p(X) \in K[X]$ un polinomio irreducible, $\nu = 1, 2, \dots$ y al álgebra de las series potenciales formales $L[[Z]]$, donde $L_1 = K[X]/(p(X)) = L$.

Palabras clave: Polinomio de permutación, sistemas ortogonales, vectores de polinomios de permutación.

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Email: paacostas@udistrital.edu.co

**Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Email: valbis@accefyn.org.co

AMS Classification 2010: 13B25, 13F25, 11T55.

1. Introduction.

Let K be a finite field, $K[X]$ its ring of polynomials and $p(X) \in K[X]$ an irreducible monic polynomial. It is known that $L = K[X]/(p(X))$ is a finite field and that $L_\nu = K[X]/(p(X)^\nu)$, $\nu = 1, 2, \dots$, are L -algebras (see infra for details). In previous papers ([1] and [2]) the authors obtained results about permutation polynomial over the L -algebras $L[[Z]]$ (formal series over L) and L_ν , analogous to some known results over finite fields, Galois rings $GR(p^m, k)$ and the rings $\mathbb{Z}/p^n\mathbb{Z}$ (see, for example, [5], [7], [8], [10], [13] and [14]). Permutation polynomial, find applications currently in cryptography and coding theory (see [4] for more references).

In this paper we deal with systems of polynomials in $L[[Z]]$ and L_ν , obtaining results than in some cases lead to construct new permutation polynomials. The systems we are interested in are know as orthogonal systems and permutation polynomial vectors. These systems has been studied by NIEDERREITER in [6] when the coefficients of the polynomials are in finite fields. Moreover, WEI & ZHANG in [12] and SHIUE, SUN & ZHANG in [8] extended some of these results to certain finite rings.

2. Preliminaries.

In this section we recall some properties of L_ν and $L[[Z]]$ needed for the best understanding of what follows (see [3], [9]). Here the elements of L_ν will be denoted by $\alpha(z_\nu) = \alpha_0 + \alpha_1 z_\nu + \alpha_2 z_\nu^2 + \dots + \alpha_{\nu-1} z_\nu^{\nu-1}$, ($\nu = 2, \dots$) wher z_ν is the class of equivalence $p(X)$ modulo $p(X)^\nu$. The elements of L will simply be denote by α . It is known that

$$L[[Z]] = \left\{ \alpha(Z) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i Z^i; \alpha_i \in L \right\}$$

is a local ring with maximal ideal (Z) , and

$$(0) \subset \dots \subset (Z^\nu) \subset \dots \subset (Z^2) \subset (Z)$$

are the only ideals of $L[[Z]]$. Also, $L[[Z]]/(Z^\nu) \approx L_\nu$, and L_ν is a finite ring with q^ν elements, ($\nu = 1, 2, \dots$) when L has q elements. Thus $L[[Z]]$ is the projective limit of the projective system of L -algebras $(L_\mu, (\pi_{\nu,\mu})_{\nu \leq \mu})$, where

$$\begin{aligned} \pi_{\nu,\mu} : L_\mu &\longrightarrow L_\nu \\ \alpha(z_\mu) = \sum_{i=0}^{\mu-1} \alpha_i z_\mu^i &\xrightarrow{\pi_{\nu,\mu}} \alpha(z_\nu) = \sum_{i=0}^{\nu-1} \alpha_i z_\nu^i \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} \pi_\nu : L[[Z]] &\longrightarrow L_\nu \\ \alpha(Z) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i Z^i &\xrightarrow{\pi_\nu} \alpha(z_\nu) = \sum_{i=0}^{\nu-1} \alpha_i z_\nu^i. \end{aligned}$$

is the canonical projection.

If $f(t_1, \dots, t_n) \in L[[Z]]$, its *reduction* $f_\nu(t_1, \dots, t_n)$ modulo (Z^ν) is the polynomial in $L_\nu[t_1, \dots, t_n]$ whose coefficients are the classes modulo (Z^ν) of the coefficients of $f(t_1, \dots, t_n)$. Clearly, if $\nu \leq \mu$, $\pi_{\nu,\mu}(f_\mu(t_1, \dots, t_n)) = f_\nu(t_1, \dots, t_n)$.

If

$$\tau_\mu = \left(\sum_{i=0}^{\mu-1} \tau_{1,i} z_\mu^i, \dots, \sum_{i=0}^{\mu-1} \tau_{n,i} z_\mu^i \right) \in L_\mu^n$$

is a zero of $f_\mu(t_1, \dots, t_n)$ and $\nu \leq \mu$, we say that τ_μ is a *descendant* of τ_ν if $\pi_{\nu,\mu}(\tau_\mu) = \tau_\nu$; obviously, if that is the case, $f_\nu(\tau_\nu) = 0$, and we also say that τ_ν is an *ascendant* of τ_μ . Moreover, if $\tau_\nu \in L_\nu^n$ is a zero of $f_\nu(t_1, \dots, t_n)$, then in L_μ^n , $\nu \leq \mu$, τ_ν has at most $q^{\mu(\mu-\nu)}$ descendants, if any.

A zero $\tau_\nu \in L_\nu^n$ of $f_\nu(t_1, \dots, t_n)$ is said to be *non-singular* if

$$\frac{\partial f_1(\pi_{1,\nu}(\tau_\nu))}{\partial t_j} = \frac{\partial f_1(\tau_{1,0}, \dots, \tau_{n,0})}{\partial t_j} \neq 0$$

for some $j = 1, \dots, n$. Otherwise τ_ν is called a *singular zero*. It is clear that any descendant (resp. ascendant) of a non-singular zero is a non-singular zero.

3. Orthogonal systems and permutation polynomial vectors.

In this section we introduce definitions and some results on the systems we are interested in. For a given commutative ring R , and $R[t_1, \dots, t_n]$, and \mathfrak{a} an ideal of R , W. NÖBAUER [7] introduces the notion of *permutation polynomial* modulo \mathfrak{a} and also the notion of *regular polynomial* if R/\mathfrak{a} is a finite set. In [1] we proved that a permutation polynomial modulo (Z^ν) is also a regular polynomial in $L[[Z]]/(Z^\nu)$. More precisely, we prove that $f(t_1, \dots, t_n) \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ induces a *permutation polynomial over L_ν* if, and only if, the equation $f_\nu(t_1, \dots, t_n) = \alpha(z_\nu)$ has exactly $q^{\nu(n-1)}$ solutions for each $\alpha(z_\nu) \in L_\nu$.

Accordingly to ZHANG ([11], [12]) this means that the polynomial $f(t_1, \dots, t_n) \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ induces

a permutation polynomial over L_ν if, and only if, $f_\nu(t_1, \dots, t_n)$ is a uniform map.

The system $f_1(t_1, \dots, t_n), \dots, f_k(t_1, \dots, t_n)$ of polynomials in $L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$, $k \leq n$, is said to be an *orthogonal system* over L_ν if the map $L_\nu^n \rightarrow L_\nu^k$ given by $(f_{\nu,1}(\alpha_1(z_\nu), \dots, \alpha_n(z_\nu)), \dots, f_{\nu,k}(\alpha_1(z_\nu), \dots, \alpha_n(z_\nu)))$ for $(\alpha_1(z_\nu), \dots, \alpha_n(z_\nu)) \in L_\nu^n$ is a uniform map over L_ν , i.e., if the system of equations

$$\begin{aligned} f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_1(z_\nu) \\ f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_2(z_\nu) \\ &\vdots \\ f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_k(z_\nu) \end{aligned} \quad (1)$$

has $q^{\nu(n-k)}$ solutions in L_ν^n , where $f_{\nu,j}$ is the reduction of f_j in $L_\nu[t_1, \dots, t_n]$. If $n = k$, the system is called *permutation polynomial vector (PPV)* over L_ν .

Is clear that when $k = 1$, an orthogonal system is a permutation polynomial.

Proposition 3.1. *Let $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$. If f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L_ν then it is an orthogonal system over $L_{\nu-1}$. In particular, it is an orthogonal system over L .*

Proof. Let $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ be an orthogonal system over L_ν . Then the system

$$\begin{aligned} f_{\nu-1,1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_1(z_{\nu-1}) \\ f_{\nu-1,2}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_2(z_{\nu-1}) \\ &\vdots \\ f_{\nu-1,k}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_k(z_{\nu-1}). \end{aligned} \quad (2)$$

has solutions $\beta(z_{\nu-1}) = (\beta_1(z_{\nu-1}), \dots, \beta_n(z_{\nu-1}))$ in $L_{\nu-1}^n$. Let N be the number of these solutions. Each of them has q^n descendants. On the other hand, from (2) we see that there are q^k systems of the form

$$\begin{aligned} f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_1(z_\nu) \\ f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_2(z_\nu) \\ &\vdots \\ f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_k(z_\nu) \end{aligned} \quad (3)$$

each of which has, by hypothesis, $q^{\nu(n-k)}$ different solutions, i.e., taken altogether all the above q^k systems will have $q^{\nu(n-k)}q^k$ different solutions. Since each solution descends from $\beta(z_{\nu-1})$, then

$$q^{\nu(n-k)}q^k = Nq^n$$

therefore, $N = q^{(\nu-1)(n-k)}$. So, f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over $L_{\nu-1}$. \square

Corollary 3.1. *Let $f_1, \dots, f_n \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ be a permutation polynomial vector over L_ν , then f_1, \dots, f_n is a permutation polynomial vector over $L_{\nu-1}$. In particular is a permutation polynomial vector over L .* \square

Proposition 3.2. *Let $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ be an orthogonal system over $L_1 = L$, and such that the zeroes of $f_{1,i}(t_1, \dots, t_n) - \alpha_i$ are nonsingular for all $\alpha_i \in L$. Then f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L_ν ($\nu = 1, 2, \dots$).*

Proof. Let N be the number of solutions of (1), where $\alpha_i(z_\nu) = \alpha_{i,0} + \alpha_{i,1}z_\nu + \dots + \alpha_{i,\nu-1}z_\nu^{\nu-1}$. We obtain the system

$$\begin{aligned} f_{1,1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_{1,0} \\ f_{1,2}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_{2,0} \\ &\vdots \\ f_{1,k}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_{k,0} \end{aligned} \quad (4)$$

which has q^{n-k} solutions. Since the zeroes of $f_{1,i}(t_1, \dots, t_n) - \alpha_{i,0}$, $i = 1, 2, \dots, k$ are non singular, each of the polynomials in (3) has exactly $q^{(\nu-1)(n-1)}$ descendants in L_ν ([1, lem. 2.2]). All of them are not different, since otherwise each zero of (4) would have $kq^{n(\nu-1)}$ descendants and since each element of L can be viewed in $q^{n(\nu-1)}$ ways in L_ν , then for $k > 1$, a zero of (4) would have more than $q^{n(\nu-1)}$ ways to be viewed in L_ν . On the other hand, if $k = 1$ then the proposition is true by proposition 3.1 in [1]. Now, if these descendants were the same for each polynomial in (4), then (3) would have $q^{n-k}q^{(\nu-1)(n-1)}$ different solutions. Then the system would have

$$\begin{aligned} q^{k\nu}q^{(n-k)}q^{(\nu-1)(n-1)} &= q^{k\nu+n-k+n\nu-\nu-n+1} \\ &= q^{n\nu}q^{(\nu-1)(k-1)} > q^{n\nu} \end{aligned}$$

different solutions, thus for $\nu > 1$, $k > 1$. But this contradicts, the cardinality of L_ν^n .

Therefore, the number of descendants, let us say D , contributed, by each polynomial in the system (4) to the solutions of system (3) is such that

$$q^{(n-k)}Dq^{\nu k} = q^{n\nu}.$$

Thus, $D = q^{(\nu-1)(n-k)}$, and the total number of solutions of (3) is $q^{(n-k)}q^{(\nu-1)(n-k)} = q^{\nu(n-k)}$, i.e.,

$f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ is an orthogonal system over L_ν . \square

Corollary 3.2. Let $f_1, \dots, f_n \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ be a PPV over L such that the zeroes of $f_{1,i}(t_1, \dots, t_n) - \alpha_i$ are nonsingular for all $\alpha_i \in L$. Then f_1, \dots, f_n is a PPV over L_ν . \square

The following propositions are extensions to $L[[Z]]$ of results known in finite fields, see [6].

Proposition 3.3. Let $\nu > 1$ be, $f \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ and $n \geq 2$. Let $f_2, \dots, f_n \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ be polynomials such that f, f_2, \dots, f_n is a PPV over L_ν then, $f_{(\nu)}$, the projection of f in $L_\nu[t_1, \dots, t_n]$, is a permutation polynomial.

Proof. If f, f_2, \dots, f_n is a PPV over L_ν then, for all $(\alpha_1(z_\nu), \dots, \alpha_n(z_\nu)) \in L_\nu^n$, the system

$$\begin{aligned} f_{(\nu)}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_1(z_\nu) \\ f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_2(z_\nu) \\ &\vdots \\ f_{\nu,n}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_n(z_\nu) \end{aligned} \tag{5}$$

has a unique solution. Therefore the equation $f_{(\nu)}(t_1, \dots, t_n) = \alpha_1(z_\nu)$ has at least one solution in L_ν . Let $(\alpha_1'(z_\nu), \alpha_2'(z_\nu), \dots, \alpha_n'(z_\nu)) \neq (\alpha_1(z_\nu), \dots, \alpha_n(z_\nu)) \in L_\nu^n$. The system

$$\begin{aligned} f_{(\nu)}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_1(z_\nu) \\ f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_2'(z_\nu) \\ &\vdots \\ f_{\nu,n}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_n'(z_\nu) \end{aligned} \tag{6}$$

has again a unique solution, different to the solution of (5), because, otherwise, $(\alpha_1(z_\nu), \alpha_2'(z_\nu), \dots, \alpha_n'(z_\nu)) = (\alpha_1(z_\nu), \dots, \alpha_n(z_\nu))$. But this can be done in $q^{\nu(n-1)}$ ways, i.e., for $\alpha_1(z_\nu) \in L_\nu$, $f_{(\nu)}(t_1, \dots, t_n) = \alpha_1(z_\nu)$ has at least $q^{\nu(n-1)}$ solutions. If there is one more solution, say $(\beta_1(z_\nu), \dots, \beta_n(z_\nu))$, we can construct the system

$$\begin{aligned} f_{(\nu)}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_1(z_\nu) \\ f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \theta_2(z_\nu) \\ &\vdots \\ f_{\nu,n}(t_1, \dots, t_n) &= \theta_n(z_\nu) \end{aligned} \tag{7}$$

where

$$\begin{aligned} f_{\nu,2}(\beta_1(z_\nu), \dots, \beta_n(z_\nu)) &= \theta_2(z_\nu), \\ &\vdots \\ f_{\nu,n}(\beta_1(z_\nu), \dots, \beta_n(z_\nu)) &= \theta_n(z_\nu), \end{aligned}$$

system that necessarily is one of previous systems (6). Therefore $f_{(\nu)}(t_1, \dots, t_n) = \alpha_1(z_\nu)$ has exactly $q^{\nu(n-1)}$ solutions, thus $f_{(\nu)}(t_1, \dots, t_n)$ is a permutation polynomial. \square

Corollary 3.3. Every polynomial in a PPV is a permutation polynomial. \square

Proposition 3.4. Let $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$, $1 \leq k \leq n$ be an orthogonal system over L_ν and $\beta_1(z_\nu), \dots, \beta_k(z_\nu) \in L_\nu$ and at least one them a unit. Then the polynomial

$$\beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_k(z_\nu)f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n)$$

is a permutation polynomial over L_ν .

Proof. Let be $\lambda(z_\nu) \in L_\nu$. We see that the number of solutions of

$$\begin{aligned} \beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots \\ + \beta_k(z_\nu)f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) &= \lambda(z_\nu) \end{aligned}$$

is $q^{\nu(n-k)}$. By hypothesis, the system,

$$\begin{aligned} f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_1(z_\nu) \\ f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_2(z_\nu) \\ &\vdots \\ f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_k(z_\nu) \end{aligned} \tag{8}$$

has $q^{\nu(n-k)}$ solutions, thus

$$\begin{aligned} \beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) &= \beta_1(z_\nu)\alpha_1(z_\nu) \\ \beta_2(z_\nu)f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \beta_2(z_\nu)\alpha_2(z_\nu) \\ &\vdots \\ \beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots \\ + \beta_k(z_\nu)f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) &= \beta_1(z_\nu)\alpha_1(z_\nu) + \\ &\dots + \beta_k(z_\nu)\alpha_k(z_\nu) \end{aligned} \tag{9}$$

is equivalent to (8). Since $\beta_i(z_\nu)$ for some $i = 1, \dots, k$ is a unit, then (9) has $q^{\nu(n-k)}$ solutions, i.e.,

$$\begin{aligned} \beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_k(z_\nu)f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) \\ = \beta_1(z_\nu)\alpha_1(z_\nu) + \dots + \beta_k(z_\nu)\alpha_k(z_\nu) \end{aligned}$$

has at least $q^{\nu(n-k)}$ solutions. Now, the polynomial $g(t_1, \dots, t_n) = \beta_1(z_\nu)t_1 + \dots + \beta_k(z_\nu)t_k$ is a permutation polynomial, and for $\lambda(z_\nu)$ in L_ν , the equation $\beta_1(z_\nu)t_1 + \dots + \beta_k(z_\nu)t_k = \lambda(z_\nu)$ has $q^{\nu(k-1)}$ solutions. So, the equation

$$\beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_k(z_\nu)f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) = \lambda(z_\nu)$$

has $q^{\nu(n-k)}q^{\nu(k-1)} = q^{\nu(n-1)}$ solutions. \square .

Corollary 3.4. *Every polynomial in an orthogonal system is a permutation polynomial.* \square

Proposition 3.5. *If*

$$\beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_k(z_\nu)f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n),$$

$1 \leq k \leq n$, is a permutation polynomial over L_ν and the zeroes of $f_{\nu,i}(t_1, \dots, t_n) - \alpha(z_\nu)$, $i = 1, \dots, k$ are non singular for all $\alpha(z_\nu) \in L_\nu$ and $\beta_1(z_\nu), \dots, \beta_k(z_\nu) \in L_\nu$, where at least one them is a unit, then $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ is an orthogonal system over L_ν .

Proof. If

$$\beta_1(z_\nu)f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_k(z_\nu)f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n)$$

is a permutation polynomial then $\beta_{1,0}f_{1,1}(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_{k,0}f_{1,k}(t_1, \dots, t_n)$ is also a permutation polynomial ([1, lem. 3.3]). By hypothesis, the zeroes of $f_{\nu,i}(t_1, \dots, t_n) - \alpha(z_\nu)$ are non singular; then by the corollary to theorem 2 in [6], the system f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L and by proposition 3.2 f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L_ν . \square

Proposition 3.6. *Let $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$. If f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L_ν then for all permutation polynomial $g(y_1, \dots, y_k) \in L[[Z]][y_1, \dots, y_k]$ over L_ν , the polynomial*

$$g_\nu(f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n), \dots, f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n))$$

is a permutation polynomial.

Proof. Let be $\alpha(z_\nu) \in L_\nu$. Since g is a permutation polynomial, $g_\nu(y_1, \dots, y_k) = \alpha(z_\nu)$ has $q^{\nu(k-1)}$ solutions $(\beta_1(z_\nu), \dots, \beta_k(z_\nu))$ in L_ν and the system

$$\begin{aligned} f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n) &= \beta_1(z_\nu) \\ f_{\nu,2}(t_1, \dots, t_n) &= \beta_2(z_\nu) \\ &\vdots \\ f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n) &= \beta_k(z_\nu) \end{aligned}$$

has $q^{\nu(n-k)}$ solutions. But f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L_ν and, therefore,

$$g_\nu(f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n), \dots, f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n)) = \alpha(z_\nu)$$

has $q^{\nu(k-1)}q^{\nu(n-k)} = q^{\nu(n-1)}$ solutions, i.e.,

$$g_\nu(f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n), \dots, f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n))$$

is a permutation polynomial over L_ν . \square

Proposition 3.7. *Let $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$. If*

$$g_\nu(f_{\nu,1}(t_1, \dots, t_n), \dots, f_{\nu,k}(t_1, \dots, t_n))$$

is a permutation polynomial over L_ν for all permutation polynomial over L_ν , $g(y_1, \dots, y_k) \in L[[Z]][y_1, \dots, y_k]$, and the zeroes of $f_{\nu,i}(t_1, \dots, t_n) - \alpha_\nu(z_\nu)$ are non singular for all $\alpha_\nu(z_\nu) \in L_\nu$ and $i = 1, \dots, k$ then f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L_ν .

Proof. Since $g_\nu(f_1, \dots, f_k)$ is a permutation polynomial, for all permutation polynomial g_ν , in particular it is a permutation polynomial for $g(y_1, \dots, y_k) = \beta_1(Z)y_1 + \dots + \beta_k(Z)y_k$, where at least one $\beta_i(Z)$ is a unit. Then by proposition 3.5, the system f_1, \dots, f_k is an orthogonal system over L_ν . \square

Proposition 3.8. *Let $f_1, f_2, \dots, f_{n+1} \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ be a polynomials system. Then there exist coefficients $\beta_1(Z), \dots, \beta_{n+1}(Z) \in L[[Z]]$, where at least one of them is a unit, such that*

$$\beta_1(Z)f_1(t_1, \dots, t_n) + \beta_2(Z)f_2(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_{n+1}(Z)f_{n+1}(t_1, \dots, t_n)$$

is not a permutation polynomial.

Proof. Let $\beta_1(Z), \dots, \beta_{n+1}(Z) \in L[[Z]]$ where at least one of them is a unit. If the polynomial

$$\beta_1(Z)f_1(t_1, \dots, t_n) + \beta_2(Z)f_2(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_{n+1}(Z)f_{n+1}(t_1, \dots, t_n)$$

were a permutation polynomial, then the polynomial

$$\beta_{1,0}f_{1,1}(t_1, \dots, t_n) + \beta_{2,0}f_{1,2}(t_1, \dots, t_n) + \dots + \beta_{n+1,0}f_{1,n+1}(t_1, \dots, t_n)$$

is also a permutation polynomial with $(\beta_{1,0}, \dots, \beta_{n+1,0})$ different from $(0, \dots, 0)$. This contradicts [6, theor. 4]. \square

Proposition 3.9. *If $f_1, \dots, f_k \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ is an orthogonal system, then any of its nonempty subsystem is again an orthogonal system.*

Proof. If f_1, \dots, f_k is an orthogonal system then

$$\begin{aligned} f_{1,1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_{1,0} \\ &\vdots \\ f_{1,k}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_{k,0} \end{aligned} \quad (10)$$

has q^{n-k} solutions. The lemma is proved, without loss of generality, if the system

$$\begin{aligned} f_{1,1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_{1,0} \\ &\vdots \\ f_{1,k-1}(t_1, \dots, t_n) &= \alpha_{k-1,0} \end{aligned} \quad (11)$$

has $q^{n-(k-1)} = q^{n-k+1}$ solutions. Then, for all $(\alpha_{1,0}, \dots, \alpha_{k-1,0}) \in L^{k-1}$, the equation (11) has at least q^{n-k} solutions, the same as (10). If we take $(\alpha'_{1,0}, \dots, \alpha'_{k-1,0}, \alpha_{k,0}) \neq (\alpha_{1,0}, \dots, \alpha_{k,0})$, then again for this k -ple (10) has q^{n-k} solutions, which are different to the initial ones; therefore for each $\alpha_{k,0} \in L$, the equation (11) has q^{n-k} solutions more. In total (11) has $q^{n-k}q = q^{n-k+1}$ solutions. \square

Corollary 3.5. *If $f_1, \dots, f_n \in L[[Z]][t_1, \dots, t_n]$ is a PPV, then any of its nonempty subsystems is an orthogonal system.*

Proof. It is clear from Proposition 3.9 and the definition of PPV. \square

Acknowledgements

We wish to express our thanks to Yuguang Lu for his help in the reading and understanding of [8], [10] and [14].

References

- [1] **Acosta, S. P. A. & Albis, V. S.** *Characterization of multivariate permutation polynomials in positive characteristic*, Sao Paulo J. Math. Sci. **3** No. 1 (2009), 1–12.
- [2] **Acosta, S. P. A. & Albis, V. S.** *Permutation polynomials in one indeterminate over modular algebras*, Rev. Acad. Colomb. Cienc. **30** No. 117 (2006), 541–548. [MR:2334082].
- [3] **Albis, V. S. & Chaparro, R.** *On a conjecture of Borevich and Shafarevich*, Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21** (1997), 313–319. [MR: 98g:11130].
- [4] **Laigle-Chapuy, Y.** *Permutations polynomials and applications to coding theory.*, Finite Fields Appl. **13** (2007), 58–70.
- [5] **Niederreiter, H.** *Permutation polynomials in several variables over finite fields*, Proc. Japan Acad. **46** No. 9 (1970), 1001–1005. [MR: 44#5298].
- [6] **Niederreiter, H.** *Orthogonal systems of polynomials in finite fields*, Proc. Amer. Math. Soc. **28** (1971), 415–422. [MR:45#230].
- [7] **Nöbauer, Wilfried.** *Zur Theorie der Polynomtransformationen und Permutations polynome*, Math. Annalen **157** (1964), 332–342.
- [8] **Shiue, P. J. S; Sun, Q. & Zhang, Q.** *Multivariate permutation polynomials and orthogonal systems over residue class rings*, Chinese. Ann. Math. Ser. A. **17** No. 1 (1996), 43–46. [in Chinese] [MR: 97e:11152].
- [9] **Smits, T. H. .** *On the group of units of $GF(q)[X]/(a(X))$* . Indag. Math. **44** (1982), 355–358.
- [10] **Sun, Q.** *A note on permutation polynomials vectors over $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$* , Adv. Math. (China) **25** No. 1 (1996), 311–314. [In Chinese] [MR: 98h:11157].
- [11] **Zhang, Q.** *Polynomials functions and permutation polynomials over some finite commutative rings*, J. Number Theory **105** (2004), 192–202.
- [12] **Wei, Q. & Zhang, Q.** *On strong orthogonal systems and weak permutation polynomials over finite commutative rings*, Finite Fields Appl. **13** (2007), 113–120.
- [13] **Zhang, Q.** *On the polynomials in several indeterminates which can be extended to permutation polynomial vector over $\mathbb{Z}/p^l\mathbb{Z}$* , Adv. Math. **22** No. 5 (1993), 456–457.
- [14] **Zhang, Q.** *Permutation polynomials in several indeterminates over $\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$* , Chinese Ann. Math. Ser. A. **16** No. 2 (1995), 168–172. [In Chinese] [MR: 96g:11143].

Recibido: 5 de marzo de 2012

Aceptado para publicación: 19 de abril de 2012

ELEMENTARY ABELIAN p -EXTENSIONS AND CURVES WITH MANY POINTS

Álvaro Garzón R.^{*}, Arnoldo Teherán Herrera[§]

Abstract

Álvaro Garzón Rojas & Arnoldo Teherán Herrera: Elementary abelian p -extensions and curves with many points. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **36** (138): 243-252, 2012. ISSN 0370-3908.

In this paper we give a generalization of two results obtained by García and Stichtenoth ([G-S]) and use them to exhibit a method to construct curves over finite fields whose number of rational points is large compared to their genus. Such curves are induced by algebraic functions fields obtained from elementary abelian p -extensions of the rational function field $\mathbb{F}_q(x)$ using the trace operator $Tr_{\mathbb{F}_q/\mathbb{F}_p}$.

Key words: Finite Fields, Algebraic Curves, Algebraic Function Fields, Elementary Abelian p -Extensions, Rational Points.

Resumen

En este artículo generalizamos dos resultados obtenidos por García & Stichtenoth en ([G-S]) y usamos estas generalizaciones para construir curvas sobre cuerpos finitos cuyo número de puntos racionales es grande en comparación con su género. Tales curvas son obtenidas considerando p extensiones abelianas elementales del cuerpo de funciones racionales $\mathbb{F}_q(x)$ usando el operador traza $Tr_{\mathbb{F}_q/\mathbb{F}_p}$.

Palabras clave: Cuerpos finitos, curvas algebraicas, cuerpos algebraicos de funciones, p -extensiones abelianas elementales, puntos racionales.

^{*}Departamento de Matemáticas, Universidad del Valle, Apartado Aéreo 25360, Cali, Colombia E-mail: alvarogr@univalle.edu.co

[§]Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. E-mail: ateheran@gmail.com

AMS Classification 2000: 14G05.

1. Elementary Abelian p -Extensions

Throughout this note we denote by K a perfect field of characteristic $p > 0$, by F/K an algebraic function field with constant field K and by

$$\wp : u \mapsto u^p - u$$

the Artin-Schreier operator.

Definition 1.1. For a subset $A \subseteq F$ we denote by $F(\wp^{-1}A)$, the splitting field of all polynomials $T^p - T - a$, with $a \in A$. For $u \in F$ such that $u \notin \text{Im}(\wp)$, the extension $F' = F(y)$ with $\wp(y) = u$ is called an Artin-Schreier extension of F .

The following theorem provides a complete description of the Artin-Schreier extensions. Its proof depends essentially on the following lemma.

Lemma 1.2. (Hilbert’s Theorem 90) *Let F' be a finite extension of F whose Galois group G is cyclic generated by σ . Then $\beta \in F'$ has the form $\beta = \alpha - \sigma(\alpha)$, for some $\alpha \in F'$, if and only if $\text{Tr}_{F'/F}(\beta) = 0$.*

Proof: See [L-N] Theorem 2.25. ■

Theorem 1.3. *Let F be a field of characteristic $p > 0$. The polynomial*

$$\varphi(T) = T^p - T - u \in F[T], \tag{1}$$

either splits completely over F or else, $\varphi(T)$ is irreducible over F . Moreover the following assertions are equivalent:

- (1) F'/F is a cyclic extension of degree p .
- (2) $F' = F(y)$, whose minimal polynomial over F is $\varphi(T)$, where $\varphi(T)$ is defined as (1), for some $u \in F$.
- (3) F' is the splitting field of an irreducible polynomial of the form (1), for some $u \in F$.

Proof: Suppose that $\varphi(y) = 0$, then for $t \in \mathbb{F}_p \subset F$ we have $\varphi(y+t) = 0$ and since $\varphi(T)$ is a separable polynomial of degree p , it follows that $y, y+1, y+2, \dots, y+(p-1)$ are all its roots.

Now, it is clear that, if $y \in F$, then F is the splitting field of $\varphi(T)$.

It remains to consider the case $y \notin F$. Let $F' = F(y)$. To prove that $\varphi(T)$ is irreducible over F it is enough to prove that $[F' : F] = p$, that is to say, that $\varphi(T)$ is the

minimal polynomial of y over F (which, from now on, we will denote by $\min(y, F)$).

Since F' is the splitting field of the polynomial $\varphi(T)$, we have that F'/F is a Galois extension, therefore, it is sufficient to show that $|\text{Gal}(F'/F)| = p$.

For this end, observe that since each $\sigma \in \text{Gal}(F'/F)$ is completely determined by its action on y and σ permutes all the roots of $\varphi(T)$, then $\sigma(y) = y + t$ for some $t \in \{0, 1, \dots, p-1\}$, hence, $|\text{Gal}(F'/F)| = p$.

Now we will to prove the equivalences:

(1 \implies 2) Suppose that F'/F is a cyclic extension of degree p and let $\sigma \in \text{Gal}(F'/F)$ be such that $\text{Gal}(F'/F) = \{id, \sigma, \sigma^2, \dots, \sigma^{p-1}\}$. Since $\text{Tr}_{F'/F}(-1) = -p = 0$, then by Lemma 1.2, there exist $y \in F'$ such that $y - \sigma(y) = -1$. Moreover, since $y - \sigma(y) \neq 0$ and $\sigma \in \text{Gal}(F'/F)$ then $y \in F' - F$.

On the other hand, observe that $(\sigma(y) - y)^p = (1)^p = 1 = \sigma(y) - y$. That is to say, $\sigma(y^p - y) = y^p - y$, then $y^p - y \in F$, therefore, there exist $u \in F$ such that $y^p - y = u$ and consequently y satisfies the polynomial $\varphi(T) = T^p - T - u \in F[T]$.

Now, since

$$p = [F' : F] = [F' : F(y)][F(y) : F] \tag{2}$$

and $y \notin F$ then $[F(y) : F] > 1$. Thus $[F(y) : F] = p$ and (2) ensures that $[F' : F(y)] = 1$, which is the same as, $F' = F(y)$. Therefore $\varphi(T) = \min(y, F)$.

(2 \implies 3) If $F' = F(y)$, with $T^p - T - u = \min(y, F)$, we have that F' is the splitting field of $\min(y, F)$.

(3 \implies 1) Assume that F' is the splitting field of an irreducible polynomial of the form $\varphi(T) = T^p - T - u$, for some $u \in F$. Again by similar arguments as above we obtain that $|\text{Gal}(F'/F)| = p$, which means that F'/F is cyclic of degree p . ■

Definition 1.4. An extension E/F is said to be an Elementary Abelian p -Extension of exponent p and degree p^n if E/F is Galois with $\text{Gal}(E/F) \cong (\mathbb{F}_p)^n$

The following Theorem states a relationship between the additive subgroups of F and the elementary abelian p -extensions. To this end, we first need to establish a result.

