

PEREZ - ARBELAEZIA

Volumen 1 No. 3 Julio de 1986



JARDIN BOTANICO DE BOGOTA
"JOSE CELESTINO MUTIS"

JARDIN BOTANICO DE BOGOTA
"JOSE CELESTINO MUTIS"

JUNTA DIRECTIVA

Sven Zethelius Peñalosa
Germán Botero de los Ríos
Joaquín Caicedo Salazar
Patricio Samper Gnecco

Rafael García Espinosa
Ma. Paulina Espinosa de López
Hernán López G.
Victoria Eugenia Virviescas

DIRECCION

Teresa Arango Bueno

Registrado en el Ministerio de Gobierno
el 7-V-1986. Res. Nº 001440

Tarifa Postal Reducida
Permiso Nº 594 de 1986
Administración Postal Nacional

JARDIN BOTANICO

Carrera 66A Nº 56-84
Tels.: 2313-965 y 2400-483
Apartado Aéreo 59887
Bogotá, Colombia

JARDÍN BOTÁNICO DE BOGOTÁ
"JOSE CELESTINO MUTIS"

JUNTA DIRECTIVA

Rafael García Espinosa
Miguel Paulina Espinosa de López
Hernán López G.
Vicente Eugenio Viveros

Juan Zaldívar Pacheco
German Boreas de los Rios
Jorge Luis Calvo Salazar
Pablo Saenz Guezo

La reproducción total o parcial de un artículo debe citar la fuente.
Corresponde a los autores la total responsabilidad de las ideas,
tesis y conceptos emitidos en sus respectivos artículos.
Los editores se reservan el derecho de aceptar o
de rechazar los trabajos.

Registrado en el Ministerio de Gobierno
el 7-V-1968 Lic. No 001450

Torres Poma, Ricardo
Permanente No 201 de 1968
Administración Poma (Nacional)

JARDÍN BOTÁNICO

Carrera 80A No 54-81
Tel.: 231-300 y 240-222
Apartado 40

CARATULA:

Emblema del Jardín Botánico de Bogotá. *Mutisia Clematis* L.

JARDIN BOTANICO DE BOGOTA
"JOSE CELESTINO MUTIS"

PEREZ - ARBELAEZIA

Bogotá, D. E. Colombia	Vol. 1 Nº 3; pp. 249-378 Julio 1986	ISSN 0120-7717
---------------------------	--	-------------------

Directora de la Revista
Teresa Arango Bueno

Comité Editorial
César Escallón E.
Gustavo Morales L.
Orlando Vargas R.

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

CONTENIDO

Presentación	254
La Declaración de la Gran Canaria	255
Taxonomía numérica en un género de Angiospermas. Delimitación de especies en <i>Crotalaria</i> (Fabaceae-Faboideae). Henry Yesid Bernal	257
Contribución al conocimiento de la flora y vegetación del parque natural Isla Gorgona y Gorgonilla. César Barbosa	311
Estudios ecológicos en un relicto de bosque de <i>Weinmannia Tomentosa</i> y <i>Drimys Granadensis</i> , en la región de Monserrate. Orlando Vargas Ríos	337
Efectos del pre-enfriamiento y la escarificación química y mecánica sobre el porcentaje de germinación de <i>Alnus Acuminata</i> H.B.K. (Betulaceae). María Cristina Ruiz Peña y Martha Orozco de A.	357
Periodos de muda del copetón, (<i>Zonotrichia Capensis</i>) en el Jardín Botánico de Bogotá, Colombia. Enrique Zerda, Pablo Rodríguez y David W. Snow	371
Instrucciones a los colaboradores	377

PEREZ - ARBELAEZIA

PRESENTACION

Para quien ésta nota escribe como Directora del Jardín Botánico es muy grato entregar el Tercer Número de la Revista "Pérez-Arbelaezia", que ya cumplió un año de estar en circulación. En este breve lapso hemos constatado con satisfacción la gran acogida que se le ha dispensado, tanto a nivel nacional como internacional y ello es algo que nos estimula para continuar realizando el gran esfuerzo que nos representa la edición de cada número.

El Jardín Botánico aprovecha su Revista para asociarse al Cincuentenario de la fundación del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia; más aún si tenemos en cuenta que el doctor E. Pérez-Arbelaez fué quien diera vida al embrión de este Instituto con la creación del Herbario Nacional Colombiano. Así que los lazos entrañables que nos unen con el Instituto forman parte del ideal que acariciara ese sabio naturalista.

Hacemos llegar al Instituto, a su personal Científico y Administrativo nuestras felicitaciones y evocamos también la memoria de quienes dejaron sus nombres en la nómina de estudiosos de la naturaleza del país a través del Instituto.

TERESA ARANGO BUENO
Directora Jardín Botánico de Bogotá
"José Celestino Mutis"

TAXONOMIA NUMERICA EN UN GENERO DE ANGIOSPERMAS DELIMITACION DE ESPECIES EN *Crotalaria* (FABACEAE - FABOIDEAE)¹

Henry Yesid Bernal M.²

ABSTRACT

A taxonomic study of the Colombian species of *Crotalaria* (Papilionaceae/ Leguminosae/Fabaceae-Papilionoideae/Faboideae-Crotalarieae) using numerical methods is presented. The phenetic methods of cluster analysis and ordination were used to evaluate similarities among the species and to help place them within the sections recognized by BISBY y POLHILL (1973) for the african species of the genus. 95 characters and 201 character-states were tested and fourteen relation patterns were analyzed. Close phenetic relationships were recognized between a number of species groups, and placement of some of the american taxa in the sections proved satisfactory in some cases (*Crotalaria agatiflora*, *C. incana*, *C. micans*, *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. glorieae*, *C. pallida*, *C. brevidens*, *C. lanceolata*, *C. juncea*, *C. nitens*, *C. nitidula*, *C. pilosa*, *C. sagittalis*, *C. retusa*, *C. verrucosa*, and *C. spectabilis*) but not in others (*C. paulina*, *C. purdieana*). The use of numerical methods also assisted in the recognition and delimitation of a new species (*Crotalaria glorieae*). In all, nineteen species are recognized to grow in Colombia, representing 5 sections (Table 3).

INTRODUCCION

El género *Crotalaria* Linneo (1753) pertenece a la subfamilia Faboideae, o Papilionoideae, tribu Crotalarieae (Bentham) Hutchinson (1964); incluye cerca de 600 especies tropicales y subtropicales, principalmente del hemisferio sur, siendo muy numerosas en el Africa. En América se conocen 89 especies. Los números cromosómicos registrados hasta hoy son $2n = 14, 16, (32)$.

¹ Basado en un Trabajo de Grado presentado al Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia como requisito parcial para optar al título de Biólogo.

² Secretaría Ejecutiva Convenio Andrés Bello (SECAB), Apartado Aéreo 53465 ó 50253, Bogotá, D. E., Colombia-Suramérica.

En Colombia crecen 19 especies distribuidas en casi todo el territorio nacional entre 0 y 3400 m sobre el nivel del mar; la mayor parte muestra preferencia por los climas cálidos y templados, siendo muy pocas las que se encuentran por encima de 2000 m de altura. El género *Crotalaria* presenta una amplia tolerancia de condiciones climáticas y edáficas, limitada por aridez y frío en extremo. Todas las especies parecen tener un alto requerimiento de luz, por lo cual están ausentes en los estratos inferiores del bosque, pero son comunes en los claros, márgenes de ríos, quebradas y pantanos; algunas son competitivas con la vegetación herbácea cerrada, pero crecen mucho mejor en lugares en los cuales el terreno ha sido disturbado tales como áreas desmontadas, márgenes del bosque, orillas de las carreteras y campos baldíos. Las especies más espectaculares son arbolitos o arbustos en las márgenes del bosque (*Crotalaria micans*, *C. paulina*), pero la gran mayoría son anuales y subfruticasas y muchas son pioneras.

Existe cierto grado de facilidad para la determinación intraespecífica, pero la variación interespecífica es altamente reticulada y compleja, lo cual impide una división simple del género en subgéneros o secciones.

Dentro de este marco de referencia se decidió realizar el presente estudio de las especies colombianas de *Crotalaria*. Aparte de objetivos generales como son reunir información, elaborar descripciones y claves, establecer distribución geográfica y altitudinal, actualizar nomenclatura y complementar las colecciones del Herbario Nacional Colombiano (COL), aportando nuevos datos que contribuyan a la comprensión y el conocimiento del género en Colombia, se han utilizado aquí por primera vez en nuestro país métodos numéricos para la solución de problemas taxonómicos de un grupo vegetal. La metodología empleada condujo a:

1. determinar las relaciones fenéticas entre las especies, secciones y subsecciones de *Crotalaria* usando diferentes técnicas numéricas;
2. comparar esos resultados con las clasificaciones previas del género; y
3. determinar a posteriori cuáles eran los caracteres que más contribuían para la delimitación de las especies colombianas de *Crotalaria*.

Para la preparación de este trabajo se realizó un estudio detallado de 600 ejemplares de estos, 469 fueron sometidos a análisis con base en 95 caracteres y 201 estados definidos previamente. Se emplearon los métodos de *Análisis de Grupos* (Ligamiento Promedio presentado para WPGMA y UPGMA, Ligamiento Simple, Ligamiento Completo empleando el coeficiente de distancia taxonómica y el de correlación) y *Ordenación* (Análisis Coordinado Principal "Gower" y Análisis del Componente Principal "PCA").

Los resultados del análisis fenético se presentan dentro de la estructura que ofrece la clasificación existente de *Crotalaria* propuesta por BISBY & POLHILL (1973), con énfasis en la distribución en secciones de las especies colombianas. Es preciso aclarar que los resultados deben ser tomados como representación de una estructura puramente fenética, sin ninguna connotación filogenética.

La recopilación y actualización de todos estos datos, y el empleo de métodos numéricos, proporcionan las bases para posteriores estudios que podrán, entre otras cosas, utilizar los paquetes modelo de computador. Se confía en que este aporte estimulará la realización de trabajos similares en otros grupos vegetales.

El tratamiento sistemático se encuentra publicado en la monografía de las especies colombianas de *Crotalaria* (BERNAL, 1986).

RELACIONES INTERGENERICAS DE CROTALARIA

El género *Crotalaria* ha sido incluido tradicionalmente en la tribu Genisteae (BENTHAM & HOOKER, 1865; BAILLON, 1870; DALLA TORRE & HARMS, 1900-1907; DIELS, 1936; MACBRIDE, 1943; PITTIER, 1944; STANDLEY & STEYERMARK, 1946; BURKART, 1952; SCHULZE-MENZ, 1964; GARCIA-BARRIGA & FORERO, 1968; DWYER, 1980). HUTCHINSON (1964) erigió la tribu Crotalariaeae para incluir en ella a *Crotalaria* y a los pequeños géneros *Heylandia* y *Priotopis*. Posteriormente POLHILL (1968) hizo referencia a la estrecha relación que también existe entre *Crotalaria* y los géneros surafricanos *Lebeckia*, *Aspalathus* y *Rafnia*, y amplió los límites de la tribu para incluir no solamente los géneros ya mencionados sino la mayoría de los colocados por Hutchinson en las tribus Borbonieae y Latononideae; actualmente (POLHILL, 1981) la tribu Crotalariaeae está compuesta por los géneros de estas dos tribus más los que originalmente formaron la subtribu Crotalariinae de la tribu Genisteae.

Después de los estudios clásicos de DE CANDOLLE (1825) y BENTHAM & HOOKER (1865), los límites del género no han sido seriamente puestos en duda. Las principales dificultades se presentan con algunas especies del género *Lotononis* del Viejo Mundo (DUMMER, 1913; BAKER, 1914; VERDOORN, 1928; PHILLIPS, 1951; WILCZECK, 1953). En Colombia no surgen problemas de delimitación por cuanto ninguno de los géneros estrechamente relacionados con *Crotalaria* existe en el país.

DEFINICION DEL GENERO

POLHILL (1968), después de haber estudiado cientos de flores de *Crotalaria* presenta la siguiente serie de caracteres diagnósticos para el género, los cuales no están necesariamente correlacionados en forma invariable; la ausencia de uno o dos es frecuente:

1. estambres monadelfos, con la envoltura hendida;
2. anteras largas basifijas y cortas dorsifijas alternas;
3. estilo con una o dos líneas de pelos hacia el ápice;
4. ovario estipitado;
5. quilla en forma de pico;
6. alas con filas de dobleces de forma de media luna entre las venas superiores;
7. estandarte con uña corta y con dos pequeños apéndices en la base;

8. Cáliz con (4-) 5 lóbulos subiguales, a veces con el lóbulo superior y los laterales coherentes o unidos casi hasta el ápice, o con el tubo algo alargado en la cara inferior, o bilabiado, con el tubo alargado en las caras superior e inferior pero entonces siempre con lóbulos relativamente largos;
9. las legumbres de la gran mayoría de las especies son característicamente infladas.

SUBDIVISIONES DE CROTALARIA

Las más antiguas subdivisiones del género son artificiales. Los primeros esfuerzos fueron hechos por LINNEO (1753) quien reconoció grupos de especies con A) hojas unifolioladas B) hojas compuestas, división que fué adoptada posteriormente por muchos autores (LAMARCK, 1786; DE CANDOLLE, 1825; BENTHAM, 1843; MEISSNER, 1843). DE CANDOLLE (1825) propuso subdivisiones adicionales. Una importante contribución apareció en WIGHT & ARNOTT (1834) quienes, basados en un gran número de caracteres correlacionados, indicaron 30 grupos sin asignarles rango taxonómico. ENDLICHER (1840) dependió enteramente de la forma de la legumbre para delimitar siete grupos también sin asignación de rango.

BENTHAM (1843, 1859), siguiendo los lineamientos anteriores, dispuso las especies en grupos caracterizados por hojas y hábito, y dividió el género en 17 grupos, organizados en dos series: *Simplicifoliae* y *Foliolatae*.

HARVEY (1862) adoptó tres grupos: 1) *Simplicifoliae*, 2) *Oliganthae* y 3) *Racemosae*, para dividir así las especies trifoliadas por el número de flores en el racimo; esos grupos son satisfactorios cuando se trata únicamente de las especies del Africa del Sur, pero no parecen aplicables a todas las especies africanas. Este concepto fue adoptado parcialmente por J. G. BAKER (1871) quien mantuvo los grupos 1) *Simplicifoliae* y 2) *Oliganthae* pero abandonó el grupo *Racemosae* el cual reemplazó por 3) *Chrysocalycinae*, 4) *Sphaerocarpae*, 5) *Oocarpae*, 6) *Cylindrocarpae* y 7) *Multifoliolatae*.

El ordenamiento de DALLA TORRE & HARMS (1900-1907) es básicamente el mismo de BENTHAM, aunque reconociendo 4 secciones: 1) *Simplicifoliae* (con 7 series), 2) *Unifoliolatae*, 3) *Trifoliolatae* (con 10 series) y 4) *Multifoliolatae*; las series se distinguen por caracteres de hábito, arreglo floral, estipulas e indumento, y en un menor grado por la forma de la quilla y de la legumbre.

