

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

LA ACADEMIA ES ORGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXII

JUNIO DE 1998

NUMERO 83

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DIAZ-PIEDRAHITA



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Nota Editorial (Editorial).....	171	Química (Chemistry)	
Botánica (Botany)		The chemistry of the genus <i>Stevia</i> (Asteraceae, Eupatorieae). (La química del género <i>Stevia</i> [Asteraceae, Eupatorieae]).	
El medio ambiente colombiano y los cultivos ilícitos. (The colombian environment and illegal crops)		<i>Luis R. Hernández, César A.N. Catalán & Pedro Joseph-Nathan</i>	229
<i>Santiago Díaz-Piedrahita</i>	173	Zoología (Zoology)	
Cuatro nuevas especies y una nueva variedad de <i>Pentacalia</i> (Asteraceae-Senecioneae) para la flora de Colombia. (Four new species and a new variety of <i>Pentacalia</i> [Asteraceae-Senecioneae] for the flora of Colombia)		Una nueva especie de <i>Atelopus</i> A.M.C. Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) de la Cordillera Central colombiana. (A new species of <i>Atelopus</i> Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) from the Central Cordillera of Colombia).	
<i>Santiago Díaz-Piedrahita & Gina Paola Méndez</i>	187	<i>María Cristina Ardila-Robayo & Pedro M. Ruiz-Carranza</i>	281
Ecología (Ecology)		Additional new species of frogs (genus <i>Eleutherodactylus</i>) from cloud forests of Eastern departamento de Caldas, Colombia. (Especies adicionales de ranas [género <i>Eleutherodactylus</i>] de los bosques nublados del Oriente del departamento de Caldas).	
Integrated pest management and entomopathogenic fungal biotechnology in the Latin Americas: 1- Opportunities in a global agriculture. (Manejo integrado de plagas y biotecnología de hongos entomopatógenos en América Latina 1. Oportunidades en una agricultura global).		<i>John D. Lynch & José Vicente Rueda-Almonacid</i>	287
<i>Edison Valencia & George G. Khachatourians</i>	193	Redescripción de <i>Branchioica phaneronema</i> Miles, 1943 (Pisces: Trichomycteridae) de la Cuenca del Río Magdalena, Colombia. (Redescription of <i>Branchioica phaneronema</i> Miles, 1943 (Pisces: Trichomycteridae) from the Río Magdalena Basin of Colombia).	
Física (Physics)		<i>César Román- Valencia</i>	299
Conversión fotovoltaica de la energía solar. (Photovoltaic conversion of solar energy).		Notas (Notes)	
<i>Gerardo Gordillo</i>	203	Algunas reflexiones sobre la investigación científica. (Some reflections on scientific research).	
Matemáticas (Mathematics)		<i>Antonio Garda- Verduch</i>	305
Una construcción del "Branching Brownian Motion". (A construction of the Branching Brownian Motion).		Vida académica (Academic Life)	313
<i>Li liana Blanco CastOliedo</i>	213	Constitución de la Academia (Members of the Academy).....	315
Some remarks on the Local Path-connectedness of Infinite Point Compactifications. (Algunos comentarios sobre la conexión y la arcoconexión locales de compactificaciones por adición de un número infinito de puntos).			
<i>Jairo A. Charris, Carmenza Moreno & Oriol Mora-Valbuena</i>	221		

EL MEDIO AMBIENTE COLOMBIANO Y LOS CULTIVOS ILICITOS

por

Santiago Díaz-Piedrahita¹

Resumen

Díaz-Piedrahita, S. El medio ambiente colombiano y los cultivos ilícitos. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(83): 173-186. 1998. ISSN 0370-3908.

Se destaca la riqueza y diversidad de la flora colombiana y se analiza, desde el punto de vista histórico, el uso de la coca (*Erytroxypon coca*), la marihuana (*Cannabis indica*) y la amapola (*Papaver somniferum*) como mecanismos de escape. Se llama la atención sobre el daño ambiental generado por los cultivos ilícitos a través de la deforestación, el uso de matamalezas, la erosión de los suelos y la destrucción de las fuentes de agua.

Palabras claves: Colombia, medio ambiente, coca (*Erytroxilon coca*), marihuana (*Cannabis indica*), amapola (*Papaver somniferum*).

Abstract

A profile of the richness, diversity and use of the colombian flora is provided. The uses, historically, of the coca (*Erytroxilon coca*), marijuana (*Cannabis indica*), and poppy (*Papaver somniferum*), as escape mechanisms, are analysed and attention is given to the ecological damages (deforestation, use of herbicides, erosion, and destruction of sources of water) generated by these now illegal crops.

Key words: Colombia, environment, coca (*Erytroxilon coca*), marijuana (*Cannabis indica*), poppy (*Papaver somniferum*).

La flora de Colombia y las formaciones vegetales del país

Colombia es uno de los países mejor dotados en cuanto a recursos naturales; entre los mismos sobresale una de

las floras más ricas y variadas del universo; dicha flora es a su vez soporte de una fauna notable y diversa, y contribuye, gracias a las condiciones meteorológicas, a mantener un clima variado, a conservar el suelo y a sostener numerosas fuentes de agua necesarias para conservar la vida y para garantizar el bienestar de la población. El país ha sido clasificado como el segundo en el mundo en cuanto a diversidad biótica, diversidad

¹ Profesor Titular y Maestro Universitario de la Universidad Nacional de Colombia. sdiaz@ciencias.ciencias.unal.edu.co

que se deriva de los procesos evolutivos y del fenómeno de la especiación ocurridos principalmente durante los periodos Terciario y Cuaternario. Ello ha dado lugar a dos grandes centros de biodiversidad que corresponden a la región andina y a la región amazónica.

La vegetación natural del territorio colombiano tomada en su conjunto se caracteriza por la gran riqueza y exuberancia de su flora, determinada no solo por el enorme número de entidades taxonómicas o especies que la forman, sino por la gran variedad de tipos biológicos que exhibe. Esta riqueza de especies y de formas biológicas se deriva de varios factores entre los cuales vale la pena recordar en primer lugar la situación geográfica del país, netamente equinoccial por estar ubicado en pleno trópico americano, sometido a intensas lluvias y a elevadas temperaturas en las zonas bajas, y a fríos intensos en las zonas altas, pero con fluctuaciones bruscas de temperatura y de humedad a lo largo del día; un segundo factor deriva de los cambios geológicos y climáticos sucedidos en los últimos miles de años, y en especial a la presencia de la cordillera andina que recorre el país en tres grandes ramales, aumentando no solo la extensión, sino produciendo una casi infinita variedad de ambientes, derivados del paisaje montañoso, que por lo corrugado favorece una gran diversidad de nichos ecológicos y de barreras naturales, que si de una parte impiden la migración de numerosas especies, de otra favorecen su diversificación morfológica e intensifican su evolución.

La acción de las cordilleras sobre la flora y sobre la evolución de las especies que la forman se vio intensificada no solo como consecuencia de una evolución geológica diferencial, sino particularmente por los cambios climáticos ocurridos en los últimos miles de años, durante los cuales han alternado varios periodos glaciares e interglaciares, merced a los cuales el nivel de los bosques y de los páramos ha variado notablemente, ascendiendo y descendiendo alternativamente y favoreciendo la migración de elementos de origen antártico u holártico, que hoy acompañan a las especies originadas en la propia región tropical. Colombia es uno de los pocos países en donde la vegetación clímax cubre aun buena parte del territorio, pudiéndose diferenciar en un área continental de aproximadamente 1.138.914 kilómetros cuadrados, apenas ocho clases de formaciones vegetales que se distribuyen ampliamente, y en el seno de las cuales encontramos una gran riqueza de especies que desarrollan una notable gama de tipos biológicos. Esta diversidad de tipos es un reflejo de la gran cantidad de géneros y de especies, y del extenso rango de variación altitudinal y de diversidad de ambientes, que no solo confieren belleza

al paisaje sino que permiten el natural devenir de los ciclos de los elementos.

Siguiendo el criterio expuesto por Cuatrecasas (1958), en el territorio colombiano se presentan ocho formaciones vegetales a saber: una primera que corresponde a la selva neotropical, que es a su vez la formación más importante, tanto por la extensión que cubre, como por el máximo desarrollo biológico que la vegetación ha alcanzado espontáneamente en condiciones climático-geográficas naturales. Este tipo de selva se puede clasificar en tres estratos, uno inferior, que ocupa la franja comprendida entre el nivel del mar y los 1000 metros de altitud, y que cubre las llanuras aluviales, las bases o estribaciones de la cordillera Occidental, las distintas serranías, las llanuras de la región amazónica hasta el territorio del Guaviare, y los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena; el estrato subandino está ubicado en la franja comprendida entre los 1000 y los 2400 metros de altitud y corresponde en líneas generales a las faldas de las cordilleras; el tercer estrato o selva andina está ubicado entre los 2400 y los 3800 metros de altitud y corresponde básicamente al bosque nublado.

La segunda formación corresponde al páramo, también con tres franjas conocidas como subpáramo, páramo propiamente dicho y superpáramo, que ocupan regiones aparentemente desoladas en las partes altas de las cordilleras, especialmente entre los 3200 y los 4700 metros de altitud; se trata de parajes húmedos y fríos sometidos a cambios meteorológicos bruscos y a fuertes nieblas y vientos, donde alternan los días fríos, húmedos y nublados, con otros despejados, soleados y aun cálidos. En el páramo abundan las turberas que son sitios saturados de agua, donde se generan abundantes cursos de agua que alimentan las vertientes. La tercera de las formaciones es la de sabana que corresponde a grandes llanuras cubiertas de vegetación baja que ocupa los valles del río Sinú y del bajo Magdalena, así como los llanos orientales. En cuarto lugar tenemos las formaciones xerofíticas y subxerofíticas que aparecen en la costa Caribe, en las riberas del río Sinú, en la Guajira y en algunos sectores del valle del río Magdalena, como el valle del río Chicamocha y varias zonas del departamento del Huila.

Los manglares corresponden a la quinta formación y están constituidos por asociaciones de árboles o arbustos de tipo anfibio y halófilo, propios de los estuarios y muy típicos de las costas tropicales, que resisten el oleaje fuerte y la acción de las mareas gracias a las raíces aéreas y fúlcreas que se adhieren al suelo lodoso; los manglares desempeñan un papel muy importante desde el punto de

vista ecológico, por permitir el desarrollo de numerosas especies animales útiles a la economía. El natal es una formación particular propia de las zonas bajas e inundables de la selva tropical inferior, sometida al flujo y reflujo diario de los ríos. Las formaciones de playas y de márgenes de los ríos corresponden a etapas de sucesión vegetal que se dan en los suelos de los depósitos aluviales recientes. Como formaciones vegetales también debemos distinguir los prados que corresponden a las áreas deforestadas en las montañas, donde la vegetación original ha sido reemplazada por especies prateras que varían dependiendo de la altitud. Un último tipo de asociación corresponde a las formaciones acuáticas, cuya vegetación variará de acuerdo con el clima y la altitud.

Esta gran variedad de condiciones, como ya se indicó, hacen que la flora sea muy diversa y que el potencial de adaptación, variación y especiación sean muy elevados. Diversos autores han calculado con criterios diferentes el número de especies de plantas presentes en nuestra flora. Los datos varían entre 60.000 y 25.000. Lo interesante es que de todas formas, la colombiana es una de las floras más ricas y diversas del orbe. A manera de ejemplo baste decir que en las dos familias dominantes de la flora mundial, como son la de las orquídeas y la de las compuestas, la flora nacional es riquísima, habiendo cerca de 3000 especies de orquídeas y aproximadamente 1250 especies de compuestas en nuestro territorio, y que existen familias muy ricas en especies como la de las melastomáceas y la de las rubiáceas, ambas con cerca de 800 registradas para el país, así como las piperáceas y las bromeliáceas con más de 500 especies cada una. Igualmente hay géneros abundantísimos como *Tillandsia*, *Miconia* y *Psychotria* con más de 200 especies cada uno. Datos recientes permiten plantear un número de especies vegetales cercano a las 35.000, cifra que nunca podrá establecerse con absoluta certeza dada la gran deforestación y la permanente desaparición de especies, aun antes de ser descubiertas.

La importancia de las plantas y de la vegetación

Desde los tiempos más remotos las plantas han estado íntimamente ligadas con la existencia humana. El hombre depende por completo de otros organismos para su subsistencia y bienestar, y en la medida que ha desarrollado la inteligencia se ha hecho aun más dependiente del reino vegetal, el cual le es esencial. Al hombre primitivo le bastaba obtener de las plantas alimento, abrigo y vestido, pero la civilización ha traído consigo una complejidad creciente que ha aumentado las

necesidades humanas. Hoy día nadie se contenta con solo un techo rudimentario, una frasería y con el alimento diario, sino que busca otras comodidades y necesita de materias primas que puedan ser convertidas en muchos artículos y en productos útiles que contribuyan al disfrute de la vida, productos que aumentan la deuda que tenemos para con los vegetales. Las plantas son los únicos organismos productores de oxígeno, y además de alimento nos proporcionan miles de productos en los que el hombre ha basado la civilización y de los que dependemos para cubrir, no sólo las tres necesidades fundamentales, sino para garantizar el bienestar que todos anhelamos.

Las plantas nos proporcionan madera, empleada no solo como combustible o como materia prima en la construcción y manufactura de muebles y utensilios, sino como fuente de la pulpa de papel, de varias fibras sintéticas y de no pocos productos químicos. Además, la madera y demás restos fósiles provenientes de bosques pretéritos nos proporcionan energía a través del carbón, del petróleo y del gas natural; es así como podemos utilizar energía producida mediante la fotosíntesis y acumulada por vegetales que vivieron en épocas remotas.

De las plantas igualmente obtenemos drogas necesarias para combatir la enfermedad y aliviar el dolor, vitaminas para mejorar la salud, taninos y colorantes necesarios en múltiples industrias, corcho, aceites saturados e insaturados, aromas y perfumes, gomas, resinas, barnices y lacas, así como jabones, látex y caucho, chicle, goma de masticar, azúcares, almidones, mucilagos, especias, condimentos y demás productos aromáticos, sin los cuales es difícil imaginar la vida actual, además de numerosas bebidas, fumatorios y masticatorios que pueden proporcionar bienestar. De otra parte, la vegetación sirve de soporte a la fauna, influye sobre el clima y ayuda a controlar la erosión y a evitar las avalanchas e inundaciones.

La vegetación en su conjunto contribuye a mantener el equilibrio biológico e interviene en las cadenas alimenticias, además de favorecer la provisión de oxígeno necesaria para la respiración. Sin el proceso de la fotosíntesis no existiría la vida en el planeta; las plantas requieren del suelo para fijarse en él y para obtener los nutrientes necesarios en su supervivencia; la raíz no solo actúa como órgano de fijación sino que permite la absorción del agua y la transpiración de la planta. Una planta adecuadamente nutrida aprovecha el anhídrido carbónico y mediante la fotosíntesis libera oxígeno y produce azúcares y almidones que merced al metabolismo se podrán convertir en proteínas o en lípidos, compuestos necesarios para el desarrollo de los animales y del hombre.

A su vez, los desechos naturales se incorporan al suelo y se descomponen gracias a la acción de organismos inferiores como las bacterias y los hongos que sirven para degradar la materia orgánica y para reciclar los distintos elementos. Si bien algunas bacterias y hongos son causantes de alergias y enfermedades, otras sirven como auxiliares de la fermentación y de la industria. Sin fermentos no tendríamos de muchos productos resultado de la fermentación láctica como el queso, el kumis y el yogurth, o de la fermentación alcohólica como la cerveza, los vinos y los licores. Finalmente debemos decir que la vegetación cumple además con un papel estético al hacer agradable el paisaje y mejorar nuestra condición de vida.

El uso de plantas como mecanismo de escape

Las plantas no han servido únicamente para satisfacer las necesidades fundamentales del hombre o como fuente de numerosos productos útiles a la salud y al bienestar. Es un hecho ampliamente conocido que desde tiempos inmemoriales y a través de la historia, el hombre ha hecho uso de diversas sustancias de origen vegetal, ya sea tratando de huir de la realidad, ya buscando el placer, o bien tratando de obtener algún efecto fisiológico particular; también lo ha hecho en un intento de interpretar el universo y como parte de ritos y ceremonias de tipo mágico o religioso. En algunos casos esta búsqueda da lugar a un desdoblamiento de la personalidad, en tanto que en otros simplemente permite sobreponerse a la fatiga, al hambre, al sueño o a la angustia. La mayoría de las sustancias que se fuman, inhalan o mastican tienen un efecto excitante o narcótico debido a la presencia de diferentes alcaloides, unos de acción suave, otros fuertemente tóxicos incluso en pequeñas cantidades. Los alcaloides son compuestos nitrogenados complejos que se encuentran principalmente en los vegetales y que están dotados de notables propiedades fisiológicas y toxicológicas que caracterizan a las plantas que los contienen.

Las plantas alcalóideas proporcionan productos muy particulares. El tabaco que se fuma, mastica o inhala a manera de rapé, bebidas como el té, el café, el chocolate, el mate, el yoco o la cola, que actúan como estimulantes, el opio, la coca y el yahé que proporcionan peligrosos estados de euforia, el curare que sirve como veneno de flechas, la quina que combate las fiebres palúdicas, la ipecacuana que actúa como vomitivo y combate las disenterías etc, son apenas algunos ejemplos de sustancias dignas de estudio y de adecuada utilización. Entre los alcaloides a veces se incluyen compuestos de origen animal como la adrenalina que producen las cápsulas suprarrenales o la bufotenina y

demás bufotoxinas contenidas en la piel de algunos anfibios, y que en sentido estricto no son verdaderos alcaloides. Igualmente existen algunos productos de síntesis, con propiedades similares y con aplicaciones terapéuticas comparables a las de los productos naturales y que no difieren de los de origen vegetal como la novocaina, la estovaina, las eucainas, la apomorfina, la eufatmina y otras más.

La coca o hayo

El empleo como masticatorio de las hojas de coca (*Erythroxylon coca*) es una costumbre muy antigua y propia los pobladores de los Andes y de la parte occidental de la cuenca del Amazonas, territorios donde mantiene su importancia cultural, tanto en los grupos indígenas como entre el campesinado; desde el punto de vista histórico y arqueológico se ha demostrado que la masticación de las hojas de coca fue costumbre casi generalizada entre los pobladores de los actuales territorios de Chile, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica y Nicaragua, habiéndose extendido posteriormente a la región amazónica. A través de los siglos ha constituido un verdadero patrimonio cultural, al punto de ser una de las plantas más apreciadas por los pobladores de su área de influencia, donde subsisten grupos aferrados a sus costumbres tradicionales y a la fuerza de ancestros milenarios. El descubrimiento de las propiedades de la coca permanece en el misterio; la planta era ya muy apreciada por los incas que la consideraban como un símbolo de nobleza. Al llegar **Francisco Pizarro** al Perú en 1553, su uso era general en todos los estratos de la población. Su consumo fue mayor en los pueblos Chibcha, Quechua y Aymará, y aunque se presentan variantes en cuanto a la forma de utilización, siempre se han empleado las hojas secas o tostadas mezcladas con sustancias alcalinas que permiten la liberación de los alcaloides; las mismas se extraen de conchas calcinadas de moluscos, de piedras calizas molidas y de hojas secas y tostadas de Yarumo (*Cecropia spp.*).

Con base en la literatura es posible reconstruir en forma casi completa la historia de la coca, planta a la cual se han destinado múltiples elogios, a veces un tanto exagerados, así como fuertes críticas. Entre los incas se le atribuía un origen divino y como planta sagrada hacía parte de las ceremonias religiosas; este carácter sagrado no se perdió a pesar de haberse popularizado su uso. En relación con esta planta existen numerosos mitos y leyendas. En el Perú preincaico se atribuía a **Manco Capac** la revelación de la planta en los alrededores del Lago Titicaca. En Tiahuanaco han sido halladas tumbas

muy antiguas en las que se guardaban bolsas llenas de Coca y objetos destinados al uso de la planta. Además, a los muertos se les ponían en la boca hojas de coca para que su alma pudiese llegar al territorio de los bienaventurados. Ya en tiempos de los incas la coca era un monopolio de los soberanos y como símbolo de nobleza que era, constituía uno de los regalos más apreciados que un jefe podía dar en señal de afecto o admiración a alguno de sus súbditos. De acuerdo con los cronistas el pueblo estaba obligado a cultivar la planta, pero su uso estaba restringido a los soberanos; con el tiempo el empleo de la coca se generalizó en todo el imperio incaico, y a la llegada de los conquistadores se cultivaba en gran escala. Podemos concluir que en el Perú el pasado de la coca se remonta a varios siglos antes de la conquista española, sin que quiera esto decir que dicho país sea el lugar de origen de la especie, aunque cabe la posibilidad de que en su territorio sea donde se originó de la costumbre de consumir sus hojas con cal. (Uscátegui, N. 1954).

Entre las tribus indígenas colombianas los mitos y leyendas sobre el origen de la coca también son numerosos aunque no permiten aclarar el interrogante relativo al origen de la planta. A similitud de lo ocurrido en territorio peruano, los primeros pobladores de nuestro país tenían a la coca en gran estima. **Pérez de Barradas** (1940) en su estudio sobre la antigüedad del uso de la coca en Colombia trae a colación el hecho señalado por **Preuss** (1974), quien advierte como en la estatuaria de San Agustín está representada la utilización de la coca en al menos nueve de los monolitos antropomorfos, los cuales exhiben abultamientos en las mejillas que claramente se pueden asociar con la costumbre de mambear. La cultura agustiniana floreció hacia el siglo III antes de Cristo. En forma similar, **Sergio Elías Ortiz** (1934), interpretó a una estatua encontrada en Pašto como un "mascador de coca" por el abultamiento de la mejilla. Entre los muiscas y chibchas de las altiplanicies de Boyacá y Cundinamarca, la coca era propia de los jeques, tal como lo refiere **Juan de Castellanos** (1955), y como consta en numerosos documentos. **Ulises Rojas** (1991) transcribe un documento fechado en 1597, en el cual se informa como se educaba a los jeques muiscas. Los candidatos se escogían entre los sobrinos de los viejos sacerdotes y se sometían a un período de preparación que oscilaba entre cuatro y seis años, durante los mismos, estos jóvenes vivían encerrados en bohíos apartados donde eran sometidos a un ayuno permanente y recibían las enseñanzas propias de su futuro ministerio. Concluido el período de preparación eran sometidos a un baño ritual, tras el cual recibían una túnica blanca especialmente

tejida para la ocasión; a continuación les perforaban las orejas y luego de tres días de ceremonias matinales y de sendas visitas al cacique, éste les entregaba una mochila larga y pintada destinada al hayo y un calabazo con un cascabel y un palo destinados a la cal; estos instrumentos eran de uso exclusivo de los tibas y jeques, quienes quedaban capacitados desde este momento para ejercer su ministerio, siempre y cuando superaran una última prueba consistente en convivir durante cuatro meses, y en absoluta continencia, con dos doncellas de catorce años destinadas a su servicio y que dormían con ellos en el mismo aposento. Quienes quebrantaban esta norma, en la antigüedad eran sacrificados; por la época del informe perdían su preparación, caían en descrédito y eran privados de la posibilidad de ejercer el sacerdocio. Referencias similares proporciona **Fray Pedro Simón** (1953), quien menciona además como el hayo se consumía en los funerales y aniversarios y también era usado por mujeres flacas.

En relación con el uso como adivinatorio **Simón** señala:

"Los días pasados hallándome en el valle de Sogamoso en una doctrina que está a nuestro cargo, llamada Tota, saliendo de decir misa, encontré cerca de la puerta de la iglesia un viejo llamado Paraico, medio bufón y atruánhado, y teniendo noticia del mohan le hice devolver la poca ropa que traía y le hallé en una mochililla los instrumentos del oficio que eran un calabacito de polvos de ciertas hojas que llaman yopa, y de llas otras sin moler, y un pedacito de espejo de los nuestros encajado en un palito, una escobilla, un hueso de venado al sesgo por la mitad y un pintado hecho a modo de cuchara, con el cual cuando hacen sus mohanerías toman de aquellos polvos y los hechan en las narices, que por ser fuertes hacen salir luego una reuma que les cuelga hasta la boca, la cual miran en el espejillo y si corre derecho es buena señal y por el contrario si torcida, para lo que pretenden adivinar, y así para que esté el labio de arriba más desocupado, lo traen todos muy rapado y limpio de barbas los que las tienen; limpianse aquello después con la escobilla y la ceniza que también se han hechado en la cabeza y péinanse el cabello. Con estas señas exteriores hemos venido a hallar muchos en aquel valle, que tienen estos instrumentos."

A su vez **Castellanos** relata la utilización de la coca con las siguientes palabras:

".....
pues el mayor espacio de la noche gastan en mascar ayo, que son hojas naturalmente como zumaque;
y de la misma suerte las labranzas,
y los efectos son ni más ni menos:
más debe ser de gran vigor el jugo,
pues comportan con él la sed y el hambre,
y aún debe conservar la dentadura,

pues por viejo que sea cualquier indio muere sin padecer falta de dientes, y en todas las naciones de las Indias es común uso, por la mayor parte mascar aquestas hojas, que es la coca, que tienen en Perú los naturales, y aun españoles por ganancia gruesa, usan también con el de cierto polvo ó cal hecha de ciertos caracoles, que traen en el que llaman poporo, que es un calabazuelo, donde meten un palillo, y aquello que se pega recogen en la boca con el ayo. Y por tener en mucho tales hojas, sahuman a sus ídolos con ellas; [.....]

Información semejante proporciona **Lucas Fernández de Piedrahita** (1942), quien relata además como se cosechan las hojas, una a una, con la uña del dedo pulgar y cuando los frutos están en sazón, y como luego se tuestan y se guardan para el gasto de la casa o para el comercio, en el cual los indígenas “fundan su mayor riqueza”. El Obispo señala como lugares más fértiles para el cultivo del hayo, la región de los Sutagaos y Soatá en la provincia de Duitama. Referencias análogas relativas al uso del jayo entre los aurohuacos la proporciona el **Alferez José Nicolás de la Rosa** (1975) cuando escribe:

“Usan todos el vicio de mascar jayo, que es una hoja que cultivan en sus labranzas, que llaman jayales, y para ello traen siempre entre manos el poporo. Este es un calabacillo con su cintura en medio, hecha desde tierno, con un cordón que le ciñen, y un puntero a medida de la boca, con su recaso muy pulido. El uso de este vicio es hacer cal muy blanca y cernida de conchas marinas que echan en el poporo. El jayo le traen tostado en la mochila, terciada al cuello, echan un poco de él en la boca, y humedeciendo en ella el extremo del puntero la introducen en el poporo, para que se perciba la cal, y luego lo llevan a la boca, y revuelta con el jayo, mascan y expelen la saliva, la cual diligencia repiten de día y de noche. Y en tanto mascan están rodeando el puntero por la boca del poporo, y con la violencia de aquella mixtura, cría allí una concha en círculo, más o menos gruesa, según el tiempo que ha de uso, y el indio que en breve engruesa el aquel círculo es tenido por más experto en el uso del jayo. Esta conchilla molida y hecha polvos, es muy medicinal contra el dolor de muelas, y para éste lo guardan ellos, y las venden a los españoles.”

A su vez, **Cieza de León** (1947) refiere la utilización de la coca en los territorios de Cali y Popayán y en los distritos de Quimbaya y Anserma. El comisionado **Fray Diego García** (Mantilla & Díaz 1992) en 1785 indica

en una remisión de materiales con destino a **Mutis** lo siguiente:

“contiene la piedra de la que fabrican los indios y naturales la cal, o como cierta especie de legía, que toman para mascar la yerba coca que es tan usada en las provincias de Neyva, Timaná y Plata, que tiene mucho consumo de suerte que no les harán ir al trabaxo, si no llevan la coca porque tienen agüero feliz que tomando la coca se les adelanta y facilita el travaxo y en el laboreo de sacar oro, se prometen suerte feliz por la coca. Para tomarla le dan a la oja el beneficio de tostarla en algún tiesto sobre las brazas de candela, y la piedra la ponen a recoser al fuego, y después al modo con que en los hornos, donde se quema cal, la apagan rociándola con agua, lo ejecutan también los naturales, apagada, y ya hecha polvo ceniciento esta piedra, la ponen en unos cocos de totumos, y mojando con saliva una espatulilla, que a prevención llevan, la untan de aquella cal, y la ponen a la boca con la oja. Esta cal es la que llaman todos los indios y naturales mambí”.

En la misma relación y en el siguiente acápite el comisionado señala con respecto a los materiales remitidos:

“Contiene las semillas de los arbolillos que llaman coca, y de ella tienen los indios y naturales sus cosechas sembrándolos a su tiempo, y cuidándolos con esmero, cuyas ojas se venden entre ellos á Real la libra, más o menos según la necesidad del lugar y tiempo. Todos los indios de las provincias de Neiva Timaná y Plata, la siembran porque en todas ellas la usan no solo los indios, sino también los mestizos, mulatos, negros y muchos de los blancos, bien que son de aquellos pobretones de los campos. De esta coca se remiten esqueletos entre las tablas del herbario, y aora se verá si son lo mismo que aquellos esqueletos que de la provincia de Mariquita remití y en ella llaman algunos Yovisnita y en Honda Espanta rucio”.

El Padre **Antonio Julián S.J.** (1980) nos revela en varios discursos interesantes datos relativos a la coca y hace lo que podríamos llamar la primera apología de la planta. Sobresale su interés en la propagación de la especie y en que ésta llegue a constituirse en un importante producto de exportación. El sexto discurso se titula “**De la celebrada planta llamada Hayo, por otro nombre Coca, pasto común de la nación Guagira**” y se inicia con estas elocuentes palabras:

“Entro con singular gusto á discurrir de esta planta, no tanto para dar de ella noticia a los curiosos, quanto para promover su cultivo y uso en Europa, con ventajas de la Monarquía de España, y mayor bien y salud de los pueblos y naciones aun extrangeras.”

Continúa el Padre **Julián** señalando como otras naciones han popularizado el uso del té y del café, promoviendo sus virtudes y haciendo generalizado su consumo con indecibles ventajas económicas, en tanto que la nación española ha dejado en manos de los indios una valiosa planta capaz de convertirse en un ramo de comercio

muy ventajoso, y a la vez capaz de proporcionar salud, dar remedio a muchos males y actuar como un tónico eficaz para reparar las fuerzas perdidas y para prolongar la vida. Luego describe el uso del hayo entre los guagiros para pasar a comentar como en el interior del Nuevo Reino, y particularmente en las provincias más fértiles como Soatá en jurisdicción de Duitama, y en la tierra de los sutagáos, territorio que cubría desde Tunjuelo y Usme hasta el Magdalena por las orillas del río Fusagasugá, era abundante el cultivo. A continuación señala como el uso ha quedado restringido a algunos indígenas del Chocó, Pasto y a la Sierra Nevada, donde los pobladores, indios mansos y cristianos la cultivan extensamente y con mucho cuidado, razones por las cuales pudiesen estar ricos con su comercio, en tanto que se mantienen bien pobres y miserables. Luego describe detalladamente la planta y señala como se cosecha y almacena antes de canjearla o venderla a los comerciantes de perlas o a los guagiros en general. Termina el padre **Julián** este discurso indicando como en la antigüedad, parte de este comercio estaba destinado a los jeques de Bogotá, Guatavita y Sogamoso, que en su carácter de sacerdotes debían ser muy templados, castos, retirados y abstinentes, razones por las cuales pasaban la noche mascando hayo para no perder las fuerzas y conservar la fama de hombres puros y santos. En el séptimo discurso titulado: **“Demuéstranse las virtudes del Hayo, más apreciables que las del te, café, y mate del Paraguay”**, el Padre **Julián** se admira de que en Europa no se haga uso del Hayo, fenómeno al que atribuye cuatro motivos a saber:

1.- ignorancia en cuanto a sus excelentes virtudes y falta de alguien que las descubra;

2.- falta de ambición de la nación española de introducir últimas modas en otros países, como paciencia tiene en admitir las ajenas;

3.- el ser el Hayo fruto solo de los dominios del Rey de España, lo que permite más lucro a las otras naciones con el comercio del té o del café;

4.- no haber llegado aún el humor y el tiempo de poner de moda el tomar hayo.

Señalados estos puntos, el Padre **Julián** continúa su discurso con estas casi proféticas palabras:

“Mas puede ser que al Hayo, como á las demás cosas, lleve su tiempo, y que con las noticias que voy á dar de sus admirables virtudes y efectos, se introduzca la moda no vana, no inútil, no perniciosa á las casas y personas, como otras que vienen de allende, sino moda sana, utilísima, provechosísima a la salud, al vigor y fuerza del cuerpo, y larga próspera conservación del individuo.”

En general, en todos los pueblos el uso de la coca estaba restringido a los hombres y existía una clara relación entre esta planta y la religión. La utilización de la coca estaba igualmente asociada con numerosos elementos culturales como templos, estatuas de piedra, objetos de cerámica y numerosos mitos.

Uscátegui (1954) relata varios de dichos mitos obtenidos en diferentes tribus indígenas de la actualidad por distintos antropólogos. Recordamos acá uno de ellos a manera de ejemplo y con el fin de reiterar como la necesidad de alimento pudo estimular el uso de la coca, y como la división del trabajo por sexos tiene un origen mítico-religioso que lleva a veces a algunas restricciones. Para los Kogis de la Sierra Nevada, el Hayo tuvo su origen de la siguiente manera. El pueblo tenía hambre, entonces Sintana pidió el Hayo a la Magri, quien convirtió a una mujercita en mata. Nuaniskague la sembró en un tronco que fructificó y de allí se extrajo la semilla. La Magri fue la primera en consumir poporo. Sintana ordenó que las hojas las recolectaran las mujeres y que la coca la consumieran los hombres pero nunca antes de ser bautizados; el consumo debía hacerse preferentemente en la Casa Ceremonial para así escuchar los consejos de los mayores y dialogar con los compañeros.

A nivel mundial, la coca empezó a popularizarse en el siglo XVIII. **José de Jussieu** fue el primer botánico en estudiar la planta en su hábitat natural. La coca fue llevada a Europa en el siglo XVII. En 1860 y gracias al interés del notable médico y botánico colombiano **José Triana** se empleó por primera vez la cocaína con fines terapéuticos. El propio **Triana**, aprovechó la Exposición Universal de París de 1867 para presentarla bajo este novedoso punto de vista, hecho con el cual, esta especie hoy tan perseguida, adquirió una nueva dimensión. A partir de este acontecimiento y en corto tiempo, la coca logró un puesto importante en la materia médica como base para preparaciones magistrales similares a las hechas a partir de la quina. La demanda de coca fue en aumento y hacia 1872 el precio en Francia era de 16 francos por kilogramo, superando cuatro veces al precio de la quina de buena calidad, duplicando el precio del añil y triplicando el del tabaco. La cocaína se utilizó mucho como anestésico local y como tónico nervioso y del aparato digestivo. En carta fechada en París el 6 de marzo de 1873 y dirigida al Secretario del Interior y de Relaciones Exteriores de los Estados Unidos de Colombia, el botánico bogotano, luego de hacer un exaltado elogio de la planta de coca, de sus propiedades, de las posibilidades de expandir su cultivo y de industrializar

sus componentes, cierra la misiva con palabras tan proféticas como las del Padre Julián² :

“Una cosa faltaba para que el cultivo de la coca tomara incremento de nuevo y se levantase de la prostración y abandono en que ha caído. Era asegurar una salida constante á este artículo de consumo en el exterior y a medida que su producción aumenta. Esto es lo que creo poder anunciar con gusto al gobierno, si no me engaño, esperando que la Coca venga a ser un día, un nuevo y valioso producto de exportación para nuestro país.”

En cuanto a la economía colombiana, las palabras expresadas por el Padre Julián en 1787 y por Triana en 1873 se cumplieron en las últimas décadas, pues como una de las secuelas de la guerra de Viet Nam, la cocaína, uno de los principales derivados de la planta de coca, llegó a convertirse, desde luego en forma ilícita, en principalísimo producto de exportación del país.

Infortunadamente, esta planta tan útil para los pueblos indígenas e indispensable en ciertas áreas de Suramérica, donde se consumen sus hojas pulverizadas en cantidades inferiores a los 50 gramos por día, ha alcanzado una dimensión diferente al ponerse en boga, sobre todo en los países más desarrollados, el uso de uno de sus derivados, la cocaína, como un mecanismo para escapar de las tensiones y exigencias de la vida moderna. Al indígena que consume la coca en la forma tradicional le proporciona resistencia física y mental, con lo cual puede trabajar largo tiempo y recorrer grandes distancias sin alimento ni bebida. Entre quienes viven a grandes altitudes actúa como tónico y evita las molestias causadas por el aire enrarecido y por la acción de la gravedad. Esta forma de consumo ancestral no es perniciosa como si lo es, la cocaína pura consumida a través de las mucosas, por actuar directamente sobre el sistema nervioso central produciendo exaltación psíquica, y afectando seriamente los hemisferios del cerebro si su uso se hace prolongado.

La mayor parte de la cocaína que entra al mercado internacional lo hace a través de grupos o carteles colombianos que la elaboran y transportan en aviones fletados. El mercado de la cocaína se ha intensificado notablemente en los últimos treinta años, aumentando igualmente la producción, el uso, las incautaciones y los arrestos. La mayor área de cultivo está en Perú y Bolivia. El consumo de cocaína pura mediante inhalación a través de las mucosas nasales surgió como ya se indicó, como

una de las secuelas dejadas por la guerra de Viet Nam y se arraigó especialmente en las clases altas de los Estados Unidos; en la década de los 80 apareció el crack como una nueva y más económica forma de uso, esta vez fumando la cocaína mezclada con bicarbonato de sodio. La base de la cocaína también se fuma, principalmente en los países productores y procesadores. El fumar crack o basuco crea una enorme dependencia y dio lugar a un nuevo grupo de drogadictos y a un nuevo mercado para los productos de la coca.

La marihuana

Una de las plantas más antiguamente conocidas por el hombre es el cáñamo indio o marihuana (*Cannabis indica*), quizás una de las primeras especies domesticadas y cultivadas. Si bien el cáñamo ha sido empleado para la obtención de una importante fibra y de un aceite contenido en sus semillas, la importancia actual de la planta se deriva de su uso como alucinógeno, uso conocido hace miles de años y que alcanzó su máximo apogeo en la década de los sesentas y también como una de las secuelas de la guerra de Vietnam. Su consumo en Norte América está de nuevo en alza, compitiendo con el de la cocaína. En las culturas primitivas y en las religiones de Asia, el Cercano Oriente y en menor escala en Europa, la marihuana jugó un importante papel. Aparentemente los chinos la utilizaron hace 8500 años y con seguridad y para fines médicos o rituales la empleaban hacia el año 3000 antes de la era cristiana. El nombre genérico *Cannabis* aplicado por los griegos deriva del fitónimo “cunabo” usado por los asirios, que se fue modificando en “canapa”, “cáñamo”, “chanvre” y “kinnab”; los árabes emplearon más el vocablo “hachís” de donde deriva la palabra asesino, proveniente a su vez de assassino, tal como la escucharon los cruzados, quienes la asociaron con la conducta de los fedawis o luchadores abnegados, unos de los tres tipos de devotos con los cuales contaba la “Orden de los Asesinos”, cuyos miembros sometían a sus enemigos religiosos mediante el terror a través de asaltos e intimidaciones. Los fedawis gozaban de no pocos privilegios y debían pasar por una ceremonia de iniciación durante la cual consumían una bebida hecha a base de hachis, que obviamente les colocaba en trance, y entre sueños y realidades gozaban de placeres tanto espirituales como mundanos, a la vez que eran aleccionados por sus maestros para que sus sueños se hiciesen realidad, siempre y cuando cumpliesen obedientemente las tareas de defensa de su fe. No pocos cruzados, igualmente fanáticos debieron enfrentar a estos temibles musulmanes.

² Legado Triana, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

En tanto que en la India se acostumbraba ingerir las plantas alucinógenas o preparar bebidas sagradas, en el Cercano Oriente y en Grecia se desarrolló la modalidad de inhalar los humos producidos por sahumerios en los cuales se mezclaban resinas aromáticas a las que se añadían no pocas plantas alucinógenas, incluidos el opio y principalmente el cáñamo o marihuana, ya sea pulverizando la planta seca o consumiendo las semillas. No pocos ritos y ceremonias incluían la inhalación de humos embriagantes o narcotizantes. Las orgías sagradas eran ceremonias que se realizaban cada cinco años en homenaje a Demeter la diosa de la agricultura y en las cuales los sacerdotes que servían de intermediarios entre la tierra y el cielo cantaban melodías sagradas en medio de un ambiente de humo de resinas y cáñamo, que poco a poco les alejaba de la realidad y les hacía sentir en un ambiente de euforia celestial. Los escitas también inhalaban gran cantidad de humos narcóticos en sus ceremonias a Cibeles, y bajo su efecto creían ver una mezcla de figuras que mutaban vertiginosamente, pasando de animales a personas, primero como sirenas, luego como serpientes transformables en ninfas voluptuosas que viraban a murciélagos, pasando de monstruos a verdades y de realidades a fantasías engañosas y fascinantes.

Durante el Medioevo y el Renacimiento el uso de la marihuana en Europa fue limitado, a manera de hashish, ya fumado o ingerido, que como es obvio producía estados de éxtasis, que de acuerdo con las circunstancias y la mentalidad de quienes juzgaban la situación se interpretaban como arrobamientos místicos, arrebatos eróticos o posesiones diabólicas. Uso similar se le daba a este alcaloide en el Asia entre algunos grupos religiosos budistas, taoístas o musulmanes durante ceremonias de carácter ritual. Curiosamente a la marihuana además del uso ritual se le atribuían propiedades afrodisíacas, motivo por el cual su empleo con fines hedonistas fue frecuente. Así consta en algunos pasajes de “**Las mil y una noches**”.

Merced a la conquista de Egipto por parte de los ejércitos napoleónicos, se lograron las primeras investigaciones de tipo clínico sobre el hashish. **Jacques Moreau**, uno de los científicos que acompañó la expedición, se dedicó a observar cuidadosamente y con óptica de psiquiatra los efectos psicológicos causados por el humo o la ingestión del alcaloide, observaciones que recopiló y describió debidamente comentadas en el libro titulado “**Du hachisch et l’aliénation mentale**” y que se pueden resumir en varias secuencias que pasan de una sensación de placer a un aumento de la excitación acompañada de una agudización de las sensaciones con una distorsión de la percepción del tiempo que parece prolongarse indefinidamente y del espacio que se puede

magnificar o empequeñecer. A ello sigue un aumento de la agudeza auditiva que hace más agradables los sonidos, seguida de ideas persistentes de angustia que alternan con estados de bienestar, alucinaciones e impulsos a veces irreprimibles. Si las dosis aumentan vienen estados de delirio incoherencia y alucinaciones de todo género.

Los nuevos conocimientos sobre este alucinógeno llevaron a muchos intelectuales franceses a poner de moda su uso bajo la premisa de que conducía a grandes fantasías. Renombrados escritores, músicos y pintores se convirtieron en adictos consumidores; tal el caso de Honorato de Balzac, Teófilo Gautier, Jean Arthur Rimbaud, Charles Baudelaire, Gerardo de Nerval etc., algunos de los cuales organizaron el conocido “**Club des Haschichins**”, alrededor del cual se organizaban tertulias durante las cuales se ingerían o fumaban grandes cantidades de resina de cáñamo, mientras se leían poemas y ensayos, muchos de ellos en torno de las experiencias vividas bajo el efecto de la droga.

En el continente africano es donde más se consume marihuana, pero México es un productor importante y su consumo es alto entre los jóvenes. En otros países latinoamericanos y del Caribe su uso sigue estando muy difundido. En los Estados Unidos ha decaído un poco el consumo dando paso a la cocaína. En Asia y en el Pacífico su empleo es bastante frecuente y en Europa está igualmente difundido y va en aumento. Aunque muchos cultivos son erradicados periódicamente, a nivel mundial las áreas de siembra y las cosechas han aumentado.

La amapola o adormidera

Entre las plantas de uso médico y mágico más antiguamente conocidas está la amapola (*Papaver somniferum*), también conocida como adormidera. El nombre de *Papaver* parece derivarse del vocablo celta “papa” que equivale a papilla o puré, dado que con las cápsulas se preparaba un alimento blando de uso curativo y mágico. La literatura sobre las aplicaciones medicinales, y la utilización de su látex como estupefaciente es de las más abundantes. El opio, una de las drogas a la vez más útiles y perniciosas se obtiene del jugo lechoso extraído de las cápsulas inmaduras de esta planta herbácea y de flores vistosas, que nativa del Asia occidental, se encuentra hoy naturalizada en muchos países. Una vez caídos los pétalos se practican incisiones o heridas en las paredes del fruto, de las cuales rezuma látex que se endurece gradualmente en contacto con el aire. Este látex se recoge y se aglutina en bolas o tortas para un posterior proceso de purificación. El opio bruto contiene hasta 25

alcaloides diferentes, de los cuales los más importantes y enérgicos en su efecto son la morfina y la codeína, que por su acción narcótica y sedante se han empleado tradicionalmente para aliviar el dolor, como somníferos y como antiespasmódicos. Lamentablemente, y como sucede con otras sustancias de tipo alcaloideo, la mala utilización del opio y de sus derivados produce en quienes los consumen efectos perniciosos de índole física, mental y moral.

Por las escrituras cuneiformes se sabe que 3000 años antes de la era cristiana los sumerios ya conocían y utilizaban la amapola. La descripción más antigua de esta planta y de sus aplicaciones médicas y mágicas aparece en el "Herbario Asirio". En el papiro de Hebers cuya antigüedad es de cerca de 1550 años también se describe a la amapola; en Creta se rendía culto a la diosa de las amapolas identificada por Hesíodo como Mnemósine, madre de las musas y que vino a convertirse en la diosa Ceres de los romanos, en cuya mitología, a ella se debe no solo la agricultura y la exuberancia de la flora, sino el regalo de haber librado a la humanidad del dolor a través de esta planta. Los griegos atribuían a Orfeo el conocimiento de las propiedades mágicas y secretas de muchas plantas incluida la amapola, con cuyo látex se podían lograr los tres estados del éxtasis. A su vez la diosa Demeter, responsable de las cosechas era representada con un manojo de espigas de trigo y de cápsulas de amapola entre sus manos. En la mitología Somnus, dios del sueño poseía jardines donde abundaban las plantas de amapola.

De otra parte los chinos ya conocían la amapola varios siglos antes de la era cristiana, y hacia el siglo octavo se registra en varias obras como una planta peligrosa, que si bien puede curar, también puede causar la muerte. Dentro de este contexto se utilizó hasta el siglo XVII, cuando por influencia de los comerciantes de occidente se inició su utilización en forma perniciosa como fuente de vicio y adicción, hasta convertirse en una peste sin control que condujo a la famosa "Guerra del Opio".

Durante el siglo XVII se puso de moda en Inglaterra y en algunas otras regiones de Europa el hábito del opio bajo la fórmula de tintura conocida desde entonces como tintura de Láudano. No existían limitaciones en cuanto a su uso, motivo por el cual del empleo terapéutico se pasó al hábito y de allí a su utilización por motivos hedonísticos, convirtiéndose en moda entre los círculos más altos de la sociedad. Mientras que en Inglaterra se prefería el uso de la tintura, en Francia se popularizó su consumo como fumatorio, alcanzando mayor consumo entre los círculos políticos y literarios. Tomás de Quincey

(1785-1859) escritor de vida desordenada y bohemia que sufría de frecuentes neuralgias se habituó a tomar opio en grandes cantidades convirtiéndose en su máximo apologista. Así mismo se llamaba el "padre del opio" y entre sus obras publicó "Confesiones de un opiómano inglés" y "Sobre el asesinato considerado como una de las bellas artes". En uno de sus accesos de locura y alucinación prendió fuego a su biblioteca e impidió apagar el incendio aduciendo que el agua podía mojar y dañar sus libros.

La drogomanía con opio se agravó al obtenerse en forma pura la morfina y al introducirse el uso de las jeringas hipodérmicas, complicándose más aun la situación al aparecer la heroína como una forma sintética más adictiva. A pesar de las restricciones legales y de los múltiples controles que se ejercen a nivel mundial, los adictos a la morfina constituyen uno de los peores problemas médico-sociales y económicos que padece la civilización. Como ocurre con todas las drogas alucinógenas, el mercado clandestino mueve enormes capitales que sirven de tentación y que corrompen a todos los niveles, sirviendo de atractivo para generar fortunas rápidas y fáciles, sin importar los enormes daños que se causan a nivel individual, familiar, social y nacional.

El consumo del opio y de la heroína aumentó enormemente como consecuencia de la segunda guerra mundial, particularmente entre los heridos a quienes se les aplicó como calmante, muchos de los cuales terminaron como adictos. Más recientemente ha aumentado el número de adictos entre la población joven, particularmente en Europa y en los Estados Unidos, donde más de un 10% de los consumidores corresponde a menores de 21 años. La producción mundial de opio aumentó a partir de 1987. La llamada "Media Luna Dorada" en el Medio Oriente, el denominado "Triángulo Dorado" en el sudeste de Asia, y México son los principales abastecedores de heroína a nivel mundial. El área de mayor producción es la del sudeste asiático.

De las semillas de la amapola se puede extraer un valioso aceite secante comestible por prensado en frío. Si se hace un segundo prensado en caliente, se logra un aceite de color rojizo con aplicaciones industriales. Las semillas también se emplean en repostería.

Podemos concluir estas apuntaciones reiterando como el hombre desde épocas muy remotas ha utilizado plantas estimulantes, las cuales tienen sucesivamente épocas de auge y de decadencia. Entre ellas, las que contienen alcaloides de efecto leve se mantienen más fácilmente en el mercado y en la economía de las naciones. Las que

actúan como estimulantes fuertes sufren periódicamente persecuciones. En todos los casos, y después de los cereales -elementos indispensables en la alimentación de los pueblos- las plantas alcalóideas constituyen las cosechas mayores y son las que más afectan la economía mundial. En el caso colombiano recordemos como la misma se ha sustentado tradicionalmente y en buena medida en plantas con alcaloides. Tal el caso de las quininas, el tabaco, el cacao, el café y en las últimas tres décadas -y con los graves perjuicios que de allí se derivan- de la marihuana y de la coca y últimamente en forma por demás lamentable, también de la amapola.

La producción y el tráfico de cocaína, opio y marihuana son negocios muy grandes que permanentemente se expanden. Aunque en todos los países del mundo se siembran ilegalmente las plantas que producen estas sustancias, los cultivos prosperan y se extienden más en aquellas regiones que poseen condiciones climáticas y geográficas favorables y donde las condiciones económicas son precarias. Cada planta y cada droga tienen requerimientos propios para su cultivo y procesamiento, y permanentemente surgen nuevas técnicas que permiten modificar las instalaciones donde se realizan los procesos de elaboración, con lo cual se frustran buena parte de los esfuerzos realizados para combatir los cultivos, el mercado y el consumo. La conexión entre el cultivo, la elaboración, el mercado y el consumo es directa e inevitable y los países productores de la droga o los que sirven de tránsito tarde o temprano se convierten en países consumidores.

Se ha considerado como medio más eficaz y económico para reducir la oferta, el destruir y controlar los cultivos ilegales; la erradicación de los mismos y su sustitución deben estar acompañados de medidas que permitan el desarrollo de las zonas afectadas. La fumigación aérea es efectiva en cultivos de amapola y marihuana pero no sirve para combatir cultivos de coca. Para que la erradicación tenga éxito se debe contar con la colaboración de los pobladores de la región, creando una conciencia pública sobre los perjuicios que generan los cultivos ilícitos. Si simultáneamente no se ataca la demanda entre los consumidores, los esfuerzos para erradicar los cultivos y reducir la oferta resultan totalmente inefectivos.

El daño ambiental. Los matamalezas, la deforestación, la erosión y la destrucción de las fuentes de agua

El medio ambiente es hoy centro de la atención mundial compartiendo un lugar con las guerras, el

hambre, el desempleo y las desigualdades sociales. Es un hecho que el planeta se está degradando, que la naturaleza sufre un permanente impacto y que numerosas especies están desapareciendo diariamente; nos encontramos en el filo de la navaja y muy cerca del punto del no retorno en materia ambiental. A partir de 1971 y como una consecuencia de la Conferencia de Estocolmo, se tomó conciencia de la fragilidad del planeta que compartimos y se reconoció a nivel mundial la existencia de una crisis, asumiéndose como una necesidad el estudio y pronta aplicación de medidas conducentes a salvar la naturaleza. No se trata de una actitud de tipo romántico sino de una necesidad apremiante.

Como se señalaba al comienzo, la mayor diversidad biológica en nuestro país se encuentra en las cordilleras, y es en esas cordilleras donde los ecosistemas son más frágiles; en el país ha sido una costumbre ancestral tumbiar la vegetación natural ya sea para abrir potreros como para explotar la madera. Tradicionalmente fue requisito comprobar las mal llamadas "mejoras" para poder titular valdíos, y ha sido costumbre inveterada la de medir la riqueza a través de la posesión de ganado que requiere vastas extensiones para su desarrollo; "hacer patria" era tumbiar selva y generar potreros, considerándose al "hacha bienhechora" como la herramienta que más había contribuido al progreso de la nación. Necesariamente el hacha fue fundamental para adelantar los procesos de colonización, pero en la medida en que fueron reduciéndose las áreas de selva para dar paso a fincas, cultivos y ciudades, se hizo imperioso el reservar áreas para proteger la vegetación natural, los suelos, las aguas y la fauna y para conservar el paisaje. Las cordilleras se enfrentan a problemas específicos, entre ellos los riesgos de avalanchas, más probables cuando se produce la deforestación en las zonas más altas y empinadas. El bosque ejerce una influencia sobre el clima, condiciona el suelo para una mejor infiltración de las aguas lluvias, modera el chorreo sobre las vertientes, regulariza el caudal de los manantiales y el régimen de las crecidas y sirve para luchar contra la erosión. El bosque nativo es el mejor adaptado para esta función reguladora y que a la larga resulta más rentable a la economía nacional que la producción maderera; igualmente la cría de animales puede originar graves degradaciones de los suelos, especialmente por sobrepastoreo. Las cordilleras poseen la mayor riqueza en especies animales y vegetales, las cuales merecen ser protegidas a causa de su rareza, de su valor científico, del papel que desempeñan en el equilibrio de la naturaleza y de su potencial económico como posibles fuentes de productos valiosos a la medicina, la industria y la alimentación.

En el caso colombiano, a las presiones naturales ocasionadas por la apertura de nuevas vías de comunicación que amplían las fronteras agrícolas y favorecen la colonización, de la crisis agraria, de las migraciones, la violencia, el desempleo y demás problemas de índole socio-económica, se ha sumado el problema de los cultivos ilícitos que se refugian en zonas deprimidas y retiradas, donde se ve favorecida esta actividad por la ausencia del Estado. Hoy día no debemos enfrentarnos solo a la necesidad de planificar las áreas destinadas a la protección y al establecimiento de parques naturales y reservas forestales, sino que debemos combatir el establecimiento de cultivos ilícitos, especialmente en las áreas críticas desde el punto de vista ambiental.

La coca y la marihuana prosperan en zonas bajas con terrenos ondulados o quebrados y en altitudes comprendidas entre los 500 y los 1500 metros en tanto que la amapola puede desarrollarse en altitudes superiores a los 2000 metros sobre el nivel del mar, razón por la cual los cultivos ilícitos de esta planta han proliferado en las faldas de las cordilleras, constituyéndose en una amenaza para los bosques de la selva andina y en el subpáramo, cuyos ecosistemas son decisivos para el equilibrio ecológico y para la regulación de las fuentes de agua. El área de los cultivos tiende a aumentar no sólo por la enorme rentabilidad de los mismos sino por la acción del glifosato, substancia que paradójicamente sirve como eficaz herbicida, al tiempo que mejora las condiciones del suelo, por alterar la acidez del mismo e incorporar fosfatos absorbibles por las plantas y útiles en el proceso de nutrición.

En 1983 una comisión de expertos sugirió al Consejo Nacional de Estupefacientes el uso de herbicidas para combatir los cultivos de marihuana. Entre la vasta gama de herbicidas se eligió a la "fosfono-metil-glicina ($C_3H_8NO_3P$) más conocida con el nombre de glifosato como la substancia más apropiado para este menester. Motivó la decisión el hecho ser muy efectiva como herbicida y de no ser perjudicial para la salud humana, pues si bien es tóxica y no se conocen antídotos para combatir su efecto, se requieren enormes cantidades y consumidas en forma oral para causar la muerte en los humanos. A este compuesto para que sea efectivo se le añade un agente humectante denominado agral que permite su permanencia sobre las hojas, con lo cual se logra el efecto de coagulación de la savia con la consecuente asfixia, efecto que automáticamente interrumpe dos procesos vitales como son la transpiración y la fotosíntesis, causándose así la muerte inmediata de la planta. De otra parte, las hojas fumigadas con él, al caer son atacadas

por los microorganismos del suelo, que encuentran en el glifosato elementos apropiados para su desarrollo, al descomponer la molécula en glicina y en anhídrido carbónico; la glicina favorece el incremento de la población de microorganismos, mejorando así la fertilidad y las condiciones del suelo. En forma ambigua las condiciones de los terrenos fumigados mejoran al quedar el fosfato en forma absorbible por las plantas.

El verdadero problema ecológico de la destrucción de los bosques, de la erosión consecuente, de la pérdida de fuentes de agua y de la alteración del clima no es ocasionado por el glifosato sino por la tala, las rozas, la quema y el abandono de los rastrojos, en los cuales, si bien y merced a la mejora en las condiciones del suelo, puede regenerar un bosque de tipo secundario, la estructura y tamaño de las raíces y la arquitectura de las plantas no son suficientes para proteger el terreno de la erosión y de los volcamientos, cuyo riesgo aumenta en relación directa con la pendiente de las faldas andinas. Son suficientes un fuerte aguacero, un invierno prolongado durante el cual el suelo se satura de agua y aumenta de peso, o un leve movimiento telúrico, para producir el escurrimiento de los suelos, quedando expuesta la roca madre. En contraste con ello y como ya se indicó, el bosque primario garantiza la estabilidad de los suelos, permite los ciclos de los elementos, contribuye al nacimiento y regulación de las fuentes de agua y al mantenimiento del régimen de lluvias, aparte de conservar las especies animales y vegetales.

Infortunadamente las condiciones socio-económicas de algunas regiones han forzado a los campesinos e indígenas a desvastar los bosques del subpáramo y de la selva andina para buscar en la amapola una salida a la crisis económica que padecen. Este fenómeno aparentemente nuevo surgió hacia 1989 y a partir de 1991 se confirmó oficialmente la existencia de cultivos y se produjeron los primeros decomisos de pasta de látex, de opio, de morfina y de enormes cantidades de semillas. Desde entonces se han detectado cultivos en las tres cordilleras, en territorio de los departamentos de Nariño, Cauca, Huila, Tolima, Valle del Cauca, Caquetá, Chocó, Meta, Cundinamarca, Boyacá y Santander.

En los cultivos ilícitos como en los legales se realizan labores agrícolas que implican preparación del terreno, desyerbas, aporques, aplicación de abonos fertilizantes, plaguicidas y cal que pueden afectar la fauna acuática al llegar a las corrientes sedimentos, ya sea por gravedad o por percolación. Todos estos procesos modifican no solo las condiciones químicas de los suelos y de las aguas sino que alteran la flora y la fauna circundantes a

la vez que cambian las condiciones socioeconómicas de las poblaciones circunvecinas. A ello se unen los residuos orgánicos e inorgánicos provenientes de la actividad humana que llegan directamente a las corrientes de agua deteriorando la calidad de las mismas y causando impacto no sólo sobre la fauna acuática sino sobre la salud humana.