Theorem 1.5. *Let F be a field of characteristic $p > 0$. There exist a one to one correspondence between the*

additive subgroups U of F containing $\wp F$ which have finite index $(U : \wp F)$, and the elementary abelian p -extensions. This correspondence is given by

$$\Psi : U \longmapsto F(\wp^{-1}U).$$

In such case

$$[F(\wp^{-1}U) : F] = (U : \wp F).$$

The inverse map of Ψ is given by

$$\Psi^{-1} : L \longmapsto L \cap \wp L.$$

Proof: See [La] page 263. ■

Remark 1.6. Observe that, regarding abelian p -torsion groups as vector spaces over \mathbb{F}_p we can as well define \wp^* as the map (induced by \wp^{-1}) that takes finite-dimensional vector subspaces \tilde{U} (over \mathbb{F}_p) of the quotient space $F/\wp F$ to finite dimensional subspaces \tilde{V} of the \mathbb{F}_p vector space $\wp^{-1}F/F$ (where $\wp^{-1}F$ is the inverse image under \wp in some fixed separable closure F^{sep}). That is to say

$$\wp^*(\tilde{U}) := \{x + F \in \wp^{-1}F/F \text{ such that } x^p - x \in U\}.$$

Finally if instead of Ψ we consider the map

$$\tilde{\Psi} : \tilde{U} \longmapsto F(\wp^*\tilde{U}) = F(\wp^{-1}U),$$

one can see that, one such n -dimensional subspace $U \subset F/\wp F$ corresponds, in the notation of Theorem 1.5 to a subgroup $U \subset F$ with $U \cap \wp F = 0$ that is a “section” of \tilde{U} in the sense that $\tilde{U} = (U + \wp F)/F$. Therefore, if U and U' are subgroups of F such that:

$$|U| = p^n = |U'| \text{ and } U \cap \wp F = \{0\} = U' \cap \wp F \quad (3)$$

then, the following sentences are equivalent.

- (1) $F(\wp^{-1}U) = F(\wp^{-1}U')$.
- (2) $U + \wp F = U' + \wp F$.
- (3) $U' \subseteq U + \wp F$ and $U \subseteq U' + \wp F$.

(Observe that $F(\wp^{-1}U) = F(\wp^{-1}U')$ exactly when $\tilde{U} = \tilde{U}'$ (more accurately, when $(U + \wp F)/\wp F$ and $(U' + \wp F)/\wp F$ are the same subspace of $F/\wp F$.) More-over, if $u, u' \in U - \{0\}$, then

$$F(\wp^{-1}u) = F(\wp^{-1}u') \Leftrightarrow u' = \lambda \cdot u, \text{ for some } \lambda \in \mathbb{F}_p^*. \quad (4)$$

Theorem 1.7. Let U be an additive subgroup of F such that

$$|U| = p^n \text{ and } U \cap \wp F = \{0\}.$$

Then, the extension $E = F(\wp^{-1}U)$ is an elementary abelian p -extension of F of exponent p .

Proof: First observe that since E is the splitting field of the set of polynomials $\{T^p - T - u : u \in U\}$, then the extension E/F is a Galois extension. On the other hand, since U is an additive subgroup of F and $\text{char}(F) = p$, then there exists $u_1, u_2, \dots, u_n \in U$ nonzero elements such that

$$U = \bigoplus_{i=1}^n \langle u_i \rangle = \bigoplus_{i=1}^n \mathbb{F}_p u_i. \quad (5)$$

We can find $y_i \in E$ ($1 \leq i \leq n$), such that $y_i^p - y_i = u_i$. Now, by Theorem 1.3 we have that

$$F(\wp^{-1}u_i) = F(y_i), \quad (6)$$

and since $F(\wp^{-1}\lambda u_i) = F(\wp^{-1}\lambda u_i)$ for each $\lambda \in \mathbb{F}_p^*$ (Remark 1.6), we obtain

$$E = F(y_1, y_2, \dots, y_n). \quad (7)$$

Now, since y_i is a root of $\varphi_i(T) = T^p - T - u_i$, then the extension E/F is finite. In order to prove that $[E : F] = p^n$, first observe that,

$$F(\wp^{-1}(U + \wp F)) = F(\wp^{-1}U) \quad (8)$$

$$= E. \quad (9)$$

Since $[F(\wp^{-1}(U + \wp F)) : F] = [E : F] < \infty$, by Theorem 1.5 we obtain

$$(U + \wp F : \wp F) < \infty, \quad (10)$$

as well as

$$[E : F] = (U + \wp F : \wp F) = |(U + \wp F)/\wp F|. \quad (11)$$

But

$$(U + \wp F)/\wp F = \{y + \wp F : y \in (U + \wp F)\} \quad (12)$$

$$= \{w^p - w + u + \wp F : w \in F, u \in U\} \quad (13)$$

$$= \{u + \wp F : u \in U\}. \quad (14)$$

So, for $a, b \in U$, since $U \cap \wp F = \{0\}$ then

$$a + \wp F = b + \wp F \Leftrightarrow a - b \in \wp F \Leftrightarrow a = b, \quad (15)$$

consequently, $[E : F] = p^n$. Next we prove that $\text{Gal}(E/F) \cong (\mathbb{F}_p)^n$: For $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ we define $\sigma_i : E \rightarrow E$ as follows,

$$\sigma_i = \begin{cases} \sigma_i(w) = w & \text{if } w \in F \\ \sigma_i(y_j) = y_j + 1 & \text{if } i = j \\ \sigma_i(y_j) = y_j & \text{if } i \neq j. \end{cases} \quad (16)$$

Observe that σ_i is the identity on

$$F_i := F(y_1, \dots, y_{i-1}, y_{i+1}, \dots, y_n),$$

therefore by Theorem 1.3, the polynomial $\varphi_i(T) = T^p - T - u_i$ is irreducible over F_i (otherwise $y_i \in F_i$ and $[E : F] \leq p^{n-1}$ which is a contradiction) hence the σ_i are actually well defined. Now it is clear that each $\sigma_i \in \text{Gal}(E/F)$ and $\langle \sigma_i \rangle \cong \mathbb{F}_p$, also

- (1) $\sigma_i = \sigma_j$ if and only if $i = j$.
- (2) If $\sigma_i = \sigma_j^m$ then, $i = j$ and $m \equiv 1 \pmod{p}$.

In fact, if $\sigma_i = \sigma_j^m$ then,

$$y_i + 1 = \sigma_i(y_i) = \sigma_j^m(y_i) = \begin{cases} y_i + m & \text{if } i = j \\ y_i & \text{if } i \neq j, \end{cases} \quad (17)$$

it follows that $i = j$ and $m \equiv 1 \pmod{p}$. Therefore

$$\text{Gal}(E/F) = \prod_{i=1}^n \langle \sigma_i \rangle \cong (\mathbb{F}_p)^n. \quad \blacksquare$$

The converse of the Theorem 1.7 also holds. To prove it, we need the following lemma.

Lemma 1.8. *Suppose that L/M is a finite Galois extension with Galois Group of the form*

$$G = \text{Gal}(E/F) = G_1 \times G_2 \times \dots \times G_n. \quad (18)$$

If

$$H_i = G_1 \times \dots \times G_{i-1} \times \{\iota\} \times G_{i+1} \times \dots \times G_n \quad (19)$$

where $\{\iota\}$ is the i -th coordinate and

$$L_i = M(H_i) = \{\alpha \in L : \sigma(\alpha) = \alpha, \forall \sigma \in H_i\}$$

then

- (1) L_i/M is a Galois extension with Galois group $\text{Gal}(L_i/M) \cong G_i$.
- (2) $L = L_1 L_2 \dots L_n = \prod_{i=1}^n L_i$.
- (3) For each $i \in \{1, 2, \dots, n\} : L_i \cap (L_{i+1} \dots L_n) = F$.

Proof: See [Ro] Corollary 5.5.4. \blacksquare

Theorem 1.9. *If E/F is an elementary abelian p -extension of F of degree p^n , then*

$$E = F(\wp^{-1}U), \quad (20)$$

for some additive subgroup U of F which satisfies (3).

Proof: Since E/F is an elementary abelian extension of degree p^n , then

$$G = \text{Gal}(E/F) \cong (\mathbb{F}_p)^n, \quad (21)$$

thus, $G = G_1 \times \dots \times G_n$, where each G_i has order p . Let us define for $j \in \{1, 2, \dots, n\}$ H_j and E_j , be as in the Lemma 1.8. Then by 1.8 (a)

$$[E_j : F] = |\text{Gal}(E_j/F)| = |G_j| = p, \quad (22)$$

consequently, by Theorem 1.3, there exist $u_j \in F \setminus \text{Im}(\wp)$ such that $E_j = F(y_j)$ for some $y_j \in E_j$ with $y_j^p - y_j = u_j \in F$, which amounts to, $\langle u_j \rangle \cap \wp F = \{0\}$. Observe that $F(y_1, y_2, \dots, y_n) \subseteq E$ and since $E_j = F(y_j) \subseteq F(y_1, y_2, \dots, y_n)$, from Lemma 1.8 (b), $E = \prod_{j=1}^n E_j \subseteq F(y_1, y_2, \dots, y_n)$, and therefore

$$E = F(y_1, y_2, \dots, y_n) = F(\wp^{-1}(\{u_1, \dots, u_n\})). \quad (23)$$

We now claim that u_1, \dots, u_n are linearly independent over \mathbb{F}_p . In fact suppose there is a non-trivial linear combination $\sum_{i=1}^n \alpha_i u_i = 0$ with $\alpha_1, \dots, \alpha_n \in \mathbb{F}_p$, then

$$\begin{aligned} 0 &= \sum_{i=1}^n \alpha_i u_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i (y_i^p - y_i) \\ &= \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i \right)^p - \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i, \end{aligned}$$

hence $x := \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i \in \mathbb{F}_p \subset E_i$. Now if we assume that $\alpha_1 \neq 0$, then $y_1 = 1/\alpha_1(x - \sum_{i=2}^n \alpha_i y_i)$ and since, for $j = 2, \dots, n$, we have that $y_j \in E_j \subseteq E_2 E_3 \dots E_n$, then $y_1 \in E_2 E_3 \dots E_n$. On the other hand by Lemma 1.8, $y_1 \in E_1 \cap (E_2 E_3 \dots E_n) = F$, consequently $E_1 = F(y_1) = F$, which is a contradiction since $[E_1 : F] = p > 1$. Therefore, $\alpha_1 = 0$. Similar arguments will lead us to prove that $\alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$. Let U be the subgroup generated by u_1, u_2, \dots, u_n . Then by (23), $E = F(\wp^{-1}U)$ therefore only remains to prove that $U \cap \wp F = \{0\}$. In fact, if $x \in U \cap \wp F$, then $x = y^p - y = \sum_{i=1}^n \lambda_i u_i$, with $y \in F$ and each $\lambda_i \in \mathbb{F}_p$. Therefore it is enough to prove that $\lambda_1 = 0$. For this end, observe that

$$\begin{aligned} y^p - y &= \sum_{i=1}^n \lambda_i u_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i (y_i^p - y_i) \\ &= \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i y_i \right)^p - \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i, \end{aligned} \quad (24)$$

therefore $z = \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i - y \in \mathbb{F}_p$, so if $\lambda_1 \neq 0$, we have that

$$y_1 = \frac{1}{\lambda_1} \left(z + y - \sum_{i=2}^n \lambda_i y_i \right) \in E_1 \cap (E_2 E_3 \dots E_n) = F, \quad (25)$$

which is a contradiction. \blacksquare

Theorem 1.10. *Let U be an additive subgroup of F such that*

$$|U| = p^n \quad \text{and} \quad U \cap \wp F = \{0\}.$$

If $E = F(\wp^{-1}U)$, then there exist $t = (p^n - 1)/(p - 1)$ intermediate fields $F \subseteq E_i \subseteq E$ such that $[E_i : F] = p$, where $E_i = F(\wp^{-1}u)$ with $u \in U - \{0\}$.

Proof: If $u \in U - \{0\}$, then $F(\wp^{-1}u) = F(y)$ with $y^p - y = u$ and by Theorem 1.3, $[F(\wp^{-1}u) : F]$ is either 1 or p . But if $[F(\wp^{-1}u) : F] = 1$, then $F = F(y)$ therefore $u = y^p - y \in U \cap \wp F = \{0\}$ which is a contradiction with the choice of u , hence $[F(\wp^{-1}u) : F] = p$. On the other hand, if E_i is a subfield such that $F \subseteq E_i \subseteq F(\wp^{-1}U)$ and $[E_i : F] = p$, then by Theorem 1.3, E_i is the splitting field of one irreducible polynomial of the form $\varphi(T) = T^p - T - u$ for some $u \in F$. Now, since $E_i = F(\wp^{-1}u) \subseteq F(\wp^{-1}U)$, then by Remark 1.6 we have that $\langle u \rangle + \wp F \subseteq U + \wp F$, hence $u = u' + w^p - w$, for some $u' \in U$ and $w \in F$, from which $E_i = F(\wp^{-1}u) = F(\wp^{-1}u')$ for some $u' \in U$. In sum each subfield E_i such that $F \subseteq E_i \subseteq E$ and $[E_i : F] = p$ has the form $E_i = F(\wp^{-1}u)$ for some $u \in U - \{0\}$. Finally by Remark 1.6 we obtain the number of these subfields. \blacksquare

Theorem 1.11. *Let K be a field of characteristic $p > 0$ and F/K an algebraic function field of transcendence degree one over K , with constant field K and genus $g(F)$. Consider an elementary Abelian extension E/F of degree p^n such that K is also the constant field of E . Denote by E_1, \dots, E_t (with $t = (p^n - 1)/(p - 1)$) the intermediate fields $F \subseteq E_i \subseteq E$ with $[E_i : F] = p$, and by $g(E)$ (resp $g(E_i)$) the genus of E/K (resp E_i/K). Then*

$$g(E) = \sum_{j=1}^t g(E_j) - \frac{p}{p-1} (p^{n-1} - 1)g(F). \quad (26)$$

Proof: Let $G = \text{Gal}(E/F)$. For a subgroup $H \subseteq G$ consider the fixed field $E_H \subseteq E$ whose genus $g(E_H)$ is denoted by g_H and the trace idempotent ϵ_H :

$$\epsilon_H = \frac{1}{|H|} \sum_{\sigma \in H} \sigma \in \mathbb{Q}(G).$$

The idea of the proof is to construct a relationship of the kind

$$\sum_{H \subseteq G} r_H \cdot \epsilon_H = 0 \in \mathbb{Q}(G),$$

with $r_H \in \mathbb{Q}$, because in this case the genera would satisfy the same relation (see [Ka])

$$\sum_{H \subseteq G} r_H \cdot g(E_H) = 0.$$

First, observe that G has exactly t subgroups with order p^{n-1} . In fact, by one side, for $j \in \{1, \dots, t\}$ the Galois group H_j of the extension E_j/F , is one of such subgroups. On the other hand, if $H \subseteq G$ is a subgroup such that $|H| = p^{n-1}$, then since E/E_H is a Galois extension with $H = \text{Gal}(E/E_H)$, we have $[E : E_H] = |H| = p^{n-1}$, from which we get $[E_H : F] = p$ and $E_H = E_j$ for some $j \in \{1, \dots, t\}$ consequently,

$$H = \text{Gal}(E/E_H) = \text{Gal}(E/E_j) = H_j. \quad (27)$$

Now we shall show that any $\sigma \in G - \{id\}$ is contained in precisely t subgroups H_j . In fact, each H_j has the form

$$H_j = \bigoplus_{m=1}^{n-1} \langle \lambda_{jm} \rangle = \bigoplus_{m=1}^{n-1} \mathbb{F}_p \lambda_{jm}, \quad (28)$$

where each λ_{jm} has order p and the set $\{\lambda_{j1}, \dots, \lambda_{jn-1}\}$ is a basis of H_j over \mathbb{F}_p . Now, if $\sigma \in G - \{id\}$, then $\sigma \notin H_j$ if and only if $\sigma \notin \mathbb{F}_p \lambda_{jm}$ for $m = 1, \dots, n - 1$. That is to say, there exist p^{n-1} subgroups H_j such that $\sigma \notin H_j$. In other words σ is contained in precisely $t - p^{n-1} = (p^n - 1)/(p - 1) - p^{n-1}$ subgroups H_j of G , therefore

$$p^{n-1} \sum_{j=1}^t \epsilon_{H_j} = \sum_{j=1}^t \sum_{\sigma \in H_j} \sigma \quad (29)$$

$$= \sum_{j=1}^t id + \sum_{j=1}^t \sum_{\sigma \in H_j \setminus \{id\}} \sigma \quad (30)$$

$$= \frac{p^n - 1}{p - 1} \cdot id + \frac{p^{n-1} - 1}{p - 1} \sum_{\sigma \in G - \{id\}} \sigma. \quad (31)$$

But from $\epsilon_{H_0} = id$ and

$$\epsilon_G = \frac{1}{|G|} \sum_{\sigma \in G} \sigma = \frac{1}{p^n} \left(id + \sum_{\sigma \in G - \{id\}} \sigma \right), \quad (32)$$

it follows that, $\sum_{\sigma \in G - \{id\}} \sigma = p^n \cdot \epsilon_G - id$. Thus

$$p^{n-1} \sum_{j=1}^t \epsilon_{H_j} = \frac{p^n - 1}{p - 1} id + \frac{p^{n-1} - 1}{p - 1} (p^n \epsilon_G - id) \quad (33)$$

$$= p^{n-1} id + \frac{p^{n-1} - 1}{p - 1} p^n \epsilon_G, \quad (34)$$

and

$$\sum_{j=1}^t \epsilon_{H_j} = id + \frac{p}{p - 1} (p^{n-1} - 1) \cdot \epsilon_G, \quad (35)$$

which amounts to, we have the following relation in $\mathbb{Q}(G)$:

$$\epsilon_{H_0} - \left(\sum_{j=1}^t \epsilon_{H_j} - \frac{p}{p - 1} (p^{n-1} - 1) \cdot \epsilon_G \right) = 0. \quad (36)$$

The theorem now follows from Kani's result. ■

Observe that the intermediate extension E_j/F mentioned in Theorem 1.10 is an Artin-Schreier extension, whose genus, $g(E_j/K)$ can be computed by [[ST], III.7.8]. This takes us to determine explicitly such intermediate fields, which we will call Artin-Schreier intermediate subfields, for which we give the following results generalizing Propositions 1.1 and 1.2 in ([G-S]).

Before that, we should give a definition. We call a polynomial of the specific form

$$a(T) = a_n T^{p^n} + a_{n-1} T^{p^{n-1}} + \dots + a_1 T^p + a_0 T \in K[T]$$

(where $p = \text{char}(K)$) an *additive* polynomial over K . Observe that $a(T)$ is separable if and only if $a_0 \neq 0$.

Theorem 1.12. *Let $h(T) \in F[T]$ be a separable, monic, additive polynomial of degree p^n , with its roots in F . If E/F is an elementary abelian p -extension of degree p^n , then there exists an element $y \in E$ such that $E = F(y)$ whose minimal polynomial over F has the form*

$$\varphi(T) = h(T) - z \in F[T], \quad \text{with } z \in F. \quad (37)$$

Proof: Let us consider the set $W = \{\alpha : h(\alpha) = 0\} \subseteq F$, it is clear that W is a vectorial space over \mathbb{F}_p , moreover W is an additive finite subgroup of F . Now, since each cyclic subgroup of W has order 1 or p , then there exist nonzero elements $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n \in W$ such that

$$W = \bigoplus_{i=1}^n \langle \mu_i \rangle, \quad (38)$$

and, the set $\beta = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$ is a basis of W over \mathbb{F}_p . Now, from Lemma 1.8 we can choose $y_1, y_2, \dots, y_n \in E$

such that $E = F(y_1, y_2, \dots, y_n)$, with $y_i^p - y_i = \mu_i \in F$. If we define σ_i for $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ as in (16), it is clear that each σ_i is an element of order p of $\text{Gal}(E/F)$ and therefore

$$\text{Gal}(E/F) = \prod_{i=1}^n \langle \sigma_i \rangle. \quad (39)$$

On the other hand, since $\sigma \in \text{Gal}(E/F)$, then σ has a unique representation

$$\sigma = \sigma_1^{\nu_1} \circ \sigma_2^{\nu_2} \circ \dots \circ \sigma_n^{\nu_n}. \quad (40)$$

with $\nu_i \in \mathbb{F}_p$, then the action of σ over the element

$$y = \sum_{k=1}^n \mu_k y_k, \text{ is given by}$$

$$\sigma(y) = \sum_{k=1}^n \mu_k (y_k + \nu_k) =: y + \mu, \quad (41)$$

where $\mu = \sum_{k=1}^n \mu_k \nu_k \in W$. It follows from (40) that

$\sigma(y) = y$ if and only if $\nu_k = 0$ for $k = 1, 2, \dots, n$, that is, $\sigma(y) = y$ if and only if $\sigma = id$, and therefore $E = F(y)$.

On the other hand, if $z = h(y)$ and $\sigma \in \text{Gal}(E/F)$ then, since $\sigma(y) = y + \mu$, for some $\mu \in W$, we have

$$\begin{aligned} \sigma(z) &= \sigma(h(y)) \\ &= h(\sigma(y)) \\ &= h(y) + h(\mu) \\ &= z. \end{aligned}$$

That is to say $\sigma(z) = z$ and therefore $z \in F$, consequently y is a root of the monic polynomial $\varphi(T)$ whose degree is $p^n = [E : F] = [F(y) : F]$. This implies $\varphi(T) = \min(y, F)$. ■

Reciprocally we have:

Theorem 1.13. *Let $h(T) \in F[T]$ be a separable, monic, additive polynomial of degree p^n , with its roots in F and $z \in F$ such that the polynomial $\varphi(T) = h(T) - z \in F[T]$ is irreducible over F , then the extension $F(y)/F$ where $\varphi(y) = 0$ is an elementary abelian p -extension of degree p^n . The intermediate subfields $F \subseteq E_i \subseteq F(y)$ with $[E_i : F] = p$, have the form $E_i = F(y_\mu)$, where $\mu \in W - 0$, with $W = \{\alpha : h(\alpha) = 0\}$ and each y_μ satisfies the equation $(y_\mu)^p - y_\mu = \mu \cdot z$, therefore $F(y) = F(\wp^{-1}U)$, with $U = \{\mu \cdot z : \mu \in W\}$.*

Proof: It is clear that $\varphi(T)$ is the minimal polynomial for y over F . Now, for each $\mu \in W$, $\varphi(y + \mu) = 0$, then all roots of the polynomial $\varphi(T)$ have the form $y + \mu$, with $\mu \in W \subseteq F$, and therefore $F(y)$ is the splitting field of the polynomial $\varphi(T)$. On the other hand since $\sigma \in \text{Gal}(F(y)/F)$ permutes the roots of $\varphi(T)$ then

$\sigma(y) = y + \mu$, for some $\mu \in W$, therefore, the application $\sigma \mapsto \mu$, of $Gal(F(y)/F)$ into group $(W, +)$ is an isomorphism, that is to say, $F(y)/F$ is an elementary abelian p -extension of degree p^n .

Now, if $f(T) = \sum_{k=0}^{n-1} \mu^{p^k} T^{p^k} - y_\mu$, then $f(T) \in F(y_\mu)[T]$ and $f(y) = 0$, it follows that $[F(y) : F(y_\mu)] \leq p^{n-1}$. On the other hand, since $(y_\mu)^p - y_\mu = \mu \cdot z$ then $[F(y_\mu) : F] \leq p$ and therefore

$$\begin{aligned} p^n &= [F(y) : F] \\ &= [F(y) : F(y_\mu)][F(y_\mu) : F] \\ &\leq p^{n-1} \cdot p \\ &= p^n, \end{aligned}$$

consequently $[F(y_\mu) : F] = p$. It is to say, $F(y_\mu) = F(\varphi^{-1}\mu \cdot z)$. Now, by Remark 1.6, there exist $(p^n - 1)/(p - 1)$ such subextensions $F(y_\mu)/F$ and therefore $F(y) = F(\varphi^{-1}U)$ where $U = \{\mu \cdot z : \mu \in \mathbb{F}_{p^n}\}$. Finally by Theorem 1.10 there exist exactly $(p^n - 1)/(p - 1)$ intermediate fields $F \subseteq E_i \subseteq F(y)$ with $[E_i : F] = p$, therefore such $F(y_\mu)$ must be one of the E_i . ■

2. An application to the construction of curves over finite fields

It is well known that algebraic function fields over finite fields have many applications in coding theory, and the latter is closely related to cryptography, see for example [N-Ch]. In this section we exhibit a method to construct algebraic function fields over finite fields (algebraic curves) with many rational places (rational points).

Let p be a prime number, $K = \mathbb{F}_q$ the finite field with $q = p^n$ elements and $F := \mathbb{F}_q(x)$ the rational function field over the finite field \mathbb{F}_q . By E/K we mean a function field of transcendence degree one over K , with constant field K . We denote by $N_g(q)$ the maximum number of rational places of the function field E/K of genus $g(E/K) = g$. The Hasse-Weil bound implies

$$N_g(q) \leq q + 1 + 2 \cdot g\sqrt{q}. \tag{42}$$

After Weil proved his bound around 1940 the question how many rational places may lie on a function field over a finite field \mathbb{F}_q remained untouched for many years. In 1980 Goppa came up with the beautiful idea to associate an error-correcting code to a linear system on a curve over a finite field, see [Go]. In order to construct good codes one needs function fields with many places and

thus Goppa's work led to a revival of interest in rational points on function fields (algebraic curves) over finite fields. Applications in cryptography and recent constructions of quasi-random point sets also require curves with many points and added a further impetus to work in the field.

In 1981 Ihara showed in [I] that

$$N_g(q) \leq q + 1 + [(\sqrt{(8q + 1) + 4(q^2 - q)g} - g)/2]. \tag{43}$$

For $g > (q - \sqrt{q})/2$ this bound is better than Weil's bound and gives the asymptotic bound

$$A(q) := \limsup_{g \rightarrow \infty} \frac{N_g(q)}{g} \leq \sqrt{2q + \frac{1}{4}} - \frac{1}{2} \tag{44}$$

Refining Ihara's idea to derive (44) Drinfeld and Vladut proved that

$$A(q) \leq \sqrt{q} - 1. \tag{45}$$

Since the asymptotic bound (45) of Drinfeld-Vladut is approximately $1/\sqrt{2}$ times the asymptotic Ihara bound (44) we think that it is reasonable to put this qualification as requirement to filter out curves which should be considered 'poor'.

To begin our construction, let us denote by $a(T)$ the additive polynomial

$$a(T) = T^{p^{n-1}} + T^{p^{n-2}} + \dots + T^p + T \in \mathbb{F}_q[T]. \tag{46}$$

We will consider extensions of the rational function field $\mathbb{F}_q(x)$ of the kind E/\mathbb{F}_q where $E = \mathbb{F}_q(x, y)$ is defined by the equation:

$$\begin{aligned} a(y) &= y^{p^{n-1}} + y^{p^{n-2}} + \dots + y^p + y \\ &= \mu(x) := \mathcal{R}_\ell(a(f(x))) \end{aligned} \tag{47}$$

where $f(x) \in \mathbb{F}_q[x] \setminus \mathbb{F}_q$ and $\mathcal{R}_\ell(a(f(x)))$ denotes the remainder of the Euclidean division of the polynomial $f(x)$ by $\ell(x) = x^q - x$. That is to say extensions of the kind,

$$\begin{array}{c} E := \mathbb{F}_q(x, y)/(a(y) - \mu(x)) \\ \uparrow \\ F := \mathbb{F}_q(x) \end{array}$$

The reason to consider this type of extensions is that the number of rational places of E/K is related with the image of the function $a : \mathbb{F}_q \rightarrow \mathbb{F}_p$. More precisely we have.

Theorem 2.1. *The polynomial $\mu(x) = \mathcal{R}_\ell(a(f(x)))$ defined as (47) has the following property:*

$$\text{for all } \alpha \in \mathbb{F}_q, \quad \mu(\alpha) \in \mathbb{F}_p$$

Proof: It is enough to prove that

$$x^q - x \mid \mu(x)^p - \mu(x).$$

Since

$$a(f(x)) = (x^q - x)h(x) + \mu(x),$$

for some polynomial $h(x) \in \mathbb{F}_p[x]$, then

$$\begin{aligned} \mu(x)^p - \mu(x) &= a(f(x))^p - (x^q - x)^p. \\ h(x)^p - a(f(x)) + (x^q - x) \cdot (x). \end{aligned}$$

Now, since $f(x) \in \mathbb{F}_p[x]$ and $a(T)$ is additive, the result follows. ■

Remark 2.2. Observe that in accordance with Theorem 2.1, we have that, for $\alpha \in \mathbb{F}_q$, the equation

$$a(T) = T^{p^{n-1}} + T^{p^{n-2}} + \dots + T^p + T = \mu(\alpha), \quad (48)$$

has p^{n-1} solutions in \mathbb{F}_q , therefore the induced curve by the function field E/K has at least $p^n \cdot p^{n-1}$ places of degree one. This leads us to expect to get good curves. ■

The following result provides us a relationship among the genus of the function field E/K and the genus of the Artin-Schreier intermediate subfields E_1, E_2, \dots, E_t . ($t = (p^{n-1} - 1)/(p - 1)$).

Theorem 2.3. *With the previous notations, the genus of E/K is given by*

$$g(E/K) = \frac{p-1}{2} \sum_{i=1}^t (m_{P_\infty}(\lambda_i \cdot \mu(x)) - 1), \quad (49)$$

where m_{P_∞} is defined as follows:

$$m_{P_\infty}(u) = \begin{cases} -1 & \text{if there is } z \in F : v_{P_\infty}(u - \wp(z)) \geq 0, \\ m & \text{if there is } z \in F : v_{P_\infty}(u - \wp(z)) = \\ & -m < 0 \text{ and } m \not\equiv 0 \pmod{p}. \end{cases} \quad (50)$$

and $\lambda_i \in (W - \{0\})/\mathbb{F}_p^*$, with $W = \{\alpha : a(\alpha) = 0\} \subseteq \mathbb{F}_q$.

Remark 2.4. Lemma III.7.7 in [ST], guarantees that we can exclude the case $v_{P_\infty}(u - \wp(z)) = -m < 0$ for an integer $m \equiv 0 \pmod{p}$ in the above definition for $m_{P_\infty}(u)$

Indeed, first observe that from ([ST], I.4.18) together with Theorem 1.11 we have that:

$$g(E/K) = \sum_{i=1}^t g(E_j/K). \quad (51)$$

On the other hand, by Theorem 1.13, each Artin-Schreier subfield E_λ/F has the form

$$E_\lambda = \mathbb{F}_q(x, y_\lambda) \quad (52)$$

where $y_\lambda^p - y_\lambda = \lambda \cdot \mu(x)$ and $\lambda \in W - \{0\}$. Now, since $\mu(x) \in \mathbb{F}_q[x]$, then each place of F different from P_∞ is unramified in E_λ , in this way, from ([ST], III.7.8), the genus of E_λ/K is given by

$$g(E_\lambda/F) = \frac{p-1}{2} (m_{P_\infty}(\lambda \cdot \mu(x)) - 1), \quad (53)$$

Now, since there exist exactly t different subfields of Artin-Schreier, then there are $\lambda_1, \dots, \lambda_t$ in W such that, each one of those Artin-Schreier subfields have the form $E_{\lambda_i} = \mathbb{F}_q(x, y_{\lambda_i})$. Finally, from (53) and (51) we have the result.

Next, we exhibit a technique that allow us to count the rational places of E/K . For this, we will denote by $\mathcal{C}(E/F)$, the induced curve by the function field E/K .

Lemma 2.5. *Let us consider the polynomial*

$$\varphi_t(T) = \mu(T) - t, \quad (54)$$

where $t \in \mathbb{F}_p$ and $\mu(T)$ are defined as in (47). Then, for $x \in \mathbb{F}_q$, there exist $y \in \mathbb{F}_q$ such that $(x, y) \in \mathbb{F}_q \times \mathbb{F}_q$ belongs to $\mathcal{C}(E/F)$ if and only if $\varphi_t(x) = 0$, for some $t \in \mathbb{F}_p$.