E. G. BAKER (1914) adoptó como secciones los grupos 1) *Simplicifoliae*, 2) *Sphaerocarpae*, y 3) *Chrysocalycinae*, usados por su padre, y adicionó otros dos pequeños grupos naturales en el mismo rango, 4) *Spinosa* y 5) *Farctae*; el resto de las especies las ubicó en la sección 6) *Crotalaria* (como "*Eucrotalaria*"), a la cual dividió en 5 subsecciones. La misma clasificación, aunque sin el uso de estas subsecciones, fue empleado por SENN (1939). PELTIER (1959) usó el sistema en una forma similar para las especies de Madagascar,

pero adicionó la sección *Coursia*, para las especies con legumbres comprimidas lateralmente y con pocas semillas.

POLHILL (1968) consideró que ninguno de los sistemas anteriores era completamente satisfactorio pues no estaba de acuerdo con la división primaria del género por el tipo de hoja, ya que algunas especies presentan más de un tipo en la misma planta. Según él, el sistema de WIGHT & ARNOTT y los trabajos de BENTHAM son aplicables en la India pero no en Africa y América donde existe mayor diversidad de especies en el género, aunque sugiere que la complejidad de los patrones de variación decrece sorprendentemente fuera del continente africano; esta observación parece superficial pues fue basada en el análisis de material preservado en Kew.

Basado principalmente en morfología floral, POLHILL (l.c.) clasificó 434 especies africanas en 11 secciones: 1) *Grandiflorae*, 2) *Incanae*, 3) *Chrysocalycinae*, 4) *Purpureae*, 5) *Hedriocarpae*, 6) *Macrostachyae*, 7) *Geniculatae*, 8) *Schizostigma*, 9) *Calycinae*, 10) *Crotalaria* y 11) *Dispermae*. Esta clasificación ha servido como hipótesis inicial para el establecimiento de las relaciones entre todos los taxa.

BISBY (1970) analizó 52 atributos morfológicos de 273 especies africanas por medio de un procedimiento de taxonomía numérica que provee una medida del valor taxonómico potencial. En 1973, empleando las mismas especies, hizo una comparación empírica del ordenamiento de POLHILL con las clasificaciones sugeridas con base en tres procedimientos de taxonomía numérica: Agrupamiento por "Ligamiento simple", "Agrupamiento Mediano" y Análisis Coordinado Principal "Gower"; a pesar de algunas semejanzas, los resultados de BISBY presentan problemas por encima del nivel de especie.

BISBY & POLHILL (1973) establecieron un paralelo entre los estudios ortodoxos y los de taxonomía numérica; en esta forma fue posible resolver 20 discrepancias en la delimitación de los grupos mayores (secciones) y en la colocación de individuos en especies. El resultado final fue una clasificación perfeccionada de las especies africanas en 8 secciones: 1) *Grandiflorae*, 2) *Chrysocalycinae*, 3) *Hedriocarpae*, 4) *Geniculatae*, 5) *Schizostigma*, 6) *Calycinae*, 7) *Crotalaria* y 8) *Dispermae*.

MATERIALES Y METODOS

En los métodos numéricos empleados, que se resumen a continuación, las 19 especies colombianas de *Crotalaria* constituyen las 19 Unidades Taxonómicas Operacionales (OTU's), cuyas interrelaciones son investigadas.

Un hecho particular de la Taxonomía Numérica es el uso de gran cantidad de caracteres que deben ser tomados de todo el cuerpo de los organismos y de todo su ciclo vital, y a los cuales se asigna el mismo peso o importancia

en la formación de los grupos. Es, por supuesto, bastante difícil dar un adecuado catálogo de todos los caracteres taxonómicos que pueden ser usados en diferentes grupos. Unicamente los especialistas en diversos taxa tienen la posibilidad de definir caracteres taxonómicos unitarios en los organismos que ellos están estudiando. En general se deben usar todos los caracteres que varían en el grupo a estudiar, y no solamente los caracteres diagnósticos convencionales.

La escogencia de caracteres es en sí un problema; sin embargo, en el presente estudio los caracteres han sido elegidos teniendo como base la evaluación y selección de caracteres que BISBY (1970) realizó en 273 especies africanas de *Crotalaria* utilizando un procedimiento numérico que provee una medida del valor taxonómico potencial. BISBY también empleó caracteres que habían sido usados previamente por BAKER (1914) y POLHILL (1968) en estudios clásicos del género. Los caracteres usados para el tratamiento de las especies colombianas fueron obtenidos después de estudiar 600 ejemplares y someter a análisis 469 así:

Crotalaria agatiflora (5), *C. brevidens* (8), *C. gloriae* (3), *C. incana* (75), *C. juncea* (11), *C. lanceolata* (5), *C. maypurensis* (11), *C. micans* (67), *C. nittens* (60), *C. nitidula* (10), *C. pallida* (53), *C. paulina* (4), *C. pilosa* (21), *C. purdieana* (10), *C. retusa* (42), *C. sagittalis* (43), *C. spectabilis* (6), *C. verrucosa* (21), *C. vitellina* (14).

Acumulación de datos

Se analizaron 95 caracteres y 201 estados para cada una de las especies. Los tipos de caracteres incluyen 21 cualitativos multi-estado, 51 cualitativos doble-estado y 23 cuantitativos. Para todos los caracteres examinados el código 000 (transformado por MINT¹ en 9999.898) se utiliza cuando hay valores ausentes (NC) en la matriz básica de datos (MBD; Tabla 1); ellos son ignorados durante las computaciones. La media fue usada para caracteres cuantitativos continuos y el valor modal para cuantitativos discontinuos.

Los caracteres así establecidos son codificados en la siguiente forma:

- Item 1. PAIS DE ORIGEN COLOMBIA. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 2. PAIS DE ORIGEN BRASIL. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 3. PAIS DE ORIGEN CUBA. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 4. PAIS DE ORIGEN INDIA. Ausencia (1), presencia (2).

¹ Programa MINT (mini-NTSYS, Numerical System of Multivariate Statistical Programs) desarrollado por Rohlf (1972).

MATRIZ BASICA DE DATOS (MBD) 19 OTU'S X 95 Caracteres

CONVENCIONES

CARACTERES

	AGA. 1	INC. 2	MIC. 3	MAY. 4	VIT. 5	GLO. 6	PAL. 7	BRE. 8	LAN. 9	JUN. 10	NC = 9999.898: Valores ausentes (no computables)
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1. AGA. = <i>Crotalaria agatiflora</i>
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2. INC. = <i>C. incana</i>
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3. MIC. = <i>C. micans</i>
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	4. MAY. = <i>C. maypurensis</i>
5	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	5. VIT. = <i>C. vitellina</i>
6	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6. GLO. = <i>C. glorieae</i>
7	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7. PAL. = <i>C. pallida</i>
8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8. BRE. = <i>C. brevidens</i>
9	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	9. LAN. = <i>C. lanceolata</i>
10	3.000	1.000	2.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	10. JUN. = <i>C. juncea</i>
11	3.000	2.000	3.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000	11. NIT. = <i>Crotalaria nitens</i>
12	8.000	3.100	5.100	3.500	2.600	9999.898	3.100	2.500	2.700	6.300	12. NI. = <i>C. nitidula</i>
13	6.000	2.500	3.000	2.500	2.200	9999.898	2.500	2.200	2.000	4.400	13. PIL. = <i>C. pilosa</i>
14	1.000	2.000	3.000	3.000	1.000	9999.898	2.000	1.000	1.000	3.000	14. SAG. = <i>C. sagittalis</i>
15	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	9999.898	1.000	2.000	2.000	1.000	15. PAU. = <i>C. paulina</i>
16	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	9999.898	1.000	1.000	1.000	2.000	16. PUR. = <i>C. purdieana</i>
17	9999.898	30.100	34.900	9999.898	31.500	9999.898	27.500	32.200	31.100	35.400	17. RET. = <i>C. retusa</i>
18	9999.898	3.300	5.200	9999.898	4.300	9999.898	2.400	3.000	2.500	3.600	18. VER. = <i>C. verrucosa</i>
19	9999.898	7.800	23.500	9999.898	16.000	9999.898	5.900	5.000	2.800	38.000	19. SPE. = <i>C. spectabilis</i>
20	3.000	3.000	2.000	5.000	3.000	5.000	2.000	5.000	2.000	2.000	
21	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
22	9999.898	3.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.000	
23	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	
24	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	
25	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
26	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	2.000	
27	9999.898	5.000	2.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	
28	4.900	4.800	4.300	2.000	4.000	3.000	4.400	4.800	2.400	0.200	
29	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
30	3.500	3.300	6.200	4.200	5.500	3.800	5.300	9.900	8.500	9999.898	
31	2.000	2.100	2.200	0.800	2.100	2.000	2.800	2.400	0.900	9999.898	
32	2.900	2.700	4.800	2.700	4.000	2.800	4.200	6.700	6.000	9999.898	

TABLA 1 (Continuación)

	AGA.	INC.	MIC.	MAY.	VIT.	GLO.	PAL.	BRE.	LAN.	JUN.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
33	1.700	1.700	1.800	0.500	1.600	1.500	2.300	1.800	0.600	9999.898
34	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	6.500
35	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	1.000
36	1.000	3.000	3.000	2.000	3.000	3.000	2.000	1.000	1.000	3.000
37	9999.898	2.000	2.000	1.000	2.000	2.000	1.000	9999.898	9999.898	2.000
38	9999.898	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	9999.898	9999.898	3.000
39	9999.898	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9999.898	9999.898	1.000
40	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000
41	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
42	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
43	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
44	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
45	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
46	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000
47	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	2.000	2.000	2.000
48	1.000	1.000	2.000	1.000	2.000	2.000	1.000	2.000	2.000	1.000
49	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000
50	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000
51	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
52	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
53	9999.898	9999.898	1.000	2.000	3.000	3.000	9999.898	3.000	3.000	2.000
54	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	2.000	2.000	2.000
55	1.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000
56	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000
57	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
58	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	2.000	1.000	2.000	2.000
59	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
60	1.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000
61	9999.898	3.000	2.000	3.000	9999.898	9999.898	3.000	3.000	3.000	3.000
62	9999.898	2.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000

C A R A C T E R E S

	AGA. 1	INC. 2	MIC. 3	MAY 4	VIT. 5	GLO. 6	PAL. 7	BRE. 8	LAN. 9	JUN. 10
63	1.000	4.000	1.000	1.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
64	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
65	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
66	27.800	8.700	9.700	7.100	7.900	8.000	5.800	4.200	4.500	18.000
67	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000	1.000
68	2.000	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000
69	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000
70	9999.898	3.000	2.000	1.000	2.000	4.000	2.000	9999.898	9999.898	2.000
71	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
72	48.600	11.200	15.700	14.500	7.800	10.000	10.300	11.200	16.000	21.700
73	35.200	8.600	17.800	15.000	7.400	6.800	6.300	10.500	11.000	17.400
74	25.000	9.900	15.500	15.400	7.800	8.000	9.400	13.000	17.400	17.000
75	9.800	3.300	6.900	5.800	2.900	2.800	3.000	4.400	5.100	6.500
76	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	2.000	3.000	3.000	1.000
77	60.200	11.800	13.000	15.700	10.000	12.000	12.000	14.000	18.000	19.100
78	23.400	5.000	6.100	6.000	5.400	3.800	4.800	5.100	5.200	8.700
79	1.000	1.000	3.000	2.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	1.000
80	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000
81	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
82	18.800	4.300	4.400	4.700	3.600	2.800	2.800	4.200	5.500	6.100
83	9999.898	6.700	6.300	6.400	4.800	2.500	4.300	5.500	8.900	11.200
84	2.000	2.000	3.000	3.000	3.000	1.000	3.000	3.000	3.000	3.000
85	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000
86	68.600	8.800	9.700	10.600	8.000	6.500	8.900	9.700	12.200	13.500
87	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000
88	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000
89	68.000	33.000	39.000	28.000	20.000	20.000	43.000	40.000	49.000	26.000
90	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
91	9999.898	4.000	2.000	1.000	2.000	2.000	3.000	1.000	1.000	4.000
92	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	2.000	1.000
93	1.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000	2.000	2.000
94	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
95	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000

TABLA 1 (Continuación)

	NIT.	NJ.	PIL.	SAG	PAU.	PUR.	RET.	VER.	SPE.
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000
2	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	2.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	2.000
11	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	3.000	1.000	1.000	1.000
12	3.300	2.700	2.800	1.800	4.500	3.300	4.200	4.500	3.400
13	2.700	2.300	2.300	1.600	3.400	2.400	3.500	3.600	2.500
14	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	2.000	3.000	3.000	3.000
15	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	2.000	2.000	2.000
16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000
17	9999.898	9999.898	9999.898	33.800	9999.898	9999.898	24.100	29.300	26.600
18	9999.898	9999.898	9999.898	4.500	9999.898	9999.898	9999.898	3.000	2.600
19	9999.898	9999.898	9999.898	5.400	9999.898	9999.898	23.600	8.200	18.300
20	1.000	2.000	7.000	8.000	2.000	1.000	4.000	6.000	4.000
21	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	2.000	2.000	2.000	1.000
22	2.000	2.000	5.000	5.000	9999.898	4.000	1.000	1.000	9999.898
23	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000
24	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	2.000	1.000	2.000	1.000
25	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
26	2.000	2.000	4.000	4.000	9999.898	3.000	9999.898	1.000	9999.898
27	2.000	2.000	4.000	4.000	2.000	3.000	1.000	1.000	1.000
28	0.400	0.300	0.100	0.100	0.600	6.100	0.200	0.500	0.300
29	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
30	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	6.200	9999.898	9999.898	9999.898
31	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	2.500	9999.898	9999.898	9999.898

CARACTERES

TABLA 1 (Continuación)

		NIT.	NJ.	PIL.	SAG.	PAU.	PUR.	RET.	VER.	SPE.
		11	12	13	14	15	16	17	18	19
	32	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	4.200	9999.898	9999.898	9999.898
	33	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898	2.300	9999.898	9999.898	9999.898
	34	6.600	8.800	6.700	4.800	12.100	9999.898	6.100	5.900	7.400
	35	2.200	3.000	0.900	0.800	4.800	9999.898	2.100	3.900	2.900
	36	1.000	1.000	3.000	2.000	3.000	1.000	3.000	3.000	3.000
	37	9999.898	9999.898	2.000	2.000	2.000	9999.898	2.000	2.000	2.000
	38	9999.898	9999.898	1.000	2.000	1.000	9999.898	3.000	1.000	2.000
	39	9999.898	9999.898	2.000	2.000	2.000	9999.898	1.000	1.000	1.000
	40	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000
	41	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000
	42	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	43	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	44	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	45	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000
	46	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000
	47	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	48	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	2.000	1.000	2.000	1.000
	49	1.000	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	2.000	1.000	1.000
	50	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000
	51	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	52	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000
	53	2.000	3.000	3.000	2.000	1.000	3.000	3.000	3.000	1.000
	54	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	2.000	2.000	2.000	1.000
	55	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	56	1.000	1.000	2.000	2.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000
	57	1.000	1.000	1.000	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	58	1.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	59	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	60	2.000	2.000	2.000	2.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	61	3.000	3.000	3.000	3.000	1.000	9999.898	9999.898	9999.898	9999.898
	62	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	63	1.000	1.000	4.000	4.000	1.000	2.000	1.000	4.000	1.000