En las zonas planas y particularmente en la región amazónica, el peligro de avalanchas y volcamientos del terreno y la erosión generados por los cultivos de amapola o marihuana se reducen o desaparecen, pero son reemplazados en cuanto a impacto ambiental, por otros problemas generados en la deforestación de miles de hectáreas cuya única vocación es la de proteger cuencas hidrográficas y de servir de hábitat a sinnúmero de especies vegetales y animales. Acá no existe un suelo erosionable en el sentido estricto pero si una cobertura vegetal que al destruirse altera el régimen de precipitaciones, además de dejar al descubierto suelos de tipo, laterítico, que no tienen vocación agrícola y que conducen a la desertización. La destrucción de la selva lleva consigo la destrucción de recursos genéticos invaluable y aun desconocidos de los cuales puede depender la supervivencia futura de la humanidad. Es imposible cuantificar estos recursos, pero si podemos señalar con certeza que no solo se pierde el germoplasma y se afecta la biodiversidad del área, privando a las futuras generaciones de vastos hábitats poblados de raros animales y de hermosas plantas, que como seres vivos resultado de un complejo proceso evolutivo, merecen tanto respeto como la especie humana, y de paisajes y bellezas escénicas con que nos premió la naturaleza y que deberíamos legar a las generaciones futuras en iguales o mejores condiciones que en las que las recibimos.

En la región amazónica los cultivos de coca se ubican cerca de los ríos para facilitar la llegada de los insumos y para sacar fácilmente la pasta básica hacia los laboratorios de refinación, o la cocaína pura hacia los sitios de comercio. A la contaminación causada a los cuerpos de agua por el uso indiscriminado e incontrolado de herbicidas, fungicidas e insecticidas se une el vertimiento de residuos y de sustancias altamente contaminantes utilizadas en los laboratorios, tanto durante la extracción básica de la pasta de coca, en la que se emplean sodas o carbonatos y solventes orgánicos, como en la purificación, durante la cual se usan ácidos fuertes, permanganato y amoníaco, que dan por resultado la cocaína pura. En desarrollo de este proceso de aislamiento y purificación que permite

separar la cocaína de otros catorce alcaloides contenidos en la hoja de coca, y que no son apetecidos en el mercado negro de las sustancias ilícitas, se emplean éter, cloroformo, acetona, metil etil cetona, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, amoníaco, permanganato, carbonato de calcio, soda cálcica o potásica, gasolina, cemento y otras sustancias que como ya se indicó, caen a los ríos y quebradas junto con desechos orgánicos y basuras.

De otra parte, los cultivos ilícitos y el establecimiento de laboratorios en la región amazónica afectan directamente a las poblaciones indígenas allí establecidas desde hace miles de años; estas poblaciones representan a más de cincuenta grupos étnicos distribuidos en quince grupos lingüísticos con territorios bien definidos y con culturas propias.

También es causa de daño ecológico la destrucción de los laboratorios. Es obvio que la única forma de eliminarlos junto con las instalaciones que los acompañan es mediante incendios cuyo efecto en el ambiente no es necesario describir. Estas quemadas no sólo afectan a la atmósfera y al área de los laboratorios sino que ponen en peligro las zonas adyacentes, que como ocurre con las regiones apartadas y de difícil acceso, están mal conocidas desde el punto de vista científico.

Como conclusión podemos señalar que los cultivos ilícitos de amapola, coca y marihuana generan daños ambientales, en algunos casos con consecuencias irreparables sobre los ecosistemas. El primero es la devastación de vastas zonas de selva altoandina o de selva tropical, que se unen a las altas tasas de deforestación anual que afectan al país. Se pierden enormes cantidades de biomasa que se convierten en cenizas y en sedimentos, se pierden suelos que no tienen vocación agrícola y que son más valiosos cuando están cubiertos de vegetación natural por contribuir a la conservación de las aguas -cada día más escasas y más necesarias- y a la regulación del clima. Igualmente se pierden o se ponen en grave peligro de extinción numerosas especies animales y vegetales.

Referencias bibliográficas

- Castellanos, Juan de. 1955. Historia del Nuevo Reino de Granada. Biblioteca de la Presidencia de Colombia. Tomo IV, 617 pp.
- Cieza de León, Pedro. 1947. La Crónica del Perú, nuevamente escrita por... vecino de Sevilla. Biblioteca de Autores Españoles. Madrid. Tomo II, 577 pp.
- Cuatrecasas, J. 1958. Aspectos de la Vegetación Natural en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 10(40): 221-264.

- De la Rosa, J. Nicolás.** 1975. Floresta de la Santa Iglesia Catedral de la ciudad y provincia de Santa Marta. Biblioteca Banco Popular 74. Bogotá. 394 pp.
- Drug Enforcement Administration.** 1980. Marihuana under the microscope. 36 pp.
- Fernández de Piedrahíta, Lucas.** 1942. Historia General del Nuevo Reino de Granada. Biblioteca Popular de Cultura Colombiana. Tomos 1-IV. Bogotá.
- Julián, Antonio.** 1980. La Perla de América, Provincia de Santa Marta. Edición facsimilar. Academia Colombiana de Historia, Bogotá. 280 pp.
- Mantilla, L.C. & S. Díaz.** 1992. Fray Diego García, su vida y su obra científica en la Expedición Botánica. Colección Enrique Pérez Arbeláez 7. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Santafé de Bogotá. 286 pp.
- Naranjo, Plutarco.** 1972. Alucinógenos del Viejo Mundo. *Terapia* 1, 27:7-96
- Ortiz, Sergio E.** 1934 Informe sobre la prehistoria del Departamento de Nariño. *Boletín de Estudios Históricos* 5(54).
- Pérez de Barradas, J.** 1940. Antigüedad del uso de la Coca en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc* 3(11): 323-326.
- Preuss, K. T.** 1974. Arte Monumental prehistórico. Universidad Nacional. Bogotá. Tercera edición española. 504 pp.
- Rojas, Ulises.** 1991. Documentos inéditos para la Historia de Boyacá y Colombia 1. Academia Boyacense de Historia, Tunja, 188 pp.
- Simón, Fray Pedro.** 1953. Noticias Historiales. Ministerio de Educación Nacional. Ediciones de la Revista Bolívar. Tomos I-IX
- Schultes, R.E.** 1969. The plant Kingdom and hallucinogens. *Bull. Narcotics*. 21(1).
- Uscátegui, Néstor.** 1954. Contribución al estudio de la masticación de las hojas de Coca. *Revista Colombiana de Antropología* 3. 1954: 207- 289.

CUATRO NUEVAS ESPECIES Y UNA NUEVA VARIEDAD DE *PENTACALIA* (ASTERACEAE, SENECIONEAE) PARA LA FLORA DE COLOMBIA

por

Santiago Díaz-Piedrahita¹ y Gina Paola Méndez²

Resumen

Díaz-Piedrahita, S. & Méndez G. P.: Cuatro nuevas especies y una nueva variedad de *Pentacalia* (Asteraceae, Senecioneae) para la flora de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(83): 187-192. 1998. ISSN 0370-3908.

Se proponen como nuevas especies del género *Pentacalia*, *P. retroflexa*, *P. encanoana*, *P. odorata* y *P. carupana*; igualmente se describe como nueva variedad *P. carrikeri* var. *macrophylla*. Las tres primeras de tales especies pertenecen al subgénero *Pentacalia*, en tanto que la última y la variedad se ubican en el subgénero *Microchaete*. En cada caso se discuten las afinidades y diferencias con las especies más cercanas.

Palabras claves: *Pentacalia*, Asteraceae, Senecioneae, Colombia, Taxonomía.

Abstract

Four new species of *Pentacalia* are described from Colombia: *P. retroflexa*, *P. encanoana*, and *P. odorata* belong to the subgenus *Pentacalia*; *P. carupana* and *P. carrikeri* var. *macrophylla* belong to the subgenus *Microchaete*. Commentaries are given relative to their affinities and differences.

Key words: *Pentacalia*, Asteraceae, Senecioneae, Colombia, Taxonomy.

El avance de los trabajos pertinentes a la revisión de las especies colombianas del género *Pentacalia* (Asteraceae, Senecioneae), próxima a concluirse, y en

particular el examen de los numerosos pliegos depositados en el Herbario Nacional Colombiano (COL) ha permitido encontrar varias especies hasta ahora indescritas y que se dan a conocer a continuación.

¹ Profesor Titular, Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Santafé de Bogotá, sdiaz@ciencias.ciencias.unal.edu.co

² Bióloga. Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495 o 27630, Santafé de Bogotá.

Pentacalia (subgen. *Pentacalia*) **retroflexa** Díaz sp. nov.

Fig. 1.

TYPUS: COLOMBIA, Departamento de Huila, Algeciras, Alto el Roble, vía hacia Altamira, 2000-2400 m, 13 Oct 1993, "Bejuco. Involucro verde-claro, flósculos amarillos", C. I. Orozco, I. Rentería, M. Morales & E. Ospina 2806 (Holotypus COL, Isotypus COL 397612).

Pentacaliae moronensis H. Robinson & Cuatrecasas *similia sed in foliis minoribus et retroflexibus distincta.*

Plantas escandentes, alargadas indefinidamente, tallos cilíndricos, glabros, fistulosos, de 6 mm diam. Hojas alternas, marcadamente retroflexas, pecioladas, peciolo de 15-26 mm long, adaxialmente canaliculados, abaxialmente cilíndricos, tenuemente ensanchados en la base y glabros, lámina carnosa en vivo, coriácea en seco, ovada o elíptica, glabra, lisa y lustrosa, de 7-10 cm long x 3-4 cm lat, ápice agudo y mucronado, base aguda o cuneada, margen entera y revoluta, nervio medio impreso por la haz, los laterales inconspicuos, 6-8 por lado y divergiendo en ángulo de 45 grados, nervio medio prominente por el envés, superficie abaxial rugulosa bajo la lente y con los estomas emergentes.

Sinflorescencias laterales axilares y retroflexas, multicéfalas, angostamente racemiformes, notablemente más largas que las hojas subtendentes, de 15-30 cm long, áfilas o con pequeñas brácteas subuladas, a veces con brácteas foliáceas en la base, pedúnculos y pedicelos escábridos, pedúnculos de 10 mm long, pedicelos con 3-4 bractéolas subuladas de ca. 1.5 mm long x 0.3 mm lat, bractéolas diminutas, lineares, hasta de 2 mm long. Capítulos discoideos de ca. 10 mm alt, acampanados, con 22-23 flósculos, brácteas caliculares generalmente 2, angosto-trianguulares, glabras, de 2.0-2.5 mm long x 0.5-1.0 mm lat, filarias 11 por capítulo, las exteriores de 6.0-6.5 mm long x 1.0-2.2 mm lat, acuminadas y peniciladas en el ápice, angosto-ovadas, las interiores igualmente angosto-ovadas, de 6.0-6.5 mm long x 1.5-2.5 mm lat, con dos nervios longitudinales, dorsalmente glabras o con escasos pelos escábridos hacia la base, margen membranosa, hacia el ápice ligeramente escarioso-ciliada y con un mechón de pelos penicilados, receptáculo de 2.0-2.5 mm diam, plano, foveolado y fimbriado; flósculos de 6.0-7.0 mm long, tubuloso-acampanados, porción tubular de 2.6-3.3 mm long, ligeramente ensanchada en la base, lóbulos triangulares, recurvados de 1.0-1.3 mm long x 0.3-0.6 mm lat con el ápice papiloso en ambas caras, anteras singenésicas, caudadas, de ca. 2 mm long, apéndice apical más o menos triangular, de ca. 0.3 mm long, caudas de 0.2-0.3 mm long,

collar de ca. 0.4 mm long, porción libre de los filamentos de 1 mm long, ramas estigmáticas enroscadas, de 1 mm long, dorsalmente canaliculadas, apicalmente truncadas y peniciladas. Aquenios fuscos de 2 mm long x 0.7 mm diam, lisos, papus blanquecino, cerdas de 5.5-6.0 mm long, cerdas libres desde la base, escabrosas y puntiagudas apicalmente.

Esta especie muestra su mayor afinidad con *Pentacalia moronensis* H. Rob. & Cuatr., especie propia del sur de Ecuador, de la que se distingue por presentar hojas de menor tamaño, y particularmente por la notable disposición retroflexa de las hojas y de las sinflorescencias; por las sinflorescencias axilares y numerosas también recuerda a *P. uribei* Cuatr., de la que se separa fácilmente por presentar sinflorescencias glabras y mayores y por la disposición retroflexa tanto de las ramas floríferas como de las hojas.

Pentacalia (subgen. *Pentacalia*) **odorata** Díaz & Méndez sp. nov.

Fig. 2.

TYPUS: COLOMBIA, Cundinamarca, Pasca, Vereda de La Mesa, en la entrada de la Selva, 2700 m, 16 Sep 1967, "Arbusto alto, trepador entre el matorral, enormes y abundantes inflorescencias de color amarillo o anaranjado quemado, perfumadas", L. Uribe 5969 (Holotypus COL 109209, Isotypus US).

Pentacaliae chaquiroensis (Greenm.) Cuatr. *similia sed in foliis maioribus, capitulis copiosibus et odorantibus distincta.*

Frútices robustos y bien ramificados, ramas escandentes intrincadas. Tallo fistuloso de 6 mm diam, canaliculado, cinamómeo, con escaso indumento viloso que se hace más denso en los pedúnculos y pedicelos, entremezclado con glándulas dispersas. Hojas alternas, coriáceas, pecioladas, peciolo ligeramente ensanchados y amplexantes en la base, de 20 - 26 mm long, canaliculados por encima, adaxialmente cilíndricos, con indumento laxamente viloso; lámina ovada de 7.0 - 9.2 cm long x 3.7 - 4.7 cm lat, ápice obtuso y mucronado, base redondeada, margen sinuosa, ligeramente revoluta y con dientes callosos, escasos y distanciados entre sí, superficie adaxial brillante y con escasos pelos vilosos y bifidos intercalados con glándulas dispersas, superficie abaxial opaca, laxamente villosa, con glándulas que brillan con la luz, nervios laterales ascendentes 7-8 por lado, poco conspicuos y anastomosados contra el borde, divergiendo en ángulo de cerca de 45 grados, impresos por la haz, prominentes por el envés.



Figura 1. *Pentacalia retroflexa* Díaz
Ejemplar tipo. Fotografía Julio Cabra.



Figura 2. *Pentacalia odorata* Diaz & Méndez Ejemplar tipo.
Fotografía Julio Cabra.



Figura 3. *Pentacalia encanoana* Díaz & Méndez
Ejemplar tipo. Fotografía Julio Cabra.



Figura 4. *Pentacalia carupana* Diaz
Ejemplar tipo. Fotografía Julio Cabra.

Sinflorescencias paniculadas, terminales o axilares y sobrepasando en alto grado a las hojas, largas y multicéfalas, cada una de ca. 12 cm long, pedúnculos con bractéolas subuladas, de 12 mm long x 3 mm lat, decrecientes, pedicelos delgados, de 3 mm long, erectos y cubiertos de indumento villosos, con 2 brácteas angosto-ovadas de 1.8-2.0 mm long x 0.3-0.4 mm lat. Capítulos cilíndricos de 7-8 mm alt x 3 mm diam., discoideos y con 20-21 flores; cálculo formado por 3 - 4 bractéolas angosto-ovadas, dorsalmente pilósulas, de 1.0 - 2.0 mm long x 0.3 - 0.5 mm lat, involucro de 8 brácteas, las exteriores con 3 nervios, con márgenes membranáceas y el ápice penicilado - ciliado, de 4.3 - 5.0 mm long x 1.0 - 1.3 mm lat, las interiores 5, de 4.0 - 4.5 mm long x 1.5 - 1.8 mm lat, similares a las exteriores pero 4-nervadas, con escasos pelos en la base, receptáculo ligeramente convexo, foveolado y fimbriado de ca. 3 mm diam., flósculos 20-21 por capítulo, tubuloso - acampanados de 7.0 - 8.0 mm long, porción tubular de 2.0 - 2.8 mm long, lóbulos triangulares de 0.8 - 1.0 mm long x 0.4 - 0.5 mm lat, ligeramente recurvados y con papilas dorsales y ventrales, anteras exsertas, caudadas de 2.5 mm long, caudas de 0.5 mm long, apéndice apical angosto - triangular de 0.3-0.6 mm long, porción libre de los filamentos 1.5 mm long, ovario de 1 mm long x 0.4 mm diam., con costillas, aquenios prismáticos, glabros, de 1.0 mm long x 0.7 mm lat, papus uniseriado, setas blancas, estrigosas de ca. 4.5 mm long.

Por la suma de sus caracteres *Pentacalia odorata* muestra su mayor afinidad con *P. chaquiroensis* (Greenm.) Cuatr. de la que se separa fácilmente por presentar hojas de mayor tamaño (7.0-9.2 cm long x 3.7-4.7 cm lat vs. 2.5-5.0 cm long x 1.2-2.0 cm lat), con la margen sinuosa, casi entera, apenas con escasos dientes callosos y muy distanciados entre sí, que contrastan con las márgenes callosodenticuladas de la especie afín; además, *P. odorata* presenta sinflorescencias muy desarrolladas, con abundantísimos capítulos perfumados, que superan ampliamente en tamaño a las ramas floríferas de *P. chaquiroensis*. Una característica particular propia de la nueva especie es la de presentar escasos pelos villosos bifidos intercalados con glándulas dispersas brillantes a la luz que se desarrollan tanto en la haz como en el envés foliar.

Pentacalia (subgen. *Pentacalia*) ***encanoana*** Díaz &

Méndez sp. nov.

Fig. 3.

TYPUS: COLOMBIA, Departamento de Putumayo, Valle de Sibundoy, Municipio de Santiago, al sitio El Encano, 1-3 Abr 1993, *L. F. Hoyos 20* (Holotipus COL 379541).

Pentacaliae supernitens (Cuatr.) Cuatr. *similia sed in foliis minoribus et in flosculis paucioribus distincta.*

Frútices con ramas escandentes, más o menos flexuosas, tallos cilíndricos, de 6.0-7.0 mm diam, macizos, canaliculados, corteza glabra o con escaso indumento pilósulo o pubérulo, especialmente en las porciones terminales. Hojas alternas, pecioladas, peciolo de 6.0-8.0 mm long, glabros y ligeramente ensanchados hacia la base, canaliculado por la haz y hemisférico por el envés, lámina de 3.0-4.5 cm long x 1.5-2.0 cm lat, elíptica, carnosa, crustácea y discólora en seco, glabra, obtusa y mucronada en el ápice, cuneada a redondeada en la base, margen entera y ligeramente sinuosa, superficie adaxial con 6-8 nervios secundarios por lado, inconspicuos, nervio medio impreso y con escasos pelos velutinos y cinamómicos, superficie abaxial con el nervio medio prominulo y los secundarios ligeramente prominulos.

Sinflorescencias dispuestas en panículas corimbi-formes, hasta de 7.0 cm long x 6.0 cm lat, pedúnculos y pedicelos pilosos, pelos gris-castaños, subtendidos por brácteas foliáceas basales decrecientes en tamaño hacia el ápice al igual que los pedúnculos, los mayores de 4 cm long, pedicelos de ca. 5 cm long. Capítulos radiados, de 8.0-9.0 mm alt, cálculo formado por 5-6 brácteas triangulares u ovadas, dorsalmente villosas y con las márgenes ciliadas, 0.8-1.3 mm long x 0.5-0.8 mm lat, receptáculo foveolado y fimbriado, plano o ligeramente convexo de ca. 2.5 mm diam, involucro acampanado, formado por 11-13 filarias, angosto-ovadas, peludas en el ápice, membranosas en las márgenes y con escasos pelos villosos hacia la base y peniciladas en el ápice, las exteriores 4.5-4.7 mm long x 1.0-1.2 mm lat, las interiores de 4.3-4.8 mm long x 1.0-2.0 mm lat. Flores liguladas 7 por capítulo, corola amarilla, de 6.5-7.0 mm long, porción tubular de 2.5-2.7 mm long, ligeramente ensanchada en la base, lígula de 1.5-2.2 mm lat, lisa, cuatro - nervada, tridentada y ligeramente papilosa en los lóbulos, especialmente en la cara abaxial, ramas estigmáticas truncadas, glabras y de ca. 1.0 mm long, ovario de ca. 1 mm long x 0.4 mm lat, ligeramente ensanchado en la base y en el ápice, papus de ca. 4 mm long, cerdas estrigosas, blanquecinas; flósculos 16-19 por capítulo, corola amarilla, tubuloso - acampanada, de 5.0 - 6.0 mm long, porción tubular ligeramente ensanchada en la base, de ca. 2.0 mm long, limbo gradualmente ensanchado hacia el ápice, lóbulos triangulares de 1.3 mm long x 0.4 mm lat, recurvados y papilosos en la porción apical, papus uniseriado formado por numerosas setas blanquecinas estrigosas, de 4.0 mm long, aquenios de 1 mm long, ensanchados en la base, anteras singenésicas caudadas de 2.2 mm long, caudas de

0.5 mm long, collar anterífero de 0.4 mm long, apéndice apical de 0.3 mm long, ramas estigmáticas truncadas, glabras, exsertas, de ca. 1 mm long.

Pentacalia encanoana es afín a *P. supernitens* (Cuatr.) Cuatr., especie de la que se separa por presentar hojas de menor tamaño que en ningún caso superan los 5 cm de longitud (3.0-4.5 cm long x 1.5-2.0 cm lat vs. 7.8-11.0 cm long x 2.9-4.5 cm lat), y por un número menor de flósculos por capítulo (ca. 15) que equivalen a la mitad de los que presentan los capítulos de *P. supernitens*. La lámina foliar de *P. encanoana* es discolora y algo menos brillante que la de *P. supernitens*.

Pentacalia (subgen. *Microchaete*) ***carupana*** Díaz sp. nov.
Fig. 4-5.

TYPUS: COLOMBIA, Departamento de Cundinamarca, municipio de Carupa, Páramo de Guargua, sector occidental, 3720 m, 5 Feb 1987, Roberto Sánchez 71 (Holotypus COL 310446).



Figura 5. *Pentacalia carupana* Díaz
Detalle del ápice de las ramas. Fotografía Julio Cabra.

Pentacaliae cleefii (Cuatr.) Cuatr. *similia sed in habitu erectibus et in foliis anguste-obovatis distincta.*

Frúti ces hasta de 50 cm alt, tallos leñosos de ca. 4 mm diam, cubiertos por las vainas persistentes de las hojas marchitas y desprendidas, glabros y con corteza de color gris oscuro con tinte marrón. Hojas crasas, concoloras, enteras y sésiles, lámina angosto - ovada de 9 - 15 mm long x 2-4 mm lat, lustrosa, enervia y glabra, ápice obtuso, brevemente mucronado, base cuneado - redondeada, ensanchada en una vaina abrazadora de ca. 3 mm long x 3 mm lat, ovada, glabra, dorsalmente ensanchada y de color marrón en seco.

Sinflorescencias terminales corimbiformes formadas por 3-9 capítulos discoideos, capítulos de ca. 9 mm alt, pedúnculos cortos, cálculo generalmente formado por 4 bractéolas angosto - triangulares de 3.8-4.5 mm long. x 1.0-1.3 mm lat, dorsalmente engrosadas y ligeramente cóncavas, más o menos villosas en el dorso y con la margen ciliada, pelos alargados de ca. 1 mm long,



Figura 6. *Pentacalia carrikeri* var. *macrophylla* Díaz
Ejemplar tipo. Fotografía Julio Cabra.

receptáculo plano, foveolado de ca. 2.5 mm diam, involucro formado por 13 filarias, cinco exteriores angosto - triangulares de 6.5-7.0 mm long x 1.5-2.0 mm lat, glabras, ocho interiores angosto - ovadas, con las márgenes escariosas y más o menos ciliadas y con el ápice ligeramente acuminado, 5.8-6.5 mm long x 1.8 - 2.2 mm lat, flósculos 30-31 por capítulo, corola claviforme y de color amarillo, porción tubular de ca. 1 mm long, ensanchada en la base, limbo de 5.0-5.3 mm long, lóbulos triangulares de 1.0 mm long x 0.5 mm lat, apicalmente engrosados y papilosos, anteras singenésicas de 2.3 mm long, apéndice apical triangular de ca. 0.3 mm long, base largamente sagitada, caudas de 0.4 mm long, collar anterífero de 0.7 mm long, porción libre de los filamentos de 1.5 mm long, estilo bifido, ramas estigmáticas de 1.5 mm long, truncadas y peniciladas, ovario glabro, papus ocreoleuco, cerdas libres y estrigosas de ca. 4 mm long.

Pentacalia carupana se caracteriza entre otras cualidades por el hábito pequeño, los tallos densamente cubiertos por las vainas secas y persistentes de las hojas y por las hojas crasas y brillantes con vaina basal abrazadora, así como por las corolas claviformes o estrechamente cónicas, con una porción tubular muy corta, y las anteras largamente caudadas. Aunque a primera vista recuerda a *P. elatoides*, especie propia del extremo norte

de la Cordillera Oriental y de la que se separa fácilmente por las hojas mucho más cortas y más gruesas y carnosas, muestra su mayor afinidad con *P. cleefii*, de la que se aparta por el hábito erecto y de mayor tamaño, así como por la forma de la lámina foliar y la de la corola.

***Pentacalia carrikeri* var. *macrophylla* Díaz var. nov.**

Fig. 6.

TYPUS: COLOMBIA, Departamento del Magdalena, Sierra Nevada de Santa Marta, Transecto del Buritaca, filo La Cumbre, 15 Ago 1977, "Arbustillo 1 m. Capítulos amarillos. Hojas ligeramente azulosas por el envés", *O. Rangel & A. M. Cleef et al. 985* (Holotypus COL 251875, Isotypus COL 192388).

A Pentacaliae carrikeri (Cuatr.) Cuatr. affinis a qua imprimis differt foliis maioribus a basi truncatis vel auriculatis.

La nueva variedad difiere de la variedad típica entre otros caracteres, por la presencia de hojas sésiles, de mayor tamaño (6.5-9.5 cm long x 1.6-2.8 cm lat vs. 2.5-7.5 cm long x 0.3-1.0 cm lat); aunque tanto en la var. *carrikeri* como en la var. *macrophylla* la lámina es angosto - elíptica, en esta última la base foliar es redondeada o truncada e incluso levemente auriculada, pero nunca cuneada.

INTEGRATED PEST MANAGEMENT AND ENTOMOPATHOGENIC FUNGAL BIOTECHNOLOGY IN THE LATIN AMERICAS: I- OPPORTUNITIES IN A GLOBAL AGRICULTURE

by

Edison Valencia and George G. Khachatourians*

Resumen

Valencia, E. & G.G. Khachatourians: Integrated pest management and entomopathogenic fungal biotechnology in the Latin Americas: I- Opportunities in a global agriculture. *Rev Acad, Colomb. Cienc.* **22(83):** 193-202- 1998. ISSN 0370-3908.

Los hongos entomopatógenos (EPF) han sido ampliamente utilizados en el control biológico de plagas, tanto individualmente como en forma integrada (IPM). Tal manejo ha causado un impacto agrícola en beneficio de los cultivos. Los hongos entomopatógenos pueden jugar un papel significativo en la preservación y en el balance natural de la biota útil, así como en su expansión activa, como ocurre en el bosque húmedo tropical, en la selva andina y en otros ecosistemas agrícolas de Centro y Suramérica. De todos los EPFs conocidos, cerca de media docena cumplen con los requisitos para ser utilizados industrialmente en biotecnología de tipo R y D. Latinoamérica ejerce un liderazgo en el uso de EPF en IPM en las prácticas agrícolas y en el diseño racional de bioinsecticidas. Para mayores beneficios, deben aumentarse tanto la investigación como los esfuerzos por industrializar los EPF en el manejo integrado de plagas, dado que su potencial como microinsecticidas está en pleno auge y desarrollo.

Abstract

Entomopathogenic fungi (EPF) have been used as insect biocontrol agents separately and in integrated pest management (IPM) worldwide including in the Latin Americas. The proper use of these agents along with other elements and concepts of IPM has significant impact on the provision of crops, fruits and other agricultural products. Entomopathogenic fungi can play a significant role in the preservation of the natural delicate balance of beneficial biota and their active spreading from the surrounding natural habitats, such as the tropical rain forest, the

* Bioinsecticide Research Laboratory/ Microbial Biotechnology Laboratory. Department of Applied Microbiology and Food Science. College of Agriculture, University of Saskatchewan, Saskatoon, S7N 5A8. FAX: 306-966-8898 or Phone (306) 966-5032 or-5046. e-mail khachatouria@sask.usask.ca.

humid cloudy forest in the Andes and other important ecosystems, to the agricultural lands in Central and South America. Of all known EPF, there are only about half a dozen for which prerequisite aspects of fungal biotechnology for industrial R and D are in place. Because of its precedent setting leadership in the use of EPF in IPM and agroecological practices, Latin America stands to gain immensely here and more so if the concept of rational design of bioinsecticides (RADBIO) is employed. The future prospects will depend on a balance of discovery research coupled to a strong and dependable industrialization effort to develop the framework for illustrating public acceptance, commercialization potential and widespread use of EPF in IPM. The potential for the next generation of mycoinsecticides is now looming on the horizon.

1. Introduction and scope

The 21st century comes along with big challenges and opportunities for humanity. The production of food and fiber and the obtaining of energy, shelter and bioactive substances, represent universal needs of people worldwide. These needs must be satisfied in spite of shrinking resources and the increase in human population.

In most countries of the world, the agricultural lands have been pushed to their physical limits. Further expansions can not be attained without impairing remaining important ecosystems. Most of such lands are the border of total destabilization due to human activities (Ruttan, 1996).

Industrialized countries were directly involved in the implementation of the so called "Green Revolution" during the past 30 years. These countries have been responsible for a big proportion of the mass production of food, fiber and other resources for the world population. However, really dramatic increases in crop productivity are unlikely to occur for all agricultural sectors at the same time, regardless of powerful technological tools such as molecular biology and biotechnology. This fact strongly suggests that non-industrialized countries will have to participate more actively in the production process within a global base, to meet the needs of the human population already estimated at 6.3 billion people for the year 2010 (Ruttan, 1996).

Non-industrialized countries, especially those located in the tropics, have a significant advantage in terms of potential agricultural productivity over countries located in temperate regions. This is in part due to the lack of seasonality and the high intensity sunlight which make possible the continuous outdoor cropping year round.

Among non-industrialized tropical regions, Latin America emerges with unique conditions for production of food, fiber and bioactive substances. Because of the characteristics of these agricultural environments, the high contents of volcanic ash in the soils, the amount

and regularity of rainfall, the diversity of thermal levels due to variation of altitudes and the direct or indirect influence of the abundant tropical rain forests, Latin America stands out as a privileged region for agricultural production. This continental region holds a long tradition of agroecological practices, which create a favorable environment for the design and introduction of new strategies of crop protection and production. Latin America should be seriously considered to significantly contribute to meet human needs in the next century.

Latin America has a big proportion of important ecosystems which are still conserved. Many of these ecosystems occur along the borders of farming lands. Consequently these lands are susceptible to the impact of low-technology agricultural practices within the countries of this region, as well as to the detrimental effects of subsistence agriculture. For this reason, Latin American governments must be committed to achieve sustainable agricultural systems, by switching from resource-based to knowledge and science-based agricultural production (Nene, 1996).

However, the rapid implementation of novel technologies will initially be expensive. Further, considering the limited economic resources for most of the countries in Latin America, the challenge of sustainable agriculture will probably require balancing the use of traditional/conventional technologies and the most innovative modern technologies now available. This balance is fundamental to make possible that big producers as well as small farmers can equally benefit from the technological inputs.

A key requirement of crop production is crop protection, including the management of arthropod pests. This is definitely a major issue within the strategies for ensuring healthy harvests. Many countries in Latin America have implemented successful practices for the management of key pests. Nevertheless, due to the arthropod biodiversity of most of these agricultural ecosystems, the occurrence of potential and secondary pests is a permanent risk. This would further be aggravated if a coherent approach for

managing the phytophagous insect-complex is not put in perspective. Because of biodiversity, there is also a significant prevalence of beneficial arthropods in most cropping systems, which are offering an ongoing in expensive natural control of the phytophagous complex (Valencia, 1994).

Some of the methods for the control of key pests often disrupt the agroecosystem by a drastic reduction of the beneficial species. This quickly switches the situation of phytophagous insect complex to the occurrence of an insect pest complex, complicating our approach to sustainable agriculture. These disruptions are particularly significant for methods such as the non-selective use of wide spectrum chemical insecticides, the total eradication control of weeds, the clearing out and destruction of plants around crops and some traditional practices like burning residues on the soils during or after the harvest (Altieri, 1994).

2. Current Latin American practices

Latin America because of its large natural resources and vast numbers of plant and insect species, harbors a very rich environment and niche for the discovery and use of EPF for IPM. The interest in biodiversity of species and genetic diversity, has a special value in the context of biotechnology and its practice in Latin American countries. As described in the volume, "Biotechnology in Latin America: Politics, Impacts and Risks", 1995 (Peritore and Galve-peritore, 1995), the editors N Patrick Peritore and Ana Karina Galve-Peritore, in their preface, express caution regarding the 1 or 2% of risky procedures or substances which will emerge through biotechnology and have extensive effects on the environment. However, on the opposite side, the benefits of biotechnology are greater. Many Latin American countries have indeed used and done this very successfully, so far, as the naturally occurring microorganisms and specially EPF for biocontrol of insect pests, are concerned.

To give two examples, one has to look at the development of some 228 Biological Pest Control Production Centers in Cuba (Feinsilver, 1995), or use of fungi in IPM control of the coffee berry borer (CBB) in Colombia (Valencia, 1995). In Colombia, the National Federation of Coffee Growers launched a massive program for the control of the CBB using mainly the filamentous fungus *Beauveria bassiana* Bals. (Vuill) and cultural practices. As a result of this program more coffee growers use *B. bassiana* as an important part of the IPM of the CBB. The entrepreneurship of private companies has been important for the widespread use of EPF in this country. Trans-

national companies such as Hoechst Schering AgrEvo Colombia and Laverlam have started to scale-up the production and commercialization of mycoinsecticides. So far, AgrEvo S.A. Colombia is undergoing an intensive research and development effort, for the introduction of mycoinsecticides as an innovative component Ofi PM strategies in the most important commercial crops.

Further, through international umbrella organizations, collaborative initiatives such as CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) have generated newer diffusion of technology in pest management. Entomopathogenic fungi, particularly *Metarhizium anisopliae* and baculoviruses, have been commercially used for several years in Brazil for the control of major pests in important crops such as sugar cane and cotton (Cardona, 1995). Other Latin American countries such as Costa Rica, El Salvador, Chile, Mexico, Ecuador, Peru, Nicaragua, Panama, Honduras and Guatemala have made significant developments in IPM concepts and programs, including an extensive utilization of biological control agents (Andrews and Quezada, 1989). The Escuela Agricola Panamericana in El Zamorano, Honduras, in cooperation with the University of California in Riverside, has made huge contributions to the implementation, adoption and widespread use of IPM in Central and South America. The application of commercial products derived from *Bacillus thuringiensis* and the releasing of the egg-parasitoid wasp *Trichogramma spp.* have played a major role for IPM, mainly of lepidopteran pests in several countries of Latin America.

3. The potential of EPF for IPM strategies

Integrated Pest Management, first proposed more than 20 years ago (10), is the better approach to ideal management, as a concept compatible with the sustainability of agriculture and the protection of biodiversity, within the terms defined at the Earth Summit in Rio de Janeiro in 1992.

According to the fundamental philosophy of IPM, different, compatible, and complementary methods of pest control must be combined in harmony to meet the economic, sociological and ecological needs of modern agriculture (Valencia, 1993). Methods such as chemical, physical and biological control as well as cultural practices have been well recognized for the IPM of major pests worldwide. Due to the emphasis in sustainability given to extensive agriculture during the last years, ecologically oriented methods, such as biological control, varieties of plants resistant to pests, agroecological practices and cultural practices, are gaining momentum as

pest control measures compatible with the protection of the environment.

Insecticides derived from bacteria, fungi and viruses definitely play a major role among the different biocontrol agents. Many microorganisms can be easily produced and formulated on an industrial scale and they can be applied by means of conventional application equipment used for chemical pesticides (**Burgerjon and Dulmage, 1977**).

Most of the commercially available microbial insecticides are derived from bacteria. *B. thuringiensis* has dominated the bioinsecticide international market with a market share consistently higher than 90% during last few years. A number of *B. thuringiensis*-derived insecticides have been targeted primarily for the control of lepidopteran larvae. However, in certain examples, lepidoptera have become resistant to *B. thuringiensis* toxins. Additionally, many major pests of several important crops belong to other orders of insects including Coleoptera, Diptera, Homoptera, Hemiptera, Orthoptera and Thysanoptera. Many of these insects occur as pests in the adult as well as in the immature stages. Furthermore, some important agricultural pests do not even belong to Insecta but to Arachnida class, such as a big group of tetranychidae, eriophyidae and tarsonemiidae pest mites, which do have natural fungal enemies such as *Hirsutella spp.* In these cases, *B. thuringiensis*-based products and baculoviruses, having a fundamental ingestion mode of action, present serious limitations to be incorporated in the IPM strategies for the control of these pests.

Considering the importance and versatility of microbial insecticides as a part of the IPM approach, it is clear that new alternatives are now required. This is needed in order to widen the feasibility of using microbial insecticides in crop protection in Latin America, where many crops present a complex of pests during different plant developmental stages.

Entomopathogenic fungi occur naturally in the environment and are responsible for periodic control of many pest species. The Deuteromycetous or asexual fungi contain over 700 known species with pathogenicity to insects alone spanning some 85 genera (**Khachatourians, 1991**). Although 20-30 EPF are the subject of intense laboratory research, only few are entering commercial production and use as mycoinsecticides. Given this, the process of marching the development of EPF as biocontrol agents should not be too difficult.

In this respect, EPF represent an interesting challenge. Due to their particular *contact mode of action*, these fila-

mentous fungi are able to effectively act against a wide range of insect species, including those with unique feeding habits (i.e. sucking insects belonging to Homoptera, Hemiptera and Thysanoptera) which are unlikely to be controlled by using naturally occurring microbials which act through ingestion. The contact mode of action of EPF enables them to control even the non-feeding stages of insects such as pupae and eggs (**Rodríguez-Rueda and Fargues, 1983**). As well, new-hatched larvae and non-feeding adult and quiescent stages which occur in some pest species, can be efficiently controlled by EPF. Despite the relatively wide spectrum of pathogenicity of EPF species, they can be made highly specific through selection of strains for the control of insect pests. These isolates have a significantly lower impact on non-target organisms as a result of their specificity to the target host (**Sitch and Jackson, 1997**).

Beyond these advantages, many native species of EPF are facultative saprophytes and therefore can grow although to a limited extent in organic matter inside cropping areas. This factor offers the possibility that a low pressure of inocula can be maintained under field conditions for certain periods of time, thus reducing the potential of some pests to initiate out-breaks. Fungal species with such a profile actually have a huge potential to be used within agro-ecosystem, as a part of a generally accepted practice in pest control programs.

Additionally, considering that fungi are the most ubiquitous eukaryotes, there are many possibilities of finding EPF practically in every environment where pests species occur. This situation represents a good chance for the isolation of fungal pathogens in the original habitats of exotic pests, thus allowing these pathogens to be used in classical biological control programs, once the basic studies of impact on non-target organisms have been completed. On the other hand and due to the ubiquity of EPF, there is a tremendous opportunity for the discovery of native fungal isolates for the control of indigenous pests. In this case, EPF have a huge potential as microbial agents within biological control strategies such as augmentation and conservation.

Although naturally occurring isolates of entomopathogenic fungi can be directly used in crop protection strategies, they may have a few limitations in their performance under field conditions, including a restricted window of action at unfavorable climates. Other limitations include problems with mass production and formulation of particular fungal strains and propagules, mainly due to hydrophobicity of their spores. Some of the most important limitations, whether perceived or real of EPF

are their moderate efficacy under field conditions, their speed of action, dependence on environmental factors for survival and expression of pathogenicity. Equally restricting are the difficulties in finding or selecting fungal strains simultaneously having desirable traits of pathogenicity, physiological fitness and rusticity under field conditions.

Most of these limitations can be partially or totally overcome by means of the scientific tools of biotechnology and molecular biology within a coherent strategy of IPM. It is very important to point out that one of these limitations, the moderate efficacy, is not necessarily incompatible with a cost effective strategy of pest control. As a matter of fact, the modern concept of *biological regulation*, indicates that biocontrol agents are able to effectively regulate pest populations (**Rodríguez del Bosque**, 1994).

This is particularly interesting for EPF, when they are applied to low levels of infestation of the pest, below the action threshold defined for the application of chemical insecticides, thus increasing the possibility to efficiently prevent future out-breaks of key or potential pests, for a reasonable period of time (**Rodríguez del Bosque**, 1994). This option is interesting not only to maintain the pest populations at a low level, but mainly because it facilitates the rational use of other pest control alternatives, such as chemical insecticides and cultural measures (**Valencia**, 1995). The concept of the use of biologicals for insect pest regulation is visionary and fully compatible with the preventive philosophy of the good agricultural practices. However, it requires qualified and permanent technical assistance as well as a change of mindset of traditional farmer expectation from this method of pest control.

Considering that moderate efficacy and slow speed of action can still create difficulties of acceptance of mycoinsecticides by some farmers, all attempts to increase the levels of biological efficacy of EPF or their speed of pest control, will certainly contribute to widening their levels of utilization. The biological efficacy and the speed of action of EPF are functions of several physiological events. Key amongst these events are, attachment of the spores, both specific and non-specific, to the insect cuticle, germination of the spore, formation of the appressoria, penetration through the cuticle, neutralization of the immunological defenses of the host, production of fungal toxic metabolites, growth and reproduction of the fungal propagules inside the insect and dispersal after the host death (**Hegedus and Khachatourians**, 1995; **Khachatourians**, 1996).

Remarkably, almost any of these traits of EPF are amenable to improvement by selection of species or strains and the tools of biotechnology and molecular biology (**Hegedus and Khachatourians**, 1995; **Khachatourians**, 1996; **Khachatourians**, 1986). As well, the tolerance of EPF to unfavorable climatic conditions and their profile for production and formulation on an industrial scale, can be likewise improved by means of the same tools. Additionally, an IPM model especially designed for a pest, crop and geographical zone, will certainly maximize the possibilities of success of an IPM program using wild type or improved EPF. This comprehensive strategy must be complemented with a very careful approach to achieve the genetic stability of the already selected isolates (**Khachatourians**, 1991). The key point inside the strategy, is to identify *the limiting factor or factors* determining the speed of infection, the pathogenicity or other biological traits. These factors are probably very different for each insect-fungal pair isolate interaction and therefore they should be established for the control of each pest.

4. Two case studies and new approaches to EPF in Latin America

Latin America holds a long tradition in the practice of IPM and EPF have been extensively used due to the particular characteristics of the region. Among the outstanding characteristics of most agro-ecosystems in Latin America, is the abundant fauna of beneficial insects present in their crops (**Valencia**, 1995). If this fauna is maintained, it offers a complementary and inexpensive effect of pest control, in combination with other control measures including bioinsecticides (**Rodríguez del Bosque**, 1994).

To be fully adopted by farmers mycoinsecticides must be complimentary to modern strategies of crop protection. There are few studies documenting an increase in net profits as a result of the implementation of IPM practices, as compared with conventional pesticide programs under field conditions (**Trumble, Craosn, Kund**, 1997). The use of EPF itself may not be sufficient however, in today's economic environment. Of many options it is only IPM practical models that can enhance EPF to meet the needs of traditional and/or highly technical agricultural ecosystems (**Valencia**, 1995).

The IPM model for our purpose is defined as: combination of factors and selection of conditions giving to each method of pest control the highest possibility of success, for a pest or a pest complex, crop, and specific environmental conditions. Eight major components are incorporated into the model:

1. The phenology of the plant and level of insect damage during cropping.
2. Seasonality and fluctuations of environmental conditions.
3. Life cycle, population dynamics, habits and behavior of the pests.
4. Key abiotic-climatic factors affecting the pest populations.
5. Key biotic factors, e.g. beneficial insects and biocontrol agents affecting the pest.
6. Key control actions for the management of individual pest insects.
7. Action thresholds and sub-thresholds required to apply the control actions.
8. Sociological, cultural and economic factors.

As an IPM model has to be designed for specific situations the model or its elements can not be extrapolated from one crop or one region to another, without prerequisite tests and validations. Two principal examples, involving two major pests of cotton, are used to illustrate how *B. bassiana*, and an IPM model can be designed. The first example is an IPM model for the cotton boll weevil *Anthonomus grandis* Boheman. A second model for the tobacco bud worm, *Heliothis virescens*, (F.) will be briefly introduced. The interaction of these pests with the crop is rich and complicated enough, to challenge the potential utility of any IPM modeling systems.

The IPM model for *A. grandis* involves the use of *B. bassiana*, for which efficacy has been previously established (Wright, 1993). The idea is to design an IPM program giving the highest opportunity to the fungus to achieve a cost-effective control of the cotton boll weevil, while optimizing the performance efficacy of other control measures.

Anthonomus grandis can present itself in four different populations: immigrant, establishing, resident and emigrant boll weevils. The IPM objective in this case is the management of population dynamics, based on the control of immigrant and establishing post populations through early applications of *B. bassiana*. This objective can be attained by optimizing the circumstances for contact between the pest and the pathogen.

At first, the behavior of the pest as soon as it appears in crop, needs consideration so as to elaborate the initial steps of the model. Immigrant *A. grandis* adults may ap-

pear in cotton fields before or soon after cotton buds are formed depending on the characteristics of the zone. The pest occurs initially in a focus, and the first activities of the immigrant adults are walking around and inside an area and feeding on these structures. This behavior provides the opportunity to start the IPM program by means of terrestrial applications of *B. bassiana* with the appearance of the pest in the first focus of the field.

At this point the application of *Beauveria* should be done at infestation levels lower than an equivalent situation in which chemical insecticides are recommended. For this reason we describe an action sub-threshold, the level of infestation to start the applications of the pathogen. These applications should be directed to the squares where the immigrant post occurs. The strategy also offers additional protection to the EPF spores as the cotton buds sepals should reduce the exposure of conidiospores to solar radiation. The application of *B. bassiana* in this instance diminishes the potential of the adult females to oviposit in the buds. As a result of this approach there is; 1) a reduction of water volumes and amounts of *B. bassiana* conidiospores used per hectare, 2) a lower application costs, and 3) reduced costs of sampling and counting to evaluate the efficacy of the treatment.

Once the boll weevil adults have oviposited on a number of cotton buds, the buds fall, releasing the first new generation of boll weevils. These new adults will climb up to the remaining buds and to the cotton flowers to walk, feed and make ovipositions. Therefore the manual collection of infested-fallen buds is one of the main cultural practices to control *A. grandis* in several countries (Murillo and Cifuentes 1997). The emergence of the new adults from the buds in the soil, represents another prime opportunity to affect the population dynamics of the pest by means of *Beuveria* applications as the new adults walk around on the soil in the fallen squares. During the first hours after their emergence, weevil's cuticle will be brown-reddish and softer than in the case of the older adults. Thus, the application of the EPF spores to the soil, at proper time can impact and reduce the population of the post.

When the levels of infestation of the pest are low and its distribution is generalized, aerial applications of *B. bassiana* can be made using small size droplets to ensure a good covering inside the plant structures where the insects rest or feed.

Once the infestation of establishing boll weevils increase and the pest is totally generalized in the field, applications of *B. bassiana* alone may not be enough to

offer a good protection to the crop. Here the initiation of chemical applications must be made on the basis of an action threshold already defined for the pest (**Andrews and Quezada**, 1989). If the infestation pressure of the pest is particularly high, the chemical insecticide can be applied in mixture with *B. bassiana* to attain a combined effect whether synergistic or additive.

A major advantages of the use of mycoinsecticides is that the utilization of products at the beginning of the season, favors the establishment and increase of the visitor and resident beneficial insects, as applications of wide spectrum chemical insecticides can be delayed (**Valencia**, 1995).

On the other hand, the use of EPF into an IPM model for *A. grandis* in cotton, has to be linked to the traditional cultural practices for the IPM of this pest. Special importance must be given to the establishment of early and late trap crops aside the cotton fields (**Murillo and Cifuentes** 199?). Equally important is the uprooting and destruction of ratoons after the harvest, in order to prevent the survival and reproduction of the boll weevils in these materials (**Murillo and Cifuentes** 199?). The trap crops represent an additional opportunity for applications of *Beauveria* spp for the control of early immigrant or emigrant insects. Since the total area of these traps normally is only 1% of the crop area, higher dosages of *B. bassiana* can be applied with partial eradication, without greatly impacting the overall costs of the program.

We illustrate next how this IPM model relates to some of the strategies of improvement of EPF by selection, formulation or by means of biotechnological and molecular biology approaches introduced above.

First of all, the very selection of *B. bassiana* strains with an increased efficacy against boll weevils, implies a certain level of specificity of these isolates to attack the pest. This specificity will probably contribute to diminish the impact on non target organisms or NTOS, as it has been reported for other fungal species and strains (**Rodríguez-Rueda and Fargues**, 1983). Since the central goal of the IPM model is the optimization of every one of the control measures in the system, the rational use of the biological agents is also desirable, as it is a determinant to guarantee the cost-effectiveness of the program.

There could be many improvements of EPF strains as related to the production process and the development of special formulations, depending on the site of applica-

tion within the crop. Although oil or water-based formulations can be appropriate for the applications on the aerial parts of the cotton plants, the applications to the soil would probably require formulations with specific characteristics. Granular, dust powder or pelletized forms would be more favorable than liquid formulations to be applied to the soil (**Morales**, 1995). Under ideal conditions, the active ingredient (i.e. fungal spores) should remain in the outer soil profiles for a longer time where the product is required to achieve control. Furthermore, as the soil might be a more favorable environment for *Beauveria* than plant surfaces, special fungal propagules such as blastospores or mycelia can be used (E. Morales, personal communication). In Latin Americas, the soil is generally a more humid micro environment than the crop canopy; this factor can facilitate the eventual establishment of the fungal pathogen on the soil upper profile. Finally, applications of these formulations between the crop rows as well as at the base of cotton plants, should provide a good level of protection to the fungus from sun radiation. Improvements to the formulations related to the use of UV- filters and the selection of strains on low-water activity media would increase the "rusticity" and survival of isolates in the field. These improvements would be a significant contribution to the use of EPF in cotton areas, where high sun radiation, high temperatures and drought, are predominant climatic conditions.

The second IPM model, is proposed for the tobacco budworm, *Heliothis virescens* one of the most limiting pest of cotton, exhibiting a good capacity for developing resistance against several groups of chemical insecticides (**Valencia**, 1993) by the EPF, *Zoopthora radicans*. Further, physiological resistance due to high levels of activity of esterases, carboxyl esterases and the mixed function oxidase system has been confirmed (**Valencia**, 1993). The IPM model for *Heliothis* using EPF is aimed at the management of the early infestations of the pest, as it occurs at the upper and middle thirds of the cotton plants. The ultimate purpose is to reduce the population dynamics of the pest during the period of establishment in the crop, while the native beneficial fauna is maintained.

Considering the habits of *H. virescens* to colonize the cotton fields, the first actual stage of the pest on the plants are the eggs. For this reason, the mass release of the egg parasitoid *Trichogramma* spp. has a paramount importance within the strategies aimed to control the budworm. Remarkably, *Trichogramma* spp mass release is able to reduce the total number of applications against *Heliothis* up to 90%, under favorable conditions (**García**, 1995). The larvae are the actual damaging stage of the budworm

because they sequentially destroy young leaves, buds, flowers and bolls of cotton, as they develop from the first to the fifth larval instar. But more importantly, since older larvae (fourth and fifth instars) are extremely voracious, the overall strategy of population management relies on the control of the younger larvae preferentially.

It has been found that *Z. radicans* is highly pathogenic to lepidopteran larvae belonging to the *Heliothis* oomplex. This Zygomycete presents a series of biological characteristics which make promising its R & D for pest control in cotton. *Z. radicans* is adapted to a range of temperatures (0-36°C) wider than most EPF (Glare, Milner, Chilvers, Mahon, Brown, 1987). Additionally, its infective and transmission capacities increase during dew periods. Most cotton growing areas are located in very hot regions and usually have abundant dew on the crop, especially at nights and during the early mornings. These conditions are very favorable for the activity of *Zoophthora*.

An IPM model for the control of young larvae of *Heliothis* including *Z. radicans* can be effective under field conditions. Normally the action threshold for the chemical control of the tobacco budworm in cotton, is around 15% of infestation of first to third instar larvae in young leaves and buds. We propose here that in case of applications of *Z. radicans* for the control of these larvae, a series of sub-action thresholds (i.e. 7 and 10% of infestation) should be also tested under experimental conditions.

Several biotechnological improvements could be introduced to facilitate the utilization of *Z. radicans* within the IPM model proposed for *H. virescens*. The first and more important, is the optimization of the mass production and development of an adequate formulation for this EPF. Emphasis must be given to the induction of the protoplast stage of the fungus, which would significantly facilitate its mass production. Formulations such as wettable granules or liquids should be preferred to powders or dusts, because the spores of most Entomophthorales are very fragile to physical agents.

The dissection of the pathogenic process of *Zoophthora* in *Heliothis*, should provide powerful insights to determine which type of interactions are taking place, but more importantly, to determine the limiting steps of pathogenesis. Some of the biotechnology approaches already discussed in the case of the cotton boll weevil, would be also valid to develop a *Zoophthora*-based product for *Heliothis*.

The cuticle of lepidoptera larvae is generally very soft although elastic, to allow the tremendous growth attained

by these larvae during development. This characteristic suggests that proteins might be a predominant moiety in the cuticle of immature stages of lepidoptera. In such a case, the tool box of molecular biology can be valuable to determine the participation of extracellular proteases in the process of penetration in *Heliothis*. Indeed, the selection of protease defective mutants would be a practical demonstration of this limiting step (Khachatourians, 1996). Again, if predominant proteases correspond to single gene products, the isolates could be engineered for an over or constitutive expression of these enzymes.

Heliothis virescens is non particularly susceptible to *B.thuringiensis* especially in cotton and baculoviruses have offered erratic controls under field conditions (Cardona, 1995), thus EPF stand a good chance for the implementation of new IPM programs. Therefore, the development of an IPM model for this pest involving *Z. radicans*, appears as an opportunity. Nevertheless, the commercial development of *Zoophthora* would require a more intensive research than in case of Deuteromycetes, as the fundamental knowledge about the genetics, physiology and mass production of *Z. radicans* currently being gathered.

5. RADBIO concept

What Will make a significant shift in the business paradigm of EPF and IPM is a new concept which we call rational design of bioinsecticides (RADBIO). After considering all issues confronting the use of whole microbial organismic agents including EPF as a key element of IPM, it is RADBIO concept which finally offers the most positive contributory effect. RADBIO approach would overcome many limitations for the use of wild-type EPF under field conditions, while efficiently addressing concerns about environmental impact and human health. For RADBIO contribution in IPM, we need the adoption of four combined strategies:

1. Natural selection: The selection of EPF for the desired insect host, crop and environment, based on the concept of ecopathological unit (EPU). This concept relates to the fact that biological behavior and pathogenic potential of a microbial insecticide depends not only by the pest species, but also by the crop where the pest exists as well as by the environmental conditions (biotic and abiotic) under which a triad of plant-insect-entomopathogen interactions occur. The EPU also provides special emphasis to local IPM strategies involving either indigenous or in-

roduced fungal strains, selected for their particular profile for the pest of being the best option in a specific crop/pest and under particular environmental condition(s).

2. Mutation and selection: Obviously, in the absence of natural selection of more potent variants, mutagenic agents can generate strains with characteristics of virulence and adaptability to particular host or environment (**Hegedus and Khachatourians, 1994**).
3. Hybridization. Strains having complementary desirable characteristics, can be hybridized (**Khachatourians, 1991**). The use of auxotrophs as "tagged" strains which are not within the category of recombinant or genetically engineered microorganisms (GEMS), should further facilitate registration processes. Finally, hybrid strains are safe for the environment and proprietary for commercial purposes.
4. Genetic engineering: Any additional traits such as lethal marker genes or enhanced performance, as for example gene amplification in a background of environmental sensitivity to high or low temperatures (**Hegedus and Khachatourians, 1994**) will depend on rDNA techniques to yield panicular EPF as GEMs.

The four principal avenues of research implementation of RADBIO concept, should create new R & D opportunities and renew the IPM theory and practice. Further, the availability of improved EPF for IPM, will facilitate the introduction of new and highly efficient biocontrol agents with a lower dependence on optimal environmental conditions for optimal activity. This achievement would bring huge benefits for the widespread use of mycoinsecticides in IPM. Indeed, the more dependable and reliable these bioinsecticides are, the less the supervision, extension and labor costs, required for the successful use and commercialization of these products. These kinds of improvements will directly add to the profitability of IPM programs not only for farmers, but also for the companies interested in production, formulation and commercialization of EPF.

In the second part (**Valencia and Khachatourians, 1998**) we will illustrate prerequisite R & D for the commercial development of mycoinsecticides. In general and in particular cases, EPF need new enabling technologies and strategies, such as RADBIO to serve IPM, in diversity of agricultural and agro-forestry systems in Latin America and elsewhere.

References

- Altieri, M. A.** 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Ford Products Press, an Imprint of The Haworth Press Inc., New York NY. USA. 185 pp.
- Andrews, K. L. and Quezada, J. R.** 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: estado actual y futuro. Departamento de Protección Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras, Centroamérica. pp. 623.
- Burgerjón, A. and Dulmage, H.** 1977. Industrial and international standardization of microbial pesticides. I. *Bacillus thuringiensis* *Entomophaga* 22: 121-129.
- Cardona, C.** 1995. Entomología y control de plagas: análisis y perspectivas para el futuro. MIP: manejo integrado de plagas en Cultivos y medio ambiente. Capítulo 1. ciencia y técnica para el MIP en cultivos 1: 1-6.
- Feinsilver, J. M.** 1995. Cuban Biotechnology: The strategic success and commercial limits of a first world approach to development Chapter 5. in *Biotechnology in Latin America: Politics, Impacts and Risks*. Peritore, N. P. and Galve-Peritore, A. K. (Ed). pp. 97-126. Scholarly Resources Inc. Wilmington, DE. USA.
- García, F.** 1995. Control Biológico de plagas del algodón en el Valle del Cauca. MIP: Manejo Integrado de Plagas en cultivos y medio ambiente. Capítulo 3: implementación del MIP en Colombia en diferentes cultivos. pp. 71-72.
- Glare, T. R. Milner, R. J. Chilvers, G. A. Mahon, R. J. and Brovm, W. V.** 1987. Taxonomic implications of intraspecific variation amongst isolates of the aphid-pathogen fungi *Zoophthora radicans* Brefeld and *Zoophthora phalloides* Batko (Zygomycetes: Entomophthoraceae). *Australian Journal of Botany* 35: 49-67.
- Hegedus, D. D. and Khachatourians, G. G.** 1994. Isolation and characterization of conditional lethal mutants of *Beauveria bassiana*. *Canadian Journal of Microbiology* 40: 766-776.
- . 1995. The impact of biotechnology on hyphomycetous fungal insect biocontrol agents. *Biotechnology Advances* 13: 445-490.
- Khachatourians G. G.** 1986. Production and use of biological pest control agents. *Trends in Biotechnology* 4: 120-124.
- . 1996. Biochemistry and Molecular Biology of Entomopathogenic fungi. *The Mycota VI: Human and Animal Relationships*. Howard D. and Miller, J. D. (Eds). Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. pp. 331-363.
- . 1991. Physiology and genetics of entomopathogenic fungi. In: Arora D. K., Ajello L., and Mukerji K. G. (Ed) *Handbook of Applied Mycology*. vol. 2: Humans, animals and insects. Marcel Dekker, New York, pp. 613-661.
- Morales, E.** 1995. Propuesta de Proyecto Marco Agrobiológicos. Publicación Interna, Hoechst-Schering Agro, AgrEvo S.A. Santafé de Bogotá, Colombia. pp. 30.
- Murillo, A. and Cifuentes, F.** 1997. Una propuesta de modelo MIP en algodón. MIP: Manejo Integrado de Plagas en cultivos y medio ambiente. Capítulo 3: Implementación del MIP en Colombia en diferentes cultivos. pp. 66-70.
- Nene, Y. L.** 1996. Sustainable agriculture: future hope for developing countries. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18: 133-140.