Proof: Let us suppose that exists $y \in \mathbb{F}_q$ such that (x, y) belongs to $\mathcal{C}(E/F)$, it is to say, $a(y) = \mu(x)$. Since $a(y) \in \mathbb{F}_p$, then by taking $t = a(y)$ we obtain the desired result. Reciprocally, if $\mu(x) = t$ for some $t \in \mathbb{F}_p$, and since the function a is surjective ([L-N], 2.23), then $a(y) = t$ for some $y \in \mathbb{F}_q$, it is to say, $\mu(x) = a(y)$. ■

Lemma 2.6. *With the above notations, $\mu(\alpha) = a(f(\alpha))$ for all $\alpha \in \mathbb{F}_q$.*

Proof: By the division algorithm, there exists $h(x), \mathcal{R}_\ell(a(f(x))) \in \mathbb{F}_q[x]$ such that

$$a(f(x)) = h(x)\ell(x) + \mathcal{R}_\ell(a(f(x))),$$

with degree $(\mathcal{R}_\ell(a(f(x)))) < \text{degree}(\ell(x))$. Then,

$$\mu(x) = \mathcal{R}_\ell(a(f(x))) \quad (55)$$

$$= a(f(x)) - h(x)\ell(x) \quad (56)$$

and since $\ell(\alpha) = 0$ for all $\alpha \in \mathbb{F}_q$, we have $\mu(\alpha) = a(f(\alpha))$ ■

As consequence of all the above mentioned we have,

Theorem 2.7. *The number of rational places of the elementary abelian p -extension defined by (47) is given by*

$$N(E/\mathbb{F}_q) = p^{n-1} \sum_{t \in \mathbb{F}_p} \deg(\gcd(\varphi_t(x), \ell(x))) + \gamma, \quad (57)$$

where, γ denotes the number of rational places of E coming from the ramification, which is one or zero.

Proof: For fixed $x \in \mathbb{F}_q$, we have that (x, y) is a rational point of the curve $\mathcal{C}(E/\mathbb{F}_q(x))$ if and only if $y = f(x) + \alpha$, where $\alpha \in W$. In fact, if (x, y) is a rational point of $\mathcal{C}(E/\mathbb{F}_q(x))$ then

$$a(y - f(x)) = a(y) - a(f(x)) = \mu(x) - \mu(x) = 0, \quad (58)$$

therefore $y - f(x) \in W$. Reciprocally, if $y = f(x) + \alpha$, where $\alpha \in W$, then

$$a(y) = a(f(x)) + a(\alpha) = \mu(x) \quad (59)$$

and therefore (x, y) is a rational point of $\mathcal{C}(E/\mathbb{F}_q)$. Now, for each $x \in \mathbb{F}_q$ such that $\varphi_t(x) = 0$, we have $p^{n-1} = \deg(a(T))$ places of degree one of E . Additionally, since for all place P of F different of P_∞ , P is unramified in E , then $\gamma = 1$ or 0 . Therefore,

$$\begin{aligned} N(E/\mathbb{F}_q) &= \\ &= \deg(a(T)) |\{\alpha \in \mathbb{F}_q : (\exists t \in \mathbb{F}_p)(\varphi_t(\alpha) = 0)\}| + \gamma \quad (60) \\ &= p^{n-1} \sum_{t \in \mathbb{F}_p} |C_t| + \gamma, \quad (61) \end{aligned}$$

where $C_t = \{\alpha \in \mathbb{F}_q : \varphi_t(\alpha) = 0\}$ y $t \in \mathbb{F}_p$. On the other hand, if $d_t(x) = \gcd(\varphi_t(x), \ell(x))$, then $d_t(\alpha) = 0$ if and only if $\alpha \in \mathbb{F}_q$ and $\varphi_t(\alpha) = 0$ and since $d_t(x)$ is separable, then $|C_t| = \deg(d_t(x))$. ■

3. Examples

In this section we give examples of elementary Abelian p -extensions of the kind given by (47). We will to consider the particular case when n is odd and $f(x) = x^{p^{k+1}}$ with $k = (n - 1)/2$ and we will determine the genus and the number of rational places of these extensions using the formulas (49) and (57).

Example 3.1. If $p = 2$, and $n = 3$, then $k = 1$, $q = 8$. Also,

$$f(x) = x^3, \quad (62)$$

$$a(T) = T^4 + T^2 + T, \quad (63)$$

$$\mu(x) = \mathcal{R}_\ell(a(f(x))) = x^6 + x^5 + x^3, \quad (64)$$

in this case, there are exactly $t = 3$ different subfields E which are Artin-Schreier extensions over F . For all $\lambda \in$

$(W - \{0\})/\mathbb{F}_2^*$ we have $v_{\mathcal{P}_\infty}(\lambda \cdot \mu(x) + \wp(z(x))) = -5 < 0$ and since $-5 \not\equiv 0 \pmod{2}$ then, from ([ST], III.7.8), we obtain $m_{\mathcal{P}_\infty}(\lambda \cdot \mu(x)) = 5$. Observe that this value is independent of the root λ , therefore there exist exactly 3 different Artin-Schreier extensions generated by such roots, and in accordance with (49) we have

$$g(E/\mathbb{F}_8) = \frac{2-1}{2}(3)(5-1) = 6. \quad (65)$$

Now, for the number of rational places we have that

$$\gcd(\varphi_0(x), \ell(x)) = x^4 + x^3 + x, \quad (66)$$

$$\gcd(\varphi_1(x), \ell(x)) = x^4 + x^3 + x^2 + x. \quad (67)$$

Since, the place P_∞ of F is the only place that ramifies in the extension E/F then by (57) we have

$$N(E/\mathbb{F}_8) = 4(4+4) + 1 = 33. \quad (68)$$

This is the best value known. See [VV].

Example 3.2. Taking $p = n = 3$, then $q = 27$ and $k = 1$. Also,

$$f(x) = x^4, \quad (69)$$

$$a(T) = T^9 + T^3 + T. \quad (70)$$

$$\mu(x) = \mathcal{R}_\ell(a(f(x))) = x^{12} + x^{10} + x^4. \quad (71)$$

Then $t = 4$ and for all $\lambda \in (W - \{0\})/\mathbb{F}_3^*$ we have, $v_{\mathcal{P}_\infty}(\lambda \cdot \mu(x) + \wp(z(x))) = -10 < 0$ and $m_{\mathcal{P}_\infty}(\lambda \cdot \mu(x)) = 10$. Therefore,

$$g(E/K) = \frac{3-1}{2}(4)(10-1) = 36. \quad (72)$$

Now,

$$\gcd(\varphi_0(x), \ell(x)) = x^9 + x^7 + x, \quad (73)$$

$$\gcd(\varphi_1(x), \ell(x)) = x^6 + x^4 + x^2, \quad (74)$$

$$\gcd(\varphi_2(x), \ell(x)) = x^{12} + x^{10} + x^4 + 1, \quad (75)$$

and since P_∞ is totally ramified and rational in E/\mathbb{F}_{27} then we have

$$N(E/\mathbb{F}_{27}) = 9(9+6+12) + 1 = 244. \quad (76)$$

We do not know any function field over \mathbb{F}_{27} of genus 36 having more than 244 rational places (see [VV]).

The following table contains the values obtained for the genus and the number of rational points by taking different values for p and n , also we compare this values obtained with the Ihara's bound.

p	n	g	Ihara	N
2	5	60	[383, 542]	513
2	7	504	[5965, 8437]	8193
3	5	1080	[17549, 24817]	19684

(77)

Acknowledgements. The authors deeply appreciate the helpful comments and suggestions made by the referees.

References

- [G-S] Garcia and Stichtenoth. Elementary abelian p -extensions of algebraic functions fields. *Manuscripta mathematica*, Springer-Verlag, pag 67-79, 1991.
- [L-N] Lidl Rudolf and Niederreiter Harald. *Introduction to finite fields and their applications*. Cambridge university press, 1994.
- [Go] V.D.Goppa, Codes on algebraic curves. *Sov Math.Dokl* 24 (1981), 170-172.
- [La] Lang Serge, *Algebra*, Adisson Wesley Publishing Company, 1970.
- [Ka] Kani Ernest, *Relations between the genera and between the Hasse-Witt invariants of Galois covering of curves*, *Canad. Math. Bull*, Vol 28, pag 321-327, 1985.
- [N-Ch] Harald Niederreiter, Huaxiong Wang and Chaoping Xing, *Function Fields over Finite Fields and their applications to Cryptography*. Topics in Geometry, Coding Theory and Cryptography, Springer-Verlag, 2007
- [I] Ihara Y. Some remarks on number of rational points of algebraic curves over finite fields. *J Fac Sci Tokyo* 28 (1981), p. 721-724.
- [Ro] Roman Steve. *Field Theory*. Springer-Verlag, 1991.
- [ST] Stichtenoth Hennig. *Algebraic funtions fields and codes*. Springer-Verlag, 1993.
- [VV] Van Der Geer Gerard and Van Der Vlugt Marcel. *Tables of curves with many points*. [Online], <http://www.science.uva.nl/~geer>.

Recibido el 4 de noviembre de 2009

Aceptado para su publicación el 21 de junio de 2010

Versión revisada recibida el 5 de marzo de 2012

MEDIO AMBIENTE

ESTUDIO DE LA RESONANCIA DE ONDA LARGA EN EL PACÍFICO COLOMBIANO Y OTRAS BAHÍAS NATURALES MEDIANTE ECUACIONES PARAMÉTRICAS

Jaime Arturo Orejarena Cuartas*, Pablo Agudelo Restrepo**

RESUMEN

Orejana Cuartas J.A.; Pablo A.R.: Estudio de la resonancia de onda larga en el pacífico colombiano y otras bahías naturales mediante ecuaciones paramétricas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 253-259, 2012. ISSN 0370-3908.

Las oscilaciones resonantes son un fenómeno conocido y bien documentado en gran número de puertos y bahías en todo el mundo (Vidal et al., 2000). El interés de realizar el seguimiento de estas oscilaciones radica en que todos los puertos y bahías en los que se han observado, alcanzan una gran amplitud y frecuencia lo que a su vez deriva en cuantiosos daños al afectar las estructuras del puerto y los barcos allí anclados, como se ha documentado para el puerto de Ciutadella.

En el presente trabajo se realiza un análisis para observar este importante fenómeno en diferentes bahías naturales en el mundo; se han seleccionado 18 bahías en 8 países (Colombia, Honduras, Estados Unidos, España, Italia, Francia, Ucrania y Rumania), para lo cual se realiza un análisis por Ecuaciones Paramétricas: Los períodos propios de las bahías se determinaron mediante una simplificación de la fórmula de “Merian”, 1828 y las plataformas mediante el cálculo propuesto por Yanomi y Tsuji, 1998.

Se demuestra por medio de este análisis cuales bahías son resonantes, y se concluye que los fenómenos resonantes no son un evento esporádico además que existe una relación directa entre la amplificación resonante de las bahías y las plataformas continentales donde están ubicadas y que debe ser motivo de estudio profundo debido a los desastres que puede causar en obras estructurales importantes.

Palabras claves: Resonance, “Seiches”, Bay in Colombia and the World, Parametric Modelation (“Merian”, 1828 y Yanomi y Tsuji, 1998).

ABSTRACT

Resonant oscillations are a known and well documented phenomenon in many ports and harbors around the world (Vidal et al., 2000). The interest of monitoring of these oscillations is that all ports and bays which have

* Grupo de Investigación Marina, Ambiental y Costera (GIMAC). Escuela Naval de Suboficiales ARC, Barranquilla

** Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC), de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

been observed, reaching a large amplitude and frequency which in turn leads to extensive damage by affecting the harbor structures and ships at anchor, as documented for the port of Ciutadella.

We have selected 18 bays in 8 countries (Colombia, Honduras, United States, Spain, Italy, France, Ukraine and Romania), for analysis of this important phenomenon observed in different natural harbors in the world, by Parametric Equations: the vibration periods of the bays were determined by simplifying the formula of "Merian", 1828 and platforms proposed by calculating Yanomi and Tsuji, 1998.

Resonance was demonstrated for some bays, and we conclude that resonant phenomena are not a sporadic event, because including also a direct relationship between the resonant amplification of the bays and continental shelves where they are located and which should be subject of a depth study due to disasters that can cause about major structural works.

Keywords: Resonancia, "Seiches", Bahías en Colombia y el Mundo, Modelación Paramétrico (fórmula de "Merian", 1828 y Yanomi y Tsuji, 1998).

Introducción

En los procesos costeros se ha demostrado que muchas de las características de una zona pueden estar moduladas por comportamientos intraestacionales e interestacionales que descritas como oscilaciones de ondas globales de propagación en donde el intercambio energético es un factor modulador (Madden y Julian, 1972). La formación de ondas de diferentes magnitudes que transportan energía hacia la costa proviene del océano profundo, esta energía es producida por la fuerza de los vientos que corren sobre la superficie oceánica, por la atracción gravitatoria que ejercen la Luna y el Sol sobre la masa del océano y por las diferentes perturbaciones que se presentan en las estaciones del año tanto en la atmósfera como en las zonas terrestres que hacen contacto con el mar. Todos estos fenómenos influyen en la formación de ondas de diferentes magnitudes que transportan energía hacia la costa, mientras que la configuración de la zona continental y de las plataformas adyacentes modifica y concentra ese flujo de energía, regulando la intensidad de la acción de esas ondas y corrientes en las aguas costeras. (Palacio y Restrepo, 1999, Agudelo, 2002).

La superposición de la onda incidente y reflejada en el interior de la ensenada puede formar, entre otras, una onda larga estacionaria dentro de la misma, conocida como "seiche", cuyas características (período y longitud de onda) dependen de las características geométricas de la ensenada; para una bahía pequeña y poco profunda, el periodo propio puede ser de tan solo unos minutos. Esto normalmente ocurre para algún(os) tipo(s) de onda(s) que no necesariamente existe(n) en el clima marítimo de la zona, y se conoce(n) comúnmente como modo(s) propio(s) o natural(es) de oscilación de la ensenada. El período y la distribución espacial de la superficie libre para cada modo natural de oscilación son controlados por la forma y profundidad de la ensenada considerada. Es-

tas ondas han sido de especial importancia por la relación que presentan con variaciones del nivel del mar de amplitud extraordinaria, por la amplitud que alcanzan las mismas, por la frecuencia en que se producen, y por los tremendos daños que en algunas ocasiones han causado a las estructuras de los puertos y los barcos allí anclados.

Algunos de los "seiches" más relevantes han observado en el mar Adriático y el mar Báltico, resultando en inundaciones de Venecia y San Petersburgo respectivamente. La bahía de Nagasaki es un área típica en Japón donde los "seiches" se presentan de tiempo en tiempo, más frecuentemente en la primavera boreal; en la ensenada de Ciutadella en España que tiene 900 m de longitud y 5 m de profundidad media, se encontró que el periodo propio de oscilación de un "seiche libre" es de 10 minutos y ha generado la atención de la comunidad científica, por los efectos que ha tenido en las estructuras portuarias. Otros eventos se han visto en la Bahía de Palma, donde se presentan con una frecuencia de 23 minutos y para la cuenca del Mediterráneo occidental puede alcanzar hasta horas. (Alonso et al., 1989, Gomis et al., 1996; Rabinovich y Monserrat, 1996).

Para hablar de la resonancia es necesario conocer primero todas las características físicas de la zona. Se entiende por periodo de oscilación libre de una bahía (T_n) el tiempo que transcurre entre dos momentos iguales de altura de agua como respuesta a algún estímulo en la bocana del puerto o bahía. La expresión más sencilla que permite calcularlo es: (Ecuación 1)

$$T_n = \frac{4 \times l}{(2n + 1)\sqrt{gh}}$$

Ecuación 1. Periodo de oscilación libre siendo T_n = el periodo de oscilación natural de una dársena rectangular, estrecha y de longitud l y calado constante h ; n es el modo de oscilación, que toma valor cero para la oscilación fundamental.

El estudio de la resonancia por onda larga inicio por la derivación de expresiones con las que se intentaba estimar rápidamente los modos resonantes de una dársena de geometría sencilla. Proudman (1953) las planteó para lagos y Wilson (1966, 1972) para muchas otras geometrías. Estas expresiones están muy bien resumidas en Dean y Dalrymple (1991); nótese que todas son modificaciones al primer caso (dársena rectangular de profundidad constante con las dos paredes perfectamente reflejantes), desarrollado en 1828 y conocido como “fórmula de Merian”. La hipótesis inicial plantea también la posibilidad de que los periodos propios de oscilación calculados en las bahías coinciden con los calculados en las plataformas continentales por lo que se utilizó el cálculo de estos últimos mediante formulaciones analíticas propuesto por Yanomi y Tsuji.

Este trabajo tiene como objetivo determinar los fenómenos de resonancia en diferentes bahías en el mundo haciendo énfasis en bahías en Colombia y a modo de comparación, se analizan otras bahías. Como eje central se tiene la caracterización de las bahías y los análisis del fenómeno por medio de un análisis paramétrico identificando los períodos propios de oscilación.

Metodología

Para la selección de las bahías del presente estudio se tuvo en cuenta las características geométricas de las mismas, buscando una relación entre la bahía y la plataforma correspondiente, la influencia de la geometría se mide en función de la magnitud de los procesos que afectan a la onda, esto es, en función de la transformación de la onda por asomeramiento, refracción, difracción, reflexión, absorción, y demás. (Garcies, et al., 1996; Gomis et al., 1993; Jong et al., 2003).

El criterio de selección inicial parte de la hipótesis de la relación entre los modos propios de oscilación de algunas bahías y las plataformas donde están ubicadas, fue necesario además plantear las restricciones físicas que parecen tener este tipo de onda: bahías de material suelto no cohesivo, poco antropizadas. A continuación se hace un listado de las bahías seleccionadas. (Tabla 1).

En total 18 bahías en todo el mundo sin importar su distribución geográfica entre los que se encuentran Colombia, EEUU, España, Francia, Italia, Rumania y Ucrania. (Figura 1).

A las 18 Bahías seleccionadas se les realizo un cálculo inicial para determinar en cuales de ellas la frecuencia de las ondas resonantes observadas en la bahía coincidía con las observadas en la plataforma. Se tomaron las medidas de las bahías de longitud y profundidad teniendo en cuenta los registros de batimetría disponibles y en algunos casos basadas en información secundaria disponible.

Tabla 1. Bahías seleccionadas a nivel mundial para determinar la frecuencia de las ondas resonantes por el método del análisis paramétrico.

Bahías seleccionadas para el cálculo de frecuencias por el método de análisis paramétrico		
ID	País	Región
1	Colombia	Buenaventura
2		Málaga
3		Cupica
4		Solano
5	Honduras	Golfo de Fonseca
6	Estados Unidos	St. Joseph
7		Cape Code
8	España	Alcuida
9		Palma
10		Alfac
11		Fangar
12	Italia	Sacca di Goro
13	Francia	Marsella
14		Port de Bouc
15	Ucrania	Armiansk
16		Odesa
17		Primors'ke
18	Rumania	Tulcea

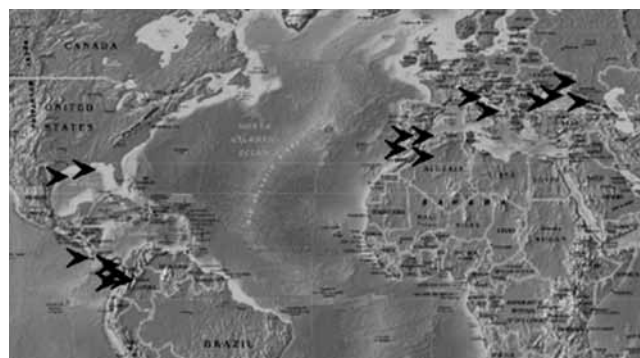


Figura 1. Mapamundi con la Ubicación general de las 18 bahías seleccionadas para el análisis por Modelación Paramétrica

También se midieron las plataformas continentales de cada área donde se encuentran las bahías. Las medidas establecidas fueron la longitud, la profundidad media y el ancho. A partir de los datos de la profundidad media y el ancho se realizó el cálculo de la pendiente de la plataforma. Las medidas se hicieron teniendo en cuenta que el final de la plataforma continental se encuentra delimitada hasta iniciar el cambio brusco de profundidad reflejado en la batimetría, también en la mayoría de los casos este dato se encuentra en información secundaria. (Figura 2)

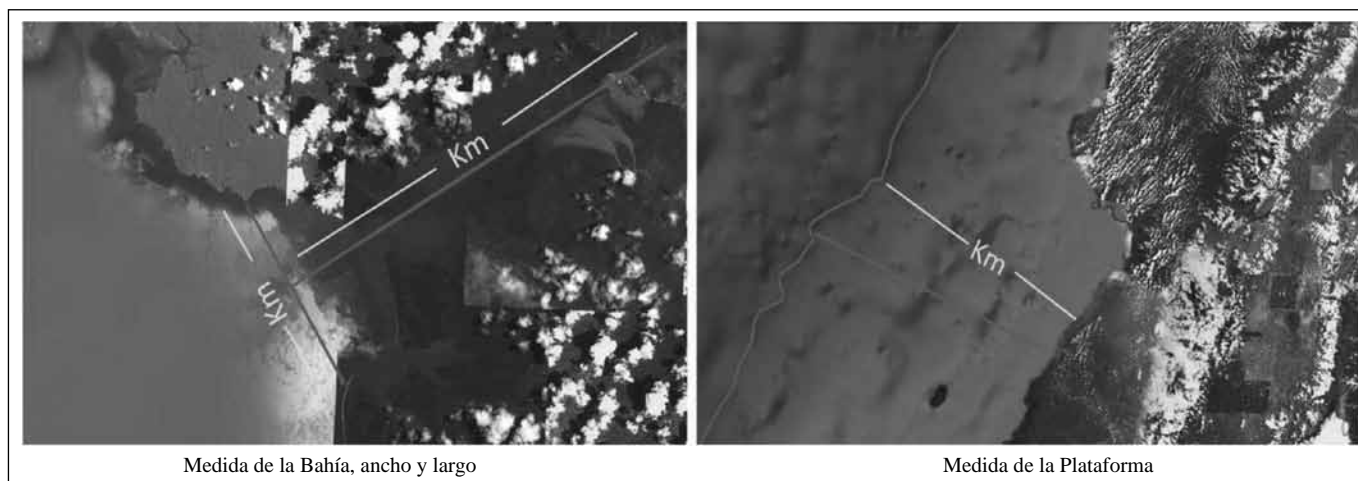


Figura 2. Imagen de las medidas tomadas en cada una de las Bahías y Plataformas

Los períodos propios de las bahías se determinaron mediante una simplificación de la fórmula de “Merian” (Ecuación 2)

$$T_n = \frac{2}{n} \int_{-l/2}^{l/2} \frac{dx}{\sqrt{g h(x)}}$$

Ecuación 2. “Formula de Merian”

donde n es el modo resonante, l la longitud, g la aceleración de la gravedad y h(x) la función de variación del fondo en sentido longitudinal.

Y los periodos propios de oscilación en las plataformas continentales se realizó con el cálculo mediante formulaciones analíticas (Ecuación 3) propuesto por Yanomi y Tsuji, 1998 de la siguiente manera:

$$\omega^2 = \frac{(2v+1)(2m+1)\pi\alpha g}{2L}$$

Ecuación 3: “Formula Yanomi y Tsuji”

Donde: ω^2 : Es la frecuencia angular
 v : Es el modo transversal de la onda
 m : Es el modo longitudinal de la onda
 α : Es la pendiente transversal de la plataforma
 g : La aceleración de la gravedad
 L : La longitud de la plataforma

Resultados y Discusión

Tipos de Medidas y Cálculos

Entre las bahías de mayor longitud medidas se encuentra la del Golfo de Fonseca en Honduras con una longitud de 63

km, y la de menor longitud se dio en Bahía de Cupica en Colombia con 7.4 km. En cuanto a la profundidad, Bahía Solano, está cerca de los 60 m, mientras que en el caso del Mediterráneo las bahías no superan los 5 m como se encontró en Alfacs y Fangar que fue de 3.5 m.

La plataforma continental más grande corresponde a Honduras en la que se encuentra el Golfo de Fonseca y la más pequeña es la que comparten la Bahías de Cupica y Solano en Colombia. (Tabla 2 y Tabla 3).

Tabla 2. Características Geométricas de 18 bahías analizadas en diferentes regiones en el mundo

Características geométricas bahías				
ID	País	Región	Longitud (m)	Calado (m)
1	Colombia	Buenaventura	19800	10
2		Málaga	21000	25
3		Cupica	13200	35
4		Solano	16000	50
5	Honduras	Golfo de Fonseca	63902	10
6	Estados	St. Joseph	21615	15
7	Unidos	Cape Code	37900	25
8	España	Alcuida	13870	10
9		Palma	18400	15
10		Alfacs	18000	3,5
11		Fangar	8000	3
12	Italia	Sacca di Goro	8000	9
13	Francia	Marsella	14100	20
14		Port de Bouc	13400	20
15	Ucrania	Armiansk	53400	15
16		Odesa	50379	15
17		Primors'ke	8580	5
18	Rumania	Tulcea	10100	7

Tabla 3. Características Geométricas de las plataformas continentales de las áreas donde se encuentran las bahías analizadas en diferentes regiones en el mundo.

Características geométricas plataformas				
ID	País	Región	Longitud de la Plataforma (m)	Pendiente media
1	Colombia	Buenaventura y Málaga	160000	0,0063
2		Cupica y Solano	47000	0,0140
3	Honduras	Golfo de Fonseca	1235000	0,0041
4	Estados Unidos	St. Joseph	355557	0,0033
5		Cape Code	385000	0,0006
6	España	Mallorca	69000	0,0058
7		Valencia-Tarragona	270000	1,6667
9	Italia	Comacchio	157028	0,0056
10	Francia	Marsella y Port de Bouc	35790	0,0031
11	Ucrania	Armiansk, Odesa y Primors'ke	175000	0,0012
12	Rumania	Tulcea	90469	0,0018

Cálculo de los periodos propios en las bahías

El mayor periodo resonante se obtuvo en la bahía de Honduras (Golfo de Fonseca) en el nodo 0 (siendo este el nodo principal), con un valor de 7.169 h y el menor valor se obtuvo en Bahía Solano en Colombia con un valor de 0.343 h. (Tabla 4)

Tabla 4. Resultados en horas del cálculo realizado para los periodos propios de las bahías estudiadas mediante el uso de la formula simplificada de Merian

Cálculo de los periodos en bahías (h)						
ID	País	Región	MODOS			
			0	1	2	3
1	Colombia	Buenaventura	2,221	0,74	0,444	0,317
2		Málaga	2,356	0,785	0,471	0,337
3		Cupica	0,792	0,264	0,158	0,113
4		Solano	0,803	0,268	0,161	0,115
5	Honduras	Golfo de Fonseca	7,169	2,39	1,434	1,024
6	Estados Unidos	St. Joseph	1,98	0,66	0,396	0,283
7		Cape Code	2,689	0,896	0,538	0,384
8	España	Alcuida	1,556	0,519	0,311	0,222
9		Palma	1,685	0,562	0,337	0,241
10		Alfacs	3,413	1,138	0,683	0,488
11		Fangar	1,639	0,546	0,328	0,234
12	Italia	Sacca di Goro	0,946	0,315	0,189	0,135
13	Francia	Marsella	1,118	0,373	0,224	0,16
14		Port de Bouc	1,063	0,354	0,213	0,152
15	Ucrania	Armiansk	4,891	1,63	0,978	0,699
16		Odesa	4,615	1,538	0,923	0,659
17		Primors'ke	1,361	0,454	0,272	0,194
18	Rumania	Tulcea	1,354	0,451	0,271	0,193

Cálculo de los periodos propios en las Plataformas

En los nodos principales (n=0) el valor máximo se observo en la plataforma continental de la Bahía de Cape Code en Massachussets, Estados Unidos con un valor de 11.259 h; el valor mínimo se calculo para la Bahía de Cupica y Solano con un valor de 0.620 h. (Tabla 5)

Tabla 5. Resultados en horas del cálculo realizado para los periodos propios de las Plataformas continentales estudiadas mediante el uso de la formula simplificada de Yanomi y Tsuji.

Cálculo de los periodos en plataformas						
ID	País	Región	MODOS			
			0	1	2	3
1	Colombia	Buenaventura y Málaga	2,251	0,750	0,450	0,322
2		Cupica y Solano	0,815	0,272	0,163	0,116
3	Honduras	Golfo de Fonseca	7,685	2,562	1,537	1,098
4	Estados Unidos	St. Joseph	4,594	1,531	0,919	0,656
5	Estados Unidos	Cape Code	11,259	3,753	2,252	1,608
6	España	Mallorca	1,541	0,514	0,308	0,220
7		Valencia-Tarragona	3,190	1,060	0,640	0,809
9	Italia	Comacchio	7,708	2,569	1,542	1,101
10	Francia	Marsella y Port de Bouc	1,127	0,376	0,225	0,161
11	Ucrania	Armiansk, Odesa y Primors'ke	5,469	1,823	1,094	0,781
12	Rumania	Tulcea	3,119	1,040	0,624	0,446

Comparación modelos Bahías vs. Plataformas

En 13 Bahías de 18 analizadas se presenta el fenómeno de resonancia, demostrado en que el cálculo de la energía de la onda producida en la plataforma es equivalente a la que se calculó en la Bahía, (Figura 3).

De acuerdo a la gráfica resultado de los cálculos realizados, las bahías que presentan resonancia son (Tabla 6).

Esta amplificación resonante es muy clara en bahías que comparten las siguientes características: 1) aquellas cuya influencia antropogénica es mínima, 2) aquellas donde la energía de descargas fluviales es menor que la energía del mar, 3) aquellas formadas por material moldeable.

Las Bahías de St. Joseph y Cape Code en EEUU tienen fuerte influencia antropogénica. Comacchio en Italia, Primorske en Ucrania y Tulcea en Rumania tienen una gran influencia del río que desemboca en ellas. En todas estas, la hipótesis de concordancia entre la resonancia de la plataforma y de la bahía no se cumplió.

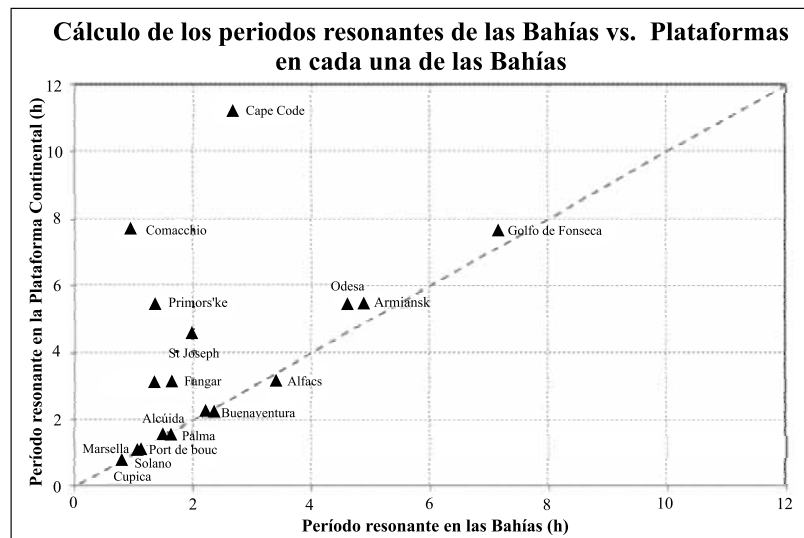


Figura 3. Diagrama de dispersión del Periodo Resonante calculado en las Bahías vs. el calculado en las Plataformas Continentales.

Tabla 6. Bahías que presentaron resonancia mediante el cálculo por métodos paramétrico

ID	País	Región	Modo Principal Bahía	Modo Principal Plataforma
1	Colombia	Buenaventura	2,221	2,251
2		Málaga	2,356	2,251
3		Cupica	0,792	0,815
4		Solano	0,803	0,815
5	Honduras	Golfo de Fonseca	7,169	7,685
6	España	Alcuída	1,556	1,541
7		Palma	1,685	1,541
8		Alfacs	3,413	3,19
9		Fangar	1,639	3,19
10	Francia	Marsella	1,118	1,127
11		Port de Bouc	1,063	1,127
12	Ucrania	Armiansk	4,891	5,469
13		Odesa	4,615	5,469

Conclusión

Se ha constatado la existencia de ondas que coinciden con los períodos resonantes de algunas bahías alrededor del mundo, el cálculo plantea que existe una relación directa entre la magnitud de cierto tipo de ondas y algunas características morfológicas de zonas semicerradas en las cuales se observa amplificación resonante, mostrando que la frecuencia de estas ondas dentro de las bahías es equivalente a lo calculado en las plataformas continentales, solamente algunas bahías observadas no cumplen con lo esperado debido a que esta

hipótesis se cumple en bahías formadas por material granular, suelto no cohesivo y que no hayan sido alteradas como el caso de Cape Code en Estados Unidos.

Bibliografía

- Agudelo, P.; Posada, L. y Roldán A.** 2002. "Erosión costera al norte del golfo de Morrosquillo (Caribe central colombiano)". En: XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. La Habana, Cuba.
- Alonso, B., Field, M.E., Gardner, J. y Maldonado, A.** 1989. Sedymentary evolution of Plio-Pleistoceno Spanish Ebro Margin. *Maryne Geology*.
- Dean, R.G. and R.A. Dalrymple.** 1991. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, World Scientific. pp 157-158.
- Garcies, M. D., Gomis, D., and Monserrat, S.** 1996. Pressure-forced seiches of large amplitude in inlets of the Balearic Islands. Part II: Observational study, *J. Geophys. Res.*, 101, pp 6453-6467.
- Gomis, D., S. Monserrat, J. Tintoré.** 1993: Pressure-forced seiches of large amplitude in inlets of the Balearic Islands. *J. Geophys. Res.*, pp 14437-14445
- Gomis, D., Garcies, M., and Monserrat, S.** 1996.: Pressure-forced seiches of large amplitude in inlets of the Balearic Islands. Part II: Observational study, *J. Geophys. Res.*, pp 6453-6467,
- Jong, M. P. C. de, L. H. Holthuijsen, and J. A. Battje.** 2003. Generation of seiches by cold fronts over the southern North Sea *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 108. pp 10-25.
- Madden, R. A., and P. R. Julian** (1972), Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period, *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109-1123.
- Monserrat, S. A.B. Rabinovich, B. Casas.** 1998: On the Reconstruction of the Transfer Function for Atmospherically Generated Seiches. *Geophys. Res.* pp 2197-2205
- Palacio, H. H. y Restrepo, A.F.** 1999. "Influencia de la evolución del delta del río Sinú en los procesos morfodinámicos del litoral Caribe Antio-

queño". Medellín. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. 141 p.