- Item 32. LONGITUD MAXIMA DE LOS FOLIOLOS LATERALES (Hojas trifolioladas, en cm. con un decimal).
- Item 33. ANCHO MAXIMO DE LOS FOLIOLOS LATERALES (Hojas trifolioladas, en cm. con un decimal).
- Item 34. LONGITUD MAXIMA DE LAS HOJAS UNIFOLIOLADAS (en cm. con un decimal).
- Item 35. ANCHO MAXIMO DE LAS HOJAS UNIFOLIOLADAS (en cm. con un decimal).
- Item 36. ESTIPULAS. Ausentes (1), ausentes y presentes (2), presentes (3).
- Item 37. ESTIPULAS. Caducas (1), persistentes (2).
- Item 38. TAMAÑO DE LAS ESTIPULAS. Grandes, mayor de 1.0 cm. de longitud (1), medianas, entre 0.5-1 cm. de longitud (2), pequeñas, menor de 0.5 cm. de longitud (3).
- Item 39. ESTIPULAS. Libres (1), decurrentes (2).
- Item 40. ESTIPULAS SETACEAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 41. ESTIPULAS REDONDEADAS (suborbiculares). Ausencia (1), presencia (2).
- Item 42. ESTIPULAS SAGITADAS (apiculadas, extendiéndose a lo largo del tallo). Ausencia (1), presencia (2).
- Item 43. ESTIPULAS ALADAS (causando que el tallo aparezca alado continuamente). Ausencia (1), presencia (2).
- Item 44. ESTIPULAS AURICULADAS Y REDONDEADAS (dimórficas). Ausencia (1), presencia (2).
- Item 45. ESTIPULAS TRIANGULARES. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 46. PUBESCENCIA DE LAS ESTIPULAS (haz y/o envés). Ausencia (1), presencia (2).
- Item 47. BRACTEAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 48. BRACTEAS LINEARES. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 49. BRACTEAS LANCEOLADAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 50. BRACTEAS SETACEAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 51. BRACTEAS LINEAR-LANCEOLADAS, ESTIPITADAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 52. BRACTEAS ANCHAMENTE AOVADAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 53. TAMAÑO DE LAS BRACTEAS. Grandes, mayor de 1.0 cm. de longitud (1); medianas, entre 0.5-1 cm. de longitud (2); pequeñas, menor de 0.5 cm. de longitud (3).
- Item 54. PUBESCENCIA DE LAS BRACTEAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 55. BRACTEOLAS COLOCADAS A LADO Y LADO DEL CALIZ O SOBRE EL PEDICELO. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 56. BRACTEOLAS LINEARES. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 57. BRACTEOLAS LANCEOLADAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 58. BRACTEOLAS SETACEAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 59. BRACTEOLAS LINEAR-LANCEOLADAS, ESTIPITADAS. Ausencia (1), presencia (2).

- Item 60. PUBESCENCIA DE LAS BRACTEOLAS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 61. LONGITUD RELATIVA BRACTEOLAS/CALIZ. Más largas 2:1, (1), más o menos iguales 1:1, (2), más cortas 1:2, (3).
- Item 62. BRACTEAS y/o BRACTEOLAS. Caducas (1), persistentes (2).
- Item 63. POSICION DE LA INFLORESCENCIA. Terminal (1), axilar (2), opuestas a las hojas (racimos laterales) (3), terminal y opuesta a las hojas (4).
- Item 64. INFLORESCENCIA, NUMERO DE NUDOS SOBRE EL RAQUIS. Multiflora (1), pauciflora (2), uniflora, biflora ó hasta 6 flores (3).
- Item 65. LONGITUD TOTAL DE LA INFLORESCENCIA. Más corta que la hoja (1), más o menos igual que la hoja (2), más larga que la hoja (3).
- Item 66. LONGITUD DEL CALIZ (en mm. con un decimal).
- Item 67. LONGITUD RELATIVA CALIZ/PEDICELO. Cáliz más largo 2:1, (1), cáliz más o menos igual de largo 1:1, (2), cáliz más corto 1:2, (3).
- Item 68. LOBULOS DEL CALIZ. Libres y aproximadamente iguales (1), bilabiado (2).
- Item 69. PUBESCENCIA DEL CALIZ. Glabro o muy pubescente (1), pubescente (2).
- Item 70. TIPO DE PUBESCENCIA DEL CALIZ. Pubérulo (1), velutino (2), tomentoso (3), piloso (4), seríceo (5).
- Item 71. LONGITUD RELATIVA CALIZ/COROLA. Más largo 2:1, (1), longitud más o menos igual 1:1, (2), más corto 1:2, (3).
- Item 72. LONGITUD MAXIMA DEL ESTANDARTE (en mm. con un decimal).
- Item 73. ANCHO MAXIMO DEL ESTANDARTE (en mm. con un decimal).
- Item 74. LONGITUD MAXIMA DE LAS ALAS (en mm. con un decimal).
- Item 75. ANCHO MAXIMO DE LAS ALAS (en mm. con un decimal).
- Item 76. LONGITUD RELATIVA ESTANDARTE/ALAS. Estandarte netamente más largo 2:1, (1); longitud más o menos igual 1:1, (2); estandarte netamente más corto 1:2, (3).
- Item 77. LONGITUD MAXIMA DE LA QUILLA (en mm. con un decimal).
- Item 78. ANCHO MAXIMO DE LA QUILLA (en mm. con un decimal).
- Item 79. LONGITUD RELATIVA QUILLA/ALAS. Quilla netamente más larga 2:1, (1); longitud más o menos igual 1:1, (2); quilla más corta 1:2, (3).
- Item 80. EXTREMO DE LA QUILLA. No retorcido (1), retorcido (2).
- Item 81. FORMA DE LAS ANTERAS. Todas alargadas (1), 5 alargadas, 5 redondeadas (o más o menos redondeadas) (2).

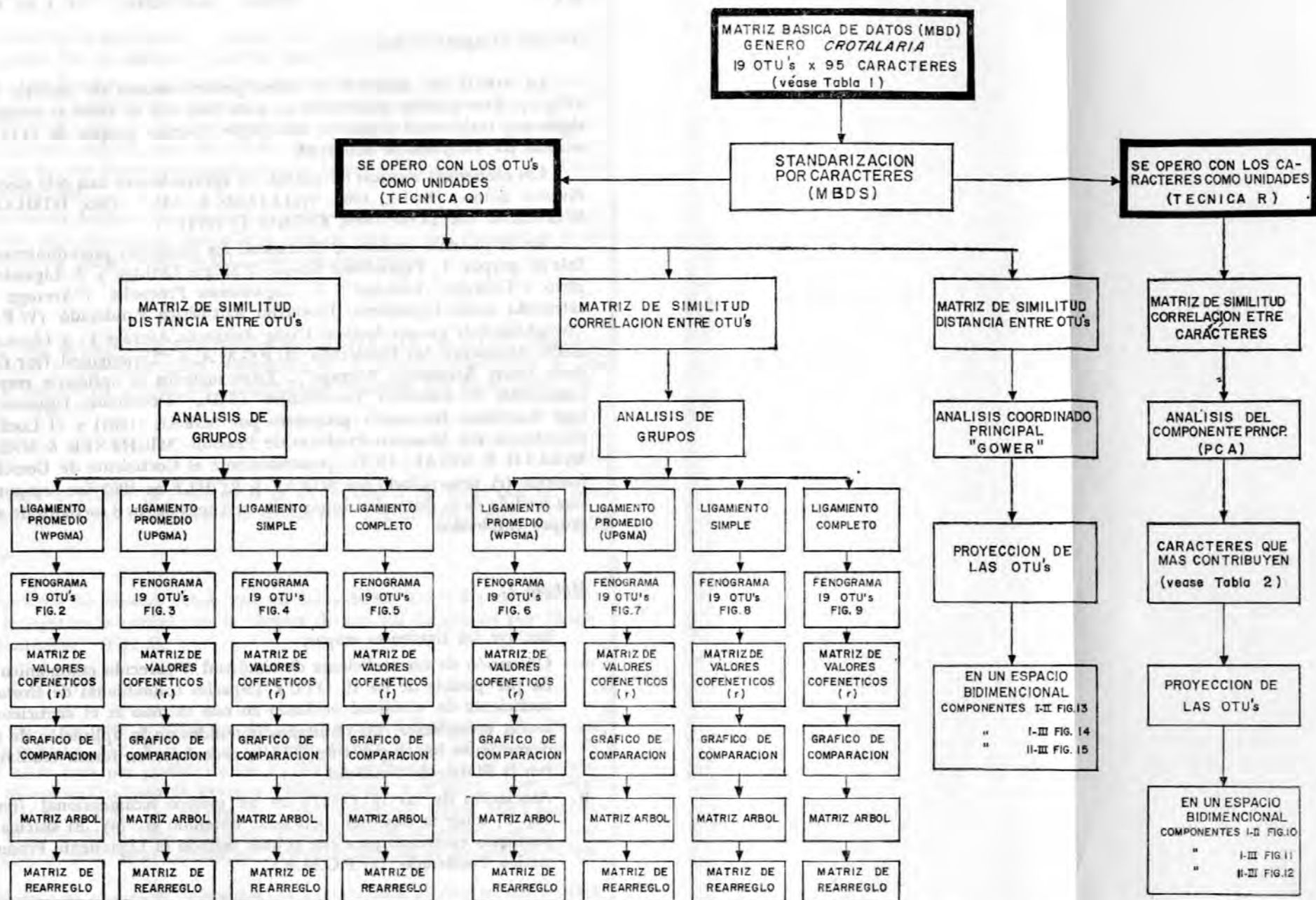
- Item 82. LONGITUD MAXIMA DE LOS FILAMENTOS CON ANTERAS ALARGADAS (en mm. con un decimal).
- Item 83. LONGITUD MAXIMA DE LOS FILAMENTOS CON ANTERAS REDONDEADAS (en mm. con un decimal).
- Item 84. RELACION ENTRE LA LONGITUD DE LOS FILAMENTOS CON ANTERAS ALARGADAS/FILAMENTOS CON ANTERAS REDONDEADAS. Más largos (1), más o menos iguales (2), más cortos (3).
- Item 85. PUBESCENCIA EN EL BORDE SUPERIOR DE LA QUILLA. Glabro o muy poco pubescente (1), pubescente (2).
- Item 86. LONGITUD DEL ESTILO (en mm. con un decimal).
- Item 87. PERSISTENCIA DEL ESTILO. Caduco (1), persistente (2).
- Item 88. ESTILO. Curvado (1), geniculado (2).
- Item 89. LONGITUD DE LOS FRUTOS (en cm. con un decimal).
- Item 90. PUBESCENCIA DE LOS FRUTOS. Glabro o muy poco pubescente (1), pubescente (2).
- Item 91. TIPO DE PUBESCENCIA DE LOS FRUTOS. Pubérulo (1), velutino (2), tomentoso (3), piloso (4).
- Item 92. FRUTOS LINEARES O LINEAR-OBLONGOS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 93. FRUTOS OBLONGOS O GLOBOSOS. Ausencia (1), presencia (2).
- Item 94. FRUTOS ESTRECHAMENTE OBLONGOS (atenuados hacia la base). Ausencia (1), presencia (2).
- Item 95. FRUTOS FALCADOS. Ausencia (1), presencia (2).

Procesamiento de datos

El trabajo de computación se adelantó en el Centro de Computo y Procesamiento de Información de la Universidad Nacional de Colombia, en un computador IBM 360/44 256K, utilizando el Programa MINT (mini-NTSYS, Numerical System of Multivariate Statistical Programs) desarrollado por ROHLF (1972).

Los datos fueron analizados por 10 métodos, 8 por *análisis de grupos* y 2 por *ordenación*. En la figura 1 se muestra un diagrama de la estrategia total seguida en el presente estudio.

La Matriz Básica de Datos (MBD; Tabla 1) de 19 OTU's por 95 caracteres fue standarizada por caracteres (MBDS ó Matriz Básica de Datos Standarizados) para remover pesajes desiguales impuestos por el uso de diferentes escalas de medida. Detalles de estos métodos y sus procedimientos computacionales pueden ser encontrados en SOKAL & SNEATH (1963), SNEATH & SOKAL (1973), y, CRISCI & LOPEZ (1983).



Análisis de agrupamiento

La MBDS fue sometida a varios procedimientos de análisis de grupos (Fig. 1). Este análisis comprende un gran conjunto de técnicas numéricas que, siguiendo reglas más o menos arbitrarias, forman grupos de OTU's que se asocian por su grado de similitud.

Las numerosas técnicas de análisis de agrupamiento han sido discutidas por diversos autores (BALL, 1965; WILLIAMS & DALE, 1965; WISHART, 1969; SPENCE & TAYLOR, 1970; EVERITT, 1974).

En el presente estudio se efectuaron los siguientes procedimientos de análisis de grupos: 1. Ligamiento Simple ("Single Linkage"), 2. Ligamiento Completo ("Complete Linkage"), 3. Ligamiento Promedio ("Average Linkage") calculado como Ligamiento Promedio Aritmético Ponderado (W.P.G.M.A. ó "Weighted Pair Group Method Using Arithmetic Average"), y Ligamiento Promedio Aritmético No Ponderado (U.P.G.M.A. ó "Unweighted Pair Group Method Using Arithmetic Average"). Estos métodos se aplicaron empleando el Coeficiente de Distancia Taxonómica (T.D., "Taxonomic Distance" ó "Average Euclidean Distance") propuesto por SOKAL (1961) y el Coeficiente de Correlación del Momento-Producto de Pearson (MICHENER & SOKAL, 1957; SNEATH & SOKAL, 1973); posteriormente el Coeficiente de Correlación Co-fenética (r) desarrollado por SOKAL & ROHLF en 1962 fue computado como una medida de la distorsión interna de cada uno de los 8 métodos de análisis de grupos empleados.

Método 1:

Incluye las siguientes etapas;

- a. Obtención de un coeficiente de similitud o parecido taxonómico entre cada par posible de las 19 OTU's (especies colombianas de *Crotalaria*). El coeficiente de similitud utilizado en este método es el coeficiente de distancia taxonómica; los resultados obtenidos en la aplicación de este coeficiente entre los 19 pares de OTU's, ordenados en forma tabular constituyen la *Matriz de Similitud*.
- b. Asociación de las 19 OTU's en un gráfico bidimensional (fenograma¹, Fig. 2) sobre la base del coeficiente obtenido en (a). El sistema de agrupamiento empleado para este primer método es Ligamiento Promedio Aritmético Ponderado (W.P.G.M.A.).

¹ El resultado del análisis de agrupamiento puede ser expresado gráficamente en varias formas; la más utilizada es mediante un diagrama en forma de árbol (dendograma), que por estar basado en la evidencia fenética recibe el nombre de *fenograma*.

- c. Construcción de una nueva matriz de similitud a partir de los valores del fenograma que se denomina *Matriz Cofenética*¹.
- d. Tomando como base la matriz de similitud que dió origen al fenograma, y la matriz cofenética que representa el fenograma, se computó el coeficiente de correlación del momento-producto de ambas matrices. Los valores generalmente oscilan entre 0.6 y 0.95; los valores superiores a 0.8 son indicadores de una buena representación de la matriz de similitud por parte del fenograma.

Es necesario recalcar que el coeficiente de correlación cofenética es una medida de la distorsión interna de la técnica, pero no una evaluación de la clasificación que se construirá a partir del fenograma.

Método 2:

La matriz de distancia Taxonómica de 19 OTU's X 19 OTU's obtenida en el método 1 fue usada como entrada en el cálculo del fenograma por la técnica de análisis de grupos por "Ligamiento Promedio No Ponderado, W. P.G.M.A." (Fig. 3).

Método 3:

Se siguió el mismo procedimiento de el método 1, excepto que en este caso se empleó la técnica de análisis de grupos por "Ligamiento Simple" (Fig 4).