- Peritore, N P. and Galve-Peritore, A. K.** 1995. Biotechnology in Latin America: Politics, Impacts and Risks. Scholarly Resources Inc. Wilmington, DE. USA. 229 pp.
- Rodríguez del Bosque, L. A.** 1994. Teoría y bases ecológicas del control biológico. V congreso y curso de control biológico de plagas. Memorias. Instituto Tecnológico Agropecuario, Oaxaca, México. pp. 6-19.
- Rodríguez-Rueda, D. and Fargues, J.** 1983. Pathogenicity of entomopathogenic hyphomycetes, *Paecilomyces fumosoroseus* and *Nomuraea rileyi* to eggs of noctuids *Mamestra brassicae* and *Spodoptera littoralis*. *Journal of Invertebrate Pathology* 34: 399-408.
- Ruttan, V. W.** 1996. Research to achieve sustainable growth in agricultural production: into the 21st century. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18: 123-132.
- Sitch, J. C. and Jackson, C. W.** 1997. Pre-penetration events affecting host specificity of *Verticillium lecanii*. *Mycological Research* 101: 535-541.
- Smith, R. F.** 1974. The origins of the integrated pest control in California: an account of the contributions of Charles W. Woodworth. *Pan Pacific Entomologist* 50: 426-440.
- Trumble, J. T. Craosn, W. G. and Kund, G. S.** 1997. Economics and environmental impact of a sustainable Integrated Pest Management program in celery. *Journal of Economic Entomology*. 90: 136-146.
- Valencia, E. and Khachatourians, G. G.** 1998. Integrated pest management and entomopathogenic fungal biotechnology in the Latin Americas. II. Key Research and Development Prerequisites. Submitted to: *Revista de la Academia Colombia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*.
- Valencia, P. E.** 1993. Posibles modelos para el manejo integrado de la broca. *Agricultura de las Américas* 217: 20-22.
- . 1994. Modelos para el manejo integrado de la broca del café. *Agricultura de las Américas* 218: 26-28.
- Valencia, E.** 1993. Resistencia enzimática a insecticidas en larvas de *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología* 19: 131-138.
- Valencia, P. E.** 1995. El manejo integrado de plagas (MIP) y la regulación biológica: verdaderas alternativas para el desarrollo agrícola sostenible. MIP: manejo integrado de plagas en cultivos y medio ambiente Capítulo 1: ciencia y técnica para el MIP en cultivos 1: 57-60.
- . 1995. Manejo integrado de plagas (MIP): alternativa para el desarrollo agrícola sostenible *Agricultura de las Américas* 233: 19-21.
- Wright, J. E.** 1993. Control of the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) with *Naturalis-L.* a mycoinsecticide. *Journal of Economic Entomology* 86: 1355-1358.

CONVERSION FOTOVOLTAICA DE LA ENERGIA SOLAR

por

Gerardo Gordillo G*

Resumen

Gordillo G. Gerardo: Conversión fotovoltaica de la energía solar. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(83): 203-211, 1998. ISSN: 0370-3908.

En este trabajo se hace una breve descripción de los aspectos básicos del funcionamiento de una celda solar tipo homojuntura y de los aspectos tecnológicos de la fabricación de celdas solares de bajo costo fabricadas con tecnología de capa delgada. Especial énfasis se hace en aspectos históricos de la evolución de la eficiencia de conversión de dispositivos fotovoltaicos basados en Si- cristalino, Si-amorfo, CdTe y CuInSe₂. El estado actual de la tecnología de dichos dispositivos y de módulos fotovoltaicos, también se presenta en este trabajo.

Se destacan igualmente, las contribuciones en el desarrollo de celdas y módulos solares de alta eficiencia, de Institutos de Investigación de Universidades tales como: Universidad de Stuttgart (Alemania), Universidad de Stockolmo (Suecia), Universidad del Sur de la Florida (USA), Universidad del Sur de Gales (Australia), del "National Renewable Energy Laboratory (NREL) de USA y de Centros de Investigación y Desarrollo de Industrias tales como: BP-Solar (Inglaterra), Boeing (USA), Arco Solar (USA), Matsushita (Japón), Siemens (Alemania) etc.

Adicionalmente se incluye una sección sobre aspectos económicos de la generación fotovoltaica de energía eléctrica, donde se presenta una visión general de la evolución de los precios de producción de módulos fotovoltaicos y del incremento en la demanda mundial.

Abstract

In this work, a short description of the basic aspect of the performance of homojunction solar cells and of the technological aspects of the fabrication of low cost thin film solar cells is made. Special emphasis on the historical aspects of the evolution of the conversion efficiency of photovoltaic devices based on crystalline silicon, amorphous silicon, CdTe and CuInSe₂ is also made. The state of art of the technology of photovoltaic devices and modules is additionally presented.

* Laboratorio de Celdas Solares. Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,
e-mail: ggordill@ciencias.ciencias.unal.edu.co

The contribution to the development of high efficiency solar cells and modules, carried out by research Centers of Universities such us: Stuttgart University (Germany), Stocholm University (Sweden), University of South Florida (USA), University of South Gales (Australia), by the National Renewable Energy Laboratory of USA and by research Centers of Companies such us: Matsushita (Japan), BP-Solar (England), Boeing (USA), Arco Solar (USA), Siemens (germany) etc. are specially emphasized.

Additionally, a section concerning economical aspects of the photovoltaic generation of electric energy is enclosed. In this section an overview of the evolution of price and world market of photovoltaic system is presented.

1) Introducción

La radiación solar total que en promedio recibe la superficie terrestre es del orden de 10^{17} vatios, que distribuida en todo el globo terrestre corresponde a unos 170 W/m² por día; por consiguiente 1 m² de superficie terrestre recibe aproximadamente 4 KW-h diariamente. Esta radiación puede ser transformada en energía eléctrica a través de procesos de conversión directa utilizando dispositivos fotovoltaicos (más comúnmente llamados **celdas solares**) o a través de procesos indirectos que incluyen una etapa previa de conversión térmica o fenómenos naturales tales como el viento, mareas etc. De todos los procesos de conversión de la energía solar en energía eléctrica, la conversión directa a través de celdas solares es la más eficiente y la que ha recibido la mayor atención por parte de centros de investigación y desarrollos especializados en el área en el mundo.

La generación de potencia eléctrica a través de la conversión fotovoltaica de la radiación solar, basa su importancia en las siguientes propiedades:

- La fuente básica de energía es ilimitada y disponible en todos los sitios de la tierra.
- No genera contaminación ambiental, ni ruidos y es libre de mantenimiento.
- Capacidad de convertir radiación difusa en energía eléctrica con la misma eficiencia que la conversión de radiación directa.
- Su modularidad permite construir sistemas de generación de potencia desde unos pocos mW hasta plantas de varios MW con aproximadamente la misma tecnología

Las características arriba descritas han hecho que la conversión fotovoltaica de la energía solar junto con la generación de energía a través de procesos nucleares se hayan convertido en las fuentes alternativas de generación de energía más importantes en la actualidad.

El efecto fotovoltaico fue observado por primera vez en 1839 por **E. Becquerel** utilizando un dispositivo electrolítico y en 1977 **G. Adams** y **R.E. Day** reportaron la primera celda solar de estado sólido. Sin embargo, el inicio del desarrollo de dispositivos fotovoltaicos modernos se dio en 1954 con la publicación "A new silicon p-n junction solar cell for converting solar radiation into electrical power", por **D.H. Chaplin**, **C.S. Fuller** and **G.L. Pearson** de los laboratorios Bell Telephone.

Estos nuevos dispositivos fueron considerados inicialmente para aplicaciones terrestres en sistemas de telecomunicaciones en áreas remotas, para aplicaciones militares y en pequeños radios de transistores que aparecieron por aquella época, sin embargo el mercado no aceptó la nueva tecnología para generar energía eléctrica y el uso terrestre de esta permaneció marginal durante los siguientes años.

A partir de 1956 se inicio en USA un progresivo plan de desarrollo de generadores fotovoltaicos de potencia para uso en satélites espaciales. El primer satélite que utilizó energía fotovoltaica fue el Vanguard 1 en 1958, un año después con el Sputnik 1 se consolidó definitivamente la utilización de la energía fotovoltaica en los programas espaciales.

En los años posteriores la eficiencia de conversión de celdas de silicio cristalino fue incrementada muy rápidamente como consecuencia del boom general de la tecnología de dispositivos electrónicos semiconductores y del rápido desarrollo de las bases teóricas. Sin embargo, el silicio cristalino por ser un material semiconductor "indirecto" que presenta muy bajo coeficiente de absorción, exige que los espesores de los dispositivos sean muy grandes. Este hecho junto con el gran número de etapas tecnológicas que hay que realizar para fabricar una celda de silicio cristalino, incrementan fuertemente su costo de producción, de tal forma que el costo de generación de energía eléctrica a través de celdas de Si-cristalino difícilmente puede llegar a ser económicamente competitivo con la generación convencional de energía eléctrica, por lo menos a corto plazo.

Con el propósito de reducir costos de fabricación, otros materiales semiconductores con gap directo y otras tecnologías fueron investigados para fabricar celdas solares para uso terrestre. En 1954 **D.C. Reynolds** y colaboradores observaron por primera vez el efecto fotovoltaico en dispositivos de CdS fabricados con una nueva tecnología, denominada de capa delgada (por que el espesor de las celdas era del orden de unos pocos mm). Las eficiencias de las celdas basadas en capas delgadas de CdS fueron considerablemente mas bajas que las de Si - cristalino, pero estas fueron muy fáciles de fabricar a muy bajo costo y presentaron propiedades interesantes. En 1963 entró en la escena fotovoltaica el CdTe, a través de un trabajo citado por **D.A. Cusano** sobre celdas solares basadas en capas delgadas de CdTe con eficiencias del 6 %. La celdas de CdS y CdTe dominaron el sector de celdas solares de capa delgada hasta la mitad de la década del 70.

En 1970 el precio de la energía fotovoltaica era de alrededor de US \$ 300 el vatio pico, sin embargo, a pesar del alto costo de la energía fotovoltaica, por dicha época hubo un enorme interés por este tipo de tecnología para aplicaciones terrestres, motivados principalmente por la expectativa de reducir costos a través de un incremento en la capacidad de producción de sistemas fotovoltaicos de silicio y de la introducción de nuevos materiales y la tecnología de capas delgadas. Finalmente, con motivo del embargo petrolero de la OPEC en 1973, se crearon en un considerable número de países grandes fondos para financiar proyectos de investigación y desarrollo de sistemas fotovoltaicos para uso terrestre. Por aquellos días la UNESCO organizó un congreso mundial con invitados especiales de todo el mundo para discutir el estado actual de la generación fotovoltaica de energía y en octubre de 1973 la "National Science Foundation"(NSF) de USA realizó un workshop en Cherry Hill, New Jersey sobre conversión fotovoltaica de la energía solar para uso terrestre, donde se decidió sobre la estrategia a seguir en este tema en los siguientes 20 años. Dicha estrategia consistía básicamente en:

- Aumento de la relación eficiencia/costo en sistemas fotovoltaicos basados en Si-cristalino y Si-policristalino
- desarrollo de celdas solares basadas en capas delgadas de CdS
- Investigación de nuevos materiales con buenas propiedades para fabricar celdas solares con tecnología de capa delgada

- Diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos

El desarrollo de celdas solares con tecnología de capa delgada se inició masivamente en 1975 . Un considerable número de materiales fueron investigados en los años siguientes, sin embargo solo tres de ellos; el CdTe el CuInSe₂ (CIS) y el silicio amorfo (a-Si) presentaron características adecuadas para ser considerados como candidatos potencialmente importantes para la fabricación de celdas solares de bajo costo y alta eficiencia, para uso terrestre. En 1976 **Kazmerski** y sus colaboradores anunciaron la primera celdas solar basada en CuInSe₂, y la primera celda de a-Si fue reportada por **C.R. Wronski** y **D.E. Carlson** en 1976. Después de tener dificultades en la primera fase de desarrollo, celdas basadas en películas delgadas de CdTe fueron fabricadas con éxito a finales de la década del 70.

El desarrollo de celdas solares basadas en estos tres materiales ha tenido un enorme éxito, sin embargo solo la tecnología del a-Si se transfirió a nivel industrial, pero debido a problemas de eficiencia y estabilidad su campo de aplicación se limitó principalmente al sector electrónico con una producción anual de algunos M-vatios. En cuanto al CIS y al CdTe solo recientemente algunas firmas en USA y en Europa iniciaron el proceso de montaje de plantas para producir a nivel industrial sistemas fotovoltaicos con tecnología de capa delgada. En la actualidad todo el mercado de sistemas fotovoltaicos lo cubre la tecnología de Si- mono y policristalino.

2. Bases teóricas del funcionamiento de una celda solar:

En principio el efecto fotovoltaico es basado en la transferencia de la energía de los cuantos de luz absorbidos en un semiconductor al sistema electrónico de este, para dar lugar a la generación de pares electrón-hueco (efecto fotovoltaico interno) y la colección de estos portadores dentro de un intervalo corto de tiempo. Para la colección de estos portadores se requiere la existencia de un campo eléctrico interno, el cual puede ser creado a través de la formación de junturas P/N, junturas PIN o barreras Schottky tipo MS o MIS.

La fig. 1a se muestra la estructura básica de una celda tipo homojuntura P/N y en la fig. 1b se observa la forma como varía el campo eléctrico creado en la zona de carga espacial (ZCE) de la homojuntura, el cual es usado para producir la separación de carga de los portadores fotogenerados y posterior arrastre de estos hacia los electrodos.

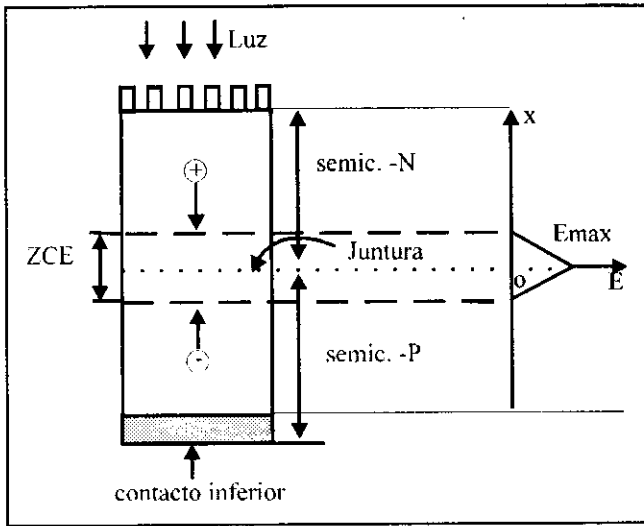


Figura 1. a) Estructura típica de una celda solar tipo homojuntura P/N
 b) Variación del campo eléctrico generado en la ZCE de la homojuntura P/N

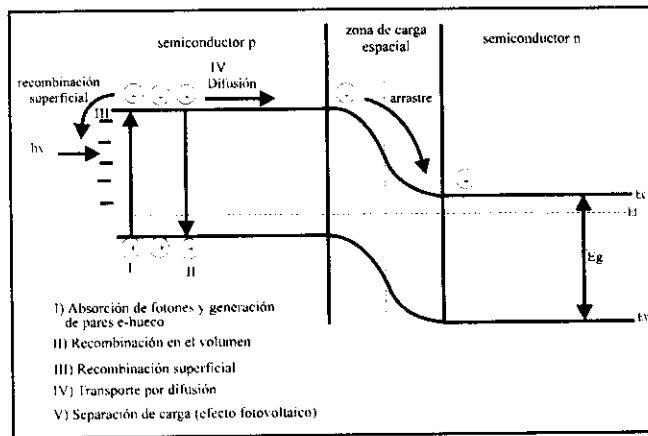


Figura 2. Diagrama de bandas de energía de una celda solar tipo homojuntura p/n

En la figura 2 se muestra el diagrama de bandas de energía de la homojuntura de la fig. 1.

El funcionamiento del dispositivo se puede resumir de la siguiente forma:

- Fotones con energía mayores que la energía del gap de energía del semiconductor (E_g), son absorbidos y esta energía es utilizada para excitar electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, generando pares electrón - hueco (proceso I) que quedan libres para participar en los procesos de transporte eléctrico.

- Los portadores fotogenerados son transportados inicialmente por mecanismos de difusión (proceso IV) hasta el borde de la ZCE y posteriormente son separados y arrastrados hasta la juntura por el campo eléctrico (proceso V), donde se convierten en portadores mayoritarios que son extraídos a través de los contactos eléctricos óhmicos hacia el circuito exterior, generando de esta manera la llamada fotocorriente.
- Los procesos de generación de fotocorriente van acompañados por mecanismos de pérdida de fotocorriente, que en el caso de una homojuntura los más importantes son los procesos de recombinación en la superficie (proceso III) y en el volumen (proceso II).

La relación entre la corriente y el voltaje (característica I - V) a la salida de la celda solar, está dada por la siguiente relación:

$$I = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{qV}{AKT}\right) - 1 \right\} - I_{ph} \quad (1)$$

Donde I_0 es la corriente inversa de saturación, A el factor de identidad de diodo e I_{ph} la fotocorriente. En principio esta ecuación es válida para todos los tipos de celdas solares; ellas difieren solamente en el valor y en el origen físico de I_0 y A (Cutts & Meaking 1985).

La fig.3 muestra la curva característica de una celda solar correspondiente a la relación de I-V de la Ec. 1.

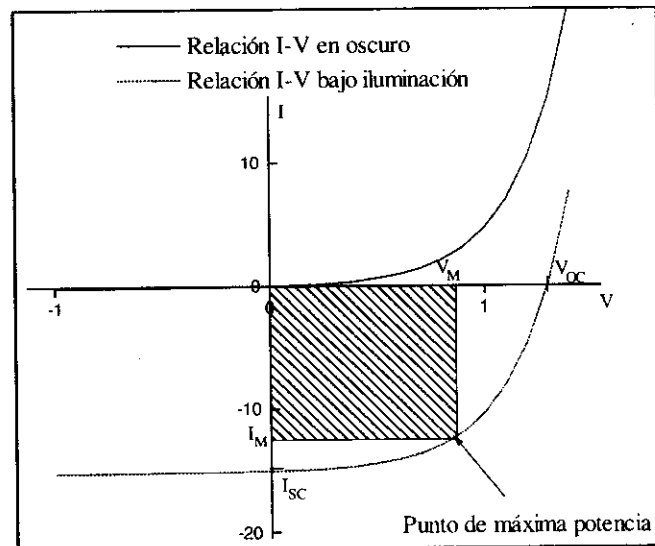


Figura 3. Característica I-V de una celda solar en oscuro y bajo iluminación; indicando los parámetros que la caracterizan (V_{oc} , I_{sc} , I_m , V_m)

Los parámetros que caracterizan el funcionamiento de una celda solar son:

- Corriente de corto circuito I_{sc} , que se determina de la curva I-V cuando $V = 0$; entonces

$$I_{sc} = I/v_{-0} = - I_{ph} \quad (2)$$

- Voltaje de circuito abierto V_{oc} , que se determina cuando $I = 0$. Entonces

$$V_{oc} = v / I_{=0} = \frac{AKT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \quad (3)$$

De acuerdo con la teoría de difusión de **Schottkley** (1950), I_0 está dado por:

$$I_0 = qN_cN_v \left\{ \exp(-E_g / KT) \right\} \left(\frac{L_n}{n_n} + \frac{L_p}{P_p \tau_p} \right) \quad (4)$$

Donde N_v y N_c son las densidades de estados en la banda de valencia y conducción respectivamente, L_n , L_p , n_n , p_p , τ_n , τ_p , son, la longitud de difusión, las densidades y los tiempos de vida de los electrones y huecos respectivamente.

- Factor de llenado, FF , definido a través de la relación

$$FF = \frac{V_M I_M}{V_{oc} I_{sc}} \quad (5)$$

- Eficiencia de conversión η , definida como:

$$\eta = \frac{\text{Potencia de salida de la celda}}{\text{Potencia de la radiación incidente}} = \frac{V_M I_M}{P}$$

Entonces:

$$\eta = V_{oc} \times I_{sc} \times FF / P \quad (6)$$

3. Evolución de la eficiencia de dispositivos fotovoltaicos

Las metas fijadas en conferencia de Cherry Hill para el período 1973 - 1993 fueron cumplidas con éxito; en la fig 4 se muestran la evolución que dicho en periodo de tiempo tuvo la eficiencia de conversión de celdas solares de Si y de capa delgada.

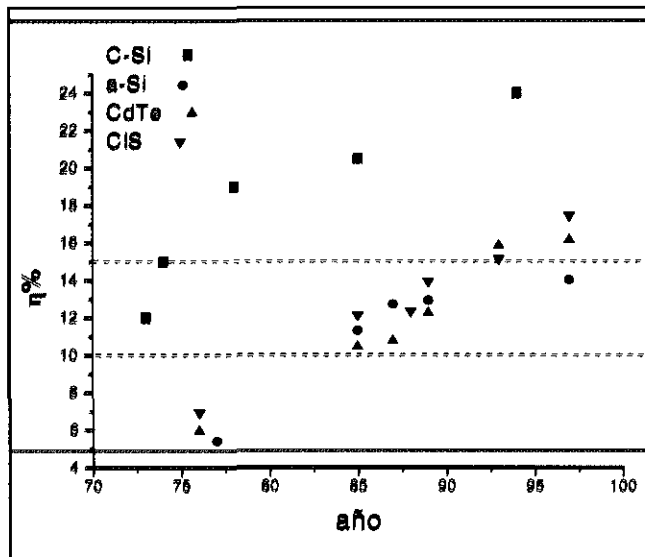


Figura 4. Evolución de la eficiencia de conversión de celdas solares basadas en Si-cristalino, Si-amorfo, CdTe y $CuInSe_2$

Los resultados de la figura 4 muestran que en los últimos 25 años se han logrado avances significativos en el incremento de la eficiencia de conversión, tanto en celdas basadas en Si-cristalino como en celdas de capa delgada.

El aumento en la eficiencia de las celdas se logró mediante introducción de nuevos conceptos en la estructura de los dispositivos y en el desarrollo de métodos modernos de preparación de materiales. A continuación se describe brevemente algunos hechos importantes que incidieron en el incremento de la eficiencia de dichas celdas solares.

a) En celdas solares de Si-cristalino

- Mediante reducción de la profundidad de la juntura P/N y del nivel de dopado, se lograron eficiencias del 15 % (Lindmayer & Allison 1993).
- Mediante la realización de texturas de forma triangular en la superficie, se logró incrementar la eficiencia al 17 %.
- Mediante la incorporación de los conceptos BSF (Back Surface Field), BSR (Back Surface Reflector) y HLE (High Low Emitter), la eficiencia se incrementó a un 19 %.
- La implementación del concepto PESC (Passivated Emitter Solar Cell) permitió incrementar la eficiencia al 20.5 % (Green et al. 1985).

- Finalmente en 1990, **M. Green** de la Universidad del Sur de Gales (Australia), logró el récord mundial del 24 % para celdas de Si-cristalino (el cual aun persiste), mediante la introducción del concepto PERL (Passivated Emitter Rear Locally Diffused). (**Wang, Zhao & Green 1990**)

b) En celdas solares basadas en películas delgadas de CuInSe_2 y Cu(InGa)Se_2

Los primeros dispositivos basados en CuInSe_2 con eficiencia mayor del 5 % fueron fabricados a mediados de la década del 70 por coevaporación de Cu, In y Se sobre un sustrato de Mo. Estas se realizaron con una estructura tipo heterojuntura de $\text{CdS/CuInSe}_2/\text{Mo}$. El límite del 10 % en eficiencia fue superado por las firmas Boeing y Arco Solar a comienzos de la década del 80; para esto incorporaron una ventana óptica constituida por una doble capa de (ZnO/CdS) en la estructura de la celda e introdujeron una novedad en la preparación de CIS, consistente en un proceso basado en selenización de las películas metálicas (**Wang, Zhao & Green 1990**). Estas celdas tenían una estructura ZnO/CdS/ $\text{CuInSe}_2/\text{Mo}$. La barrera del 15 % en eficiencia fue superado hacia 1993 por el grupo EUROCIS constituido por centros de investigación de las Universidades de Stuttgart (Alemania) y de Stockolmo (Suecia) y por el Laboratorio de Energías Renovables de USA (NREL). Para tal fin se cambió el CIS por el compuesto cuaternario Cu(InGa)Se_2 (CIGS) y se hicieron importantes innovaciones tanto en la preparación del CdS como en la estructura del dispositivo, especialmente en lo relacionado con la incorporación de una capa de acople mecánico denominada capa "buffer", a través de la cual la red del material P se acopla con la del material N sin producir tensiones mecánicas; con esto se reduce fuertemente la densidad de trampas en la interfase y con ello las pérdidas de fotocorriente, que normalmente se producen en heterojunturas P/N convencionales. Como capa buffer se utilizó una película ultradelgada (50 - 80 nm de espesor) de

CdS, depositadas por un nuevo método denominado CBD (Chemical Bath Deposition) (**Lincotetal 1995**). Esta celda solar presenta una estructura novedosa como la mostrada en la figura 5, donde tanto la capa conductora del ZnO, como la capa buffer del CdS son altamente transparentes y por lo tanto no contribuyen a la fotocorriente; solo la capa del compuesto cuaternario Cu(InGa)Se_2 (denominada capa absorbidora) es activa en el dispositivo. La incorporación de la capa de CIGS da una gran flexibilidad para escoger el gap y afinidad electrónicas óptimas del material absorbedor (**Hedstrom et al. 1993**), ya

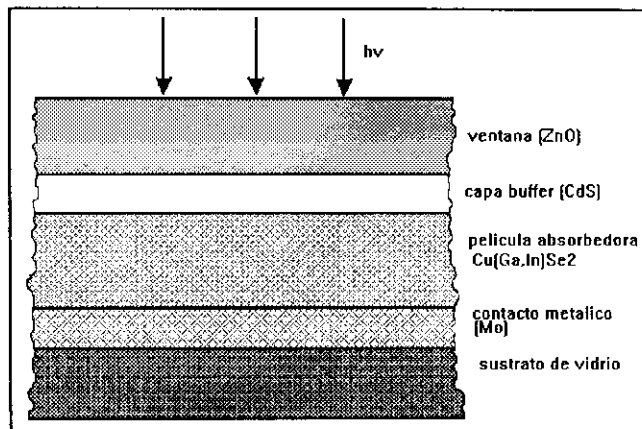


Figura 5. Estructura típica de celdas solares basadas en compuestos cuaternarios tipo Chalcopirita, con la cual se obtuvieron eficiencias mayores del 15 %.

que estas dos propiedades se pueden cambiar arbitrariamente cambiando la relación de In/Ga en la capa de CIGS.

El récord mundial en eficiencia, en celdas solares basadas en CIGS está en 17.7 % [15] y fue logrado por NREL.

En la tabla 1 se resumen los resultados más significativos obtenidos con celdas basadas en CIS y en CIGS, por grupos de investigación de universidades y de la industria.

Una limitante en la fabricación de dispositivos fotovoltaicos basados en CIGS es la necesidad de utilizar sistemas sofisticados y costosos de control del proceso de deposición del CIGS, basados en espectrometría de masas de cuadrupolo y en espectroscopia de emisión por impacto con electrones, para obtener buena calidad de los materiales y reproducibilidad de los procesos.

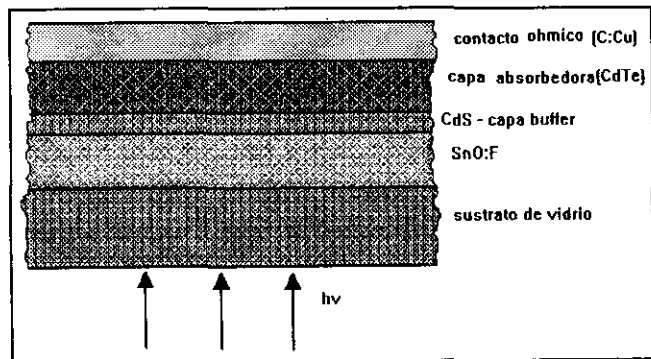
c) Celdas solares basadas en CdTe

Las actividades de investigación en celdas solares basadas en CdTe se iniciaron hace más de 30 años; sin embargo, dispositivos con eficiencias mayores del 5 % fueron registradas a finales de la década del 70 y la barrera del 10 % en eficiencia fue superada a finales de la década del 80 por la firma Kodak. Después de un receso de 10 años donde no se señalaron incrementos significativos en la eficiencia de estos dispositivos, la Universidad del Sur de la Florida (USF) logró superar la barrera del 15 % en eficiencia con celdas de CdTe, utilizando una técnica novedosa basada en el método CSS (Close Spaced Sublimation) para depositar el CdTe e incorporando una capa buffer ultradelgada (~ 50 - 80 nm) de

Tabla 1. Parámetros de celdas solares basados en compuestos tipo chalcopirita (CIS, CIGS)

Estructura de la celda	Gap (ev)	η (%)	Area (cm ²)	Laboratorio
MgF ₂ /ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se ₂	1.17	16.9	0.83	IPE/Univ.Stuttgart IM/RIT/univ.Stockolmo
ZnO/CdS/Cu(In,Ga)(Se,S) ₂	variable	15.1	3.5	Siemens
MgF ₂ /ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se ₂	1.1	13.7	0.99	Boeing
MgF ₂ /ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se ₂	1.2	17.7	0.41	NREL
MgF ₂ /ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se ₂	1.22	15.5	0.41	Solarex
ZnO/CdS/CuInSe ₂	1.02	13.9	0.72	IPE/univ.Stuttgart

CdS en la estructura de la celda para reducir las pérdidas ópticas en el CdS e incrementar la fotocorriente. Con este tipo de dispositivo la USF obtuvo a comienzos de 1993 una eficiencia del 15.8 % resultado que se mantuvo como récord mundial hasta finales de 1997, cuando el centro

**Figura 6.** Vista transversal de la estructura de una celda basada en CdTe.

de desarrollo e investigación fotovoltaica de la firma Matsushita (Japón) logro incrementarlo al 16 % .

La figura 6 muestra un diagrama esquemático de la estructura de celdas de alta eficiencia basadas en CdTe.

Una de las ventajas de las celdas de CdTe es que puede ser fácilmente fabricadas, sin utilizar equipo costoso para el control de los procesos de deposición de las diferentes capas que la constituyen. Una segunda ventaja de este tipo de celdas es que existen varios métodos de deposición de las diferentes capas que han dado buenos resultados (ver tabla 2); entre estos hay varios que no requieren plantas costosas de deposición en condiciones de alto vacío, lo cual reduce significativamente los costos de producción.

En la tabla 3 se dan datos de eficiencia de módulos de área grande fabricados con tecnología de capa delgada.

Con módulos basados en Si-cristalino se obtienen eficiencias del 15-17 %.

Tabla 2. Estado actual del desarrollo de celdas solares basadas en CdTe (escala de laboratorios)

Estructura	Método de deposición (Capa absorbidora)	η (%)	Area (cm ²)	Laboratorio
SnO ₂ /CdS/CdTe	CSS	15.8	0.02	USF
ITO/CdS/CdTe	CSS	16.0	10.02	Matsushita
SnO ₂ /CdS/CdTe	SPL	12.3	0.31	Photon Energy
SnO ₂ /CdS/CdTe	DE	14.2	0.02	BP Solar
SnO ₂ /CdS/CdTe	ALE	14	0.12	Microchemistry
(Zn,Cd)S/CdTe	SP	12.5	0.3	Korea Adv. Inst.

Tabla 3. Eficiencia obtenida con módulos fotovoltaicos de área grande.

compañía	material	Área (cm ²)	η (%)	potencia (watts)
BP solar	CdTe	706	10.1	7.1
SCI	CdTe	6728	9.1	61
SSI	CIS	3830	11.2	43.1
Matsushita	a-Si	1220	10	11

IV. Aspectos económicos

En esta sección se describirá brevemente como ha sido la evolución de precios de módulos fotovoltaicos y se mencionarán aspectos relacionados con el desarrollo de plantas fotovoltaicas del alta capacidad de generación y con proyectos pilotos de generación fotovoltaica.

En la figura 7 se indica como ha sido la evolución de precios de módulos fotovoltaicos (Maycock, sd. Barnet 1996). Se observa que durante el primer periodo, los precios cayeron drásticamente debido principalmente a reducción del costo del material precursor (silicio cristalino, grado semiconductor y Si-policristalino), a reducción del costo de fabricación de los dispositivos fotovoltaicos e incremento de la eficiencia de conversión de las celdas. Posteriormente el precio de producción de módulos decrece más suavemente lo cual es principalmente atribuido a un incremento en la demanda mundial. El precio de sistemas fotovoltaicos ha decrecido en los últimos diez años de US\$ 7/Wp a US\$ 3.5 /Wp como consecuencia entre otras cosas a un incremento significativo en la demanda mundial, que ha significado un in-

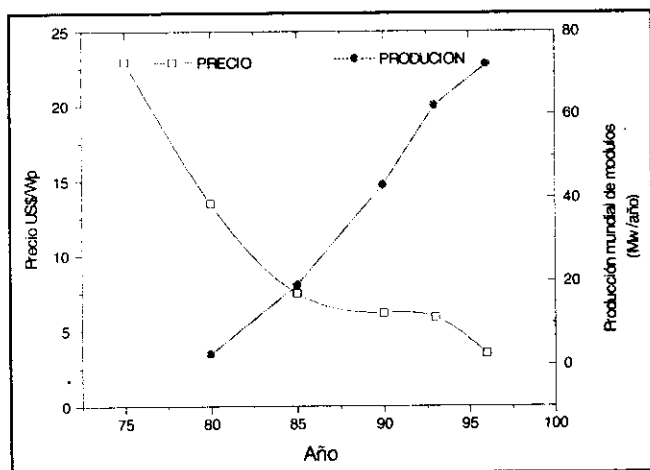
cremento en ventas de US\$ 800 millones a US \$ 10 billones /año; se piensa que el precio del vatio pico podría reducirse a US\$ 2.5 / Wp incrementando la demanda a US\$ 100 billones/año

Parte de la demanda de sistemas fotovoltaicos ha sido a través de proyectos de demostración financiados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) y por la Comisión de Comunidades Europeas (CEC); sin embargo la mayor inversión en sistemas fotovoltaicos ha sido hecha por la industria privada; en USA, por compañías petroleras (Shell, Arcon, Exxon, Mobil, Amoco, etc.) y en otros países por compañías fabricantes de dispositivos eléctricos y electrónicos (Siemens, Sanyo, Sharp, Fuji, Matsushita, Mitsubishi).

Se estima que el precio de generación de energía fotovoltaica usando celdas de Si-cristalino, podría reducirse hasta un valor limite de US\$ 2/Wp. Por consiguiente para reducir este valor por debajo de US\$ 1/Wp que sería necesario para competir económicamente con la forma tradicional de generación de energía, habría que cambiar la tecnología tradicional de fabricación de celdas a partir de obleas de Si por la denominada tecnología ribbon/shet o a través de fabricación a gran escala de dispositivos fotovoltaicos usando materiales tales como CdTe, CIS y CIGS y tecnología de capa delgada. En la actualidad varias compañías están en proceso de expansión de sus líneas piloto y ampliando sus facilidades de manufactura de sistemas fotovoltaicos basados en tecnología de capa delgada. Golden Photon, Inc. (GPI), en Golden Col, instaló una línea de manufactura de 2 MW de sistemas PV basados en CdTe y la firma Solar Cells Incorporated (SCI) está terminando de instalar una planta con una capacidad de producción de 2 MW/año de sistemas fotovoltaicos basados en CdTe en Toledo OH.

Plantas de producción de sistemas fotovoltaicos basados en películas delgadas de CIS también fueron iniciadas recientemente. La firma Energy Photovoltaic Inc. instaló una línea de producción de 200 KW en Lawrenceville USA y la firma ISET una de 50 KW en

Figura 7. Evolución de precios y de producción mundial de módulos fotovoltaicos.



Inglewood CA. En Europa, el Centro para Energía Solar, de la Universidad de Stuttgart (Alemania) conjuntamente con Phototronics Sorlartechnik/Pustzbrunn, Alemania, están desarrollando un prototipo para producir módulos basados en CIGS de 900 cm² de área.

V. Conclusiones

Debido a que las principales fuentes primarias de generación de energía eléctrica en el mundo (hidrocarburos y fuentes nucleares) son fuentes no renovables y que el potencial hidroeléctrico tiende rápidamente a la saturación, a comienzos de la década del 70 especialistas en el tema llegaron a la conclusión de que la generación de energía eléctrica a través de la conversión fotovoltaica era una imprescindible fuente renovable de generación de energía eléctrica. Como respuesta a la decisión de estos especialistas muchos gobiernos y empresas privadas alrededor del mundo hicieron grandes inversiones para financiar investigaciones en materiales con propiedades adecuadas para fabricar dispositivos fotovoltaicos para aplicaciones terrestres.

Entre la gran variedad de materiales investigados para aplicaciones fotovoltaicas, el silicio cristalino fue el que logró un mayor y más rápido desarrollo tecnológico. A pesar de la fuerte reducción del costo de producción de sistemas fotovoltaicos y del importante incremento en el mercado mundial de sistemas fotovoltaicos, el costo de generación de energía eléctrica fotovoltaica continua siendo significativamente mayor que el costo de generación convencional. Se espera sin embargo una mejora en el nivel de competitividad cuando se presente un incremento significativo de la demanda mundial de energía fotovoltaica a medida que los precios de generación convencional se incrementen como consecuencia de la reducción de reservas de las fuentes convencionales de energía. Por otro lado se cree que la manera más expedita de conseguir un nivel de precios competitivos con el de generación convencional de energía, es mediante el desarrollo de sistemas fotovoltaicos basados en celdas solares de bajo costo fabricados con tecnología de capa del-

gada, con los cuales se espera llegar a precios del orden de US\$ 0.3 /Wp.

En la actualidad no hay una oferta en el mercado a gran escala de sistemas fotovoltaicos fabricados con tecnología de capa delgada, sin embargo varias firmas en USA y en Europa, recientemente ampliaron la capacidad de sus plantas de producción de sistemas basados en CdTe y en CIS a niveles que van de 50 KW/año a 2 MW/año.

Bibliografía

- Adams G. & R.E. Day. 1977. Proc. Royal Soc. A 25: 131.
- Barnet, A.M. 1996. 25th IEEE Photov. Spec. Conf. Washintong D.C. 1.
- Becquerel, E. 1839. Comptes Rendues 9: 561.
- Carlson, D. E. & C.R. Wronsky. 1976. Appl. Phys. Lett., 28: 671.
- Cusano, D.A. 1963. Solid State Electron 6: 217.
- Cutts T.J. & J.D. Meakings (eds). 1985. "Current topics in photovoltaics", Academic Press, Orlando.
- Chaplin, D.H., C.S. Fuller & G.L. Pearson. 1945. J. Appl. Phys. 25: 676.
- Ferekides, C. et al. 1993. Proc. 26 IEEE Photov. Spec. Conf., pp. 389.
- Green, M.A. et al. 1985. Conf. Rec. 18th IEEE Photov. Spec. Conf., Las Vegas (USA) pp. 61.
- Hedstrom J. et al. 1993. 23 rd. IEEE Photov. Spec. Conf., Louisville, (USA).
- Kazmerski, L., F.R. White & G.K. Morgan. 1976. Appl. Phys. Lett., 29: 268.
- Lincotetal, D. 1995. 13th Photovoltaic Solar Energy Conf., Nice pp. 178.
- Lindmayer J. & Allison. 1993. COMSAT Tech. Rev. 3: 1.
- Maycock, P.D. S.d. PV News, Yearly Febre.-Issues; PV Energy Systems, Inc., Casanova (VA, USA).
- Ohyama, H. et al. 1997. Proc. 26 th. IEEE Photov. Spec. Conf. pp. 389.
- Reynolds D.C. et al. 1954. Phys. Rev. 96: 533.
- Schottkley, W. 1950. "Electron and holes in semiconductors," Van Nostrand, New York.
- Wang, A., J. Zhao & M.A. Green. 1990. Appl. Phys. Lett. 57: 602-604.
- Zweibel, K., H.S. Ullal, & B. Von Roeden. 1997. 26th IEEE Photov. Spec. Conf. Anaheim (USA). In press.

UNA CONSTRUCCION DEL “BRANCHING-BROWNIAN-MOTION”

por

Liliana Blanco Castañeda*

Resumen

Blanco Castañeda, L. Una construcción del “Branching-Brownian-Motion”. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(83): 213-220. 1998. ISSN 0370-3908.

Se presenta una aproximación del “Branching-Brownian-Motion” mediante procesos más simples. El método imita el presentado por Billingsley (1968) en la construcción del movimiento browniano.

Palabras claves: *proceso browniano de ramificación, tensión, distribuciones finito-dimensionales.*

Abstract

A “Branching-Brownian-Motion” approximation is presented by means of simple processes. The employed method imitates one presented by Billingsley (1968) in the construction of Brownian motion.

Key words: “Branching, Brownian motion, tightness, finite dimensional distributions.”

Introducción

El movimiento browniano es un proceso estocástico $(X_t)_{t \geq 0}$ que permite describir el movimiento de una partícula en un vaso de agua, causado por choques moleculares. Este fenómeno físico fue observado por primera vez por el botánico inglés Brown en el año 1827. Pero la primera descripción matemática de dicho fenómeno es debida a Einstein en el año de 1905. Sin embargo fue

Wiener quien presentó por primera vez una formulación matemática completa de dicha teoría en el año 1918.

Es bien conocido el hecho de que el movimiento Browniano se puede aproximar mediante procesos más simples (ver, por ejemplo, **Billingsley**, (1968)). Nosotros nos proponemos imitar el método allí expuesto para dar una aproximación del “Branching-Brownian-Motion”.

El “Branching-Brownian-Motion” es un proceso que se desarrolla de la siguiente manera: Una partícula que parte en el tiempo $t=0$ de la posición $x=0$ se mueve según un movimiento Browniano estándar $(B_0(t))_{t \geq 0}$

*Departamento de Matemáticas y Estadística. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

hasta un punto $L_0 \in (0, \infty)$ que no depende del movimiento y que se distribuye según la distribución exponencial $Exp(t)$. En el tiempo $T = L_0$ la partícula se divide en un número aleatorio de partículas según una distribución dada $\mathbf{p} = (p_0, p_1, \dots, p_n, \dots)$ donde $p_n := P(\text{"n hijos"})$ con $p_0 + p_1 = 0$. Los descendientes generan procesos independientes del mismo tipo.

Para poder imitar el método presentado por Billingsley es necesario construir un espacio métrico separable que desempeñe el papel del espacio $C[0, 1]$ de todas las funciones continuas de valor real definidas sobre el intervalo $[0, 1]$ junto con la métrica del "sup". El espacio que se considera es el espacio de todos los árboles denotado por $B[0, 1]$ cuya construcción se describe detalladamente en (Blanco, (1991)): Un árbol continuo $b \in B[0, 1]$ puede considerarse como un conjunto finito de funciones de $C[0, 1]$, en cuyo caso llamamos ramas del árbol a los elementos de dicho conjunto, o como una función definida sobre $[0, 1]$ y con valores en un espacio métrico apropiado, el cual fue denotado por F . Los valores

$$b[t] = (b(t), ((\iota_1(t), \beta_1(t)), \dots, (\iota_{b(t)}(t), \beta_{b(t)}(t))))$$

de dicha función tienen la siguiente interpretación:

$b(t) :=$ Número de individuos presentes en el tiempo t

$\iota_n(t) :=$ Marca del n -ésimo individuo presente en el tiempo t , $n = 1, 2, \dots, b(t)$.

$\beta_n(t) :=$ Posición del n -ésimo individuo presente en el tiempo t , $n = 1, 2, \dots, b(t)$.

A los individuos presentes en el tiempo $t = 1$ los llamamos individuos finales y la colección de todos los individuos finales de un árbol se denota con \mathcal{A} .

Si $\mathbf{a} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ y $\mathbf{b} = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ son árboles continuos, es decir colecciones finitas de funciones de $C[0, 1]$, entonces la distancia Δ entre \mathbf{a} y \mathbf{b} se define como sigue:

$$\Delta(\mathbf{a}, \mathbf{b}) := h(\{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \{b_1, b_2, \dots, b_n\}),$$

siendo h la distancia de Hausdorff sobre

$$\{A \subset C[0, 1] : \# A < \infty\}.$$

(ver, Castaing & Valadier, (1977)).

2 Aproximación Propuesta

Para cada $n \in \mathbb{N}$ consideramos un proceso $(Z_t^n)_{t \in [0, 1]}$ con las siguientes propiedades:

1. Partimos de $t = 0$ con un individuo en posición 0.

2. Cada individuo vive un tiempo fijo $\frac{1}{n}$.

3. Sea i un individuo que en $t = \frac{i}{n}$ está en posición x y que vive hasta el tiempo $\frac{i+1}{n}$. En ese intervalo de tiempo el individuo se mueve hasta $x + \xi_{i,n}^j$, donde las $\xi_{i,n}^j$ son variables aleatorias independientes con

$$P\left(\xi_{i,n}^j = \frac{1}{\sqrt{n}}\right) = P\left(\xi_{i,n}^j = -\frac{1}{\sqrt{n}}\right) = \frac{1}{2}.$$

En $t = \frac{i+1}{n}$ el individuo va a ser reemplazado bien sea por $N_{i,n}^j$ descendientes según una distribución dada $\mathbf{p} = (p_0, p_1, p_2, \dots)$, $p_0 + p_1 = 0$, con probabilidad $\frac{1}{n}$, o bien sea por sí mismo (exactamente un descendiente) con probabilidad $1 - \frac{1}{n}$.

4. Los descendientes se reproducen en la misma forma, independientemente unos de otros e independientemente de las variables aleatorias ξ .

Sea $f(s) := \sum_{k=1}^{\infty} p_k s^k$ la función generadora correspondiente a \mathbf{p} .

Vamos a suponer que $f''(1) < \infty$.

Queremos demostrar que las realizaciones del proceso anteriormente descrito, interpoladas linealmente, se asemejan para $n \rightarrow \infty$ a las realizaciones del "Branching-Brownian-Motion".

Cuando el individuo sea reemplazado por más de un descendiente diremos que ha tenido lugar una división auténtica del individuo, en caso contrario diremos que tuvo lugar una división falsa del individuo.

Para cada $n \in \mathbb{N}$ consideraremos las siguientes variables aleatorias:

$L_i^n :=$ Tiempo de espera hasta la primera división auténtica de i -ésimo individuo.

$A_i^n :=$ Número de divisiones falsas del i -ésimo individuo antes de su primera división auténtica.

$N_i :=$ Número de descendientes que tiene el i -ésimo individuo en su primera división auténtica.

No es difícil verificar que para cada individuo i se satisface que:

$$A_i^n \stackrel{d}{=} G\left(\frac{1}{n}\right) \quad \text{y} \quad L_i^n \stackrel{d}{\underset{n \rightarrow \infty}{\rightarrow}} T_i, \quad \text{donde} \quad T_i \stackrel{d}{=} Exp(1),$$

es decir A_i^n tiene distribución geométrica con parámetro

$\frac{1}{n}$ y L_t^n tiende en distribución hacia una variable aleatoria con distribución exponencial con parámetro 1.

Sea $0 \leq t \leq 1$ fijo. Supongamos que el individuo ι nace en el punto s , con $s > t$, consideraremos al individuo en el intervalo $[0, s]$ como un individuo ficticio que está vivo en dicho intervalo. Igualmente luego de cada división auténtica, el individuo será considerado como un individuo ficticio que vive hasta el tiempo $t = 1$. De esta forma tiene sentido asignarle a cada individuo ι :

1. El proceso $(S_t^n(t))_{0 \leq t \leq 1}$ que describe su movimiento, esto es

$$S_t^n(t) := \sum_{k=1}^{[nt]} \xi_{t,n}^k$$

y

2. La variable aleatoria

$$\begin{aligned} X_t^n : (\Omega, \mathcal{F}, P) &\longrightarrow (C[0, 1], B(C[0, 1])) \\ \omega &\longmapsto X_t^n(\omega) : [0, 1] \longrightarrow \mathbb{R} \\ &t \longmapsto X_t^n(t, \omega), \end{aligned}$$

donde

$$X_t^n(t, \omega) := S_t^n(t, \omega) + (nt - [nt]) \xi_{t,n}^{[nt]+1}.$$

Sea $\iota = \langle 0 \rangle$ el individuo inicial. Puesto que las variables aleatorias $\xi_{0,n}^k$ son independientes y tienen la misma distribución, se sigue del teorema de Donsker que

$$X_0^n \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{d} W, \text{ siendo } W \text{ la medida de Wiener.}$$

Esto es, se satisface para cada $0 \leq t \leq 1$ que:

$$X_0^n(t) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{d} W_t^0,$$

siendo $\{W_t^0\}_{t \in [0,1]}$ el movimiento Browniano estándar.

Como $X_0^n(t)$ no depende ni de L_0^n ni de N_0^n concluimos además que

$$\left(X_0^n(t), \hat{L}_0^n, N_0 \right) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{d} \left(W_t^0, \hat{T}_0, N_0 \right),$$

donde las variables aleatorias \hat{L}_0^n, \hat{T}_0 se obtienen a partir de L_0^n y T_0 respectivamente, al restringir su rango al intervalo $[0, 1]$ de la siguiente manera:

$$\hat{L}_0^n(\omega) := \begin{cases} L_0^n(\omega) & , \text{si } L_0^n(\omega) \leq 1 \\ 1 & , \text{si } L_0^n(\omega) > 1 \end{cases}$$

Análogamente se define \hat{T}_0 .

Por otra parte, puesto que los individuos se reproducen independientemente unos de otros, se tiene que para cada hijo i del individuo $\langle 0 \rangle$ se satisface que

$$\left(X_i^n(t), \hat{L}_i^n, N_i \right) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{d} \left(W_t^i, \hat{T}_i, N_i \right), \quad i = 1, 2, \dots, N_0.$$

Para cada $n \in \mathbb{N}$ consideramos la variable aleatoria Y_n dada por:

$$\begin{aligned} Y_n : (\Omega, \mathcal{F}, P) &\longrightarrow B[0, 1] \\ \omega &\longmapsto Y_n(\omega) : [0, 1] \longrightarrow \mathbf{F} \\ &t \longmapsto Y_n[t, \omega], \end{aligned}$$

donde cada elemento de \mathbf{F} está constituido por un número n junto con una lista de n individuos a cada uno de los cuales se le ha asignado una posición en \mathbb{R} . Es así que

$$Y_n[t, \omega] := (m_t, ((\iota_j^n(t, \omega), Y_{\iota_j^n}^n(t, \omega)), \dots, (\iota_{m_t}^n(t, \omega), Y_{\iota_{m_t}^n}^n(t, \omega))))$$

tiene la siguiente interpretación:

$m_t :=$ Número de individuos presentes en el tiempo t .

$\iota_j^n(t, \omega) :=$ "Marca" del j -ésimo individuo presente en $t, j = 1, 2, \dots, m_t$.

$Y_{\iota_j^n}^n(t, \omega) = Y_{\iota_j^n}^n(t, \omega) :=$ Posición del j -ésimo individuo presente en t .

La posición de cada individuo está definida como la suma del incremento en posición del individuo mismo y de sus antepasados.

Nosotros afirmamos que las distribuciones de las variables aleatorias Y_n convergen débilmente hacia las del "Branching-Brownian-Motion".

Puesto que en $B[0, 1]$ los conjuntos finito-dimensionales forman una clase determinante (ver, Blanco, (1991)) es suficiente probar que:

1. La sucesión $(Y_n)_{n \in \mathbb{N}}$ satisface la condición de Tensión, es decir para todo $\varepsilon > 0$ existe un compacto K_ε tal que $P_n(K_\varepsilon) > 1 - \varepsilon$ para todo n .

2. Las distribuciones finito-dimensionales de Y_n convergen a las del "Branching-Brownian-Motion"

Teorema 2.1.

La sucesión $(Y_n)_{n \in \mathbb{N}}$ satisface la condición de Tensión.

Idea de la demostración

Es suficiente verificar (ver, Blanco, (1993)) que:

1. Para cada $\varepsilon > 0$ existe un $r > 0$ tal que

$$P(\{\omega : Y_n(\omega) \text{ tiene más de } r \text{ ramas}\}) \leq \frac{\varepsilon}{2},$$

para todo $n \in \mathbb{N}$.

2. Para cada $\varepsilon > 0$ y para cada $\eta > 0$ existe un $0 < \delta < 1$ tal que

$$P\left(\left\{\omega : \hat{W}_{Y_n(\omega)}(\delta) \geq \eta\right\}\right) \leq \frac{\varepsilon}{2}, \text{ para todo } n \in \mathbb{N}.$$

Recordamos que $\hat{W}_b(\delta) := \max_l \sup_{|s-t| < \delta} |b_l(t) - b_l(s)|$ donde b_l denota la l -ésima rama del árbol b .

Para demostrar 1. se considera para cada $n \in \mathbb{N}$ el proceso $(Z_{k,n}^*)_{k \in \mathbb{N}}$ donde $Z_{k,n}^* :=$ Número de individuos presentes en el tiempo $\frac{k}{n}$, y se demuestra que existe un $r \in \mathbb{N}$ tal que

$$P(Z_{n,n}^* > r) < \frac{\varepsilon}{2}.$$

Para verificar 2. se toman $\varepsilon > 0$ y $\eta > 0$ fijos. De 1. se sabe que existe un $r > 0$ tal que

$$P(\{\omega : Y_n(\omega) \text{ tiene más de } r \text{ ramas}\}) \leq \frac{\varepsilon}{2},$$

para todo $n \in \mathbb{N}$.

Sea \mathcal{A} el conjunto de todos los posibles individuos presentes en $t = 1$ para todas las posibles estructuras familiares con a lo más r individuos finales (es decir individuos presentes en $t = 1$). No tenemos en cuenta las longitudes de vida de los individuos particulares. Es claro que la cardinalidad del conjunto \mathcal{A} depende de r . Sea $R(r) := \#\mathcal{A}$. No es difícil verificar que para $\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{2R(r)}$ existe un $0 < \delta < 1$ tal que

$$P\left(\left\{\omega : \hat{W}_{Y_n(\omega)}(\delta) \geq \eta\right\}\right) \leq \varepsilon' R(r) = \frac{\varepsilon}{2},$$

para todo $n \in \mathbb{N}$ \square

Teorema 2.2.

Las distribuciones finito-dimensionales de Y_n convergen hacia las del "Branching-Brownian-Motion".

Idea de la demostración

Sea $0 \leq t \leq 1$ fijo. Sea $\mathbf{A} \in \mathcal{B}(\mathbf{F})$, donde $\mathcal{B}(\mathbf{F})$ denota la σ -álgebra de Borel correspondiente al espacio métrico \mathbf{F} .

$$\begin{aligned} P_{Y_n} \prod_t^{-1}(\mathbf{A}) &= P(Y_n[t, \omega] \in \mathbf{A}) \\ &= P((m_t, ((\iota_1^n(t, \omega), Y_1^n(t, \omega)), \dots, \\ &\quad \iota_{m_t}^n(t, \omega), Y_{m_t}^n(t, \omega)))) \in \mathbf{A} \end{aligned}$$

Ahora bien, hay solamente un número finito de posibles estructuras familiares de manera tal que en el tiempo

t haya m_t individuos, es decir necesitamos saber cuáles individuos se reproducen antes del tiempo t y cuántos hijos tienen, para que en el tiempo t haya m_t individuos. En otras palabras, necesitamos información acerca de un número finito de variables N . Para que una de dichas estructuras familiares se realice, las longitudes de vida de los individuos involucrados deben satisfacer determinadas desigualdades, es decir requerimos información acerca de un número finito de variables \hat{L}^n .

Si se desea que el vector de posiciones

$$(Y_1^n(t, \omega), \dots, Y_{m_t}^n(t, \omega))$$

pertenezca a un determinado conjunto Borel de \mathbf{R}^{m_t} (que evidentemente depende de \mathbf{A}) necesitamos que se satisfagan ciertas condiciones sobre un número finito de variables X^n . Es decir, se llega a que $P_{Y_n} \prod_t^{-1}$ se puede expresar con ayuda de un número finito de variables X^n, \hat{L}^n y N . Puesto que

$$(X^n(t), \hat{L}^n, N) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{d} (\hat{W}_t, \hat{T}, N),$$

donde $\{W_t\}_{t \in [0,1]}$ es el movimiento Browniano estándar $T \stackrel{d}{=} \text{Exp}(1)$ y N es una variable aleatoria con función generadora f , se sigue que las distribuciones finito-dimensionales de Y_n convergen. En el caso de que tengamos un número finito de puntos $0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_k \leq 1$ se obtiene la convergencia deseada haciendo un razonamiento similar.

Con el fin de aclarar las ideas anteriores vamos a hacer la demostración detallada para una situación particular del caso unidimensional \square

3 Convergencia de las distribuciones finito-dimensionales de Y_n (caso especial).

Sean $n \in \mathbb{N}$, $0 \leq t \leq 1$, $y_1, y_2 \in \mathbb{R}$ fijos.

Tenemos que

$m_t = 2$, $Y_1^n(t, \cdot) \leq y_1$ y $Y_2^n(t, \cdot) \leq y_2$ si y sólo si existen $x < t$ y $u \in \mathbb{R}$ tales que

$$\begin{aligned} \hat{L}_0^n &= x, \quad X_0^n(x, \cdot) = u, \quad \hat{L}_1^n > t - x, \quad \hat{L}_2^n > t - x, \\ &\quad [X_1^n(t, \cdot) - X_1^n(x, \cdot)] \leq y_1 - u \\ &\quad \text{y } [X_2^n(t, \cdot) - X_2^n(x, \cdot)] \leq y_2 - u. \end{aligned}$$

Por lo tanto,

$$P(\{\omega : m_t = 2, Y_1^n(t, \omega) \leq y_1, Y_2^n(t, \omega) \leq y_2\}) = \int_{\substack{x \leq t \\ u \in \mathbb{R}}} P(\hat{L}_1^n > t - x, \hat{L}_2^n > t - x, [X_1^n(t, \cdot) - X_1^n(x, \cdot)] \leq y_1 - u, [X_2^n(t, \cdot) - X_2^n(x, \cdot)] \leq y_2 - u) d\mu_n$$

donde μ_n es la distribución de $(\hat{L}_0^n, X_0^n(\hat{L}_0^n))$ siendo

$$(\hat{L}_0^n, X_0^n(\hat{L}_0^n)) : (\Omega, \mathcal{F}, P) \rightarrow ([0, 1] \times \mathbb{R}, \mathcal{B}([0, 1] \times \mathbb{R})) \\ \omega \mapsto (\hat{L}_0^n(\omega), X_0^n(\hat{L}_0^n(\omega), \omega)).$$

Dado $\hat{L}_0^n = x$ se tiene que las variables aleatorias

$$\hat{L}_1^n, \hat{L}_2^n, [X_1^n(t, \cdot) - X_1^n(x, \cdot)], [X_2^n(t, \cdot) - X_2^n(x, \cdot)]$$

son independientes.