Proudman, J. 1953: *Dynamical Oceanography*, Methuen–John Wiley, London, 409, 1953.

Rabinovich, A. B.: Long Ocean Gravity Waves: Trapping, Resonance and Leaking, *Gidrometeoizdat* (in Russian), St. Petersburg, pp 300-325.

Rabinovich, A.B., Monserrat, S., 1996. Meteorological tsunamis near the Balearic and Kuril Islands: Descriptive and statistical analysis. *Natural Hazard*, pp 55–90.

Vidal, C., R. Medina, S. Monserrat, F. L. Martín; 2000: Harbor Resonance induced by pressure-forced surface waves, *Coastal Engineering*, 2000, pp 3615-3628.

Wilson, B.W., 1966. Generation of long-period seiches in Table Bay, Cape Town, by barometric oscillations. *Transactions of the American Geophysical Union* 35 (5), pp 733–746.

Wilson, B.W., 1972. Seiches. *Advances in Hydrosience* 8, pp 1–94.

Yanuma T. and Tsuji Y. 1998. Observation of Edge Waves Trapped on the Continental Shelf in the Vicinity of Makurazaki Harbor, Kyushu, *Japan Journal of Oceanography*, Vol. 54, pp. 9-18.

Recibido: 15 de febrero de 2012

Aceptado para publicación: 4 de junio de 2012

MEDIO AMBIENTE**CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA: TENDENCIAS EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX Y ESCENARIOS POSIBLES PARA EL SIGLO XXI****José Daniel Pabón Caicedo*****RESUMEN**

Pabón Caicedo J.D.: Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **36** (139): 261-278, 2012. ISSN 0370-3908.

Con base en el uso del sistema de análisis estadístico RClindex aplicado a las series climatológicas de diferentes regiones del territorio colombiano, se realizó una reevaluación de las tendencias de largo plazo observadas durante la segunda mitad de del siglo XX en la temperatura del aire, la precipitación y los eventos extremos de temperatura del aire y de lluvia; complementariamente, con ayuda de modelamiento del clima, se elaboraron escenarios A2 y B2 como posibles condiciones a observarse en el territorio colombiano durante el siglo XXI. En cuanto a las tendencias actuales, se confirmó el calentamiento generalizado entre 0,1-0,2°C/decenio, la reducción de los fenómenos de heladas y el incremento de la frecuencia de las temperaturas máximas; así mismo, se señalan los cambios (reducciones y aumentos) en la precipitación anual y la frecuencia de los eventos de lluvia intensa en las diferentes regiones del territorio colombiano. Los escenarios para el siglo XXI indicaron incrementos paulatinos de la temperatura media del aire de 2-3° entre 2011-2014 y de 3 y 4°C hacia finales de siglo; aunque en los valles del Magdalena y del Cauca el calentamiento sería mayor que en el resto de regiones; la precipitación hacia finales del siglo XXI registraría reducciones hasta del 30% en la parte interandina, y en la región Caribe, y aumentos un poco más del 30% de los acumulados anuales observado en 1961-1990 en la región Pacífica, en los piedemonte orientales de la Cordillera Oriental y en un sector sobre el sur de Bolívar y Sucre.

Palabras clave: cambio climático en Colombia; escenarios de cambio climático para Colombia; clima de Colombia

ABSTRACT

Using the statistical tool RClindex applied to the climatological time series of different regions of Colombian territory, a reassessment of the long term trends observed in air temperature, precipitation and extreme events during the second half of the 20th Century was made; additionally, supported by climate modeling and using the A2 and B2 IPCC climate change scenarios, regional scenarios were elaborated to provide the possible conditions will be observed over Colombia during the 21st Century. The identified trends corroborate the widespread

* Grupo de Investigación "Tiempo, clima y sociedad" Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia

warming of 0,1-0,2°C/decade, a decreasing of annual number of frost days and an increasing of the maximum temperatures frequency; the results also indicate the changes (reduction and increasing) have been occurring over different regions of Colombian territory in both annual precipitation and rainfall extreme events frequency. The elaborated scenarios show a gradual increase of air temperature in the range of 2-3°C for 2011-2040 and 3-4°C for 2071-2100 periods, however over Magdalena and Cauca valleys the warming could be greater than the rest of the regions; at the end of 21st Century the annual precipitation could be reduced in 30% over the interandean area, and in the Caribbean region, meanwhile in the Pacific region, the eastern foothills of Eastern Cordillera, and in a zone of Bolivar and Sucre the precipitation could be increase in 30% of the annual amounts observed during 1961-1990.

Key words: climate change in Colombia; climate change scenarios for Colombia; Colombian climate.

Introducción

Desde el decenio anterior el **IPCC (2007a)** ha señalado con contundencia las evidencias inequívocas del calentamiento global y de cambio climático que se han venido generando tanto por procesos naturales como por diversas actividades antrópicas. Estos fenómenos, que han sido muy notorios hacia finales del siglo XX y que serán más marcados en la medida como transcurra el siglo XXI, afectarán considerablemente los ecosistemas y los sistemas humanos de diferentes regiones del planeta (**IPCC, 2007b**). Como respuesta ante esta situación ambiental se desarrollan acciones para reducir la magnitud de tales cambios (mitigación) y para preparar a las comunidades ante las nuevas condiciones climáticas (adaptación). Con el propósito de sustentar las diferentes medidas de esta respuesta, diversos países desarrollan el estudio de la expresión regional del cambio climático y proyectan a mediano y largo plazo las posibles condiciones climáticas del futuro con el fin de orientar la planificación para una óptima adaptación. De ahí que los países estén haciendo esfuerzos para mejorar el conocimiento acerca de la expresión del cambio climático en sus regiones y para plantear con la menor incertidumbre posible las condiciones climáticas futuras.

En lo que respecta a Colombia, el tema del cambio climático reviste especial importancia toda vez que le concierne por las siguientes razones: 1) Con sus emisiones de gases de efecto invernadero originadas en diversos procesos antrópicos, aunque en menor proporción (según **MAVDT-IDEAM-PNUD (2010)**, el consolidado nacional de emisiones constituye el 0,37% del total mundial), el país contribuye en la generación del problema global; 2) Experimenta los efectos de la expresión regional del fenómeno global, lo que impactará el medio biofísico, los ecosistemas y el sistema socioeconómico de sus regiones (**Pabón, 2003**); 3) Se afecta por las medidas que se tomen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre de Cambio Climático (ver, por ejemplo, **Rodríguez-Becerra & Mance, 2009**). En estas tres vías de participación en el problema ambiental hay para el país

tanto efectos negativos como oportunidades, lo que señala la necesidad de mejorar el conocimiento en estos aspectos para fundamentar la reducción de los impactos negativos y el aprovechamiento de los posibles beneficios que las nuevas condiciones climáticas puedan brindar.

Como un aporte en la construcción del conocimiento necesario para la elaboración de medidas de adaptación orientadas a la reducción de los impactos negativos que pudiera tener el cambio climático, se desarrolló un estudio en el que se revisaron las tendencias de largo plazo registradas en los últimos 50 años sobre el territorio colombiano y se elaboraron escenarios que anticipan las posibles condiciones climáticas del siglo XXI, los que pueden servir de base para inferir el impacto potencial del cambio climático en diferentes regiones del país e identificar las vulnerabilidades que sería necesario reducir con miras a la adaptación al cambio climático. El presente documento sintetiza los resultados de dicho trabajo.

Progresos en el estudio del cambio climático en Colombia

La posibilidad de un cambio climático y la inminencia de sus impactos en Colombia han estimulado el desarrollo de estudios sobre el tema en los últimos decenios. Investigadores, grupos de investigación y diversas instituciones se han ocupado particularmente en la identificación de evidencias del cambio climático en el país y en la elaboración de escenarios de cambio climático para el siglo XXI.

La identificación de las evidencias del cambio climático en Colombia

En el tema del cambio climático es necesario identificar dos variantes: los cambios climáticos del pasado lejano (hace miles y millones de años) y reciente (el último siglo) y el cambio climático actual.

Las evidencias de cambios climáticos de los últimos 3 millones de años (los ocurridos en el Cuaternario, principalmente)

han sido analizadas con la aplicación de diferentes metodologías (estratigrafía, glacio-morfología, análisis de polen en sedimentos lacustres, dendroclimatología, principalmente) en diversas zonas del territorio colombiano. En la actualidad se dispone de los resultados de las investigaciones realizadas para la Sabana de Bogotá (**van der Hammen & Gonzales, 1963, 1964; van Geel & van der Hammen, 1983; Hooghiemstra, 1984; Hooghiemstra & Ran, 1994**), diferentes zonas de la región Andina (**Gonzalez et al., 1965; van der Hammen et al., 1981**), el río Magdalena (**Wijmstra, 1967; van der Hammen, 1986; Dueñas, 1992; van der Hammen & Cleef, 1992**) y la Amazonía colombiana (**van der Hammen et al., 1992**). Es posible que queden sin mencionar otros autores que han contribuido al desarrollo del conocimiento del clima del Plioceno y del Cuaternario en Colombia. **Van der Hammen & Hooghiemstra 1995, 1997**, resumieron las investigaciones que sobre el tema de cambios climáticos del pasado se había realizado hasta la época. De los trabajos de **van der Hammen & Ortiz-Troncoso (1988)** y **van der Hammen et al., (2002)** es posible inferir que en el Pleniglacial de hace 25000-15000 años, la temperatura media del aire estuvo en 6-8°C por debajo de lo actual y que hace 15 000 años el hielo en las montañas colombianas descendió hasta altitudes ligeramente inferiores a los 3.000 metros. Estos estudios también demuestran que los pisos bioclimáticos sufrieron importantes desplazamientos altitudinales y los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, por ejemplo, tenían una vegetación similar a la de los páramos actuales. De otra parte, en la zona costera del país numerosas cavernas sumergidas actualmente a diversas profundidades reflejan el ascenso del nivel del mar desde sus niveles mínimos durante los períodos glaciales (última glaciación) hasta los niveles que se observan hoy en día. Adicionalmente, presentan evidencias de que los patrones de distribución espacial de la precipitación también sufrieron grandes cambios; por ejemplo, los campos de dunas de los Llanos orientales, que actualmente se encuentran inactivos y estabilizados por la vegetación, registraron condiciones desérticas preholocénicas, muy diferentes a las observadas hoy en día en esa región.

De igual manera, los resultados de **van der Hammen & Cleef (1992)** sugieren que en el máximo del Holoceno medio (entre hace 7000 y 5000 años) la temperatura media del aire estuvo hasta en 2°C por encima de los promedios multianuales que se registraron en la segunda mitad del siglo XX y que sobre el altiplano cundiboyacense se registraron condiciones relativamente más secas que las del período actual. La fase de enfriamiento que duró cerca de mil años (entre hace 11 000 y 10 000), correspondiente al Younger Dryas, registrada regionalmente como el stadial El Abra, tuvo efectos sobre el territorio colombiano con disminución de las temperaturas medias anuales hasta de entre 1 y 3°C y reducciones de los

volúmenes de precipitación en los Andes colombianos (**van der Hammen & Gonzalez, 1963; van der Hammen & Hooghiemtra, 1995; van 't Veer et al., 2000**).

La expresión de las dos fases de cambio climático del último milenio (el Calentamiento Medieval entre los años 900 y 1200 y la Pequeña Edad de Hielo entre el 1400 y 1800, aproximadamente) no ha sido descrita aún. Solo a partir de los resultados algunos estudios en los que se representa la región de Suramérica (**Mann, 2002; Mann et al., 2009; Reuter et al. 2009; Gonzalez-Roucco et al. 2011**), se puede concluir que en la Pequeña Edad de Hielo, sobre la región en la que se localiza el territorio colombiano la temperatura media anual estuvo en 1-3°C por debajo de la actual, la precipitación estuvo por encima de lo actual y en la región Andina se presentaron condiciones más húmedas que las registradas en la segunda mitad del siglo XX.

Los primeros esfuerzos en el tratamiento del tema del cambio climático reciente en Colombia ha quedado compilado en los trabajos de **Lozano & Pabón (1995)** y **Lozano et al. (1996)**. A partir de esa época se han realizado variedad de estudios en los que se han analizado las diferentes expresiones del cambio climático en curso sobre diversos elementos del medio biofísico de Colombia. Se han analizado las tendencias de largo plazo en variables climatológicas, especialmente de la temperatura del aire y de la precipitación (**Pabón, 1995a, 1995b; Mesa et al., 1997; Perez et al., 1998; Quintana-Gómez, 1999; León, 2000a; Pabón & Hurtado, 2002; Pabón, 2003b; Poveda, 2009; MAVDT-IDEAM-PNUD, 2010**). Al sintetizar los resultados se puede establecer que, durante la segunda mitad del siglo XX, en diversas regiones del país la temperatura media del aire está aumentando a razón de 0.1-0.2° por decenio y la temperatura máxima en alrededor de 0,6°C, en tanto que la precipitación presentó cambios entre el -4% y el 6% por decenio, aunque los sectores con disminución o aumento son diferentes según los autores, se estaría observando una generalizada reducción en sectores de la región interandina (valles de los ríos Magdalena y Cauca) y Caribe, e incrementando en áreas de piedemonte del lado Este de la Cordillera Oriental y en el sector centro-norte de la región Pacífica. Se debe mencionar los trabajos sobre la identificación de cambios climático por factores locales como la urbanización particularmente para Bogotá (**Pabón et al., 1998; Perico-Agudelo, 2009; Poveda, 2008; Ángel et al., 2010**) y otras ciudades (**León, 2000b**).

La expresión contundente del calentamiento global y del cambio climático en el territorio colombiano es la reducción del área de los glaciares de montaña. Entre 1940 y 1985 desaparecieron en Colombia ocho glaciares y actualmente sólo existen cuatro nevados sobre estructuras volcánicas (Huila,

Ruiz, Santa Isabel, Tolima) y dos sierras nevadas (Cocuy y Santa Marta). Se estimó que a finales del siglo XX la recesión en lenguas glaciares era del orden de 15 a 20 metros/año y que la pérdida de espesor variaba entre 1-2 metros/año (**Flórez, 1992b**). Hay evidencias de que el ritmo del retroceso fue mayor en los últimos decenios del siglo XX (**Florez, 1992a**) y, especialmente, en el primer decenio del siglo XXI (**Ceballos et al., 2006; Huggel et al., 2007**). Recientes estimaciones del retroceso glaciar (**MAVDT-IDEAM-PNUD, 2010**), basadas en observaciones del primer decenio del siglo XXI, señalan un ritmo de 20-25 metros por año y proyectan una desaparición de los glaciares entre el decenio de 2030 y 2040, aunque una evaluación realizada por **Poveda & Pineda (2009)** alertan sobre la desaparición en el decenio 2010-2020.

Las tendencias de incremento del nivel medio del mar en las costas colombianas han sido analizadas por **Rangel y Montealegre (2003), Pabón (2003a,b); Pabón & Lozano (2005)**, quienes han utilizado las series de nivel medio del mar en el Pacífico y Caribe y los datos de topografía del océano generados por el programa TOPEX/POSEIDON. Se ha establecido que durante el período 1961-1990 el incremento regional del nivel del mar tuvo un ritmo de 3-5 milímetros al año para el Pacífico y 1-2 milímetros/año en la costa Caribe.

El progreso en la elaboración de escenarios de cambio climático para Colombia

La elaboración de escenarios de cambio climático para Colombia data de comienzos del presente siglo con la aplicación de la metodología de escalamiento estadístico de los productos de modelos globales de circulación general de la atmósfera (**Eslava & Pabón, 2001; Pabón et al., 2001a**). **Mulligan (2000)** desarrolló escenarios de cambio climático para el Valle del Cauca y se debe mencionar también el trabajo realizado por **Hulme & Sheard (1999)** para los países del sector norte de la región Andina. Estos trabajos iniciales generaron información que fue incluida en **IDEAM-MI-NAMBIENTE-PNUD (2001)**.

Con base en seis modelos y apoyándose en los modelos incluidos en los sistemas MAGGIC y SCENGEN, **Hulme & Sheard (1999)** establecieron los posibles cambios de la temperatura anual del aire y de la precipitación anual en el noroeste de Suramérica (los Andes del Norte) considerando los escenarios B1, B2, A1 y A2 formalizados por IPCC en su Reporte Especial de Escenarios un año después (**IPCC, 2000**). Según estos autores, considerando los escenarios más extremos, la temperatura del aire para el territorio colombiano en el año 2050 estaría entre 1.0°C (escenario bajo) y un

poco más de 2.5°C (escenario alto) por encima del promedio de 1961-1990; hacia el año 2080 el cambio estaría entre 1.5 y 4.5°C, respectivamente. Según el estudio de **Hulme & Sheard (1999)** hacia el año 2050 la precipitación anual en el sector centro, sur y sur-occidente del territorio colombiano aumentaría entre un 2-10% del volumen anual 1961-1990; en el sector norte y nororiente disminuiría hasta en un 4%. Hacia el 2080 el aumento es mayor en el suroccidente y puede alcanzar un 28%, mientras que las disminuciones en la región Caribe podrían alcanzar el 8% del valor de referencia del período 1961-1990. Los resultados relacionados con la temperatura del aire, son consistentes con las tendencias que se han identificado en el país y que se mencionaron arriba; no obstante, los cambios obtenidos para la precipitación resultan contradictorios ya que, según las tendencias observadas, en el suroccidente el país la precipitación está disminuyendo y en el norte y nororiente, la precipitación está aumentando (ver **Pabón, 2003b**).

Mulligan (2000) aplicó la regionalización con escalamiento estadístico a los datos generados por GFDL, HadCM2 y ECHAM para generar escenarios de cambio climático para el Valle del Cauca. Obtuvo como resultado que hacia el 2050 en esa región la temperatura del aire podría aumentar hasta en 2.7°C por encima de lo observado en 1998-1999, mientras que la precipitación anual tendría un incremento de 27 a 59 milímetros (0.4-0.5% del valor observado en 1995-1996).

El Grupo de Investigaciones en Meteorología de la Universidad Nacional de Colombia (**Eslava & Pabón, 2001**) usó el Community Climate Model, versión 3 (CCM3) para simular el clima de la América tropical y generar escenarios de cambio climático para Colombia. Usando el escenario de duplicación de dióxido de carbono y aplicando la técnica de regionalización con escalamiento estadístico (**Molina et al., 2000; Bernal et al., 2001; Pabón et al., 2001e**) establecieron los cambios que se darían bajo ese escenario en la temperatura media del aire y en la precipitación anual sobre diferentes regiones del territorio colombiano. Los resultados (**Pabón et al., 2001b, c y d; Tellez-Guio et al., 2001; Molina et al., 2003**) mostraron que bajo una duplicación del dióxido de carbono la temperatura del aire cambiaría en diferentes regiones no más de 1.0°C (aunque hubo una región que presentó un valor un poco mayor); la precipitación (**Tellez-Guio et al., 2001**) en general aumentaría en valores que en algunos son exagerados (60-100%), pero se presentaron regiones como el Alto Magdalena y Alto Cauca, Pacífico Sur y Central, el Patía, la montaña nariñense y el pie de monte amazónico en donde en algunas épocas del año la precipitación estaría por debajo del promedio 1961-1990.

Posteriormente, **Pabón et al. (2001a)**, tomaron los datos de los 6 modelos que publicó el Data Distribution Center

(DDC) del IPCC y analizaron las simulaciones del clima de 1961-1990 efectuadas por estos modelos y las compararon con el clima representado por el NCEP/NCAR Reanalysis (**Kalnay et al., 1996**) para ese mismo período. Como resultado se obtuvo que del grupo de modelos analizados el Hadley, ECHAM4 y el CSIRO representaron mejor el clima de América tropical, pero considerando que el ECHAM4 (malla de 2.5° x 2.5° de latitud y longitud, respectivamente) presenta la información en mayor resolución que el modelo del CSIRO (malla de 5° x 5°), se usó el primero para simular el clima nacional y generar escenarios climáticos aplicando la metodología de la reducción de escala estadística (**Pabón et al., 2001e**). Los resultados mostraron que en una duplicación del CO₂, que muy probablemente ocurrirá en mediados del siglo XXI, la temperatura del aire cambiaría entre 1.0 y 2.0°C en relación con el promedio 1961-1990 y la precipitación anual entre -10% (algunas regiones) y +15% del volumen anual observado en ese mismo período de referencia (ver **Pabón, 2003b, Pabón 2004**).

En una nueva aproximación se analizaron 16 simulaciones de modelos globales diferentes para el escenario de duplicación del CO₂ y se tomaron los cambios de la temperatura media anual del aire y de la precipitación anual para 24 regiones del territorio colombiano. Se identificó entonces que aunque los cambios previstos para la temperatura del aire oscilan entre 0°C y un poco más de 2.0°C, el umbral en el que más coinciden los modelos está entre 1.1 y 1.5°C (ver **Pabón, 2007**). En lo que a la precipitación se refiere, la mayor parte de los modelos señalaron que habría un incremento hasta del 5% en la precipitación anual en comparación con lo que había en el período 1961-1990; sin embargo algunos modelos que señalaron reducciones del 5% para regiones como el Bajo Magdalena, cuencas de los ríos Sinú, San Jorge y Nechí, en Urabá, así como en el Medio Cauca y Magdalena, las cuencas de los ríos Sogamoso, Catatumbo, Arauca y el Medio Meta. Esto último no coincide con las tendencias observadas en la precipitación de estas regiones.

Ruiz y Martínez (2007) utilizaron los productos de simulación del clima presente y del escenario A1B generados para la región del norte de Suramérica por el modelo global de alta resolución espacial (grilla de 20x20 kilómetros) del Meteorological Research Institut (MRI) de Japón. De otra parte **Pabón (2006)** utilizó el modelo climático regional PRECIS y se consideraron los escenarios concentraciones de dióxido de carbono equivalente del Second Report on Emission Scenarios (**IPCC, 2000**), se obtuvieron los cambios que se tendrían en la temperatura media del aire y en la precipitación anual hacia finales del siglo XXI (2070-2100) bajo el escenario A2 sin sulfatos, que se resumen así: El calentamiento en podría estar entre 2 y 4°C con relación a las temperaturas del

período 1961-1990 en la mayor parte del territorio nacional, pero hay regiones en las que podría sobrepasar los 4°C; En las regiones interandina y Caribe se presentará reducción de la cantidad anual de lluvias, en algunas regiones de más del 30%; en el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental y en la región Pacífica habría aumentos.

Con base en la estimación de los cambios de la temperatura media anual y la precipitación anual en los escenarios A2 y B2 usando el modelo regional PRECIS en resolución espacial de 25x25 kilómetros, **Pabón (2008)** indicó que la temperatura media del aire hacia el 2070-2100 en general estaría entre 2-4°C por encima de la observada en 1961-1990, pero identificó sectores con aumentos mayores de 4°C localizados en el Valle del Magdalena y en la región Caribe. En cuanto a la precipitación, los dos escenarios sugirieron para las regiones interandina y Caribe reducciones de más del 30% en la cantidad anual de lluvias, con sectores en donde tal reducción es mayor del 50% localizados en Tolima, Huila, Altiplano cundiboyacense, litoral central Caribe y en la Península de La Guajira; en el piedemonte oriental de la Cordillera Oriental y en la región Pacífica habría aumentos de más del 30%. La capacidad de PRECIS para reproducir las particularidades del clima regional se infiere de la evaluación realizada por **Alves & Marengo (2009)**, quienes probaron PRECIS en resolución de 50x50 kilómetros para Suramérica.

Ruiz (2010) efectuó el ajuste del escenario A1B obtenido con el modelo del MRI, a los escenarios con PRECIS y elaboró escenarios de cambio climático con el modelo Weather & Research Forecasting - WRF (usando las salidas del modelo global CAM para las condiciones de contorno). Realizó escenarios para tres períodos a partir del 2011 hasta el 2100. En términos generales obtuvo incremento paulatino de la temperatura media anual del aire de 1.4, 2.4 y 3.2°C para los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente; para la precipitación los cambios identificados como probables fueron disminución en la región Caribe y Andina y aumento en la región Pacífica.

También se ha avanzado en el desarrollo de escenarios para otras variables hidroclimáticas. Así, **Acevedo (2009)** y **Acevedo & Poveda (2011)** validaron cuatro modelos globales en cuanto a la simulación de los extremos de lluvia y desarrollaron escenarios para la precipitación mensual, los eventos extremos de lluvia a través de la estimación de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) y los caudales; encontraron el ECHAM5 como el que mejor aproxima las condiciones hidroclimáticas regionales. Al elaborar escenarios (tomando A1 y B1 de los propuestos por **IPCC, 2000**), identificaron que habría grandes cambios en la frecuencia de eventos de lluvia intensa y un posible aumento de las precipitaciones en la cuenca del río Magdalena y de sus cauda-

les. Los escenarios elaborados por **Nakaegawa & Vergara (2010)** para la cuenca Magdalena-Cauca, sugieren que hacia finales del siglo XXI habría una reducción de los caudales medios de febrero y un aumento en los de julio. Se han explorado otras opciones con miras a disponer de información sobre las condiciones climáticas del futuro para usarla en estudios de impactos del cambio climático en Colombia (ver, por ejemplo, **Peña et al., 2010**). De igual manera, se han examinado los cambios en el clima local o regional asociados al cambio en el uso del suelo (**Rodríguez et al., 2010**) y elaborado escenarios de cambio climático para regiones dentro del territorio colombiano (**Pabón, 2011**).

Con base en este estado del tema en el país, se abordó un nuevo análisis de las tendencias de largo plazo en las variables climatológicas temperatura media del aire, precipitación anual y en los eventos extremos de lluvia. Adicionalmente se elaboraron escenarios de cambio en las variables temperatura media del aire, precipitación anual para diferentes períodos del siglo XXI.

Metodología

El análisis de las tendencias de largo plazo en las variables climatológicas y la elaboración de escenarios se realizó con la metodología que se describe a continuación.

Metodología de análisis de las tendencias de largo plazo

Para el análisis de las tendencias se utilizaron las series de datos diarios de temperatura del aire, temperatura máxima y mínima diaria y precipitación diaria de los puntos de medición (estaciones meteorológicas de diverso tipo) disponibles en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para el período 1960-2005. Se tomaron inicialmente 200 estaciones, sin embargo, después de la aplicación del control de calidad (verificación de períodos completos, homogeneidad, etc) se descartó una gran cantidad de series (cerca del 75%) y quedaron únicamente las series de 46 puntos distribuidos a lo largo y ancho del territorio colombiano.

Se utilizó la metodología incluida en la herramienta de análisis estadístico RCLimindex para análisis de series de datos climatológicos y se aplicaron los procedimientos planteados por **Zhang & Yang (2004)**, las recomendaciones de **WMO (2009)** y las obtenidas de publicaciones de resultados de análisis de extremos (ver **New et al., 2005; Vincent et al., 2005; Haylock et al., 2006; Alexander et al., 2007**). En Colombia RCLimindex fue usado en el IDEAM (**Benavides et al., 2007**) para el análisis de las series de datos de 15 estaciones climatológicas y se identificaron tendencias generales y cambios en los fenómenos extremos de precipitación y de tempera-

tura del aire, que fueron incluidas en **MAVDT-IDEAM-PNUD, 2010**.

Con base en los datos diarios de las diferentes variables, RCLimindex genera índices climáticos y, mediante procedimientos estadísticos, establece las tendencias de largo plazo en los valores medios y en los extremos.

La elaboración de escenarios de cambio climático para Colombia

Para la elaboración de escenarios de cambio climático se utilizó el sistema integrado de modelamiento climático regional PRECIS (“Providing Regional Climates for Impacts Studies”), versión 1.6.1 (**Jones et al., 2004**), desarrollado por el Hadley Centre, del Reino Unido. En síntesis, PRECIS es un sistema de modelamiento del clima regional que simula la interacción de la superficie (suelo-cobertura vegetal) y la atmósfera a través de la inclusión de las particularidades regionales como la orografía mejor representada que en los modelos globales y de los procesos el balance de radiación, la dinámica de la circulación atmosférica en la mesoescala, el ciclo de los sulfatos, la formación de nubes y precipitación, así como la transferencia de masa y energía desde la cobertura vegetal y la capa del suelo a la atmósfera. En cuanto al componente de la superficie, que es un aspecto esencial en el presente estudio, PRECIS contempla una cobertura vegetal que interactúa con el viento, con la radiación solar y la precipitación, provee a la atmósfera flujos de calor y regula la escorrentía. El suelo del modelo, por su parte, dependiendo de si su textura tiene propiedades térmicas e hidrológicas, participa con su color en el balance de radiación con el albedo. Para la cobertura vegetal y el suelo PRECIS utiliza la base de datos organizada por **Wilson & Henderson-Sellers (1985)**.

PRECIS se validó para un clima de referencia basado en los promedios multianuales del período 1961-1990 (calculados a partir de los series de datos mensuales) de temperatura del aire y de precipitación de 680 estaciones climatológicas suministradas por el IDEAM. Antes de calcular los promedios multianuales, las series de datos mensuales se sometieron a control de calidad en cuanto se refiere a faltantes o vacíos en las series, a identificación de homogeneidad, detección de cambios por medio de procedimientos estadísticos y verificación de la historia de las estaciones climatológicas para explicar si los cambios fueron causados por alguna alteración de los procedimientos en las mediciones; esto último se efectuó con consulta directa del archivo del IDEAM.

En el contexto de este trabajo, el modelo regional PRECIS fue ejecutado para una grilla con resolución horizontal de 25x25 kilómetros, con 19 niveles en la vertical (de la su-

perficie hasta 30 km en la estratosfera) cuatro niveles en el suelo. Se ejecutó para una región localizada sobre el norte de Suramérica, seleccionada de tal manera que ubica el territorio colombiano en el centro (con ello, se buscó incluir tanto la parte continental como la marítima e insular del territorio colombiano, localizándolos lejos de los bordes para evitar el efecto de éstos en el comportamiento del clima simulado. La información de entrada o condiciones de borde del modelo fue la disponible en el re-análisis denominado ERA40 (Uppala et al., 2005).

El clima de referencia se representó con los promedios multianuales y con las desviaciones estándar de las variables hidrológicas (temperatura del aire, humedad relativa y precipitación) registradas en el período 1961-1990. Con base en esta información se efectuó la descripción del ciclo anual y la distribución espacial de las variables mencionadas.

Con base en los promedios multianuales se elaboraron mapas con la distribución espacial para lo cual se utilizó el método de interpolación Inverse Distance Weighted (IDW); de igual manera se analizó el ciclo anual de la temperatura, de la humedad del aire y de la precipitación. Todo lo anterior como línea base para la validación del modelo y para el cálculo de los cambios que se presentaría en el futuro.

Para elaborar los escenarios se consideraron los aspectos planteados por **IPCC-TGCIA (1999)** y **Mearns et al. (2003)** y mediante las siguientes fases:

- Simulación del clima del territorio colombiano, utilizando ERA40 como condiciones de contorno, mediante la representación de la distribución espacial y el ciclo anual de la temperatura media del aire, la humedad relativa y de la precipitación.
- Validación de las simulaciones del clima regional mediante comparación con el clima de referencia.
- Ajuste de los productos del modelo para reducir las diferencias entre el clima real y el simulado.
- Simulación del clima futuro para la región de estudio utilizando los escenarios A2 y B2 de **IPCC (2000)** generados por el modelo global HadCM3 para los períodos 2011-2030 y 2071-2100.
- Aplicación del ajuste a los datos generados para el futuro en diferentes escenarios
- Comparación de los resultados del clima futuro y el clima actual (el de referencia).

Para efectos del presente trabajo se extrajeron los datos mensuales de temperatura, humedad del aire y de precipitación correspondientes a la región estudiada. De los datos

generados por el modelo se obtuvieron valores multianuales y las series de datos mensuales para el período 1961-1990. La validación se efectuó a través de la comparación entre lo observado 1961-1990 ($[1961-1990]_{OBS}$) (los datos de mediciones están disponibles solo para este intervalo de tiempo) y lo simulado por PRECIS ($[1961-1990]_{SIM}$) para ese período.

Se compararon los valores multianuales, la distribución espacial de las variables (mapas $[1961-1990]_{OBS}$ y $[1961-1990]_{SIM}$) y el ciclo anual. Igualmente se calcularon los coeficientes de correlación entre las series observadas y las simuladas para establecer en cuales puntos (lugares) se obtiene la mejor aproximación; adicionalmente se calcularon los coeficientes de comparación como el error cuadrático medio (RMSE) y el sesgo (BIAS).