Método 4:

Se siguieron las mismas etapas que en los métodos 1, 2 y 3 pero la obtención del fenograma se realizó con la técnica de análisis de grupos por "Ligamiento Completo" (Fig. 5).

Métodos 5, 6, 7 y 8:

Para estos métodos se siguieron las mismas etapas y técnicas que en los anteriores métodos 1, 2, 3, y 4, con la única diferencia que el coeficiente de similitud entre cada par posible de las 19 OTU's utilizadas, fue el de Correlación del Momento-Producto de Pearson (MICHENER & SOKAL, 1957; SNEATH & SOKAL, 1973). Los valores para este coeficiente varían entre 0 a ∞ , siendo 0 el valor de máxima similitud. Posteriormente se obtuvieron los respectivos cuatro fenogramas usando los siguientes análisis de grupos: el "Liga-

¹ Al observar las técnicas de construcción de un fenograma, es clara la imposibilidad de que este sea un exacto reflejo de la matriz de similitud. Se han propuesto varias técnicas para medir el grado en que el fenograma representa los valores de la matriz de similitud. La técnica más conocida es la del Coeficiente de Correlación Cofenética, que fué establecida por SOKAL & ROHLF (1962), y consiste en la construcción de una nueva matriz de similitud a partir de los valores del fenograma que se denomina *Matriz Cofenética*.

miento Promedio Ponderado" (W.P.G.M.A.), para el método 5; el Ligamiento Promedio no Ponderado" (W.P.G.M.A.), para el método 6; el "Ligamiento Simple", para el método 7 y el "Ligamiento Completo" para el método 8; los resultados gráficos de estos métodos corresponden respectivamente a las figuras 6, 7, 8 y 9.

Ordenación

Otro camino utilizado para encontrar el patrón de relaciones entre la totalidad de las OTU's son los métodos de ordenación.

Podemos imaginar un espacio multidimensional donde ubiquemos a las OTU's y donde cada dimensión represente un carácter, es decir, tantas dimensiones como caracteres. Los métodos de ordenación reducen, sin mayor pérdida de información, el número de dimensiones y de esa manera facilitan la representación de la OTU's y sus relaciones en función de los caracteres empleados.

A diferencia del análisis de agrupamiento, estos métodos no trazan límites en el espacio que separen grupos; esa es tarea a realizar por el investigador al interpretar los resultados. Las relaciones entre las OTU's están reflejadas en las posiciones en que se disponen en ese espacio. Cuanto más cerca se encuentren entre sí dos OTU's, más estrechamente relacionadas están.

Se han propuesto numerosas técnicas para realizar ordenación. Entre las más frecuentemente utilizadas en taxonomía están las de Análisis del Componente Principal (PCA), Análisis Coordinado Principal (Gower), Análisis Factorial Múltiple y Análisis Factorial de Correspondencias, de las cuales se emplearon las dos primeras para el estudio de las Crotalarias colombianas.

Estas técnicas pueden ser clasificadas con base en la forma en que operan. Algunas siguen el camino de las técnicas Q, que parten de una matriz de similitud entre OTU's como en el caso del Análisis Coordinado Principal (Gower). Otras siguen el camino de las técnicas R, que parten de una matriz de similitud entre caracteres; un ejemplo de este último tipo de técnicas es el Análisis del Componente Principal (PCA). Es importante recalcar que a pesar de partir de una matriz de similitud entre caracteres, la representación gráfica final es la de las relaciones entre las OTU's.

Método 9:

Consiste en la técnica de Análisis del Componente Principal (PCA) la cual tiene su origen en los trabajos que realizó Karl Pearson a principios de este siglo. Por medio de esta técnica se puede representar la estructura de un conjunto de caracteres correlacionados, en términos de un número limitado de nuevas variables no correlacionadas entre sí y ortogonales. Estas nuevas variables, se interpretan independientemente unas de otras, son denominadas *componentes principales*.

El número de componentes depende del número de caracteres originales y el número máximo posible es igual o menor que el número de estos últimos. Cada componente contiene una parte de la variabilidad total de los caracteres. El primer componente es el que contiene la mayor cantidad de variabilidad. De la variabilidad restante, el segundo componente es el que contiene más información. El tercer componente contiene la mayor cantidad de variabilidad no contenida en los componentes anteriores. Así se continúa hasta tener toda la variabilidad distribuida diferencialmente entre los componentes.

Cada componente contiene información de todos los caracteres pero en diferentes proporciones. Los componentes principales son considerados ejes que conforman un nuevo espacio multidimensional. Si se proyectan las OTU's sobre una recta se originan distancias entre las proyecciones. Las rectas sobre las cuales estas distancias son máximas son los *componentes principales* (CRISCI & LOPEZ, 1983).

Los principios básicos de esta técnica y un análisis más detallado y matemáticamente más riguroso han sido presentados por diversos autores (SEAL, 1964; HARMAN, 1967; MORRISON, 1967; BLACKITH & REYMENT, 1971; EVERITT, 1974; CLIFFORD & STEPHENSON, 1975).

En el estudio de las especies colombianas de *Crotalaria* una matriz de correlación carácter X carácter fué obtenida de la MBDS por cálculo del coeficiente de correlación momento-producto entre cada par posible de los 95 caracteres. El análisis del Componente Principal (PCA) fue realizado en la matriz de correlación 95 X 95 (que por su extensión no se incluye aquí); de este primer análisis se tomaron los 49 caracteres que más contribuyen y se realizó un segundo análisis para obtener una matriz de similitud 49 X 49 caracteres mediante la aplicación del coeficiente de correlación; el análisis del componente principal fue hecho en ésta matriz y los tres primeros componentes fueron extraídos, graficándolos sobre ejes ortogonales y proyectando las OTU's en un espacio bidimensional (Figs. 10, 11 y 12).

Método 10:

Un importante avance en la técnica de ordenación lo constituye el Análisis Coordinado Principal, desarrollado por GOWER (1966). Por medio de esta técnica es posible computar componentes principales a partir de una matriz de similitud (distancia taxonómica) entre OTU's; es decir, sigue el camino de las técnicas Q, a diferencia del análisis del componente principal que parte de una matriz de similitud entre caracteres, o técnica R; los resultados gráficos de este método se presentan en las figuras 13, 14 y 15.

Además de los análisis descritos se utilizan tres subprogramas del programa MINT: la Matriz de Comparación (MXCP), la Matriz Arbol (TREE) y la Matriz de Rearreglo (RRNG).

La matriz de Comparación (MXCP) se usa para comparar dos matrices simétricas; aquí los elementos de una matriz son diagramados frente a los ele-

mentos de una segunda matriz, y la correlación entre dos filas de elementos es computada; esto es de interés para investigar si las relaciones fenéticas mostradas en una matriz tienen congruencia con las mostradas en una segunda matriz. La Matriz de Rearreglo (RRNG), por otra parte, se usa para rearmar las filas y/o columnas de una matriz en el orden que se especifica por los resultados del análisis de grupos; es útil puesto que tiende a colocar OTU's próximas la una de la otra, así que es fácil estudiar los datos originales y la matriz de similitud; este subprograma al igual que la Matriz Arbol son particularmente utilizados en la preparación de claves y descripciones (BERNAL, 1986).

RESULTADOS

Análisis numérico

La estrategia general seguida en este estudio se presenta en la figura 1, y su frecuente consulta es indispensable para comprender mejor los resultados de los distintos análisis efectuados.

Estos resultados se incluyen a continuación a manera de tablas y figuras que permiten resumir la voluminosa información computacional obtenida en las diferentes salidas con el programa MINT.

Para todos los tipos de análisis es necesario contar con una Matriz Básica de Datos (MBD, Tabla 1), una Matriz Básica de Datos Standarizados (MBDS) y una Matriz de Similitud.

Los valores de la Tabla 1 son los mismos para los ocho tipos de análisis de agrupamiento; y, para el análisis coordinado principal "Gower" y el análisis de componentes principales (PCA).

Para los análisis de agrupamiento y el análisis coordinado principal "Gower" se operó con los OTU's (especies colombianas de *Crotalaria*) como unidades (técnica Q), y para el análisis de componentes principales (PCA) se operó con los caracteres como unidades (técnica R).

Para los análisis de agrupamiento y el análisis coordinado principal "Gower" se operó con las OTU's (especies colombianas de *Crotalaria*) como unidades (técnica Q), y para el análisis de componentes principales (PCA) se operó con los caracteres como unidades (técnica R).

En la Tabla 1 los caracteres se numeran en serie, y su codificación e interpretación deben consultarse en la lista que aparece en la sección previa relativa a acumulación de datos. También las OTU's reciben números seriados asignados por el MINT; en la Tabla 1 están designadas por esos números y por abreviaturas en la siguiente forma:

1. AGA. *Crotalaria agatiflora*
2. INC. *C. incana*
3. MIC. *C. micans*
4. MAY. *C. maypurensis*

5. VIT. *C. vitellina*
6. GLO. *C. glorie*
7. PAL. *C. pallida*
8. BRE. *C. brevidens*
9. LAN. *C. lanceolata*
10. JUN. *C. juncea*
11. NIT. *C. nitens*
12. NI. *C. nitidula*
13. PIL. *C. pilosa*
14. SAG. *C. sagittalis*
15. PAU. *C. paulina*
16. PUR. *C. purdieana*
17. RET. *C. retusa*
18. VER. *C. verrucosa*
19. SPE. *C. spectabilis*

A continuación se describen los diversos fenogramas y diagramas, y se utiliza la clasificación de *Crotalaria* propuesta en 1973 por BISBY & POLHILL como marco de referencia para su interpretación, haciendo énfasis en la ubicación de las especies en secciones.

Los primeros fenogramas descritos (Figs. 2, 3, 4 y 5) corresponden a los análisis de grupos WPGMA, UPGMA, Ligamiento Simple y Ligamiento Completo empleando el coeficiente de distancia taxonómica.

En el fenograma de la figura 2 (coeficiente de distancia, "WPGMA") un nivel bajo de similitud (1.93) se reconocen dos OTU's aisladas, *Crotalaria agatiflora* y *C. paulina*, relativamente asociadas y un gran grupo formado por las restantes 17 especies. Dentro del gran grupo hay un núcleo relativamente aislado, formado por *C. purdieana* - *C. glorie* y un subgrupo constituido por las demás especies. Este subgrupo se divide en dos conjuntos y un núcleo, así:

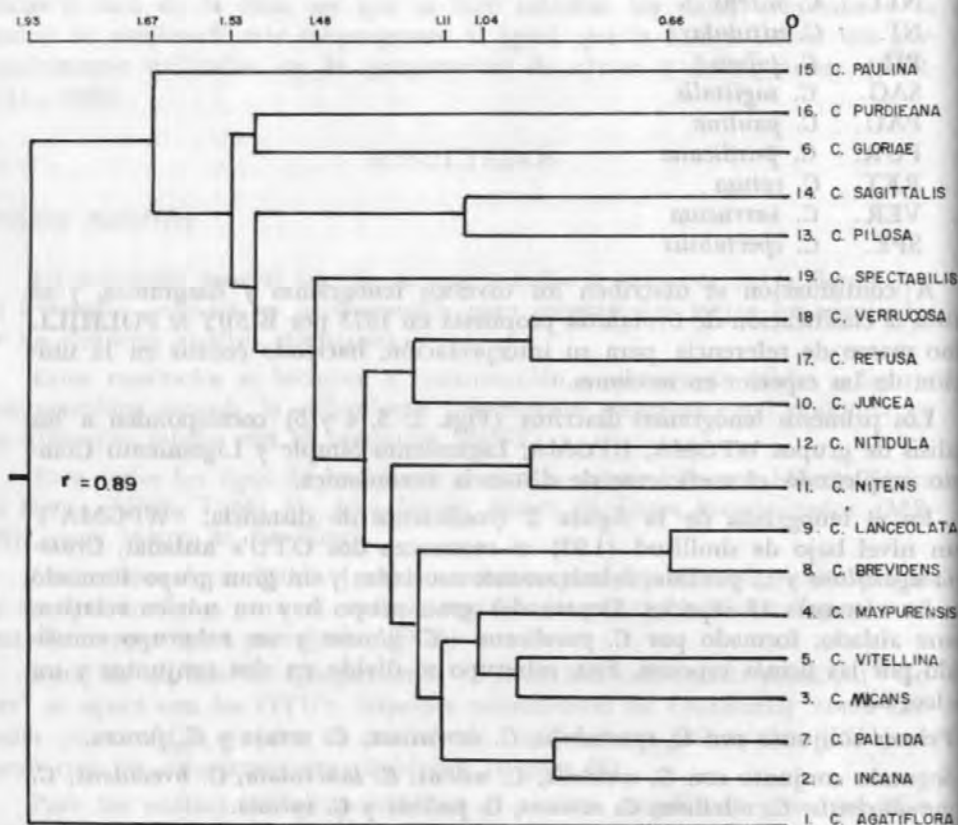
- Primer conjunto con *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa* y *C. juncea*.
- Segundo conjunto con *C. nitidula*, *C. nitens*, *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*.
- Núcleo formado por *C. sagittalis* - *C. pilosa* (nivel 1.07).

El primer conjunto se encuentra formado por el núcleo *C. verrucosa*-*C. retusa* (nivel 0.94) y dos especies aisladas, *C. spectabilis* y *C. juncea*.

El segundo conjunto se divide en un subconjunto formado por las especies *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida*, *C. incana*, en el cual *C. lanceolata*-*C. brevidens*, *C. vitellina*-*C. micans* y *C. pallida*-*C. incana* se encuentran estrechamente relacionadas entre sí; *C. maypurensis* aparece como una OTU aislada.