Por lo tanto,

$$f_n(x, u) := P(\hat{L}_1^n > t - x, \hat{L}_2^n > t - x, [X_1^n(t, \cdot) - X_1^n(x, \cdot)] \leq y_1 - u, [X_2^n(t, \cdot) - X_2^n(x, \cdot)] \leq y_2 - u) = P(\hat{L}_1^n > t - x)P(\hat{L}_2^n > t - x) \cdot P([X_1^n(t, \cdot) - X_1^n(x, \cdot)] \leq y_1 - u) \cdot P([X_2^n(t, \cdot) - X_2^n(x, \cdot)] \leq y_2 - u).$$

Es claro que

$$f_n(x, u) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} f(x, u)$$

donde

$$f(x, u) := e^{-2(t-x)} \frac{1}{2\pi(t-x)} \int_{-\infty}^{y_1-u} e^{-\frac{v^2}{2(t-x)}} dv \int_{-\infty}^{y_2-u} e^{-\frac{v^2}{2(t-x)}} dv.$$

Nuestro objetivo es demostrar que $\int f_n d\mu_n$ converge. Para ello seguiremos los siguientes pasos:

1. Demostraremos que la sucesión $(\mu_n)_{n \in \mathbb{N}}$ es una sucesión débilmente convergente.
2. Verificaremos que las f_n son funciones medibles.
3. Luego se prueba que para todo $\varepsilon > 0$ se satisface que:

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \limsup_{n \rightarrow \infty} \mu(\partial_{\delta, \varepsilon}, f_n) = 0$$

siendo $\mu := \lim_{n \rightarrow \infty} \mu_n$ y

$$\partial_{\delta, \varepsilon}, f_n := \begin{cases} \{ (x, u) \in [0, t] \times \mathbb{R} : \\ \exists (x', u'), (x'', u'') \in S((x, u), \delta) \\ \text{con } |f_n(x', u') - f_n(x'', u'')| > \varepsilon \} \end{cases}$$

donde $S((x, u), \delta)$ denota la bola abierta de centro en x y radio δ .

Para poder concluir de 1., 2. y 3. la convergencia propuesta haremos uso de los teoremas siguientes:

Teorema 3.1.

Sea S un espacio métrico arbitrario y $B(S)$ la colección de todas las funciones acotadas, medibles, de valor real definidas sobre S .

Sea M un conjunto de $B(S)$ y P una medida de probabilidad sobre S . Entonces

$$\limsup_{n \rightarrow \infty, f \in M} \left| \int f dP_n - \int f dP \right| = 0$$

para todas las sucesiones $(P_n)_{n \in \mathbb{N}}$ de medidas de probabilidad que convergen débilmente a P (Notación: $P_n \Rightarrow P$) si y sólo si

1. $\sup \{|f(x) - f(y)| : x, y \in S, f \in M\} < \infty$
2. $\limsup_{n \rightarrow \infty, f \in M} P(\{x : \omega_f S(x, \delta) > \varepsilon\}) = 0$,

donde $S(x, \delta)$ denota la bola de centro en x y radio δ , y

$$\omega_f S(x, \delta) := \sup \{|f(u) - f(y)| : u, y \in S(x, \delta)\}.$$

Demostración

Ver (P.Billingsley, F.Topsøe (1967)) \square

Teorema 3.2.

Sea P una medida de probabilidad sobre S , $\{\psi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ una sucesión de funciones en $B(S)$, $\alpha \in \mathbb{R}$. Entonces

$$\int \psi_n dP_n \rightarrow \alpha \text{ para todas las sucesiones } (P_n)_{n \in \mathbb{N}} \text{ de medidas de probabilidad sobre } S \text{ con } P_n \Rightarrow P$$

si y sólo si

1. La sucesión $\{\psi_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ está uniformemente acotada.
2. $\int \psi_n dP \rightarrow \alpha$.
3. Para todo $\varepsilon > 0$ se satisface

$$\limsup_{\delta \rightarrow 0, n \rightarrow \infty} P(\partial_{\delta, \varepsilon}, \psi_n) = 0$$

donde

$$\partial_{\delta, \varepsilon}, \psi_n := \{ x \in S : \exists x', x'' \in S(x, \delta) \text{ tales que } |\psi_n(x') - \psi_n(x'')| > \varepsilon \}.$$

Demostración

Ver (F.Topsøe (1967)) \square

Teorema 3.3.

$\mu_n \Rightarrow \mu$, donde μ posee la siguiente densidad

$$g(x, u) := e^{-x} \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} e^{-\frac{u^2}{2x}}, \quad 0 < x < 1, u \in \mathbb{R}$$

la masa restante e^{-1} se distribuye con la densidad condicionada $\frac{e^{-\frac{u^2}{2x}}}{\sqrt{2\pi}}$ sobre $\{1\} \times \mathbb{R}$.

Demostración

Sea

$$\begin{aligned} (\hat{L}_0^n, X_0^n) : (\Omega, \mathcal{F}, P) &\longrightarrow [0, 1] \times C[0, 1] \\ \omega &\longmapsto (\hat{L}_0^n(\omega), X_0^n(\omega)). \end{aligned}$$

Puesto que \hat{L}_0^n, X_0^n son independientes entonces

$$(\hat{L}_0^n, X_0^n) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{d} (\hat{L}, X)$$

con $L \stackrel{d}{=} \text{Exp}(1)$ y $X \stackrel{d}{=} \mathbf{W}$, siendo \mathbf{W} la medida de Wiener.

Consideremos la función h definida por

$$\begin{aligned} h : [0, 1] \times C[0, 1] &\longrightarrow [0, 1] \times \mathbb{R} \\ (x, g) &\longmapsto (x, g(x)). \end{aligned}$$

No es difícil verificar que h es una función continua. Por lo tanto (ver, Billingsley (1968)) se tiene que:

$$h(\hat{L}_0^n, X_0^n) \xrightarrow{d} h(L, X)$$

es decir

$$(\hat{L}_0^n(\cdot), X_0^n(\hat{L}_0^n(\cdot), \cdot)) \xrightarrow{d} \mu$$

donde μ tiene la densidad dada en (*) \square

Teorema 3.4.

Las funciones f_n son medibles

Idea de la demostración

Para la demostración se siguen los siguientes pasos:

1. Se demuestra que si T es un espacio medible y si

$$\begin{aligned} \varphi : T \times \mathbb{R} &\longrightarrow \mathbb{R} \\ (t, x) &\longmapsto \varphi(t, x) \end{aligned}$$

es continua a derecha en x y medible en t entonces $\varphi(\cdot, \cdot)$ es medible.

2. Para cada $n \in \mathbb{N}$ consideraremos

$$X_n(z) := \sum_{k=1}^{[nt]} \xi_k + (nt - [nt]) \xi_{[nt]+1}, \quad z \in \mathbb{R},$$

donde $\xi_k : (\Omega, \mathcal{F}, P) \longrightarrow \mathbb{R}$ son variables aleatorias independientes con

$$P\left(\xi_k = \frac{1}{\sqrt{n}}\right) = P\left(\xi_k = -\frac{1}{\sqrt{n}}\right) = \frac{1}{2}$$

y se demuestra que para cada y fijo la función

$$G_n(\cdot, y) := P(X_n(\cdot) \leq y)$$

es medible

3. Haciendo uso de 1. y 2. se demuestra que para cada $n \in \mathbb{N}$ las funciones

$$\begin{aligned} \tilde{g}_n^{(i)} : [0, t] \times \mathbb{R} &\longrightarrow [0, 1] \\ (x, y) &\longmapsto P(X_i^n(t-x, \cdot) \leq y), \end{aligned}$$

$i = 1, 2$ son medibles

4. Utilizando 3. se demuestra que para cada $n \in \mathbb{N}$ las funciones

$$\begin{aligned} g_n^{(i)} : [0, t] \times \mathbb{R} &\longrightarrow [0, 1] \\ (x, y) &\longmapsto P(X_i^n(t, \cdot) - X_i^n(x, \cdot) \leq y), \end{aligned}$$

$i = 1, 2$ son medibles

5. Se verifica que para cada $n \in \mathbb{N}$ las funciones

$$\begin{aligned} l_n^{(i)} : [0, t] \times \mathbb{R} &\longrightarrow [0, 1] \\ (x, y) &\longmapsto P(L_i^n \geq t-x), \quad i = 1, 2 \end{aligned}$$

son medibles

6. Usando 4. y 5. se concluye que las funciones f_n son medibles \square

Para una demostración detallada de lo anterior ver (Blanco (1991)).

Teorema 3.5.

Sea $M := \{f_n : n \in \mathbb{N}\}$ entonces se tiene que

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \sup_{n \in \mathbb{N}} \left| \int f dQ_k - \int f_n d\mu \right| = 0$$

para todas las sucesiones $(Q_k)_{k \in \mathbb{N}}$ de medidas de probabilidad definidas sobre $S := [0, t] \times \mathbb{R}$ con $Q_k \Rightarrow \mu$.

Demostración

Es claro que M es un subconjunto del conjunto de funciones acotadas, medibles, de valor real definidas sobre $S := [0, t] \times \mathbb{R}$.

Sea $\varepsilon > 0$ fijo pero arbitrario.

Tomemos $S_\varepsilon := [0, t - \varepsilon) \times \mathbb{R}$ y sea $\eta > 0$ fijo pero arbitrario.

Como

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \mu(S_\varepsilon^c) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{t-\varepsilon}^t e^{-x} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi x}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2x}} du \right] dx = 0$$

se tiene que existe un $\varepsilon_0 > 0$ tal que $\mu(S_\varepsilon^c) < \eta$ si $\varepsilon \leq \varepsilon_0$.

Por otra parte se tiene que $f_n \xrightarrow{n \rightarrow \infty} f$ uniformemente en $S_{\varepsilon_0} := [0, t - \varepsilon_0) \times \mathbb{R}$ (ver **Blanco, (1991)**).

Por lo tanto existe un $n_0(\eta)$ tal que:

$|f_n(x, u) - f(x, u)| < \eta$, para todo $n \geq n_0(\eta)$ y para todo $(x, u) \in S_{\varepsilon_0}$.

Sea $(Q_k)_{k \in \mathbb{N}}$ una sucesión de medidas de probabilidad sobre S con $Q_k \Rightarrow \mu$.

Como $\mu(\partial S_{\varepsilon_0}) = 0$ entonces se tiene que

$$\lim_{k \rightarrow \infty} Q_k(S_{\varepsilon_0}) = \mu(S_{\varepsilon_0})$$

Por lo tanto

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \int_{S_{\varepsilon_0}} f dQ_k = \int_{S_{\varepsilon_0}} f d\mu,$$

ya que f es continua y acotada en S_{ε_0} .

Por otra parte tenemos que para todo $n \geq n_0(\eta)$ se satisface:

$$\left| \int_{S_{\varepsilon_0}} f_n dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}} f_n d\mu \right| < 2\eta + \left| \int_{S_{\varepsilon_0}} f dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}} f d\mu \right|.$$

De donde se tiene que existe un $k_0(\eta) \in \mathbb{N}$ tal que para todo $k \geq k_0(\eta)$ se satisface que

$$\left| \int_{S_{\varepsilon_0}} f_n dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}} f_n d\mu \right| < 3\eta,$$

para todo $n \geq n_0(\eta)$.

Vamos a demostrar que

$$\lim_{k \rightarrow 0} \left| \int_{S_{\varepsilon_0}} f_n dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}} f_n d\mu \right| = 0,$$

para todo $n < n_0(\eta)$.

Sea $n < n_0(\eta)$ fijo. Tenemos que $f_n Q_k \Rightarrow f_n \mu$, ya que $\mu(D_{f_n}) = 0$ siendo

$D_{f_n} :=$ Conjunto de puntos de discontinuidad de f_n (ver, **Billingsley (1968)**).

Por lo tanto existe un $m_0(\eta) \in \mathbb{N}$ tal que

$$\left| \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n d\mu \right| \leq 3\eta,$$

para todo $k \geq m_0(\eta)$ y para todo $n = 1, 2, \dots, n_0(\eta)$.

Tomando $N_0(\eta) := \max\{k_0(\eta), m_0(\eta)\}$ se sigue que

$$\left| \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n d\mu \right| \leq 3\eta,$$

para todo $k \geq N_0(\eta)$ y para todo n . (*)

A continuación demostraremos que existe un $m(\eta) \in \mathbb{N}$ con

$$\left| \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n d\mu \right| \leq 3\eta,$$

para todo $k \geq m(\eta)$ y para todo n . (**)

Para ello tomamos $n \in \mathbb{N}$ fijo. Puesto que $|f_n| \leq 1$ se sigue que para todo k

$$\left| \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n dQ_k - \int_{S_{\varepsilon_0}^c} f_n d\mu \right| \leq \mu(S_{\varepsilon_0}^c) + Q_k(S_{\varepsilon_0}^c) < \eta + Q_k(S_{\varepsilon_0}^c).$$

Como

$$\lim_{k \rightarrow \infty} Q_k(S_{\varepsilon_0}^c) = \mu(S_{\varepsilon_0}^c)$$

se tiene que existe un $m(\eta) \in \mathbb{N}$ con $Q_k(S_{\varepsilon_0}^c) < 2\eta$ para todo $k > m(\eta)$, de donde se sigue (**).

De (*) y (**) concluimos que

$$\left| \int f_n dQ_k - \int f_n d\mu \right| \leq 6\eta$$

para todo $k \geq N(\eta) := \max\{m(\eta), N_0(\eta)\}$ y para todo n .

Por lo tanto

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \sup_{n \in \mathbb{N}} \left| \int f_n dQ_k - \int f_n d\mu \right| = 0 \quad \square$$

Finalmente tenemos el siguiente resultado.

Teorema 3.6

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int f_n d\mu_n = \int f d\mu$$

Demostración

Del teorema anterior y del teorema 2.1 se sigue que

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \sup_{n \in \mathbb{N}} \mu(\partial_{\delta, \varepsilon}, f_n) = 0, \text{ para todo } \varepsilon > 0.$$

esto implica que

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \limsup_{n \rightarrow \infty} \mu(\partial_{\delta, \varepsilon}, f_n) = 0, \text{ para todo } \varepsilon > 0.$$

Puesto que $(f_n)_{n \in \mathbb{N}}$ está uniformemente acotada y

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int f_n d\mu_n = \int f d\mu$$

se sigue entonces por el teorema 3.2 el resultado \square

Bibliografía

- Billingsley, P.** 1968. *Convergence of Probability Measures*, Wiley, New York.
- Billingsley, P. & Topsøe** 1967. Uniformity in weak convergence. *Z. Wahrschein. verw. geb.* 7, 1-16.
- Blanco, L.** 1991, Approximation der "branching-Brownian-Motion". Tesis doctoral, Johannes-Gutenberg- Universität in Mainz.
- _____. 1993, Compacidad relativa y "Tightness" en el espacio $B[0, 1]$, *Revista Colombiana de Estadística*, Número 27.
- Castaing, C. & M. Valadier**, 1997, *Convex Analysis and Measurable Multifunctions*, Springer Verlag.
- Topsøe** 1967, Preservation of weak convergence under mappings, *Ann. Math. Statistic.*, 38, 1661-1665.

SOME REMARKS ON THE LOCAL PATH-CONNECTEDNESS OF INFINITE POINT COMPACTIFICATIONS

por

Jairo A. Charris ^(*) ⁽¹⁾, Carmenza Moreno ⁽¹⁾ & Oriol Mora-Valbuena ⁽²⁾

Resumen

Charris, J. A., Moreno, C. & Mora-Valbuena, O.: Some Remarks on the Local Path-connectedness of Infinite Point Compactifications. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **22** (83): 221-228, 1998, ISSN 0370-3908.

Se establecen algunos resultados sobre la conexión y la arco conexión locales de compactificaciones de espacios localmente compactos por adición de un número infinito de puntos, bajo restricciones sobre los puntos de acumulación de los conjuntos que se compactan.

Palabras claves: Conexión local, arco conexión local, σ -compacidad, paracompacidad.

Abstract

Local connectedness and local path-connectedness of infinite point compactifications of locally compact spaces are established under assumptions on the limit points of the compactifying sets.

Key words: Local connectedness, local path-connectedness, σ -compactness, paracompactness.

* This author acknowledges support of the Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.

¹ Departamento de Matemáticas y Estadística; Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, Colombia.

² Departamento de Matemáticas, Universidad Distrital «Francisco José de Caldas», Santafé de Bogotá, Colombia.

1 Introduction

Compactifications of spaces are useful in diverse circumstances. Alexandroff's compactifications of locally compact Hausdorff spaces appear in many instances. More general compactifications (see [12], [13]) are usually needed when smoothness issues are involved. For example, the Alexandroff compactification of the cylinder

$$C = \{(x, y, z) \mid x^2 + y^2 = 1, |z| < 1\}$$

is a torus with a strangulation point (a sausage with identified end points) at which a conical neighborhood appears, and thus is not a topological manifold. However, a two point compactification of C is a sphere.

The transfer of local properties of a space to its compactifications is a frequent issue. For example, the transfer of local connectedness or of local path-connectedness is usually related to problems of analytic continuation and may be of importance.

In [4] it is shown that the local connectedness of a locally compact space is preserved by Alexandroff's compactification. This also holds for local path-connectedness of σ -compact or paracompact spaces. In [5], these results are extended to finite point compactifications under the additional assumption of local path-connectedness by closed neighborhoods.

The purpose of this paper is to extend the results in [4], [5] to infinite point compactifications. For infinite point compactifications matters are rather more delicate. For example, the space

$$X = \left\{ (x, y) \mid y = \sin\left(\frac{1}{x}\right), 0 < x \leq 1 \right\}$$

is locally compact, locally connected and locally path-connected for its topology of subspace of \mathbf{R}^2 , and $\tilde{X} = X \cup \{(0, y) \mid -1 \leq y \leq 1\}$, also with the subspace topology, is a compactification of X by addition of the infinite set $N = \{(0, y) \mid -1 \leq y \leq 1\}$. However, \tilde{X} is not locally connected at any point of N , and thus not locally path-connected at those points. As a matter of fact, \tilde{X} , though connected, is not path-connected. Therefore, conditions must be imposed on infinite point compactifications to preserve local connectedness or local path-connectedness. The conditions we give are appropriate for local path-connectedness. They may be relaxed if only local connectedness is sought. The main difficulty in dealing with local path-connectedness, as compared to local connectedness, lies in the fact that path-components may not be closed, and also in that the closure of a path-connected set may not be path-connected, as the above example shows. Nevertheless,

we will establish local path-connectedness of countably infinite compactifications, and even more general, under not very demanding constraints. As a matter of fact, we show that some of the assumptions in [5] can be relaxed. However, we think our results are only partial and not entirely satisfactory. It is difficult, for example, to construct significative examples to illustrate them. We suspect more natural conditions exist that can be expressed in terms of connectedness or path-connectedness properties of the compactifying sets. We have not succeeded in establishing these properties, though.

2 Preliminary notions and results

The terminology we follow is basically that of [3] or [6]. All topological spaces are supposed to be Hausdorff. If X is a topological space and $w \in X$, X is said to be *locally connected at w* if the connected neighborhoods of w are a fundamental system, i.e., if for any neighborhood U of w in X there is a connected neighborhood V of w such that $V \subseteq U$. If this holds for any point w in X , X is called *locally connected*. If Y is a subset of X and C is a connected subset of Y not properly contained in any other connected subset of Y , C is called a *connected component*, or, simply, a *component* of Y ; if $a \in C$, C is also called the *component of a in Y* and is denoted by $C_a(Y)$; if C is a component of Y and \bar{C} denotes the closure of C in X , it follows from the connectedness of $\bar{C} \cap Y$ ([3], p.124) that C is closed in Y . The space X is locally connected if and only if the components of open sets of X are open in X . If C is connected and A is an open and closed set in X , in which case we say that A is *clopen* in X , such that $C \cap A \neq \emptyset$, then $C \subseteq A$. Thus, any component of X is contained in any clopen set meeting it, and any component of a clopen subset of Y is a component of Y . If X is compact, any component of X is the intersection of the clopen sets containing it ([3], p.224). If X is a topological space and $Y \subseteq X$, a path in Y is a continuous map $\alpha : [0, 1] \rightarrow Y$, or, the same, a continuous map $\alpha : [0, 1] \rightarrow X$ such that $\alpha([0, 1]) \subseteq Y$. If $a, b \in Y$ and there is path α in Y such that $\alpha(0) = a$ and $\alpha(1) = b$, it is said that a and b can be joined by a path in Y . If any pair of points a, b in Y can be joined by a path in Y , Y is called a *path-connected subset* of X . Any path-connected set is also connected. The closure of a path-connected set may not be path-connected (see the example in Section 1). A path-connected subset of Y not properly contained in any other path-connected subset of Y is called a *path-component* of Y . Path-components of Y may not

be closed in Y (see example in Section 1). If C is a path-component of Y and $a \in C$, C is called the *path-component* of a in Y and is denoted by $C_a(Y)$. If C is a component of Y and B is a connected subset of Y such that $B \cap C \neq \emptyset$, then $B \subseteq C$. Hence $C_a(Y) \subseteq C_a(Y)$. If $w \in X$ and has a fundamental system of connected neighborhoods, X is said to be *locally path-connected* at w . If X is locally path-connected at every point, X is said to be *locally path-connected*. A space X is locally path-connected if and only if path-components of open sets are open. In a locally path-connected space, path-components are also closed. Thus, in a locally path-connected space, components and path-components coincide.

A *compactification* of a topological space X is a compact topological space \tilde{X} such that X is an open subspace of \tilde{X} and $\bar{X} = \tilde{X}$ (\bar{A} will always be the closure of A in \tilde{X}). We assume that X and \tilde{X} are Hausdorff spaces. The set $N := \tilde{X} - X$ is closed in \tilde{X} . Therefore, its set $D(N)$ of limit points is contained in N . Also $D^{(n)}(N) := D(D^{(n-1)}(N)) \subseteq D^{(n-1)}(N)$ and $D^{(n)}(N)$ is closed for each $n \geq 1$ (we also agree on $D^{(0)}(N) = N$). The set $D^{(n)}(N)$ is called the n^{th} -*derived set* of N . Points in $N - D(N)$ are said to be *isolated relative to N* . Clearly $w \in N - D(N)$ if and only if there is a neighborhood U of w in \tilde{X} such that $U \cap N = \{w\}$. For X to have a compactification in the above sense it is necessary that X be locally compact. Provided X is not compact, this condition is also sufficient for one point (Alexandroff) compactifications.

A compactification \tilde{X} of X is said to be *obtained from X by addition of the set $N = \tilde{X} - X$* . Observe that each point in N is in the closure of X . A space X is said to be *σ -compact (countable at infinity)* if it is locally compact and there a sequence (K_n) of compact subsets of X such that

$$X = \bigcup_{n=1}^{\infty} K_n.$$

Then (K_n) can taken such that $K_n \subseteq K_{n+1}^\circ$ (A° denotes the interior of A in X . See [3], [6]). A space X is called *paracompact* if it is locally compact and there are disjoint, σ -compact, open subsets X_α , $\alpha \in I$, of X such that

$$X = \bigcup_{\alpha \in I} X_\alpha.$$

A subset U of X is said to be *relatively σ -compact* if there a sequence (K_n) of compact subsets of X such that $K_n \subseteq K_{n+1}^\circ$ for all n and $U \subseteq \bigcup_{n=1}^{\infty} K_n$. We finally mention that if \mathcal{A} is a family of compact subset of X such

that $\bigcap_{A \in \mathcal{F}} A \neq \emptyset$ for any finite $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{A}$, then $\bigcap_{A \in \mathcal{A}} A \neq \emptyset$ (Cantor's intersection theorem: [3], p.93).

3 Some basic results and observations

The following two elementary results on local connectedness will be needed.

Lemma 3.1. *If X is a locally connected compact space, then X has only a finite number of connected components; i.e., a compact space having an infinite number of connected components can not be locally connected.*

Proof. Components are pair-wise disjoint and, under the assumptions, they are also open in X . \square

Lemma 3.2. *If X has a locally connected compactification \tilde{X} , then X has only a finite number of compact connected components.*

If X has only a finite number of compact connected components and has a compactification \tilde{X} such that $N = \tilde{X} - X$ is finite, then \tilde{X} has only finitely many components.

Proof. Since compact connected components of X are connected components of \tilde{X} , the first assertion follows from Lemma 3.2. As to the second, just observe that the components of \tilde{X} meeting N are finite in number, and that a compact component of \tilde{X} not meeting N is a compact component of X . \square

Remark 3.1. We observe that a space X having infinitely many non-compact connected components may have locally connected compactifications (see Remark 3.3, next, or Example 5.1). Notice finally that the second assertion in Lemma 3.2 still holds if X has an infinite number of non-compact connected components.

Remark 3.2. A closed subset of a σ -compact space is obviously σ -compact. On the contrary, an open subset may not be σ -compact. For example, the Alexandroff compactification \tilde{X} of an infinite, non countable, discrete space X is σ -compact (it is compact). However, X is not σ -compact (recall that the compact subsets of X are the finite sets). Also, a closed subset of a paracompact space is paracompact, but the same does not hold for open subsets (for an example see [3], p.158, Exercise 12).

Remark 3.3. Let $X = \bigcup_{\alpha} X_{\alpha}$ be a paracompact space, where the X_{α} are disjoint, open and σ -compact. Then any component C of X is contained in some X_{α} (as X_{α} is clopen in X) and, being closed in X_{α} , is σ -compact. Thus, when X is locally connected, we may assume that each X_{α} is a component X . If I is infinite and only finitely many of the X_{α} are compact, a locally connected (locally path-connected) paracompact space may have locally connected (locally path-connected) compactifications. As matter of fact (see [3]), its Alexandroff compactification is locally connected (locally path-connected).

4 Local connectedness

Here we consider some results on local connectedness which will be important in Section 5. Although our approach in this and the next section is somewhat different, it is strongly motivated by ideas in [7] and [11]. In what follows, if W is a subset of the topological space

\tilde{X} , $Br(W) := \overline{W} \cap (\tilde{X} - W)$ will be the *boundary* of W , where \overline{A} stands for the closure of $A \subseteq \tilde{X}$ in \tilde{X} .

Lemma 4.1. *Let \tilde{X} be a connected compactification of the locally connected space X by addition of a set N . Let $w \in N$ be isolated relative to N and let U be an open neighborhood of w such that $U \cap N = \{w\}$. Let $\mathcal{E}(U) = U - C_w(U)$, where $C_w(U)$ is the connected component of w in U . Then $w \notin \mathcal{E}(U)$ and $\mathcal{E}(U)$ is a compact subset of X .*

Proof. We assume on the contrary that $w \in \overline{\mathcal{E}(U)}$ and let W be an open neighborhood of w such that $\overline{W} \subseteq U$. Any component of W is contained in a component of U . Let $\mathcal{E}'(W)$ be the union of those connected components of W which are contained in a component of $\mathcal{E}(U)$. Then $\mathcal{E}'(W) = \mathcal{E}(U) \cap W$. Therefore $w \in \overline{\mathcal{E}'(W)}$. Let C_w be the component of w in $\mathcal{E}'(W)$ and let A be a clopen subset of $\mathcal{E}'(W)$ such that $w \in A$. Since $A \cap \mathcal{E}'(W) \neq \emptyset$, A contains a component C of $\mathcal{E}'(W)$. Now, C is closed in $W - \{w\}$ and $w \notin C$. If $\overline{C} \cap Br(W) = \emptyset$, then $C = \overline{C}$ and thus C would be closed in \tilde{X} . Since C is open in $W - \{w\}$ and thus in W , then C would also be open in \tilde{X} . This is contradictory (as $\tilde{X} \neq C$). Thus, since $A \supseteq \overline{C}$ then $A \cap Br(W) \neq \emptyset$, and hence C_w , being the intersection of all such clopen A 's, will also meet $Br(W)$ ([3], p.224 and Cantor's intersection theorem). Since $w \notin Br(W)$, there is $x \in U$, $x \neq w$, such that $x \in C_w$. Now, since the component $C_x(U - \{w\})$ is open in \tilde{X} , and since

$x \in C_w \subseteq \overline{\mathcal{E}'(W)}$, then $C_x(U - \{w\}) \cap \mathcal{E}'(W) \neq \emptyset$. On the other hand, $C_w(U)$, the component of w in U , does not meet $\mathcal{E}(U)$. But C_w , being connected in U , is contained in $C_x(U)$, the component of x in U . Then $C_x(U) = C_w(U)$, and $C_x(U) \cap \mathcal{E}'(W) = \emptyset$. This is a contradiction, as $C_x(U - \{w\}) \subseteq C_x(U)$. Therefore $w \notin \mathcal{E}(U)$, and the lemma is proved. \square

Remark 4.1. Observe that in the above result it is important that \tilde{X} be connected. If \tilde{X} has infinitely many connected components, the conclusion may not hold. Let $X = \bigcup_{n=1}^{\infty} I_n$, where $I_n = \{\frac{1}{n}\} \times [0, \frac{1}{n}]$ with the topology of subspace of \mathbf{R}^2 , and let \tilde{X} be the Alexandroff compactification of X by addition of the point $w = (0, 0)$. This is just \tilde{X} as a subspace of \mathbf{R}^2 . Observe that $C_w(U) = \{w\}$ for any neighborhood U of w , but $\mathcal{E}(U)$ always contains a set $\bigcup_{n=m}^{\infty} I_n$, $m \geq 1$, and w is in the closure of such set. However, if \tilde{X} has only finitely many components, we may take U meeting only one of them, Y , and the argument above applies with Y in the place of \tilde{X} . Summing up, Lemma 3.1 holds if we assume that \tilde{X} may have finitely many components. We have:

Theorem 4.1. *If \tilde{X} is a connected compactification of the locally connected space X by a set N , and if $w \in N$ is isolated relative to N , then \tilde{X} is locally connected at w .*

Proof. Let U be an open neighborhood of w in \tilde{X} such that $U \cap N = \{w\}$. Since $w \notin \mathcal{E}(U)$ and the component $C_w(U)$ of w in U is $U - \mathcal{E}(U)$, there is a neighborhood V of w , $V \subseteq C_w(U)$. Hence, $C_w(U)$ is a connected neighborhood of U contained in U . \square

Remark 4.2. Observe that if U is open in \tilde{X} and $U \cap N = \{w\}$, then $C_w(U)$ is open in \tilde{X} . In fact, if $x \in C_w(U)$ and $x \neq w$, so that $x \in X$, the component $C_x(U - \{w\})$ of x in $U - \{w\}$ is open in \tilde{X} and contained in $C_w(U)$. Also observe that $\mathcal{E}(U)$ is closed in U and $\mathcal{E}(U) = \overline{\mathcal{E}(U)} \cap U$. Moreover,

$$C_w(U) = \bigcup_{x \in U - \mathcal{E}(U)} C_x(U - \{w\}) \cup \{w\},$$

w is in the closure of $C_x(U - \{w\})$ and $C_x(U) = C_w(U)$ for all $x \in U - \mathcal{E}(U)$.

Corollary 4.1. *Let \tilde{X} be a connected compactification of the locally connected space X by addition of N . Assume that N has only finitely many limit points in \tilde{X} .*

Then \tilde{X} is locally connected.

Proof. Any point in $N - D(N)$ is isolated relative to N , so that $Y = X \cup (N - D(N)) = \tilde{X} - D(N)$ is a locally connected open subspace of \tilde{X} , and \tilde{X} is a compactification of Y by addition of the finite set $D(N)$. Since $D(N)$, being finite, has no limit points, $\tilde{X} = Y \cup D(N)$ is locally connected at each point of $D(N)$. Thus, \tilde{X} is locally connected. \square

Corollary 4.2. *Let \tilde{X} be a connected compactification of the locally connected space X by addition of N . Also assume that $D^{(n)}(N) = \phi$ for some $n \geq 0$. Then \tilde{X} is locally connected.*

Proof. From above, the assertion is true for $n = 0, 1, 2$, and it follows by induction on n for $n \geq 3$, observing that \tilde{X} is a compactification of the locally connected space $Y = X \cup (N - D(N))$ by addition of $M = D(N)$, and $D^{(n-1)}(M) = \phi$. \square

Remark 4.3. If \tilde{X} is not connected but has instead finitely many components, and the remaining assumptions of Theorem 4.1 and its corollaries hold, each component of \tilde{X} will be locally connected. Hence, \tilde{X} itself will still be locally connected; i.e., the conclusions of Theorem 4.1 and its corollaries hold if X is locally connected and \tilde{X} is required to have only finitely many connected components. Because of Lemma 3.1 it is not to the point to let \tilde{X} to have infinitely many connected components.

5 Local path-connectedness

Now we come to the main results in this paper. Recall that if X is locally path-connected then any connected open subset of X is path-connected. In particular, components and path-components of X are open and coincide.

Lemma 5.1. *Let X be locally compact and locally path-connected, and let \tilde{X} be a compactification of X by addition of a set N . Assume that \tilde{X} has only finitely many connected components and let $w \in N - D(N)$. If w has a countable fundamental system of neighborhoods, then \tilde{X} is locally path-connected at w .*

Proof. The space \tilde{X} is locally connected at w (Theorem 4.1 and Remark 4.3). Let U be an open connected

neighborhood of w such that $\bar{U} \cap N = \{w\}$, and let (U_n) be a fundamental system a neighborhood of w . There is no loss of generality in assuming that the U_n are open and connected and that $U_{n+1} \subseteq U_n \subseteq U_0 = U$ for each $n \geq 0$. Let $a = a_0 \in U, a \neq w$. The path-component $C_a(U - \{w\})$ is clopen in $U - \{w\}$ and open in U . If $w \notin C_a(U - \{w\})$, it would also be closed in U , which is absurd. Then let $a_1 \in C_a(U - \{w\}) \cap U_1, a_2 \in C_{a_1}(U_1 - \{w\}) \cap U_2$, and continuing this way, let $a_{n+1} \in C_{a_n}(U_n - \{w\}) \cap U_{n+1}, n \geq 2$. Now choose (t_n) in $[0, 1)$ such that $t_n < t_{n+1}, t_0 = 0$ and $t_n \rightarrow 1$. Since $a_n, a_{n+1} \in C_{a_n}(U_n - \{w\})$, there is a path $\alpha_n : [t_n, t_{n+1}] \rightarrow U_n - \{w\}$ such that $\alpha_n(t_n) = a_n, \alpha_n(t_{n+1}) = a_{n+1}$. Let $\alpha : [0, 1] \rightarrow U$ be defined by $\alpha(t) = \alpha_n(t)$ if $t_n \leq t \leq t_{n+1}, \alpha(1) = w$. Clearly α is continuous in $[0, 1)$. It is also continuous at $t = 1$. In fact, $\alpha(t) \in U_m$ for $t \geq t_m$, and (U_n) is a fundamental system of neighborhoods of w . Hence α is a path of U , and thus U is path-connected. This proves the lemma. \square

Remark 5.1. It follows that for any open neighborhood of w such that $U \cap N = \{w\}$ we have $C_w(U) = C_x(U) = C_x(U)$ for all $x \in U - \mathcal{E}(U)$; and if U is connected, it is also path-connected.

Corollary 5.1. *Let X be locally path-connected and let \tilde{X} be a compactification of X by addition of a finite set N . Assume that X has only finitely many compact connected components. Also assume that each $w \in N$ has a countable fundamental system of neighborhoods. Then \tilde{X} is locally path-connected.*

Proof. Under the assumptions \tilde{X} has only finitely many components (Lemma 3.2), and each point of N is isolated relative to N . \square

Corollary 5.2. *Let X be locally compact and locally path-connected, and let \tilde{X} be a compactification of X by addition of a set N having only finitely many limit points. If \tilde{X} has only finitely many components and if any point in N has a countable fundamental system of neighborhoods, then \tilde{X} is locally path connected.*

Proof. The space \tilde{X} is the compactification of the locally path-connected subspace $Y = X \cup (N - D(N))$ of \tilde{X} by addition of $D(N)$, which is finite. \square

By induction it follows as before that:

Theorem 5.1. *If X is locally compact and locally path-connected, if \tilde{X} is a compactification of X by addition*

of a set N such that $D^{(n)}(N) = \phi$ for some $n \geq 0$, if \tilde{X} has only finitely many components, and if any point in N has a countable fundamental system of neighborhoods, then \tilde{X} is locally path-connected.

Corollary 5.3. *If X is locally compact and locally path-connected, if \tilde{X} is a compactification of X by addition of a set N such that $D^{(n)}(N) = \phi$ for some $n \geq 0$, if \tilde{X} has only finitely many components, and if for each $w \in N$ there is a neighborhood U such that $\bar{U} - \{w\}$ is relatively σ -compact in $\tilde{X} - \{w\}$, then \tilde{X} is locally path-connected.*

Proof. Since the space X is locally connected, so is the open subspace $Y = \tilde{X} - \{w\}$. Observe that \tilde{X} is the Alexandroff compactification of Y by addition of w and that $\bar{U} - \{w\} \subseteq \bigcup_{n=1}^{\infty} K_n$, where the K_n 's are compact subsets of Y such that $K_n \subseteq K_{n+1}^{\circ}$ for each $n \geq 1$. Let $\mathcal{E}_n(U) = K_n \cup \mathcal{E}(U - K_n)$. Then $\overline{\mathcal{E}_n(U)}$ is compact subset of Y . Let $U_n = U - \overline{\mathcal{E}_n(U)}$. Since any neighborhood V of w in U contains one of the form $U - K$ where K is a compact subset of $\bar{U} - \{w\}$, and since $K \subseteq K_n$ for some n , so that $V \supseteq U_n$, it follows that (U_n) is a fundamental system of path-connected neighborhoods of w in \tilde{X} . \square

Corollary 5.4. *If X is locally path-connected and σ -compact, and if \tilde{X} is a compactification of X by addition of a countable set N such that $D^{(n)}(N) = \phi$ for some $n \geq 0$, then, provided it has only finitely many components, \tilde{X} is locally path-connected.*

Proof. Let $w \in N$. We may assume $N - \{w\} = \{w_n | n \geq 1\}$, where $w_n \neq w_m$ for $m \neq n$. Let (K_n) be a sequence of compact subset of X such that $X = \bigcup_{n=1}^{\infty} K_n$ and let $K'_n = K_n \cup \{w_n\}$. Then (K'_n) is a sequence of compact subsets of $\tilde{X} - \{w\}$ such that $\tilde{X} - \{w\} = \bigcup_{n=1}^{\infty} K'_n$. Thus, any neighborhood U of w is such that $\bar{U} - \{w\}$ is locally σ -compact in $\tilde{X} - \{w\}$. \square

Remark 5.2. Corollary 5.1 was proved in [5] under the additional assumption that any point $x \in X$ had a fundamental system of closed path-connected neighborhoods. This assumption thus proves to be superfluous.

Corollary 5.5. *Assume X is paracompact and locally path-connected, and let $(X_\alpha)_{\alpha \in I}$ be the family of its distinct connected components. Let \tilde{X} be a connected compactification of X by addition of a set N and assume \tilde{X} has only finitely many compact components. Then \tilde{X}*

is locally path-connected at any point $w \in N - D(N)$.

Proof. In fact, there is an open connected neighborhood U of w with $\bar{U} \cap N = \{w\}$. For each $\alpha \in I$, let $U_\alpha = U \cap \overline{X_\alpha}$ and $U'_\alpha = C_w(U_\alpha)$. Observe that $U'_\alpha = \phi$ if $w \notin \overline{X_\alpha}$, i.e., if $w \notin U_\alpha$. On the other hand, $U_\alpha = U'_\alpha$ if $w \in U_\alpha$. In fact, $U_\alpha = (U \cap X_\alpha) \cup \{w\}$, and any component C of $U \cap X_\alpha$ such that $w \notin \bar{C}$, being clopen in U , is a component of U . Hence w is in the closure of any component of $U \cap X_\alpha$, and therefore U_α is connected. Since $\bar{U}_\alpha - \{w\} = \bar{U} \cap X_\alpha$ is relatively σ -compact, it follows that $U'_\alpha = U_\alpha$ is also path-connected (Remark 5.1). Finally, since $U = \bigcup_{\alpha \in I} U'_\alpha$, and the latter set is path-connected, the assertion follows.

Theorem 5.2. *Let X be a locally path-connected and paracompact space and let \tilde{X} be a compactification of X by addition of a finite set N . Also assume that X has only finitely many compact components. Then \tilde{X} is locally path-connected.*

Proof. Since \tilde{X} has only finitely many components (Lemma 3.2), and since $D(N) = \phi$, so that $N - D(N) = N$, \tilde{X} is locally path-connected. \square

Remark 5.3. Theorem 5.2 is Theorem 4.2 in [5], proved without the assumption that points in X have fundamental systems of closed path-connected neighborhoods.

Remark 5.4. Let $X = \bigcup_{\alpha \in I} X_\alpha$ be a locally connected paracompact space, the X_α being the components of X . Let \tilde{X} be a compactification of X by addition of an infinite set N , so that $D(N) \neq \phi$, and assume \tilde{X} has only a finite number of components. The set $D(N)$ of limit points of N is closed in \tilde{X} . Hence, $Y := \tilde{X} - D(N) = X \cup (N - D(N))$ is an open subset of \tilde{X} , and therefore a locally compact subspace of \tilde{X} . Furthermore, Y is locally connected, as follows from Theorem 4.1. Thus, if $w \in N - D(N)$, the component $C_w(Y)$ of w in Y is of the form $C_w(Y) = N_w \cup \bigcup_{\alpha \in I_w} X_\alpha$, where $N_w \subseteq N - D(N)$, $I_w \subseteq I$ and each point $x \in N_w$ is in the closure of $\bigcup_{\alpha \in I_w} X_\alpha$ (if not, there would be an open neighborhood W of x such that $\bar{W} \cap C_w(Y) = W \cap C_w(Y) = \{x\}$, and $\{x\}$ would be clopen in $C_w(Y)$). As a matter of fact, x is in the closure of some X_α , $\alpha \in I_w$. To see this, let U be an open connected neighborhood of x such that $\bar{U} \cap N = \{x\}$. Since x is in the closure of $\bigcup_{\alpha \in I_w} X_\alpha$ then $U \cap X_\alpha \neq \phi$ for some $\alpha \in I_w$, and some component C_α of $U - \{x\}$ has to be contained in X_α . If $x \notin \bar{C}_\alpha$, then C_α would be clopen in U (it is

clopen in $U - \{x\}$), which is absurd since U is connected. Hence $x \in \overline{C_\alpha}$, and therefore $x \in \overline{X_\alpha}$. Also observe that since Y is locally connected, $C_w(Y)$ is open in Y , and hence in \tilde{X} , for all $w \in N - D(N)$. Now assume that I_w and N_w are countable. Then $\bigcup_{\alpha \in I_w} X_\alpha$ is σ -compact and therefore the union of a sequence (K_n) of compact subset of X . Let $N_w = \{x_n | n \geq 1\}$. Then $C_w(Y)$ is the union of the compact subsets $K_n \cup \{x_n\}$ of \tilde{X} and is also σ -compact. Thus, if I_w and N_w are countable for all $w \in N - D(N)$ then all the components of Y are σ -compact. Thus, $Y = X - D(N)$ is paracompact and locally path-connected (Corollary 5.5). Therefore, the following result holds.

Theorem 5.3. *Let X be paracompact and locally path-connected, and let \tilde{X} be a compactification of X by addition of an infinite set N having only finitely many limit points in \tilde{X} . Also assume that \tilde{X} has only finitely many components and that for each $w \in N - D(N)$ the sets I_w and N_w in Remark 5.4 are countable. Then, \tilde{X} is locally path-connected.*

A situation in which Theorem 5.3 can be applied is the following.

Example 5.1. Let $I = [-\pi, \pi]$ and for each $\theta \in I$ let L_θ be the subset of \mathbf{C} (the complex numbers) given by $L_\theta := \{re^{i\theta} | 0 < r < 1\}$, $re^{i\theta} = r(\cos \theta + i \sin \theta)$. Endow L_θ with the topology of subspace of \mathbf{C} , and let $X := \bigcup_{\theta \in I} L_\theta$ be given the sum topology ($A \subseteq X$ is open in X if and only if $A \cap L_\theta$ is open in L_θ for each θ . See [3], p.33). Then X is paracompact and not σ -compact. Let $N = \{e^{i\theta} | \theta \in I\} \cup \{0\}$. Also let $\tilde{L}_\theta := L_\theta \cup \{e^{i\theta}\}$ with its subspace topology and $Y := \bigcup_{\theta \in I} \tilde{L}_\theta$ with the sum topology. Finally let \tilde{X} be the Alexandroff compactification of Y by addition of $\{0\}$. Then \tilde{X} is a compactification of X by addition of N . Since X is paracompact and locally path-connected, and since N has 0 as its only limit point, then \tilde{X} is locally path-connected. Observe however that since Y is paracompact, this assertion also follows from Theorem 5.2. We are missing at the present time a simple more typical example of Theorem 5.3. Also observe that \tilde{X} is the unit disc in \mathbf{C} , but its topology is not that of a subspace of \mathbf{C} .

Remark 5.5. Theorem 5.3 most naturally applies when N is infinite countable, $D(N)$ is finite, and each point $w \in N - D(N)$ is in the closure of at most countably many of the X_α . This is trivially the case of the compactification $\tilde{X} = [0, 1]$ of $X = (0, 1) - M$ (with

their topologies of subspaces of \mathbf{R}), where $M = \{\frac{1}{n} | n = 1, 2, \dots\} \cup \{\frac{n}{n+1} | n = 1, 2, \dots\}$. In fact, \tilde{X} is obtained from X by addition of $N = M \cup \{0, 1\}$. Observe that in this case 0, 1 are not in the closure of any component of X , while all the other points in N are in the closure of just two such components. Of course, \tilde{X} is locally path-connected.

Theorem 5.4. *If X is a locally path-connected paracompact space, if \tilde{X} is a locally connected compactification of X by addition of a countable set N , and if each point $w \in N - D(N)$ is in the closure of at most countably many components of X , then $\tilde{X} - D(N)$ is paracompact and locally path-connected. Furthermore, if N has only finitely many limit points in \tilde{X} , then \tilde{X} is locally path-connected.*

Proof. We only need to prove that the sets I_w , $w \in N - D(N)$, in Remark 5.4, are countable. But this is trivial, as, with the notations in Remark 5.4, any X_α , $\alpha \in I_w$, must have some $x \in N_w$ in its closure in \tilde{X} (if this were not the case, X_α would be clopen in $C_w(Y)$), and N_w is obviously countable. \square

Remark 5.6. Under the assumptions of Theorem 5.4, if the number of components of X is not countable, some $w \in D(N)$ has to be in the closure of an uncountable number of X'_α s.

Theorem 5.4 can be further generalized.

Theorem 5.5. *Let X be locally path-connected and paracompact, and let \tilde{X} be a compactification of X by addition of a countable set N such that $D^{(n)}(N) = \emptyset$ for some $n \geq 1$. Also assume that each point in $N - D^{(n-1)}(N)$ is in the closure of at most countably many connected components and that \tilde{X} has finitely many connected components. Then, \tilde{X} is locally path-connected.*

Proof. For each $m \leq n - 1$ let

$$Y^{(m)} = X \cup \bigcup_{k=1}^m (D^{(k-1)}(N) - D^{(k)}(N)).$$

Since $D^{(k-1)}(N) - D^{(k)}(N) \subseteq D^{(0)}(N) - D^{(n-1)}(N) = N - D^{(n-1)}(N)$, it follows from Theorem 5.4 that $Y^{(1)}$ is paracompact, locally path-connected and, since any compact connected component of $Y^{(1)}$ is a connected component of \tilde{X} , $Y^{(1)}$ may have only finitely many com-

compact components. Assume the same holds for all $m <$

$n - 1$. Then

$$Y^{(n-1)} = Y^{(n-2)} \cup \left(D^{(n-2)}(N) - D^{(n-1)}(N) \right)$$

and we have to prove that any component of $Y^{(n-1)}$ is σ -compact. Let $w \in Y^{(n-1)}$. Then

$$C_w \left(Y^{(n-1)} \right) = N_w \cup \bigcup_{\alpha \in I_w} X_\alpha$$

where $N_w \subseteq D^{(n-2)}(N) - D^{(n-1)}(N) \subseteq N - D^{(n-1)}(N)$ is countable and each one of its points is in the closure of at most countably many of the X'_α 's. But, as in the discussion in Remark 5.4, any X_α , $\alpha \in I_w$, has a point $x \in N_w$ in its closure. Thus, I_w is countable and $C_w(Y^{(n-1)})$ is σ -compact. Hence, $Y^{(n-1)}$ is paracompact, locally path-connected with only finitely many compact components, and since $\tilde{X} = Y^{(n-1)} \cup D^{(n-1)}(N)$ and $D^{(n-1)}(N)$ is finite, it follows from Theorem 5.2 that \tilde{X} is path-connected. \square

Remark 5.7. The conditions we have given so far on N point in the direction of strong disconnectedness of this set. In fact, if $D^{(n)}(N) = \phi$, $w \in N$, and $C_w(N)$ is the connected component of w in N , also $D^{(n)}(C_w(N)) = \phi$, and we may assume that $D^{(n-1)}(C_w(N)) \neq \phi$. But, since $C_w(N)$ is connected, it has no isolated points. Thus $C_w(N) = D^{(1)}(C_w(N)) = D^{(2)}(C_w(N)) = \dots = D^{(n-1)}(C_w(N))$, and since this set is finite, it has to reduce to a point; i.e., N is *totally disconnected*. However, we have not succeeded in establishing local path-connectedness of \tilde{X} from total disconnectedness of N . We think the issue deserves further research.

Remark 5.8. Additional results on the local connectedness of compactifications can be found in [1] and [2]. The case of the Stone-C ech compactification of a completely regular (not necessarily locally compact) space poses a different kind of problem, as the space is not necessarily open in the compactification, but it is dealt with in [8] and [10]. It seems that little can be said about local path-connectedness in this case. The relationship between local connectedness and local path-connectedness within the frame of metric space is examined in detail in [9].

References

- [1] **D. Baboolal**, *On local connectedness*, Math. Japonicae 37 (1992), 865-869.
- [2] **D. Baboolal**, *Locally connected compactifications*, pre-print, to appear in Topology and its Applications.
- [3] **N. Bourbaki**, *Topologie Generale*, Chap. I, II, 3eme edition, Hermann, Paris, 1961.
- [4] **J. A. Charris y M. P. Duss an**, *Arco-conexión local en las compactificaciones de Alexandroff*, Revista Integración, Vol. 12 No 2(1994), 17-26.
- [5] **J. A. Charris y M. P. Dussán**, *Arco-conexión local en las compactaciones por finitos puntos*, Boletín de Matemáticas, Nueva Serie, Vol 1 No 2 (1994), 17-33.
- [6] **J. Dugungji**, *Topology*, Allyn and Bacon, Boston, Mass., 1969.
- [7] **J. de Groot and R. H. Mc. Dowell**, *Locally connected spaces and their compactifications*, Illinois J. Math. 11 (1967), 353-364.
- [8] **M. Henriksen and J. R. Isbell**, *Local connectedness and Stone-C ech compactifications*, Illinois J. Math. 1 (1957), 574-582.
- [9] **J. G. Hocking and G. S. Young**, *Topology*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1961.
- [10] **N. Kemoto**, *On the local connectedness of βX* , Bull. Soc. Roy. Sci. Liege 50 (1981), 185-194.
- [11] **L. Lavalle**, *The one point countable compactifications of curve spaces and arc-spaces*, Portugaliae Mathematica 24 (1965), 105-114.
- [12] **K. D. Magill, Jr.**, *N-point compactifications*, Amer. Math. Monthly 72 (1965), 1075-1081.
- [13] **J. Margalaef, E. Outerelo y J. L. Pinilla**, *Topolog a*, Vol. III, Alhambra, Madrid, 1980.

THE CHEMISTRY OF THE GENUS *STEVIA* (ASTERACEAE)

by

Luis R. Hernández†, César A.N. Catalán* & Pedro Joseph-Nathan‡

Resumen

Hernández, L. R., Catalán C. A.N. & Joseph-Nathan P.: La química del género *Stevia* (Asteraceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(83): 229-279, 1998. ISSN: 0370-3908.

Se describen brevemente las características morfológicas y los estudios citológicos realizados sobre el género *Stevia*. Teniendo en cuenta que la química del género podría ser útil para una más precisa delimitación de sus especies; para establecer relaciones entre química, morfología y números cromosómicos y para establecer relaciones con otros géneros de la tribu, se realiza una revisión de los compuestos aislados de 54 especies y 8 variedades estudiadas hasta 1997.

Palabras claves: *Stevia*, Asteraceae, Revisión química

Abstract

The morphological characteristic and the cytological studies made on the genus *Stevia* are described. Take into account that the chemistry of the genus might be useful for a more precise delimitation of their species; to establish relationships between chemistry, morphology and chromosomic number and to establish relationships with other genera of the tribe, the review of the isolated compounds from 54 species and 8 varieties already studied up 1997 is made.

Key Words: *Stevia*, Asteraceae, Chemical review

† Posdoctoral Fellow. Departamento de Química, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Apartado 14-740, México, D.F. 07000, México, on leave Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

* Research Member of the National Research Council of Argentina (CONICET). Instituto de Química Orgánica, Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, Universidad Nacional de Tucumán, Ayacucho 491, S.M. de Tucumán 4000, Argentina

‡ Emeritus Professor. Departamento de Química, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Apartado 14-740, México, D.F. 07000, México.

The genus *Stevia* belongs to the subtribe Ageratinae, tribe Eupatorieae, subfamily Asteroideae, family Asteraceae (King & Robinson, 1987; Bremer, 1994). It is an essentially Latin-American genus distributed from the southwestern part of the United States southward to central Argentina excepting the amazonian region. This genus is one of the most characteristic in the tribe Eupatorieae and has been delimited with a considerable precision in most of the classification systems since its original description.

Stevia has all its heads with five flowers, although there is no agreement if the monotypic genus *Metastevia* should be included in the genus *Stevia* (Grashoff, 1975; King & Robinson, 1987; Bremer, 1994).

Considering the large number of species (ca. 230) of the genus, there is a surprising uniformity of the basic floral structure, with similar characters repeated in different combinations, which difficult individual morphological characterizations. The hybridizations between several species are cited in the Grashoff thesis (Grashoff, 1972) and apomixis in association with modified pollen forms was found in many of them. Four different pollen states have been reported by King and Robinson (King & Robinson, 1967) in two species, and different chromosome types seem to be present in these and other species. Some fertile populations appear in most, if not all, of the commonly apomictic species.

Although the variations in the pollen are still not taxonomically useful, it seems that the modified pollen forms are restricted to species from Mexico and Central America and to a few populations in South America. There is no report of modified pollen forms in typically Southamerican species of *Stevia*.

The variations of the pappus from awn-like to squamose segments has been considered taxonomically useful in this genus and it has been proven that these variations are stable in each head in each species.

The six sections: Podocephalae, Corymbosae, Fruticosae, Multiaristatae, Eustevia and Breviaristatae have been recognized in *Stevia*. The first three sections contain the Northamerican species and the remaining three contain the Southamerican ones. The species with laxly arranged and long-pedicellated heads belong to the Podocephalae section; the species with heads in dense corymbose clusters, according to the woodiness, are placed in Corymbosae or Fruticosae, and the herbaceous species are in the Corymbosae section (Robinson, 1930; Grashoff, 1972).

During the study of the Southamerican species it was first recognized by Baker (Baker, 1876) and later by

Robinson (Robinson, 1932) that the Multiaristatae section groups all species with ten or more awns in the pappus. Furthermore, Robinson (Robinson, 1932) recognized the Eustevia section with short subequal squamellae or with some awns almost as long as the corolla length in the adelphocarps pappus, and the Breviaristatae section with an unequal pappus with the longest segments no longer than half the corolla length. The multiaristate condition is typical from South America, although erratically distributed between the species from this area. Multiaristate achenes are found in both species with lax inflorescens and with dense corymb head arrangements.

Stevia has been studied extensively from the cytological point of view and according to Grashoff (Grashoff, Bierner & Northington, 1972), the shrubby species have a gametic chromosome number $n=12$; herbaceous species, with laxly paniculated heads have $n=11$ without aneuploidy; most of the herbaceous species with heads in dense corymbs have $2n=34$ univalents with notable aneuploidy. From some species as *S. plummerae* var. *durangensis*, up $n=44$ were found (Keil & Stuessy, 1975).

As indicated by King (King, Kyhos, Powell, Raven & Robinson, 1976), the great variations and extensive apomixis allow to interpret $2n=33$ and $2n=34$ as triploid derivatives of $n=11$. However, there is a tendency to interpret $2n=34$, found in *Stevia*, as a possible $n=17$, in part due to the common existence of $n=17$ in other genera of the tribe. The lack of a close relationship between *Stevia* and any other genus with $n=17$, indicates that the chromosomic count should be interpreted on the basis of known counts $n=11$ and $n=12$. These numbers are common in the genus *Stevia* and related genera.

The chemistry of the genus *Stevia* is not uniform as can be see in the Tables. However, the main secondary metabolites are: sesquiterpene lactones, diterpenes and longipinanes.

According to the content of secondary metabolites, it is possible to establish subdivisions in the 60 taxa (54 species and 8 varieties) already studied. There are 17 taxa containing only sesquiterpene lactones; 6 taxa containing only longipinanes; 7 taxa containing only diterpenes; 7 taxa containing sesquiterpene lactones along with longipinanes; 6 taxa containing diterpenes along with longipinanes and only 4 taxa containing simultaneously sesquiterpene lactones, longipinanes and diterpenes. In the remaining 6 taxa: *S. cuzcoensis*, *S. galeopidifolia*, *S. microchaeta*, *S. nepetifolia*, *S. purpurea* and *S. soratensis*, non of these metabolites are reported, although further studies seem desirable for these species.

Most of the species, as can be seen in Table 13, produce sesquiterpene lactones included in the first and second degree of biogenetic complexity given by Herz (Herz, 1977). However, the species *S. achalensis*, *S. isomeca*, *S. ovata* (= *S. rhombifolia*), *S. polyphylla* and *S. yaconensis* var. *aristifera* produce sesquiterpene lactones of the third degree of biosynthetic complexity. Table 1 shows that only *trans*-fused lactones toward C-6, which is the common lactonization in this genus, or only *cis*-fused lactones toward C-8 were isolated from *Stevia*, although, as an exception, *S. sarensis* shows both types of lactonization (Zdero, Bohlmann, King & Robinson, 1988). Germacranolides and guaianolides are the most common lactone skeletons in *Stevia*. The oxidation is frequently on C-3, C-8 and C-14; in guaianolides, although oxidation on C-2 was observed with certain frequency. The C-8 substituents are always *b*-orientated, a fact that is a characteristic in *Stevia*. A new sesquiterpene lactone skeleton, jujuyensolide was isolated from *S. jujuyensis* (De Gutiérrez, Catalán, Díaz & Herz, 1992; Gil, Pacciaroni, Oberti, Díaz & Herz, 1992).

Labdane, *ent*-labdane and *ent*-kaurane derivatives are the diterpene compounds commonly found in *Stevia*. Many glycosidic *ent*-kauranes have been isolated including the powerful sweetener stevioside, which, from the commercial point of view is the most important compound of this genus (Vis & Fletcher, 1957; Mazzei & Kuc, 1968; Pezzuto, Dhammika Nanayakkara & Kinghorn, 1983). A new diterpene skeleton, stevisalicinone, was isolated from *S. salicifolia* (Bohlmann & Zdero, 1985).

Highly oxygenated longipinanes are the other frequently found secondary metabolites in *Stevia*. Positions C-7, C-8, C-9 and C-13 are the most commonly oxidized sites with hydroxy and/or acyloxy groups and C-1 generally is a keto function, which is α,β -unsaturated in many of the isolated compounds.

Longipinanes are generally found as a complex mixture of esters of difficult separation. This is the reason why during many years their structural elucidation remained elusive (Román, del Río, Hernández, Joseph-Nathan, Zabel & Watson, 1981; Joseph-Nathan, Cerda-García-Rojas, Castrejón, Román & Hernández, 1991). The stereochemistry of the acyloxy groups in the seven-membered ring was established by single crystal X-ray diffraction studies of rastevione acetate and by chemical transformation of rastevione (225) (Román, del Río, Hernández, Joseph-Nathan, Zabel & Watson, 1981). The absolute configuration of these compounds is the same than (+)-longipinene, as was deduced from circular dichroism curves comparison of 288 and its diacetate, with vulgarone B (Joseph-Nathan, Cerda, del Río, Román & Hernández, 1986).