Después de comparados, los datos multianuales simulados se ajustaron para que se acercaran más en su comportamiento a las observadas. Este ajuste se efectuó reduciendo la diferencia de los valores medios de las dos series (observada y simulada) a través del siguiente procedimiento:

$$X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{mod}$$

Donde:

$X_{i,j}^*$ - el valor ajustado de la variable X (temperatura del aire o de precipitación) del mes j del año i ; $X_{i,j}^{mod}$ - es el valor modelado de la variable X para el mes j y año i .

$$\alpha_j = \frac{\overline{X_{i,j}^{obs}}}{\overline{X_{i,j}^{mod}}}$$

$\overline{X_{i,j}^{obs}}$ - promedio multianual para el mes j con los valores observados a través de los años i .

$\overline{X_{i,j}^{mod}}$ - promedio multianual para el mes j con los valores simulados para los años i .

El horizonte temporal para el que se desarrollaron los escenarios de cambio climático fue el período 2011-2030 y 2070-2100. Para ello se realizaron simulaciones con PRECIS bajo los escenarios A2 y B2.

Una vez generados los datos para este período y aplicados los ajustes correspondientes se calcularon las diferencias entre el clima futuro $[2011-2030]_{SIM}$ o $[2071-2100]_{SIM}$ y el clima de referencia $[1961-1990]_{SIM}$ y, este último para los escenarios A2 y B2.

Los escenarios se presentan en términos del cambio que se obtiene de la comparación entre el clima futuro y el clima actual (de referencia). Para la temperatura del aire este cam-

bio se calcula la diferencia (en °C) entre el clima futuro y el actual.

$$\text{Cambio de } T = T_{\text{futuro}} - T_{\text{actual}}$$

Para la precipitación (Pr) el cambio se calcula como el porcentaje que la diferencia entre el clima futuro y el actual representa en relación con el valor multianual del clima de referencia, así:

$$\begin{aligned} \text{Cambio Pr} &= 100 * (\text{Pr}_{\text{futuro}} - \text{Pr}_{\text{actual}}) / \text{Pr}_{\text{actual}} \\ \text{Cambio ETP} &= 100 * (\text{ETP}_{\text{futuro}} - \text{ETP}_{\text{actual}}) / \text{ETP}_{\text{actual}} \end{aligned}$$

Resultados

Los resultados se resumen en las Tablas 1 y 2, en las que se presentan los resultados obtenidos en cuanto a tendencias de la precipitación (46 estaciones) y de la temperatura del aire (55 estaciones) de diferentes regiones del territorio colombiano, como también en las Figuras 1-3 que muestran los cambios que estas variables experimentarían bajo los escenarios A2 y B2 en los períodos 2011-2040 y 2071-2100.

Los cambios observados en la segunda mitad del siglo XX

Como se puede observar a simple vista en la Tabla 1, en cuanto a tendencias de la precipitación no hay un comportamiento homogéneo para los diversos índices en diferentes regiones: hay signos contrarios y valores muy variados. Esto se podría atribuir a la diversidad climática del territorio colombiano, aunque la calidad de los datos podía estar influyendo aún después de haberse surtido un estricto control de calidad. Las tendencias de la precipitación anual se presentan en el mapa de la Figura 1 (izquierda) que se construyó a partir de los datos de la columna de "PRECIPITACIÓN ANUAL (TODOS LOS DIAS HUMEDOS)" de la Tabla 1. Es posible ver una generalizada tendencia al incremento de los volúmenes anuales de lluvia en el sector oriental (Orinoquía y Amazonía). El aumento de la precipitación también ocurre en la isla de Providencia, en el sector central del litoral Pacífico, litoral central Caribe y de La Guajira, en la Sierra Nevada de Santa Marta, así como entre Sucre y Bolívar, el Magdalena medio y en lugares del Eje cafetero, sur de Nariño y en Cundinamarca. La disminución de la precipitación anual se concentra en San Andrés isla, en sectores de la región Caribe, en el

Tabla 1. Tendencias en los valores medios y extremos de la precipitación en diferentes lugares del país

No	ESTACION	LONTD	LATD	ALTD	# DIAS CONSECUTIVOS RR <= 1.0mm [días]	# DIAS CONSECUTIVOS RR >= 1.0 mm [días]	PRECIPITACION ANUAL (TODOS LOS DIAS HUMEDOS) [mm]	# DIAS EN EL AÑO CON RR >= 10.0 mm	# DIAS EN EL AÑO CON RR >= 20.0 mm	# DIAS EN EL AÑO CON RR >= 25.0 mm	RR anual > percentil 95 [mm]	RR anual > percentil 99 [mm]	Máximo anual precipitación [mm]	Máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos [mm]	Precipitación anual/días húmedos [mm/día]
1	Agronomía	-75.48	5.05	2150	0.064	-0.11	-11.739	-0.276	-0.164	0.153	-5.554	-0.92	-0.58	-1.567	-0.025
2	Apto. Arauca	-70.73	7.07	128	-0.152	0.49	6.817	-0.038	0.055	-0.043	4.832	3.234	0.544	0.43	-0.155
3	Apto Artunduaga	-75.32	1.36	244	0.101	0.003	8.886	0.136	0.156	0.034	8.68	5.234	0.151	0.951	0.059
4	Apto Buenaventura	-76.58	3.51	14	-0.126	0.186	26.276	0.542	0.232	0.207	18.022	8.126	0.042	1.142	-0.029
5	Apto. El Embrujio	-81.35	13.37	1	0.065	-0.096	13.658	0.16	0.233	0.221	12.504	7.224	0.711	3.582	0.121
6	Apto. El Otú	-74.72	7.02	630	0.136	-0.176	-3.865	-0.311	0.096	0.099	-6.069	-1.397	-0.685	-0.648	0.136
7	Apto. Palanquero	-74.65	5.48	172	-0.072	-0.161	-23.561	-0.689	-0.5	-0.38	-5.394	0.888	0.152	-0.951	-0.063
8	Apto. Santiago Vila	-74.8	4.28	286	-0.003	-0.002	0.808	-0.106	0.03	0.034	1.552	-0.231	0.189	-0.22	0.021
9	Apto. Yansuaria	-73.62	4.17	423	-0.412	0.066	33.354	0.675	0.505	0.494	12.815	4.601	0.432	1.085	0.079
10	Galerazamba	-75.27	10.78	7	0.506	-0.023	3.304	0.114	0.08	0.072	0.817	-0.825	-0.164	0.525	0.057
11	Apto. La Florida	-75.18	8.7	13	-1.45	0.036	-3.203	-0.189	-0.129	0.165	-2.78	1.76	0.291	0.355	-0.11
12	Apto. Las Flores	-73.98	9.07	34	0.7	0.001	-2.501	-0.048	-0.08	-0.014	0.039	-1.421	0.291	1.35	0.029
13	Apto. Rafael Nuñez	-75.52	10.45	2	-0.165	-0.035	-2.164	-0.14	-0.031	-0.027	-0.204	-0.039	0.242	-0.151	0.036
14	Avapel	-75.13	8.32	22	0.507	0.009	4.138	0.021	0.107	0.13	4.384	-3.746	-0.487	-0.025	0.128
15	Berlin	-72.87	7.18	3214	-0.178	-0.089	-1.335	-0.15	0.029	0.024	0.695	0.899	0.224	-0.225	-0.015
16	Boacas del Tuparro	-67.52	5.32	250	2.074	0.109	5.506	0.036	-0.006	0.135	14.145	0.221	-0.983	-5.634	0.164
17	Carimagua	-71.37	4.58	200	0.11	0.041	15.513	0.321	-0.207	0.256	11.212	6.545	1.072	0.827	0.045
18	Escuela Agraria Carraipa	-72.37	11.22	118	-0.237	0.049	-4.147	0.053	0.049	-0.93	-7.128	-4.377	-0.707	-1.944	0.004
19	Carrizal	-73.77	5.2	2860	0.106	0.043	-3.241	-0.135	-0.031	-0.003	-0.953	-0.363	-0.14	-0.336	-0.022
20	Chapetón	-75.27	4.45	1300	0.259	-0.03	-0.38	-0.089	0.102	0.101	-2.55	-0.694	-0.089	0.545	-0.002
21	Cheuca Nemocón	-73.87	5.12	2580	-0.17	-0.057	-1.605	-0.06	-0.019	0.014	-0.043	0.652	0.329	0.046	0.019
22	Coluertos	-77.05	0.35	10	-0.008	-0.331	16.421	-0.03	-0.164	-0.131	22.872	9.604	-4.246	3.427	0.079
23	El Centro	-73.77	6.87	162	0.033	-0.156	-10.208	-0.384	-0.052	5.168	3.212	0.946	-1.173	0.232	
24	El Cucharo	-73.22	6.52	975	0.029	-0.015	-4.754	0.039	0.077	0.078	3.859	2.365	0.519	0.322	0.25
25	El Paraiso	-77.38	1.05	3120	0.117	-0.064	-0.553	-0.098	0.007	-0.003	0.432	0.536	0.05	0.159	0
26	El Rincón	-73.17	10.27	350	-0.341	0.022	5.116	0.03	0.161	0.135	5.411	-0.976	-0.531	-0.241	0.042
27	El Salado	-75.58	8.92	40	0.75	0.002	-3.451	-0.254	0.054	-0.053	-0.816	-0.362	-0.816	-0.727	-0.032
28	El Salto	-74.46	4.47	450	-0.002	-0.017	4.056	0.039	0.161	0.107	1.19	2.361	0.456	1.065	0.06
29	Escuela Naval CIOH	-75.53	10.38	1	0.194	-0.003	5.413	0.177	0.159	0.115	0.394	2.139	0.742	0.438	0.023
30	Maitas	-73.05	11.25	20	0.373	-0.038	3.073	0.181	0.093	0.05	3.52	-3.477	0.613	-0.264	0.046
31	Galerazamba	-75.27	10.78	7	0.506	-0.023	3.304	0.114	0.08	0.072	0.817	-0.825	-0.164	0.525	0.057
32	Granja Bertha	-73.60	5.88	1700	0.09	-0.025	-2.231	-0.119	-0.016	0.02	-2.362	-0.604	0.184	-0.125	0.005
33	Granja San Jorge	-74.20	4.52	2900	0.076	0.064	-2.162	0.014	-0.02	-0.005	-0.849	-0.306	-0.038	-0.071	0.011
34	Granja Tibacuv	-74.42	4.35	1550	-0.088	-0.067	-1.403	-0.111	-0.008	0.011	0.527	0.773	0.317	-0.626	0.004
35	Granja Velez	-73.39	6.00	2170	-0.126	0.035	19.252	0.549	0.58	0.448	10.881	2.986	0.12	1.001	0.06
36	Guamo	-74.97	4.03	360	-0.233	-0.087	2.994	-0.181	0.047	0.082	8.383	4.482	1.343	0.735	0.122
37	Isla Santuario	-73.73	5.47	2580	-0.057	-0.057	2.271	0.605	0.1	0.038	2.145	1.237	-0.073	0.114	0.018
38	La Paulina	-72.82	10.27	170	0.565	0.025	-1.499	-0.026	-0.06	-0.01	1.424	0.881	0.783	0.003	0.565
39	Lorica	-75.82	9.27	30	-0.562	-0.017	1.32	-0.088	0.083	0.044	-0.209	1.307	0.396	-0.198	0.037
40	Manauare	-72.45	11.77	1	-0.064	0.008	1.238	0.01	0.015	0.029	0.831	0.591	0.645	0.514	0.061
41	Motilonia	-73.25	10.00	180	0.466	-0.035	0.807	0.046	0.074	0.028	0.032	-2.879	-1.057	-1.099	-0.008
42	Nueva Florida	-74.21	9.57	13	-0.048	-0.021	6.496	0.284	0.251	0.19	-2.278	-2.327	-1.104	-1.323	0.07
43	Prado Sevilla	-74.1	10.46	18	-0.622	-0.024	5.605	0.056	0.075	0.061	6.398	3.769	0.858	0.73	0.04
44	San Bernardo del Viento	-75.97	9.37	22	-0.293	-0.003	-2.657	0.019	0.122	0.048	6.257	-1.35	-0.071	0.132	-0.043
45	San Lorenzo	-74	11	2200	0.418	-0.024	8.672	0.141	0.003	0.204	14.638	5.295	1.092	2.275	0.05
46	Turipaná	-75.82	8.85	20	0.27	0.024	-1.679	0.045	-0.112	-0.075	-0.17	-0.728	-0.52	-1.06	-0.032

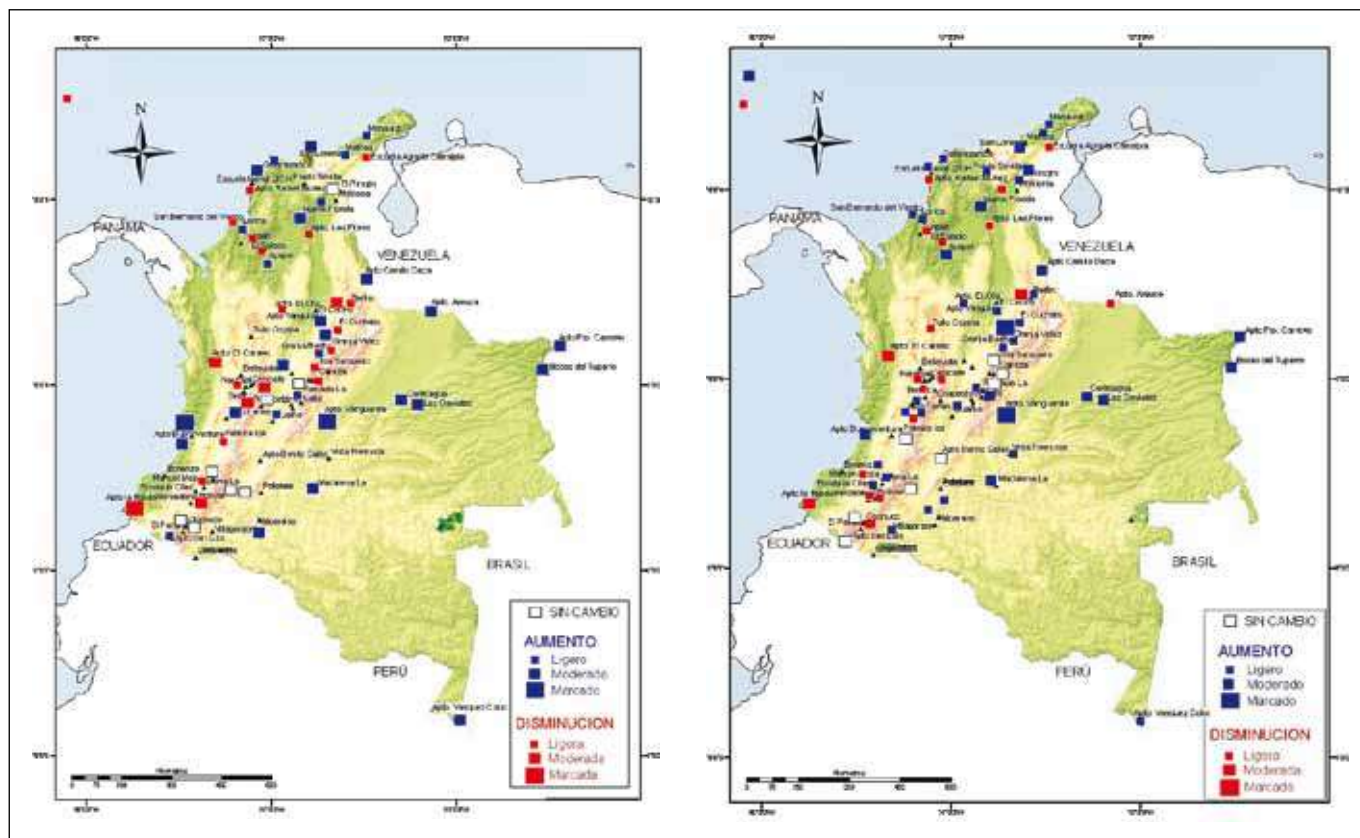


Figura 1. Distribución de las tendencias de la precipitación anual (izquierda) y de la frecuencia de los eventos de lluvia diaria superiores a 25 milímetros (derecha) en el territorio colombiano.

altiplano cundiboyacense, gran parte del eje cafetero, el Alto Cauca y Patía y la montaña nariñense.

El comportamiento de la frecuencia de los eventos extremos de precipitación se puede obtener a través de los datos de las columnas respectivas de la Tabla 1 y de la Figura 1 (derecha) en la que se visualiza la distribución espacial de las tendencias de los eventos de lluvia mayores a 25 milímetros. (Se toma este umbral porque corresponde a la intensidad de las tormentas frecuentes que con sus fenómenos asociados (crecientes, desbordamientos, inundaciones instantáneas) en ocasiones impactan de manera importante generando desastres en diferentes regiones del país). En la Figura 1 (derecha) aparece que los eventos con lluvias diarias superiores a 25 mm están siendo más frecuentes en la isla de Providencia, litoral Caribe central, La Guajira, todo el sector del piedemonte llanero y amazónico, litoral Pacífico central y alto Cauca. Llama la atención el piedemonte llanero y un sector del Magdalena medio, los que presentan un marcado aumento de la frecuencia de este tipo de eventos; estos mismos sectores se destacan también un aumento marcado en el volumen de

precipitación (Figura 1, izquierda). También es posible constatar que una disminución en la frecuencia de eventos de esta naturaleza se está registrando en sectores de la región Caribe, en el eje cafetero y la montaña antioqueña, altiplano nariñense, sector sur del litoral pacífico y en el Chocó.

En cuanto a cómo se está comportando la intensidad de las lluvias en 24 horas en diferentes partes del país, la columna “MÁXIMO ANUAL PRECIPIT/DIA” de la Tabla 1 permite apreciar que una tendencia generalizada a reducción de este tipo de eventos en la Sabana de Bogotá, Medio Cauca y Alto Nechi, Sinú, San Jorge, Bajo Nechí, Sierra Nevada de Santa Marta y cuenca del río Cesar y en el Pacífico Sur, aunque dentro de estas regiones aparecen puntos en los que la tendencia es la contraria (a aumento de la intensidad de los eventos). En el resto de regiones no es posible identificar una tendencia dominante: hay zonas con aumento y otras con disminución dentro de la misma región. Se destaca un considerable (al compararlo con las demás estaciones) aumento de la intensidad en el sector central del litoral Pacífico.

Tabla 2. Tendencias en diferentes índices asociados a la temperatura del aire en diferentes lugares del país

No	NOMBRE DE LA ESTACION CLIMATOLÓGICA	LONGD	LATD	ALTD	# DIAS CON HELADAS	# DIAS CON T>25°C	# DIAS CON T>20°C	# DIAS CON T>5°C (longitud dep periodo de crecimiento)	Máximo de las Tmx del mes (en °C/año)	Máximo de las Tmin del mes (en °C/año)	Mínimo de las Tmx del mes (en °C/año)	Mínimo de las Tmin del mes (en °C/año)	Amplitud del ciclo diario de la temperatura en °C
1	EL CARAÑO	-76,65	5,70	53	NA	0,05	0,09	0,04	0,05	-0,03	-0,07	0,00	0,00
2	EL SALADO	-75,58	8,92	40	NA	-0,01	0,97	0,01	-0,07	0,02	-0,12	0,13	-0,22
3	TURIPANA	-75,82	8,85	20	NA	0,06	-1,53	SD	SD	SD	SD	SD	SD
4	LORICA	-75,82	9,27	30	NA	-0,53	-0,37	0,00	-0,04	0,06	0,01	-0,03	-0,02
5	GALERAZAMBA	-75,27	10,78	7	NA	-0,24	0,21	-0,01	-0,01	0,07	0,07	0,23	0,01
6	APTO RAFAEL NUNEZ	-75,52	10,45	2	NA	0,01	-0,35	0,01	0,19	0,00	0,06	-0,03	0,03
7	APTO SIMON BOLIVAR	-74,23	11,13	4	NA	0,33	-0,01	0,01	-0,01	0,00	0,01	0,01	0,02
8	MATTAS	-73,05	11,25	20	NA	0,35	0,75	SD	SD	SD	SD	SD	SD
9	MANAURE	-72,45	11,77	1	NA	-1,23	12,33	SD	SD	SD	SD	SD	SD
10	ESCUELA AGRARIA CARRAIPA	-72,37	11,22	118	NA	-1,00	6,00	3,00	0,50	0,00	-0,20	0,20	0,08
11	APTO CAMILO DAZA	-72,52	7,93	250	NA	0,03	0,94	0,01	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01
12	APTO SESQUICENTENARIO	-81,72	12,58	1	NA	0,10	0,22	0,27	0,10	-0,02	0,00	0,07	0,05
13	APTO BENITO SALAS	-75,30	2,97	439	NA	0,06	0,25	0,02	0,03	-0,04	0,03	0,01	0,00
14	APTO SANTIAGO VILLA	-74,80	4,28	286	NA	0,00	0,16	0,03	0,01	0,01	-0,09	0,04	-0,03
15	TIBAITATA	-74,22	4,70	2543	-0,25	0,01	SD	-0,01	0,10	0,02	0,07	0,06	0,03
16	EL DORADO DIDACT ICA	-74,15	4,70	2546	-0,18	0,00	0,00	0,00	0,17	0,05	0,01	0,10	0,08
17	GRANJA SAN JORGE	-74,20	4,52	2900	0,00	NA	NA	0,04	0,03	-0,02	-0,08	0,00	-0,10
18	LA SELVA	-75,42	6,13	2090	NA	0,31	SD	-0,07	0,01	0,03	-0,01	0,16	-0,06
19	APTO. YARIGUES	-73,80	7,02	126	NA	0,03	-0,16	-0,01	-0,01	0,04	0,04	0,02	-0,01
20	EL CENTRO	-73,77	6,87	162	NA	-0,05	0,23	0,12	0,03	-0,11	0,06	0,11	0,00
21	APTO. EL OTU	-74,72	7,02	630	NA	0,83	-4,29	0,00	0,12	-0,02	0,05	-0,11	0,17
22	UIS	-73,10	7,13	1018	NA	1,39	4,45	0,09	-0,13	-0,12	0,26	0,10	-0,04
23	ISLA DEL SANTUARIO	-73,73	5,47	2580	0,00	-1,40	0,00	0,03	-0,03	0,02	0,05	-0,04	-0,14
24	EL CUCHARO	-73,22	6,52	975	NA	0,85	-0,51	-0,31	-0,08	-0,02	0,20	0,09	0,08
25	SURBATA BONZA	-73,07	5,82	2485	0,08	3,31	NA	NA	1,04	-0,03	-0,20	-0,04	0,35
26	APTO. BARACOA	-74,82	9,27	18	NA	0,50	0,13	NA	-0,50	-0,27	-0,10	0,00	-0,54
27	AYAPEL	-75,13	8,32	22	NA	0,02	-0,35	NA	0,18	0,01	0,20	-0,11	0,04
28	APTO GUILLERMO L. VALENCIA	-76,58	2,43	1730	NA	2,30	SD	-0,03	0,10	-0,01	0,02	0,05	-0,01
29	PALMIRA ICA	-76,32	3,52	975	NA	0,09	0,80	0,02	0,06	-0,02	-0,01	0,06	-0,05
30	APTO. FARFAN	-76,22	4,10	955	NA	0,48	-1,09	-0,06	0,14	-0,06	0,25	0,01	0,15
31	APTO. EL EDEN	-75,77	4,47	1204	NA	1,07	SD	0,03	-0,04	-0,01	-0,01	0,05	-0,06
32	APTO. MATECAÑA	-75,73	4,82	1342	NA	1,38	0,05	0,22	-0,02	0,02	0,06	0,13	-0,04
33	BELLAVISTA	-75,82	5,28	2000	NA	1,08	SD	-0,13	0,36	-0,12	0,13	-0,07	0,14
34	CAMELIA LA	-75,87	5,05	1670	NA	-18,50	SD	2,00	-0,61	-0,59	-0,07	-0,87	0,11
35	APTO. OLAYA HERRERA	-75,58	6,22	1490	NA	-0,07	0,14	-0,09	-0,06	0,06	0,02	0,15	-0,06
36	TULIO OSPINA	-75,55	6,32	1438	NA	1,45	0,01	0,29	0,02	0,05	0,04	0,01	-0,04
37	EL RINCON	-73,17	10,27	350	NA	-0,07	-8,57	0,04	0,10	-0,07	-0,12	-0,02	0,05
38	MOTILONIA CODAZZI	-73,25	10,00	180	NA	0,07	0,55	0,09	0,21	0,02	-0,15	0,03	-0,40
39	APTO. CORTISSOZ	-74,78	10,88	14	NA	0,17	-0,12	-0,08	0,08	0,02	-0,05	-0,03	0,16
40	LA MACARENA	-73,80	2,18	350	NA	0,67	6,59	-1,67	0,10	0,17	0,12	0,27	-0,31
41	CARIMAGUA	-71,37	4,58	200	NA	0,38	0,11	0,11	-0,04	-0,02	0,22	0,03	0,02
42	LAS GAVIOTAS	-70,93	4,55	171	NA	0,09	-0,75	-0,10	0,00	-0,08	0,04	-0,09	0,04
43	APTO.VANGUARDIA	-73,62	4,17	423	NA	0,14	0,76	-0,07	0,06	-0,01	0,05	0,02	0,04
44	NUEVO COLON	-73,45	5,35	2438	NA	3,78	0,03	0,01	-0,32	0,02	0,19	-0,01	0,02
45	HACIENDA LAS MARGARITAS	-72,17	4,35	150	NA	0,21	1,41	-1,00	0,04	0,10	0,07	0,22	-0,19
46	BERLIN	-72,87	7,18	3214	-0,35	0,12	NA	0,14	-0,29	0,04	0,06	-0,06	0,17
47	VILLAGARZON	-76,60	1,05	440	NA	6,43	6,81	-0,43	0,76	0,02	0,24	0,10	0,04
48	APTO. VASQUEZ COBO	-69,95	-4,15	84	NA	0,01	1,07	-0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	-0,02
49	FONDA LA CITEC	-77,05	2,15	580	NA	-0,74	-3,60	0,78	0,08	0,08	0,00	-0,02	0,08
50	BOLIVAR	-77,00	1,83	1510	NA	-1,41	0,36	0,00	0,06	0,10	0,04	0,08	-0,19
51	MERCADERES	-77,17	1,82	1174	NA	-0,52	-0,17	0,00	-0,03	-0,05	-0,06	0,09	-0,01
52	OBONUCO	-77,30	1,18	2710	0,00	0,12	NA	0,01	0,06	0,01	0,00	-0,03	0,03
53	APTO. ANTONIO NARIÑO	-77,28	1,40	1796	NA	1,50	-0,02	0,06	0,12	-0,11	0,04	0,04	0,04
54	APTO. SAN LUIS	-77,68	0,85	2961	0,04	-0,08	NA	-0,01	0,31	0,00	0,08	-0,02	0,06
55	PANAMERICANA	-77,40	6,22	4	NA	0,50	1,14	0,00	0,25	-0,14	0,20	-0,06	0,11

Estimados con P valores <0,06, Significancia estadística

SD - Sin Dato

NA - No aplica

En cuanto a los extremos relacionados con la temperatura del aire (Tabla 2) los aspectos más aplicables al territorio colombiano son los siguientes. Se puede apreciar que una disminución de la frecuencia de heladas (columna “# DE DIAS CON HELADAS” calculados solo para estaciones con temperaturas por encima de 2400 msnm); solo llama la atención el caso de Ipiales (estación del Aeropuerto de San Luis) en el Altiplano nariñense y una estación en el altiplano cundiboyacense (Surbatabonsa), donde el dato sugiere un incremento en el número de días con temperaturas por debajo de cero, no obstante la tendencia es tan pequeña, que podría descartarse.

Para las temperaturas máximas mayores de 25°C (las cuales pueden observarse en altitudes menores de 2500 msnm) dominan los valores positivos de tendencia de diferente magnitud en el número de días que ocurre el evento al año (columna SU25), aunque hay algunos lugares que muestran una disminución.

Para el número de eventos con temperaturas nocturnas por encima de 20°C (columna TR20), en las regiones (zonas por debajo de los 1500msnm) en donde se observan tales valores, no hay una tendencia en el sentido al aumento de la

frecuencia; se registra tendencias tanto positivas como negativas sin llegar a dominar uno de los signos.

Los valores extremos absolutos (máximas absolutas y mínimas absolutas representadas en las columnas correspondien-

tes de la Tabla 2) no se puede identificar un patrón de tendencia, excepto para el Altiplano cundiboyacense (Sabana de Bogotá, principalmente), la cuenca del Cesar y occidente de la Amazonía en donde la mayor parte de las estaciones muestran un incremento de los valores máximos.

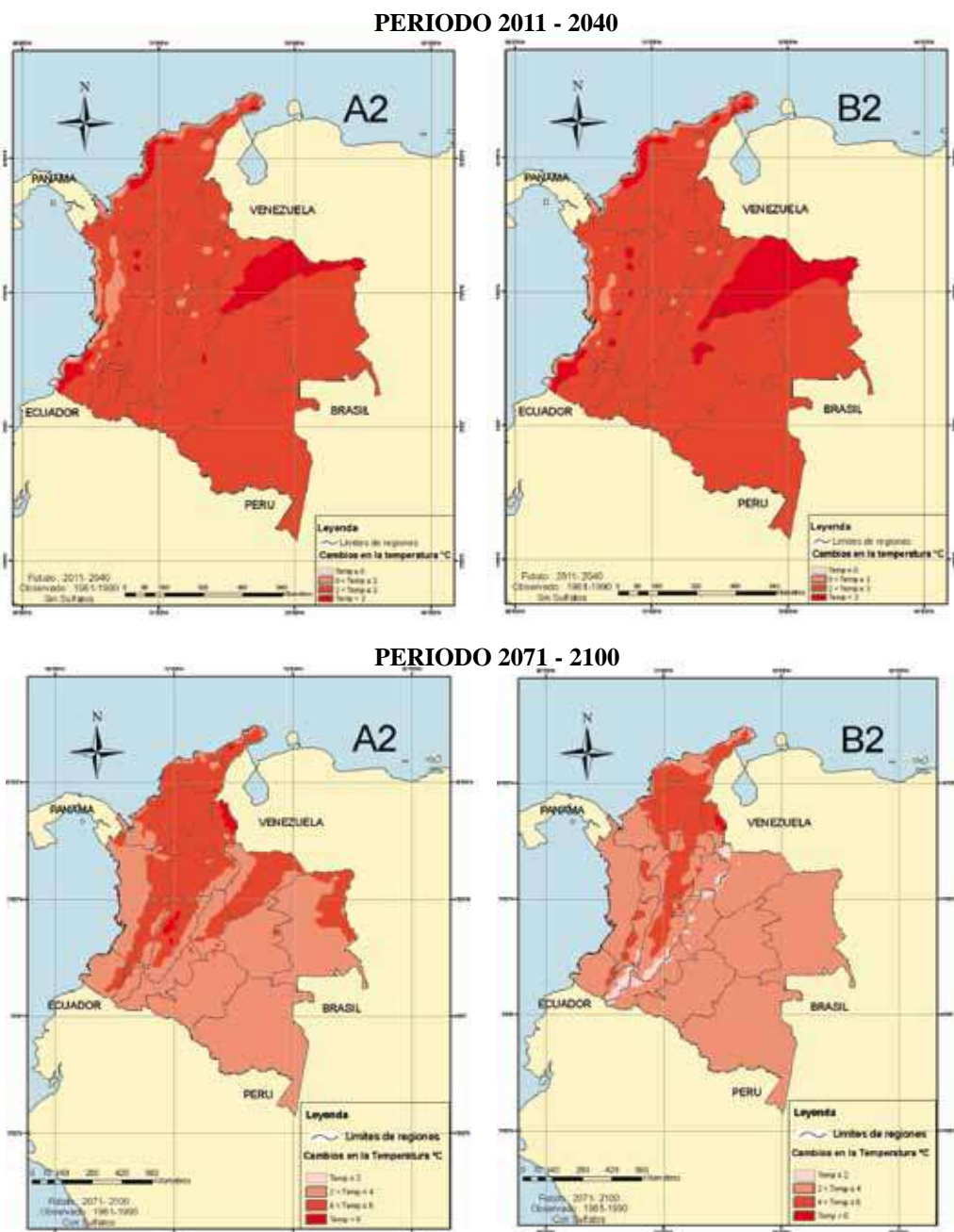


Figura 2. Cambios de la temperatura media del aire que se observarían en el período 2011-2040 (arriba) y 2071-2100 (abajo) en los escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha) del IPCC (2000). La magnitud de los cambios se ilustran con diversas intensidades desde el rosado al rojo intenso (este último es la máxima).

La tendencia en la amplitud del ciclo diario de temperatura se puede inferir a partir de la última columna a la derecha de la Tabla 2. Este índice igualmente no presenta una tendencia dominante: hay valores positivos y negativos en los cambios que se han venido dando en la misma y la magnitud de los de un signo son similares a los del opuesto. Así las cosas no es posible definir con certeza en que sentido está cambiando la amplitud del ciclo diario de la temperatura del aire.