En el fenograma de la figura 2 se distingue la sección Grandiflorae (1) totalmente aislada en un nivel de similitud muy bajo (1.93) respecto de las secciones restantes; cuatro de los miembros de la sección Chrysocalycinae (2,

FIGURA 2



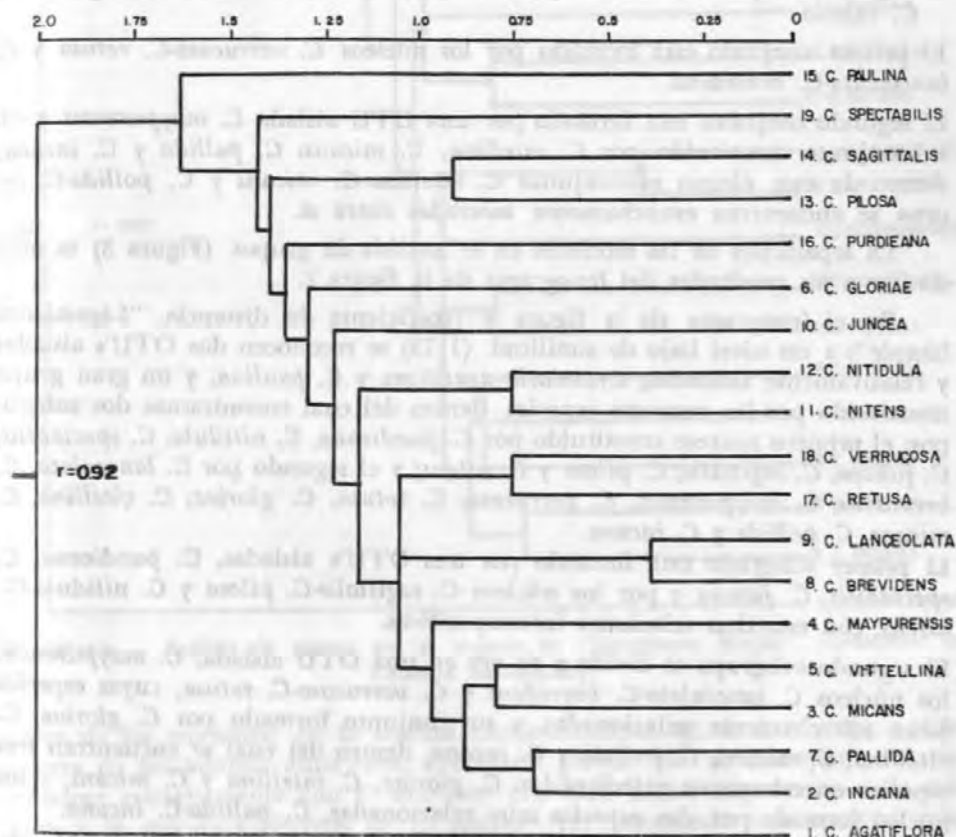
Fenograma. - Análisis de grupos por el método de Ligamiento Promedio WPGMA (coeficiente de distancia taxonómica)

3, 4 y 5) están estrechamente relacionados entre sí, pero una OTU, *Crotalaria glorieae* (6), está aislada, relacionándose con *C. purdieana* (16) en un nivel muy bajo (1.49) no significativo; la separación en dos subsecciones, Incanae (2) y Stipulosae (3, 4, 5), es clara; dos de las OTU's (8 y 9) de la sección Hedriocarpae (7, 8 y 9) tienen la más alta similitud (0.66) y *C. pallida* (7) aparece ligeramente separada aunque dentro del mismo grupo; en la sección Calycinae tres OTU's (10, 11 y 12) están muy juntas y dos OTU's (13 y 14) están aisladas, pero estrechamente relacionadas entre sí; *C. paulina* (15) está aislada

relacionándose únicamente con *C. agatiflora* (1) en un nivel de similitud muy bajo (1.67); las OTU's (17, 18 y 19) de la sección *Crotalaria* tienen alta similitud y *C. purdieana* (16) se aprecia totalmente aislada.

En el fenograma de la figura 3 (coeficiente de distancia, "UPGMA"), a un nivel bajo de similitud (2.0) se reconocen dos OTU's *Crotalaria agatiflora* y *C. paulina*, aisladas y relativamente asociadas, y un gran grupo constituido por 17 especies, dentro del cual aparecen dos subgrupos; el primero está constituido por *C. spectabilis*, *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. purdieana*, *C. gloriae*, *C. juncea*, *C. nitidula*, y *C. nitens* y el segundo por *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C.*

FIGURA 3



Fenograma. - Análisis de grupos por el método de Ligamiento Promedio "WPGMA" (coeficiente de distancia taxonómica).

lanceolata, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*.

El primer subgrupo se divide a su vez en dos conjuntos:

Primer conjunto con *C. spectabilis*, *C. sagittalis* y *C. pilosa*, y

Segundo conjunto con *C. purdieana*, *C. gloriae*, *C. juncea*, *C. nitidula* y *C. nitens*.

El primer conjunto se encuentra formado por una OTU aislada, *C. spectabilis*, y el núcleo *C. sagittalis*-*C. pilosa*.

El segundo conjunto está formado por tres especies aisladas, *C. purdieana*, *C. gloriae*, *C. juncea* y un núcleo formado por dos especies estrechamente relacionadas, *C. nitidula*-*C. nitens*.

El segundo subgrupo se divide a su vez en dos conjuntos:

- Primer conjunto con *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. lanceolata*, *C. brevidens*.

- Segundo conjunto con *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*.

El primer conjunto está formado por los núcleos *C. verrucosa*-*C. retusa* y *C. lanceolata*-*C. brevidens*.

El segundo conjunto está formado por una OTU aislada *C. maypurensis* y un subconjunto constituido por *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*; dentro de este último subconjunto *C. vitellina*-*C. micans* y *C. pallida*-*C. incana* se encuentran estrechamente asociadas entre sí.

La separación de las secciones en el análisis de grupos (Figura 3) es muy similar a los resultados del fenograma de la figura 2.

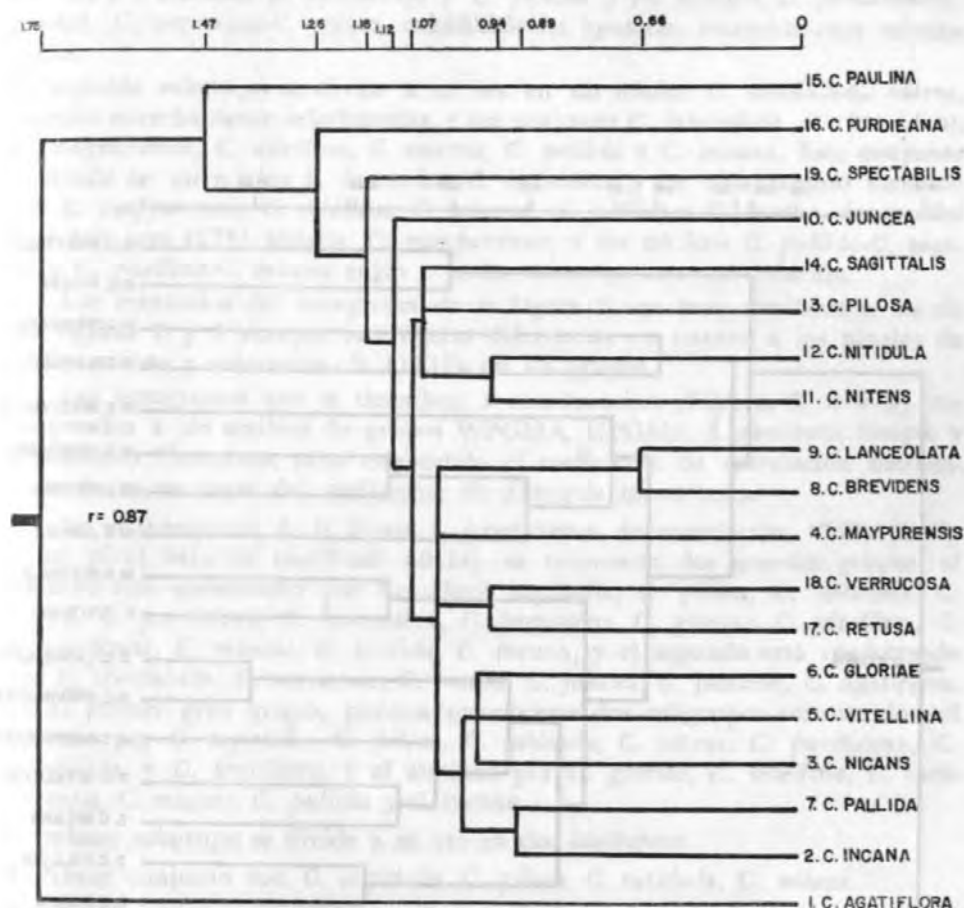
En el fenograma de la figura 4 (coeficiente de distancia, "Ligamiento Simple") a un nivel bajo de similitud (1.75) se reconocen dos OTU's aisladas y relativamente asociadas, *Crotalaria agatiflora* y *C. paulina*, y un gran grupo constituido por las restantes especies, dentro del cual encontramos dos subgrupos; el primero aparece constituido por *C. purdieana*, *C. nitidula*, *C. spectabilis*, *C. juncea*, *C. sagittalis*, *C. pilosa* y *C. nitens*; y el segundo por *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*.

El primer subgrupo está formado por tres OTU's aisladas, *C. purdieana*, *C. spectabilis*, *C. juncea* y por los núcleos *C. sagittalis*-*C. pilosa* y *C. nitidula*-*C. nitens*, con estrechas relaciones interespecíficas.

El segundo subgrupo se divide a su vez en una OTU aislada, *C. maypurensis*, los núcleos *C. lanceolata*-*C. brevidens* y *C. verrucosa*-*C. retusa*, cuyas especies están estrechamente relacionadas, y un conjunto formado por *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*, dentro del cual se encuentran tres especies estrechamente relacionadas, *C. gloriae*, *C. vitellina* y *C. micans*, y un núcleo formado por dos especies muy relacionadas, *C. pallida*-*C. incana*.

En el fenograma de la figura 4 se observa una mejor delimitación de las especies en secciones. La sección *Grandiflorae* (1) permanece aislada del

FIGURA 4



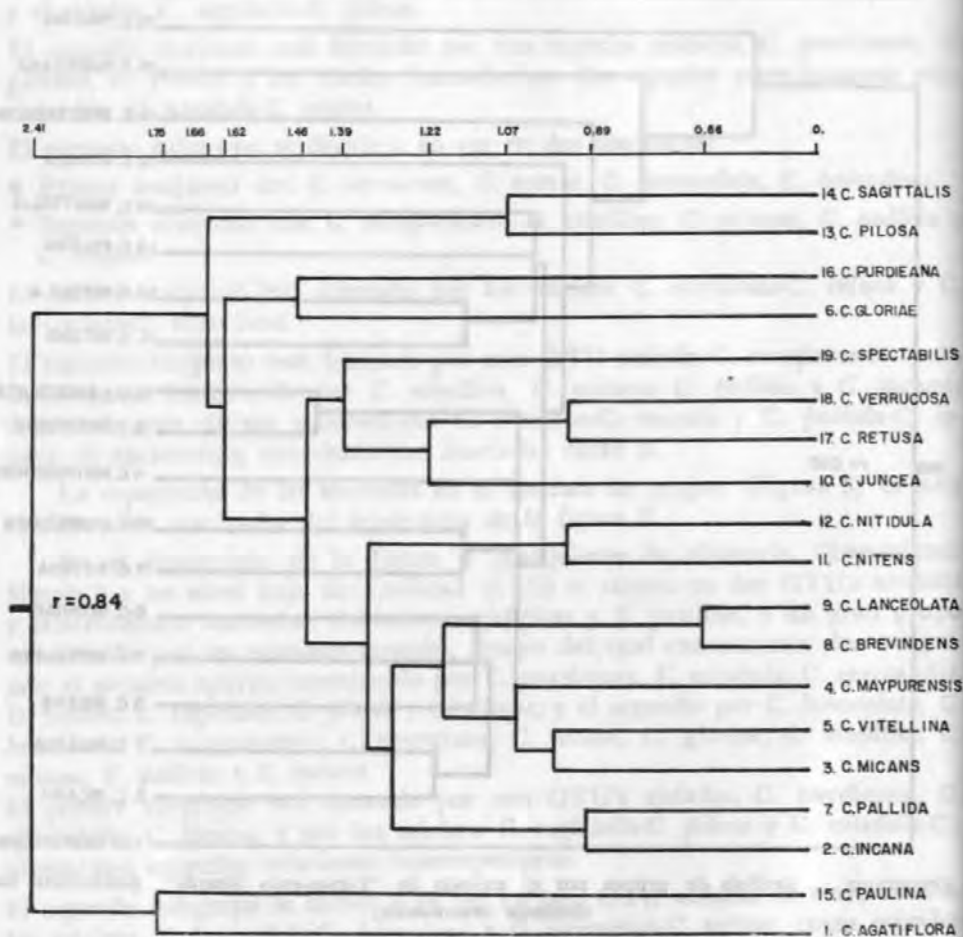
Fenograma. - Análisis de grupos por el método de "Ligamiento Simple" (coeficiente de distancia taxonómica).

resto de las secciones; en la sección *Chrysocalycinae* (2, 3, 4, 5 y 6), a diferencia de los análisis anteriores, *Crotalaria gloriae* (6) se incorpora, relacionándose estrechamente con *C. vitellina* (5); otro hecho importante es la adición a la sección *Calycinae* de *C. juncea* (10) mostrando una estrecha relación entre las OTU's 10, 11, 12, 13 y 14; *C. paulina* (15) aparece aislada; las secciones *Hedriocarpae* (7, 8 y 9) y *Crotalaria* (16, 17, 18 y 19) permanecen

iguales, pero se unen el par *C. purdieana* (16) - *C. spectabilis* (19), probando al menos en parte su colocación dentro de la sección *Crotalaria*.

En el fenograma de la figura 5 (coeficiente de distancia, "Ligamiento Completo") a un nivel bajo de similitud (2.41) se reconoce un núcleo aislado, *Crotalaria paulina*-*C. agatiflora*, relativamente asociado, y un gran grupo cons-

FIGURA 5



Fenograma. - Análisis de grupos por el método de "Ligamiento Completo" (coeficiente de distancia taxonómica).

tituido por las demás especies, dentro del cual se reconocen dos subgrupos; el primero está constituido por las especies *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. purdieana*, *C. glorieae*, *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*, y el segundo por

C. nitidula, *C. nitens*, *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*.

El primer subgrupo se divide a su vez en un núcleo *C. sagittalis*-*C. pilosa* estrechamente relacionado, y un conjunto *C. purdieana*, *C. gloriae*, *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa* y *C. juncea*. Este conjunto está conformado por dos OTU's aisladas, *C. spectabilis* y *C. juncea* y los núcleos *C. purdieana*-*C. gloriae*, *C. verrucosa*-*C. retusa*, cuyas especies aparecen estrechamente relacionadas.

El segundo subgrupo se divide a su vez en un núcleo *C. nitidula*-*C. nitens*, especies estrechamente relacionadas, y un conjunto *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*. Este conjunto se divide en un núcleo *C. lanceolata*-*C. brevidens* y un subconjunto formado por *C. maypurensis*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*, dentro del cual hay una OTU aislada, *C. maypurensis*, y los núcleos *C. pallida*-*C. incana* y *C. vitellina*-*C. micans* cuyas especies muestran estrecha relación.

Los resultados del fenograma de la figura 5 son muy similares a los de las figuras 2 y 3 aunque son ligeras diferencias en cuanto a los niveles de agrupamiento y colocación de OTU's en los grupos.

Los tenogramas que se describen a continuación (Figs. 6, 7, 8 y 9) corresponden a los análisis de grupos WPGMA, UPGMA, Ligamiento Simple y Ligamiento Completo, pero empleando el coeficiente de correlación momento-producto en lugar del coeficiente de distancia taxonómica.

En el fenograma de la figura 6 (coeficiente de correlación, "WPGMA") a un nivel bajo de similitud (-0.14) se reconocen dos grandes grupos; el primero está constituido por *Crotalaria sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*, *C. purdieana*, *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. maypurensis*, *C. micans*, *C. pallida*, *C. incana*, y el segundo está conformado por *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*, *C. paulina*, *C. agatiflora*. En el primer gran grupo, pueden reconocerse dos subgrupos constituidos, el primero por *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*, *C. purdieana*, *C. lanceolata*, y *C. brevidens*, y el segundo por *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. maypurensis*, *C. micans*, *C. pallida* y *C. incana*.

El primer subgrupo se divide a su vez en dos conjuntos:

- Primer conjunto con *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*.
- Segundo conjunto con *C. purdieana*, *C. lanceolata*, *C. brevidens*.

En el primer conjunto se encuentran los núcleos *C. sagittalis*-*C. pilosa* y *C. nitidula*-*C. nitens*; en el segundo conjunto se aprecia una OTU aislada, *C. purdieana*, y un núcleo, *C. lanceolata*-*C. brevidens*.