Preparation techniques and natural longipinene ester characterizations (Joseph-Nathan, Cerda, Román & Hernández, 1989; Torres-Valencia, Cerda-García-Rojas & Joseph-Nathan, 1995; 1998; Torres-Valencia, J.M.; Cerda-García-Rojas, C.M.; Román, L.U.; Hernández, J.D. & Joseph-Nathan, P. 1998) as well as many rearrangements on the tricyclic skeleton of these compounds by acid (Cerda-García-Rojas, del Río, Joseph-Nathan, Román & Hernández, 1994; Román, Hernández, del Río & Bucio, 1991; Román, Hernández, Cerda-García-Rojas, Domínguez-López & Joseph-Nathan, 1992) or alkaline reactions (Joseph-Nathan & Cerda-García-Rojas, 1994; Román, Zepeda, Morales, Hernández, Cerda-García-Rojas & Joseph-Nathan, 1995; Román, Zepeda, Morales, Flores, Hernández, Cerda-García-Rojas & Joseph-Nathan, 1996) have been reported. A review of these reactions was recently published (Joseph-Nathan, 1997) and the longipinene photochemistry was recently reported (Joseph-Nathan, Meléndez-Rodríguez, Cerda-García-Rojas & Catalán, 1996).

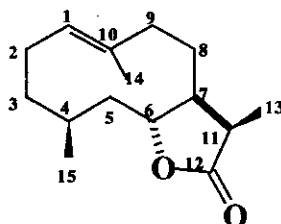
The present review compiles, in fifteen tables, all chemical information available to date, of the 54 species and 8 varieties already studied, as follows: Table 1, sesquiterpene lactones; Table 2, non-lactonized sesquiterpenes; Table 3, longipinanes; Table 4, diterpenes and derivatives; Table 5, chromane derivatives; Table 6, benzofuran derivatives; Table 7, triterpenes and sterols; Table 8, flavonoids and Table 9, miscellaneous compounds.

Table 10 summarizes abbreviations of the substituents. Table 11 shows the chemically studied species and the secondary metabolites distribution. Table 12 shows the reported compounds for the most characteristic metabolites as sesquiterpene lactones, longipinanes and cyclic diterpenes, as well as the studied parts of the plant material and its geographic location. Table 13 shows the incidence of the different sesquiterpene lactone skeletons in *Stevia*. Table 14 shows the incidence of the different diterpene skeletons found in this genus, and finally, in Table 15 the distribution of the main secondary metabolites of the genus is compared.

Acknowledgements: Work in Tucumán was supported by grants from Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET) and Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT). L.R.H. thanks Ministerio de Cultura y Educación de la Nación Argentina (Departamento de Cooperación Internacional) for a postdoctoral fellowship. Stimulating support of CoNaCyT (México) and CYTED (Spain) is acknowledged.

Table 1. Sesquiterpene Lactones isolated from *Stevia*

A - Germacrolides closed toward C-6



N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
1		4,5	3 β -OH 8 β -OAc	Bohlmann & Zdero, 1985
2	Carmeline	4,5	3 α -OAc 8 β -OAc	Salmón et al., 1975
3	Costunolide	4,5; 11,13		Zdero et al., 1988; 1991
4	Grazielic acid	4,5; 11,13	8 β -OTigl 10-CO ₂ H	Schmeda-Hirschmann et al., 1986
5		4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OAc 10-CO ₂ H	Schmeda-Hirschmann et al., 1986; Zdero et al., 1987
6		4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH 10-CO ₂ H	Zdero et al., 1987
7		4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH 14-OH	Zdero et al., 1987
8	Hanphyllin	4,5; 11,13	3 β -OH	Sigstad et al., 1991
9		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OSarac	de Gutiérrez et al., 1992; Gil et al., 1992
10		4,5; 11,13	8 β -OAc 10-CO ₂ H	Gil et al., 1987
11		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OTigl-4'-OAc-5'-OH	Bohlmann et al., 1986
12	Eupatoriopicrin	4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH-5'-OH	Zdero et al., 1988; Sosa et al., 1985; Hernández et al., 1996b; de Hernández et al., 1998
13	Deoxyeupatoriopicrin	4,5; 11,13	8 β -OTigl	Zdero et al., 1991
14		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997

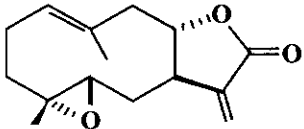
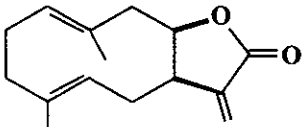
Table 1-A (cont.)

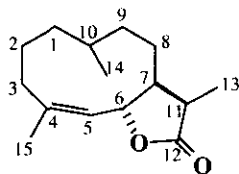
Nº	Common name	Double bonds	Substituents	References
15		4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH	de Hernández et al., 1998; Zdero et al., 1988
16		4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH-5'-OTigl	de Hernández et al., 1998; Zdero et al., 1988
17 or 18		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OSarac 14-OH 3 β -OH 8 β -OSarac 15-OH	de Gutiérrez et al., 1992
19		4,5; 11,13	3 β -OAc 8 β -OTigl-4'-OH 14-OH	Hernández et al.; 1994
20		4,5; 11,13	3 β -OAc 8 β -OTigl-4'-OAc 14-OH	Hernández et al.; 1994
21		4,5; 11,13	8 β -OH 14-OH	Hernández et al.; 1996b
22		4,5; 11,13	8 β -OTigl 14-OH	Hernández et al.; 1996b
23		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OTigl 14-OH	Hernández et al.; 1996b
24		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OTigl-4'-OH 14-OH	Hernández et al.; 1996b
25		4,5; 11,13	3 β -OAc 8 β -OTigl 14-OH	Hernández et al.; 1996b
26		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OH 14-OTigl	Hernández et al.; 1996b
27		4,5; 11,13	3 α -OH 8 β -OTigl 14-OH	Hernández et al.; 1996b
28		4,5; 11,13	3 β -OAc 8 β -OSar 14-OH	Hernández et al.; 1996a

Table 1-A (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
29		4,5; 11,13	3 β -OAc 8 β -OTigl 14-OH	Hernández et al.; 1996a
30		4,5; 11,13	8 β -OSar 14-OH	Hernández et al., 1996
31		4,5; 11,13	8 β -OSarac 14-OH	Hernández et al., 1996
32		4,5; 11,13	3 β -OH 8 β -OAng 9 β -OH	de Hernández et al., 1997
33	eupatolide	4,5; 11,13	8 β -OH	de Hernández et al., 1998
34		4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH-5'-OAc	de Hernández et al., 1998
35		4,5; 11,13	8 β -OTigl-4'-OAc-5'-OH	de Hernández et al., 1998
36	4- <i>epi</i> -tansanin	11,13	3-oxo	Sigstad et al., 1991
37		11,13	3-oxo 8 β -OSar	de Gutiérrez et al., 1992; Gil et al., 1992
38		11,13	3-oxo 8 β -OSarac	de Gutiérrez et al., 1992;

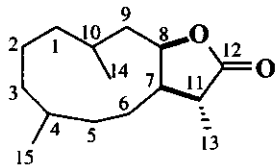
B - Germacrolides closed toward C-8

N°	Common name	References
	39 4a,5b-epoxy-8- <i>epi</i> -inuninolide	Calderón et al., 1987b
	40 -----	Zdero et al., 1988

C - Heliangolides closed toward C-6

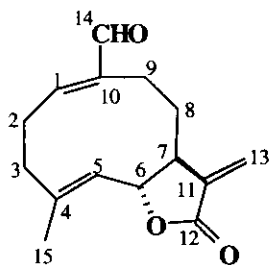
Nº	Common name	Double bonds	Substituents	References
41	11,13-Dihydroeucannabinolide	1,10	3 β -OAc 8 β -OTigL-4'-OH-5'-OH	Gómez et al., 1983
42	Eucannabinolide	1,10; 11,13	3 β -OAc 8 β -OTigL-4'-OH-5'-OH	Zdero et al., 1988; Calderón et al., 1987a
43		1,10; 11,13	3 β -OAc 8 β -OTigL-4'-OAc-5'-OH	Calderón et al., 1987a
44	Hiyodorilactone F	1,10; 11,13	3 β -OAc 8 β -OTigL-4'-OH-5'-OAc	Calderón et al., 1987a
45		1,10; 11,13	3 β -OAc	de Heluani et al., 1989
46		1,10; 11,13	3 α -OH 8 β -OSar	de Gutiérrez et al., 1992; Gil et al., 1992
47		1,10; 11,13	3 α -OAc 8 β -OSar	de Gutiérrez et al., 1992; Gil et al., 1992
48		1,10; 11,13	3 α -OAc 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997
49		1,10; 11,13	3-oxo 8 β -OSar	de Gutiérrez et al., 1992;
50		1,10; 11,13	3-oxo 8 β -OSarac	de Gutiérrez et al., 1992;
51		1,10; 11,13	3 β -OH 8 β -OTigl 14-OH	Hernández et al., 1996a
52		1,10; 11,13	3 β -OH 8 β -OSarac 14-OH	Hernández et al., 1996a
53		1,10; 11,13	3 α -OH 8 β -OSarac 14-OH	Hernández et al., 1996a
54	3-Acetylpulverolide	10,14; 11,13	1 β -OH 3 β -OAc	de Heluani et al., 1989
55		11,13	1 β ,10 α -epoxy 3 β -OAc	de Heluani et al., 1989

D - Heliangolides closed toward C-8



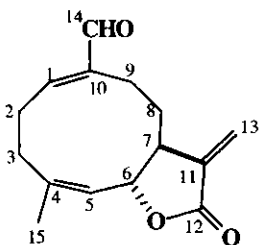
N°	Double bonds	Substituents	References
56	1,10	3-oxo Me-15 α	Gil et al., 1990
57	1,10, 4,5	3 β -OAc	Gil et al., 1990
58	4,5	1 α ,10 β -epoxy 3 β -OAc	Gil et al., 1990

E - Melampolides



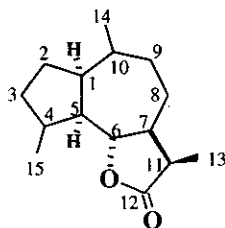
N°	Substituents	References
59	8b-OTigl-4'-OAc	Hernández et al., 1994; Schmeda-Hirschmann et al., 1986; Zdero et al., 1987
60	8b-OTigl-4'-OH	Zdero et al., 1987
61	8b-OSarac	Hernández et al., 1996a

F - cis, cis-germacranolides



N°	Substituents	References
62	8b-OTigl-4'OAc	Schmeda-Hirschmann et al., 1986
63	8b-OTigl-4'OH	Zdero et al., 1987

G - Guaianolides closed toward C-6



Nº	Common name	Double bonds	Substituents	References
64	Christinine I	1,10	2 β -OAc 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OAc	Calderón et al., 1989; Salmón et al., 1973
65	Christinine II	1,10	2 β -OMebu 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OTigl	Salmón et al., 1977
66	Christinine III	1,10	2 β -OMebu 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OAc	Calderón et al., 1989; Salmón et al., 1977
67		1,10	3 α ,4 α -epoxy 8 β -OAc	Bohlmann & Zdero 1985
68	Steviserrolide A	1,10; 2,3	4 β -OH 8 β -OAc	Calderón et al., 1989
69	Steviserrolide B	1,10; 2,3	4 α -OH 8 β -OAc	Calderón et al., 1989
70		1,10; 2,3; 7,11; 8,9	2-OH 3-OEpang 4 α -OH	de Hernández et al., 1997
71	Achillin	1,10; 3,4	2-oxo	de Heluani et al., 1989
72		1,10; 3,4	8 β -OAc	Bohlmann & Zdero 1985
73	Leukodin	1,10; 3,4	2-oxo Me-13 α	Martínez et al., 1988
74		1,10; 3,4; 7,11; 8,9	2-oxo	de Hernández et al., 1997
75		1,10; 3,4; 7,11; 8,9	2-oxo 3-OEpang	de Hernández et al., 1997
76		1,10; 3,4; 7,11; 8,9	2-oxo 3- Cl	de Hernández et al., 1997; Gil et al., 1989
77	Dehydroleukodin	1,10; 3,4; 11,13	2-oxo	de Heluani et al., 1989; Sigstad et al., 1991; Sosa et al., 1989

Table 1-G (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
78		1,10; 3,4; 11,13	8 β -OTig1-4'-OH-5'-OB	Zdero et al., 1991
79		1,10; 3,4; 11,13	2-oxo 9 α -OH	Sigstad et al., 1991
80		1,10; 3,4; 11,13	8 β -OH	Bohlmann et al., 1982
81		1,10; 3,4; 11,13	2-oxo 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997; Gil et al., 1989
82		1,10; 3,4; 11,13	8 β -OB	Bohlmann et al., 1982; Zdero et al., 1988
83		1,10; 3,4; 11,13	8 β -C-4' α -OH	Bohlmann et al., 1986
84		1,10; 3,4; 11,13	8 β -C-4' β -OH	Bohlmann et al., 1986
85		1,10; 3,4; 11,13	2-oxo 3-OH 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997
86		1,10; 3,4; 11,13	2-oxo 3-Cl 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997
87		1,10; 3,4; 11,13	2-oxo 8 β -OE pang	de Hernández et al., 1997
88		1,10; 3,4; 11,13	2-oxo 3-Cl 8 β -OE pang	de Hernández et al., 1997
89*		1,10; 11,13	2 α -OH 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997; Gil et al., 1989
90#		1,10; 11,13	2 β -OH 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OAng	Gil et al., 1989
91		1,10; 11,13	2 α -OAng 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997
92		1,10; 11,13	2 α -OAng 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OE pang	de Hernández et al., 1997
93		1,10; 11,13	2 α -OMebu 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OE pang	de Hernández et al., 1997
94		1,10; 11,13	3 α ,4 α -epoxy 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997
95		1,10; 11,13	2 α -OH 3 β -OH 4 α -OH 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997

Table 1-G (cont.)

Nº	Common name	Double bonds	Substituents	References
96	Ludartin	1,10; 11,13	3 α ,4 α -epoxy	Sosa et al., 1989
97†		3,4; 10,14	8 β -OH Me-13 α	Bohlmann et al., 1979; 1986
98		3,4; 10,14; 11,13	2-oxo	de Heluani et al., 1989
99		3,4; 10,14; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH-5'-OA	Zdero et al., 1991
100		3,4; 10,14; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH-5'-OB	Zdero et al., 1991
101		3,4; 10,14; 11,13	8 β -OTigl-4'-OAc-5'-OH	Zdero et al., 1991
102		3,4; 10,14; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH-5'-OAc	Zdero et al., 1991
103		3,4; 10,14; 11,13	2-oxo 8 β -OH	Zdero et al., 1988
104		3,4; 10,14; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH	Bohlmann et al., 1986 Hernández et al., 1995; Zdero et al., 1991
105	Eupahakonenin B	3,4; 10,14; 11,13	8 β -OB	Bohlmann et al., 1979; 1986;† de Hernández et al., 1998; Hernández et al., 1995; Sosa et al., 1984; 1985; Zdero et al., 1988; 1991
106		3,4; 10,14; 11,13	8 β -C-4' α -OH	Bohlmann et al., 1986; Zdero et al., 1991
107		3,4; 10,14; 11,13	8 β -C-4' β -OH	Bohlmann et al., 1986; Zdero et al., 1991
108	Ligustrin	3,4; 10,14; 11,13	8 β -OH	Bohlmann et al., 1979; Hernández et al., 1995
109		3,4; 10,14; 11,13	8 β -O-C-4'-oxo	Hernández et al., 1995
110		3,4; 10,14; 11,13	8 β -O-D	Hernández et al., 1995
111		3,4; 10,14; 11,13	2 α -OH 8 β -OAng	de Hernández et al., 1997
112		3,4; 10,14; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH-5'-OTigl	de Hernández et al., 1998
113	Breviarolide	3,4; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH 10 β -CH ₂ OH	Hernández et al., 1994; Oberti et al., 1986
114		3,4; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH 10 β -CH ₂ OAc	Hernández et al., 1994
115		3,4; 11,13	8 β -OTigl-4'-OAc 10 β -CH ₂ OH	Hernández et al., 1994
116		3,4; 11,13	8 β -OTigl 10 β -CH ₂ OH	Hernández et al., 1994
117	10- <i>epi</i> -breviarolide	3,4; 11,13	8 β -OTigl-4'-OH 10 α -CH ₂ OH	Hernández et al., 1994

Table 1-G (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
118		3,4; 11,13	8 β -OSarac 10 β -CH ₂ OH	Hernández et al., 1996a
119		3,4; 11,13	8 β -OSar 10 β -CH ₂ OH	Hernández et al., 1996a
120		3,4; 11,13	8 β -OSarac 10 α -CH ₂ OH	Hernández et al., 1996a
121		3,4; 11,13	8 β -OSar 10 α -CH ₂ OH	Hernández et al., 1996a
122		3,4; 11,13	2-oxo 10 β -OH	Sigstad et al., 1991
123		3,4; 11,13	2-oxo 8 β -OEpag 10 β -OH	de Hernández et al., 1997
124	10- <i>epi</i> -8-deoxi- cumambrin B	3,4; 11,13	10 β -OH	Sigstad et al., 1991; Salmón et al., 1977
125		10,14	3 α ,4 α -epoxy	Sigstad et al., 1991
126		10,14	3 β -OH 4 α -OH	Sigstad et al., 1991
127		10,14	3 α -OH 4 β -OH	Sigstad et al., 1991
128		10,14; 11,13	3 β -OH 4 α -OH	Sigstad et al., 1991
129		10,14; 11,13	3 α -OH 4 β -OH	Sigstad et al., 1991
130	Estafiatin	10,14; 11,13	3 α ,4 α -epoxy	Bohlmann et al., 1979; de Heluani et al., 1989; Sigstad et al., 1991; Zdero et al., 1988
131		11,13	3 α ,4 α -epoxy 10 α ,14-epoxy	de Heluani et al., 1989
132		11,13	3 α ,4 α -epoxy 10 β ,14-epoxy	de Heluani et al., 1989

Table 1-G (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
133		11,13	3 β ,4 β -epoxy 10 β -OH	Sigstad et al., 1991
134		11,13	1-OH 2-oxo 3 α ,4 α -epoxy 8 β -OE pang 10-OH	de Hernández et al., 1997

r: Isolated also from roots.

* Structure revised according to de Hernández, Hernández, Catalán, Gedris, & Herz, 1997.

Tentative structure according to de Hernández, Hernández, Catalán, Gedris, & Herz, 1997..

† Structure revised according to Bohlmann, Zdero, King, & Robinson, 1986.

A = Sar

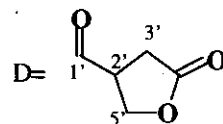
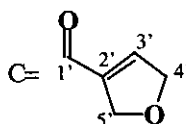
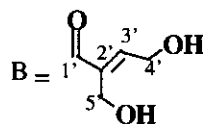
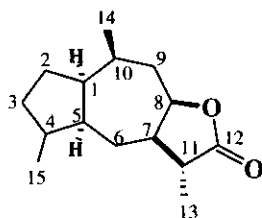
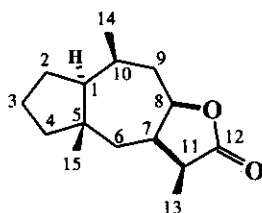


Table 1-H - Guaianolides closed toward C-8

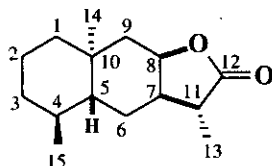


N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
135		1,10; 2,3; 4,5		Zdero et al., 1988
136		1,10; 3,4		Zdero et al., 1988
137		3,4; 10,14	15- OAc	Gil et al., 1990; Zdero et al., 1988
138		3,4; 10,14	15- OH	Zdero et al., 1988
139		3,4; 11,13	5 α -OH	Zdero et al., 1988
140		4,5		Zdero et al., 1988
141		4,5	3-oxo	Bohlmann et al., 1986; Oberti et al., 1983; Zdero et al., 1988
142		4,5	3 β -OH	Zdero et al., 1988
143		4,5	1 α -OH 3-oxo	Bohlmann et al., 1986
144		4,5	3-oxo 7 α -OH	Bohlmann et al., 1986
145		4,5; 11,13		Zdero et al., 1988
146		4,5; 11,13	3 α -OH	Zdero et al., 1988
147		4,5; 11,13	3 α -OMe	Zdero et al., 1988
148		4,5; 11,13	3 β -OH	Zdero et al., 1988
149		4,5; 11,13	3 β -OMe	Zdero et al., 1988
150		4,5; 11,13	3 β -OAc	Zdero et al., 1988
151	Achalensolide	4,5; 11,13	3-oxo	Bohlmann et al., 1986; Oberti et al., 1983; Zdero et al., 1988
152		4,15; 11,13; 10,14		Bohlmann et al., 1986
153*	Inuviscolide	11,13; 10,14	4 α -OH 8 α -12- δ lido	Calderón et al., 1987b
154	4-Acetyl-8- <i>epi</i> - inuviscolide	11,13; 10,14	4 α -OAc	Calderón et al., 1987b

* Probably an artifact produced by Silica gel catalyzed cyclization of 39 (Calderón, Quijano, Gómez-Garibay, Sánchez, Ríos, & Fronczek, 1987b).

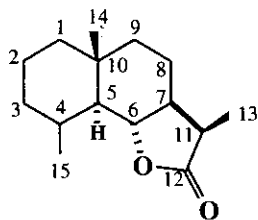
Table 1-I - Pseudoguaianolides

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
155			2 α -OH 4-oxo	Bohlmann et al., 1985
156			2 α -OAc 4-oxo	Bohlmann et al., 1985
157		2,3	4-oxo	Bohlmann et al., 1985
158	Stevin	11,13	2 β -OAc 4 β -OH	Ríos et al., 1967

Table 1-J - Eudesmanolides closed toward C-8

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
159			3 α -OH Me-14 β H-5 α	Bohlmann et al., 1986
160		1,2; 4,15; 11,13		Bohlmann et al., 1986
161		1,2; 4,15; 11,13	3-oxo	Bohlmann et al., 1986
162		4,5	Me-14 β H-5 α	Zdero et al., 1988
163		4,5; 11,13	3-oxo Me-14 β	Bohlmann et al., 1986
164	Isoalantolactone	4,15	Me-14 β H-5 α	Zdero et al., 1988
165		4,15; 11,13		Zdero et al., 1988
166		4,15; 11,13	1 α -OH	Bohlmann et al., 1986
167	Isotelekin	4,15; 11,13	3 α -OH Me-14 β H-5 α	Bohlmann et al., 1986

Table 1-K - Eudesmanolides closed toward C-6



N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
168		3,4	1 β -OH 8 β -OAc	Martínez-Vazquez et al., 1990
169	Santamarin	3,4; 11,13	1 β -OH	Zdero et al., 1991
170		3,4; 11,13	1 β -OH 8 β -OTigl-4'-OH	Hernández et al., 1994; Hernández et al., 1996b
171		3,4; 11,13	1 β -OH 8 β -OTigl-4'-OH-5'-OH	de Hernández et al., 1998
172		4,5	1 β -OH 8 β -OAc	Martínez-Vazquez et al., 1990
173		4,5; 11,13	1 β -OH 8 β -OTigl-4'-OH-5'-OH	de Hernández et al., 1998
174		4,15	1 β -OH 8 β -OAc	Martínez-Vazquez et al., 1990
175	Reynosin	4,15; 11,13	1 β -OH	Zdero et al., 1991
176		4,15; 11,13	1 β -OH 8 β -OTigl-4'-OH	Hernández et al., 1996b
177		4,15; 11,13	1 β -OH 8 β -OA	Hernández et al., 1996b

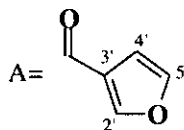
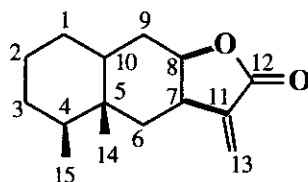
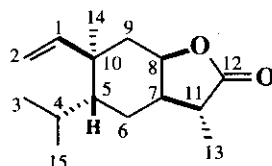


Table 1-L - Eremophilanolides

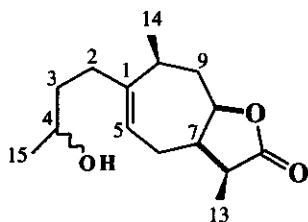


N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
178		1,10		Bohlmann et al., 1986; Zdero et al., 1988
179		1,10	2 α -OH	Bohlmann et al., 1986
180		1,10	3 β -OH	Bohlmann et al., 1986
181		1,10	3-oxo	Bohlmann et al., 1986
182		9,10		Bohlmann et al., 1986; Zdero et al., 1988
183		9,10	3 β -OH	Bohlmann et al., 1986
184		9,10	3-oxo	Bohlmann et al., 1986

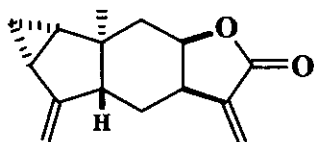
Table 1-M - Elemanolides



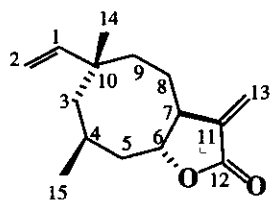
N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
185	Callitrin	3,4		Gil et al., 1990
186		3,4	15-OH	Bohlmann et al., 1986
187		3,4; 11,13		Bohlmann et al., 1986
188		3,4; 11,13	15-OH	Bohlmann et al., 1986
189		4,15; 11,13		Zdero et al., 1988
190		4,15; 11,13	(5,10- <i>epi</i>)	Zdero et al., 1988

Table 1-N - Xanthanolides

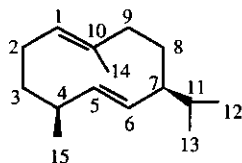
N°	References
191	Bohlmann et al., 1985

Table 1-O - Onoseriolides

N°	References
192	Bohlmann et al., 1986

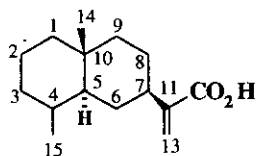
Table 1-P - Jujuyensolides

N°	Substituents	Reference
193	3-oxo 8b-OSar	de Gutiérrez et al., 1992; Gil et al., 1992
194	3-oxo 8b-OSarac	de Gutiérrez et al., 1992

Table 2 - Non-lactonized sesquiterpenes**A- Germacranes**

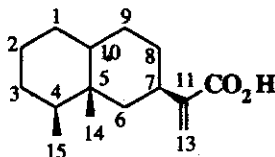
N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
195			4a-OH	Bohlmann et al., 1977 ^a
196			4a-OH 15-OAc	Bohlmann et al., 1982 ^r
197	Germacrene D	4,15		Bohlmann & Zdero, 1985; ^a Bohlmann et al., 1976; ^a 1977; ^{a,r} 1979; ^a 1982; ^{a,r} 1986; ^{a,r} Schmeda-Hirschmann et al., 1986; ^a Zdero et al., 1987; ^{a,r} 1988; ^{a,r} 1991 ^a

a: Isolated from aerial parts; r: Isolated from roots.

B- Eudesmanes

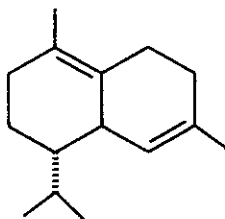
N°	Double bonds	Substituents	References
198	3,4		Bohlmann et al., 1986; Zdero et al., 1991
199	3,4	2 α -OH	Bohlmann et al., 1986
200	3,4	2-oxo	Bohlmann et al., 1986
201	4,5		Bohlmann et al., 1986; Zdero et al., 1991
202	4,5	3 β -OH	Bohlmann et al., 1986
203	4,5	3-oxo	Bohlmann et al., 1986
204	4,15		Zdero et al., 1988; 1991

C- Eremophilanes



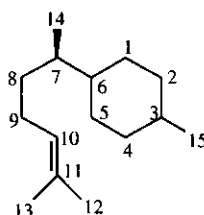
N°	Double bonds	Substituents	References
205	1,10		Zdero et al., 1988
206	1,10	2-oxo	Bohlmann et al., 1986
207	9,10		Bohlmann et al., 1986; Zdero et al., 1988
208	9,10	2 β -OH	Bohlmann et al., 1986
209	9,10	3 β -OH	Bohlmann et al., 1986
210	9,10	3-oxo	Bohlmann et al., 1986

D- Cadinanes



N°	Common name	References
211	d-cadinene	Fujita et al., 1977

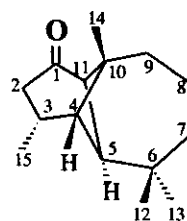
E- Bisabolene derivatives



N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
212			1-oxo 2 β ,3 β -epoxy 15-OAng	Schmeda-Hirschmann et al., 1986 ^r
213			1-oxo 2 β ,3 β -epoxy	Bohlmann et al., 1976; ^{a,r} Bohlmann & Zdero 1985 ^a
214		2,3	1-oxo 15-OAc	Bohlmann et al., 1977 ^r
215		2,3	1-oxo 15-OH	Bohlmann et al., 1977 ^r
216		2,3	1-oxo 15-OAng	Schmeda-Hirschmann et al., 1986 ^r Bohlmann et al., 1982; ^r
217		2,3	1 α -OH 15-OAng	Schmeda-Hirschmann et al., 1986 ^r
218		2,3	1 α -OAc 3-CO ₂ H	Calderón et al., 1984 ^a
219		2,3	1 α -OH 3-CO ₂ H	Calderón et al., 1984 ^a
220	1-bisabolone	2,3	1-oxo	Bohlmann et al., 1976; ^{a,r} 1977; ^{a,r} Zdero et al., 1988 ^a
221	bisabolene	2,3		Zdero et al., 1991 ^a
222	bisabolol	3,4	7 α -OH	Bohlmann et al., 1986 ^r

a: Isolated from aerial parts; r: Isolated from roots.

Table 3 - Longipinanes



N°	Double bonds	Substituents	References
223		7 β -OAng 9 α -OAng	Gil et al., 1987; ^a Zdero et al., 1987 ^r
224		7 β -OAng 9 α -OAc	Zdero et al., 1987 ^r
225		7 β -OAng 8 α -OAng 9 α -OH	Amaro et al., 1988; ^a Bohlmann & Zdero 1985; ^a Román et al., 1981; ^r 1993; ^r Sánchez-Arreola et al., 1995 ^r
226		7 β -OTigl 8 α -OTigl 9 α -OH	Amaro et al., 1988 ^a
227		7 β -OAng 9 α -OAng 13-OAng	Gil et al., 1987; ^a Zdero et al., 1988 ^{a,r}
228		7 β -OAng 9 α -OAng 13-OAc	Zdero et al., 1988 ^{a,r}
229		7 β -OAng 9 α -OAc 13-OAng	Zdero et al., 1988 ^a
230		7 β -OAng 13-OAc	Zdero et al., 1988 ^a
231		7 β -OAng 9 α -OAng 13-OH	Zdero et al., 1988 ^{a,r}
232#		7 β -OAc 9 α -OAng	Bohlmann et al., 1979 ^{a,r}
233#		7 β -OAng 9 α -OEpang	Bohlmann et al., 1979 ^{a,r}
234		7 β -OAng 8 α -OAng 9 α -OAng	Bohlmann & Zdero, 1985 ^r
235		7 β -OAng 8 α -OAng	Sánchez-Arreola et al., 1995 ^r

Table 3 (cont.)

Nº	Double bonds	Substituents	References
236		7β-OAng 8α-OAng 13-OAng	Bohlmann & Zdero, 1985 ^f
237		9α-OAng 13-OAng	Román et al., 1995 ^f
238		9α-OAng 13-OTigl	Román et al., 1995 ^f
239		7β-OAng 8α-OH 9α-OAng	Sánchez-Arreola et al., 1995 ^f
240		7β-OH 8α-OAng 9α-OAng	Sánchez-Arreola et al., 1995 ^f
241		7β-OAng 8α-OAc 9α-OAng	Sánchez-Arreola et al., 1995 ^f
242	2,3		Bohlmann & Zdero, 1985 ^a
243#	2,3	7β-OAng 9α-OAng	Bohlmann & Zdero, 1985; ^{af} Bohlmann et al., 1977; ^f 1979; ^f 1986; ^f Gil et al., 1987; ^a Guerra-Ramírez et al., 1998; ^f Joseph-Nathan et al., 1991; ^f Román et al., 1995; ^f Zdero et al., 1987 ^f
244	2,3	7β-OAng 13-OAng	Bohlmann & Zdero, 1985; ^f Bohlmann et al., 1986; ^{af} Gil et al., 1987; ^f Zdero et al., 1991 ^a
245	2,3	7β-OAng 9α-OAng 13-OAng	Gil et al., 1987; ^f Zdero et al., 1991 ^a
246	2,3	7β-OAng 9α-OAc	Amaro et al., 1988; ^a Bohlmann & Zdero, 1985; ^a Guerra-Ramírez et al., 1998 ^f
247#	2,3	7β-OAng 8α-OAng 9α-OH	Bohlmann et al., 1977; ^f Amaro et al., 1988; ^a Sánchez-Arreola et al., 1995 ^f
248	2,3	7β-OAc 9α-OAng 13-OAng	Cerda-García-Rojas et al., 1993 ^f
249	2,3	7β-OAc 9α-OSen 13-OAng	Cerda-García-Rojas et al., 1993 ^f
250	2,3	7β-OAc 13-OAng	Cerda-García-Rojas et al., 1993 ^f
251†	2,3	7β-OAng 9α-OSen	Bohlmann & Zdero, 1985; ^a Bohlmann et al., 1977; ^f Guerra-Ramírez et al., 1998; ^f Joseph-Nathan et al., 1991; ^f Román et al., 1989 ^f

Table 3 (cont.)

Nº	Double bonds	Substituent	References
252	2,3	7 β -OTigl 9 α -OSen	Guerra-Ramírez et al., 1998; ^f Joseph-Nathan et al., 1991 ^f
253#	2,3	7 β -OTigl 9 α -OAng	Bohlmann et al., 1976; ^f 1977; ^f Guerra-Ramírez et al., 1998; ^f Joseph-Nathan et al., 1991 ^f
254	2,3	7 β -OTigl 9 α -OIsoval	Guerra-Ramírez et al., 1998 ^f
255#	2,3	7 β -OSen 9 α -OSen	Bohlmann et al., 1977; ^f Guerra-Ramírez et al., 1998; ^f Joseph-Nathan et al., 1991 ^f
256	2,3	7 β -OSen 9 α -OAng	Guerra-Ramírez et al., 1998; ^f Joseph-Nathan et al., 1991 ^f
257	2,3	7 β -OH 13-OH	Bohlmann et al., 1986 ^f
258	2,3	1-H2	Bohlmann et al., 1979 ^{ar}
259#	2,3	7 β -OAng 9 α -OH	Bohlmann et al., 1977; ^f 1979 ^f
260	2,3	7 β -OMeacr	Bohlmann & Zdero, 1985 ^a
261	2,3	7 β -OAng 9 α -OIsoval	Bohlmann & Zdero, 1985; ^{ar} Guerra-Ramírez et al., 1998 ^f
262	2,3	7 β -OIsobu	Bohlmann & Zdero, 1985 ^a
263	2,3	7 β -OAng	Bohlmann & Zdero, 1985; ^{ar} Bohlmann et al., 1986; ^f Sánchez-Arreola et al., 1995 ^f
264	2,3	7 β -OMeacr 9 α -OIsobu	Bohlmann & Zdero, 1985 ^a
265§#	2,3	7 β -OEpang 9 α -OAng	Bohlmann & Zdero, 1985; ^{ar} Bohlmann et al., 1979 ^f
266§	2,3	7 β -OEpang* 9 α -OAng	Bohlmann & Zdero, 1985 ^{a,f}
267#	2,3	7 β -OAng 8 α -OAng	Bohlmann & Zdero, 1985; ^f Bohlmann et al., 1977; ^f Sánchez-Arreola et al., 1995; ^f Román et al., 1993 ^f
268	2,3	7 β -OAng 8 α -OAng 9 α -OAng	Bohlmann & Zdero, 1985 ^f
269	2,3	7 β -OAng 8 α -OAng 13-OAng	Bohlmann & Zdero, 1985 ^f
270#	2,3	7 β -OSen 9 α -OH	Bohlmann et al., 1977 ^f
271#	2,3	7 β -OAng 9 α -OTigl	Bohlmann et al., 1976 ^f ; 1977 ^f ; Guerra-Ramírez et al., 1998 ^f

Table 3 (cont.)

N°	Double bonds	Substituents	References
272#	2,3	7 β -OSen 9 α -OTigl	Bohlmann et al., 1977; ^r Guerra-Ramírez et al., 1998 ^r
273	2,3	7 β -OSen 9 α -Olsoval	Guerra-Ramírez et al., 1998 ^r
274#	2,3	7 β -OSen 9 α -OMeacr	Bohlmann et al., 1977 ^r
275#	2,3	7 β -OTigl 9 α -OMeacr	Bohlmann et al., 1977 ^r
276#	2,3	7 β -OH	Bohlmann et al., 1977 ^r
277#	2,3	7 β -OAng 8 α -OMebu	Bohlmann et al., 1977 ^r
278#	2,3	7 β -OAng 8 α -OMebu 9 α -OH	Bohlmann et al., 1977 ^r
279†	2,3	9 α -OAng 13-OAng	Bohlmann et al., 1977 ^r
280#	2,3	7 β -OMeacr 9 α -OMeacr	Bohlmann & Zdero, 1985; ^a Bohlmann et al., 1977; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r
281#	2,3	7 β -OMeacr 9 α -OTigl	Bohlmann et al., 1977; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r
282	2,3	7 β -OMeacr 9 α -OSen	Guerra-Ramírez et al., 1998; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r
283#	2,3	7 β -OMeacr 9 α -OAng	Bohlmann & Zdero 1985; ^a Bohlmann et al., 1977; ^r 1979; ^r Guerra-Ramírez et al., 1998; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r
284#	2,3	7 β -OAng 9 α -OMeacr	Bohlmann & Zdero 1985; ^a Bohlmann et al., 1977; ^r 1979; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r
285#	2,3	7 β -OTigl 9 α -OTigl	Bohlmann et al., 1977; ^r Guerra-Ramírez et al., 1998; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r
286	2,3	7 β -OAng 8 α -OAc 9 α -OAng	Sánchez-Arreola et al., 1995 ^r
287	2,3	7 β -OAng 8 α -Olsobu	Sánchez-Arreola et al., 1995 ^r
288‡	2,3	7 β -OH 9 α -OH	Román et al., 1985 ^r
289	3,15	1-H2 2-oxo	Bohlmann & Zdero, 1985 ^a

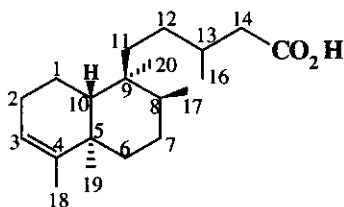
a: Isolated from aerial parts; r: Isolated from roots.

§ The absolute configuration of the epoxyangelates side chain was determined by Torres-Valencia, Cerda-García-Rojas, Román, Hernández, & Joseph-Nathan, 1998

Structure revised (Bohlmann & Zdero, 1985; Román, del Río, Hernández, Joseph-Nathan, Zabel, & Watson, 1981; Bohlmann, Ates, Jakupovic, King, & Robinson, 1982).

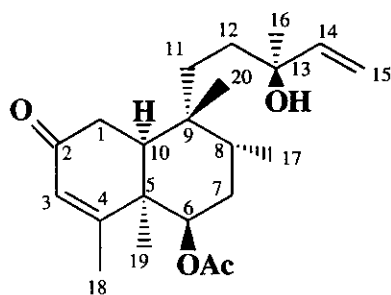
† Structure revised according to Bohlmann & Zdero, 1985.

‡ Obtained by saponification of a mixture of esters.

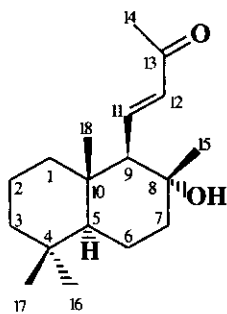
Table 4 - Diterpenes and derivatives**A- *trans*-clerodanes**

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
290	Stephalic acid	13,14(Z)	20-OH	Angeles et al., 1982
291*		13,14 (Z)	2β-OAc	Bohlmann et al., 1982
292*		13,14 (Z)	Me-17α	Bohlmann et al., 1982

* Me-17 stereochemistry should be revised based on 290 which was determined by X-ray analysis (Angeles, Foltig, Grieco, Huffman, Miranda & Salmón, 1982).

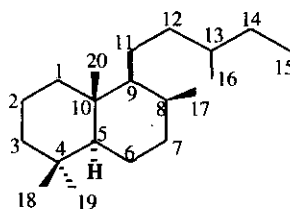
B- *cis*-clerodanes

N°	Reference
293	Bohlmann & Zdero 1985

C- Bisnorditerpenes

N°	Common name	Substituents	References
294	Sterebin A	6α-OH	Oshima et al., 1986
295	Sterebin B	7β-OH	Oshima et al., 1986
296	Sterebin C	6α-OAc	Oshima et al., 1986
297	Sterebin D	7β-OAc	Oshima et al., 1986

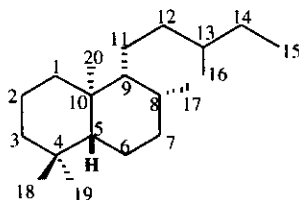
D- Labdanes



Nº	Common name	Double bonds	Substituents	References
298	Labdanolic acid		8 α -OH 14-CO ₂ H	Bohlmann & Zdero 1985
299		7,8	2 β -OH 15-OH	Zdero et al., 1988
300		7,8	3-oxo 15-OH	Zdero et al., 1988
301	Catavinic acid	7,8	14-CO ₂ H	Bohlmann et al., 1976
302		8,17; 13,14(Z)	2 α -OH 7 α -OH 14-CO ₂ H	de Gutiérrez et al., 1992
303	Sterebin E	11,12(E); 13,14(E)	6 α -OH 7 β -OH 8 α -OH 15-OH	Oshima et al., 1988
304	Sterebin F	11,12(E); 13,14(Z)	6 α -OH 7 β -OH 8 α -OH 15-OH	Oshima et al., 1988
305	Sterebin G	11,12(E); 13,16	6 α -OH 7 β -OH 8 α -OH 14-OH 15-OH	Oshima et al., 1988
306	Sterebin H	C-14 epimer of Sterebin G		Oshima et al., 1988
307		12,13; 14,15	7 β -OAc 8 α -OH	Bohlmann & Zdero 1985
308		12,13; 14,15	6 α -OH 7 β -OAc 8 α -OH	Bohlmann & Zdero 1985
309		12,13 (Z); 14,15	7 β -OAc 8 α -OH	Bohlmann & Zdero 1985
310		12,13 (Z); 14,15	6 α -OH 7 β -OAc 8 α -OH	Bohlmann & Zdero 1985

Table 4-D (cont.)

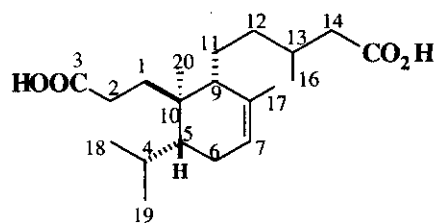
N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
309		12,13 (Z); 14,15	7 β -OAc 8 α -OH	Bohlmann & Zdero 1985
310		12,13 (Z); 14,15	6 α -OH 7 β -OAc 8 α -OH	Bohlmann & Zdero 1985
311	6 α -Angeloyloxy-nidorellol	12,13; 14,15	6 α -OAng 7 β -OH 8 α -OH	Quijano et al., 1982; Zdero et al., 1988
312	Abienol	12,13; 14,15	8 α -OH	Zdero et al., 1988
313		12,13; 14,15	7 β -OH 8 α -OH	Zdero et al., 1988
314		12,13; 14,15	6 α -OH 7 β -OH 8 α -OH	Zdero et al., 1988
315	Labdenolic acid	13,14(Z)	8 α -OH 14-CO ₂ H	Amaro-Luis & Hung 1988; Bohlmann & Zdero 1985; Zdero et al., 1988
316	6 α -Angeloyloxy-sclareol	14,15	6 α -OAng 8 α -OH 13 β -OH	Quijano et al., 1982
317	Jhanol	14,15	8,13 β -oxide 19-OH	Sholichin et al., 1980
318	Manoyl oxide	14,15	8 α ,13 α -oxide	Bohlmann & Zdero 1985
319	<i>epi</i> -Manoyl oxide	14,15	8 α ,13 β -oxide	Bohlmann & Zdero 1985

E-*ent*-Labdanes

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
320		7,8	3-oxo 14-CO ₂ H	Escamilla & Ortega 1991
321		7,8; 13,14	2 β -OH 15-OH	Zdero et al., 1991
322		7,8; 13,14	2 β -OH 15-OAc	Zdero et al., 1991
323		7,8; 13,16; 14,15	4 β -CO ₂ H 15,16-oxide	Salmón et al., 1983
324	Salicifoliol	7,8; 14,15	2-OH 13-OH	Ortega et al., 1980

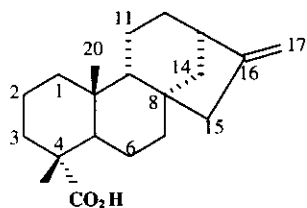
Table 4-D (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
325		8,17; 12,13; 14,15	7 β -OH 12,15-oxide	Bohlmann et al., 1982
326		12,13(Z); 14,15	6 β -OH 7 α -OAc	Zdero et al., 1987
327		12,13(Z); 14,15	6 β -OAc 7 α -OH	Zdero et al., 1987
328		12,13(Z); 14,15	6 β -OH 7 α -OH	Zdero et al., 1987
329		12,13(Z); 14,15	7 α -OH	Zdero et al., 1987
330	Austroinulin	12,13(Z); 14,15	6 β -OH 7 α -OH 8-OH	Sholichin et al., 1980
331	Stevinsol (6-O-Acetylaustroinulin)	12,13(Z); 14,15	6 β -OAc 7 α -OH 8-OH	Calderón et al., 1984 Ortega et al., 1980 Sholichin et al., 1980
332		12,13; 14,15	6 β -OH 7 α -OH	Zdero et al., 1987
333		12,13; 14,15	7 α -OH	Zdero et al., 1987

F- Seco *ent*-labdanes

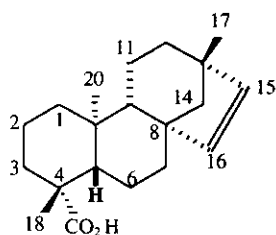
N°	Double bonds	References
334		Escamilla & Ortega, 1991
335	13,14(Z)	Escamilla & Ortega, 1991

G- Kauranes

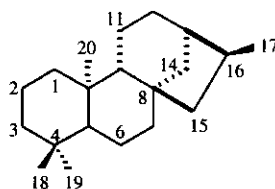


N°	Common name	Substituents	References
336	Kaurenic acid		Bohlmann et al., 1979; Quijano et al., 1982
337	Angeloylgrandifloric acid	15a-OAng	Quijano et al., 1982

H- Beyerene derivatives



N°	Common name	Substituents	References
338	Beyerenic acid		Bohlmann et al., 1982; Schmeda-Hirschmann et al., 1986; Zdero et al., 1987
339		7b-OH	Zdero et al., 1987
340		12a-OH	Zdero et al., 1987

I- *ent*-Kauranes

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
341			4 α -CO ₂ H 16 β -OH 17-OH	Amaro-Luis, 1993
342	Paniculoside IV		4 α -COO-Glc 16 α -OH 17-OH	Kaneda et al., 1978; Yamasaki et al., 1977
343	Subpubescensoside		4 α - COO-Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ 3 & 1 \end{matrix}$ Glc	Román et al., 1995
344*			11 β ,16 α -oxide 4 α -CO ₂ H 16 α -OH 17-OH	Kohda et al., 1976b
345	Stevionolide	5,6	6,19- δ lido 7-oxo 16 α -OAc	Amaro-Luis, 1993
346		9,11; 16,17	4 α -CO ₂ H	Amaro-Luis, 1993; Zdero et al., 1988
347		9,11; 16,17	4 α -CO ₂ H 12 β -OEt	Ortega et al., 1985 ^a
348		16,17	19-OH	Amaro-Luis, 1993
349		16,17	4 α -CO ₂ H 15 α -OSen	Amaro-Luis, 1993; Bohlmann et al., 1982
350	<i>ent</i> -Kaurenic acid	16,17	4 α -CO ₂ H	Amaro-Luis, 1993; Amaro-Luis, & Adrian, 1988; Bohlmann et al., 1979; 1982; Schmeda-Hirschmann et al., 1986; Zdero et al., 1987; 1988

Table 4-I (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
351		16,17	4 α -CO ₂ H 15 β -OAc	Amaro-Luis, & Adrian, 1988
352		16,17	4 α -CO ₂ H 15 α -OTigl	Bohlmann et al., 1982
353	Rebaudioside A	16,17	4 α -COO-Glc 13 - O - Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Glc} \\ 3 & 1 \\ & \text{Glc} \end{matrix}$	Kobayashi et al., 1977; Kohda et al., 1976a; Sakamoto et al., 1977
354	Rebaudioside B	16,17	4 α -CO ₂ H 13 - O - Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Glc} \\ 3 & 1 \\ & \text{Glc} \end{matrix}$	Kohda et al., 1976a; Sakamoto et al., 1977
355	Rebaudioside C (Dulcoside B)	16,17	4 α -COO-Glc 13 - O - Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Rh} \\ 3 & 1 \\ & \text{Glc} \end{matrix}$	Kobayashi et al., 1977; Sakamoto et al., 1977a
356	Rebaudioside D	16,17	4 α - COO-Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Glc} \end{matrix}$ 13 - O - Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Glc} \\ 3 & 1 \\ & \text{Glc} \end{matrix}$	Sakamoto et al., 1977a; Sakamoto et al., 1977b
357	Rebaudioside E	16,17	4 α - COO-Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Glc} \end{matrix}$	Sakamoto et al., 1977a; 1977b
358	Dulcoside A	16,17	4 α -COO-Glc 13 - O - Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Glc} \end{matrix}$	Kobayashi et al., 1977
359	Stevioside	16,17	4 α -COO-Glc 13 - O - Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Rh} \end{matrix}$	Kinghorn et al., 1984; Kobayashi et al., 1977; Kohda et al., 1976a; Sakamoto et al., 1977a
360	Steviolbioside	16,17	4 α -CO ₂ H 13 - O - Glc $\begin{matrix} 2 & 1 \\ \diagdown & \diagup \\ & \text{Glc} \end{matrix}$	Kohda et al., 1976a; Sakamoto et al., 1977a
361	Paniculoside I	16,17	4 α -COO-Glc 15 β -OH	Yamasaki et al., 1976; 1977; Kaneda et al., 1978
362	Paniculoside II	16,17	4 α -COO-Glc 11 β -OH 15 β -OH	Yamasaki et al., 1976; 1977; Kaneda et al., 1978
363	Paniculoside III	16,17	4 α -COO-Glc 11 β -OH 15-oxo	Yamasaki et al., 1976; 1977; Kaneda et al., 1978
364	Paniculoside V	16,17	4 α -COO-Glc 15 β -OGlc	Yamasaki et al., 1977; Kaneda et al., 1978
365		16,17	4 α -CO ₂ H 12 α -OH	Ortega et al., 1985 ^a

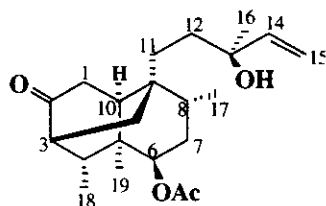
Table 4-I (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
366*		16,17	4 α -CO ₂ H 15 β -OH	Kohda et al., 1976b
367*		16,17	4 α -CO ₂ H 11 β -OH 15 β -OH	Kohda et al., 1976b
368*		16,17	4 α -CO ₂ H 11 β -OH 15-oxo	Kohda et al., 1976b

r: Isolated from roots

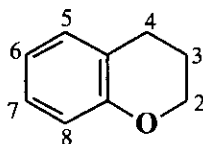
* Aglicone from enzymatic hydrolysis.

J- Stevisalicinone



N°	References
369	Bohlmann & Zdero, 1985

Table 5 - Chromane derivatives



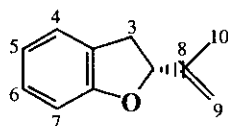
N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
370		2,3	2-methyl 4-oxo 5,7- dihydroxy	Bohlmann et al., 1976 ^a
371	Methylpariochromene A	3,4	2,2- dimethyl 6- Ac 7,8- dimethoxy	Kohda et al., 1976c ^a
372		3,4	2,2- dimethyl 5- CH(OH)CH ₃ 6- methoxy	Bohlmann et al., 1986 ^r
373		3,4	2,2- dimethyl 6,7- dimethoxy	Zdero et al., 1991 ^a

Table 5 - (cont.)

N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
374		3,4	2,2- dimethyl 7- methoxy	Quijano et al., 1982 ^a
375		3,4	2,2- dimethyl 7,8- dimethoxy	Quijano et al., 1982 ^a
376		3,4	2,2- dimethyl 6- Ac	Bohlmann & Zdero, 1985 ^{a,r}

^a: Isolated from aerial parts; ^r: Isolated from roots.

Table 6 - Benzofurane derivatives

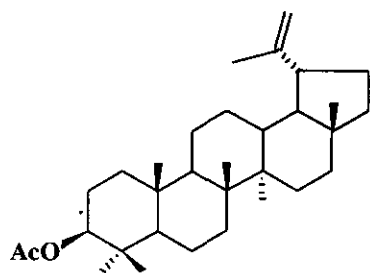
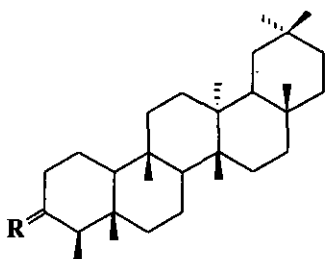
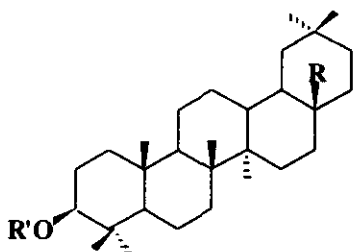
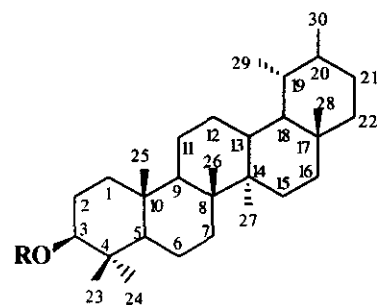


N°	Common name	Double bonds	Substituents	References
377			4- Ac 5- OCH ₃	Bohlmann & Zdero, 1985
378			3b-OAng 5- OH 6- Ac	Bohlmann & Zdero, 1985
379*			4- CH(OH)CH ₃ 5- OCH ₃	Bohlmann & Zdero, 1985; Bohlmann et al., 1986; Hernández et al., 1994
380			4- OCH ₃ 5- CH(OH)CH ₃	Bohlmann & Zdero, 1985
381	Hydroxyeuparin	2,3	5- Ac 6- OH 10- OH	Bohlmann et al., 1979
382		2,3; 8,9-dihydro	5- Ac 8- OH	Bohlmann & Zdero, 1985

*: Isolated from roots.

*In Bohlmann, Zdero, King & Robinson, 1986 the C-2 stereochemistry was incorrectly drawn as b.

Table 7 - Triterpenes and Sterols



Nº	Common name	R	R'	References
383	Taraxasterol	$\Delta^{20,30}$ H		de Gutiérrez et al., 1992; Domínguez et al., 1974; Kohda et al., 1976b
384	Taraxasteryl acetate	$\Delta^{20,30}$ Ac		Bohlmann et al., 1986; Kohda et al., 1976b; Zdero et al., 1987
385	Pseudotaraxasterol	$\Delta^{20,21}$ H		de Heluani et al., 1989
386	β -Amyrin	$\Delta^{12,13}$ CH ₃	H	de Gutiérrez et al., 1992; de Heluani et al., 1989; Escamilla & Ortega, 1991
387	β -Amyrin Acetate	$\Delta^{12,13}$ CH ₃	Ac	Bohlmann et al., 1979; Sholichin et al., 1980
388	Oleanolic acid	$\Delta^{12,13}$ CO ₂ H	H	de Gutiérrez et al., 1992
389	Germanicol	$\Delta^{18,19}$ CH ₃	H	de Heluani et al., 1989
390	O		Amaro-Luis & Adrian, 1988; Cerda-García-Rojas et al., 1993; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r	
391	Friedelan-3 β -ol β -OH			Joseph-Nathan et al., 1991 ^r
392	<i>D</i> : <i>C</i> -Friedours-7-en-3 β -ol acetate			Cerda-García-Rojas et al., 1996; ^r Joseph-Nathan et al., 1991 ^r

Table 7 (cont.)

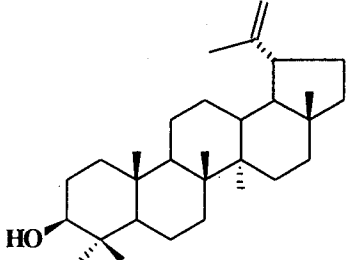
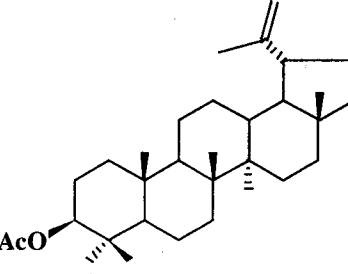
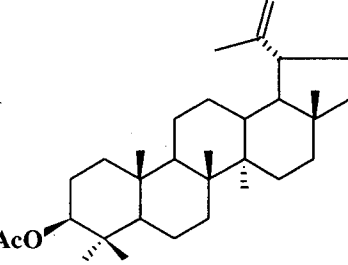
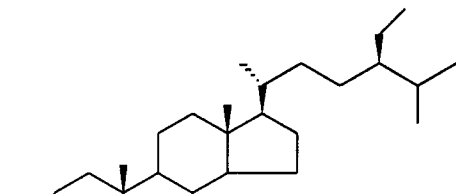

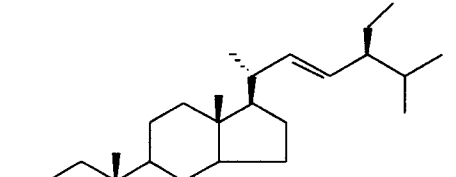

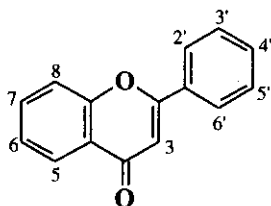
	N°	R	Common name	References
	393		Lupeol*	Bohlmann et al., 1979; de Gutiérrez et al., 1992; de Heluani et al., 1989; Escamilla & Ortega, 1991
	394		Lupeyl acetate	Bohlmann et al., 1982; Schmeda-Hirschmann et al., 1986; Zdero et al., 1987
	395		Lupeyl acetate Δ ¹²	Bohlmann et al., 1979; 1982
	396	H	β-Sitosterol	Amaro-Luis & Adrian, 1988; Amaro & Hung, 1985; de Gutiérrez et al., 1992; Domínguez et al., 1974; Quijano et al., 1982 Sholichin et al., 1980
	397	Glc	β-Sitosterolglucoside	Hernández et al., 1996a
	398		Stigmasterol	Amaro-Luis & Adrian, 1988; Cerda-García-Rojas et al., 1993; ^r de Gutiérrez et al., 1992 Quijano et al., 1982; Sánchez-Arreola et al., 1995; ^r Sholichin et al., 1980
	399	Glc	Daucosterine or Daucosterol	Amaro-Luis & Adrian, 1988; Amaro & Hung, 1985

Table 7 (cont.)

N°	R	Common name	References
400			Mata et al., 1991
401			Bohlmann et al., 1979
402	Eupha-8,24-dien-3 β -yl acetate		Sánchez-Arreola et al., 1995

r: Isolated from roots.

* From *Stevia rebaudiana* three unidentified esters of lupeol were isolated (Sholichin, Yamasaki, Miyama, Yahara, & Tanaka, 1980) and from *S. triflora*, lupenyl esters and *epi*-friedelinol were isolated (Amaro-Luis, & Adrian, 1988).