Las posibles condiciones durante el siglo XXI

Los resultados de la elaboración de escenarios de cambio climático para los períodos 2011-2040 y 2071-2100 se presentan en las Figuras 2, 3 y 4, respectivamente para temperatura media anual del aire, humedad relativa y precipitación anual.

La distribución de los cambios de temperatura media anual del aire en el período 2011-2040 (Figura 2, arriba) muestran que en gran parte del territorio colombiano habría un incremento de hasta 3°C en relación con el período 1961-1990. Aunque en el primer decenio (2011-2020) habría sectores del país con cambios menores de los 2°C, en la medida como se avanza en el período los cambios llegan a 2-3°C y en algunos sectores del país son mayores de 3°C. Llama la atención que el calentamiento tiende a ser mayor en los valles del Magdalena y del Cauca, en la Orinoquia, un amplio sector de la Amazonía colombiana y el sector central del litoral Caribe, así como en el sur de la costa Pacífica.

En el período 2071-2100 (Figura 2, abajo), bajo el escenario A2, la temperatura media anual del aire presentaría aumentos drásticos (Figura 2, abajo izquierda). Si bien, en general el incremento de la temperatura es del orden de 2-4°C (color rosado) en la mayor parte del territorio colombiano, en el valle del Magdalena, valle del Cauca y en la región Caribe el aumento está entre 4 y 6°C (color rojo suave) y, a finales de siglo (en el último decenio), sobrepasaría los 5°C (área en rojo intenso). El calentamiento de los valles, que requiere de un análisis más profundo posteriormente, podría explicarse con el fortalecimiento que al efecto föhn daría el aumento del vapor de agua (humedad absoluta) en la atmósfera en un clima más cálido. En el escenario B2, el calentamiento que se observaría en el período 2071-2100 para la mayor parte de las regiones en el territorio colombiano estaría entre 2-4°C; también en este escenario las regiones localizadas en los valles del Magdalena y del Cauca experimentarían aumentos mayores a 6°C.

Los cambios en la humedad relativa están acordes con el calentamiento planteado por los escenarios de temperatura del aire: habría una disminución generalizada de la humedad relativa en todo el país. Así, para todo el período 2011-2040

(Figura 3, arriba) habría marcadas reducciones (de más del 10% en rojo, de 5% en rosado) en el sur de la costa Pacífica, en el litoral central del Caribe y en la Orinoquia. Como se puede observar, las mayores disminuciones ocurren en las regiones en donde el calentamiento es mayor, lo cual se explica por la particularidad de la relación de la humedad relativa con la temperatura del aire. Llama atención la marcada reducción de la humedad relativa en el sector sur de la región Pacífica colombiana. Ligeros incrementos (mayores de 2%) se registrarían en los piedemonte orientales y en sectores de la Cordillera Oriental, sobre las líneas costeras del Pacífico y del Caribe (excepto el litoral central), como también al Este de la Sierra Nevada de Santa Marta.

En el período 2071-2100 (Figura 3, abajo), bajo los escenarios A2 y B2 las máximas reducciones (más del 10%; expresadas en rojo) de la humedad relativa ocurrirían en los valles interandinos y en la región Caribe. Los cambios no serían tan marcados en la región Pacífica, ni en la Orinoquia y en la Amazonía. En estas dos últimas regiones, solo en el escenario A2 algunos sectores tendrían una disminución entre 5 y 10% de la humedad relativa.

Indistintamente del escenario (A2 o B2), la precipitación anual durante el período 2011-2040 (Figura 4, arriba) tendría un incremento mayor del 10% comparada con la que se observaba en el período 1961-1990 en todo un vasto territorio que cubre las regiones de la Orinoquia y de la Amazonia, el piedemonte amazónico y llanero, el Alto y Medio Magdalena, todo el Altiplano cundiboyacense, norte del Chocó, norte del Departamento del Cesar. Núcleos con incrementos mayores a 50% (color azul oscuro) se destacan en el piedemonte llanero, Sabana de Bogotá, parte alta del río Arauca, norte del Chocó y un sector al Este de la Sierra Nevada de Santa Marta. Por el contrario, durante este mismo período se observaría reducción (colores anaranjado y rojo) en la cuenca del río Cauca, en el Pacífico Sur y un sector centro-sur del Chocó, así como una amplia zona en la región Caribe. Las reducciones mayores de 50% (color rojo) se localizarían en una franja costera que bordea la costa de Nariño, Cauca, Valle del Cauca y sur de Chocó, todo el Litoral Caribe y la Península de La Guajira.

El análisis efectuado para los diversos decenios en el período 2011-2040 prácticamente muestra que no hay diferencias marcadas en este patrón de distribución de los cambios de la precipitación. Solo habría ligeras variaciones en el área de cubrimiento de tales cambios. No obstante, para la cuenca alta y media del río Magdalena se presentaría un incremento de la precipitación anual en 2011-2020 en los escenarios A2 y B2 y en 2021-2030 en el escenario B2. Aunque este aumento de la precipitación anual alcanzaría algunos secto-

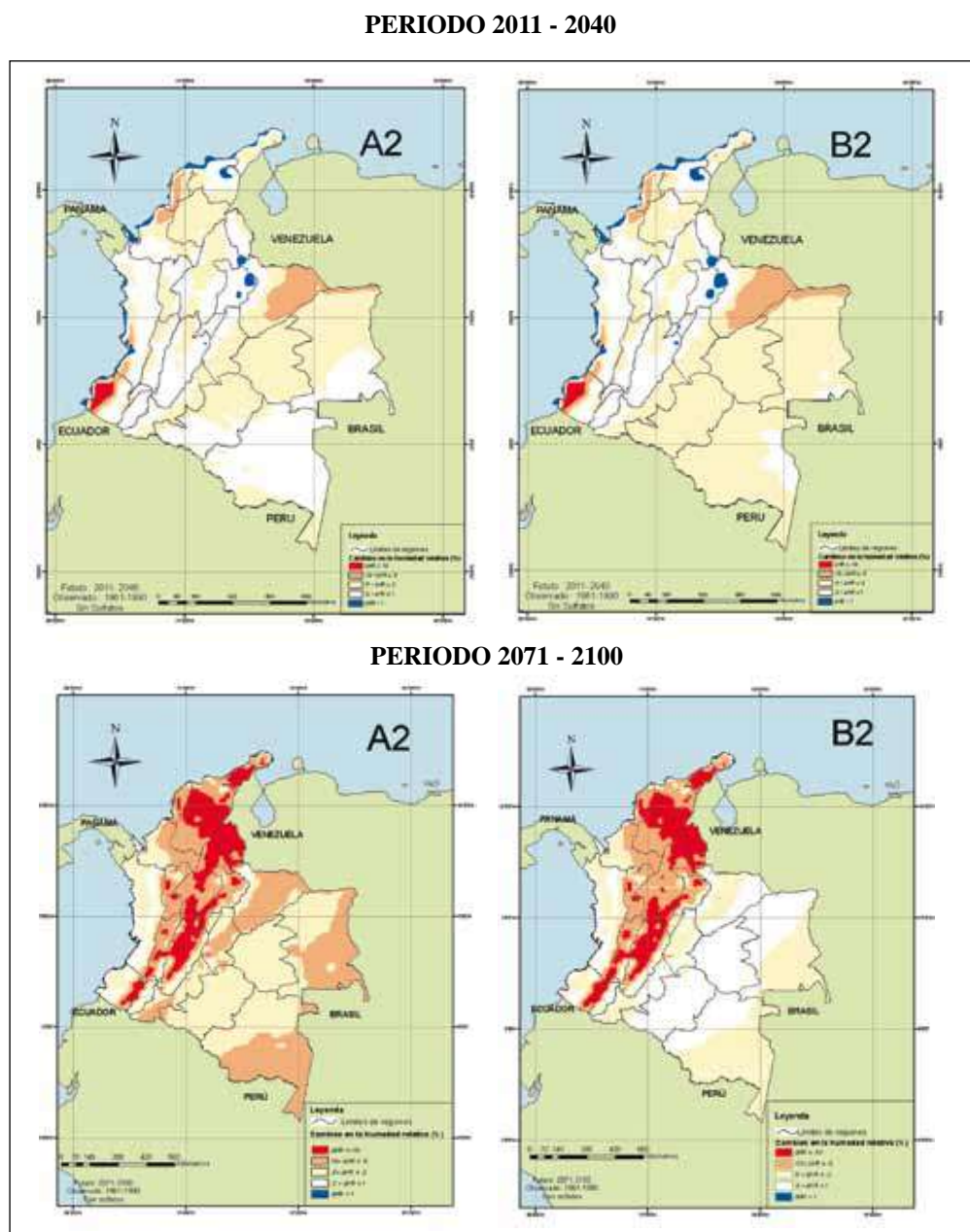


Figura 3. Cambios de la humedad relativa que se observarían en el período 2011-2040 (arriba) y 2071-2100 (abajo) con los escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha) del IPCC (2000). Los aumentos se señalan con diversas intensidades del color azul (el azul oscuro es la mayor); las disminuciones en rosado y tonos del rojo (este último es la máxima reducción).

res de la cuenca del río Cauca, esta durante las dos décadas tendría predominantemente disminución.

En la Figura 4 (abajo) los mapas de los cambios de precipitación correspondientes al período 2071-2100 sugieren que en los dos escenarios A2 y B2 las reducciones mayores del 30% en relación con los volúmenes anuales de 1961-1990 se ob-

servarían en la región interandina y Caribe (excepto el sector sur-occidental circundante el Golfo de Urabá). La reducción extrema (mas del 50%; presentados en rojo) se observaría en la parte andina de Nariño y Cauca, en Huila y Tolima, en el altiplano cundiboyacense, Norte de Santander, La Guajira y en sectores del Litoral Caribe central. Aumento de la precipitación ocurriría en la vertiente del Pacífico y en la Orino-

quía y Amazonía. Se destacan los sectores con incrementos mayores de 50% (núcleos en azul intenso) en el centro-norte de la costa Pacífica, en el Magdalena medio y en algunos pequeños núcleos en el piedemonte amazónico y llanero. En el escenario A2 el aumento de la precipitación en el área del Magdalena medio es más intenso y cubre mayor área en comparación con lo que ocurriría bajo el escenario B2.

En los escenarios de precipitación llama especialmente la atención los sectores en donde se presentaría aumentos: piedemonte llanero y amazónico, una amplia región del Magdalena medio y la vertiente del Pacífico.

El aumento de la precipitación en sectores de barlovento (piedemontes orientales, Magdalena medio y región Pa-

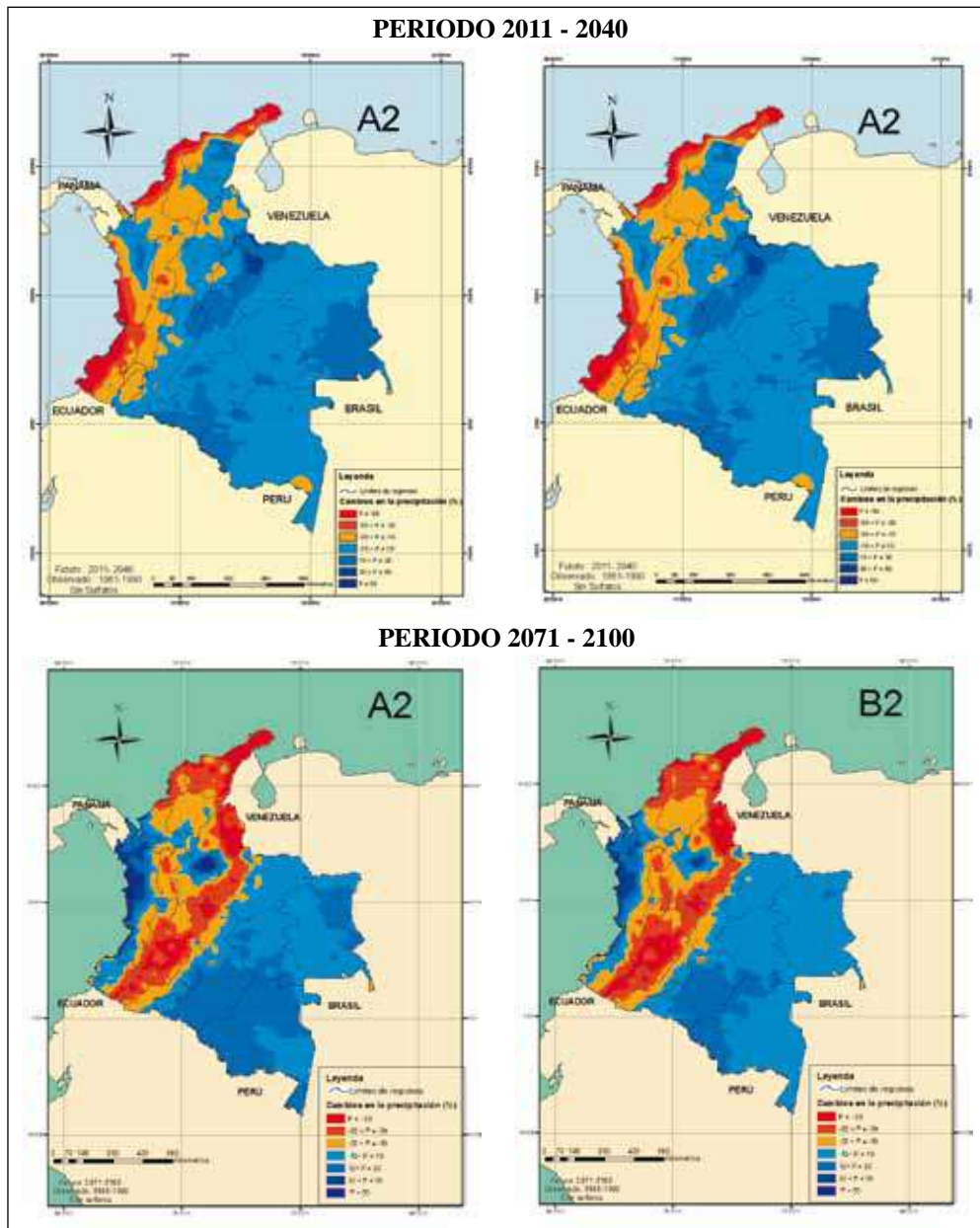


Figura 4. Cambios de la precipitación que se observarían en el período 2011-2040 (arriba) y 2071-2100 (abajo) en escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha) del IPCC (2000). Los aumentos están señalados en tonalidades del color azul (el azul oscuro es el mayor aumento); las disminuciones en anaranjado y rojo (este último es la máxima disminución)

cífica) y el mayor calentamiento en los valles a sotavento, estarían reforzando la hipótesis acerca de que una de los efectos regionales del cambio climático es el fortalecimiento del efecto föhn: en clima más cálido habría mayor humedad absoluta, que transportada a los piedemontes por la circulación regional (en el caso de Colombia, por los alisios) daría aumento de la precipitación en este sector e incremento de la temperatura de los valles interandinos. Esta particularidad estaría ocurriendo en otras regiones del planeta y podría explicar en parte la diferenciación espacial del calentamiento: unas regiones presentan mayor calentamiento. Habría que desarrollar un estudio especial orientado a corroborar o refutar esta hipótesis.

Conclusiones

Con base en la re-estimación de las tendencias de la temperatura media del aire, de precipitación y el análisis de eventos extremos de temperatura y de lluvia, realizadas para la segunda mitad del siglo XX en el territorio colombiano, se confirmaron las tendencias ya calculadas por otros autores y se obtuvieron nuevos resultados relacionados con eventos extremos.

Se corrobora que durante los últimos cincuenta años del siglo XX la temperatura media del aire ha registrado una tendencia general al aumento, el cual oscila entre 0,1-0,2°C. Se identificó una reducción del número de días con temperaturas iguales o menores de 0°C (heladas) en las zonas por encima de los 2500 metros sobre el nivel del mar; también se detectó un ligero aumento en la frecuencia de los días en los que se sobrepasan los valores de la temperatura máxima registrada en diferentes regiones; los valores máximos absolutos presentaron notable incremento en el Altiplano cundiboyacense (Sabana de Bogotá, principalmente), la cuenca del Cesar y occidente de la Amazonía. En el ciclo diario de la temperatura del aire no se identificó una tendencia definida.

La precipitación anual en la segunda mitad del siglo XX ha venido presentando cambios diferenciados por regiones así: reducción de diversa magnitud en el sector sur de la región Pacífica, en el sector andino de los departamentos de Nariño, Cauca, Valle, en el eje cafetero, en el altiplano cundiboyacense y los santanderes, sectores de la región Caribe; entre tanto, se ha venido incrementando en el trapecio amazónico y en la Orinoquía en general, en los pie de monte orientales (amazónico, llanero, cuenca alta del río Arauca y en el Catatumbo), en la vertiente del Pacífico del Departamento del Valle, en el Magdalena medio, sector central del litoral Caribe, sectores de los departamentos de Cesar; Magdalena, Bolívar y Sucre. Aunque la longitud (en días) de los períodos secos ha tenido cambios, estos últimos son relativamente peque-

ños (en general no sobrepasan un día más o de menos) y no señalan una tendencia clara a la prolongación o acortamiento de los mismos. La frecuencia de los eventos superiores a 25 milímetros/día se ha venido incrementando en los pie de monte orientales, en la Orinoquía y Trapecio amazónico, en sectores del Valle, del altiplano cundiboyacense, del Magdalena medio y de la región Caribe; dicha frecuencia ha venido disminuyendo en el suroccidente (Departamento de Nariño), Eje cafetero, Chocó y Antioquia y en algunas zonas de la región Caribe.

En lo que se refiere a las condiciones climáticas a finales del siglo XXI, los escenarios sugieren que el calentamiento sobre el territorio colombiano sería paulatino con incrementos de la temperatura media del aire de 2-3° entre 2011-2040 y de 3 y 4°C hacia 2071-2100; tal calentamiento sería más marcado en los valles del Magdalena y del Cauca. En esta versión de los escenarios la precipitación registra reducciones en la parte interandina, y en la región Caribe, y aumentos en la región Pacífica, en los piedemonte orientales y en un sector sobre el sur de Bolívar, Sucre y Magdalena Medio.

La configuración espacial de los cambios de la temperatura del aire y de la precipitación (mayor precipitación en sectores de barlovento y mayor calentamiento en los valles interandinos que están a sotavento) sugieren un fortalecimiento del efecto föhn, lo que da una particularidad a la expresión regional del cambio climático global.

Reconocimientos

El presente trabajo se realizó en el contexto de la línea de cambio climático que desarrolla el grupo de investigación "Tiempo, clima y sociedad" del Departamento de Geografía (Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia), lo que ha sido posible gracias al apoyo de diversas instituciones y proyectos. Parte del componente de escenarios de cambio climático se realizó en el marco del proyecto "Perspectivas Culturales y Locales sobre el clima en Colombia", el cual ha sido apoyado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS) mediante Contrato RC 297-2011 con la Universidad Nacional de Colombia; dicho proyecto se ha desarrollado junto con el grupo de investigación "Cultura y Ambiente" de la misma universidad. Se reconoce y agradece igualmente el apoyo de diferentes instituciones como la Universidad Nacional de Colombia (División de Investigación de la Sede Bogotá - DIB; la Vicedecanatura de Investigación y Extensión de la Facultad de Ciencias Humanas), el Instituto de Hidrología; Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima), entre otras.

Un reconocimiento especial y el más sentido agradecimiento para Yenny Viviana Sánchez Alcalá, Germán Torres Soler y Guillermo Armenta. Germán Torres apoyó el análisis estadístico de los datos de observaciones; Guillermo Armenta se ocupó de la implantación, mantenimiento y operación del sistema PRECIS; Yenny Sánchez se encargó de la espacialización de las variables climatológicas para la elaboración de los mapas correspondientes.

Referencia Bibliográficas

- Acevedo L.A.**, 2009: Estimación hidrológica bajo escenarios de cambio climático en Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, p. (Consultado en <http://www.bdigital.unal.edu.co/2178/>).
- Acevedo L.A., Poveda G.**, 2011: Construcción y análisis de curvas intensidad-frecuencia-duración (idf), bajo escenarios de cambio climático en Colombia. *Revista Colombia Amazónica*, No. 3, pp. 11-30.
- Alexander L.V., Hope P., Collins D., Trewin B., Lynch A., Nicholls N.**, 2007: Trends in Australia's climate means and extremes: a global context. *Aust. Met. Mag.*, 56, pp.1-18.
- Alves L.M., Marengo J.**, 2009: Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 100, pp. 337-350.
- Ángel L., Ramírez A., Domínguez E.**, 2009: Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, v. 34(131), pp. 173-183
- Benavides H., Mayorga R., Hurtado G.**, 2007. Análisis de índices de extremos climáticos para Colombia usando el Rclimdex. *Nota Técnica del IDEAM*. No. METEO/007-2007. Bogotá D.C., 28 p.
- Bernal N.R., Martínez J., Pabón J.D.**, 2001: El método de reducción de escala estadístico aplicado a estudios de cambio climático. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 73-76.
- Ceballos J.L., Euscatogui C., Ramírez J., Cañón M., Huggel C., Haerberli W., Machguth H.**, 2006: Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia. *Annals of Glaciology*, v.43 (1), pp.194-201.
- Dueñas H.**, 1992: The Paleo ENSO record in the Lower Magdalena basin, Colombia. En: Ortlieb L., Macharé J. (Eds): *Paleo ENSO Records Internat. Symp., Extended Abstracts*. Lima. pp. 81-85.
- Eslava J.A., Pabón J.D.**, 2001: Proyecto "Proyecciones climáticas e impactos socioeconómicos del cambio climático en Colombia". *Meteorología Colombiana*, N° 3, pp. 1-8.
- Florez A.**, 1992a: Los glaciares residuales de Colombia. *Enfoque histórico y geosituación actual*. *Zenit*, N° 3, pp 35-45
- Florez A.**, 1992b: Los nevados de Colombia. *Glaciares y glaciaciones. Análisis Geográficos IGAC*, Bogotá, N° 22, 95 p.
- Gonzalez-Rouco F.J., Fernandez-Donado L., Raible C.C., Barriopedro D., Luterbacher J., Jungclaus J.H., Swingedouw D., Servonnat J., Zorita E., Wagner S., Ammann C.M.**, 2011: Medieval Climate Anomaly to Little Ice Age transition as simulated by current climate models. *PAGES News*, v. 19(1), pp.7-8
- González E.T., van der Hammen T., Flint R.F.**, 1965: Late Quaternary Glacial Vegetational Sequence in Valle de Lagunilla, Sierra Nevada del Cocuy, Colombia. *Leides Geol.*, 32, pp. 157-182.
- Hooghiemstra H.**, 1984: Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogotá, Colombia: A continuous record of the last 3.5 million years. En T. van der Hammen (Edt.), 1984: *The Quaternary of Colombia*, 10, CRAMER, 368 p.
- Hooghiemstra H., Ran E.T.H.**, 1994: The Pliocene and Quaternary of the high plain of Bogotá (Colombia): An overview of climatic change. *Quaternary International*, 21, pp. 63-80.
- Haylock et al.**, 2006: Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *J. of Climate*, 19, pp. 1490-1512.
- Huggel C., Ceballos J.L., Pulgarín B., Ramírez J., Thouret J.C.**, 2007: Review and reassessment of hazards owing to volcano-glacier interactions in Colombia. *Annals of Glaciology*, 45, pp. 128-136.
- Hulme, M. y Sheard, N.**, 1999 *Escenarios de Cambio Climático para Países de los Andes del Norte*, Unidad de Investigación Climática, Norwich, Reino Unido, 6pp.
- IDEAM-MINAMBIENTE-PNUD, 2001: Colombia, Primera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá D.C, 307 páginas.
- IPCC-TGCI, 1999: Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 1. Prepared by Carter, T.R., M. Hulme, and M. Lal (with contributions of X. Dai, P. Desanker, F. Giorgi, L.J. Mata, L.O. Mearns, J.F.B. Mitchell, T. Morita, R. Moss, D. Murdiyarso, J.D. Pabon-Caicedo, M.L. Parry, R.J. Scholes and P.H. Whetton). Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69pp.
- IPCC, 2000: Special Report on Emissions Scenarios. Edited by N. Nakicenovic and R. Swart. / Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NJ, USA.
- IPCC, 2007a: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC, 2007b: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- Jones R.G., Noguer M., Hassell D.C., Hudson D., Wilson S.S., Jenkins G.J., Mitchell J.F.B.**, 2004: Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40pp.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D.**, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. of American Meteor. Soc.*, v.77, No.3, pp. 437-471.
- León G.E.**, 2000a: Tendencia de la temperatura del aire en Colombia. *Meteorología Colombiana*, N. 2, pp. 57-65.
- León G.E.**, 2000b: Variabilidad y tendencia de la temperatura del aire en las cuatro ciudades principales de Colombia. *Meteorología Colombiana*, No. 2, pp. 81-86.
- Lozano J.A., Pabón J.D.**, (Eds) 1995: *Memorias del Seminario Taller sobre Alta Montaña Colombiana*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Memorias, No. 3, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá D. C. 114 p.
- Lozano J.A., León G.E., Pabón J.D.**, (Eds) 1996: *Memorias del Primer Seminario Nacional sobre Cambio Climático* (Santa Fe de Bogotá, 3 y 4 de marzo de 1994). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Santa Fe de Bogotá, D.C. 133 p.
- Mann M.E.**, 2002: The Little Ice Age. In: *Encyclopedia of the Global Environmental Change*, volume I, "The Earth system: physical and che-

- mical dimensions of global environmental change", John Willey & Sons, Chichester. pp 504-509.
- Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., Ni F.,** 2009: Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, v.326, pp. 1256-1260.
- MAVDT-IDEAM-PNUD, 2010: Segunda Comunicación de Colombia ante la Convención Marco de Cambio Climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 443 p.
- Mearns L.O., Giorgi F., Whetton P., Pabon J.D., Hulme M., Lal M.,** 2003: Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 38pp.
- Mesa O.J., Poveda G., Carvajal L.F.,** 1997: Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín, 390 p.
- Molina A., Bernal N.R., Pabón J.D., Martínez J., Vega E.,** 2000: Reducción de escala estadístico aplicado a datos del CCM3 para generar datos de temperatura del aire en superficie. *Meteorología Colombiana*, N° 2, pp. 95-100.
- Molina A., Bernal N.R., Vega E E., Martínez J., Pabón J.D.,** 2003: Cambios en la temperatura del aire en Colombia bajo un escenario de duplicación de dióxido de carbono. *Meteorología Colombiana*, No.7. Marzo de 2003, pp. 21-35.
- Mulligan M.,** 2000: Downscaled Climate Change Scenarios for Colombia and their Hydrological Consequences. *Advances in Environmental Monitoring and Modeling*, Vol. 1, No. 1, pp.3-35.
- Nakaegawa T., Vergara W.,** 2010: First Projection of Climatological Mean River Discharges in the Magdalena River Basin, Colombia, in a Changing Climate during the 21st Century. *Hydrological Research Letter*, 4, pp. 50-54.
- New M., Hewitson B, Stephenson D.B, Tsiga A., Kruger A., Manhique A, Gomez B., Coelho C.A.S., Masisi D.N., Kululanga E., Mbalalala E., Adesina F., Saleh H., Kanyanga J., Adosi J., Bulane L., Fortunata L, Mdoka M.L., Lajoie R.,** 2005: Evidence of trends in daily climate extremes over Southern and West Africa, *Journal of Geophysical Research*. 111 (D14) doi:10.1029/2005JD006289
- Pabón J.D.,** 1995a: Búsqueda de Series de Referencia para el Seguimiento de la Señal Regional del Calentamiento Global". *Cuadernos de Geografía*, v.V., pp. 164-173.
- Pabón, J. D.** 1995b. Aspectos globales y regionales del cambio climático y su impacto en la alta montaña colombiana. En: *Memorias del Seminario Taller sobre Alta Montaña Colombiana (Santa Fe de Bogotá, octubre de 1993)*. Colección Memorias No. 3, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá D. C. p. 19-32.
- Pabón, J.D., Pulido S.I., Jaramillo O., Chaparro J.A.,** 1998: Análisis Preliminar de la Isla de Calor en la Sabana de Bogotá. *Cuadernos de Geografía*, v. VII, No. 1-2, pp.87-93.
- Pabón J.D., Cárdenas L., Kholostyakov R., Calderón A.F., Bernal N., Ruiz F.,** 2001a: Escenarios climáticos para el siglo XXI sobre el territorio colombiano. Informe Técnico Interno del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, D.C., Colombia.
- Pabón J.D., Eslava J.A., Pelkowski J., Montoya G.J., Vega E.E.,** 2001b: Resultados de la simulación del clima por CCM3. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 61-64.
- Pabón J.D., Eslava J.A., Vega E.E.,** 2001c: Comparación entre los climas simulados por los modelos CCM3 y CSM1. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 25-37.
- Pabón J.D., Eslava J.A., Pelkowski J., Montoya G.J., Vega E.E.,** 2001d: Resultados de la simulación del clima por CCM3. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 61-64.
- Pabón J.D., Martínez J., Bernal N.R., Molina A., Vega E.E.,** 2001e: Aspectos metodológicos del método de reducción de escala. *Meteorología Colombiana*. No. 4, pp. 65-72.
- Pabón J.D.,** 2003a: El aumento del nivel del mar en las costas y área insular de Colombia. En: *El Mundo marino de Colombia investigación y desarrollo de territorios olvidados Red de Estudios del Mundo Marino – REMAR*, Universidad Nacional de Colombia, pp.75-82.
- Pabón J.D.,** 2003b: El cambio climático global y su manifestación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*, v XII (1-2), pp. 111-119
- Pabón J.D.,** 2011: El cambio climático en la región de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá D.C., 128 páginas.
- Pabón J.D., Hurtado G.,** 2002 : Cambios en los patrones de temperatura media anual del aire y precipitación anual en los páramos de Colombia. En: *Páramos y Ecosistemas Alto Andinos de Colombia en Condiciones HotSpot & Global Climatic Tensor*. (Castaño-Uribe C (Editor), 2002, Bogotá D.C., 387 páginas; pp. 242-251.
- Pabón J.D., Lozano J.A.,** 2005: Aspectos relacionados con las estimaciones globales y regionales del ascenso del nivel del mar y su aplicación a Colombia. *Cuadernos de Geografía*, No. 14, pp. 97-106.
- Pabón J.D.,** 2006: Escenarios de cambio climático para Colombia. En: *Memorias del IV Encuentro de la Red de Universidades del Pacífico Sur (RUPSUR)*, 8-10 de noviembre de 2006.
- Pabón J.D.,** 2007: El cambio climático en Colombia. Tendencias actuales y proyecciones para el siglo XXI. En: *Memorias de la Primera Conferencia Internacional de Cambio Climático: Impacto en los Sistemas de Alta Montaña*. IDEAM-Universidad de Zurich. Bogotá D.C.-Zurich, pp.31-48.
- Pabón J.D.,** 2008: Escenarios de cambio climático para 24 regiones de Colombia. Informe presentado en el marco del proyecto Integrated National Adaptation Pilot (INAP). Conservación Internacional – Departamento de Geografía (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá D.C., 15 páginas.
- Peña A.J., Arce B.A., Ayarza M.A., Lascano C.E.,** 2010: Simulación de los requerimientos hídricos de pasturas en un escenario de cambios climáticos generados con análisis espectral singular. *Acta Agronómica*, No.59 (1), pp. 1-8.
- Pérez C.A., Poveda G., Mesa O.J., Carvajal L.F., Ochoa A.,** 1998: Evidencias de cambio climático en Colombia: Tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual. *Bulletin de l'Institute Francais d'Études Andines*. 27 (3), pp. 537-546.
- Perico-Agudelo D.,** 2009: El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 2 (4), pp. 278-301.
- Poveda E.A.,** 2008: Efecto del proceso de urbanización en el clima de Bogotá durante el período 1960-2000. Trabajo de Grado. Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia, 55 p.
- Poveda G.,** 2009: Evidences of climate and environmental change on water resources and malaria in Colombia, *IOP Conf. Series, Earth Environ. Sci.*, 6, 292054, doi:10.1088/1755-1307/6/9/292054, online available at : <http://www.iop.org/EJ/toc/1755-1315/6/29>
- Poveda G., Pineda K.,** 2009: Reassessment of Colombia's tropical glacier's retreat rates: are they bound to disappear during the 2010-2020 decade? *Advances in Geosciences*, v.22, pp.107-116.