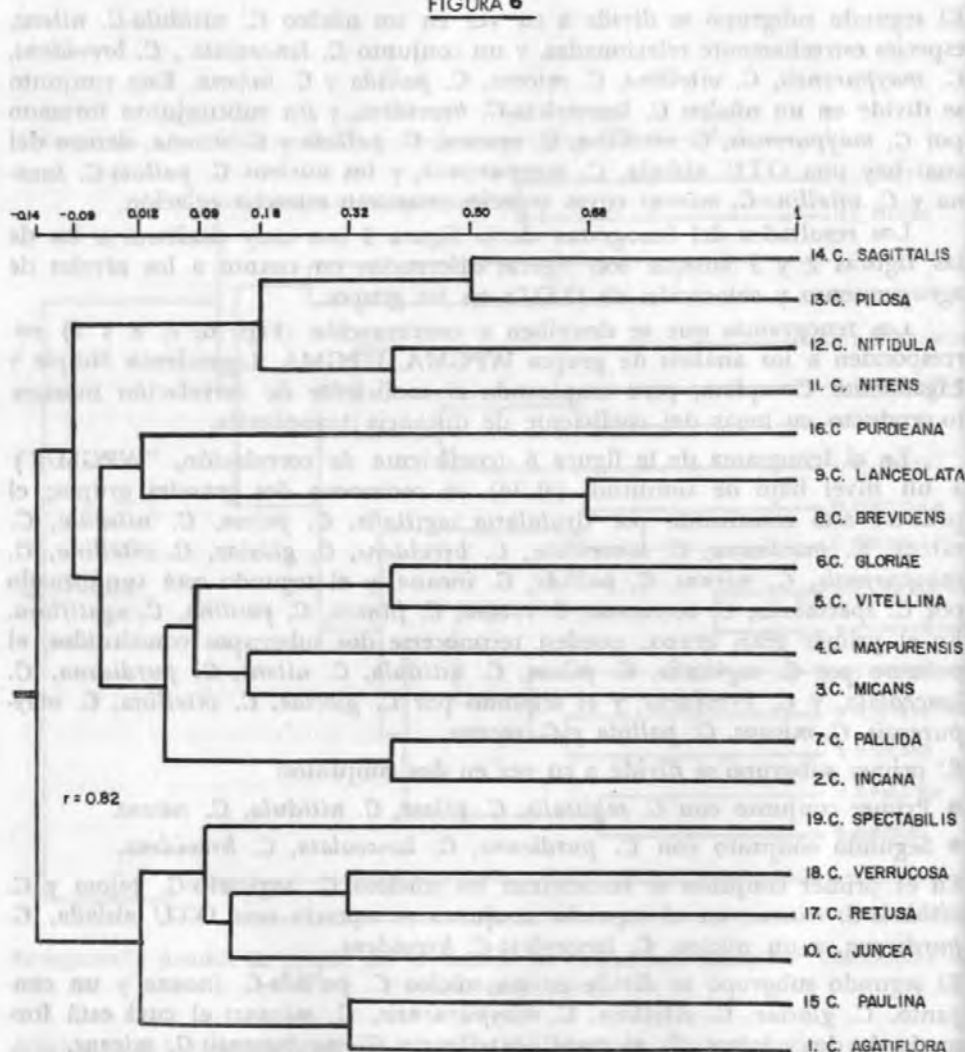
El segundo subgrupo se divide en un núcleo *C. pallida*-*C. incana* y un conjunto, *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. maypurensis*, *C. micans*; el cual está formado de dos núcleos, *C. gloriae*-*C. vitellina* y *C. maypurensis*-*C. micans*.

En el segundo gran grupo se reconoce un núcleo relativamente aislado formado por *Crotalaria paulina*-*C. agatiflora*, y un subgrupo constituido por

C. spectabilis, *C. verrucosa*, *C. retusa* y *C. juncea*. En este subgrupo se observa una OTU aislada, *C. spectabilis*, y un conjunto formado por *C. verrucosa*, *C. retusa* y *C. juncea*, dentro del cual aparece una OTU aislada, *C. juncea* y un núcleo, *C. verrucosa*-*C. retusa*, de especies estrechamente asociadas.

En el fenograma de la figura 6 la sección Grandiflorae (1) continúa aislada; hay una excelente delimitación de la sección Chrysocalycinae (2, 3, 4, 5 y 6) y de sus subsecciones Incanae (2) y Stipulosae (3, 4, 5 y 6); la sección Hedriocarpae (7, 8 y 9) se presenta igual que en las figuras 2, 4 y 5;

FIGURA 6

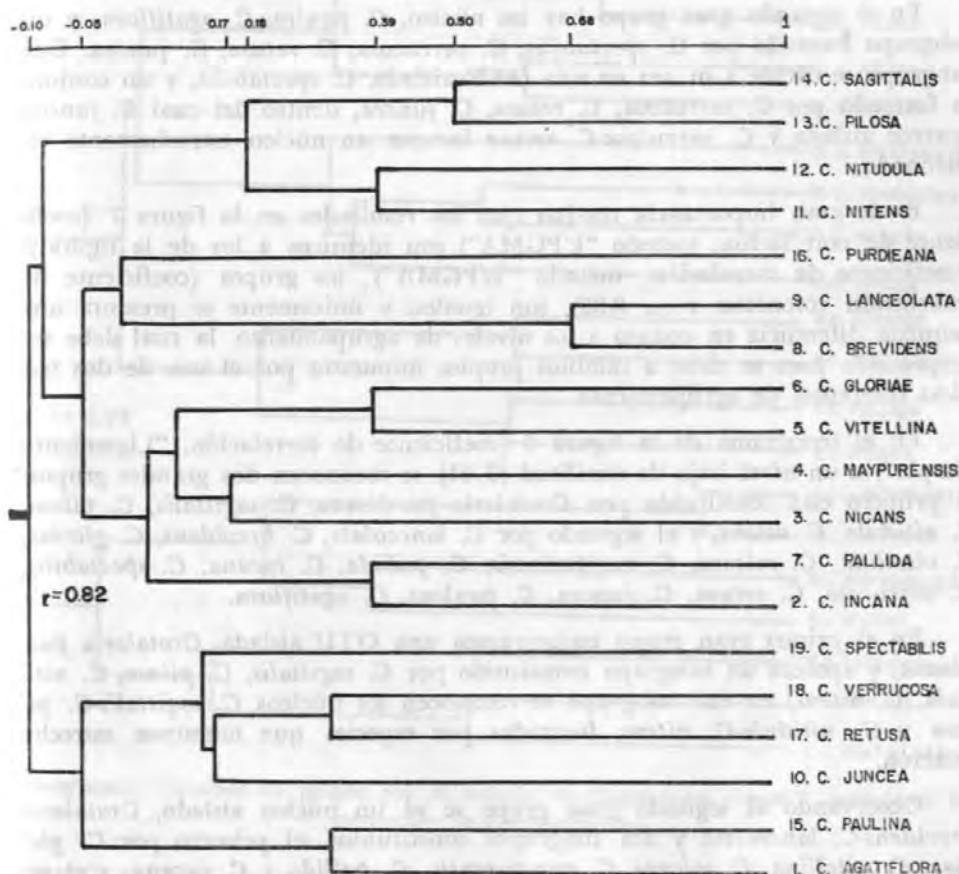


Fenograma. - Análisis de grupos por el método de Ligamiento Promedio "WPGMA" (coeficiente de correlación momento-producto).

cuatro de los miembros de la sección Calycinae se unen como en la figura 4 mostrando estrechas relaciones entre sí pero con dos OTU's *Crotalaria juncea* (10) y *C. paulina* (15), separadas; la sección *Crotalaria* mantiene tres OTU's (17, 18 y 19) muy juntas, con un OTU, *C. purdieana* (16), aislada.

En el fenograma de la figura 7 (coeficiente de correlación, UPGMA") a un nivel bajo de similitud (-0.10) se reconocen dos grandes grupos, el primero de los cuales está constituido por *Crotalaria sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*, *C. purdieana*, *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. gloriae*, *C. vi-*

FIGURA 7



Fenograma, - Análisis de grupos por el método de Ligamiento Promedio "WPGMA" (coeficiente de correlación momento-producto).

tellina, *C. maypurensis*, *C. micans*, *C. pallida*, *C. incana* y el segundo por *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*, *C. paulina*, *C. agatiflora*. En el primer gran grupo aparecen dos subgrupos: el primero constituido por las especies *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*, y el segundo por *C. purdieana*, *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. maypurensis*, *C. micans*, *C. pallida*, *C. incana*.

El primer subgrupo se divide a su vez en dos núcleos, *C. sagittalis*-*C. pilosa* y *C. nitidula*-*C. nitens*.

El segundo subgrupo se encuentra formado por una OTU aislada, *C. purdieana*, dos núcleos, *C. lanceolata*-*C. brevidens*, *C. pallida*-*C. incana*, y un conjunto, *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. maypurensis*, *C. micans*. Dentro de este conjunto aparecen los núcleos *C. gloriae*-*C. vitellina* y *C. maypurensis*-*C. micans*, estrechamente asociados entre sí.

En el segundo gran grupo hay un núcleo, *C. paulina*-*C. agatiflora*, y un subgrupo formado por *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*. Este subgrupo se divide a su vez en una OTU aislada, *C. spectabilis*, y un conjunto formado por *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*, dentro del cual *C. juncea* aparece aislada y *C. verrucosa*-*C. retusa* forman un núcleo estrechamente relacionado.

Es de gran importancia resaltar que los resultados en la figura 7 (coeficiente de correlación, método "UPGMA") son idénticos a los de la figura 6 (coeficiente de correlación, método "WPGMA"), los grupos (coeficiente de correlación cofenética $r = 0.82$) son iguales, y únicamente se presenta una pequeña diferencia en cuanto a los niveles de agrupamiento, la cual debe ser despreciada pues se debe a cambios propios impuestos por el uso de dos técnicas diferentes de agrupamiento.

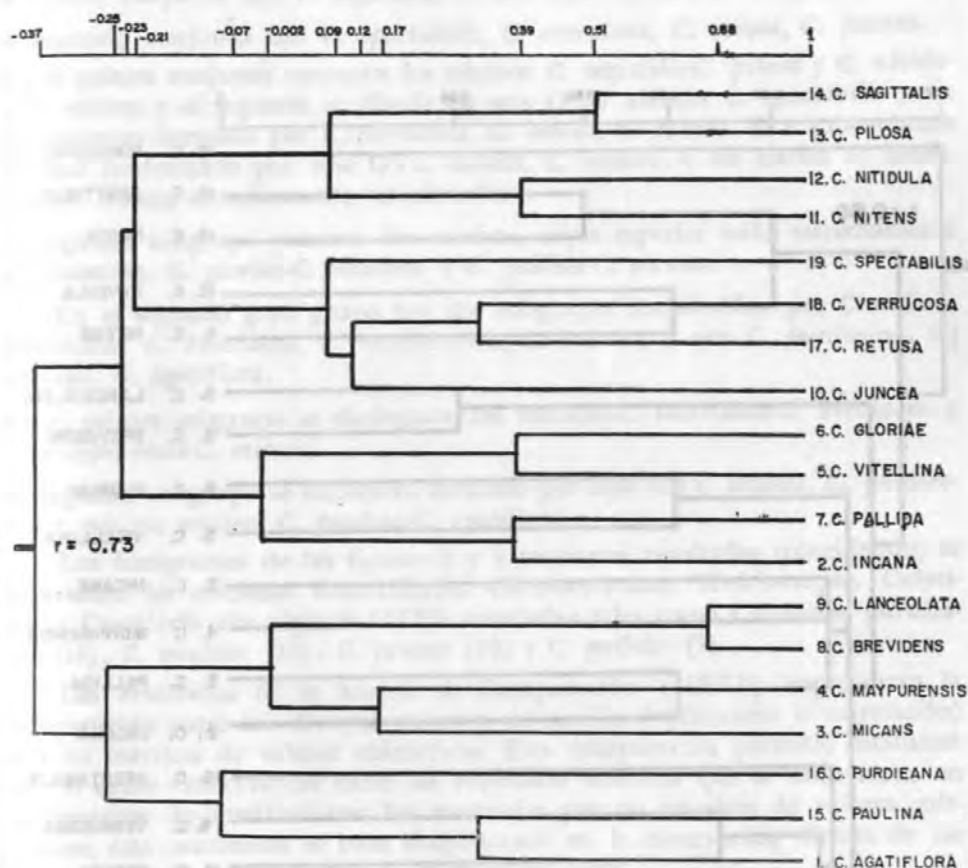
En el fenograma de la figura 8 (coeficiente de correlación, "Ligamiento Simple") a un nivel bajo de similitud (0.01) se reconocen dos grandes grupos; el primero está constituido por *Crotalaria purdieana*, *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*, y el segundo por *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. maypurensis*, *C. pallida*, *C. incana*, *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*, *C. paulina*, *C. agatiflora*.

En el primer gran grupo encontramos una OTU aislada, *Crotalaria purdieana*, y aparece un subgrupo constituido por *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*; en este subgrupo se reconocen los núcleos *C. sagittalis*-*C. pilosa* y *C. nitidula*-*C. nitens*, formados por especies que muestran estrecha relación.

Observando el segundo gran grupo se vé un núcleo aislado, *Crotalaria brevidens*-*C. lanceolata* y dos subgrupos constituidos, el primero por *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. micans*, *C. maypurensis*, *C. pallida* y *C. incana*, y el segundo por *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*, *C. paulina*, *C. agatiflora*.

El primer subgrupo se divide a su vez en un núcleo, *C. glorie-C. vitellina*, de estrecha asociación y un conjunto formado por *C. micans*, *C. maypurensis*, *C. pallida*, *C. incana*, en el cual aparecen los núcleos *C. micans-C. maypurensis*.