Table 8 - Flavonoids[§]

N°	Common name	Substituents	References
403	7,4'-dimetoxy naringenin	2,3-dihydro 5-hydroxy 7,4'-dimethoxy	Ortega et al., 1980
404		2,3-dihydro 5,3'-dihydroxy 7,4'-dimethoxy	Ortega et al., 1980
405		2,3-dihydro 5,3',4'-trihydroxy 7-methoxy	Ortega et al., 1980
406	Artemetin	5-hydroxy 3,6,7,3',4'-pentamethoxy	de Gutiérrez et al., 1992; Sosa et al., 1985
407		5-hydroxy 3,6,7, 4'-tetramethoxy	de Gutiérrez et al., 1992
408	Cirsimaritin-4'-O-β-D-Glc	5-hydroxy 6,7-dimethoxy 4'-O-β-D-glc	Rajbhandari & Roberts, 1985a
409		5-hydroxy 6,7,4'-trimethoxy	Hernández et al., 1996b
410		6-hydroxy 5,7,4'-trimethoxy	Hernández et al., 1996b
411		5,6-dihydroxy 7,8,4'-trimethoxy	Domínguez et al., 1974; Mendoza & Seeligman, 1985
412	Apigenin-4'-O-Glc	5,7-dihydroxy 4'-O-glc	Rajbhandari & Roberts, 1983
413	Apigenin-7-O-Glc	5,4'-dihydroxy 7-O-glc	Rajbhandari & Roberts, 1985b
414	Eupatorin	5,3'-dihydroxy 6,7,4'-trimethoxy	Hernández et al., 1994; Rajbhandari & Roberts, 1985a Sosa et al., 1984; 1985
415	Casticin	5,3'-dihydroxy 3,6,7,4'-tetramethoxy	Hernández et al., 1994; 1996a
416	Eupatilin	5,7-dihydroxy 6,3',4'-trimethoxy	Hernández et al., 1995;* 1996b; Amaro & Hung, 1985
417	Santin	5,7-dihydroxy 3,6,4'-trimethoxy	Rajbhandari & Roberts, 1985a

Table 8 (cont.)

Nº	Common name	Substituents	References
418	Sakuranetin	5,4'-dihydroxy 7-methoxy	Bohlmann et al., 1976
419	Pectolinarigenin	5,7-dihydroxy 6,4'-dimethoxy	Amaro, & Hung, 1985
420		5,7-dihydroxy 3,6,3',4'-tetramethoxy	Rajbhandari & Roberts, 1985b
421	Cirsimaritin	5,4'-dihydroxy 6,7-dimethoxy	Hernández et al., 1996b; Sosa et al., 1984
422	Policladin (= Crisosplenetin)	5,4'-dihydroxy 3,6,7,3'-tetramethoxy	de Gutiérrez et al., 1992
423	Centaureidin	5,7,3'-trihydroxy 3,6,4'-trimethoxy	Rajbhandari & Roberts, 1983; 1984; 1985a; 1985b
424	Kaempferol-3-O-Rh	5,7,4'-trihydroxy 3-O-rh	Rajbhandari & Roberts, 1983
425	Luteolin-7-O-β-D-Glc	5,3',4'-trihydroxy 7-O-β-D-glc	Rajbhandari & Roberts, 1983; 1984; 1985a
426	Luteolin-4'-O-β-D-Glc	5,7,3'-trihydroxy 4'-O-β-D-glc	Rajbhandari & Roberts, 1985a
427	Hispidulin	5,7,4'-trihydroxy 6-methoxy	Gil et al., 1989; Rajbhandari & Roberts, 1985a
428		5,7,4'-trihydroxy 3,6-dimethoxy	Rajbhandari & Roberts, 1985a
429	Jaceosidin	5,7,4'-trihydroxy 6,3'-dimethoxy	Gil et al., 1992
430†		5,3',4'-trihydroxy 3,6,7-trimethoxy	Rajbhandari & Roberts, 1985b
431	Jaceidin	5,7,3'-trihydroxy 3,6,4'-trimethoxy	Rajbhandari & Roberts, 1985b
432	Quercitrin	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-rh	Rajbhandari & Roberts, 1983
433	Quercetin-3-O-L-Rh	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-L-rh	Rajbhandari & Roberts, 1985b
434	Quercetin-3-O-β-D-Glc	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-β-D-glc	Rajbhandari & Roberts, 1983; 1984; 1985a
435	Quercetin-3-O-β-D-Gal	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-β-D-gal	Rajbhandari & Roberts, 1984; 1985a; 1985b
436	Quercetin-3-O-α-L-Arab	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-α-L-arab	Rajbhandari & Roberts, 1983; 1984; 1985a
437	Quercetin-3-O-α-L-Rh-D-Gal	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-α-L-rh-D-gal	Rajbhandari & Roberts, 1985a
438	Quercetin-3-O-Digal	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-Digal	Rajbhandari & Roberts, 1984; 1985b

Table 8 (cont.)

N°	Common name	Substituents	References
439	Quercetin-3-O-Gal-Rh	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-gal-rh	Rajbhandari & Roberts, 1984
440	Quercetin-3-O-D-Gal-D-Glc	5,7,3',4'-tetrahydroxy 3-O-D-gal-D-glc	Rajbhandari & Roberts, 1985b
441	Quercetagetin-4'-metoxi-3-O-Arab	5,6,7,3'-tetrahydroxy 3-O-arab 4'-methoxy	Rajbhandari & Roberts, 1984

[§]From *S. mercedensis* a sulfated flavonoid was isolated (Mendiondo & Seeligman, 1985).

*In Hernández, Catalán, Cerda-García-Rojas, & Joseph-Nathan, 1995 the flavonoid isolated was eupatilin and not eupatorin as reported.

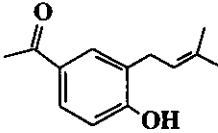
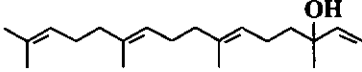
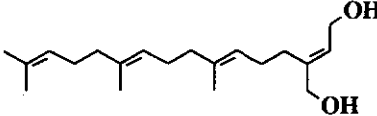
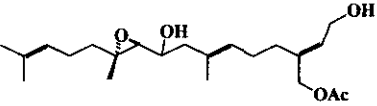
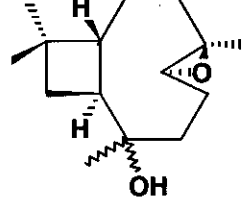
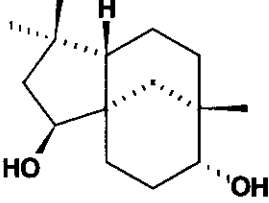
†Structure revised according to Wollenweber & Dietz, 1981.

glc: glucoside; rh: rhamnoside; gal: galactoside; Digal: digalactoside; arab: arabinoside.

Table 9 - Miscellaneous

N°	Common name or structure	References
442	Biciclogermacrene	Bohlmann et al., 1982; ^{a,r} 1986; ^a Schmeda-Hirschmann et al., 1986; ^a Zdero et al., 1988 ^a
443	1 β ,10 α -epoxycaryophyllene	Bohlmann & Zdero, 1985; ^a Schmeda-Hirschmann et al., 1986 ^a
444	<i>p</i> -hydroxyacetophenone	Bohlmann et al., 1979 ^a
445	Linoleic acid	Schmeda-Hirschmann et al., 1986 ^a
446	Linolenic acid	Schmeda-Hirschmann et al., 1986 ^a
447	α -Humulene or α -Caryophyllene	Bohlmann et al., 1986; ^a Fujita et al., 1977; ^a Zdero et al., 1988 ^a
448	γ -Humulene or Isohumulene	Zdero et al., 1987; ^r Bohlmann & Zdero, 1985; ^{a,r} Bohlmann et al., 1977; ^r 1979 ^{a,r}
449	Triacotane	Domínguez et al., 1974 ^a
450	Caryophyllene or β -Cariophyllene	Bohlmann et al., 1982; ^r Fujita et al., 1977 ^a
451	Caryophyllene oxide	Amaro-Luis & Adrián, 1997; ^a Fujita et al., 1977; ^a Martelli et al., 1985 ^{a,*}
452	Loliolide	Sigstad et al., 1991 ^a
453	Chamazulene	Calderón et al., 1989 ^a
454	Longicyclene	Román et al., 1989 ^r
455	Nerolidol	Bohlmann & Zdero, 1985; ^a Bohlmann et al., 1977; ^a Fujita et al., 1977 ^a
456	α -Terpineol	Fujita et al., 1977 ^a
457	Terpinen-4-ol	Fujita et al., 1977 ^a
458	α -Pinene	Bohlmann & Zdero, 1985 ^{a,r}
459	Myrthenyl cinnamate	Bohlmann & Zdero, 1985 ^a
460	Himachalol	Bohlmann & Zdero, 1985 ^a

Table 9 - Miscellaneous (cont.)

N°	Common name or structure	References
461	β -Farnesene	Bohlmann et al., 1977; ^a Fujita et al., 1977 ^a
462	Linalool	Fujita et al., 1977 ^a
463	8-E-hydroxylinalool	Hernández et al., 1994 ^a
464	β -Bergamotene	Schmeda-Hirschmann et al., 1986 ^r
465	Spathulenol	Martelli et al., 1985 ^{a*}
466		Zdero et al., 1991 ^a
467		Bohlmann et al., 1982 ^a
468		Bohlmann et al., 1982 ^a
469		Bohlmann & Zdero, 1985 ^a
470	CH_3 [C=C] ₅ CH=CH ₂	Bohlmann et al., 1977 ^r
471		Amaro-Luis & Adrián, 1997 ^a
472		Amaro-Luis & Adrián, 1997 ^a

^a: Isolated from aerial parts; ^r: Isolated from roots.

*: Caryophyllene oxide and spathulenol, along with other 52 components were identified from the essential oil of *Stevia rebaudiana* (Martelli et al., 1985)

Table 10 - Abbreviations


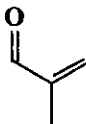
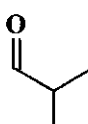
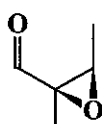
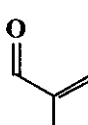
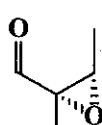
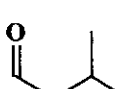
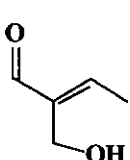
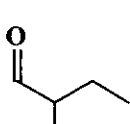
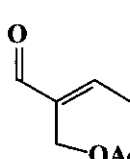
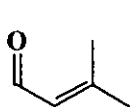
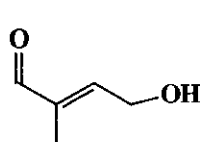
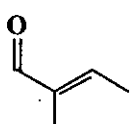
Ac		Ang	
Isobu		Epang	
Meacr		Epang*	
Isoval		Sar	
Mebu		Sarac	
Sen		Tigl-4'-OH	
Tigl			
glc	Glucoside	rh	Rhamnoside
gal	Galactoside	arab	Arabinoside

Table 11 - Distribution of secondary metabolites in *Stevia*

Species	Sesquiterpene Lactones				Lg	Sq	DT	TT & St	Fl	Oth	References
	Ge	Gu	Eu	Oth							
<i>S. achalensis</i>		+	+	+	+	+				+	Bohlmann et al., 1986; Oberti et al., 1983 Martínez-Vazquez et al., 1990 de Heluani et al., 1989
<i>S. aff. tomentosum</i>			+								
<i>S. alpina</i> var. <i>alpina</i>		+		+							de Hernández et al., 1998
<i>S. alpina</i> var. <i>glutinosa</i>											
<i>S. amambayensis</i>	+			+		+	+	+		+	Schmeda-Hirschmann et al., 1986
<i>S. andina</i>							+	+			Zdero et al., 1987
<i>S. aristata</i>	+			+	+	+	+	+		+	Zdero et al., 1987
<i>S. berlandieri</i>					+	+	+	+	+	+	Bohlmann & Zdero, 1985; Domínguez et al., 1974
<i>S. boliviensis</i>		+			+	+		+		+	Bohlmann et al., 1979
<i>S. breviaristata</i>	+	+	+	+						+	Hernández et al., 1994; Oberti et al., 1986
<i>S. chamaedrys</i>	+	+	+			+					Zdero et al., 1991
<i>S. cuzcoensis</i>										+	Rajbhandari & Roberts, 1985b
<i>S. eliator</i>					+						Bohlmann et al., 1977
<i>S. eupatoria</i>		+			+	+	+				Ortega et al., 1985; Zdero et al., 1991
<i>S. galeopsidifolia</i>										+	Rajbhandari & Roberts, 1985b
<i>S. gilliesii</i>		+									Hernández et al., 1995
<i>S. grisebachiana</i>	+	+								+	Sigstad et al., 1991
<i>S. hyssopifolia</i> var. <i>hyssopifolia</i>						+	+			+	Zdero et al., 1991
<i>S. isomeca</i>				+							Bohlmann et al., 1985
<i>S. jaliscensis</i>					+		+				Bohlmann et al., 1976
<i>S. jujuyensis</i>	+			+			+	+	+		de Gutiérrez et al., 1992; Gil et al., 1992
<i>S. lemmonia</i>	+	+			+	+	+	+		+	Bohlmann & Zdero, 1985
<i>S. lucida</i>					+		+	+	+		Amaro & Hung, 1985; Amaro-Luis, 1993; Amaro-Luis & Hung, 1988; Amaro et al., 1988; Guerra-Ramírez et al., 1997; Salmón et al., 1983
<i>S. maimarensis</i>	+		+							+	Hernández et al., 1996a
<i>S. mandonii</i>					+	+		+			Bohlmann et al., 1979
<i>S. mercedensis</i>	+	+			+	+		+	+	+	Bohlmann et al., 1986; Mendiondo & Seeligman, 1985
<i>S. microchaeta</i>										+	Rajbhandari & Roberts, 1985a
<i>S. monardaefolia</i>				+			+	+	+	+	Gómez et al., 1983; Quijano et al., 1982; Rajbhandari & Roberts, 1985a
<i>S. myriadenia</i>		+				+	+	+		+	Bohlmann et al., 1982
<i>S. nepetifolia</i>										+	Rajbhandari & Roberts, 1984
<i>S. organoides</i>				+	+			+	+		Calderón et al., 1987; Cerda-García-Rojas et al., 1993; Rajbhandari & Roberts, 1985a
<i>S. ovata</i> (= <i>S. rhombifolia</i>)	+	+		+	+	+	+			+	Bohlmann et al., 1977; Calderón et al., 1987a; Kaneda et al., 1978; Ríos et al., 1967; Román et al., 1981

Table 11 (cont.)

Species	Sesquiterpene Lactones				Lg	Sq	DT	TT & St	Fl	Oth	References
	Ge	Gu	Eu	Oth							
<i>S. paniculata</i>							+	+			Yamasaki et al., 1976; 1977; Kohda et al., 1976
<i>S. phlebophylla</i>							+				Kinghorn et al., 1984
<i>S. pilosa</i>		+									Martínez et al., 1988
<i>S. polycephala</i>					+	+	+				Bohlmann et al., 1977; Angeles et al., 1982
<i>S. polyphylla</i>	+	+	+	+		+					Zdero et al., 1988
<i>S. potrerensis</i>	+				+						Gil et al., 1987
<i>S. procumbens</i>	+	+							+		Sosa et al., 1985
<i>S. purpurea</i>						+			+	+	Bohlmann et al., 1976
<i>S. rebaudiana</i>						+	+	+	+	+	Fujita et al., 1977; Kohda et al., 1976; Kobayashi et al., 1977; Oshima et al., 1986; 1988; Rajbhandari & Roberts, 1983; Sakamoto et al., 1977a; 1977b; Sholichin et al., 1980
<i>S. salicifolia</i>					+	+	+	+		+	Bohlmann & Zdero, 1985; Calderón et al., 1984; Cerda-García-Rojas et al., 1996; Mata et al., 1991; Román et al., 1985
<i>S. salicifolia</i> var. <i>salicifolia</i>							+				Ortega et al., 1980
<i>S. salicifolia</i> var. <i>typica</i>							+				Ortega et al., 1980
<i>S. samaipatensis</i>		+				+	+				Zdero et al., 1988
<i>S. sanguinea</i>	+	+							+		de Hernández et al., 1997; Gil et al., 1989
<i>S. sarensis</i>	+	+	+			+	+			+	Zdero et al., 1988
<i>S. satireifolia</i>		+							+		Sosa et al., 1984
<i>S. seleriana</i>							+	+			Escamilla & Ortega, 1991
<i>S. serrata</i>	+	+			+				+	+	Bohlmann et al., 1977; Calderón et al., 1989; Kohda et al., 1976; Rajbhandari & Roberts, 1985b; Román et al., 1981; 1993; Salmón et al., 1973; 1975; 1977; Sánchez-Arreola et al., 1995
<i>S. setifera</i>		+				+	+	+		+	Bohlmann et al., 1979
<i>S. soratensis</i>									+		Rajbhandari & Roberts, 1985b;
<i>S. subpubescens</i>					+		+			+	Román et al., 1989; 1995
<i>S. subpubescens</i> var. <i>intermedia</i>						+		+			Joseph-Nathan et al., 1991
<i>S. triflora</i>						+					Amaro et al., 1988
<i>S. vaga</i>	+	+	+						+		Hernández et al., 1996b
<i>S. viscida</i>						+					Román et al., 1995
<i>S. yaconensis</i>	+	+			+	+	+			+	Zdero et al., 1988
<i>S. yaconensis</i> var. <i>aristifera</i>		+		+							Gil et al., 1990
<i>S. yaconensis</i> var. <i>subglandulosa</i>		+									Sosa et al., 1989

Table 12. Sesquiterpene Lactones (SL), Longipinenes (Lg) and Diterpenes (DT) isolated from *Stevia**

Species	Collection from	Part studied	Compounds reported		
			SL	Lg	DT
<i>S. achalensis</i>	Argentina	Aerial	141; 143-144; 151-152; 159-161; 163; 166-167; 178-184; 186-188; 192	244; 257	
<i>S. aff. tomentosum</i>	Mexico	Aerial	168; 172; 174		
<i>S. alpina</i> var. <i>alpina</i>	Argentina	Aerial	45; 54-55; 71; 77; 98; 130-132		
<i>S. alpina</i> var. <i>glutinosa</i>			12; 15-16; 33-35; 105; 112; 171; 173		
<i>S. amambayensis</i>		Aerial; Roots	3-4; 59; 62		338; 350
<i>S. andina</i>	Peru	Aerial			328-329; 332-333 350
<i>S. aristata</i>	Paraguay	Aerial; Roots	4-6; 59-60; 63	223-224; 243	326-328; 338-340
<i>S. berlandieri</i>	Mexico	Aerial		243	307-310; 318
<i>S. boliviensis</i>	Bolivia	Aerial; Roots	130	232-233; 243; 258- 259; 265; 283-284	
<i>S. breviaristata</i>	Argentina	Aerial; Roots	19-20; 57; 113-117; 170		
<i>S. chamaedrys</i>	Mexico	Aerial	11; 13; 101-102; 104-107; 169; 175		
<i>S. cuzcoensis</i>	Peru	Aerial			
<i>S. eliator</i>	Guatemala	Roots		279	
<i>S. eupatoria</i>	Mexico	Aerial	78; 99-100	244-245	347; 365
<i>S. galeopsidifolia</i>	Peru	Aerial			
<i>S. gilliesii</i>	Argentina	Aerial	104-105; 108-110		
<i>S. grisebachiana</i>	Argentina	Aerial	8; 36; 77; 79; 122; 124-130; 133		
<i>S. hyssopifolia</i> var. <i>hyssopifolia</i>	Mexico	Aerial			321-322
<i>S. isomeca</i>	Mexico	Aerial	155-157; 191		
<i>S. jaliscensis</i>		Aerial; Roots		253; 271	301
<i>S. jujuyensis</i>	Argentina	Aerial	9; 17 or 18; 37-38; 46-47; 49-50; 193-194		302
<i>S. lemmonia</i>	Mexico	Aerial; Roots	1; 67; 72	225; 234; 236; 243- 244; 263; 267-269	469
<i>S. lucida</i>	Venezuela; Mexico	Aerial; Roots		243; 246; 251-256; 261; 271-273; 282- 283; 285	315; 323; 341; 345- 346; 348-350
<i>S. maimarensis</i>	Argentina	Aerial	12; 21-27; 170; 176-177		

Table 12 (cont.)

Species	Collection from	Part studied	Compounds reported		
			SL	Lg	DT
<i>S. mandonii</i>	Bolivia	Aerial; Roots		243; 258-259; 265	
<i>S. mercedensis</i>	Argentina	Aerial; Roots	10; 83-84, 97; 104-107	243-244, 263	
<i>S. microchaeta</i>	Mexico	Aerial			
<i>S. monardaefolia</i>	Mexico	Aerial	41		311, 316; 336-337
<i>S. myriadenia</i>	Brazil	Aerial; Roots	80; 82		291-292; 325; 338; 349-351; 467-468
<i>S. nepetifolia</i>	Mexico	Aerial			
<i>S. origanoides</i>	Mexico	Aerial; Roots	42-44	248-250	
<i>S. ovata</i> (= <i>S. rhombifolia</i>)	Mexico; Jap. (cul.); Guatemala	Aerial; Roots	39; 153-154; 157	225	342; 360-363
<i>S. paniculata</i>	Jap. (cul.)	Aerial			342; 344; 360-363; 366-368 358
<i>S. phlebophylla</i>	Mexico	Aerial			
<i>S. pilosa</i>	Mexico	Aerial	73		
<i>S. polycephala</i>	Mexico; Guatemala	Aerial; Roots		243; 251; 253; 255; 259; 270-272; 274- 276; 280-281; 283; 285	290
<i>S. polyphylla</i>	Bolivia	Aerial	40; 139-142, 145- 151; 162; 164-165; 178; 182; 189-190 9	223; 227; 243-245	
<i>S. potrerensis</i>	Argentina	Aerial			
<i>S. procumbens</i>	Argentina	Aerial	12; 105		
<i>S. purpurea</i>		Aerial; Roots			
<i>S. rebaudiana</i>	Paraguay; Jap. (cul.); Filip. (cul.)	Aerial			294-297; 303-306; 317; 330-331; 352-359
<i>S. salicifolia</i>	Mexico	Aerial; Roots		242-243; 246; 251, 260-266; 280, 283- 284; 288-289	293; 298; 319; 331; 369
<i>S. salicifolia</i> var. <i>salicifolia</i>	Mexico	Aerial			324
<i>S. salicifolia</i> var. <i>typica</i>	Mexico				331
<i>S. samaipatensis</i>	Bolivia	Aerial	135-138		299-300
<i>S. sanguinea</i>	Argentina	Aerial	14; 32; 48; 70, 74- 76; 81; 85-90; 91- 95; 111; 123, 134 12; 15-16; 42, 82, 105, 141; 151		
<i>S. sarensis</i>	Bolivia	Aerial			311-315
<i>S. satureifolia</i>	Argentina	Aerial	105		
<i>S. seleriana</i>	Mexico	Aerial			320; 334-335

Table 12 (cont.)

Species	Collection from	Part studied	Compounds reported		
			SL	Lg	DT
<i>S. serrata</i>	Mexico; Jap. (cul.); Guatemala	Aerial; Roots	2; 64-66; 68-69	225; 235; 239-241; 247; 263; 267; 277- 278; 281; 286-287	
<i>S. setifera</i>	Bolivia	Aerial	97; 105; 108		336; 350
<i>S. soratensis</i>	Peru	Aerial			
<i>S. subpubescens</i>	Mexico	Aerial; Roots		243; 251;	343
<i>S. subpubescens</i> var. <i>intermedia</i>	Mexico	Roots		243; 251-253; 255- 256; 280-285	
<i>S. triflora</i>	Venezuela	Aerial		225-226; 247	
<i>S. vaga</i>	Argentina	Aerial	28-31; 51-53; 61; 118-121		
<i>S. viscida</i>	Mexico	Roots		237-238	
<i>S. yaconensis</i>	Bolivia	Aerial; Roots	11; 103; 130	227-231	346; 350
<i>S. yaconensis</i> var. <i>aristifera</i>	Argentina	Aerial	56-58; 137; 185		
<i>S. yaconensis</i> var. <i>subglandulosa</i>	Argentina	Aerial	77; 96; 124		

*For references see Table 11

Table 13 - Incidence of the skeletons of sesquiterpene lactones in *Stevia* (Taxones studied: 60)

Structure	Closed toward	N° of species	N° of compounds
Germacrolides	C-6	16	35
	C-8	2	2
Heliangolides	C-6	7	15
	C-8	1	3
Melampolides	C-6	4	3
<i>cis,cis</i> -germacranolides	C-6	2	2
Guaianolides	C-6	20	70
	C-8	6	20
Pseudoguaianolides	C-8	2	4
Eudesmanolides	C-6	4	8
	C-8	2	9
Eremophilanolides	C-8	2	7
Elemanolides	C-8	3	6
Xanthanolides	C-8	1	1
Onoseriolides	C-8	1	1
Jujuyensolides	C-6	1	2

Table 14 - Incidence of the skeletons of cyclic diterpenes in *Stevia* (Taxones studied: 60)

Structure	N° of species	N° of compounds
<i>trans</i> - Clerodanes	2	3
<i>cis</i> - Clerodanes	1	1
Bisnorditerpenes	1	4
Labdanes	9	22
<i>ent</i> - Labdanes	9	14
Seco <i>ent</i> - labdanes	1	2
Kauranes	2	2
<i>ent</i> - Kauranes	12	27
Beyerene derivatives	3	3
Stevisalicinone	1	1

Table 15 - Distribution of the principals secondary metabolites in *Stevia* (Taxones studied: 60)

Compound	N° of species	%
Sesquiterpene Lactones (SL)	34	58
Diterpenes (DT)	26	44
Longipinenes (Long)	22	37
DT + SL	12	20
SL + Long	11	19
DT + Long	11	19
DT + SL + Long	5	8

Bibliografía

- Amaro, J.M. & Hung, M. 1985. "Estudio fitoquímico de la flora andina venezolana III. Flavonoides y esteroides de la *Stevia lucida* Lagasca". *Revista de la Facultad de Farmacia - ULA* 25, 125-133.
- Amaro, J.M.; Adrián, M.; Cerda, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1988. "Longipinene derivatives from *Stevia lucida* and *S. triflora*". *Phytochemistry* 27, (5): 1409-1412.
- Amaro-Luis, J.M. 1993. "An ent-kaurenolide from *Stevia lucida*". *Phytochemistry* 32, (6): 1611-1613.
- Amaro-Luis, J.M. & Adrian, R.M. 1988. «Terpenoids and steroids from *Stevia triflora*». *Fitoterapia* LIX, (6): 512.
- Amaro-Luis, J.M. & Adrián, R.M. 1997. "A new caryophyllane derivative from *Stevia triflora*". *Pharmazie* 52, (2): 162-163.
- Amaro-Luis, J.M. & Hung, M. 1988. "Estudio fitoquímico de la flora andina venezolana IV. Estructura del ácido labd-13(Z)-en-8a-ol-15-oico, un componente de la *Stevia lucida* Lagasca". *Acta Científica Venezolana* 39, (1): 21-24.
- Angeles, E.; Foltling, K.; Grieco, P.A.; Huffman, J.C.; Miranda, R. & Salmón, M. 1982. "Isolation and structure of stephalic acid, a new clerodane diterpene from *Stevia polycephala*". *Phytochemistry* 21, (7): 1804-1806.
- Baker, J.G. 1876. "Compositae II. Eupatoriaceae". En C. Martius, *Fl. Bras.* 6, 181-374, pl. 51-102.
- Bohlmann, F.; Ates, N.; Jakupovic, J.; King, R.M. & Robinson 1982. "Types of sesquiterpenes from *Artemisia douglasiana*". *Phytochemistry* 21, (11): 2691-2697.
- Bohlmann, F.; Dutta, L.N.; Dorner, W.; King, R.M. & Robinson H. 1979. "Zwei neue Guajanolide sowie weitere Longipinenester aus *Stevia*-Arten". *Phytochemistry* 18, (4): 673-675.
- Bohlmann, F.; Suwita, A.; Natu, A.A.; Czerson, H. & Suwita, A. 1977. "Über weitere a-Longipinen-Derivate aus *Compositen*". *Chem. Ber.* 110, (11): 3572-3581.
- Bohlmann, F.; Umemoto, K. & Jakupovic, J. 1985. "Pseudoguaianolides related to confertin from *Stevia isomeca*". *Phytochemistry* 24, (5): 1017-1019.
- Bohlmann, F. & Zdero, C. 1985. "Stevisalicionon, ein neuer Diterpentyp, sowie weitere Inhaltsstoffe aus *Stevia*-Arten". *Liebigs Annalen der Chemie* 1985, (9): 1764-1783.
- Bohlmann, F.; Zdero, C. & Schöneweiss, S. 1976. "Über die Inhaltsstoffe aus *Stevia*-Arten". *Chem. Ber.* 109, (10): 3366-3370.
- Bohlmann, F.; Zdero, C.; King, R.M. & Robinson, H. 1982. "Sesquiterpenes, guaianolides and diterpenes from *Stevia myriadenia*". *Phytochemistry* 21, (8): 2021-2025.
- Bohlmann, F.; Zdero, C.; King, R.M. & Robinson, H. 1986. "Neue Sesquiterpenelactone und andere Inhaltsstoffe aus *Stevia mercedensis* und *Stevia achalensis*". *Liebigs Annalen der Chemie* 1986, (5): 799-813.
- Bremer, K. 1994. "Asteraceae cladistics & classification". Timber Press, Portland, Oregon.
- Calderón, J.S.; Angeles, E.; Salmón, M. & García de la Mora, G.A. 1984. "Bisabolene derivatives from *Stevia salicifolia*". *Phytochemistry* 23, (1): 186-188.
- Calderón, J.S.; Quijano, L.; Gómez, F. & Ríos, T. 1989. "Prochamazulene sesquiterpene lactones from *Stevia serrata*". *Phytochemistry* 28, (12): 3526-3527.
- Calderón, J.S.; Quijano, L.; Gómez, F. & Ríos, T. 1987a. "Heliangolides from *Stevia organoides*". *Journal of Natural Products* 50, (3): 522.
- Calderón, J.S.; Quijano, L.; Gómez-Garibay, F.; Sánchez, D.M.; Ríos, T. & Fronczek, F.R. 1987b. "Sesquiterpene lactones from *Stevia ovata* and crystal structure of 11,13-dehydroeriolin". *Phytochemistry* 26, (6): 1747-1750.
- Cerda-García-Rojas, C.M.; del Río, R.E.; Joseph-Nathan, P.; Román, L.U. & Hernández, J.D. 1994. "Conformational analysis of moreliene derivatives". *Journal of Natural Products* 57, (3): 369-375.
- Cerda-García-Rojas, C.M.; Hernández-Vidal, H.H. & Joseph-Nathan, P. 1996. "¹³C-NMR assignments of D:C-friedours-7-ene derivatives. Evidence of an abnormal methyl group chemical shift". *Magnetic Resonance in Chemistry* 34, (10): 777-781.
- Cerda-García-Rojas, C.M.; Sánchez-Arreola, E.; Joseph-Nathan, P.; Román, L.U. & Hernández, J.D. 1993. "Longipinene derivatives from *Stevia organoides*". *Phytochemistry* 32, (5): 1219-1223.
- de Gutiérrez, A.N.; Catalán, C.A.N.; Díaz, J.G. & Herz, W. 1992. "Sesquiterpene lactones and other constituents of *Stevia jujuyensis*". *Phytochemistry* 31, (5): 1818-1820.
- de Heluani, C.S.; de Lampasona, M.P.; Catalán, C.A.N.; Goedken, V.L.; Gutiérrez, A.B. & Herz, W. 1989. "Guaianolides, Heliangolides and other constituents from *Stevia alpina*". *Phytochemistry* 28, (7): 1931-1935.
- de Hernández, Z.N.J.; Hernández, L.R.; Catalán, C.A.N.; Gedris, T.E. & Herz, W. 1997. "Guaianolides and germacradienolides from *Stevia sanguinea*". *Phytochemistry* 46, (4): 721-727.
- de Hernández, Z.N.J.; Hernández, L.R.; Catalán, C.A.N.; Guerra-Ramírez, D. & Joseph-Nathan, P. 1998. "Sesquiterpene lactones from *Stevia alpina* var. *glutinosa*". *Phytochemistry* submitted.
- Domínguez, X.A.; González, A.; Zamudio, M.A. & Garza, A. 1974. "Taraxasterol from *Stevia berlandieri* and *Cirsium texanum*". *Phytochemistry* 13, (9): 2001.
- Escamilla, E.M. & Ortega, A. 1991. "Labdane diterpenoids from *Stevia seleriana*". *Phytochemistry* 30, (2): 599-602.
- Fujita, S.; Taka, K. & Fujita, Y. 1977. "Miscellaneous contributions to the essential oils of the plants from various territories. XLI. The components of the essential oil of *Stevia rebaudiana*". *Yakugaku Zasshi* 97, (6): 692-694.
- Gil, R.R.; Oberti, J.C.; Gutiérrez, A.B. & Herz, W. 1990. "Heliangolides from *Stevia yaconensis* var. *aristifera*". *Phytochemistry* 29, (12): 3881-3884.
- Gil, R.R.; Oberti, J.C.; Sosa, V.E. & Herz, W. 1987. "Longipinanes and a germacranolide carboxylic acid from *Stevia potrerensis*". *Phytochemistry* 26, (5): 1459-1461.

- Gil, R.R.; Pacciaroni, A. del V.; Oberti, J.C.; Díaz, J.G. & Herz, W. 1992. "A rearranged germacranolide and other sesquiterpene lactones from *Stevia jujuyensis*". *Phytochemistry* **31**, (2): 593-596.
- Gil, R.R.; Pastoriza, J.A.; Oberti, J.C.; Gutiérrez, A.B. & Herz, W. 1989. "Guaianolides from *Stevia sanguinea*". *Phytochemistry* **28**, (10): 2841-2843.
- Gómez G., F.; Quijano, L.; Calderón, J.S.; Perales, A. & Ríos, T. 1983. "11,13-dihydroeucannabinolide, a heliangolide from *Stevia monardaefolia*". *Phytochemistry* **22**, (1): 197-199.
- Grashoff, J.L. 1972. "A systematic study of the North and Central America species of *Stevia*". Dissertation Ph.D., Univ. of Texas, Austin.
- Grashoff, J.L. 1975. "*Metastevia* (Compositae: Eupatorieae): a new genus from Mexico". *Brittonia* **27**, 69-73.
- Grashoff, J.L.; Bierner, M.W. & Northington, D.K. 1972. "Chromosome numbers in North and Central America Compositae". *Brittonia* **24**, 379-394.
- Guerra-Ramírez, D.; Cerda-García-Rojas, C.M.; Puentes, A.M. & Joseph-Nathan, P. 1998. "Longipinene diesters from *Stevia lucida*". *Phytochemistry* **47** in press.
- Hernández, L.R.; Catalán, C.A.N.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1994. "Sesquiterpene lactones from *Stevia breviflora*". *Phytochemistry* **37**, (5): 1331-1335.
- Hernández, L.R.; Catalán, C.A.N.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1995. "Guaianolides from *Stevia gilliesii*". *Natural Product Letters* **6**, (3): 215-221.
- Hernández, L.R.; Catalán, C.A.N.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1996a. "Sesquiterpene lactones from *Stevia vago*". *Phytochemistry* **42**, (5): 1369-1373.
- Hernández, L.R.; de Riscalá, E.C.; Catalán, C.A.N.; Díaz, J.G. & Herz, W. 1996b. "Sesquiterpene lactones and other constituents of *Stevia maimarensis* and *Synedrellopsis grisebachii*". *Phytochemistry* **42**, (3): 681-684.
- Herz, W. in *The Biology and Chemistry of the Compositae*, 1977. Chapter 11 (Heywood, V.H.; Harborne, J.B. and Turner, B.L. Eds., Academic Press.)
- Joseph-Nathan, P. 1997. «Nuevas anilaciones generadas por transposiciones moleculares a partir del esqueleto del longipineno». *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* **21**, (80): 321-334.
- Joseph-Nathan, P. & Cerda-García-Rojas, C.M. 1994. "Molecular rearrangements in longipinane derivatives". *Pure & Appl. Chem.* **66**, (10/11): 2361-2364.
- Joseph-Nathan, P.; Cerda, C.M.; del Río, R.E.; Román, L.U. & Hernández, J.D. 1986. "Conformation and absolute configuration of naturally occurring longipinene derivatives". *Journal of Natural Products* **49**, (6): 1053-1060.
- Joseph-Nathan, P.; Cerda, C.M.; Román, L.U. & Hernández, J.D. 1989. "Preparation and characterization of naturally occurring longipinene esters". *Journal of Natural Products* **52**, (3): 481-496.
- Joseph-Nathan, P.; Cerda-García-Rojas, C.M.; Castrejón, S.; Román, L.U. and Hernández, J.D. 1991. "High performance liquid chromatography and nuclear magnetic resonance analysis of longipinene derivatives from *Stevia subpubescens* var. *intermedia*". *Phytochemical Analysis* **2**, (2): 77-79.
- Joseph-Nathan, P.; Meléndez-Rodríguez, M.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Catalán, C.A.N. 1996. "Photochemical rearrangements of highly functionalized longipinene derivatives". *Tetrahedron Letters* **37**, (45): 8093-8096.
- Kaneda, N.; Kohda, H.; Yamasaki, K.; Tanaka, O. & Nishi, K. 1978. "Paniculosides-I—V, diterpene-glucosides from *Stevia ovata* Lag.". *Chem. Pharm. Bull.* **26**, (7): 2266-2267.
- Keil, D.J. & Stuessy, T.F. 1975. "Chromosome counts of Compositae from the United States, Mexico and Guatemala". *Rhodora* **77**, 171-195.
- King, R.M. & Robinson, H. 1967. "Multiple pollen forms in two species of genus *Stevia* (Compositae)". *Sida* **3**, 165-169.
- King, R.M. & Robinson, H. 1987. "The genera of the Eupatorieae (Asteraceae)". Monographs in systematic botany from the Missouri Botanical Garden.
- King, R.M.; Kyhos, D.W.; Powell, A.M.; Raven, P.H. and Robinson, H. 1976. "Chromosome numbers in Compositae, XIII. Eupatorieae". *Ann. Missouri Bot. Gard.* **63**, 862-888.
- Kinghorn, A.D.; Soejarto, D.D.; Nanayakkara, N.P.D.; Compadre, C.M.; Makapugay, H.C.; Hovanec-Brown, J.M.; Medon, P.J. & Kamath, S.K. 1984. "A phytochemical screening procedure for sweet ent-karene in the genus *Stevia*". *Journal of Natural Products* **47**, (3): 439-444.
- Kobayashi, M.; Horikawa, S.; Degrandi, I.H.; Ueno, J. & Mitsuhashi, H. 1977. "Dulcoside A and B, new diterpene glycosides from *Stevia rebaudiana*". *Phytochemistry* **16**, (9): 1405-1408.
- Kohda, H.; Kasai, R.; Yamasaki, K.; Murakami, K. & Tanaka, O. 1976a. "New sweet diterpene glucosides from *Stevia rebaudiana*". *Phytochemistry* **15**, (6): 981-983.
- Kohda, H.; Tanaka, O. & Nishi, K. 1976b. "Diterpene glycosides of *Stevia paniculata* Lag.: structure of aglycones". *Chem. Pharm. Bull.* **24**, (5): 1040-1044.
- Kohda, H.; Yamasaki, K.; Tanaka, O. & Nishi, K. 1976c. "Methylripariochromene A from *Stevia serrata*". *Phytochemistry* **15**, (5): 846-847.
- Martelli, A.; Frattini, C. & Chialva, F. 1985. "Unusual essential oils with aromatic properties-I. Volatile components of *Stevia rebaudiana* Bertoni". *Flavour and Fragrance Journal* **1**, (1): 3-7.
- Martínez V.M.; Muñoz-Zamora, A. & Joseph-Nathan, P. 1988. "Conformational analysis of achillin and leukodin". *Journal of Natural Products* **51**, (2): 221-228.
- Martínez-Vázquez, M.; Gallegos, R.E. & Joseph-Nathan, P. 1990. "Eudesmanolides from *Stevia aff. tomentosum*". *Phytochemistry* **29**, (5): 1689-1690.
- Mata, R.; Rodríguez, V.; Pereda-Miranda, R.; Bye, R. & Linares, E. 1991. "A dammarane from *Stevia salicifolia*". *Phytochemistry* **30**, (11): 3822-3823.
- Mazzei Planas, G. & Kuc, J. 1968. "Contraceptive properties of *Stevia rebaudiana*". *Science* **162**, (3857): 1007.
- Mendonzo, M.E. & Seeligman, P. 1985. "Los flavonoides foliares en *Stevia mercedensis* Hieron.". *Lilloa XXXVI*, (2): 177-179.
- Oberti, J.C.; Gil, R.R.; Sosa, V.E. & Herz, W. 1986. "A guaianolide from *Stevia breviflora*". *Phytochemistry* **25**, (6): 1479-1480.

- Oberti, J.C.; Sosa, V.E.; Herz, W.; Prasad, J.S. & Goedken, V. L. 1983. "Crystal structure and stereochemistry of achalensolide, a new guaianolide from *Stevi achalensis*". *Journal of Organic Chemistry* **48**, (22): 4038-4043.
- Ortega, A.; Martínez, R. & García, C.L. 1980. "Los diterpenos de *Stevia salicifolia* Cav. estructura del stevinol y salicifoliol". *Revista Latinoamericana de Química* **11**, (1): 45-48.
- Ortega, A.; Morales, F.J. & Salmón, M. 1985. "Kaurenic acid derivatives from *Stevia eupatoria*". *Phytochemistry* **24**, (8): 1850-1852.
- Oshima, Y.; Saito, J. & Hikino, H. 1986. "Sterebins A, B, C, and D, bishorditerpenoids of *Stevia rebaudiana* leaves". *Tetrahedron* **42**, (23): 6443-6446.
- Oshima, Y.; Saito, J. & Hikino, H. 1988. "Sterebins E, F, G and H, diterpenoids of *Stevia rebaudiana* leaves". *Phytochemistry* **27**, (2): 624-626.
- Pezzuto, J.M.; Dhammika Nanayakkara, N.P. & Kinghorn, A.D. 1983. "Steviol, the aglycone of the commercial sweetening agent stevioside, is mutagenic". En AACR Abstracts. *Proc. Amer. Assoc. Cancer Res.* **24**, 83.
- Quijano, L.; Calderón, J.S.; Gómez, F.; Vega, J.L. & Ríos, T. 1982. "Diterpenes from *Stevia monardaefolia*". *Phytochemistry* **21**, (6): 1369-1371.
- Rajbhandari, A. & Roberts M.F. 1983. "The flavonoids of *Stevia rebaudiana*". *Journal of Natural Products* **46**, (1): 194-195.
- Rajbhandari, A. & Roberts, M.F. 1984. "Flavonoids of *Stevia nepetifolia*". *Journal of Natural Products* **47**, (3): 559-560.
- Rajbhandari, A. & Roberts, M.F. 1985a. "The flavonoids of *Stevi microchaeta*, *Stevia monardifolia* and *Stevia organoides*". *Journal of Natural Products* **48**, (3): 502-503.
- Rajbhandari, A. & Roberts M.F. 1985b. "The flavonoids of *Stevia cuzcoensis*, *Stevia galeopsidifolia*, *Stevia serrata* and *Stevia soratensis*". *Journal of Natural Products* **48**, (5): 858-859.
- Ríos, T.; Romo de Vivar, A. & Romo, J. 1967. "Stevin, a new pseudoguaianolide isolated from *Stevi rhombifolia* HBK". *Tetrahedron* **23**, (11): 4265-4269.
- Robinson, B.L. 1930. "The *Stevias* of North America". *Contr. Gray Herb.* n.s. **90**, 90-160.
- Robinson, B.L. 1932. "The *Stevias* of Perú". *Contr. Gray Herb.* n.s. **100**, 20-36.
- Román, L.U.; del Río, R.E.; Hernández, J.D.; Cerda, C.M.; Cervantes, D.; Castañeda, R. & Joseph-Nathan, P. 1985. "Structural and Stereochemical studies of naturally occurring longipinene derivatives". *Journal of Organic Chemistry* **50**, (21): 3965-3972.
- Román, L.U.; del Río, R.E.; Hernández, J.D.; Joseph-Nathan, P.; Zabel, V. & Watson, W.H. 1981. "Structure, chemistry and stereochemistry of rastevione. A sesquiterpenoid from the genus *Stevia*". *Tetrahedron* **37**, (16): 2769-2778.
- Román, L.U.; Hernández, J.D.; Castañeda, R.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1989. "Isolation and preparation of two longipinene derivatives from *Stevia subpubescens*". *Phytochemistry* **28**, (1): 265-268.
- Román, L.U.; Hernández, J.D.; Cerda-García-Rojas, C.M.; Domínguez-López, R.M. & Joseph-Nathan, P. 1992. "Molecular rearrangements in the longipinene series". *Journal of Natural Products* **55**, (5): 577-588.
- Román, L.U.; Hernández, J.D.; del Río, R.E. & Bucio, M.A. 1991. "Wagner-Meerwein rearrangements of longipinane derivatives". *Journal of Organic Chemistry* **56**, (5): 1938-1940.
- Román, L.U.; Loeza-Coria, M.; Hernández, J.D.; Cerda-García-Rojas, C.M.; Sánchez-Arreola, E. & Joseph-Nathan, P. 1993. "Preparation of a new longipinane derivatives from *Stevia serrata*". *Journal of Natural Products* **56**, (7): 1148-1152.
- Román, L.U.; Morán, G.; Hernández, J.D.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1995. "Longipinane derivatives from *Stevia viscida*". *Phytochemistry* **38**, (6): 1437-1439.
- Román, L.U.; Torres, J.M.; Reyes, R.; Hernández, J.D.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1995. "Em-kaurane glycoside from *Stevia subpubescens*". *Phytochemistry* **39**, (5): 1133-1137.
- Román, L.U.; Zepeda, L.G.; Morales, N.R.; Flores, S.; Hernández, J.D.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1996. "Mechanistic studies of the longipinane to arteagane rearrangement". *Journal of Natural Products* **59**, (4): 391-395.
- Román, L.U.; Zepeda, L.G.; Morales, N.R.; Hernández, J.D.; Cerda-García-Rojas, C.M. & Joseph-Nathan, P. 1995. "Molecular rearrangement of rastevione mesylate into arteagane derivatives". *Journal of Natural Products* **58**, (12): 1808-1816.
- Sakamoto, I.; Yamasaki, K. & Tanaka, O. 1977a. "Application of ¹³C NMR spectroscopy to chemistry of natural glycosides: rebaudioside-C, a new sweet diterpene glycoside of *Stevia rebaudiana*". *Chem. Pharm. Bull.* **25**, (4): 844-846.
- Sakamoto, I.; Yamasaki, K. & Tanaka, O. 1977b. "Application of ¹³C-NMR spectroscopy to chemistry of plant glycosides: rebaudiosides-D and -E, new sweet diterpene-glycosides of *Stevia rebaudiana* Bertoni". *Chem. Pharm. Bull.* **25**, (12): 3437-3439.
- Salmón, M.; Díaz, E. & Ortega, A. 1973. "Christinine, a new epoxyguaianolide from *Stevia serrata* Cav.". *Journal of Organic Chemistry* **38**, (9): 1759-1761.
- Salmón, M.; Díaz, E. & Ortega, A. 1977. "Epoxilactonas de *Stevia serrata* Cav.". *Revista Latinoamericana de Química* **8**, (4): 172-175.
- Salmón, M.; Ortega, A. & Díaz, E. 1975. "Structure and stereochemistry of a new germacrane sesquiterpene lactone". *Revista Latinoamericana de Química* **6**, (1): 45-48.
- Salmón, M.; Ortega, A.; García de la Mora, G. & Angeles, E. 1983. "A diterpenic acid from *Stevia lucida*". *Phytochemistry* **22**, (6): 1512-1513.
- Sánchez-Arreola, E.; Cerda-García-Rojas, C.M.; Joseph-Nathan, P.; Román, L.U. & Hernández, J.D. 1995. "Longipinene derivatives from *Stevia serrata*". *Phytochemistry* **39**, (4): 853-857.
- Schmeda-Hirschmann, G.; Zdero, C. & Bohlmann, F. 1986. "Melampolides and germacranolides from *Stevia amambayensis*". *Phytochemistry* **25**, (7): 1755-1756.
- Sholichin, M.; Yamasaki, K.; Miyama, R.; Yahara, S. & Tanaka, O. 1980. "Labdane-type diterpenes from *Stevia rebaudiana*". *Phytochemistry* **19**, (2): 326-327.

- Sigstad, E.E.; Catalán, C.A.N.; Gutiérrez, A.B.; Díaz, J.G.; Goedken, V.L. & Herz, W. 1991. "Guaianolides and germacranolides from *Stevia grisebachiana*". *Phytochemistry* **30**, (6): 1933.
- Sosa, V.E.; Gil, R.; Oberti, J.C.; Kulanthaivel, P. & Herz, W. 1985. "Sesquiterpene lactones and flavones from *Stevia procumbens*". *Journal of Natural Products* **48**, (2): 340-341.
- Sosa, V.E.; Oberti, J.C.; Gil, R.R.; Rúveda, E.A.; Goedken, V.L.; Gutiérrez, A.B. & Herz, W. 1989. "10-epideoxycumambrin B and other constituents of *Stevia yaconensis* var. *subeglandulosa*". *Phytochemistry* **28**, (7): 1925-1929.
- Sosa, V.E.; Oberti, J.C.; Prasad, J.S. & Herz, W. 1984. "Flavonoids and eupahakonenin B from *Stevia satureiaefolia*". *Phytochemistry* **23**, (7): 1515-1516.
- Torres-Valencia, J.M.; Cerda-García-Rojas, C.M. and Joseph-Nathan, P. 1995. "Preparation of (2*R*,3*S*)-(-) and (2*S*,3*R*)-(+)-2,3-epoxy-2-methylbutanoic acids and some of their esters". *Tetrahedron: Asymmetry* **6**, (7): 1611-1616.
- Torres-Valencia, J.M.; Cerda-García-Rojas, C.M. and Joseph-Nathan, P. 1998. "Enantioselective preparation of (2*R*,3*R*)-(+)- and (2*S*,3*S*)-(-)-2,3-epoxy-2-methylbutanoic acids and some derivatives". *Tetrahedron: Asymmetry* **9**, (5): 757-764.
- Torres-Valencia, J.M.; Cerda-García-Rojas, C.M.; Román, L.U.; Hernández, J.D. & Joseph-Nathan, P. 1998. "Absolute configuration of longipinenyl epoxyangelates from three *Stevia* species". *Phytochemistry*, in press.
- Vis, E. & Fletcher, H.G. 1957. "Stevioside. IV. Evidence that Stevioside is a sophoroside". *J. Amer. Chem. Soc.* **78**, (18): 4709-4710.
- Wollenweber, E. & Dietz, V.H. 1981. "Occurrence and distribution of free flavonoid aglycones in plants". *Phytochemistry* **20**, (5): 869-932.
- Yamasaki, K.; Kohda, H.; Kobayashi, T.; Kaneda, N.; Kasai, R.; Tanaka, O. & Nishi, K. 1977. "Application of ¹³C Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy to chemistry of glycosides: structures of paniculosides-I, -II, -III, -IV y -V, diterpene glucosides of *Stevia paniculata* Lag.". *Chem. Pharm. Bull.* **25**, (11): 2895-2899.
- Yamasaki, K.; Kohda, H.; Kobayashi, T.; Kasai, R. & Tanaka, O. 1976. "Structures of *Stevia* diterpene-glucosides: application of ¹³C NMR". *Tetrahedron Letters* **1976**, (13): 1005-1008.
- Zdero, C.; Bohlmann, F. & Niemeyer, H.M. 1991. "Guaianolides and other constituents from *Stevia* species". *Phytochemistry* **30**, (2): 693-695.
- Zdero, C.; Bohlmann, F. & Schmeda-Hirschmann, G. 1987. "Beyerene derivatives and other terpenoids from *Stevia aristata*". *Phytochemistry* **26**, (2): 463-466.
- Zdero, C.; Bohlmann, F.; King, R.M. & Robinson, H. 1988. "The first 12.8b-Germacrolide and other constituents from bolivian *Stevia* species". *Phytochemistry* **27**, (9): 2835-2842.

UNA NUEVA ESPECIE DE *ATELOPUS* A.M.C. DUMERIL & BIBRON 1841 (AMPHIBIA: BUFONIDAE) DE LA CORDILLERA CENTRAL COLOMBIANA

por

María Cristina Ardila-Robayo* & Pedro M. Ruiz-Carranza**

Resumen

Ardila-R. M. C. & P. M. Ruiz-C.: Una nueva especie de *Atelopus* A.M.C. Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) de la Cordillera Central colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22** (83): 281-285, 1998. ISSN 0370-3908.

Se describe y nombra una nueva especie de *Atelopus* del grupo *ignescens*, del subpáramo occidental del Páramo de Las Papas, Parque Natural Nacional Puracé, en el Departamento del Cauca.

Palabras claves. Amphibia, Anura, Bufonidae, *Atelopus*, nueva especie, taxonomía, Parque Nacional Natural Puracé, Colombia.

Abstract

A new species of the genus *Atelopus* group *ignescens* is named and described from the subpáramo of the Páramo de las Papas, Parque Natural Nacional Puracé, Cauca.

Key words. Amphibia, Anura, Bufonidae, *Atelopus*, nueva especie, taxonomía, Parque Nacional Natural Puracé, Colombia.

Introducción

Estudio taxonómico de las colecciones batracológicas del Instituto de Ciencias Naturales (ICN) dio como resultado el hallazgo de una nueva especie de *Atelopus*, Anura, Bufonidae que nos proponemos nominar.

Atelopus angelito sp.nov. (Figs. 1-4)

Holótipo. Macho adulto coleccionado por *Miguel Angel Barrera R.*, abril 15 de 1993, depositada en la colección batracológica del Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, No.ICN 33408.

Localidad típica. COLOMBIA, Departamento del Cauca, Municipio de San Sebastián, Inspección de policía Valencia, ca Km.5-6 por camino de herradura de Va-

* Profesor Asociado.

** Profesor Especial, Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Apartado 7495, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.



Figura 1. *Atelopus angelito* sp.nov., holótipo ICN 33408, macho adulto LRU= 34.26mm.

lencia a Quinchana, ca. 1° 51' latitud N, 76° 47' longitud W de Greenwich, 2900m - 3000m

Paratopótipos. Ejemplares adultos: machos ICN 33407, 33410-12, hembra ICN 33413, juveniles ICN 33414-5, coleccionados con el holótipo; macho IAVH

(Instituto Alexander von Humboldt) 6497, coleccionado por *J. Rubiano*, abril 12 de 1995.

Etimología. Dedicamos esta especie al Biólogo y amigo Miguel Angel Barrera R. quien siguiendo cóndores encontró la serie típica.

Diagnosis. Una especie del género *Atelopus* reconocible por la siguiente combinación de caracteres: 1) adultos de tamaño mediano, longitud rostro-urostilar 41.0mm en 1 hembra y hasta 34.8mm en 6 machos; 2) mano con fórmula falangeal 2-2-3-3- y palmeadura vestigial; 3) pie con fórmula falangeal 2-2-3-4-3, dedos I, II, V completamente palmeados, III con 1½ falanges libres internamente y IV con 2½ falanges libres; 4) miembros posteriores relativamente cortos; 5) rostro corto, redondo, algo proyectado por delante del borde anterior de la mandíbula; 6) tímpano, anillo timpánico, *ostia pharyngea* y *columella auris* ausentes. 7) piel gruesa, cabeza y tronco lisa, parte posterior del tronco con algunas verrugas, miembros anteriores y posteriores densamente cubiertos de verrugas sueltas o confluentes más bien pequeñas, superficies ventrales granulares, flancos con verrugas grandes, separadas; 8) color dorsal *in vivo* con fondo verde, con algunas manchas negro de tamaño variable; flancos negros con verrugas sueltas o confluentes blancas;

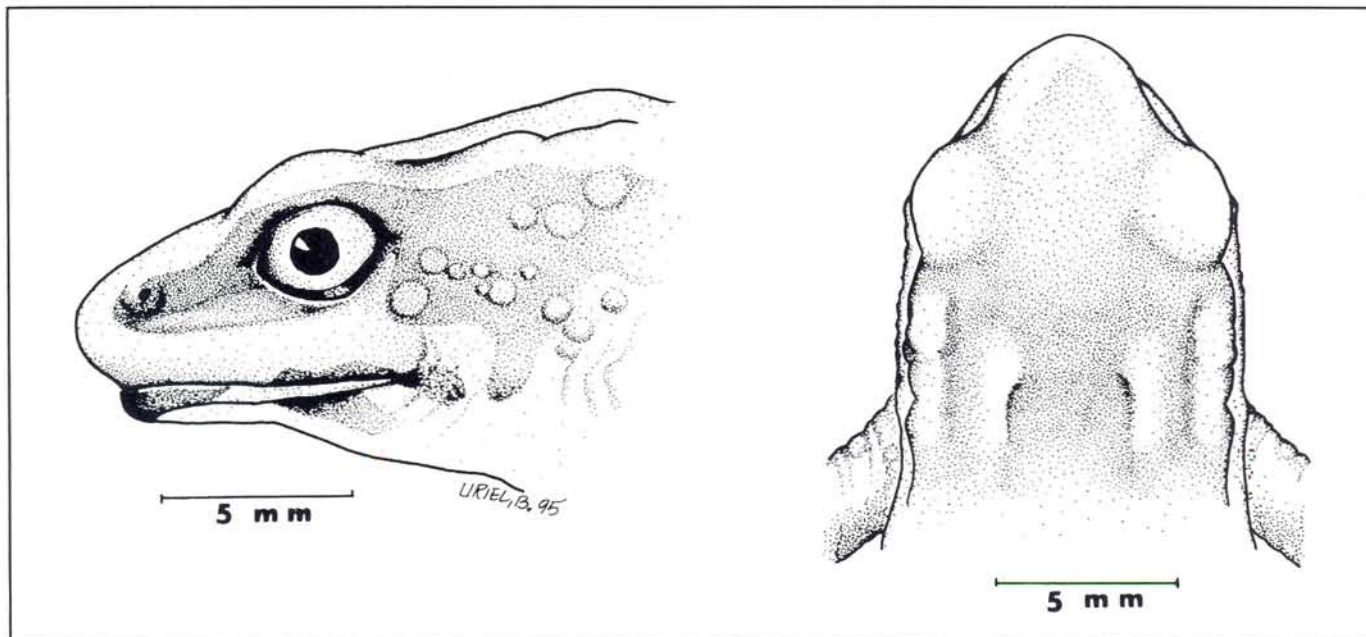


Figura 2. Aspectos lateral y dorsal de la cabeza de *Atelopus angelito* sp.nov., holótipo ICN 33408, macho adulto LRU= 34.26mm.