- Quintana-Gómez R.A.**, 1999: Trends of Maximum and minimum Temperatures in Northern South America. *Journal of Climate*, v. 12 (6), pp. 2104-2112.
- Rangel E.S., Montealegre J.E.**, 2003: Análisis de las series del nivel del mar en el Pacífico colombiano y su relación con el cambio climático. *Meteorología Colombiana*, No.7, pp. 53-66.
- Reuter J., Stott L., Khider D., Sinha A., Cheng H., Edwards R.L.**, 2009: A new perspective on the hydroclimate variability in northern South America during the Little Ice Age. *Geophysical Research Letters*, 36 (21): L21706 DOI: 10.1029/2009GL041051.
- Rodríguez-Becerra M., Mance H.**, 2009: Cambio climático: lo que está en juego. Fondo Nacional Ambiental. Bogotá D.C., 73 p.
- Rodríguez N., Pabón J.D., Bernal N., Martínez J.**, 2010: Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt – Universidad Nacional de Colombia – Colciencias. Bogotá D.C., 80 páginas.
- Ruiz F., Martínez M.C.**, 2007: Report on Activities Performed in MRI-Japan to Simulate Climate in Colombia and the A1B Scenario with the Japanese Model using a Resolution of 20 x 20 Km. Visualizing Future Climate in Latin America: Results from the application of the Earth Simulator. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 30, pp. 43-59.
- Ruiz F.**, 2010: Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). Nota Técnica de IDEAM, No. IDEAM-METEO/005-2010, Bogotá D.C., 91 páginas
- Tellez-Guío P., Boshell J.F., Zea J.A.**, 2001: Proyecciones en los cambios del balance hídrico en Colombia bajo alteraciones en el contenido del dióxido de carbono. *Meteorología Colombiana*, No. 4, pp. 87-102.
- Uppala S.M., Kållberg P.W., Simmons A.J., Andrae U., da Costa Bechtold V., Fiorino M., Gibson J.K., Haseler J., Hernandez A., Kelly G.A., Li X., Onogi K., Saarinen S., Sokka N., Allan R.P., Andersson E., Arpe K., Balmaseda M.A., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Caires S., Chevallier F., Dethof A., Dragosavac M., Fisher M., Fuentes M., Hagemann S., Hólm E., Hoskins B.J., Isaksen I., Janssen P.A.E.M., Jenne R., McNally A.P., Mahfouf J.-F., Morcrette J.-J., Rayner N.A., Saunders R.W., Simon P., Sterl A., Trenberth K.E., Untch A., Vasiljevic D., Viterbo P., Woollen J.** 2005: The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, 2961-3012.
- Vincent L.A., Peterson T.C., Barros V.R., Rusticucci M., Marino M.B., Carrasco G., Ramirez E., Alves L.M., Marengo J., Ambrizzi T., Berlato M.A., Grimm A.M., Molion L., Moncunill D.F., Rebello E., Anunciacao Y.M.T., Quintana J., Santos J.L., Baez J., Coronel G., García J., Trebejo I., Bidegain M., Haylock M.R., Karoly D.**, 2005: Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. *J. of Climate*, 18, pp. 5011-5023.
- Van der Hammen T.**, 1985: The Pleistocene climatic record of the tropical Andes. *J. Geol. Soc. London*, 142 pp. 483-489.
- Van der Hammen T.**, 1986: Fluctuaciones holocénicas del nivel de inundaciones en la cuenca del Bajo Magdalena-Cauca-San Jorge (Colombia). *En Geología Norandina*, 10, Bogotá, pp. 11-18.
- Van der Hammen T. & Gonzales E.**, 1963: Historia del clima y vegetación del Pleistoceno superior y del Holoceno de la Sabana de Bogotá. *Bol. Geol.* 11(1-3) 189-266, SGN.
- Van der Hammen T. & Gonzales E.**, 1964: A pollen diagram from the Quaternary of the Sabana de Bogotá (The Tilatá and Sabana formations). *Geologie en Mijnbouw*, 45, pp. 102-109.
- Van der Hammen T., Barends J., de Jong H., de Veer A.A.**, 1981: Glacial sequence and environmental history in the Sierra Nevada del Cocuy (Colombia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 32, pp. 247-340.
- Van der Hammen T., Ortiz-Troncoso O.R.**, 1992: Arqueología y medio ambiente en Suramérica septentrional. In *Archaeology and Environment in Latin America*, pp. 9-24 (O.R. Ortiz-Troncoso and Th. van der Hammen, Eds) Proceedings of a symposium held at the 46th International Congress of Americanists Amsterdam July 4-8, 1988, 304 p.
- Van der Hammen T., Pabón J.D., Gutierrez H., Alarcón J.C.**, 2002: El cambio global y los ecosistemas de montaña de Colombia, En: *Parámos y Ecosistemas Andinos de Colombia en Condición de HotSpot & Global Climatic Tensor* (Castaño C., (Editor), IDEAM, Bogotá DC, 387 p), pp. 163-209.
- Van der Hammen T., Urrego L.E., Espejo N., Duivenvoorden J.F., Lips J.M.**, 1992: Late glacial and Holocene sedimentation and fluctuations of river water level in the Caqueta area (Colombian Amazonia). *Journal of Quaternary Science*, 7, pp. 57-67.
- Van der Hammen T. & Hooghiemstra H.**, 1995: The El Abra Stadial, a Younger Dryas Equivalent in Colombia. *Quaternary Science Reviews*, 14, pp. 841-851.
- Van der Hammen T. & Hooghiemstra H.**, 1997: Chronostratigraphy and correlation of the Pliocene and Quaternary of Colombia. *Quaternary International*, v. 40, pp. 81-91.
- Van der Hammen T. & Cleef M.**, 1992: Holocene Changes of Rainfall and River Discharge in Northern South America and the El Niño Phenomenon. *Erdkunde*, 46, pp. 252-
- Van Geel B. & van der Hammen T.**, 1983: Upper Quaternary vegetational and climatic sequence of the Fuquene area (Eastern cordillera, Colombia). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 14, pp. 9-92.
- Van't Veer R, Islebe GA, Hooghiemstra H.** 2000. Climate change during the Younger Dryas chron in northern South America: a test of the evidence. *Quaternary Science Reviews* 19: 1821–1835.
- Wijmstra T.A.**, 1967: A pollen Diagram from the Upper Holocen of the Lower Magdalena Valley. *Leidse Geologische Mededelingen*, 39, pp. 261-267.
- Wilson M.F., Henderson-Sellers A.**, 1985: A global archive of land cover and soils data for use in general circulation climate models. *Journal of Climatology*, 5, pp119-143
- WMO, 2009: Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing in Support of Informed Decisions for Adaptation. Climate data and monitoring. WCDMP No. 72. Geneva – Switzerland, 52 p.
- Zhang X., Yang F.**, 2004: R Climdex (1.0) User Manual. Climate Research Branch of Meteorological Service of Canada 23 p.

Recibido: 5 de febrero de 2012

Aceptado para publicación: 5 de junio de 2012

TRANSFERENCIA DE OXÍGENO FOTOESTIMULADA CON COMPLEJOS DE MO (DIOXO) ANCLADOS EN TiO₂*

Edgar Alberto Paez Mozo**

RESUMEN

Paez Mozo E. A.: Transferencia de oxígeno fotoestimulada con complejos de Mo (dioxo) anclados en TiO₂. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 279-286, 2012. ISSN 0370-3908.

En este trabajo se presenta la formación de un sistema verde bioinspirado para la Transferencia de Oxígeno (TAO). Se estudió la TAO a Pφ₃ y etilbenceno empleando oxígeno molecular y luz UV-Vis, el catalizador consiste en complejos del tipo [Mo(=O)₂L], L=bipiridil (bipi), bipirazolil (bpz) anclados sobre TiO₂. La TAO se estimula por una corriente electrónica, generada por acción de radiación UV-visible sobre TiO₂, que es transferida a la unidad Mo=O para propiciar la TAO. La contribución del anión superóxido O₂⁻, formado por reacción de los e⁻ fotogenerados con el O₂, parece jugar un papel importante en la regeneración del centro activo Mo(=O)₂ ya que en ausencia de luz la TAO solo es estequiométrica.

Se observó que aunque el complejo bipirazolil es un buen agente en la TAO, debido a su propiedad donadora de electrones, el sistema es pobre en la activación de Oxígeno debido a su labilidad a la lixiviación en medio orgánico, para este efecto se obtiene un mejor balance con el ligando Bipi. Con estos sistemas se abre una perspectiva para el desarrollo de procesos verdes para la oxidación selectiva de compuestos orgánicos.

Palabras clave: Dioxígeno, Complejos dioxoMolibdeno, Transferencia Átomos de Oxígeno, Catalizadores Anclados sobre Titania.

ABSTRACT

In this paper, the formation of an Oxygen Transfer (OAT) green bioinspired system was developed. The OAT to Pφ₃ and ethylbenzene, using molecular oxygen and UV-Vis light is reported. The catalyst consists of complexes of the type [Mo(=O)₂L], L=bipyriyl(bipi), lbipyrazolyl(bpz) bound to TiO₂. The OAT is stimulated by an electron current, generated by the action of UV-visible light on TiO₂, which is transferred to the Mo = O unit

* Este trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones en Catálisis (CICAT) UIS, financiado por COLCIENCIAS con la participación de Carlos Alberto Páez M., Nelson Jair Castellanos M., estudiantes de doctorado en Química, Oscar Lozada estudiante de pregrado en Química, el doctor Fernando Martínez Ortega, professor Titular de la Escuela de Química de la UIS y del professor Henri Arzoumanian, professor Emérito Universidad Paul Cezanne de Marsella, Francia.

** Profesor Emérito, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia, edgarpaezmozo@gmail.com

to promote the OAT. The contribution of the superoxide anion O_2^- , formed by the action of the e-photogenerated with O_2 , seems to play an important role in regenerating the $Mo(=O)_2$ active center since in the absence of light OAT is stoichiometric.

Although the bipirazolyl is a good OAT agent due to its electron donating property, the system is poor in the activation of oxygen due to its organic media leaching lability, with the ligand Bipi a better balance is obtained. These systems offer a good opportunity to develop green processes for selective oxidation of organic compounds.

Key words: Dyoxygen, DioxoMolibdenum Complexes, Oxyen Atom Transfer, Titania Anchored Catalysts.

Introducción

La formación directa de compuestos orgánicos oxigenados, empleando oxígeno molecular, reviste una importancia enorme pues es la esencia misma de numerosas transformaciones biológicas y químicas. La transferencia de oxígeno hacia un compuesto orgánico es una operación muy delicada, que en la naturaleza es realizada en condiciones ambientales de temperatura, presión y de manera muy selectiva por las enzimas (oxotransferasas e hidroxilasas) [1,2].

En el proceso de transferencia de O, aquellas enzimas que tienen un centro mononuclear de molibdeno en su sitio activo, son de particular interés. Las oxotransferasas de molibdeno, durante el proceso TAO su centro activo alterna entre la unidad $Mo(VI)O_2$ y el $Mo(IV)O$ [3], lo mismo se ha observado con catalizadores bioinspirados con complejos sencillos de Mo [4,5]. Por lo anterior se hace muy importante estudiar los factores que facilitan la donación selectiva del oxígeno.

Se ha observado que la transferencia de Átomo de Oxígeno (TAO) en solución, se facilita tanto electrónicamente como energéticamente por la presencia de un grupo oxo “espectador vecino” [6] capaz de donar carga electrónica al centro activo, es decir de transferir densidad electrónica a la unidad $Mo=O$. La transferencia electrónica (TE) hacia el centro activo del donador de Oxígeno es un factor clave en los procesos de TAO.

Cuando se emplea O_2 en los procesos de TAO se requiere de la activación reductiva del oxígeno, para lo cual es necesaria la presencia de electrones y de H^+ . En un sistema bioinspirado una corriente de electrones puede generarse, entre otros medios, a partir de un Donor foto-excitado como: TiO_2 , Porfirinas, Ftalocianinas u otras moléculas con niveles de energía accesibles y apropiados para favorecer termodinámicamente la Transferencia de Electrones hacia un Aceptor.

En este trabajo se describe la formación de un sistema bioinspirado conformado por complejos de MoO_2L ($L =$ Bipiridil, bipirazolil) anclados sobre TiO_2 que en presencia de luz UV-Vis, permite la transferencia de oxígeno hacia moléculas orgánicas, empleando O_2 en condiciones ambientales.

La transferencia de oxígeno

En las oxotransferasas y en algunos catalizadores sintéticos de Mo (y W), se ha mostrado que la unidad $Mo^{VI}(=O)$ es la responsable de la Transferencia de Átomo de Oxígeno. Se ha propuesto que la TAO en solución tiene lugar después de un ataque nucleofílico de un sustrato (como la tri-fenilfosfina, $:P\phi_3$) sobre el orbital π^* de uno de los grupos $Mo=O$ reduciendo el metal [3, 7-9]. Se cree que la fosfina se aproxima a la unidad MoO_2 con un ángulo de 90° , maximizando la superposición orbital entre el par solitario de la fosfina y el orbital π^* del grupo $Mo=O$, seguido de una rotación alrededor del enlace $Mo-O$. Esta rotación permite la formación de un enlace $\sigma_{O,P}$ disminuyendo a 1 el orden del enlace del $Mo=O$. Al mismo tiempo el enlace $Mo=O$ restante (vecino) se hace más fuerte, debido a la retro-donación π hacia el metal, aumentando el orden de enlace a 3, con lo cual el proceso en general se hace termodinámicamente favorable, tanto que la pérdida de una unidad de $Mo=O$ (estable) se compensa con el reforzamiento del enlace que permanece. Este efecto oxo espectador juega un papel importante para determinar la reactividad química de los centros MoO_2 .

La transferencia electrónica del enlace π^* $Mo=O$ al centro metálico debilita el enlace $O-Mo$, que al romperse forma las especies $Mo(IV)$ y $OP\phi_3$ [6]. Se han realizado ajustes termodinámicos de los centros de Mo para promover reacciones de TAO en enzimas, mostrando que la TAO depende de factores que estabilizan o desestabilizan los estados de oxidación $Mo^{(IV)}$ y $Mo^{(VI)}$ [10].

Los procesos de TAO en la naturaleza requieren de la activación reductiva del oxígeno, para lo cual se necesita del concurso de un sistema capaz de producir una corriente de electrones y de protones, función que es realizada por la $NaDPH$. La TE hacia el centro activo del donador de Oxígeno es clave en el proceso de TAO. En el estudio de modelos enzimáticos artificiales, se ha encontrado que para lograr la activación del oxígeno molecular, se requiere del suministro de electrones desde una fuente externa: como la descomposición catalítica de Hidrógeno, el concurso de compuestos reductores o un proceso foto-estimulado.

Transferencia electrónica foto-estimulada

Se puede lograr la Transferencia de Electrones (TE) desde una molécula en un estado fotoexcitado, a otra molécula en su estado basal. Este proceso depende del cambio de la energía libre total ΔG_{TE} y de la energía o barrera de activación en la transferencia.

Se pueden distinguir dos casos para la TE:

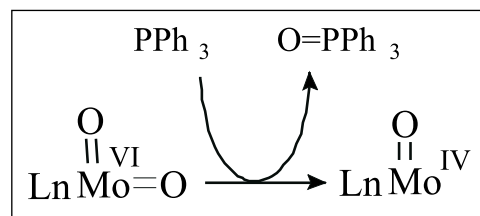
1. En el que los reaccionantes están disueltos, son móviles y libres para aproximarse a distancias cercanas, dentro del periodo de vida del Donor excitado, para formar pares iónicos [11]. El Donor y los reaccionantes tienen libertad para difundirse hasta una distancia apropiada para formar el llamado *complejo de encuentro* (en solución) y
2. en el que existen factores estructurales que mantienen al donador (D) y el aceptor (A) separados por un puente (b) a distancias fijas. Durante el tiempo de vida del Donor excitado, la TE es permitida, si los factores nucleares son favorables. La energética y la cinética de la transferencia dependen de: la estructura de los reaccionantes, de la distancia entre ellos, de la naturaleza y polaridad del medio y de los efectos coulómicos. El cambio en la energía libre de Gibbs ($\Delta G_{TE} < 0$) se puede calcular empleando la ecuación de Rehm-Weller, basada en los potenciales redox del donador: **D***, Aceptor: **A** y el puente: **b** [12]).

Donación de oxígeno foto-estimulada (TAOF)

En el proceso de TAO Foto-Estimulada se pueden distinguir varias etapas:

1. Interacción del Sustrato con el Complejo Donor de Oxígeno (ataque nucleofílico),
2. transferencia electrónica desde un donador de electrones foto-excitado (D^*) hacia el Complejo "donor de Oxígeno" (A),
3. proceso de transferencia de oxígeno y
4. recuperación del centro activo ($Mo=O$).

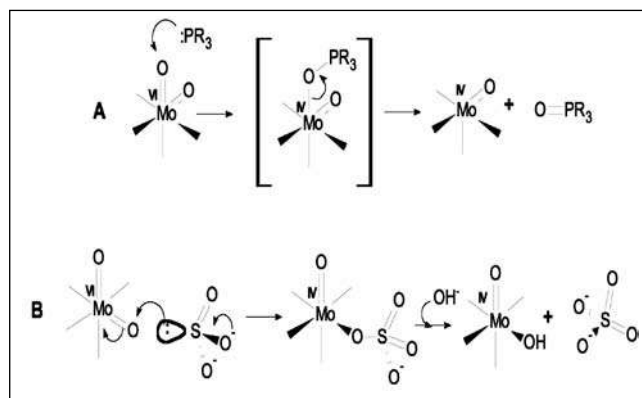
Se conocen numerosos casos de TAO con complejos de MoO_2Ln (Ln = Ligando voluminoso), que han facilitado el estudio desde el punto de vista termodinámico [13-15]. Arzoumanian ha observado que el complejo $Mo^{VI}(=O)_2(LNS_2)$ es capaz de oxidar estequiométricamente a la Ph_3P en DMF [16] para producir Ph_3PO , reduciéndose a $Mo^{IV}(=O)(LNS_2)$. Luego el complejo vuelve a su estado inicial por interacción con un solvente donador de O, como el dimetil sulfóxido (esquema 1).



Esquema 1. TAO con Complejos MoO_2Ln_2 .

Se observa que a pesar de la estabilidad del enlace $Mo=O$ ($\Delta H = -45$ Kcal/mol), la reactividad del grupo $Mo(=O)_2$ permite que el enlace en solución sea relativamente lábil y bajo las condiciones apropiadas realiza la oxotransferencia. Por otra parte, termodinámicamente se ha estudiado una gran variedad de oxodonores y oxoaceptores, determinándose por ejemplo como buenos oxodonores los grupos sulfóxido, nitratos y N-óxidos, y como buenos oxoaceptores: fosfinas y sulfitos.

En la oxotransferencia desde el centro $Mo^{VI}O_2$, hacia el oxo-aceptor, el mecanismo propuesto involucra un ataque nucleofílico por el par de electrones solitarios de la fosfina sobre el orbital π^* de uno de los enlaces $Mo=O$, llevando a la correspondiente reducción, seguido por el desplazamiento del producto, como se muestra en el esquema 2 [17,18].



Esquema 2. Ataque nucleofílico del aceptor y formación del producto oxigenado.

Se ha propuesto que el sustrato se coordina con uno de los grupos $Mo=O$, formando un intermediario bidentado luego del ataque nucleofílico, logrando la formación de un "complejo fosfatado" de Mo^V , cuyas señales EPR son similares a las observadas en la sulfito oxidasa [19].

En procesos de Transferencia Electrónica Fotoinducida (TEF) como ocurre en sistemas amino-carbonylo, se ha esta-

blecido que existe un par electrónico n_N (no enlazante sobre el N) del grupo amino (**Donor**) en un nivel energético más alto que el estado basal n_O (nivel no enlazante sobre el oxígeno) del C=O (**Aceptor**), se ha mostrado que la TE exoenergética solo puede ocurrir una vez que se haya producido la excitación $n_O \rightarrow \pi^*(C=O)$ ver Figura 1. Lo anterior también se cumple para donores electrónicos menos activos como los alquil- carboxilatos, hidrocarburos insaturados, aromáticos y otros. [20].

La energía libre de la transferencia se expresa por medio de:

$$\Delta G^0 = E^0(D_0/D_0^+) - E^0(A^-/A) - E_{00}, \quad (1)$$

E^0 son los potenciales redox y E_{00} es la energía electrónica del estado excitado del aceptor en este caso $E_{00} = h\nu [n \rightarrow \pi^*(C=O)]$ [11].

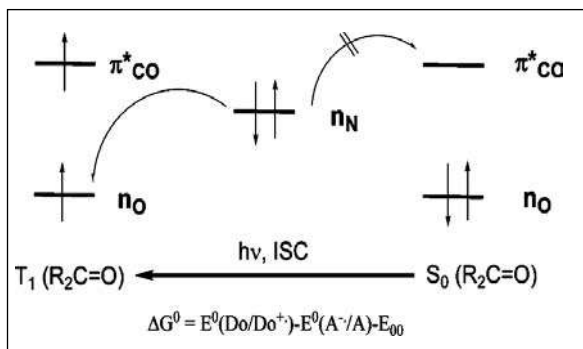


Figura 1. Ataque nucleofílico fotoestimulado.

H. Arzoumanian [16] estudiando reacciones de TAO con los complejos de molibdeno observó un fuerte aumento en la TAO del $Mo(VI)Bipi(SCN)_2(O)_2$ hacia una molécula orgánica en DMSO, cuando empleó radiación UV de $\lambda = 350$ nm. Esto se puede interpretar, de acuerdo con la discusión anterior, debido a una disminución del orden de enlace del $Mo=O$ como consecuencia de una transferencia electrónica foto inducida: 1- $n_O + h\nu \rightarrow \pi^*$ del $Mo=O$: que deja al nivel n_O semi lleno, 2- TE del par solitario de la Fosfina ($:P$) hacia el nivel n_O del $Mo=O$: facilitando así la donación de oxígeno.

Transferencia electrónica a través de un puente

Si el Donor de electrones y el Aceptor están unidos por un puente ó separador molecular (**b**), se pueden tomar como una SUPRAMOLÉCULA, que experimenta deformaciones de alta energía en los enlaces y de baja energía con los dipolos del solvente. La TE puede tomarse como una transición no radiativa entre dos superficies de energía potencial, caracterizada por la constante de velocidad k_{ET} ec. (1) [11,25].

Puesto que la TE juega un papel muy importante en los procesos de TAO haremos algunas consideraciones sobre ciertos factores que afectan la TE hacia el centro donador de oxígeno a través de un puente molecular.

La velocidad de la Transferencia Electrónica puede expresarse según el formalismo de Marcus-Hush-Sutin [22,23]:

$$k_{ET} = \sqrt{4\pi^3 / h^* \lambda k_B T} H_{DA}^2 \exp [-(\Delta G_{ET} + \lambda)^2 / 4\lambda k_B T] \quad (2) \quad (1)$$

$$h^* = h/2\pi$$

Donde λ es la barrera intrínseca (ó energía reorganizacional) y H_{DA} es el término de acoplamiento electrónico (o la energía de estabilización por resonancia), entre el estado inicial y final [24].

En los procesos de TE en un sistema D-b-A, la energética y la distancia entre D y A juegan un papel importante en el mecanismo. Se han logrado evidencias experimentales del papel que desempeña la barrera energética o brecha energética del túnel entre los portadores de carga. La TE a través de un túnel del **D-b-A** depende en gran parte de H_{DA}^2 , que es >0 aun para longitudes grandes del puente (d_p). [26].

El factor pre exponencial de la ec. (2) depende de la energía del puente y de la energía del donador. Este factor es grande, si ΔE_{DA} es grande y varía muy ligeramente con la altura de la barrera ΔE_{Db} . Si ΔE_{Db} es pequeño la TE varía rápidamente con d , el factor exponencial se aproxima a 1 [29,30].

La transferencia se puede interpretar dentro del marco de la teoría del “superintercambio”, que describe el acoplamiento electrónico entre **D-b-A** a distancias grandes, en un sistema en el que D y A están separados por un puente con n unidades idénticas. El acoplamiento electrónico H_{DA} depende de tres acoplamientos electrónicos figura (2) que son: el acoplamiento entre D y la primera unidad del puente, el acoplamiento entre las unidades del puente y el acoplamiento entre la última unidad y A. H_{DA} es inversamente proporcional a $\Delta\epsilon$ que es la brecha energética del túnel, que es la diferencia energética entre el sistema D-b-A y la energía de los estados localizados en el puente (en el estado de transición). En términos prácticos la brecha $\Delta\epsilon$ se puede relacionar con los potenciales redox de D, b, A y se conoce como energía de inyección;

$$\Delta\epsilon \sim \Delta G = P_{oxid}(D) - P_{red}(b) = DG_{inj} \quad (3)$$

Como lo sugiere la ec. (3), ΔG_{inj} se puede determinar a partir de los potenciales de oxido-reducción por voltametría y espectroscopía UV-Vis.

H_{DA} disminuye exponencialmente con d y con una constante de decaimiento β (pendiente), que es directamente propor-

cional a $\Delta\epsilon$ [31,32], y puede expresarse por la ec. (4), (Fig.2). [31,33-35].

$$H_{DA}^2 = H_{DA}^0{}^2 \exp(-\beta d) \quad (4)$$

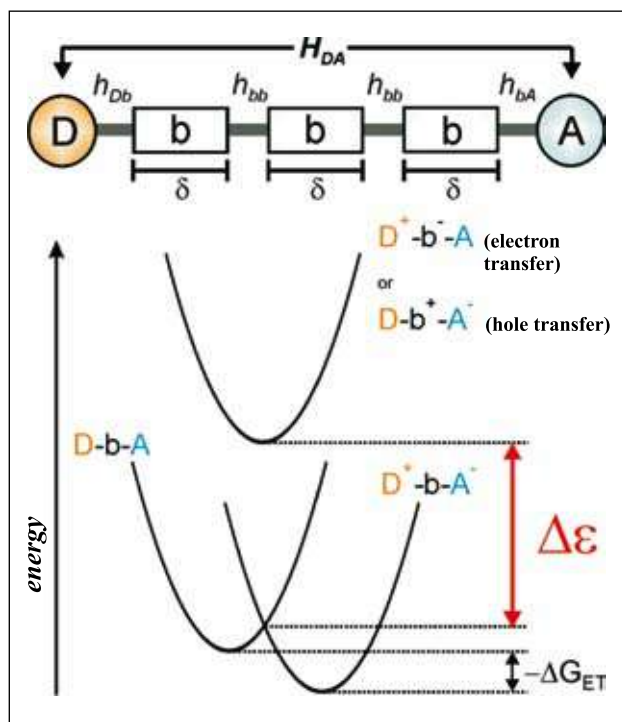


Figura 2. Parámetros individuales de la TE en un sistema D-b-A según el modelo de superintercambio.

Se pueden identificar varios factores que influyen en la TE por un puente:

TE en función de la brecha del puente ΔG_{inj}

En puentes D-b-A de diferente longitud (d_b) se pueden obtener curvas de k_{TE} vs d_b con pendientes β_i para diferentes valores de ΔG_{inj} (que es aproximadamente la diferencia entre el potencial de oxidación de D y el potencial de reducción del puente) de acuerdo a la teoría de Superintercambio [24]. La experiencia muestra que *la transferencia electrónica se hace mayor si ΔG_{inj} se es menor y generalmente este factor tiene mayor peso que la distancia entre D y A* [26].

La TE entre un donador: Zn(II)Pn (**D**) y un aceptor Au(III) Pn (**A**), (Pn: porfirina), separados por una distancia de 25 Å y conectados por un puente formado por oligo-p-fenileno etinileno y un espaciador intermedio: benceno, naftaleno y antraceno. Se observó que la TE entre **D** y **A**, en diferentes

solventes, la velocidad aumenta al ir del benceno al naftaleno y al antraceno, como unidad central del puente, (de 2.2 a 4.3 y a $9.1 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$) basándose en datos experimentales de espectroscopía de tiempo resuelto y de estado estacionario (steady-state), se pueden obtener valores de H_{DA} : 5.5-7.5 cm^{-1} para el benceno, 7-10 cm^{-1} para el naftaleno y 11-17 cm^{-1} para el antraceno [36].

La brecha energética del túnel, se asoció en este caso, con las diferencias de energía entre, la banda de absorción más baja del puente y la banda de absorción más baja del donador (transición HOMO-LUMO), observadas por espectroscopía UV-Vis. Los valores determinados para Δ_{inj} son: 1.44 eV (benceno), 1.07 eV (naftaleno) y 0.48 eV (antraceno). Como puede observarse la TE es mayor entre mayor sea la deslocalización p del puente.

TAOF por Complejos Mo(VI)O₂Ln/TiO₂

En nuestro laboratorio hemos observado que compuestos del tipo Mo^{VI}(=O)₂L (**5**) anclados sobre TiO₂: ([Mo^{VI}(=O)₂L]/TiO₂) (**6**) figura 3, son capaces de realizar la TAO (hacia: Pφ₃ y algunos compuestos alquil aromáticos) en presencia de luz (UV y Vis) y O₂ en condiciones ambientales. Este resultado se ha asociado al efecto de la TEF desde la Banda de Conducción del TiO₂ hacia la unidad π* del Mo=O [37-40].

Cuando **D** (TiO₂) y **A** [Mo^{VI}=O] están unidos mediante un puente molecular (b= carboxilato-Ligando: Bipidil y bipirazolil), se puede considerar que el proceso de TEF es “intramolecular” y depende principalmente de la energía de inyección, que es la brecha energética entre **D** y **b**: $\Delta G = P_{oxid}(D) - P_{red}(b) = \Delta G_{inj}$ y de la distancia entre D y A. Las interacciones orbitales pueden ocurrir a través de los enlaces, el acoplamiento decrece exponencialmente con el número de enlaces pues los electrones del Donor pasan a los orbitales LUMO de las moléculas del puente y luego al Aceptor. El mecanismo de la TE depende de la brecha de energía entre los orbitales del D y A y de los orbitales del puente [11].

*Nuestros experimentos indican que es posible construir un sistema bioinspirado, anclando un complejo Mo(=O)₂Ln sobre un Donor (**D** = TiO₂), [Mo(=O)₂Ln/**D**] que en presencia de radiación UV-visible puede generar una corriente electrónica foto-inducida sobre la unidad Mo=O que propicia la TAO.*

La transferencia catalítica de O se examinó empleando el sistema (**6**) figura 3, donde **D** = TiO₂ y **A** = [Mo^{VI}(=O)₂Bipi], usando trifenilfosfina y varios arilalcanos como receptores de O y empleando O₂ directamente como el donador de oxígeno.

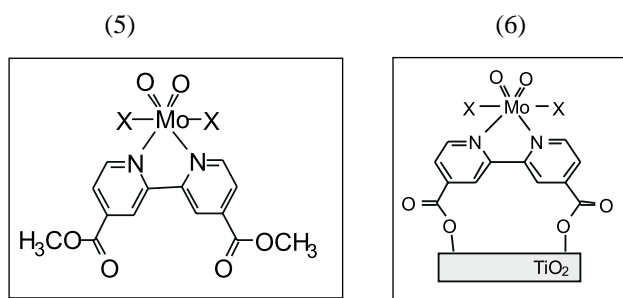


Figura 3. Compuestos $\text{Mo}^{\text{VI}}(=\text{O})_2\text{L}$ (5) anclados sobre TiO_2 : $([\text{Mo}^{\text{VI}}(=\text{O})_2\text{L}]/\text{TiO}_2)$ (6).

La oxidación de la PPh_3 con el $[\text{Mo}^{\text{V}}(=\text{O})_2\text{Bipi}]$ libre (5), tanto en la oscuridad como en presencia de luz, presenta una transferencia estequiométrica de oxígeno. El mismo resultado se obtuvo con una mezcla mecánica de $[\text{Mo}^{\text{V}}(=\text{O})_2\text{Bipi}]$ libre (5) y TiO_2 . Por otro lado el sistema formado por el complejo de Mo anclado sobre TiO_2 : $([\text{Mo}^{\text{V}}(=\text{O})_2\text{L}]/\text{TiO}_2)$ (6) mostró en la oscuridad una menor transferencia que el complejo libre (5), pero en presencia de luz UV-Vis mostró un incremento en su actividad catalítica 3 a 4 veces mayor [38,39].

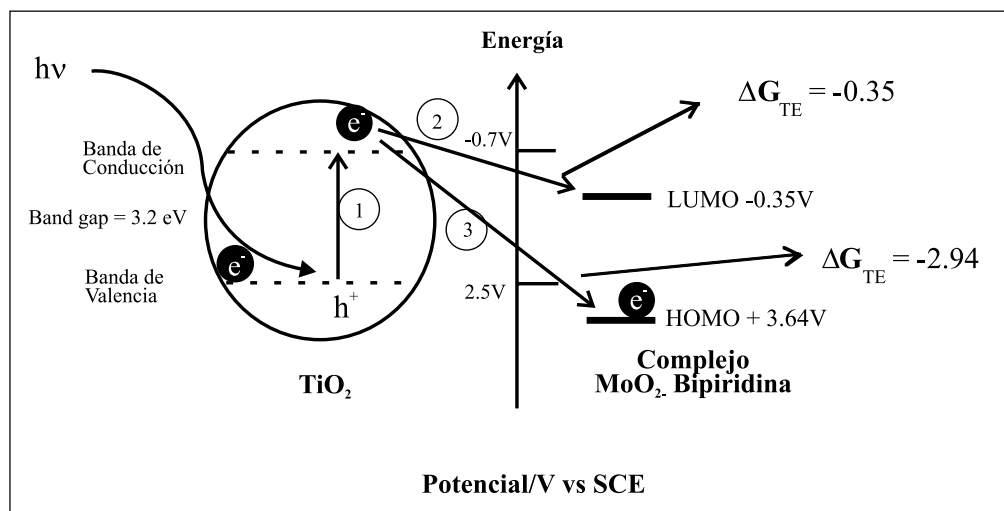
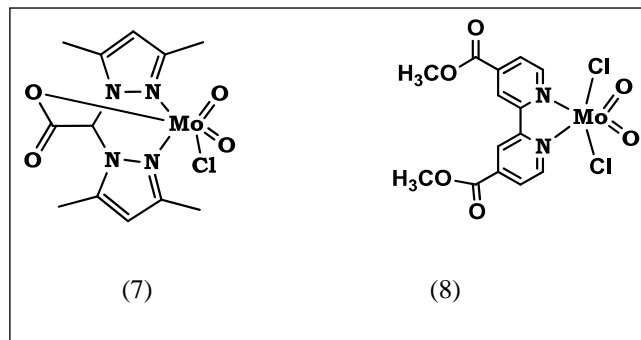
Estos resultados sugieren un efecto sinérgico debido a la fotogeneración del flujo electrónico desde la matriz semiconductor hacia la esfera de coordinación del Mo. Cuando se realizó el experimento en ausencia de oxígeno, después de evacuar el aire e inyectar N_2 , la oxidación de PPh_3 corresponde a la reducción estequiométrica del Mo (VI) Dioxo presente en el medio de reacción. Al reintroducir el O_2 retorna la actividad catalítica. Una tendencia similar se observó en la TAO hacia etilbenceno, cumeno y tetralina [38,39]. Los

posibles caminos para la TE y los valores relativos de los niveles de energía se indican en el esquema 3.