FIGURA 8



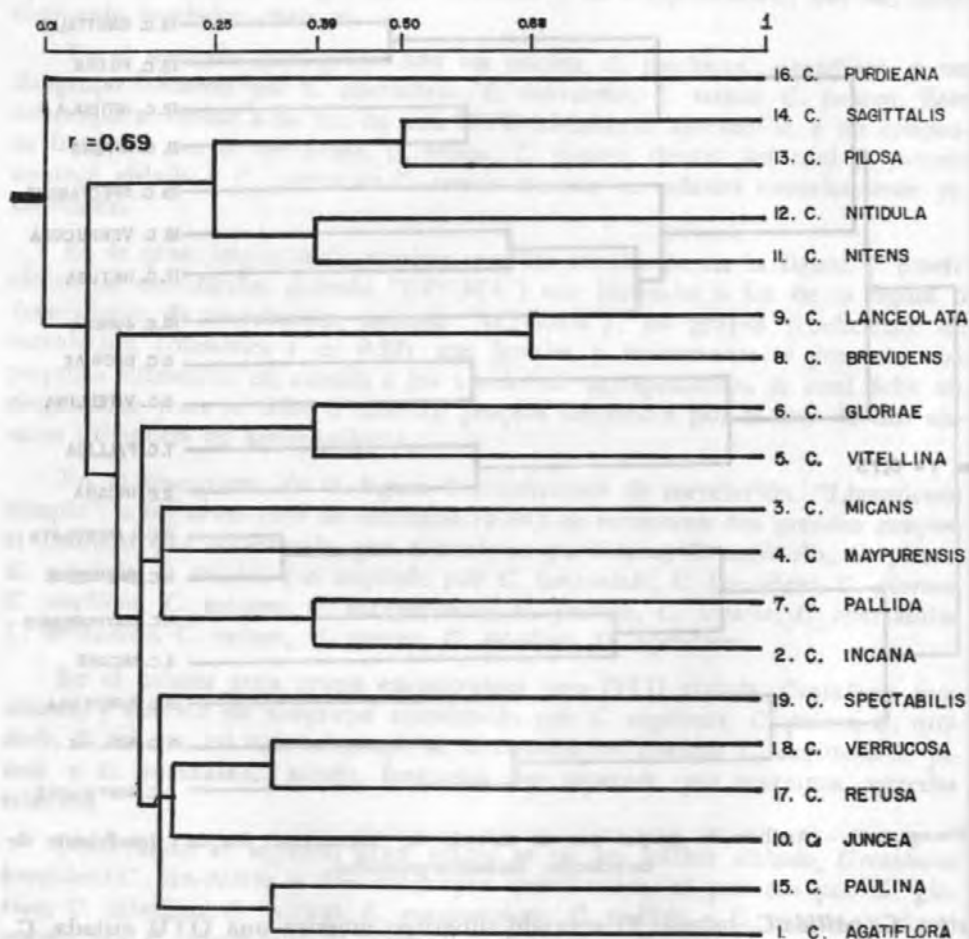
Fenograma. - Análisis de grupos por el método de "Ligamiento Simple" (coeficiente de correlación momento-producto).

sis y *C. pallida-C. incana*. El segundo subgrupo muestra una OTU aislada, *C. spectabilis*, un núcleo *C. paulina-C. agatiflora* y un conjunto formado por *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*. Dentro de este último conjunto aparece un

núcleo formado por las especies *C. verrucosa*-*C. retusa* y una OTU aislada *C. juncea*.

En el segundo fenograma de la figura 9 (coeficiente de correlación, "Ligamiento Completo") a un nivel bajo de similitud (-0.37) se reconocen dos grandes grupos; el primero está constituido por *Crotalaria sagittalis*, *C. pilosa*,

FIGURA 9



Fenograma. - Análisis de grupos por el método de "Ligamiento Completo" (coeficiente de correlación momento-producto).

C. nitidula, *C. nitens*, *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. pallida*, *C. incana*, y el segundo por *C. lanceolata*, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. micans*, *C. purdieana*, *C. paulina*, *C. agatiflora*.

En el primer gran grupo, se encuentran dos subgrupos, el primero constituido por *Crotalaria sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*, *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*, y el segundo por *C. gloriae*, *C. vitellina*, *C. pallida*, *C. incana*.

El primer subgrupo se divide a su vez en dos conjuntos:

- Primer conjunto con *C. sagittalis*, *C. pilosa*, *C. nitidula*, *C. nitens*.

- Segundo conjunto con *C. spectabilis*, *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*.

En el primer conjunto aparecen los núcleos *C. sagittalis*-*C. pilosa* y *C. nitidula*-*C. nitens*; y el segundo se divide en una OTU aislada, *C. spectabilis* y un subconjunto formado por *C. verrucosa*, *C. retusa*, *C. juncea*. Este subconjunto aparece conformado por una OTU aislada, *C. juncea*, y un núcleo *C. verrucosa*-*C. retusa*, estrechamente relacionado.

El segundo subgrupo presenta dos núcleos, cuyas especies están estrechamente relacionadas, *C. gloriae*-*C. vitellina* y *C. pallida*-*C. incana*.

En el segundo gran grupo hay dos subgrupos constituidos por *Crotalaria lanceolata*, *C. brevidens*, *C. maypurensis*, *C. micans*, y por *C. purdieana*, *C. paulina*, *C. agatiflora*.

En el primer subgrupo se distinguen los núcleos *C. lanceolata*-*C. brevidens* y *C. maypurensis*-*C. micans*.

El segundo subgrupo se encuentra formado por una OTU aislada, *C. purdieana*, y por un núcleo, *C. paulina*-*C. agatiflora*.

Los fenogramas de las figuras 8 y 9 muestran resultados coincidentes; se mantienen las secciones Grandiflorae, Chrysocalycinae, Hedriocarpae, Calycinae y *Crotalaria* con algunas OTU's mezcladas tales como *Crotalaria purdieana* (16), *C. paulina* (15), *C. juncea* (10) y *C. pallida* (7).

Los resultados de la Matriz de Comparación (MXCP) representan la comparación entre las diversas matrices de similitud (distancia ó correlación) con las matrices de valores cofenéticos. Esta comparación permitió establecer que sí existe coincidencia entre las relaciones fenéticas que se obtuvieron en las matrices de similitud con las mostradas por las matrices de valores cofenéticos; esta conclusión se basa simplemente en la observación directa de las figuras respectivas, las cuales no se incluyen aquí.

De otro lado los resultados de las llamadas Matrices Arbol y las Matrices de Rearreglo se usaron para comparar los datos que aparecen para cada especie con los que se dan para las demás; así se llega a conclusiones sobre caracteres variables y no variables. Como ya se dijo estos dos tipos de matrices se emplearon en la elaboración de las claves y descripciones que aparecen en el tratamiento sistemático del género (BERNAL, 1986).

PCA

El análisis del Componente Principal (PCA) permite, por una parte, establecer relaciones entre las OTU's, y por otra, conocer el valor discriminatorio de los caracteres con respecto a las relaciones así establecidas. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2 y en las figuras 10, 11 y 12.

Después de hecha la clasificación se regresa a los caracteres para establecer cuales son los más constantes y, por lo tanto, los más válidos para construir claves y descripciones. En otras palabras, se realiza una valoración a-posteriori de los caracteres, obteniendo una medida del valor taxonómico potencial en cada uno.

En el presente estudio los caracteres se seleccionan buscando el valor de contribución más alto, independientemente del signo que poseen (el signo evidencia el tipo de correlación entre los caracteres). Una vez determinados los más efectivos en la discriminación entre las OTU's fueron resumidos en la Tabla 2, anotando el valor de contribución, el porcentaje de variación y la acumulación total de porcentajes.

La Tabla 2 muestra que los caracteres más importantes en la separación de los taxa en el componente I (19.25% de la variación observada), son: longitud máxima de los filamentos con anteras alargadas, longitud máxima de la quilla, longitud del estilo, longitud del estandarte, ancho de la quilla, pubescencia de los foliolos (envés), tipo de pubescencia de los foliolos (envés), brácteas y/o bractéolas (caducas o persistentes), forma de anteras, longitud máxima de los filamentos con anteras redondeadas.

El componente II contiene 18.12% de la variación e incluye: número de foliolos, longitud foliolos terminales (hojas trifolioladas), ancho foliolos terminales (hojas trifolioladas), longitud foliolos laterales (hojas trifolioladas), ancho foliolos laterales (hojas trifolioladas), longitud hojas unifolioladas, ancho hojas unifolioladas, extremo de la quilla, pubescencia de los frutos y tipo de pubescencia de los frutos.

El componente III contiene la más pequeña cantidad de variación 18.14% y sus caracteres más importantes son: longitud de la semilla, ancho de la semilla, hilum (abierto u ocluido), protuberancia de la semilla, brillantez de la semilla, frutos falcados (presencia o ausencia), relación entre los filamentos con anteras alargadas/filamentos con anteras redondeadas, longitud relativa estandarte/ alas.

El análisis de la figura 10 (componentes I y II, 59.73% de la variación observada) permite reconocer tres secciones: Grandiflorae, *Crotalaria agatiflora* (1); Chrysocalycinae, *C. incana* (2), *C. micans* (3), *C. maypurensis* (4) *C. vitellina* (5), *C. glorieae* (6); y Calycinae, *C. juncea* (10), *C. nitens* (11), *C. nitidula* (12), *C. pilosa* (13), *C. sagittalis* (14) con *C. paulina* (15) aislada.

En la figura 11 (componentes I y III, 50.25% de variación) las relaciones entre las secciones Grandiflorae (1), Chrysocalycinae (2, 3, 4, 5) y Calyci-

TABLA 2

Caracteres que mas contribuyen a los tres primeros componentes, porcentaje de la variación y acumulación total de porcentajes de la MBD en el estudio de las 19 especies de crotalaria por 49 caracteres "Análisis de Componentes Principales (PCA)"

FACTOR	CARACTERES QUE MAS CONTRIBUYEN	VALOR CONTR.	% DE LA VAR.	SUMA	
I	LONGITUD MAXIMA DE LOS FILAMENTOS CON ANTERAS ALARGADAS	0.955	19.25	50.5	
	LONGITUD MAXIMA DE LA QUILLA	0.953			
	LONGITUD DEL ESTILO	0.949			
	LONGITUD MAXIMA DEL ESTANDARTE	0.936			
	ANCHO MAXIMO DE LA QUILLA	0.936			
	PUBESCENCIA DE LOS FOLIOLOS, ENVES (GLABRO O PUBESCENTE)	-0.918			
	TIPO DE PUBESCENCIA DE LOS FOLIOLOS (ENVES)	0.918			
	BRACTEAS Y/O BRACTEOLAS (CADUCAS O PERSISTENTES)	0.918			
	FORMA DE LAS ANTERAS	-0.918			
LONGITUD MAXIMA DE LOS FILAMENTOS CON ANTERAS REDONDEADAS	0.918				
II	NUMERO DE FOLIOLOS	0.915	18.12		
	LONG. MAX. DE LOS FOLIOLOS TERMINALES (HOJAS TRIFOLIOLADAS)	-0.915			
	ANCHO MAX. DE LOS FOLIOLOS TERMINALES (HOJAS TRIFOLIOLADAS)	-0.915			
	LONG. MAX. DE LOS FOLIOLOS LATERALES (HOJAS TRIFOLIOLADAS)	-0.915			
	ANCHO MAX. DE LOS FOLIOLOS LATERALES (HOJAS TRIFOLIOLADAS)	-0.915			
	LONGITUD MAX. DE LAS HOJAS UNIFOLIOLADAS	0.915			
	ANCHO MAX. DE LAS HOJAS UNIFOLIOLADAS	0.915			
	PUNTA DE LA QUILLA	-0.786			
	PUBESCENCIA DE LOS FRUTOS (GLABRO O PUBESCENTE)	0.785			
TIPO DE PUBESCENCIA DE LOS FRUTOS	-0.785				
III	LONGITUD MAXIMA DE LA SEMILLA	0.805	13.14		
	ANCHO MAXIMO DE LA SEMILLA	0.805			
	HILUM	0.805			
	PROTUBERANCIA DE LA SEMILLA	0.805			
	BRILLANTEZ DE LA SEMILLA	0.805			
	FRUTOS FALCADOS	0.805			
	RELACION ENTRE FILAMENTOS CON ANTERAS ALARG./FILAMT. ANT. REDOND.	-0.781			
	LONGITUD RELATIVA ESTANDARTE/ALAS	-0.748			

nae (11, 13, 14) se mantienen y aparecen las secciones Hedriocarpae (7, 8, 9) y *Crotalaria* (17, 18 y 19) que no eran reconocibles en la figura 10.

La figura 12 (componentes II y III, 39.52% de variación) es excelente para delimitar la sección *Chrysocalycinae* (2, 3, 4, 5 y 6) y, tal como ocurrió en los componentes II y III de la figura 15, se incorpora a *Crotalaria glorieae* (6) aunque ésta permanece ligeramente aislada; también se muestra claramente la sección Hedriocarpae (7, 8 y 9) y, de una manera especial, aparece la sección *Calycinae* (11, 12, 13 y 14) con *C. juncea* (10) y *C. paulina* (15) algo aisladas.

FIGURA 10

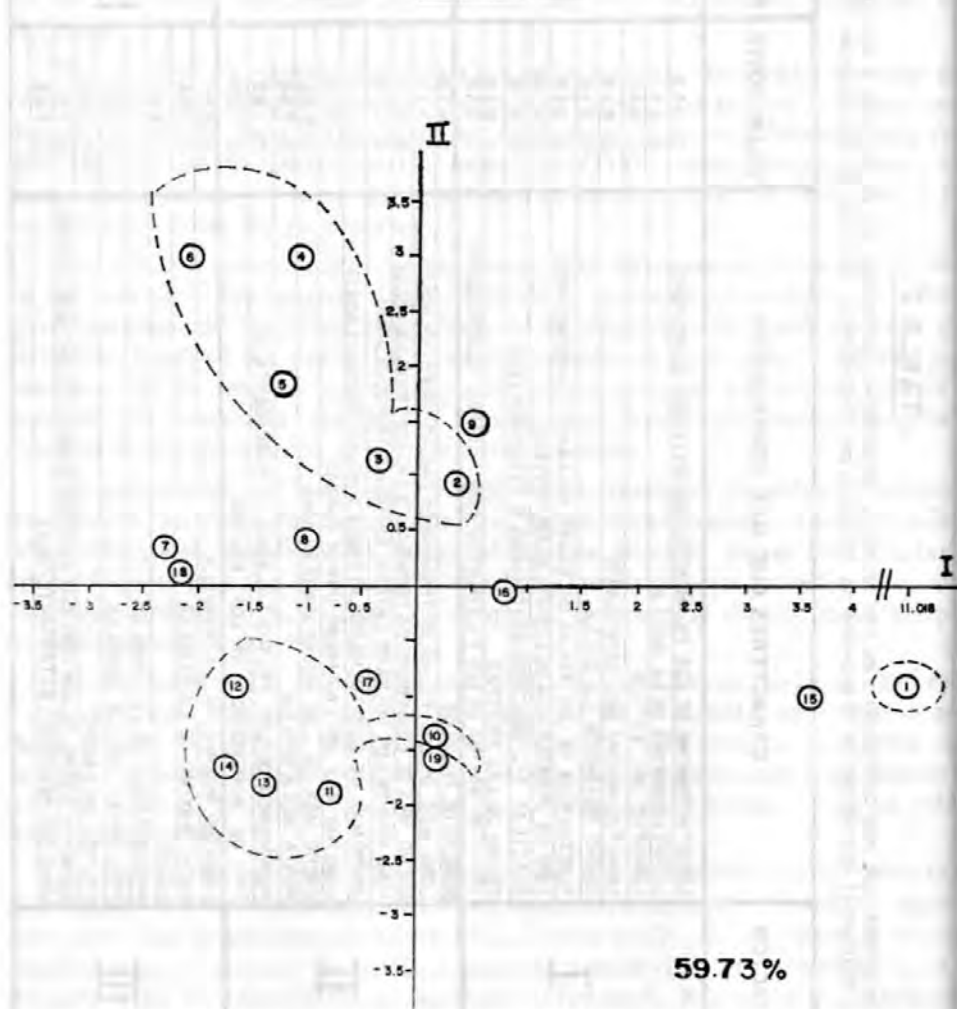


Diagrama de los resultados del "Análisis de Componentes Principales (PCA)" de 49 caracteres en 19 especies de *Crotalaria*. Componentes I y II