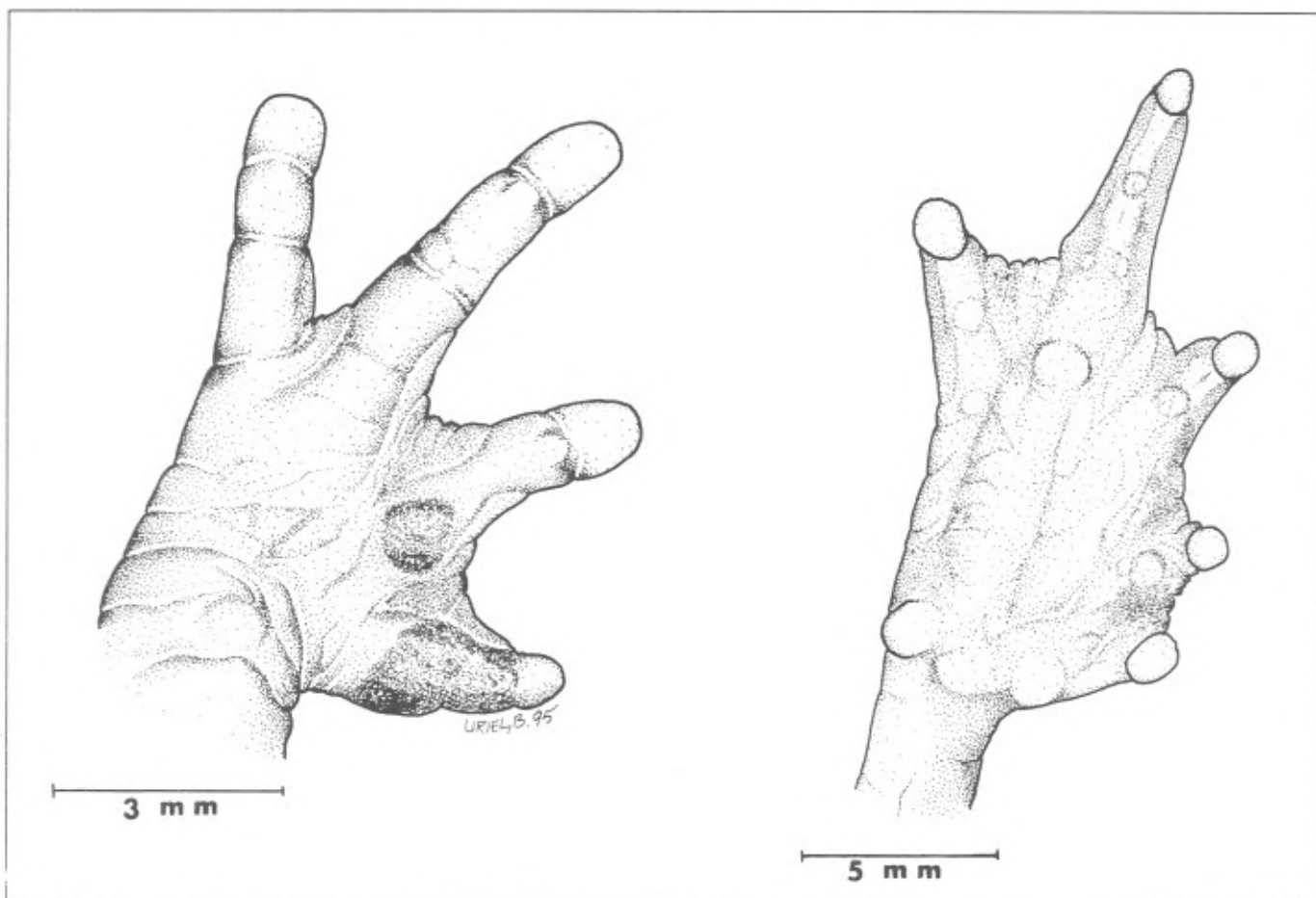


Figura 3. Aspecto dorsal de la mano izquierda y ventral del pie de *Atelopus angelito* sp.nov., holotipo ICN 33408, macho adulto LRU= 34.26mm.

ventralmente blanco o crema con manchas irregulares negras, palmas y plantas amarillo.

Atelopus angelito por sus caracteres estructurales y cromáticos es similar a *A. eusebianus* Rivero & Granados-D. 1993 de la región de Malvasá en el municipio de Totoró (Cauca), pero difiere por su tamaño algo mayor, por la mayor extensión de la palmeadura pedial, por el colorido ventral blanco con diseño de manchas alargadas de forma y tamaño irregular negras las cuales son pequeñas, escasas, cortas; los flancos troncales de *A. angelito* tienen algunas verrugas grandes, sueltas, planas, blancas sobre negro, en *A. eusebianus* son negras, muy abundantes, levantadas, pequeñas y coalescentes.

Descripción de la serie típica. Porte algo robusto; longitud rostro-urostilar 41.04 mm en una hembra y 32.99-34.8mm (\bar{x} =33.78mm, S=0.952, n=6) en machos,

la anchura cefálica equivale al 30.41% de la longitud rostro-urostilar en la hembra, al 28.77-33.02% (\bar{x} =31.20%, S=1.999, n=6) en machos, y al 94.69% de la longitud cefálica en la hembra y 89.17-98.0% (\bar{x} =93.67%, S=3.859, n=6) en machos; la longitud cefálica equivale al 32.11% de la longitud rostro urostilar en una hembra y al 32.22-34.4% (\bar{x} =33.28%, S=0.867, n=6) en machos. Rostro corto, redondeado entre las narinas, en vista dorsal ligeramente agudo, algo proyectado por delante de la mandíbula en machos y hembras. *Canthi rostrales* gruesos, bien definidos. Superficie dorsal de la cabeza plana a muy ligeramente cóncava a nivel de las narinas. Narinas externas muy poco prominentes, laterales, ovaladas, con aperturas dirigidas postero-lateralmente, situadas más cerca del extremo del rostro que del ángulo anterior de la órbita; la distancia ojo-rostro equivale al 61.54% del diámetro anteroposterior de la órbita en la hembra y al

46.87-63.33% (\bar{x} =59.16%, S =6.276, n =6) en machos, la distancia ojo-narina equivale al 87.18% del diámetro orbital en la hembra y al 75.0-93.1% (\bar{x} =87.27%, S =6.398, n =6) en machos. Región loreal excavada, bastante cóncava. Tímpano, anillo timpánico, *ostia pharyngea* y *columella auris* ausentes. Crestas supratimpánicas poco prominentes. Narinas internas ovaladas, pequeñas, ventralmente observables, perpendicularmente no están cubiertas por la lámina ósea palatal. Lengua espatulada, sin escotadura aparente, libre en su 1/3 posterior. Glándulas paratoideas muy poco evidenciables. Machos con hendiduras vocales pareadas, cortas, situadas entre la base de la lengua y la arcada mandibular, dirigidas posteriormente hacia los orificios de la trompa de eustaquio.

Antebrazo más fuerte, algo más robusto en los machos que en la hembra. Dedos manuales más bien redondos, cortos, los extremos con yemas pronunciadas, con palmeadura vestigial. *Pollex* en machos adultos con excrecencia nupcial como un parche algo abultado, cubierto por finas espínulas queratinizadas, recubre la superficie dorsal del dedo I. Superficies palmares con abundantes tubérculos bajos, pequeños, irregulares, palmar redondo de mediano tamaño, algo levantado. Membrana basal interdigital manual muy reducida.

Miembros posteriores cortos; longitud tibial equivalente al 36.9% de la longitud rostro-urostilar en la hembra y al 36.02-38.94% (\bar{x} =37.37%, S =1.722, n =6) en machos. Cuando los muslos permanecen perpendicular-

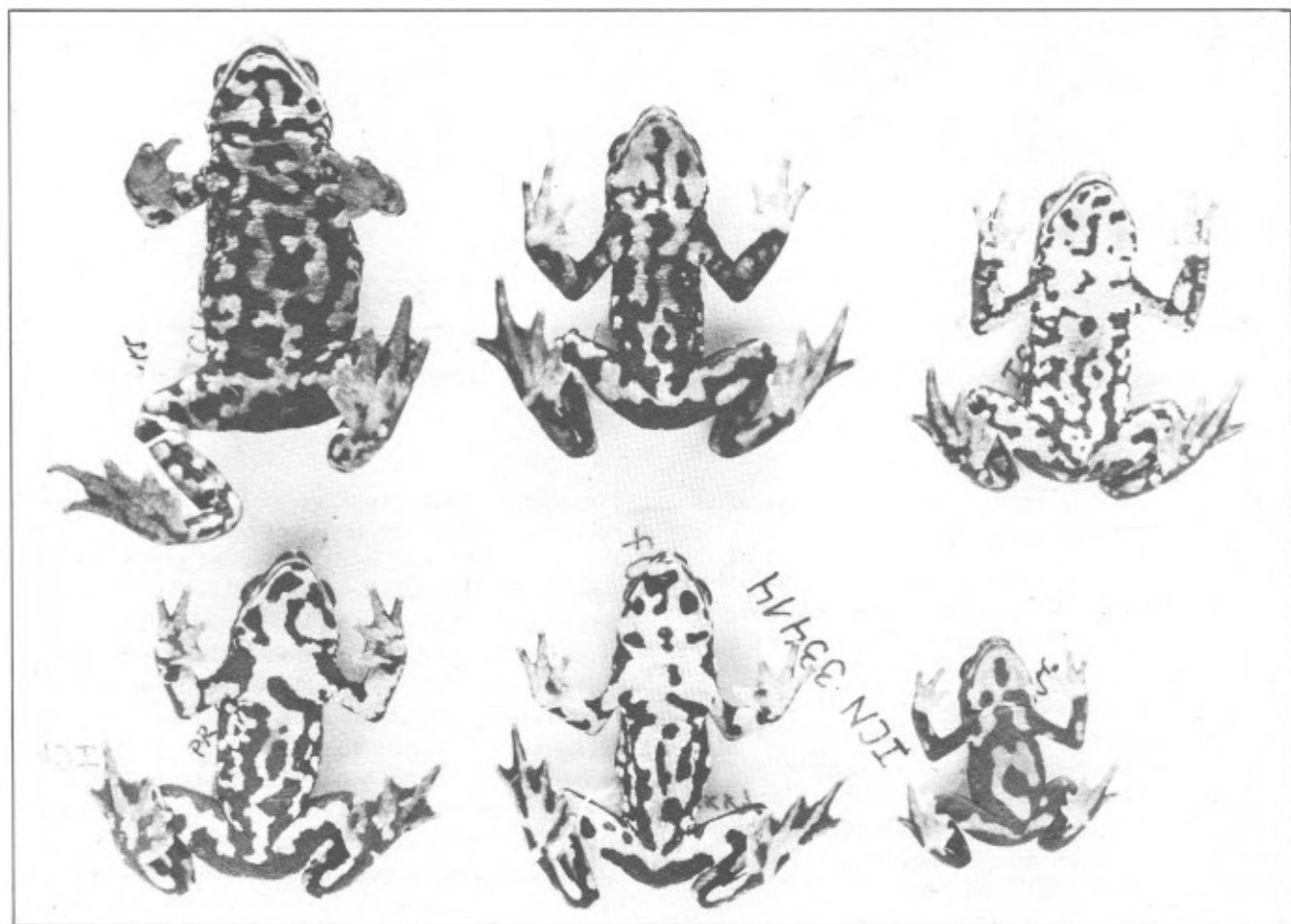


Figura 4. Aspecto del diseño ventral de *Atelopus angelito* sp. nov. (parte de la serie típica).

res al plano sagital del cuerpo y las piernas se flejan hacia atrás los talones distan de contactarse; cuando el miembro posterior se halla adpreso hacia adelante, el talón alcanza el nivel posterior de la cresta supratimpánica; cuando el miembro anterior se halla flexado hacia atrás y el posterior hacia adelante, codos y rodillas distan bastante de sobreponerse en machos y en hembras. Longitud femoral equivale al 37.86% de la longitud rostro-urostilar en la hembra y al 37.35-41.41% (\bar{x} =39.48%, S=1.462, n=6) en machos. Rodillas, talones y tarso sin pliegues; tubérculo metatarsal externo redondeado, algo levantado y algo más aplanado que el tubérculo metatarsal interno que es plano y redondo. Superficies plantares con abundantes tubérculos bajos, muy pequeños e irregulares. Pie de mediano tamaño, su longitud equivale al 40.25% de la longitud rostro-urostilar en la hembra y al 41.84-44.7% (\bar{x} =43.23%, S=1.302, n=6) en machos. Palmeaduras interdigitales gruesas, dedos I, II, V completamente palmeados, III con 1½ falanges libres internamente y IV con 2½ falanges libres.

Piel gruesa, cabeza y tronco lisa, parte posterior del tronco con algunas verrugas, miembros anteriores y posteriores densamente cubiertos de verrugas sueltas o confluentes más bien pequeñas, superficies ventrales granulares, flancos con verrugas grandes, planas.

Coloración *in vivo*. Dorsalmente la serie tiene coloración verde con pocos puntos, pecas y/o manchas irregulares negras. Los flancos troncales son negros con verrugas sueltas, planas blancas. Ventralmente son blanco cremoso con manchitas alargadas de forma y tamaño irregular, simples o coalescentes, negras; palmas y plantas amarillo. Iris amarillo verdoso con línea circular negra gruesa, paralela a la pupila.

Coloración en etanol 70%. Dorsalmente se torna gris medio con las manchas negras. La coloración amarilla se torna crema.

Dimensiones del holótipo (en mm). Longitud rostro-urostilar 34.26, longitud cefálica 11.08, anchura cefálica 9.88, longitud femoral 13.19, longitud tibial 12.34, longitud del pie 15.28, diámetro anteroposterior de la órbita 2.9, distancia ojo-narina 2.7, distancia ojo-extremo rostral 1.8, distancia entre narinas 3.9, anchura interorbital 3.8, anchura párpado superior 2.4.

Aspectos ecológicos y reproductivos. Los especímenes fueron coleccionados durante el día, en el piso, cerca a zona habitada.

Distribución. Conocida de la localidad típica.

Agradecimientos

Al Licenciado Uriel Buitrago quien elaboró las gráficas.

Bibliografía

- Cochran, D.M & C.J. GOIN, 1970. Frogs of Colombia. U.S. National Museum Bulletin 288, xii + 655pp.
- La Marca, E., 1983. A new frogs of the genus *Atelopus* (Anura: Bufonidae) from a venezuelan cloud forest. Cont. in Biol. and Geol., 54: 1-12.
- Peters, J. A., 1973. The frogs genus *Atelopus* in Ecuador (Anura: Bufonidae). Smithsonian Contr. Zool., 45: 1-49.
- Rivero, J.A., 1963. Five new species of *Atelopus* from Colombia, with notes on other forms from Colombia and Ecuador. Car. Jour. of Sci., 3 (2-3): 103-124.
- _____ & H. Granados-D., 1993. Nueva especie de *Atelopus* (Amphibia: Bufonidae) del Departamento del Cauca, Colombia. Car. Jour. of Sci., 29 (1-2): 12-17.
- Ruiz-C., P.M., J.I. Hernández-C. & M. C. Ardila-R., 1988. Una nueva especie de *Atelopus* A.M.C. Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) de la Cordillera Oriental de Colombia. Trianea (Act. Cient. Técn. INDERENA), 1: 57-69.

ADDITIONAL NEW SPECIES OF FROGS (GENUS *ELEUTHERODACTYLUS*) FROM CLOUD FORESTS OF EASTERN DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

Por

John D. Lynch & José Vicente Rueda-Almonacid¹

Resumen

Lynch, J. D. & J. V. Rueda-A. Additional new species of frogs (genus *Eleutherodactylus*) from cloud forests of eastern Departamento de Caldas, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(83): 287-298, 1998. ISSN: 0370-3908.

Se describen cuatro especies más de los bosques nublados altos en los municipios de Pensilvania y Samaná, Caldas. Con estas descripciones, 18 especies del género han sido registrado de esta región pequeña entre los 1800 y 2150 m.s.n.m.

Palabras claves: Amphibia, Leptodactylidae, especies nuevas, taxonomía

Abstract

Four additional species of the genus *Eleutherodactylus* are described from the high cloud forests of the municipalities of Pensilvania and Samaná, Caldas. With these descriptions, 18 species of the genus have been recorded from this small region lying between 1800 and 2150 meters.

Key words: Amphibia, Leptodactylidae, new species, taxonomy

Introduction

The field sites of the *ceja andina* of Pensilvania and Samaná, Caldas, are the richest available for eleutherodactyline frogs in spite of being at relatively high elevations (1800-2150 m). Lynch & Rueda-A (1997)

reported 14 species of the genus *Eleutherodactylus* from the forests at Puerto Suárez, Rancho Quemado, and El Estadero. Lynch (1997) pointed out that one of these species was actually undescribed and named *E. necopinus* for populations from the northern Cordillera Central previously called *E. ruizi*. The fourteen species are: *E. babax*, *E. cabrerai*, *E. dorsopictus*, *E. erythropleura*, *E. lichenoides*, *E. maculosus*, *E. mantipus*, *E. necopinus*, *E. permixtus*, *E. thectopternus*, *E. tribulosus*, *E. uranobates*, *E. veletis*, and *E. w-nigrum*. To these, four additional

¹ Laboratorio de anfibios, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá

species of the genus from these sites are described below. Several more remain to be described based on materials collected during fieldwork in 1992-1994.

Materials and Methods

Measurements and terminology follow **Lynch & Duellman** (1997). In the species accounts, we use the following abbreviations: E-N (distance from eye to nostril), HW (greatest width of head), IOD (interorbital distance), SVL (snout to vent length).

Accounts of Species

Eleutherodactylus actinolaimus sp. nov.

Holotype. ICN 39941, an adult female, one of a series collected 6 November 1993 by José Vicente Rueda, Nicolas Rueda, Fabio Quevedo & Humberto Piñedos (field number VR 4600).

Type-locality. COLOMBIA, Departamento de Caldas, Municipio de Samaná, corregimiento de Florencia, El Estadero, ca 6 km SW Florencia, 2000 m.s.n.m.

Paratopotypes. Males (ICN 39944-45, 39948-49, 39951, 39959, 39967) and females (ICN 39946, 39952-53, 39960) taken at El Estadero 9-12 Nov. 1993 and 9-11 June 1994.

Etymology. Greek (*aktinos*, meaning ray + *laimos*, meaning throat) in reference to the radiating lines on the throat.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum shagreen, that of venter areolate; ill-defined dorsolateral folds, sometimes as a series of well-separated subconical tubercles; (2) tympanum prominent, round, less than ½ eye length; (3) snout subacuminate in dorsal view, acutely rounded in lateral profile; snout long; (4) minute subconical tubercle on upper eyelid; no cranial crests; (5) vomerine odontophores prominent, oval or subtriangular in outline, separated; (6) males lack vocal slits and nuptial pads; testes white; (7) first finger shorter than second; disks round, largest on outer fingers; (8) lateral fringes of fingers narrow, crenulate towards base of fingers; (9) ulnar tubercles present; (10) calcar on heel; prominent series of outer tarsal tubercles; inner tarsal tubercle low; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, 5-6 times size of subconical outer; numerous supernumerary plantar tubercles; (12) toes with lateral keels, no webbing; toe V very long; large discs on toes, slightly smaller than those of fingers; (13) dorsal pattern polymorphic; usually with

thin cream interorbital bar, brown dorsal chevrons, canthal-supratympanic stripe, limb bars; labial bars less evident; venter cream with brown suffusion or reticulation; throat bearing brown lines radiating to lips from midline; posterior surfaces of thighs brown with numerous cream flecks; (14) adults moderate-sized, males 22.4-27.5 ($\bar{x} = 24.5 \pm 0.6$, $N = 7$) mm, females 32.0-36.2 ($\bar{x} = 33.9 \pm 0.8$, $N = 5$) mm SVL.

Eleutherodactylus actinolaimus closely resembles *E. permixtus* (appear to be juveniles) even to the point of having nearly the same dorsal color pattern variations. However, *E. actinolaimus* is a smaller frog than *E. permixtus* (for northern populations, males 23.2-31.4, $\bar{x} = 26.7 \pm 0.5$, females 34.3-45.4, $\bar{x} = 39.7 \pm 0.6$ mm SVL), has a conical heel tubercle (vs. a nonconical tubercle), subconical tubercle on top of upper eyelid (vs. rounded tubercle on posterolateral quarter of upper eyelid), more acuminate snout, series of ulnar tubercles (vs. an antebrachial tubercle only), dark rays on the throat (absent), and brown posterior surfaces of the thighs with cream flecks (vs. black with white spots in northern populations). To date, *E. permixtus* is not known to be sympatric with *E. actinolaimus* although it has been found a few hundred meters higher in this series of forests.

Description (proportions based on 7 males and 5 females). Head not as wide as body, longer than wide; HW 37.7-41.8 ($\bar{x} = 39.1 \pm 0.7$) % SVL in males, 38.6-40.1 ($\bar{x} = 39.5 \pm 0.3$) % in females; snout nearly acuminate in dorsal view, rounded in lateral profile, long; E-N 92.5-109.4 ($\bar{x} = 100.0 \pm 2.4$)% eye length in males, 100.0-114.3 ($\bar{x} = 108.4 \pm 2.7$) % in females; nostrils weakly protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis rounded but evident, straight; upper lips weakly flared in adult females; upper eyelid width 78.6-103.4 ($\bar{x} = 91.0 \pm 4.0$) % IOD in males, 76.2-96.9 ($\bar{x} = 86.7 \pm 4.0$) % in females; upper eyelid bearing subconical tubercle at top (Fig. 1) of eyelid (not located on posterolateral quarter as in many *Eleutherodactylus*); no cranial crests; tympanum round, its length 27.6-37.5 ($\bar{x} = 32.9 \pm 1.2$) % eye length in males, 29.5-42.9 ($\bar{x} = 37.6 \pm 2.4$) % in females, its uppermost edge concealed by thick supratympanic fold; one conical posttricial tubercle posteroventral to tympanum; indistinct subconical tubercles along ventral edge of lower jaw (Fig. 1); choanae round, well medial of palatal shelf of maxillary arch, small; vomerine odontophores median and posterior to choanae, oval to subtriangular in outline, each slightly larger than a choana, bearing a transverse row of 2-5 teeth, separated medially by distance equal 1/3-2/3 width of an odontophore; tongue round, its posterior

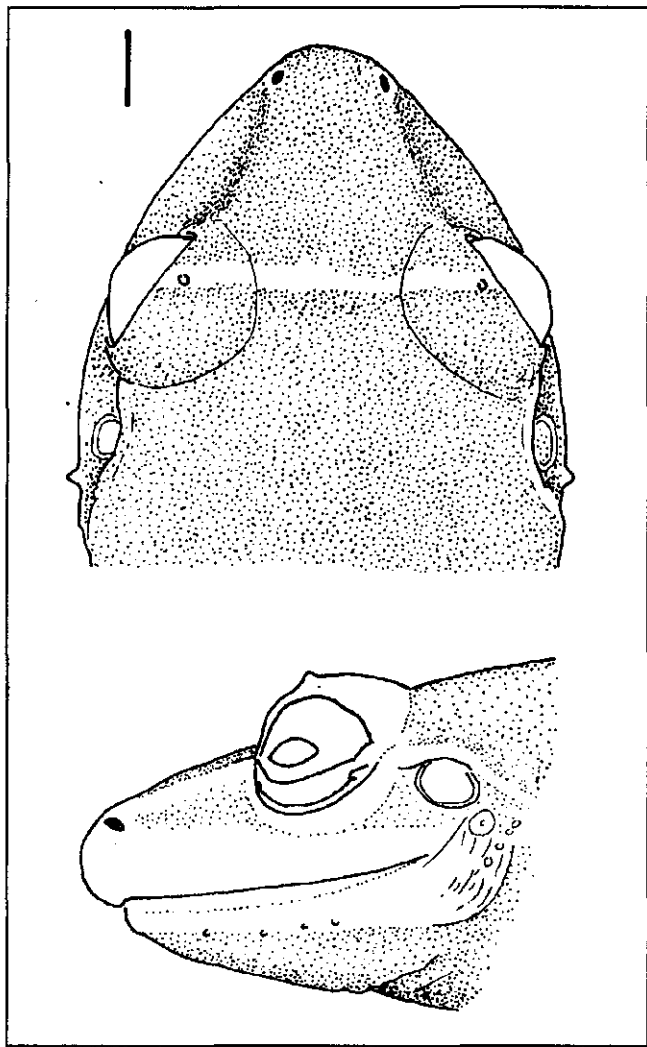


Figure 1. *Eleutherodactylus actinolaimus* sp. nov. (ICN 39961). Eyelid tubercles are on top of upper eyelid (contrast with Fig. 3). Scale equals 2 mm.

border not notched, posterior 1/6 not adherent to floor of mouth; males lack vocal slits.

Skin of dorsum fine shagreen, that of venter coarsely areolate (less so on throat); no dorsolateral folds; discoidal folds well anterior to groin; no anal sheath or perianal tubercles; arm slender; 2-3 low, subconical ulnar tubercles; hands large; palmar tubercle bifid, twice size of oval thenar; numerous nonpungent supernumerary palmar tubercles (Fig. 2); subarticular tubercles round, pungent, nonconical; fleshy lateral fringes on digits, including fringe along outer edge of palm; all fingers with expanded discs and broad pads; those of outer fingers

larger than those of inner fingers and broader than tympanum length; first finger shorter than second; males lack nuptial pads.

Heel bearing short calcar (Fig. 2); series of 3-4 subconical outer tarsal tubercles; inner edge of tarsus bearing elongate tubercle one inner metatarsal tubercle length proximal to inner metatarsal tubercle which is 2 1/2 times as long as wide and 4-6 times size of round, pungent outer metatarsal tubercle; numerous small supernumerary plantar tubercles plus larger ones at bases of toes I-IV; subarticular tubercles more pungent, round, nonconical (basal subarticular tubercles of toes

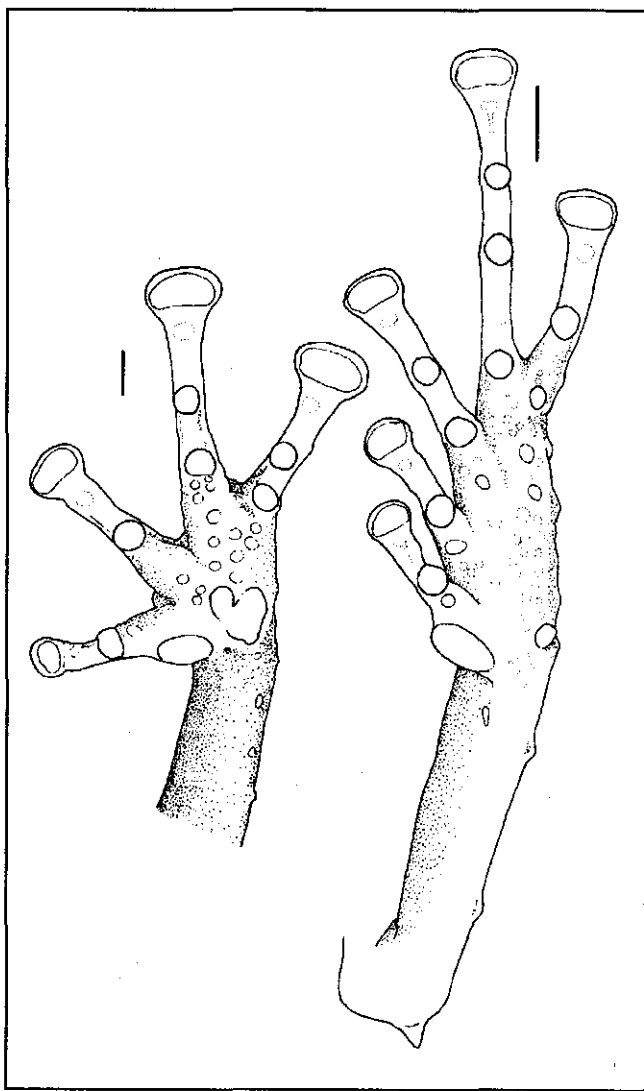


Figure 2. *Eleutherodactylus actinolaimus* sp. nov. Hand (ICN 39953) and foot (ICN 39961). Scale equals 2 mm.

IV-V smaller than others); lateral keels on toes; all toes bearing round discs and broad pads (smaller than those of fingers); tip of toe V reaches near distal edge of distal subarticular tubercle of toe IV, tip of III to distal edge of penultimate subarticular tubercle of toe IV; heels broadly overlapping when flexed hindlimbs are held perpendicular to sagittal plane; shank 54.1-62.8 ($\bar{x} = 57.2 \pm 1.3$) % SVL in males, 55.2-57.8 ($\bar{x} = 56.0 \pm 0.5$) % in females.

Dorsum tan or gray with brown markings (interorbital bar, canthal stripe, labial bars, dorsal chevrons, limb bars), sometimes edged with cream; pale interorbital bar coincident with tubercles on upper eyelids (Fig. 1); venter white with brown spots; throat white with brown markings forming a series of rays from center line to margins of lips; groin and posterior surfaces of thighs brown with cream flecks.

In life, dorsum pale olive-brown or greenish-yellow with dark green canthal-supratympanic stripe and interorbital bar; side of head yellowish with narrow brown labial bars; flanks bearing broad, olive-green, diagonal bars; groin and concealed surfaces of thighs rosy-yellow; posterior surfaces of thighs bearing tiny white (rarely yellow) spots; ventral surfaces yellow or rosy-yellow with reddish-brown lines on the throat and minute brown flecks over the venter; iris of females bright yellow, that of males red or orange (Pratt's ruby).

Measurements of holotype in mm. SVL 35.5, shank 19.6, HW 14.1, head length 14.1, chord of head length 15.3, upper eyelid width 3.7, IOD 3.9, tympanum length 1.8, eye length 4.2, E-N 4.8.

Natural history. Half the sample available consists of immature individuals. The collections were made in November and June. The November sample contains four juveniles whereas the June sample contains 13. Although the samples are small, because the November sample contained only three large juvenile females (25.6-29.5, $\bar{x} = 27.0$ mm SVL) whereas the June sample contains a broader range of sizes of juvenile females (17.5-29.0, $\bar{x} = 23.2 \pm 1.1$ mm SVL, N = 10), one might conclude seasonality in reproduction. However, the June sample also contains two young females (30.1-30.8 mm SVL) suggesting reproduction well before that (those) producing the smaller juvenile females. Tentatively, we view reproduction in *E. actinolaimus* as aseasonal.

Like *E. permixtus*, *E. actinolaimus* is pattern polymorphic but only three morphs are known (mottled, 26/30; striped, 1/30; and vertebral raphe, 3/30). Such an array of polymorphs is consistent with that for most

populations of *E. permixtus* (Lynch et al., 1994:25) except for the abundance of the vertebral raphe morph.

The type-locality is found in the transition zone between the temperate and cold levels of this Andean slope where remnants of subandean forests are permanently fog-shrouded and the annual precipitation is greater than 4000 mm. The canopy of the forests reaches 15-20 meters and the trees have straight trunks with smooth bark covered with many epiphytes, mosses, and bromeliads. *Eleutherodactylus actinolaimus* is a relatively abundant species on low vegetation (below 1.5 m above the ground) in zones of dense secondary forest and along forested streams.

Referred specimens (juveniles). Municipio Samaná: Topotypes (ICN 39942-43, 39947, 39950, 39954-58, 39961-66, 39968). Rancho Quemado, 1940 m. (ICN 32287, 32295).

Eleutherodactylus factiosus sp. nov.

Holotype. ICN 40030, an adult female, one of a series collected 9 June 1994 by José Vicente Rueda, Nicolas Rueda, Fabio Quevedo & Humberto Piñedos (field number VR 4542).

Type-locality. COLOMBIA, Departamento de Caldas, Municipio de Samaná, corregimiento de Florencia, El Estadero, ca 6 km SW Florencia, 2000 m.s.n.m.

Paratopotypes. Males (ICN 40031-40, 40047-50, 40066, 40071-74, 40076, 40080, 40083-94) and females (ICN 40044-46, 40053, 40055, 40058, 40068, 40077-79) collected 6-12 Nov. 1993. Taken with holotype, males (ICN 40106-13, 40115-18, 40135-49, 40153) and females (ICN 40096-97, 40126-30).

Paratype. Male (ICN 40158) taken in municipio Pensilvania, Km 24, carretera Pensilvania-Arboleda, "Puerto Suárez", 2000-2150 m.

Etymology. Latin (*factiosus*) meaning usually given to contention or forming parties, used in reference to the striking sexual dimorphism in the coloration on the flanks.

Diagnosis. (1) Skin very fine shagreen dorsally, that of venter areolate; indistinct and incomplete dorsolateral folds from scapula to sacrum; (2) tympanum prominent, round; (3) snout subacuminate in dorsal view, rounded in lateral profile; canthus rostralis sharp, slightly convex; (4) minute tubercle on upper eyelid; no cranial crests; (5) vomerine odontophores oblique, elevated, widely separated; (6) males lack vocal slits; nuptial pads present;

testes white; (7) first finger shorter than second; round discs on fingers, largest on fingers III-IV; (8) fingers bearing narrow lateral keels; (9) ulnar tubercles nonconical; (10) minute tubercle on heel, none on outer tarsus; inner tarsal fold short, ending in tubercle; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, 6-8 times size of subconical outer; numerous supernumerary plantar tubercles; (12) toes bearing lateral keels, no webbing, large round discs (smaller than those of fingers); toe V very long; (13) side of head dark with white spots along lip; dorsal pattern poorly developed, venter cream with brown flecking, most intense on throat; posterior surfaces of thighs brown with cream flecks; males have large pale area edged in brown on posterior flank/groin; females have diffuse pale patch in groin (edges not well-defined); (14) males 17.9-21.8 ($\bar{x} = 20.1 \pm 0.2$, $N = 57$) mm, females 28.5-33.0 ($\bar{x} = 30.8 \pm 0.4$, $N = 19$) mm SVL.

Eleutherodactylus factiosus is a member of the subgenus *Eleutherodactylus* as diagnosed by Lynch & Duellman (1997) but is not obviously similar to any particular other species of the group. Very few other species of the genus have darkened faces (obscuring labial bars) and these pertain to other species groups.

Description (proportions based on 16 males and 16 females). Head wider than body, as long as wide; HW 37.2-40.8 ($\bar{x} = 38.8 \pm 0.2$) % SVL in males, 38.8-43.0 ($\bar{x} = 41.0 \pm 0.3$) % in females; snout subacuminate in dorsal view, rounded in lateral profile (Fig. 3), long; E-N 76.5-103.3 ($\bar{x} = 94.4 \pm 1.6$) % eye length in males, 95.4-110.3 ($\bar{x} = 104.6 \pm 1.1$) % in females; nostrils protuberant, directed laterally; canthus rostralis well-defined, sinuous; loreal region flat, sloping abruptly to lips; lips not flared; upper eyelid width 69.2-113.6 ($\bar{x} = 86.6 \pm 3.2$) % IOD in males,

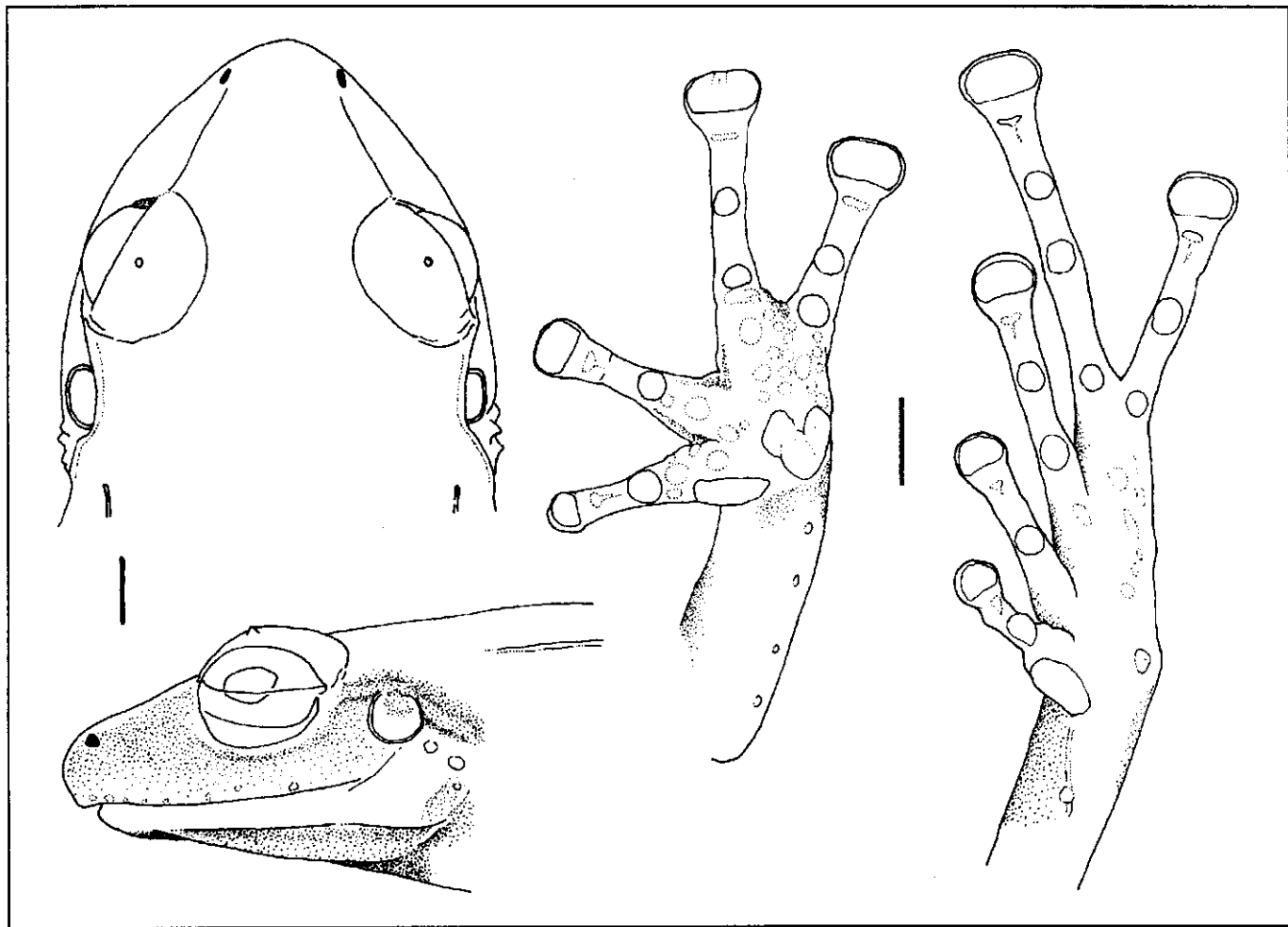


Figure 3. *Eleutherodactylus factiosus* sp. nov. Head in dorsal (ICN 40078) and lateral views (ICN 40068); Hand and foot (ICN 40078). Scale equals 2 mm.

67.5-82.5 ($\bar{x} = 75.7 \pm 1.4$) % in females; upper eyelid with low subconical tubercle slightly posterior to top of eyelid; no cranial crests; tympanum slightly higher than long, upper edge hidden by thin supratympanic fold; tympanum length 37.1-44.8 ($\bar{x} = 41.6 \pm 0.6$) % eye length in males, 31.0-45.0 ($\bar{x} = 39.4 \pm 0.9$) % in females; pair of subconical postrictal tubercles posteroventral to tympanum; no tubercles along margin of lower jaw; choanae subtriangular in outline, well medial of palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, elevated, oval in outline, each bearing slanted row of up to 5 teeth, separated medially by a distance equal $2/3$ width of an odontophore; tongue longer than broad, posterior edge with shallow notch, posterior $2/5$ not adherent to floor of mouth; males lack vocal slits.

Dorsum very fine shagreen with ill-defined, partial dorsolateral folds (middle of body only); no anal sheath nor perianal tubercles; throat smooth, venter coarsely areolate with discoidal folds well anterior to groin; arms slender; ulnar tubercles indistinct (present) except for antibrachial; hands large; thenar tubercle oval, much smaller than bifid palmar tubercle; supernumerary palmar tubercles prominent; subarticular tubercles round, subconical; lateral keels present on fingers, including one along outer edge of palm; fingers bearing broad round disks and ventral pads, those on fingers III-IV as large as tympanum and larger than others (Fig. 3); first finger slightly shorter than second; single white nuptial pad on thumb of male.

Small round tubercle on heel; no tubercles on outer edge of tarsus; fold-like tubercle with central nubbin on distal $1/3$ of inner edge of tarsus; inner metatarsal tubercle $2 \frac{1}{2}$ times as long as wide, more than 6 times size of round subconical outer metatarsal tubercle; numerous supernumerary plantar tubercles, those at bases of toes I-IV largest; subarticular tubercles round, nonconical, basal tubercles of toes IV-V smallest; toes bearing lateral keels, no webbing; all toes with round discs, slightly smaller than those of outer fingers; tip of toe III to middle or base of penultimate subarticular tubercle of toe IV, that of toe V to distal border of distal subarticular tubercle of toe IV (Fig. 3); heels broadly overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 54.1-58.8 ($\bar{x} = 56.5 \pm 0.3$) % SVL in males, 52.4-60.1 ($\bar{x} = 55.2 \pm 0.6$) % in females.

Dorsum brown with vague dorsal chevrons and interorbital bar; limb bars narrow, oblique; dark canthal-supratympanic stripe; labial bars ill-defined because side of head is dark brown; venter cream reticulated or mottled

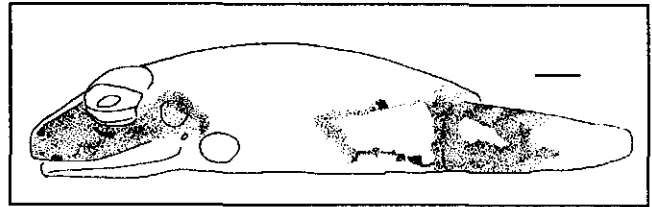


Figure 4. Lateral view of flank of male *Eleutherodactylus factiosus* sp. nov. showing color pattern. (ICN 40083). Scale equals 2 mm.

with brown; posterior surfaces of thighs brown; prominent white blotch in groin (Fig. 4), edged with dark brown (sometimes with smaller one on anterior surface of thighs), small white spots at upper edge of brown field on posterior surfaces of thighs, and pale line on underside of shank in males; anterior and posterior surface of thighs, underside of shank brown with extensive flecking of salmon in females; females also have a salmon patch in groin (edges not well-defined). Several specimens have pale blotches on the snout and smaller similar blotches on the knee and elbow.

In life, dorsum pale yellowish-brown to dark brown with black interorbital bar and spots forming dorsal chevron; side of head black; iris dark red; venter dirty white or gray, stippled with black; males have a yellow spot in the groin and lower flank; in females, these areas are orange or pink; posterior surfaces of thighs pale gray; the pale spots on the snout, knee, and elbow are beige in life.

Measurements of holotype in mm. SVL 32.7, shank 17.2, HW 13.5, head length 12.9, chord of head length 14.0, upper eyelid width 3.3, IOD 4.0, tympanum length 1.9, eye length 4.4, E-N 4.6.

Natural history. *Eleutherodactylus factiosus* is one of the most abundant species of *Eleutherodactylus* in the interiors of forested habitats, along the crests of ridges, and in the forest-edge ecotone. It is nocturnal and is found on low vegetation (less than 1.5 m above the forest floor), preferring the lowest strata of the vegetation. Several examples were found in the stomach contents of *Hemiphractus johnsoni*, a carnivorous hylid common in the area.

Juvenile males were found rarely (three, 14.6-17.5 mm SVL) whereas juvenile females were much more common (accounting for more than 60% of the specimens found in November and 40 % of those found in June). Juvenile females are as large as 26.3 mm SVL. Females showing the beginnings of convolutions of the oviducts were found

in June and November and measure 26.4–29.6 mm SVL). Reproduction appears to be aseasonal. Adult females are conspicuously less common than adult males during each collecting period, suggesting that there may be some habitat segregation as well in this species.

Referred specimens (juveniles). Municipio Pensilvania, Km 24, "Puerto Suárez", 2000–2150 m (ICN 40157). Municipio Samaná, Topotypes (ICN 40041–43, 40051–52, 40054, 40056–57, 40059–65, 40067, 40069–70, 40075, 40081–82, 40095, 40098–105, 40119–25, 40131–34, 40150–52, 40154–56), Rancho Quemado, 1940 m (ICN 32292–94), Samaná, carr. hacia la Cristalina, Km. 5.6, 1350 m (ICN 40159), carr. Samaná - vereda California, Km. 1.6–3.0 (ICN 40160).

Remarks. This small frog is strikingly sexually dimorphic in coloration. The yellow markings in males and the red (or reddish) markings in females recall *E. erythropleura* (Lynch, 1993). *Eleutherodactylus factiosus*, like *E. erythropleura*, is pattern polymorphic. Four polymorphs are known for *E. factiosus*: (A) striped dorsum (one male, four females), (B) pale dorsolateral stripes (five males, nine females), (C) mottled [but see below] (50 males, 41 females), and (E) dorsoconcolor pattern (five males, three females). The distributions of these four polymorphs among sexes appear to be the same. However, within morph (C), we recognized three variants — pale snout, plain (chevrons poorly developed or absent), and chevron. Of the 47 males scored, six had pale snouts, 29 had chevrons, and 12 were plain whereas among the 21 females scored, five had pale snouts, one had chevrons, and 15 were plain. Even if these variants represent arbitrary divisions of continuous variation, they demonstrate additional sexual dimorphism in color pattern.

Although most specimens have been taken in the forest remnants between about 1800 and 2000 m, two specimens were found at lower elevations where the forests have been nearly eliminated. The rarity of this frog near Samaná could be explained as either the rarity expected near a distributional limit or as a consequence of habitat alteration. In addition to the records from Depto. **Caldas**, specimens of this species were collected by JDL in January 1998 in Depto. **Antioquia**, municipio de Guatapé, vereda Santa Rita, Hacienda Montepinar, 1840–1890 m (6° 18' 16" N, 75° 08' 06" W).

Eleutherodactylus fetusus sp. nov.

Holotype. ICN 40003, an adult female, one of a series collected 3 November 1994 by José Vicente Rueda and others (field number VR 4872).

Type-locality. COLOMBIA, Departamento de Caldas, Municipio de Pensilvania, Km 24 de la carretera Pensilvania a Arboleda, sitio "Puerto Suárez", 2150 m.

Paratopotypes. Males (ICN 40015, 40020, 40022–23, 40028), females (ICN 40016–18, 40025).

Paratypes. Municipio Pensilvania: entre el Km 18 carretera Pensilvania-Arboleda hasta el Km 28 de la misma carretera, 2000–2650 m (ICN 40026–27, males). Municipio Samaná: El Estadero, 1800–2000 m (males, ICN 40005–06, 40010–14, female ICN 40008), El Estadero, 1850 m (female, ICN 40029).

Etymology. Latin (*fetusus*) meaning fertile, in reference to the very large testes in reproductively active males.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum finely shagreen with or without subconical warts on head, flanks, and lower back, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum small, higher than long; (3) snout rounded in dorsal and lateral profiles; canthus rostralis concave, not sharp; (4) small conical tubercles on posterior ½ of upper eyelid; no cranial crests; (5) vomerine odontophores triangular in outline, elevated, narrowly separated; (6) males lack vocal slits and nuptial pads; testes very large, white; (7) first finger shorter than second; broad discs on outer fingers; (8) fingers bearing lateral fringes; (9) series of ulnar tubercles, less distinct toward elbow; (10) small conical tubercles along inner and outer edges of tarsus and on heel; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 6 times size of round outer; supernumerary plantar tubercles at bases of toes; (12) toes bearing lateral keels, no webbing, and large discs (smaller than those of fingers); toe V very long; (13) dorsum brown with black or olive with brown markings; venter cream to nearly black; concealed surfaces of limbs black with occasional cream flecks; (14) adults moderate-sized, males 24.5–30.2 ($\bar{x} = 28.9 \pm 0.6$, $N = 9$) mm, females 38.3–48.2 ($\bar{x} = 43.2 \pm 0.9$) mm SVL.

Description (proportions based on 9 males and 10 females). Head as broad as body, wider than long; HW 38.7–41.3 ($\bar{x} = 39.9 \pm 0.3$) % SVL in males, 37.6–44.9 ($\bar{x} = 40.0 \pm 0.6$) % in females; snout subacuminate in dorsal view, rounded in lateral profile; E–N 82.2–100.0 ($\bar{x} = 89.0 \pm 2.1$) % eye length in males, 83.9–104.0 ($\bar{x} = 91.4 \pm 1.8$) % in females; nostrils weakly protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis rounded, concave; loreal region concave, sloping gradually to weakly flared lips; upper eyelid bearing small conical tubercles (Fig. 5), its width 100.0–134.6 ($\bar{x} = 119.3 \pm 4.7$) % IOD in males, 90.5–126.8 ($\bar{x} = 109.6 \pm 3.7$) % in females; no cranial

crests; supratympanic fold obsolete, covering uppermost edge of tympanic annulus; tympanum higher than long, its length 22.0-29.3 ($\bar{x} = 25.5 \pm 0.9$) % eye length in males, 23.6-38.0 ($\bar{x} = 26.5 \pm 1.3$) % in females, separated from eye by twice its length, in shallow depression (Fig. 5); one subconical postrictal tubercle; choanae small, round, well medial of palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, oval to subtriangular in outline, narrowly separated medially, each bearing a transverse row of 4-6 teeth; tongue longer than wide, its posterior border lacking notch, posterior 1/3 not adherent to floor of mouth; males lack vocal slits.

Numerous small subconical tubercles on dorsum and flanks; skin of limbs bearing fewer such tubercles; no anal sheath nor perianal tubercles; skin of venter areolate, that

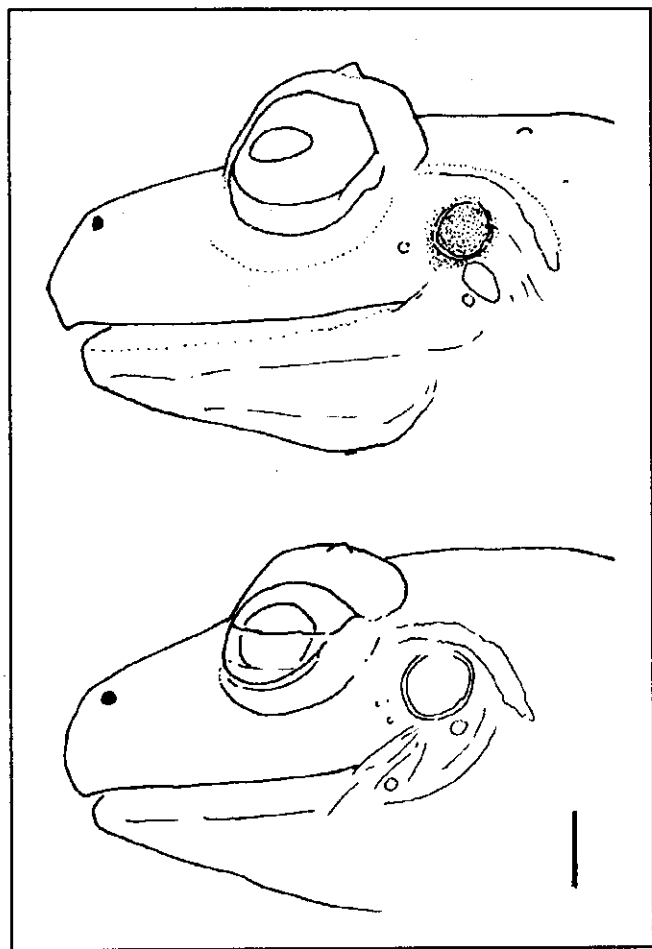


Figure 5. Side of head of *Eleutherodactylus fetosus* sp. nov. (ICN 40019) and *E. permixtus* (ICN vr5042A) showing difference in tympanum size. Scale equals 2 mm.

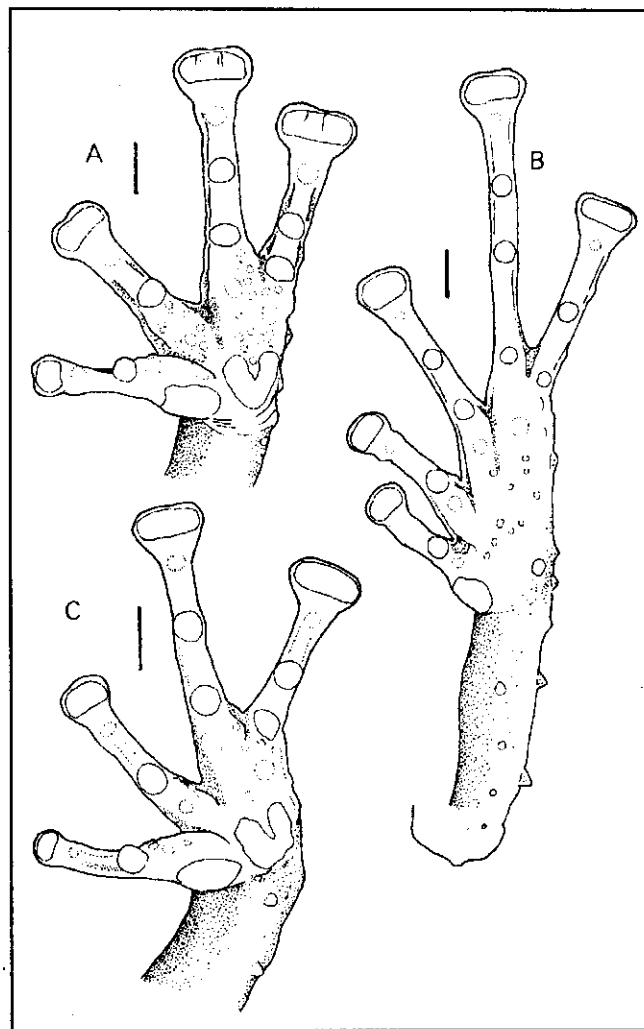


Figure 6. (A) Hand and (B) foot of *Eleutherodactylus fetosus* sp. nov. (ICN 40017). (C) Hand of *Eleutherodactylus torrenticola* sp. nov. (ICN 39998). Scale equals 2 mm.

of throat almost smooth; discoidal folds well anterior to groin; 3-4 ulnar tubercles, antebrachial largest; palmar tubercle bifid, much larger than oval thenar; numerous supernumerary palmar tubercles (Fig. 6), few prominent; subarticular tubercles round, elevated, nonconical; fingers bearing lateral keels or fringes; discs round, expanded, much larger than tympanum, that on thumb much smaller than others but obviously expanded; first finger slightly shorter than second; males lack nuptial pads.

Minute subconical tubercle on heel, part of a continuous series of similar tubercles along outer edge of tarsus; less distinct row along inner edge of tarsus, the most distal most prominent (Fig. 6); inner metatarsal

tubercle 2 ½ times as long as wide, about 8-10 times size of subconical outer metatarsal tubercle; numerous supernumerary plantar tubercles, arranged in rows corresponding to metatarsals; subarticular tubercles round, nonconical, smallest at bases of toes IV-V; toes bearing weak lateral fringes (or keels), no webbing; toe discs round, smaller than those of outer fingers; tip of toe V reaches distal edge of distal subarticular tubercle of toe IV, that of toe III reaches beyond distal border of penultimate subarticular tubercle of toe IV; heels broadly overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 49.0-56.7 (\bar{x} = 52.6 ± 0.8) % SVL in males, 47.7-53.7 (\bar{x} = 51.1 ± 0.6) % in females.

Dorsum brown to olive with darker markings, pattern diffuse; pale area just anterior to interorbital bar; canthal stripe and labial bars present with hint of pale labial stripe; slanted brown bars on flanks coalescing ventrally; limb bars as wide as interspaces, weakly oblique on shanks; venter darker (nearly black) than throat, all spotted or mottled with dark brown; groin, posterior surfaces of thighs, undersides of shanks black with sparse cream flecks.

In life, dorsum reddish-brown, dark brown, olive brown, or yellowish with a green tint and irregularly-shaped black spots (and interorbital bar) over the head and back and diagonal black bars on the flanks; labial bars brown; limb bars brown; groin, lower flanks, anterior and posterior surfaces of thighs black or sepia with minute cream or pale yellow spots (occasionally lacking); iris dark reddish brown; ventral coloration sexually dimorphic: in females, throat and chest pale yellow with reddish tint and brown or black wash; undersides of limbs black with slight rose wash; in males, throat and chest reddish with black markings; belly much blacker in males than in females.

Measurements of holotype in mm. SVL 48.2, shank 23.0, HW 18.1, head length 16.2, chord of head length 18.0, upper eyelid width 3.1, IOD 4.3, tympanum length 1.5, eye length 6.0, E-N 5.2.

Referred specimens (juveniles). Municipio Pensilvania, Topotypes. ICN 40019, 40021, 40024); Km 18 hacia Arboleda, 2000-2450 m (ICN 36555). Municipio Samaná: El Estadero (ICN 40007, 40009); Rancho Quemado, 1940 m (ICN 32285-86, 32296-98).

Natural history. Males were encountered on low vegetation near streams as were occasional females. Most females were found on rocks in the stream, a habitat noted by the collectors as being the habitat of *Cryptobatrachus*. In the field, this species was confused with *E. cabrerai*

and with *E. veletis*, two species sharing the "camouflaged" color pattern. Juvenile females having straight oviducts with no enlargement are 24.6-34.2 mm SVL. Nine males (ICN 32297-98, 40011-12, 40015, 40020, 40022-23, 40028) have large testes (4.3-6.5 mm long) whereas five males (ICN 40005-06, 40010, 40013-14) have small testes (0.7-1.7 mm long). A single male (ICN 40005) has two small testes whereas the remaining males appear to have the testes fused medially to form a flattened oval (5.7 X 4.1 X 2.0 mm in ICN 40015). In males having greatly enlarged testes, the testis is displaced to the right (by the stomach). The males with small testes are 24.7-26.8 mm SVL whereas those with large testes are 25.4-30.3 mm SVL. The small testes males were collected in Oct. 1993 (ICN 40005-06) and June 1994 (ICN 40010, 40013-14). Those having large testes were collected in June 1994 (ICN 40011-12) and November 1994 (others). If testis size is an indication of sexual activity, it does not correlate tightly with either size or date of collection.

***Eleutherodactylus torrenticola* sp. nov.**

Holotype. ICN 39969, an adult female, one of a series collected 6 November 1993 by José Vicente Rueda, Nicolas Rueda, Fabio Quevedo & Humberto Piñedos (field number VR 3961).

Type-locality. COLOMBIA, Departamento de Caldas, Municipio de Samaná, corregimiento de Florencia, El Estadero, ca 6 km SW Florencia, 1800-2000 m.s.n.m.

Paratopotypes. Males ICN 39970, 39974, 39976-77, 39980, 39984-85, 40001-02, females 39994, 39996.

Paratypes. Municipio Pensilvania, Km 24 de la carretera Pensilvania-Arboleda, quebrada Las Mercedes, 2000-2150 m (males, ICN 39991-92, female ICN 39999). Km 18 hacia Arboleda, 2000-2450 m (Male 36558, female ICN 36557).

Etymology. Latin (*torrentis*) + (*cola*), living in a swift stream; used in reference to the the microhabitat.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum tuberculate in males, more smooth in females, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum small, situated in depression; (3) snout subacuminate in dorsal view, rounded in profile; canthus rostralis evident, not sharp; lips weakly flared in females; (4) conical tubercle on posterior part of upper eyelid; cranial crests prominent in females; (5) vomerine odontophores large, triangular in outline, nearly in median contact; (6) males lack vocal slits; nuptial pads present; testes white; (7) fingers long, I shorter than II,

discs round to truncate, largest on outer fingers; (8) fingers bearing prominent lateral fringes; (9) ulnar tubercles subconical; (10) small subconical tubercles on heel and outer edge of tarsus; small round tubercle just proximal to inner metatarsal tubercle on inner edge of tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 6-8 times size of nonconical outer; supernumerary plantar tubercles at bases of toes; (12) toes bearing lateral fringes, no webbing, large discs (smaller than those of fingers); tip of toe V reaches base of distal subarticular tubercle of toe IV; (13) dorsum gray-brown with black flecks and rust postocular folds; flanks prominently banded black over cream; thighs and tarsi boldly banded black over rusty cream; venter cream with black reticulation, throat sometimes with traces of Y-shaped figure; (14) adults large, males 26.2-32.1 ($\bar{x} = 29.1 \pm 0.5$, $N = 12$) mm, females 39.7-52.6 ($\bar{x} = 44.3 \pm 2.2$, $N = 6$) mm SVL.

Two features (iris color in life and the cranial crests) suggest that *E. torrenticola* is the nearest relative of the recently described (Lynch, 1996) *E. deinops* (characters in parentheses). The two are readily distinguished because the tympanum is smaller and in a depression in *E. torrenticola* (23-40% eye length, not in a depression), males lack vocal slits (present), the ulnar tubercles are prominent and subconical (nonconical), there is a round inner tarsal tubercle (low fold), and the bold barring on the thighs (none).