Los valores para la banda de conducción y la banda de valencia del TiO_2 son -0.7 V y 2.5 V vs SCE respectivamente [41,42], mientras que los valores asignados para los orbitales HOMO y LUMO se obtienen de los potenciales de oxidación-reducción y de espectroscopía UV-Vis en solución, medidos en nuestro laboratorio.

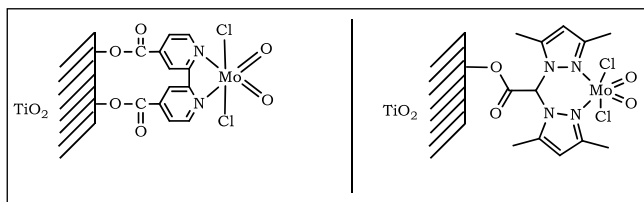
El camino 3 (esquema 3) es posible en presencia de radiación de $\sim 350\text{ nm}$ que corresponde a la transferencia $n \rightarrow \pi^*$ del $\text{Mo}=\text{O}$.

Cuando se repiten los mismos experimentos empleando el complejo con ligando bipirazolil (bpz) (7) y (bipi)(8), inicialmente la Oxo-transferencia es más alta para el complejo bipirazolil que para el bipyridil por un factor cercano a tres. Este resultado sigue la tendencia observada en la oxidación de fosfinas con TBHP, con un complejo heteroescorpionato de MoO_2 [43] análogo a (7).



Esquema 3. Niveles de energía relativos del sistema $[\text{Mo}^{\text{V}}(=\text{O})_2\text{Bipi}]/\text{TiO}_2$ y caminos posibles en la TE. $\Delta G_{\text{TE}} = E_{\text{BC}} - E_{1/2}(\text{Red } [\text{Mo}^{\text{V}}(=\text{O})_2\text{Bipi}])$

Hemos podido observar que aunque inicialmente la TAO con bpz es más rápida que con la bipi, el complejo bpz se lixivía perdiendo así su actividad.



Conclusiones

Es posible construir un sistema bioinspirado para la Transferencia de Oxígeno a un sustrato empleando oxígeno molecular, anclando complejos del tipo $Mo(=O)_2Ln$ sobre un Donor ($D = TiO_2$), $[Mo(=O)_2Ln/D]$ que en presencia de radiación UV-visible puede generar una corriente de electrones sobre la unidad $Mo=O$ para propiciar la TAO, con lo cual se hace una contribución importante en el desarrollo de procesos de Química verde. La participación del ataque nucleofílico foto estimulado del sustrato: $P\phi_3$ (en presencia de la radiación apropiada para efectuar la transición $n \rightarrow \pi^*$ del $Mo=O$ (350 nm) para facilitar la TE de la: $P\phi_3$ (D) hacia el $Mo=O$ (A^*) puede ser de importancia como se sugiere en el esquema 4 (camino 3). La contribución del anión superóxido O_2^- , formado por reacción de los e^- fotogenerados con el O_2 , parece jugar un papel importante en la regeneración del centro activo ($Mo=O_2$) ya que en ausencia de luz la TAO es estequiométrica (no es catalítica). La contribución del anión superóxido O_2^- , formado por reacción de los e^- fotogenerados con el O_2 , parece jugar un papel importante en la regeneración del centro activo ($Mo=O_2$) ya que en ausencia de luz la TAO solo es estequiométrica

Aunque el complejo bipirazolil es un buen agente en la TAO debido a su propiedad donadora de electrones, el sistema es pobre en la activación de Oxígeno debido a su labilidad a la lixiviación en medio orgánico, para este efecto se obtiene un mejor balance con el ligando Bipi.

Bibliografía

- Majumbar A., Sarkar S., Biomimetic chemistry of molybdenum and tungsten enzymes: A structural-functional modeling approach, Coord. Chem. Revs 255(2011)1039-1054
- Holm R., Soloman E., Majundar A., Tenderholt A., Comparative molecular chemistry of molybdenum and tungsten and its relation to hydroxylase and oxotransferase enzymes, Coord. Chem. Revs., 235 (2011)993-1015
- R. Hille et al., Mechanistic aspects of molybdenum-containing enzymes, FEMS Microbiology Reviews 22(1999)489-501

- Holm R., The biologically relevant oxygen atom transfer chemistry of molybdenum: from synthetic analogue Systems to enzymes. Coord. Chem. Revs. 100 (1990)183-221
- Enmark J., Young C., Bioinorganic chemistry of pterin-containing molybdenum and tungsten enzymes. Adv. Inorg. Chem. 40(1993)1-88
- Young C., Biomimetic Chemistry of Molybdenum, ch.9 p413, Biomimetic Oxidations Catalyzed by Transition Metal Complexes, Editor Bernard Meunier, Imperial College Press 2000
- Keith J.M., et al. Oxygen atom transfer catalysis: Ligand effects on the key reaction barrier in molybdenum (VI) dioxo systems, J. Mol. Cat.,A: Chem 324(2010)15-23
- Biomimetic Oxidations Catalyzed by Transition Metal Complexes, Editor Bernard Meunier, Imperial College Press 2000
- Pietsch, M.A. and Hall, M.B., Theoretical Studies of the oxo-transfer reaction of dioxomolybdenum enzymes, 35,(1996)1273-1278
- R. H. Holm and J. M. Berg, Acc. Chem. Res., 1986, 19, 363-370
- Kavarnos G., J., Fundamental Concepts of Photoinduced Electron Transfer, Topics in Current Chemistry, 156(1990)21-58
- Griesbeck A., Hoffmann N., Warzecha K., Acc. Chem. Res. 40(2007)128-140
- Hille, R., Chem. Rev. 1996,96,2757-28116
- Arzoumanian H. et al., Inorg. Chem. 1994, 33, 3177- 3179
- Arzoumanian H. et al., New J. Chem. 1996,20, 699-705
- Arzoumanian H., et al., Thiocyanatodioxomolybdenum (VI) complexes as efficient oxidizing agents, J. Mol. Cat. A: Chem. 117, (1997),471-478
- M. Minelli, K. Yamanouci, J.H. Enemark, P. Subraminian, B.B. Kaul, J.T. Spence. Inorg. Chem., 13 (1984) 2554
- N. Teruel, A. Sierralta, J. Mol. Cat. Cat. A: Chem., 107 (1996) 379
- Gray, R. C., Quart. Rev. Biophys. 1988, 21: 299-32
- Griesbeck, Acc. Chem. Res., 40,2(2007)128-140
- Gray, H. B., Winkler, J. R., Long-range electron transfer, Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2005,102,3534-3539
- Marcus, R. A.; Sutin, N. Electron transfers in chemistry and biology. Biochim. Biophys. Acta 1985, 811, 265-322
- Kochi et al, JACS125,9,2003,2559-2571
- Rosokha S., V.; Kochi A., Y., K., Fresh Look at Electron-Transfer Mechanisms via the Donor/Acceptor Bindings in the Critical Encounter Complex, Acc. Chem. Res., 41,5(2008)6421-653
- Marcus, R. A., Sutin, N., electron transfer in chemistry and biology. Biochim. Biophys. Acta 811,(1985)265-322
- Wenger O., How Donor-Bridge-Acceptor Energetics influence Electron Tunneling Dynamics and their Distance Dependences, Acc. Chem. Res. (2011),44,1,p25-35
- B. Abinsson, M. P. Eng, K. Pettersson and M. U. Winters, Electron and energy transfer in donor-acceptor Systems conjugated molecular bridges Phys. Chem. Chem. Phys., 2007,9,5847-5864,DOI: 10.1039/b706122f
- Gray, H.B., Windler, J.R., Long-range electron transfer. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 102,(2005),3534-3539
- Jortner, J., et al., Charge transfer and transport in DNA. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 1998, 106, 12759-12765
- Tong, G. S., et al. Tunneling energy effects on GC oxidation in DNA. J. Phys. Chem. B 2002, 106, 2381-2392
- McConnell, H.M. Intramolecular charge transfer in aromatic free radicals. J. Chem. Phys. 27,(1961),508-515

- Paddon-Row, M. N.** Investigating ion-range electron-transfer processes with rigid, covalently-linked donor-(nobraonylogous bridge)-acceptor Systems. *Acc. Chem. Res.* 27(1994),18-25
- Y. A. Berlin, A. L. Burin and P. Rempala,** *Chem. Phys.*, 2002,275, 61-74
- Y. A. Berlin, G. R. Hutchison, P. Rempala and M. A. Ratner,** *Phys. Rev. A*, 2003,107, 3970-3980
- M. U. Winters, K. Petersson, J. Marternsson and B. Albinsson,** *Chem.-Eur. J.*, 2005,11,562-573
- Kilsá K., Kajanus J., Macpherson A. N., Márienson J., Albinson B.,** Bridge-dependent electron transfer in porphyrin-based donor-bridge-acceptor Systems. *J. Am. Chem. Soc.* 2001,123,3069-3080
- Kilsá K., Kajanus J., Macpherson A. N., Márienson J., Albinson B.,** Bridge-dependent electron transfer in porphyrin-based donor-bridge-acceptor Systems. *J. Am. Chem. Soc.* 2001,123,3069-3080
- Carlos A. Páez, Nelson J. Castellanos, Fernando Martínez O., Fabio Ziarelli, Giuseppe Agrifoglio, Edgar A. Páez-Mozo, Henri Arzoumanian,** Oxygen atom transfer photocatalyzed by molybdenum(VI) dioxodibromo-(4,4'-dicarboxylate-2,2-bipyridine) anchored on TiO₂, *CatalysisToday*133–135(2008)619–624.
- Carlos A. Páez, Oscar Lozada, Nelson J. Castellanos, Fernando Martínez O., Fabio Ziarelli, Giuseppe Agrifoglio, Edgar A. Páez-Mozo, Henri Arzoumanian,** Arylalkane photo-oxidation under visible light and O₂ catalyzed by molybdenum(VI) dioxo-dibromo(4,4-dicarboxylato-2,2-bipyridine) anchored on TiO₂, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 299 (2009) 53–59
- Henri Arzoumanian, Nelson J. Castellanos, Fernando Martínez O., Edgar A. Páez-Mozo, and Fabio Ziarelli, Silicon-Assisted Direct Covalent Grafting on Metal Oxide Surfaces: Synthesis and Characterization of Carboxylate N,N-Ligands on TiO₂,** *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2010, DOI: 10.1002/ejic.200901092
- Galoppini E.,** *Coord. Chem. Rev.* 2004, 248,1283
- Kopidakis, A. J. F., De Lagemaat J. V.,** *Coord. Chem. Revs.* 2004, 248, 1165
- Hammes B.S., Chohan B.S., Hoffman J.T., Einwachter S., Carrano C.J.,** *Inorg. Chem.* 2004, 43, 7800

Recibido: 2 de abril de 2012

Aceptado para publicación: 4 de junio de 2012

NOTAS**EL HIGGS: LA PARTÍCULA DE DIOS****Roberto Martínez¹****Resumen**

Martínez, Roberto: El Higgs: la partícula de Dios. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **36** (139): 287–291, 2012. ISSN 0370-390836.

El descubrimiento del Higgs en el colisionador de hadrones (LHC) en el CERN con una masa de 125 GeV es fundamental para entender la generación de la masa de las partículas elementales y el origen de la gravedad. El Higgs es una pieza clave en el Universo porque es un candidato para materia oscura y poder entender la dinámica estelar. Peter Higgs lo postuló en 1964 y sólo hasta 2012 se pudo observar en los detectores ATLAS Y CMS del LHC.

Palabras clave: Partícula de Higgs.

Abstract

The discovery of the Higgs in the Large Hadron Collider (LHC) at CERN with a mass of 125 GeV is fundamental to understand the mass generation of elementary particles and origin of gravity. The Higgs is a key in the universe because it is a candidate for dark matter to understand the stellar dynamics. Peter Higgs postulated it in 1964 and until 2012 was observed in ATLAS and CMS detectors at the LHC.

Key words: Higgs' particle.

Introducción

El aire es un gas cuyas moléculas se mueven erráticamente obedeciendo la distribución de Maxwell Boltzmann. Cuando el ala de un avión pasa a través de este gas, sus moléculas golpean el ala. Entre mayor sea la

velocidad relativa de las moléculas respecto al ala, menor es la presión que hace el gas al ala. Las diferencias de curvaturas en el ala, inferior-superior, genera una diferencia de presión, que se convierte en una fuerza de sustentación, la cual, al ser mayor que el peso del avión hace que éste pueda volar. De aquí se desprende el con-

¹Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Email: remartinezm@unal.edu.co

cepto de viscosidad del aire como un efecto colectivo de moléculas moviéndose y entrelazándose, generado fuerzas de fricción y de sustentación.

Entre mayor sea la temperatura del gas mayor sería la agitación térmica del aire y mayor el golpeteo de las moléculas del aire sobre el ala del avión. Por ejemplo, en Barranquilla el efecto aerodinámico es mayor que en Bogotá y podemos asociar, con la temperatura, la capacidad que tiene el aire de generar mayor o menor fuerza de sustentación [1].

Cuando las partículas tratan de viajar por el Universo se encuentran con el campo de Higgs adquiriendo automáticamente masa, inercia, resistencia a las fuerzas, pero también gravedad. En este sentido podríamos hacer el símil con la aerodinámica, donde el aire genera la viscosidad que induce la resistencia cuando los cuerpos se muevan a través del fluido, pero también la fuerza de sustentación. Sólo es un símil, porque la aerodinámica hace referencia a un fenómeno de transporte de moléculas y es una teoría clásica, en cambio el campo de Higgs es un ente cuántico.

El Higgs [2], la partícula de Dios, la podemos pensar como el equivalente de este gas, pero es un efecto puramente cuántico. Se crean y se aniquilan interactuando con las partículas ordinarias, la materia, haciendo que éstas adquieran masa. Dependiendo de la forma de interacción, las partículas adquieran mayor o menor masa, la cual está asociada a los efectos gravitacionales y los efectos inerciales, es decir, la capacidad de atraerse o a resistirse a experimentar aceleraciones debidas a fuerzas.

Los neutrinos interactúan débilmente con el campo de Higgs y su masa es prácticamente nula. En cambio el electrón interactúa más fuertemente con el campo de Higgs y su masa es mayor. El fotón no interactúa con el campo de Higgs y su masa es nula. Es decir, que tan grande sea la masa de la partícula nos está indicando que tan fuerte es el efecto de interacción con el campo del Higgs.

Curiosamente el Higgs aparece masivo en el Universo cuando éste se expande y comienza el proceso de enfriamiento, generándose una transición de fase, similar a la transición del agua del estado líquido al estado sólido. En dicha transición de fase se genera una interacción entre campos la cual induce una masa al Higgs. En el agua aparecen los cristales. Dicha partícula automáticamente comienza a interactuar con la materia. Antes todas las partículas tenían energía y viajaban a la velocidad de la luz. Después de la transición las partículas interactúan

con el Higgs y adquieren masa y dejan de viajar a la velocidad de la luz. Además las nuevas partículas masivas comienzan a generar atracción gravitacional. Con el enfriamiento del Universo y la atracción gravitacional sumado millones y millones de años se formaron las galaxias, estrellas, etc.

Podríamos hacer un símil con la viscosidad del aire y el campo cuántico asociado al Higgs el cual genera una “viscosidad” que termina dotando de masa a las partículas. La única que no adquirió masa fue el fotón, los rayos de luz, por esto pueden ir hasta el confín del Universo. Es como si el fotón fuera completamente transparente al campo de Higgs.

El Universo es una sopa de partículas que se mueven a la velocidad de la luz, pero éste se está expandiendo y se está enfriando. Una de estas partículas, que identificamos como una partícula escalar de espín cero, el Higgs, obedece una ecuación y tiene un potencial de interacción con dos parámetros que dependen de la temperatura del Universo,

$$V = \mu^2(T)\phi^2 + \lambda(T)\phi(x)^4. \quad (1)$$

En la ecuación de movimiento del campo de Higgs el parámetro $\mu^2(T)$ se interpreta como la masa inercial de la partícula, $\phi(x)$ representa el campo del Higgs y $\lambda(T)$ es término que nos indica como autointeractúa el campo del Higgs consigo mismo. En el Universo temperado dichos parámetros son positivos; pero cuando éste se enfría ocurre una transición de fase y uno de ellos cambia de signo, $\mu(T)$. Justo en ese momento, en la ecuación de movimiento del Higgs, aparece una masa y decimos el Higgs se hizo masivo. Además todas las partículas que interactúan con el campo del Higgs también les aparecerá una masa. Pasamos de un Universo lleno de energía y partículas moviéndose a la velocidad de la luz, a un Universo de partículas relativistas y masivas. En el símil con el agua decimos que se comienzan a formar los cristales y el agua deja de ser líquida.

¿De dónde sale la masa del Higgs?

Aparece de la autointeracción del Higgs consigo mismo después de la transición de fase. Antes de la transición de fase el Higgs interactúa consigo mismo pero los parámetros de la interacción no son adecuados para que se genere la masa del Higgs. Después de la transición los parámetros de la autointeracción cambian y aparece la masa del Higgs. Por ejemplo, en la transición del agua de la fase líquida a la sólida, podemos cambiar el punto

de congelamiento poniendo sal. Existen unos parámetros termodinámicos que dependen de la temperatura y estos van cambiando; justo a cierto valor se genera la transición. Similarmente con el Higgs, tiene un potencial de auto interacción $\lambda\phi^4$ [3] cuyos parámetros cambian con la temperatura del Universo. En la transición de fase $\mu(T)$ cambia de signo, apareciendo la masa para los campos escalares o el Higgs en la ecuación de movimiento de esta partícula, conocida como la ecuación de Klein-Gordon.

Los metales como el hierro tienen un gas de muchos electrones los cuales se mueven aleatoriamente, dependiendo de la temperatura y su espín, $1/2$. Para estudiar su comportamiento termodinámico es necesario definir una función de distribución la cual, para partículas de espín $1/2$ se conoce como la estadística de Fermi-Dirac. Cuando se comienzan a enfriar los electrones, los efectos de la red cristalina, los fonones o vibraciones mecánicas de la red, comienzan a correlacionarlos formando pares ligados de dos electrones con espines en sentido contrario, creando un estado ligado de espín total igual a cero. A este nuevo estado se le conoce como el par de Cooper. Justo cuando comienza este proceso la resistencia eléctrica disminuye y los electrones pueden pasar cuasi libres a través del metal como si no existiera resistencia eléctrica y se mueven libremente sin generar calor [4].

Justo cuando hay suficiente número de electrones apareados en estados ligados, o pares de Cooper, el metal pasa al estado base, el cual se conoce como el estado superconductor. Estos pares son campos escalares los cuales requieren de una función estadística para poder estudiar su termodinámica o teoría de muchos cuerpos a una temperatura finita, la cual se conoce como la estadística de Bose-Einstein. Los pares de Cooper son estados ligados, compuestos, formados por dos electrones correlacionados con espín total igual a cero. Los electrones libres en el metal pasan por los lados de los pares de Cooper sin interactuar con ellos y por esta razón se comportan como libres, es decir, sin experimentar resistencia eléctrica.

Cuando tratamos que un campo magnético penetre el metal, se inducen corrientes muy grandes impidiendo que los campos lo penetren. Podemos decir que los campos dentro del metal decaen muy rápidamente. En las ecuaciones de Maxwell aparece un término que se puede interpretar como si el campo magnético tuviera una masa efectiva, produciendo este rápido decaimiento de los campos electromagnéticos en la fase superconductor.

El par de Cooper en la fase superconductor se podría interpretar como un Higgs. Dota de masa al fotón en el medio material. La diferencia con el Higgs, que da masa a las partículas después de la transición de fase, es que el par de Cooper es compuesto, formado de dos electrones. El Higgs del Modelo Estándar de las interacciones electro-débiles es una partícula puntual y, sólo los experimentos de precisión en el LHC, nos indicarán si efectivamente el Higgs es una partícula elemental o es una partícula compuesta. En el segundo caso se abrirían nuevas fronteras inimaginables para la física de partículas.

Se podría afirmar que en la superconductividad hay una partícula que juega un papel similar al Higgs del Modelo Estándar. Justo de estos trabajos del estado sólido, el físico inglés Peter Higgs planteó la partícula Higgs. Cuando ocurre la transición de fase decimos que ocurrió un rompimiento espontáneo de la simetría, es decir, el Universo pasa de una fase donde todo se mueve con masa nula a otra fase donde las partículas se hacen masivas. Las partículas pasan de moverse a la velocidad de la luz, a una velocidad menor que la luz, dependiendo de su masa o de la forma como interactúa con el Higgs.

El rompimiento de la simetría hace que los campos mensajeros de la interacción débil W^+ , W^- , Z^0 se hagan masivos. En cambio el fotón, mensajero de la electrodinámica, no adquiere masa. Es decir, el campo de Higgs interactúa con los campos de la interacción débil, pero no con el fotón. El fotón puede pasar libremente a través del campo de Higgs y alcanzar los confines del Universo trayendo la luz de las estrellas y de las supernovas que explotaron millones de años atrás. En cambio los campos mensajeros de la interacción débil interactúan fuertemente con el campo de Higgs y no puede viajar una distancia mayor que la del núcleo atómico. Solo puede viajar una distancia pequeña y decirle a un *quark* vecino, dentro del protón o neutrón, que es portador de la interacción débil y al *quark up* que se transforme en *quark down*.

¿Por qué es tan importante el descubrimiento del Higgs?.

Hay varias razones para ver su importancia. El modelo estándar de las interacciones electro-débiles [5] explica muy bien estas fuerzas a nivel cuántico y además ha tenido muchos aciertos en sus predicciones. Por ejemplo, el descubrimiento del *quark charm*, el cual se postuló en la teoría para entender las corrientes neutras débiles. El descubrimiento del *quark top*, el cual se postuló en el

Modelo estándar para completar el doblete de quarks entre el *quark bottom* y el *quark top*, necesario para que la teoría tuviera la estructura matemática correcta, es decir, libre de anomalías. Las corrientes cargadas en la interacción débil se conocían desde los años 1930 con el decaimiento del muón y el decaimiento del neutrón. A dichas corrientes cargadas se asociaba un campo cuántico llamado el campo de gauge W^\pm . La existencia de estos campos cuánticos requería la presencia de otro campo de carga eléctrica nula, el cual se llamó Z^0 . Estos fueron postulados para entender la teoría débil y posteriormente descubiertos en el laboratorio. Recientemente, la medición de la violación de la simetría CP en la oscilación sistema de mesones formados por estados ligados de un *quark down* y un quark extraño, es un éxito del Modelo Estándar porque dichos fenómenos habían sido postulados o predichos teóricamente y se requería de su observación para darle un piso firme a la teoría. En el Modelo Estándar los neutrinos aparecían con masa cero. Sin embargo, no parecía natural que dichas partículas fueran de masa nula. Experimentos que detectaban neutrinos provenientes del Sol, se podían entender si se asumía que estos tenían masa diferente de cero. Igualmente se realizaban experimentos con neutrinos que provenían de la atmósfera en el decaimiento de los kaones.

En todo este concierto de predicciones teóricas y descubrimientos experimentales faltaba el campo de Higgs, el cual se introduce en la teoría para explicar cómo las partículas adquieren masa. Sin el Higgs, la teoría que fue capaz de predecir muchos fenómenos que fueron corroborados, nadie se esperaría que el mecanismo necesario para que el modelo fuera satisfactorio, se quedara sin piso. Descubierta el Higgs, se dá piso a la teoría y queda explicado el origen de la masa y la gravitación.

Partículas escalares de espín cero y carga eléctrica cero, con características similares a la Higgs descubierta en el LHC, se pueden relacionar con otro fenómeno muy importante que proviene de la cosmología. De las observaciones de la dinámica estelar, en particular estrellas girando alrededor de las galaxias, se ve que hay estrellas que se mueven mucho más rápido que la predicción que se puede hacer con la teoría de la gravitación de Newton. Al parecer hay mucho más materia en las galaxias para poder entender estas velocidades. A dicha materia se le llama *materia oscura* porque no se puede ver, pero está produciendo un fenómeno gravitacional, es decir, materia con masa pero sin carga electromagnética. También se ha observado galaxias acercándose por efecto gravitacional, pero al tener en cuenta la masa total

de ellas, las predicciones no concuerdan con la teoría de gravitación de Newton. De nuevo se tiene que postular la existencia de materia oscura en el Universo. También existe un fenómeno conocido como lente gravitacional que hace que los rayos de luz que provienen de galaxias muy lejanas se curven y este sólo se puede explicar con la existencia de la materia oscura.

Se ha estimado la cantidad de galaxias y se dice que es sólo el 5 % de la materia del Universo y, de la dinámica estelar, se dice que hay un 20 % de materia oscura, es decir, hay más materia en el Universo que la que observamos contando todas las galaxias, cúmulos, estrellas etc. Podemos dar cuenta únicamente del 5 % de la materia por observación directa del Universo. Por otra, el Universo tiene más energía de la que habíamos pensado. Con las observaciones recientes del satélite Hubble se han visto estrellas muchos más lejanas y distancias nunca antes imaginadas. Dichas estrellas se alejan tan rápido y aceleradamente, que con las teorías de Einstein de la gravitación, para poder explicar este fenómeno, necesitamos un 75 % más de energía. A ésta se le llama *energía oscura*. La única partícula que podría ser candidata a materia oscura sería una partícula que tuviera características similares al bosón de Higgs descubierta recientemente en el CERN.

Por esto se abriría un nuevo campo de investigación en la física relacionado con la cosmología. Hasta la fecha no se había observado un bosón o partícula escalar con las características de un Higgs, campo escalar de espín cero y carga eléctrica nula. Una vez que se descubre el Higgs hay posibilidad de más Higgses en la naturaleza que tengan las características para ser candidatos a materia oscura. Entonces, estamos en la antesala para entender el origen del Universo y como funciona. Apenas sería el comienzo de una nueva era de investigación [6].

¿Qué sigue?

Identificado el Higgs con una masa cercana a 125 GeV, es decir, una masa similar a la de un átomo de uranio, entonces qué sigue. Una vez detectado el Higgs es necesario producirlo en el laboratorio en abundancia y comenzar a estudiar sus decaimientos para poder conocer sus propiedades y determinar si éste corresponde a un Higgs predicho por el modelo estándar de las interacciones electro-débiles o es un Higgs de una teoría más complicada. Sería el comienzo para establecer si hay más partículas de las ya descubiertas o sólo los quarks y leptones que ya identificamos en el laboratorio. La forma

más sencilla de identificar un Higgs, aunque no la más probable, es cuando este decae en dos fotones $H^0 \rightarrow \gamma\gamma$.

Como el Higgs no tiene carga electromagnética, no puede interactuar con los fotones, pero se produce un fenómeno puramente cuántico, una fluctuación del vacío, donde se crean dos campos de interacción débil W^+W^- , los cuales después decaen en los dos fotones. De esta forma se identificó el Higgs en el colisionador LHC [7]. Como todas las partículas masivas interactúan con el Higgs, este puede decaer en ellas. La probabilidad de decaimiento del Higgs depende de su masa. Para el bosón de Higgs del Modelo estándar con una masa de 125 GeV, como el descubierto en LHC, el modo más probable como puede decaer un Higgs es en dos quarks bottom, los cuales tienen una masa del orden de 5 GeV, es decir, cinco veces la masa de un protón o del orden de la masa del átomo de Helio; después decaer en dos gluones, dos leptones tau τ , dos quarks charm, etc. Sin embargo, el decaimiento en quarks es muy difícil de identificar en un colisionador hadrónico como el LHC porque a su vez los quarks decaen y las señales se pueden confundir con todos los productos de la colisión donde se ha liberado toda la energía que se inyectó en los protones iniciales. La identificación del Higgs decayendo en dos leptones tau también es difícil porque a su vez el tau decae en partículas más ligeras y neutrinos, los cuales no se pueden observar en los detectores como ATLAS y CMS [7]. Sin embargo, en la medida que se sintoniza la masa del Higgs y su forma de producirlo, se podrá mejorar la identificación de los otros canales. La probabilidad de decaimiento del Higgs en dos partículas es proporcional a la masa de las partículas finales, por eso entre más pesada la partícula más probable es el decaimiento del Higgs. El quark top tiene una masa mayor que la del Higgs y por esta razón no podría decaer en tops porque no se tendría la energía inicial necesaria para producir los tops. Decimos que este canal de decaimiento está prohibido cinemáticamente. También sería muy importante estudiar como interactúa el Higgs consigo mismo debido a que nos revela sus propiedades y como adquirió masa. También nos daría información de cómo funciona el famoso rompimiento de la simetría que justo dio origen al Higgs.

5. Conclusión

El descubrimiento del Higgs establece que el mecanismo para generar las masas de las partículas es el correcto y el Modelo Estándar de las interacciones electrodébiles es una teoría bien formulada. Por otra parte se abre

un nuevo horizonte de investigación y la pregunta es existen más partículas en otra escala del Universo o la historia de cierra con la gran explosión y, hasta la escala de Planck, sólo hay un gran desierto. ¿Existen la supersimetría, nuevos campos de Higgs, más fermiones, dimensiones extras, nuevas corrientes neutras? ¿Es un campo de Higgs, singlete del Modelo Estándar, el candidato a materia oscura? [8]

Agradecimientos. A COLCIENCIAS.

Referencias

- [1] **John D. Anderson.** Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill; **Pijush K. Kundu, Ira M. Cohen, Howard H. Hu.** Fluid Mechanics. Elsevier/Academic Press.
- [2] **Peter Higgs.** Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons. Physical Review Letters 13, 508 (1964); **Francois Englert & Robert Brout.** Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons. Physical Review Letters 13, 321 (1964); **Gerald Guralnik; C. R. Hagen & Kibble, T. W. B.** Global Conservation Laws and Massless Particles. Physical Review Letters 13, 585 (1964)
- [3] **L. Ginzburg & L. D. Landau.** On the theory of superconductivity. Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki 20, 1064, (1950). **Peter Higgs.** Spontaneous Symmetry Breakdown without Massless Bosons. Physical Review 14, 1156 (1966).
- [4] **J. Bardeen, L. N. Cooper & J. R. Schrieffer.** Theory of Superconductivity. Physical Review 108, 1175 (1957)
- [5] **L. Glashow.** Partial-symmetries of weak interactions. Nuclear Physics 22, 579 (1961); **S. Weinberg. A Model of Leptons.** Physical Review Letters 19, 1264 (1967); **A. Salam. N. Svartholm,** ed. Elementary Particle Physics: Relativistic Groups and Analyticity. Eighth Nobel Symposium. Stockholm: Almquist and Wiksell. pp. 367 (1968).
- [6] **S. Weinberg.** Cosmology. Cambridge Academic Press; **E. W. Kold & M. S. Turner.** The Early Universe. Addison-Wesley; **J. V. Narlikar.** An Introduction to Cosmology. Cambridge Academic Press.
- [7] ATLAS Collaboration. Combined search for the Standard Model Higgs boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector. arXiv:1207.0319 [hep-ex]; The CMS Collaboration. Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. arXiv:1207.7235 [hep-ex]
- [8] **A. Drozd, B. Grzadkowski, Jose Wudka.** Multi-Scalar-Singlet Extension of the Standard Model - the Case for Dark Matter and an Invisible Higgs Boson. JHEP 1204, 006 (2012); **Alexander Kusenko.** Sterile neutrinos, dark matter, and the pulsar velocities in models with a Higgs singlet. Physical Review Letter 97, 241301 (2006); **M. S. Boucenna, S. Profumo.** Direct and Indirect Singlet Scalar Dark Matter Detection in the Lepton-Specific two-Higgs-doublet Model. Physical Review D84, 055011 (2011); **John McDonald.** Gauge singlet scalars as cold dark matter. Physical Review D50, 3637 (1994).

Recibido el 5 de junio de 2012

Aceptado para su publicación el 12 de junio de 2012