Description (proportions based on 12 males and 6 females). Head narrower than body, as wide as long; HW 39.7-43.2 ($\bar{x} = 41.2 \pm 0.3$) % SVL in males, 40.9-42.6 ($\bar{x} = 41.7 \pm 0.3$) % in females; snout subacuminate in dorsal view, rounded in lateral profile, short; E-N 72.2-100.0 ($\bar{x} = 86.6 \pm 2.2$) % eye length in males, 84.2-110.4 ($\bar{x} = 95.9 \pm 3.7$) % in females; nostrils weakly protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis rounded; loreal region concave, sloping gradually to flared lips; subconical tubercle on upper eyelid; upper eyelid width 100.0-150.2 ($\bar{x} = 129.0 \pm 4.6$) % IOD in males, 97.4-107.3 ($\bar{x} = 101.9 \pm 1.7$) % in females; prominent cranial crests in females; tympanum small, its length 16.7-29.2 ($\bar{x} = 23.1 \pm 1.1$) % eye length in males, 20.8-33.3 ($\bar{x} = 26.8 \pm 2.2$) % in females, higher than long, in depression (Fig. 7); subconical tubercle in front of tympanum; postrictal tubercles conical; faint tubercles along margin of lower jaw; upper edge of maxillary arch forming sharp ridge to angle of jaws; choanae small, well medial to palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, narrowly separated, massive, triangular in outline, each bearing 7-8 teeth in weakly slanted row (median end of row more anterior);

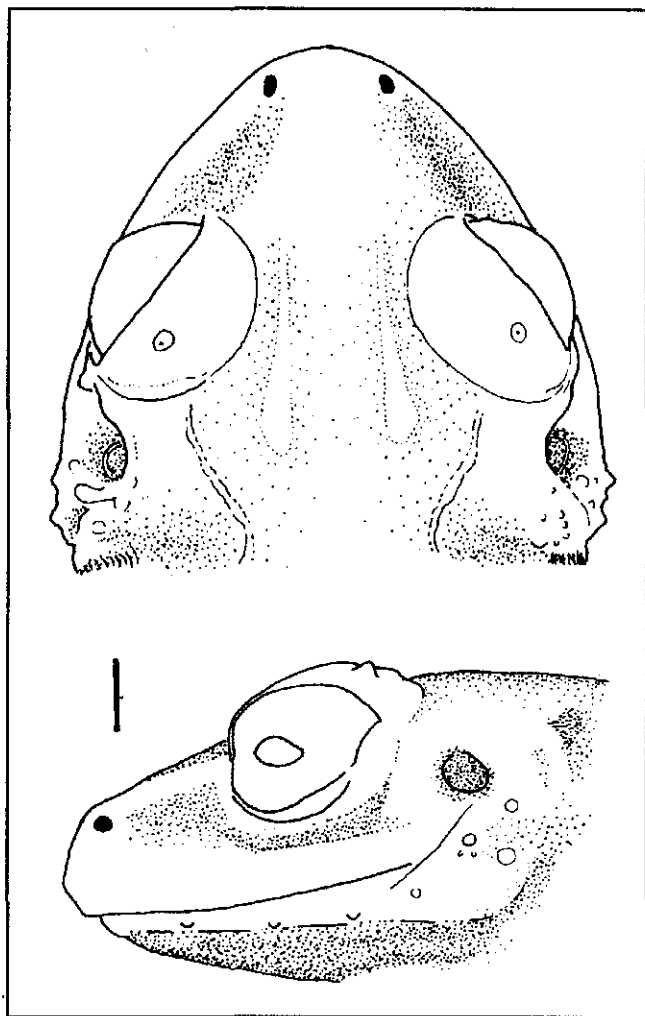


Figure 7. *Eleutherodactylus torrenticola* sp. nov. Head (ICN 39998).
Scale equals 2 mm.

tongue round, bearing shallow notch along posterior border, posterior 1/3 not adherent to floor of mouth; males lack vocal slits.

Skin of dorsum smooth in females with scattered nonconical tubercles, short postocular folds, and indefinite short folds in dorsolateral position; skin of dorsum of males more tuberculate; flanks and venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; no anal sheath nor perianal tubercles; 3-4 subconical ulnar tubercles; thenar tubercle oval, 1/2 size of bifid palmar; numerous supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles more pungent, round; fingers bearing lateral fringes including traces as tubercles along outside of palm; fingers long, slender, bearing expanded, round or

truncate, discs, largest on outer fingers; first finger slightly shorter than second (Fig. 6); nuptial pad cream.

Small conical tubercle on heel, 3-4 minute tubercles along outer edge of tarsus, one inner tarsal tubercle; inner metatarsal tubercle 2 ¼ times as long as wide, about 6 times size of subconical outer; supernumerary plantar tubercles at bases of toes I-IV; subarticular tubercles round, pungent, nonconical (smallest at bases of toes IV-V); toes bearing narrow lateral fringes, no webbing, round discs (slightly smaller than those of outer fingers); tip of toe III to distal edge of penultimate subarticular tubercle of toes IV, that of toe V to middle or distal edge of distal subarticular tubercle of toe IV; heels broadly overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 54.4-62.6 ($\bar{x} = 57.4 \pm 0.7$) % SVL in males, 52.5-59.8 ($\bar{x} = 56.4 \pm 0.3$) % in females.

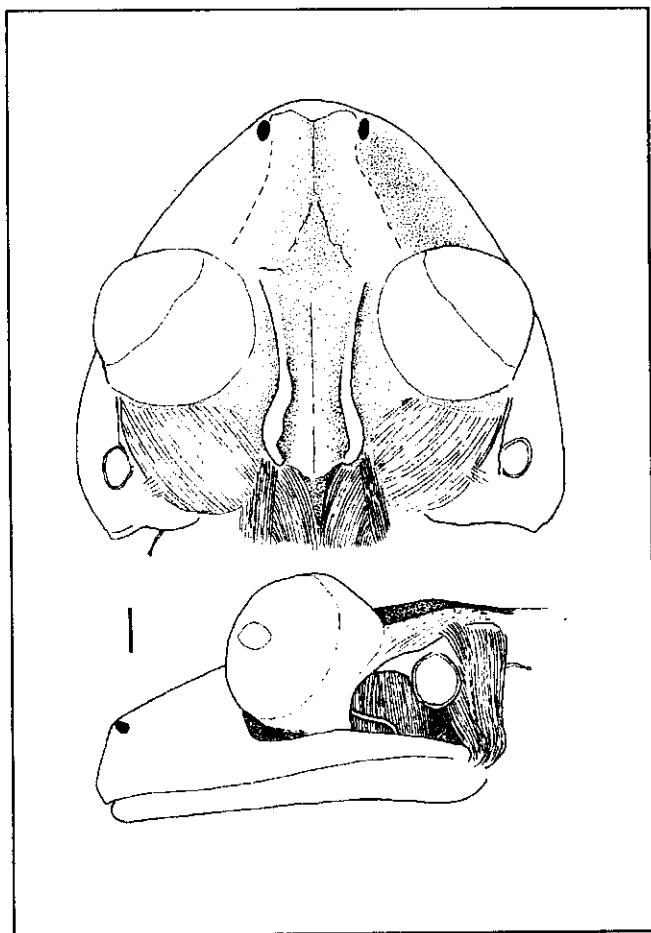


Figure 8. Skinned head of *Eleutherodactylus torrenticola* sp. nov. (ICN 39994). Scale equals 2 mm.

Dorsum brown with black flecks and cream postocular folds; black slanted bars (nearly vertical posteriorly) on flanks; black labial bars (or spots); tympanum black; limbs barred, least evident on shank; venter marbled brown on cream, some evidence of chevrons on chin; thighs prominently banded (anteriorly and posteriorly) as are underside of shanks and tops of tarsi and feet.

In life, dorsum brown (Raw Umber) or olive brown (Hair Brown) speckled in some individuals with cream; irregularly-shaped black spots scattered over dorsal surfaces; lips and limbs with diffuse brown bars; in females, flanks and hidden surfaces of limbs reddish-pink with black diagonal bars; in males, these surfaces are gray-white with black bars; ventral surfaces rose with brown flecking, especially on throat; iris lemon yellow with radiating black lines.

Measurements of holotype in mm. SVL 48.8, shank 26.3, HW 20.0, head length 18.6, chord of head length 19.3, upper eyelid width 5.4, IOD 5.2, tympanum length 2.0, eye length 6.7, E-N 6.1.

Natural history. *Eleutherodactylus torrenticola* is found on vegetation along broad streams and on their banks in areas covered by subandean forest fragments. The streams are exposed to sun during the day. During the dry season (December to March), these streams disappear or have their volumes reduced considerably. At the type-locality, the species is found along streams within the forest and is very scarce along the forest edge, defined by the activities of pasture clearing.

Remarks. The cranial crests are prominent and smooth (Fig. 8). The mandibular ramus of the trigeminal nerve passes lateral to the jaw adductors. The depressor mandibulae has a few fibers crossing the squamosal to insert on the aponeurosis over the adductor muscles. No fibers of the depressor mandibulae insert on the dorsal fascia (Fig. 8).

If we are correct in relating *E. torrenticola* and *E. deinops* (based on the curious radiating black lines of the iris and the relatively weak similarity in the form of the cranial crests), this pair of species provides an additional biogeographic connection between the western cordilleras (matching that for *E. necopinus* and *E. ruizi*, Lynch, 1997, and the suggestion that *E. lichenoides* is a near relative of three species from the Cordillera Occidental, *E. albericoi*, *E. diaphonus*, and *E. diogenes*, Lynch & Rueda-A., 1997).

Referred specimens (juveniles). Municipio Pensilvania, Km 24 carr. Pensilvania-Arboleda, sitio Puerto Suárez, 2000-2150 m (ICN 39988-90); carr. Pensilvania-Arboleda, entre el Km 18 y el Km 24, 2000-2650 m (ICN 39993). Municipio Samaná: Topotypes (ICN 39971-73, 39975, 39978-79, 39981-83, 39986-87, 39995, 39997-98).

Discussion

Eighteen species are now known (reported) from the forests of Florencia, Caldas. One of these (*E. w-nigrum*) is a biogeographic weed, distributed over most of the Andes of Colombia and Ecuador at elevations between 800 and 3200 m (Lynch, 1979). Five species (*E. babax*, *E. cabrerai*, *E. erythropleura*, *E. mantipus*, and *E. thectopternus*) are species known from the Cordillera Occidental and the Cordillera Central without known connecting populations (i.e., the distributions appear to be dichopatric, broken by the lowland and arid Cauca valley). The remaining twelve species are endemic to the northern part of the Cordillera Central (and only *E. actinolaimus*, *E. festosus*, *E. lichenoides*, *E. torrenticola*, *E. tribulosus*, and *E. veletis* remain "endemic" to the forests of Florencia). Perhaps most significant about the distributions is that *E. necopinus* is the sister species to *E. ruizi* of the Cordillera Occidental, *E. torrenticola* appears to be the sister species of *E. deinops*, also endemic to the Cordillera Occidental, and *E. lichenoides* is the only species of the *E. diaphonus* species group found outside of the Cordillera Occidental.

Acknowledgments

The junior author thanks César Barbosa, Alirio Fajardo, Humberto Piñeros, Fabio Quevedo, Juan Renjifo,

and Nicolas Rueda for assistance and companionship in the field. Dr. Jorge Hernández and Sr. Segundo Zuluaga greatly aided the fieldwork. The senior author acknowledges the many courtesies of M. Cristina Ardila and Pedro M. Ruiz.

Bibliografía

- Lynch, J. D. 1979. A new frog species of the *Eleutherodactylus fitzingeri* group from the Pacific Andean versant in Ecuador. *Herpetologica* 35:228-233.
- _____. 1993 (1992). Distribution and variation in a Colombian frog, *Eleutherodactylus erythropleura* (Amphibia: Leptodactylidae). *Stud. Neotropical Fauna Environ.* 27:211-226.
- _____. 1996. New frogs of the genus *Eleutherodactylus* (family Leptodactylidae) from the San Antonio region of the Colombian Cordillera Occidental. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 20 (77):331-345.
- _____. 1997. Intergeneric relationships of mainland *Eleutherodactylus* II. A review of the *Eleutherodactylus sulcatus* group. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 21 (80):353-372.
- _____. & W. E. Duellman. 1997. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) in western Ecuador: Systematics, Ecology, and Biogeography. *Univ. Kansas Nat. Hist. Mus., Spec. Publ.* (23):1-236.
- _____. P. M. Ruiz-Carranza, & M. C. Ardila-Robayo. 1994. The identities of the Colombian frogs confused with *Eleutherodactylus latidiscus* (Boulenger) (Amphibia: Anura: Leptodactylidae). *Occas. Pap. Nat. Hist. Mus. Univ. Kansas* (170):1-42.
- _____. & J. V. Rueda-Almonacid. 1997. Three new species of frogs (*Eleutherodactylus*: Leptodactylidae) from cloud forests of eastern Departamento Caldas, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 21 (79):131-142.

REDESCRIPCION DE *BRANCHIOICA PHANERONEMA* MILES, 1943 (PISCES: TRICHOMYCTERIDAE) DE LA CUENCA DEL RIO MAGDALENA, COLOMBIA.

por

Cesar Román-Valencia¹

Resumen

Román-Valencia, C. Redescrípción de *Branchioica phaneronema* Miles, 1943 (Pisces: Trichomycteridae) de la cuenca del río Magdalena, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(83): 299-303. 1998. ISSN 0370-3908.

Se redescríbe a *Branchioica phaneronema*, que parasita en las branquias otros peces, con base en material fresco, topotípico y los paratipos depositados en el USNM. No se hallaron diferencias con *Branchioica magdalenae*, aquí se le considera un sinónimo de *B. phaneronema*. Por otra parte, se observaron discrepancias entre los géneros *Branchioica* y *Paravandellia*. Se incluyen datos originales sobre las características de hábitat de la especie en el río La Vieja y en el río La Miel cuenca del Magdalena.

Palabras claves: *Branchioica phaneronema*, Redescrípción, Trichomycteridae, Colombia

Abstract

Redescription of *Branchioica phaneronema* from the Rio Magdalena Basin, Colombia. We did not observe differences with *Branchioica magdalenae* and consider them to be synonymous. Data about their habitat are included.

Key words: *Branchioica phaneronema*, redescription, Trichomycteridae, Colombia

Introducción

El género *Branchioica* se distribuye en la cuenca de los ríos Magdalena-Cauca en Colombia (Miles 1943; Dahl 1971), Paraguay (Eigenmann 1918; Miles 1943),

y río Cuibá en Brasil (Machado y Sazima 1983). Se han descrito cuatro especies: *Branchioica bertonii*, *B. magdalenae*, *B. phaneronema* y *B. teaguei*. Son peces pequeños, pertenecientes al grupo de ictioparásitos hematófagos (Myers 1944; Kelley y Atz 1964; Miles 1973; Sazima 1983; Gerking 1994) o semiparásitos consumidores de mucus y escamas (Machado y Sazima 1983). Debido a su reducido tamaño casi nunca se capturan y por lo tanto son poco conocidos (Miles 1973).

¹ Universidad del Quindío. Facultad de Ciencias Básicas. Programa de Biología. A.A. 460. Armenia, Colombia. e-mail: croman@cocora.uniquindio.edu.co

Branchioica phaneronema solo se conoce por su material típico. Por consiguiente, el propósito del presente trabajo es redescubrir la especie con base en material colectado en los ríos La Vieja, afluente del Cauca en su curso alto, y La Miel, y que hace parte de las colecciones del Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional, Bogotá (ICN-MHN) y el examen de los paratipos depositados en el Museo Nacional de Historia Natural, Smithsonian Institution en Washington (USNM).

Materiales y métodos

Los especímenes de *Branchioica phaneronema* se capturaron en el río La Vieja, Alto Cauca y en el río La Miel afluente del Magdalena en su curso medio. Las medidas y los conteos se hicieron según la metodología utilizada por Pinna y Britski (1991). El ordenamiento de los datos de acuerdo con Román-Valencia (1993a).

Los ejemplares se depositaron en el laboratorio de Ictiología, Programa de Biología de la Universidad del Quindío, Armenia (IUQ), en el Museo de Ciencias y Tecnología, Pontificia Universidad Católica del Río Grande del Sur, Brasil (MCP) y en la Unidad de Ictiología del Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá (ICN-MHN). Los datos de los paratipos de *B. phaneronema* (= *B. magdalanae*) fueron suministrados por el Prof. Dr. Richard P. Vari (USNM). El código de las colecciones sigue a Leviton et al. (1985).

Los datos del hábitat como oxígeno disuelto y temperatura se tomaron con oxímetro y el pH con potenciómetro.

Resultados y discusión

Branchioica phaneronema Miles, 1943

Branchioica phaneronema Miles, 1943, V (19): 367-369 (descripción); Miles, 1971, p. 99-100 (diagnóstico: alto Cauca); Dahl, 1971, pag. 72 (referencia); Rodríguez Gómez, 1981, pag. 30 (referencia, parásitos de *Pseudoplatystoma fasciatum*); Román-Valencia 1995 (29) (referencia, parásito interbranquial de *Ichthyoelephas longirostris*); Román-Valencia, 1993, 39-40: 71-80 (parásito interbranquial de *I. longirostris*).

Sinonimia:

Branchioica magdalanae Miles 1943; Howes, 1983, p. 313 (referencia)

Paravandellia magdalanae Weitzman & Vari 1988

Descripción.— Los datos morfométricos y merísticos se dan en la tabla 1. Cabeza aplanada dorso-ventralmente, cuerpo comprimido desde el opérculo, siendo más pronunciado hacia la cola. Ventralmente aplanado desde el extremo del hocico hasta el origen de la aleta anal, aunque se puede observar convexo cuando el estómago se observa completamente lleno de líquido sanguíneo; comprimido posteriormente a la aleta anal. Perfil dorsal curvado hasta el origen de la aleta dorsal, en línea recta posterior a ésta. Tegumento suave y transparente, músculos superficiales y estómago visible. Miotomos individuales iguales a lo largo del eje lateral del cuerpo, estrechos sobre el pedúnculo caudal y cola. Hocico corto y estrecho, redondeado anteriormente. Cavidad bucal de posición inferior, de ancho menor que la cabeza. Labio inferior forma una lámina dividida en dos lóbulos redondeados derecho e izquierdo. Labio superior estructura un arco medianamente agudo, su extremo lateral ligeramente recto. Bordes internos del labio superior forman un borde posterior filudo, cubierto con un pliegue doblado de tegumento. Dientes mandibulares numerosos. Mandíbula superior con dos hileras de dientes, de número variable, de cinco a seis en cada lado. Mandíbula inferior con dientes arqueados, de manera similar a los de la mandíbula superior, en una hilera de cuatro dientes, todos unidos al dentario. Membranas branquiales unidas al istmo a lo largo de su región ventral. Ojos en posición dorsal y redondeados; borde orbital fusionado. Dos pares de barbillas maxilares cortas y gruesas son una continuación posterior del labio superior, sin alcanzar el opérculo. Barbillas nasales ausentes. Narinas largas, ubicadas en el borde lateral de las órbitas oculares. Las narinas anteriores ampliamente separadas, ubicadas dorso-lateralmente y parcialmente unidas por una larga cubierta de piel. Las narinas posteriores, más anchas que las anteriores, aparecen como dos largos poros sobre la superficie del hocico; su distancia internarina menor que entre las narinas anteriores. Canal de la línea lateral se extiende a partir de una vertical trazada en el origen de las pectorales hasta cerca de 1/3 de la longitud de la cola. Esta coincide con su septum intermuscular horizontal. Aleta pectoral con un radio simple y cinco o seis ramificados; las pectorales se extienden posteriormente cerca del extremo posterior del canal de la línea lateral. Origen de la aleta pectoral localizado debajo del tronco a nivel de la abertura opercular. Aletas pélvicas con cuatro o cinco radios, solamente el primer radio no ramificado; su extremo distal no sobrepasa la abertura anal. Origen de

Tabla 1. Morfometría y merística en *Branchioica phaneronema*. Longitudes estándar y total están en mm. Datos 3-13 dados como porcentajes de la longitud estándar; 14-19 como porcentajes de la longitud cabeza.

	B. phaneronema R. La Vieja, n=6	B. phaneronema Paratipo	B. phaneronema R. La Miel, n=5
Morfometría:			
1. Longitud estándar	22.2-28.1(25.85)	24.5	22.8-27.7
2. Longitud total	24.2-31.7(28.02)	-	25.5-30.0
3. Profundidad del cuerpo	8.18-14.59(13.18)	16.7	7.94-10.96(9.41)
4. Longitud predorsal	62.61-71.48(67.02)	72.65	67.05-72.37(69.84)
5. Longitud preanal	66.02-76.28(71.62)	74.29	70.76-75.29(73.64)
6. Longitud prepélvica	64.44-73.20(65.24)	68.52	59.39-67.52(63.61)
7. Longitud pedúnculo caudal	10.36-20.00(16.24)	18.16	12.82-17.11(15.02)
8. Profundidad pedúnculo caudal	3.60-5.53 (4.74)	6.94	3.42-5.26(4.36)
9. Longitud base aleta dorsa	7.43-14.46(10.36)	7.76	6.51-11.40(8.59)
10. Longitud base aleta anal	7.41-9.91(8.37)	8	8.37-11.54(9.94)
11. Aleta dorsal-aleta caudal	18.51-21.74(20.16)	30.41	29.91-39.91(34.54)
12. Aleta ventral-aleta caudal	30.86-38.29(33.41)	25.71	34.30-39.32(37.24)
13. Longitud cabeza	13.51-19.63(17.99)	20.29	14.07-17.95(15.93)
14. Ancho cabeza	61.22-90.0(77.35)	81.49	80.0-100.0(87.18)
15. Profundidad de la cabeza	35.42-56.67(43.88)	-	35.71-55.88(44.17)
16. Longitud hocico	28.30-46.67(38.70)	40.44	33.33-50.0(40.32)
17. Ancho boca	26.53-42.55(35.26)	-	22.22-32.43(28.11)
18. Ancho interorbital	16.98-26.67(21.06)	23.54	22.22-32.43(26.69)
19. Diámetro ojo	13.21-23.33(16.56)	14.49	13.95-21.62(17.39)
Merística:			
Radios aleta dorsal	ii,6-ii,7	9	iii,6-iii,7
Radios aleta anal	iii,6-iii,7	9	iii,6-iv,6
Radios aletas ventrales	i,3-i,4		i,3-i,4
Radios aletas pectorales	i,5	6	i,5-i,6
Radios aleta caudal	7-8/8-9	-	7-8/7-9
Dientes premaxilares	10-12	11	10-11

la aleta dorsal ubicado en una vertical trazada cerca del origen de las aletas ventrales. Aleta anal con siete a nueve radios, el primero y el segundo no ramificados. Longitud de la base de la aleta anal en promedio 81.8% de la aleta dorsal. Aleta caudal truncada, no prolongada con filamentos. Radios caudales principales 7-8/7-9.

Notas ecológicas. Dos ejemplares fueron colectados en las branquias de *Ichthyoelephas longirostris*, mientras que tres se capturaron a orillas del río La Vieja en San Pablo y en la desembocadura del río Roble; en un sustrato

caracterizado por lodo, piedra, material de origen vegetal en descomposición; el pH registró valores alrededor de la neutralidad, el oxígeno disuelto relativamente alto (7.8 mg/l), temperatura superficial del agua 22°C, profundidad 1 m, ancho 0.85 m, agua típicamente cristalina en el período seco y café en las crecientes al inicio del período de lluvias. Convive de manera simpátrica con 30 especies de peces (Román-Valencia 1997).

En el río La Miel los ejemplares fueron colectados en la orilla del río frente a la futura represa a una altura de

350 msnm, de sustrato conformado por materia orgánica en descomposición.

Material examinado: (IUQ) dos ejemplares, Colombia, río La Vieja en San Pablo, 100 m arriba del puente peatonal en la arenera, recol. C. Roman-V. y H. Roman V. marzo 25 1991; (MCP 20245) un ejemplar, Colombia, orilla del río La Vieja 300 m arriba de la desembocadura del río Roble, finca playa azul, recol. C. Román-V. y J.L. Jiménez, junio 1 1996; (IUQ) dos ejemplares, Colombia, río La Vieja en branquias de *I. longirostris*; (ICN-MHN) cinco ejemplares, Colombia, orilla del río La Miel en Norcasia, frente a la futura represa, recol. U. Buitrago, octubre 6 1992.

Discusión. *Branchioica phaneronema* se describió con base en cuatro ejemplares de 25.5 mm de longitud estándar promedio (Miles 1943; 1973), mientras *B. magdalenae* se identificó con un ejemplar de 22 mm de largo estándar y varios paratipos (Miles 1943; 1973). El material tipo de estas especies se depositó en la Escuela Superior de Agricultura de Cali, Colombia (Miles 1943; 1973). En la actualidad las colecciones que aún subsisten y hechas por el C. Miles se hallan ubicadas en la sección de Biología Marina, Depto. de Biología, Universidad del Valle, Cali (UV). Las investigaciones hechas por el autor del presente trabajo tendientes a revisar el material citado fueron infructuosas. Además, los tipos de estas especies no se encuentran en el Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional, Bogotá (ICN-MHN) (Cala 1981). Los paratipos de *B. phaneronema* (= *B. magdalenae*) se hallan pobremente conservados debido a que se recibieron de Miles inadecuadamente empacados y llegaron secos al museo, lo cual limitó la obtención de mayor información (Dr. Richard P. Vari, carta personal noviembre 6 1996).

No se hallaron diferencias al comparar los ejemplares provenientes del río La Vieja y la Miel, ni con el paratipo de *B. magdalenae* depositado en USNM (tabla 1). Dahl (1971) y Miles (1971) consideran a *Branchioica magdalenae* un sinónimo de *B. phaneronema* sin justificación alguna. Por lo tanto la especie descrita por Miles (1943) es una sinonimia de *B. phaneronema*.

Miles (1943) plantea el posible parecido de *Branchioica* con *Paravandellia*. Se encontraron discrepancias al confrontar los especímenes examinados en la presente investigación con la diagnosis del género *Paravandellia* (Miranda Ribeiro, P. de 1912; Eigenmann 1918) en lo concerniente a dientes mandibulares superiores, presencia de dientes en la mandíbula inferior, for-

ma de la aleta caudal, barbillas, borde orbital y posición de la aleta dorsal. Por lo tanto, el planteamiento de Miles (1943) carece de validez.

Agradecimientos

El trabajo de campo se realizó en el marco de varios proyectos llevados a cabo en la cuenca del río La Vieja con apoyo financiero de la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) en la administración de Julian Serna Giraldo y de la Universidad del Quindío. El Prof. Dr. Richard P. Vari (USNM) suministró los datos de los paratipos de *B. phaneronema*. A Walter R. Koch y al Dr. Luiz R. Malabarba (MCP) por el envío de literatura y comunicaciones. A Germán Galvis (ICN-MHN) por el préstamo de ejemplares de *B. phaneronema* del río La Miel y por la lectura crítica del manuscrito. Anibal González y Alejandro Vasquez, estudiantes de Biología, Universidad del Quindío (IUQ) me acompañaron durante las salidas de campo. Un reconocimiento especial a Primitivo Ramírez que con su sabiduría de pescador curtido nos ha mostrado el daño que ha sufrido en los últimos 40 años la cuenca del río La Vieja.

Bibliografía

- Cala, P. 1981. Catálogo de los ejemplares tipo en la colección de peces del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia. Lozania, 34: 1-8
- Dahl, G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Inderena, Bogotá, 391 p.
- Eigenmann, C. 1918. The pygidiidae, a family of South American catfishes. Mem. Carn. Mus., 7: 259-398
- Gerking, D. S. 1994. Feeding Ecology of Fish. Academic Press, Inc. San Diego, California, 416 p.
- Howes, J.G. 1983. The cranial muscles of loriciarioid catfishes, their homologies and value as taxonomic characters (Teleostei: Siluroidei). Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Zool.) 45(6):309-345.
- Kell, W. y J.W. Atz. 1964. A pygidiid catfish the cansuck blood from goldfish. Copeia, 1964 (4): 702-704
- Leviton, A.E., R.H. Gibbs, Jr. E. Heal y C.E. Dawson. 1985. Standards in Herpetology and Ichthyology: part I. Standards Symbolic codes for Institutional Resource collections in Herpetology and Ichthyology, Copeia, 1985 (3): 802-832.
- Machado, F.A. y I. Sazima. 1983. Comportamiento alimentar do peixe hematófago *Branchioica bertonii* (Siluriformes, Trichomycteridae). Ciencia e Cultura (Sao Paulo), 35(3):344-348.
- Miles, C. 1943. On the three recently described species and new genus of Pygidiid fishes from Colombia. Rev. Acad. Colomb. V (19):367-369.

- 1971. Los peces del río Magdalena. U.T. Ediciones, Ibagué, Colombia, 213 p. (Reimpresión)
- Miranda Ribeiro, P. de** 1912. Historia Natural Zoología: Loricariidae, Callichthyidae, Doradidae e Trichomycteridae. Comissao de linhas telegraphicas estrategicas de Matto-Grosso ao Amazonas. Anexo No. 5 p. 28-29.
- Myers, G..S.** 1944. Two extraordinary new blind nematognath fishes from the rio Negro, representing a new subfamily of pygidiidae, with a rearrangement of the genera of the family, and illustrations of some previously described genera and species from Venezuela and Brazil. Proc. Acad. Scienc. XXIII (40): 591- 602.
- Pinna, M. C. C. de y H.A. Britski.** 1991. *Megalocentor*, a new genus of parasitic catfish from the amazon basin: the sister group of *Apomatoceros* (Trichomycteridae: Stegophilinae). Ichthyol. Explor. Freshwaters, 2(2): 113-128
- Rodríguez Gómez, H.** 1981. Parásitos piscícolas de aguas continentales de Colombia. Inderena, subgerencia de pesca y fauna terrestre.
- Román -Valencia, C.** 1993a. Status taxonómico del Bocachico *Prochilodus magdalenae* (Steindachner, 1879) (Pisces, Prochilodontidae) en Colombia. Rev. Ciencias, Univ. del Valle, (9): 17-26.
- 1993b. Historia natural del Jetudo *Ichthyoelphas longirostris* (Steindachner, 1879) (Pisces: Prochilodontidae) en la cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. Brenesia, 39-40: 71-80
- 1995. Lista anotada de los peces de la cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. Boletín Ecotrópica, (29): 11-20
- 1997. The trophic ecology of *Creagrutus brevipinnis* Eigenmann, 1913 (Pisces, Characidae) in the Vieja river basin, Alto Cauca, Colombia. International Symposium of phylogeny and clasification of Neotropical fishes. NIA Meeting. Porto Alegre-RS- Brasil (Program and Abstracts)
- Sazima, I.** 1983. Scale-eating in characoids and other fishes. Env. Biol. Fish. 9(2): 87-101.
- Weltzman, S.H. & R.P. Vari.** 1988. Miniaturization in South American freshwater fishes ; an overview and discussion. Proc. Biol. Soc. Wash. 101(2):444-465.

ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA INVESTIGACION CIENTIFICA¹

Por

Antonio García Verduch*

García V., A.: Algunas reflexiones sobre la investigación científica. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(83): 305-311, 1998. ISSN: 0370-3908.

Decía Paniker (1942) que “investigar es seguir los vestigios que algo existente y real ha dejado a su paso. La investigación es la búsqueda de lo que es, de la esencia de las cosas, a partir de sus huellas y de sus rastros”.

Delante de la investigación siempre hay un interrogante que espera ser contestado, un vacío que espera ser llenado, unos hechos que esperan ser descritos, analizados y valorados, y unas relaciones que esperan ser, primero, descubiertas y, después, confirmadas.

Si investigar es inquirir en la esférica nebrura de lo desconocido con los faros de la inteligencia, es evidente que la investigación no puede estar monopolizada por ninguna ciencia. La curiosidad humana se desparrama y se expande en todas direcciones, y ello justifica, con toda razón, que hayan investigadores laborando en todas las ramas del saber humano.

La motivación es única para todos los investigadores, pero no sus modos, ya que las necesidades de sus trabajos han obligado a desarrollar, en cada caso, técnicas, sistemas, procedimientos e instrumentos de investigación muy específicos. Es evidente que los geólogos, los mate-

máticos, los juristas, los químicos, los biólogos, los historiadores o los físicos necesitan utilizar modos distintos, y muy específicos para explorar lo desconocido.

Unos investigadores observan, analizan e interpretan el natural desfile de los hechos y de las cosas. Otras intervienen activamente provocando los hechos que quieren observar para, después, evaluar sus consecuencias. Y otros, en fin, prescindiendo de la observación sensible, construyen nuevas estructuras del pensamiento en el ámbito del puro raciocinio.

Estas son, en grandes líneas, las modalidades más importantes de la investigación.

En lo que sigue, se van a hacer algunas reflexiones relacionadas con el pensamiento y las inquietudes de los investigadores científicos.

El tiempo

La investigación no sincroniza con un mundo de urgencias. El oficio de la investigación requiere mirar con profundidad y sosegadamente. No importa el tiempo que se requiera para obtener una visión nítida y precisa de una determinada parcela del mundo exterior o interior. ¿Quién podría acordarse ahora del tiempo que se invirtió en realizar cualquiera de las grandes creaciones que enorgullecen a la Humanidad? Nadie les concedería un solo gramo más de mérito si en su ejecución se hubiese inver-

¹ Charla pronunciada en el Casino Antiguo de Castellón el día 15 de mayo de 1995.

* Profesor de Investigación. Instituto de Tecnología Cerámica Castellón.

tido menos tiempo. Lo que perdura es la obra y no las circunstancias de su ejecución.

Los grandes maestros de las ciencias o de las artes, han dejado a la posteridad el legado de sus obras universales, que deleitan a generaciones y generaciones, y que brillan con luz propia. Son obras refulgentes e intemporales.

Los maestros que crearon esas obras, y el tiempo en que vivieron, han ido esfumándose y desvaneciéndose en la bruma de la Historia, pero el paso del tiempo ha corroído mucho más a los autores que a sus obras. ¿No sentirán los autores celos de sus propias obras, al verlas siempre refulgentes y siempre admiradas, acaparando la atención de las gentes, sin obtener, a veces, ni un breve recuerdo para ellos?. ¡Qué ridículo parece ahora aquel mísero lapso de tiempo en que fueran creadas, y aquél cúmulo de circunstancias que rodearon su creación!.

El trabajo creador, que es el trabajo libre por excelencia, no se somete fácilmente a la esclavitud del tiempo. Sus enemigos naturales son el reloj y el calendario.

En un orden mucho más modesto, el investigador científico de nuestros días no tiene más remedio que aceptar una limitada infiltración de la prisa en el desarrollo de sus trabajos, porque vive inmerso en un mundo regido por los dogmas económicos y, además, necesita trabajar en equipo con otras personas y utilizar instrumentos e instalaciones muy costosas.

¿Qué influencia tiene, pues, esta intervención del factor tiempo en la calidad de la creación científica? La contestación es que la existencia de un ritmo de trabajo, si es moderado, es perfectamente compatible con la obtención de conclusiones rigurosas, porque el trabajo científico tiene un componente de inspiración y otro de transpiración, un componente de imaginación y otro de trabajo experimental sistemático y metódico, y de ambos, el trabajo experimental puede someterse a la disciplina de la programación, y la inspiración queda libre para volar y para impregnar todas las horas.

El orden

La investigación exige e impone orden. En la Creación existe un orden, un orden riguroso, y no es posible acceder a su estudio con una mente enfebrecida por el desorden. Hay que tener la mente preparada para captar el orden. Hay que analizar la Creación reticulada con una mente, también reticulada.

El enfrentamiento del pequeño orden que cabe en la cabeza humana, con el gran orden que cabe en la Creación, hace saltar las chispas de la humildad y de la sociabilidad, la humildad como un espontáneo reflejo de la realidad personal, y la sociabilidad, como un anhelo de sumar la capacidad y la clarividencia de otras personas para, así, con el esfuerzo común, desvelar el misterio de alguna minúscula cuadrícula de la Creación.

La cimentación

El investigador siempre busca roca firme sobre la cual cimentar sus construcciones intelectuales. El trabajo científico es sobrio y macizo.

En sus construcciones, el investigador pone todo lo necesario, pero nada más que lo necesario. La belleza de sus construcciones no está en la exuberancia de lo superfluo, sino en la rigurosa medida de lo necesario y en el calculado equilibrio de su estructura.

El investigador no puede apoyar sus obras sobre bases esponjosas, ni adornarlas con frívolas ingeniosidades. Para el científico, la imaginación es buena, solamente, mientras está acompañada por la razón, pero es indeseable cuando se despega de la razón y levanta el vuelo para perseguir una quimera.

El aislamiento

El investigador no es popular porque el trabajo científico es sobrio, callado, y críptico para las gentes. Ese trabajo se realiza en la quietud y en la soledad de los laboratorios y de las bibliotecas.

El fruto de su laboriosidad durante meses o años se traduce en comunicaciones que presenta a congresos de especialistas, o en artículos que publica en revistas profesionales, que no llegan al gran público.

Cuando muchos investigadores, de muchos países, y durante muchos años, coinciden en laborar en unas determinadas áreas, surgen desarrollos tecnológicos que se materializan en productos o sistemas que el gran público disfruta y admira. La admiración se dirige, no a un investigador en particular, sino al esfuerzo colectivo y anónimo de muchos investigadores.

En siglos pretéritos, es seguro que las gentes admirarían a los cantores de romances, a los saltimbanquis, a los titiriteros y a los grupos de cómicos que iban, de plaza en plaza, recitando sus gracias y haciendo sus volatines. Y también es seguro que desconocerían por comple-

to a los obreros, a los artesanos y a los artistas que, enfundados en sus ropas de trabajo, estaban construyendo una catedral. ¿Quién conocerá ahora a los pobres infelices que, hace siglos, pasaron largos años de sus vidas, subidos en los andamios, tallando los valiosísimos relieves que hoy nos maravillan?

En todas las épocas de la Historia han habido volatineros, saltimbanquis y titiriteros exhibiéndose de plaza en plaza, y maestros tallistas, con la cara empolvada, trabajando afanosamente lejos de la mirada de las gentes. Y nuestra época no es una excepción, aunque hoy las profesiones vanas no sean precisamente las de cómicos callejeros, ni las que sirven de fulcro para el avance de la civilización, sean las de tallistas de catedrales. Hoy son otras las profesiones vanas, que se exhiben, y las profesiones concienzudas que se ocultan.

La investigación no es una profesión que abre las puertas a la notoriedad. Por el contrario, es una profesión silenciosa, en la cual se aspira únicamente a alcanzar una notoriedad restringida a los ámbitos profesionales, que es donde se calibran sus verdaderos méritos.

Exhibirse por la vida, ante el gran público, agitando cascabeles para atraer la atención, resulta ridículo en cualquier profesión, pero en la de investigador sería mucho más grave, porque delataría una vaciedad interior que es incompatible con el ánimo sereno y equilibrado que se requiere para bucear en lo desconocido.

El lenguaje

El lenguaje científico es claro, preciso y medido. La tarea científica consiste en cribar, discernir, comparar, separar, delimitar y definir, y para realizar con pulcritud todas estas acciones, es rigurosamente necesario utilizar un lenguaje preciso y transparente, que no difumine, empaste o deforme las conceptos.

En otras actividades humanas se puede tolerar un lenguaje menos ceñido a los conceptos y más holgado en la expresión, si así aumenta su galanura. En el lenguaje científico se exige el máximo rigor descriptivo, aunque con ello se resienta la belleza de la expresión. Lo que, de verdad, importan son los conceptos bellos, fielmente delineados con el fino punzón de las palabras precisas.

Cuando se trata de conceptos recién nacidos, como ocurre con los frutos de la investigación, las ideas pueden estar aún ensombrecidas por la provisionalidad y la duda. En estos casos, se hace, incluso, más necesaria la utilización de un lenguaje preciso, que permita delimitar

claramente cuáles son los conceptos más afianzados y cuáles los más dudosos. La descripción de conceptos en proceso de fraguado es, sin duda, la que requiere mayor meticulosidad en la observación y mayor maestría en el uso del lenguaje.

Hasta ahora venimos hablando del lenguaje de la palabra, que es el lenguaje universal, pero no debemos olvidar que, en el campo específico de la ciencia, es el lenguaje matemático el que representa la quinta esencia de la expresión. En él se cambian las palabras por símbolos. Las palabras, por precisas que sean, siempre pueden experimentar una sutil deformación plástica para ensanchar el campo de su expresividad. En cambio, los símbolos matemáticos son indeformables e inequívocos.

Esta es la razón por la cual, la ciencia, siempre que puede, fluye por los cauces matemáticos, que son sus cauces naturales.

Después de esta breve digresión, y volviendo al mundo de la palabra, me gustaría recordar que ya en el año 1917, **Miral** se lamentaba de la deficiente cultura literaria e histórica de los científicos, y de la casi nula cultura científica de los literatos, y añadía que mientras unos se llevan al sepulcro su ciencia, por no saber escribir, otros se pasan la vida emborronando cuartillas sin tener nada que comunicar a sus lectores.

En la actualidad aún persiste esa situación, aunque, ciertamente, no con el grado de dramatismo que señalaba **Miral**.

En muchas publicaciones científicas de nuestros días se advierte con pena como ideas, que se adivinan brillantes, aparecen ensombrecidas o deformadas por una torpe expresión. La percepción de las verdaderas ideas que se han pretendido expresar, exige un esfuerzo de concentración y de imaginación, que no todos los lectores están dispuestos a hacer.

La contrapartida a esta situación se halla en no pocas publicaciones literarias actuales, más preocupadas por el brillo del verbo que por la riqueza del mensaje.

En unos casos se trata de estirar y abrillantar el lenguaje para que pueda contener la mayor cantidad de aire. De este modo se fabrican grandes pompas de jabón, brillantes, tornasoladas y orondas, que se balancean en el aire, y al final estallan y desaparecen sin dejar rastro. En estos casos no se puede imputar engaño, porque las burbujas son transparentes, y bien a las claras está que dentro de ellas no puede haber más que gas. Su efímera exis-

tencia ha pretendido solamente obsequiarnos con unos instantes de ilusión y de entretenido pasatiempo, y lo ha conseguido.

Existen, sin embargo, otros casos, en los cuales el lenguaje, aún siendo igualmente envoltorio de la nada, siente pudor de exhibir su carencia de mensaje.

Cuando ésto ocurre, el autor es víctima de dos sentimientos íntimos que están en conflicto. Por una parte, siente un irrefrenable impulso de hablar o escribir, sin tener nada que expresar, y por otra, siente un pudoroso recato de exhibir su propia vaciedad intelectual. En este caso, se recurre invariablemente a la opacidad y a la pesantez, como estrategias de ocultación.

En el primer caso, la imagen que mejor cuadraba era la de una pompa de jabón, transparente, oronda y brillante. Es este segundo caso, la imagen que mejor cuadra es la de un estuche de plomo, bien cerrado. El estuche está cerrado y es opaco y, por ello, aunque esté vacío, bien puede dar que pensar que contiene algo valioso. Además, el estuche es pesado y, por tanto, su elevado peso fácilmente inclina a sospechar que guarda un denso contenido.

El lenguaje transparente, como las burbujas, puede no decir nada, pero ni engaña ni aburre. Es un lenguaje que enriquece e ilusiona, aunque sea momentáneamente, con el brillo de su intranscendencia.

El lenguaje obscuro, enigmático y denso, simbolizando por el estuche de plomo, puede encerrar cualquier cosa, desde sublimes obras del pensamiento humano, a inescrutables mentecateces que no justificarían ni un solo minuto de atención.

Las grandes obras arquitectónicas del pensamiento humano exigen complejos andamiajes de expresión que, en algunos momentos, pueden resultar oscuros o pesados para el lector poco iniciado en la materia. Ahora bien, si la complejidad del pensamiento lo exige, el lenguaje puede hacerse también complejo, aunque nada justifica que sea obscuro.

Por lo general, cuando hay algo que decir, siempre puede decirse claramente con muy pocas palabras, y si se usa un lenguaje laberíntico y obscuro es porque no hay nada que decir, o porque lo que hay que decir no quiere decirse.

El lenguaje científico es, por naturaleza, conciso y preciso. Su mayor belleza es su transparencia para dejar de ver con claridad un pensamiento bien construido.

El lenguaje científico podría asemejarse a la fina y elástica malla que viste una bailarina, y que se adapta fielmente a su cuerpo.

Del mismo modo que las mallas no reclaman ningún protagonismo, y ceden toda la relevancia a los cuerpos que las usan, así, el lenguaje científico debe pasar desapercibido, como si no existiese, para que los conceptos descritos sean captados sin perturbación alguna, y con toda nitidez y fidelidad.

Muy distinto a las mallas es el significado de los ropajes ostentosos y floridos, los cuales, por la ampulosidad de sus formas y por la opacidad de sus tejidos, lo mismo pueden ocultar las delicadas formas de un bellísimo cuerpo joven, que la flaccidez de un cuerpo mustio y desvencijado, o incluso que las torpes y rígidas formas de un maniquí de plástico.

Las ciencias experimentales

La ciencia experimental pretende introducirse en la intimidad de la materia, para conocer y aclarar su estructura y las leyes que rigen sus fenómenos.

El científico debe apurar cuidadosamente todos los aspectos de la observación, y atenerse, en sus conclusiones, a la valoración de hechos que son evidentes. Debe mantener ágil el timón de la investigación para variar el rumbo de las interpretaciones de acuerdo con los sucesivos resultados que va proporcionando la experimentación.

El investigador ha de tener la humildad y la sinceridad necesarias para poder reconocer, en un momento dado, sus equivocaciones experimentales o interpretativas. Ha de poseer, también, la paciencia necesaria para reiterar una y mil veces sus ensayos en beneficio de la concordancia de resultados.

El investigador experimental no ha de considerar, como definitivos, los buenos resultados que obtenga. Debe sospechar siempre que, por encima de una buena solución, puede existir otra mejor. La primera solución, más intuitiva, puede ser superada por otra que sea más intelectual y menos intuitiva. Así, por ejemplo, si el hombre quiere avanzar más de prisa, lo intuitivo es inventar unas piernas grandes, como son los zancos. Ahora bien, además de esa solución, existe otra menos intuitiva, pero más eficaz, que son las ruedas. Puestos a inventar, no hay que quedarse en los zancos. Hay que hacer un invento que valga la pena, como son las ruedas.

Al iniciar los estudios experimentales de cualquier problema, la imaginación debe prestar alas al pensamiento, pero en el momento de concluir, y de interpretar los datos proporcionados por la experimentación, la imaginación debe dominarse y supeditarse estrictamente a los resultados materiales obtenidos.

En las ciencias experimentales hay que dudar hasta el momento mismo en que los hechos experimentales nos imponen una afirmación. A Luis Pasteur le gustaba meditar la célebre frase de Bossuet: "El mayor desarreglo del espíritu consiste en creer que las cosas son como uno quiere que sean".

Luis Pasteur decía: "Nosotros, los que nos dedicamos a la ciencia, dependemos de la experimentación, y ésta cambia y rectifica sin cesar nuestras ideas. A cada paso comprobamos que la Naturaleza, en la más sencilla de sus manifestaciones, es siempre diferente de lo que habíamos presentado. Los que no hacen sino conjeturar, sin experimentar ¿cómo llegan a saber, hallándose como se hallan, detrás del espeso velo que oculta el comienzo y el fin de todas las cosas?".

El investigador celoso y vigilante, que está siempre atento a las palpitaciones de los hechos, es siempre el primero en recibir los nuevos conocimientos.

Se dice que muchos descubrimientos han sido debidos a la casualidad, y ésto es, probablemente, cierto, pero no hay que olvidar que la casualidad no favorece a todos por igual, sino que lo hace, preferentemente, a los espíritus preparados y vigilantes que queman sus horas en atenta vigilia.

Los sueños y las realidades

El investigador científico busca la verdad y sueña con ella. Desea afanosamente descubrir nuevas verdades, rescatándolas de las profundas obscuridades de la creación. Esta es su ilusión preferida.

El investigador científico, eterno buscador de la verdad, sabe que hay ya mucha, muchísima, verdad descubierta, que es patrimonio de la Humanidad, y sabe también que ese valioso patrimonio de verdad debe ser puesto al servicio de las gentes.

De ese convencimiento surge el ejercicio de la investigación aplicada, de la investigación motivada por el deseo de hallar utilidad a los conocimientos, de la investigación dirigida a la resolución de problemas prácticos.

La investigación aplicada opera de modo muy distinto a la investigación científica pura. La primera tiene como objetivo primordial la búsqueda de la utilidad, y para lograrlo se apoya en la verdad descubierta, complementada, a veces, con nuevos conocimientos creados para ese fin. La investigación aplicada, por su vinculación a la utilidad, es limitada en sus objetivos y en el tiempo.

La segunda, es decir, la investigación científica pura, tiene como objetivo el descubrimiento de la verdad, por sí misma, sin preocuparse del valor práctico de los resultados. En esta investigación, los objetivos los dicta la propia razón, aunque los resortes prácticos de su realización están en manos de la entidad que la financia. Esta es la servidumbre que pesa sobre las investigaciones que requieren medios experimentales muy costosos.

Entre ambas modalidades de investigación existen distintos niveles o variedades, que se justifican por las inevitables inter-relaciones que existen entre la razón y la economía.

La discriminación y definición de los diversos tipos de investigación ha sido objeto de reiteradas, farragosas e inacabables polémicas, que al final se han extinguido en la más absoluta de las esterilidades. La postura más razonable es abstenerse de polemizar, porque lo importante es realizar la actividad científica, y lo muy secundario, catalogar esa actividad.

Para ilustrar lo difícil que es esa catalogación, y lo movedizas que son todas las fronteras propuestas, podíamos citar, como ejemplo, el caso de la ciencia pura. Evidentemente "puro" significa exento de cualquier componente indeseable y, como es natural, cada uno puede considerar indeseable algo distinto. **Staverman** decía, a este respecto, que en la Edad Media se consideraba "ciencia pura" a aquella que estaba exenta de herejía; durante los siglos XVIII y XIX, en algunos ambientes, se consideraba "ciencia pura" a la que estaba exenta de religión, y en la actualidad, a veces se inclina uno a pensar que la "ciencia pura" es aquella que está exenta de capitalismo.

Sea como sea, la actividad científica siempre satisface a la razón y, antes o después, acaba dando satisfacción también a la economía y al bienestar de las gentes. La ciencia de hoy es la tecnología de mañana y el pan de pasado mañana. La ciencia, la tecnología y el bienestar están estrechamente vinculadas entre sí, y muy torpe será quien quiera hacer islas en ese eje, y levantar en ellas banderas de independencia.

Desde arriba, desde el mundo de la creación científica, se ofrecen multitud de soluciones, pero no se sabe para qué. Desde abajo, desde el mundo del consumo y del bienestar, se demandan muchas soluciones, pero no se sabe cuáles. Desde el centro, desde el mundo de la tecnología, se seleccionan, entre todas las soluciones que ofrece la ciencia, aquellas que demanda -sin saber cuáles- el mundo del consumo y del bienestar.

Por el camino de la Lógica se llega a la verdad y, desde ahí, caminando hacia abajo, se llega al bienestar, pero "el bienestar" no es exactamente lo mismo que "el bien". A éste no se llega por la vía de la Lógica, sino por la vía de la Ética. Por tanto, el que quiera disfrutar, tanto del bienestar como del bien, habrá de recorrer ambos caminos.

La Humanidad necesita ambas cosas a la vez. De la Lógica se deriva la verdad, y de ésta el poder. De la Ética se deriva el deber, que es el que dicta cómo hay que usar el poder.

El poder desbocado, loco e incontrolado, conduce al desastre. Cuánto más fuerte sea el poder, más enérgico ha de ser el deber que ha de controlarlo.

La ciencia da bienestar y poder, pero estos dones se vuelven lanzas cuando su uso no está inspirado en bases éticas.

Los temores que abrumaban al hombre antiguo, nacidos de su ignorancia, han sido sustituidos ahora por otros temores, más angustiosos aún, nacidos de su conocimiento. Antiguamente, el hombre sentía horror de lo desconocido, que era mucho. Imaginaba monstruos y horribles peligros en las aguas, en las selvas, en las montañas, en la lejanía, porque no las conocía. Ahora, que el hombre ha disipado ya esos temores con la luz del conocimiento, paradójicamente, su propio conocimiento le trae otros inmensos temores, como agujeros en la capa de ozono, cambio climático, desertificación, proliferación de armamentos, desbordamiento de las ciencias de la vida, etc.

Cuando se produce un desequilibrio de esta naturaleza, es porque no ha habido un desarrollo paralelo de los valores éticos, llamados a controlar el uso de los frutos de la ciencia.

La ciencia es una manifestación de la generosidad humana, y a esta generosidad ha de corresponder, nece-

sariamente, otra generosidad que refrene el uso abusivo de sus resultados. Y esta generosidad no puede estar dictada más que por la voz de la conciencia. Matar la conciencia es iniciar el horror de la espiral del poder, del poder desbocado.

No quisiera terminar estas palabras sin hacer tres breves reflexiones más.

1. La comunidad científica es la hermana mayor de la sociedad, porque:

- Vigila atentamente para descubrir los riesgos que acechan a la Humanidad y al planeta en que vive, y también para buscar remedios o paliativos. Es una centinela que vigila, mientras la sociedad trabaja o duerme.

Así ocurre, por ejemplo, en éstos y en otros campos:

- Contaminación aérea, acuática y terrestre.
- Efecto de radiaciones.
- Variaciones climáticas y sus causas.
- Cataclismos terrestres de origen endógeno.
- Alteraciones exógenas de la Tierra.
- Cataclismos atmosféricos.
- Riesgos vinculados a la actividad humana (construcción, transporte, industria, agricultura, pesca, etc.)
- Desequilibrios en la biosfera.
- También procura ampliar y mejorar las fuentes de la alimentación, y perfeccionar las operaciones de elaboración, conservación y distribución.
- Se ocupa afanosamente en la investigación biológica y médica, en todos sus campos, así como en el perfeccionamiento y multiplicación de los fármacos y de los medios instrumentales.
- Investiga la estructura de la materia y los procesos industriales para generar nuevos materiales y sistemas.
- Se ocupa de investigar nuevas fuentes de materias primas y de recursos energéticos, de optimizar sus calidades y su empleo, y también de asegurar su disponibilidad.

2. La ciencia es el penúltimo recurso de la Humanidad doliente, cuando sufre inesperados contratiempos, y cuando se enfrenta a peligros reales, pero de naturaleza desconocida, como son, por ejemplo, algunas graves enfermedades enigmáticas.

3. La ciencia fluye siempre por cauces neutros, y no es patrimonio de razas, creencias, clases a ideologías. Es un cauce de agua, silencioso, al que todos aportan, y del que todos beben.

Así veo yo la ciencia, y así me gustaría que la viesen Uds. también.

Bibliografía

Miral, D., 1917. "Bases para una pedagogía aragonesa". Anales de la Universidad de Zaragoza, Vol. 2, págs. 11-12.

Paniker, Raimundo, 1942. "Investigación.- En torno a un discurso". Revista de Filosofía. Instituto "Luis Vives. C.S.I.C.", pág. 390.

PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA DURANTE LA INSTALACION DEL SEMINARIO-TALLER SOBRE “EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN COLOMBIA Y OPCIONES DE MITIGACION”, ORGANIZADO POR LA ACADEMIA Y LA SOCIEDAD DE COOPERACION TECNICA DE ALEMANIA CON LA COLABORACION DE LA ASOCIACION DE CORPORACIONES AUTONOMAS REGIONALES, EL 3 DE ABRIL DE 1998

Entre las múltiples actividades y esfuerzos que desarrolla la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en los campos, científico, educativo y de proyección hacia el estudio y conocimiento de la realidad del país, cabe destacar el de ejecutar Proyectos sobre temas y problemas estrechamente relacionados con la cuestión ambiental. En particular, sobre aquellos problemas de cuyo abordamiento y solución acertada, va a depender, en gran medida, que Colombia como nación, pueda construir la capacidad necesaria para efectuar el tránsito hacia un modelo de desarrollo, que cumpla la condición de la sostenibilidad; y pueda así, enfrentar el gran reto, que afecta a toda la humanidad, en las postrimerías del siglo XX y al aproximarse el comienzo del Tercer Milenio: asegurar su supervivencia.

Entre tales esfuerzos y proyectos, de tiempo atrás, la Academia ha decidido conceder alta prioridad, al estudio de aquellos factores, directa o indirectamente involucrados, en el desencadenamiento de cambios climáticos, tales como las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Sobre este tema, en los años de 1995 y 1996, la Academia Colombiana de Ciencias, merced a la decisiva colaboración financiera de la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica, GTZ, realizó el Inventario de Gases de Efecto Invernadero, en referencia al territorio de Colombia. Estudio cuya relevancia, calidad y utilidad han sido reconocidas nacional e internacionalmente.

Con apoyo en esta positiva experiencia, a partir de Enero de este año, la Academia Colombiana de Ciencias, nuevamente con el apoyo financiero de la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica, GTZ, ha da emprendido lo que podría llamarse, “Segunda Fase del Estudio de los Gases de Efecto Invernadero”. Esta vez, en referencia al análisis y evaluación de las opciones de mitigación de las Emisiones.

Sin duda, se trata de un estudio significativamente relacionado con ese gran desafío al cual ya he hecho referencia, que involucra la humanidad toda e implica definir las políticas, estrategias y procedimientos para efectuar la transición desde el modelo de desarrollo convencional hacia el modelo de desarrollo integral, que lleva implícita la meta de recuperar la armonía, vale decir, el equilibrio, de los sistemas socioeconómicos antropogénicos, con los sistemas naturales que sirven a los primeros de apoyo y sustento.

Por consiguiente, las opciones por analizar y evaluar, en desarrollo del Proyecto y en este Seminario-Taller, para el caso de Colombia, tendrán que abarcar la evaluación de las políticas y procedimientos para minimizar las emisiones; el análisis y evaluación de los impactos socioeconómicos y naturales de los posibles cambios climáticos; así como la consideración crítica de las posibilidades de nuevas opciones tecnológicas para la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero, entre otros asuntos.

Estos análisis tendrán que apoyarse en la evaluación de la vasta información disponible y en conocimiento directo de los impactos de las tecnologías sobre el entorno natural, así como en la consideración de las oportunidades y ventajas comparativas de Colombia para la mitigación de las emisiones antropogénicas de Gases de Efecto Invernadero, de tal manera que se garantice el cumplimiento de la condición de la sostenibilidad del desarrollo.

De allí también que el nuevo proyecto de la Academia Colombiana de Ciencias, busque formular propuestas para limitar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, que contribuyan al desarrollo de una estrategia general de mitigación, susceptible de ser implementada, si así lo decide el Gobierno, dentro del contexto de los compromisos adquiridos por Colombia, como país signatario de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Sin duda, el desarrollo del proyecto implica cumplir con una tarea compleja que no solamente requiere disponer de la abundante información disponible ya en el contexto planetario, sino sobre todo, de la cooperación de las instituciones del país que de una u otra manera, les compete el diseño implementación y puesta en práctica de las políticas de desarrollo nacional y regional, de su implementación socioeconómica y tecnológica, así como de formular las políticas y procedimientos dirigidos a evitar el deterioro del medio ambiente.

De esta manera, la Academia Colombiana de Ciencias busca también aportar a esa gran tarea que implica

la construcción de una capacidad científica nacional para el abordamiento del estudio de los factores relacionados con el cambio climático que experimenta el planeta, relacionados con los diferentes sectores involucrados en el desarrollo sostenible integral, entre otros, los sectores energético, industrial, del transporte, agrícola y forestal.

En nombre de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, quiero agradecer a todos los participantes en este "Seminario-Taller sobre Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia y Opciones de Mitigación", en particular, a los Señores Conferencistas, que con la exposición de sus tesis y apreciaciones, sabrán enriquecer los alcances de este certamen. Del mismo modo, quiero expresar mis más profundos agradecimientos a las Corporaciones Regionales y a todas las Entidades por haber aceptado nuestra invitación a participar en este Seminario-Taller. Sus aportes tendrán, de seguro, especial significado para el éxito del evento que hoy nos congrega, así como para el desarrollo del Proyecto al que he hecho referencia.

De la misma manera, agradezco al Comité Organizador, por no haber ahorrado esfuerzos para asegurar su realización. Bienvenidos al Seminario Taller sobre Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Colombia y Opciones de Mitigación, organizado por la Academia Colombiana de Ciencias que de seguro culminará exitosamente, merced a la colaboración de todos ustedes.