FIGURA II

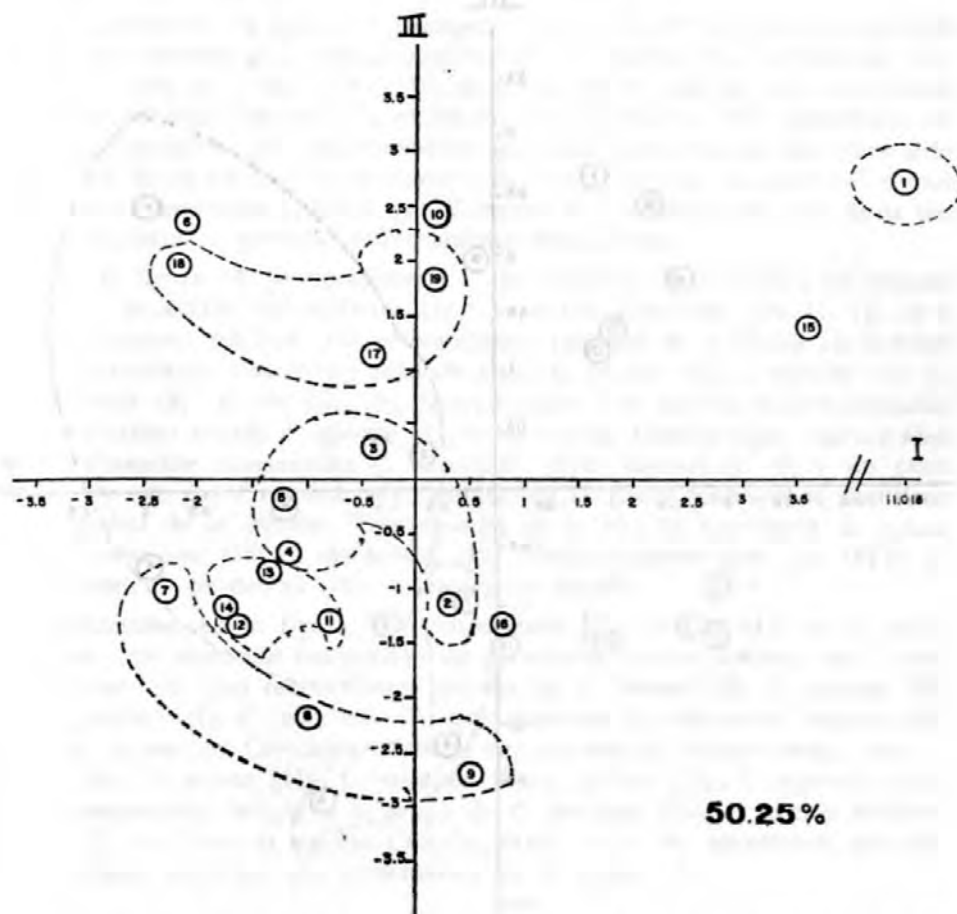


Diagrama de los resultados del "Análisis de Componentes Principales (PCA)" de 49 caracteres en 19 especies de *Crotalaria*. Componentes I y III.

FIGURA 12

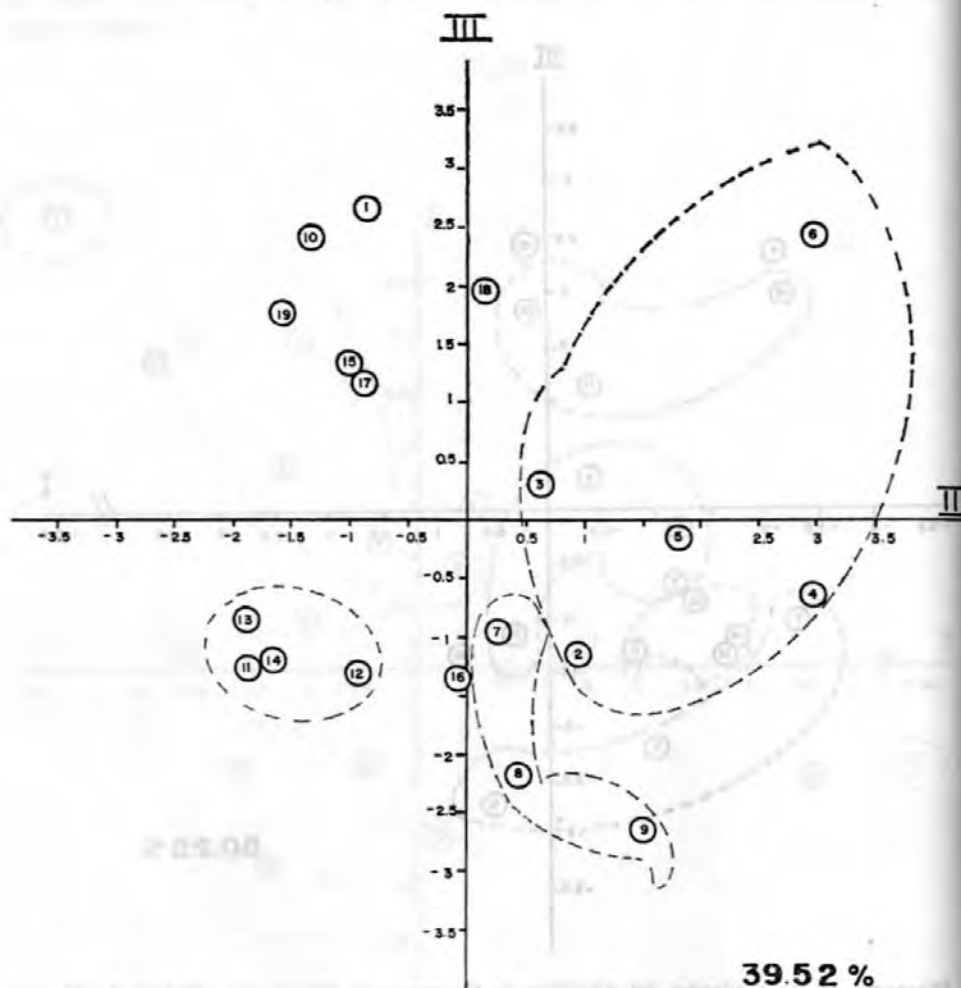


Diagrama de los resultados del "Análisis de Componentes Principales (PCA)" de 49 caracteres en 19 especies de *Crotalaria*. Componentes II y III.

"Gower"

El análisis Coordinado Principal "Gower" permite establecer relaciones entre las OTU's a partir de una matriz de similitud en la que se emplea el coeficiente de distancia taxonómica. En la matriz correspondiente tanto las filas como las columnas representan las OTU's.

Los resultados del Análisis Coordinado Principal (Gower) se observan en las figuras 13, 14 y 15.

El análisis de la figura 13 (componentes I y II, 53.68% de la variación observada) muestra a *Crotalaria juncea* (10), *C. nitens* (11), *C. nitidula* (12), *C. pilosa* (13) y *C. sagittalis* (14), miembros de la sección Calycinae, estrechamente relacionadas entre sí, en tanto que *C. paulina* (15) permanece aislada; *C. agatiflora* (1) está totalmente separada demostrando una clara diferenciación de la sección Grandiflorae a la cual pertenece; las secciones restantes aparecen mezcladas, pero el par *C. retusa* (17)-*C. verrucosa* (18) de la sección *Crotalaria* se presenta estrechamente relacionado.

En la figura 14 (componentes I y III, 50.44% de variación) las relaciones entre la sección Grandiflorae (1), la sección Calycinae (10, 11, 12, 13 y 14) y *Crotalaria paulina* (15) se mantienen respecto de la figura 13; aparece aquí, sin embargo, una mayor relación entre *C. incana* (2), *C. micans* (3), *C. maypurensis* (4), *C. vitellina* (5), pertenecientes a la sección Chrysocalycinae, pero permanece aislada *C. glorie* (6); de la sección Hedriocarpae aparece ahora estrechamente relacionadas *C. brevidens* (8)-*C. lanceolata* (9) y un poco aislada de este par *C. pallida* (7), aunque en términos generales se mantiene la integridad de la sección. Tres especies de la sección *Crotalaria*, *C. retusa* (17)-*C. verrucosa* (18)-*C. spectabilis* (19), están cercanas pero una OTU de esta sección, *C. purdieana* (16), se encuentra aislada.

Finalmente, en la figura 15 (componentes II y III, 24.54% de la variación) hay una excelente integración de la sección Chrysocalycinae con *Crotalaria glorie* (6) aún relativamente aislada de *C. incana* (2), *C. micans* (3), *C. maypurensis* (4), *C. vitellina* (5) que aparecen estrechamente relacionadas entre sí; la sección Calycinae también está claramente diferenciada, con *C. juncea* (10), *C. nitens* (11), *C. nitidula* (12), *C. pilosa* (13), *C. sagittalis* (14), y la incorporación definitiva al grupo de *C. paulina* (15); la sección Hedriocarpae (7, 8 y 9) ya la sección *Crotalaria* (17, 18 y 19) mantienen las mismas relaciones estrechas que presentaban en la figura 14.

DISCUSION

No es extraño que se propongan diversas clasificaciones para el mismo grupo taxonómico, bien sea porque estas se basan en caracteres diferentes, porque se construyen utilizando los mismos caracteres pero con técnicas clasificatorias diferentes, o por una combinación de estos factores.

FIGURA 13

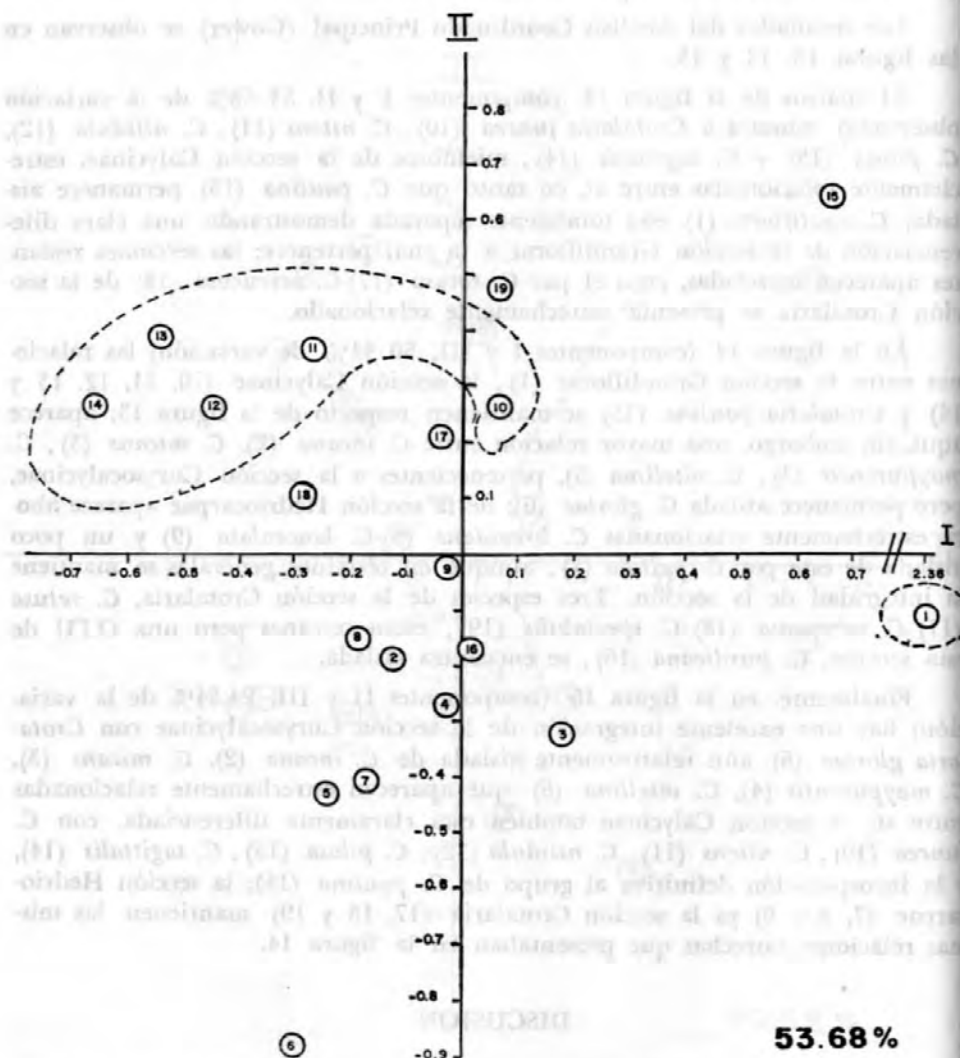


Diagrama de los resultados del "Análisis Coordinado Principal (Gower)" de 49 caracteres en 19 especies de *Crotalaria*. Componentes I y II.

FIGURA 14

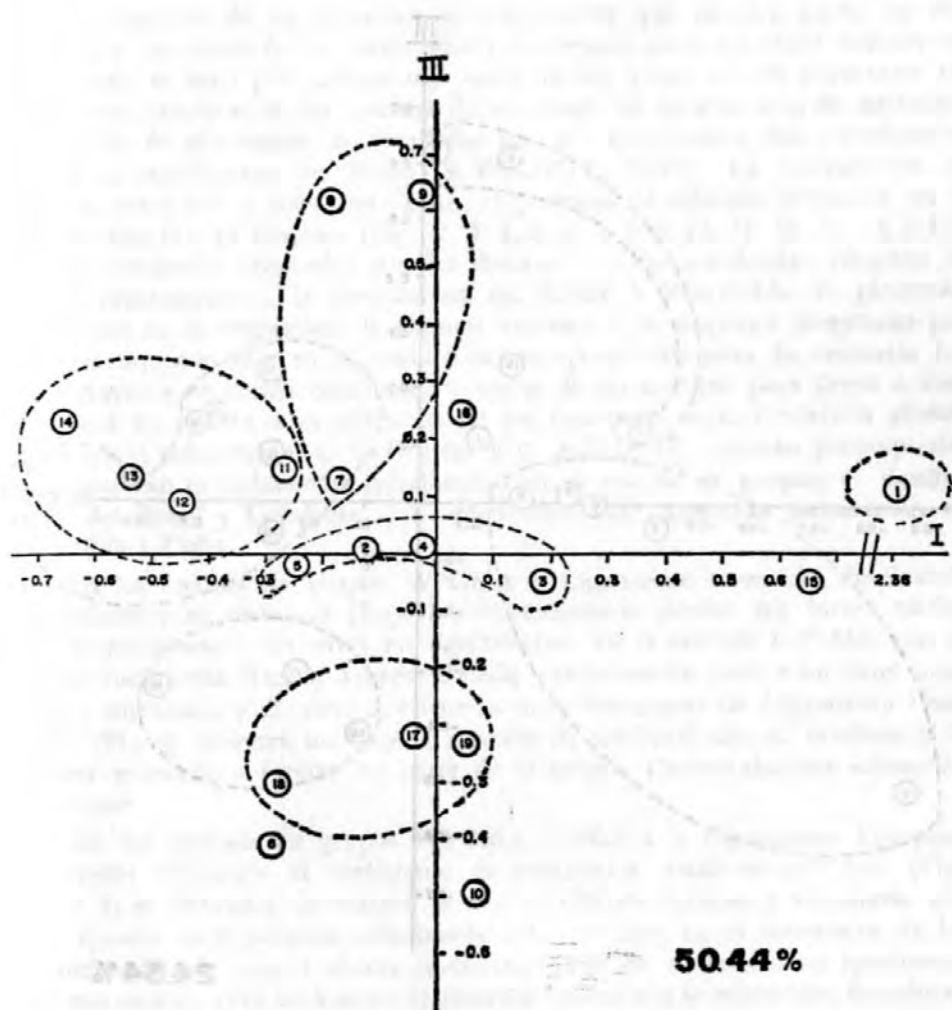


Diagrama de los resultados del "Análisis Coordinado Principal (Gower)" de 49 caracteres en 19 especies de *Crotalaria*. Componentes I y III.

FIGURA 15

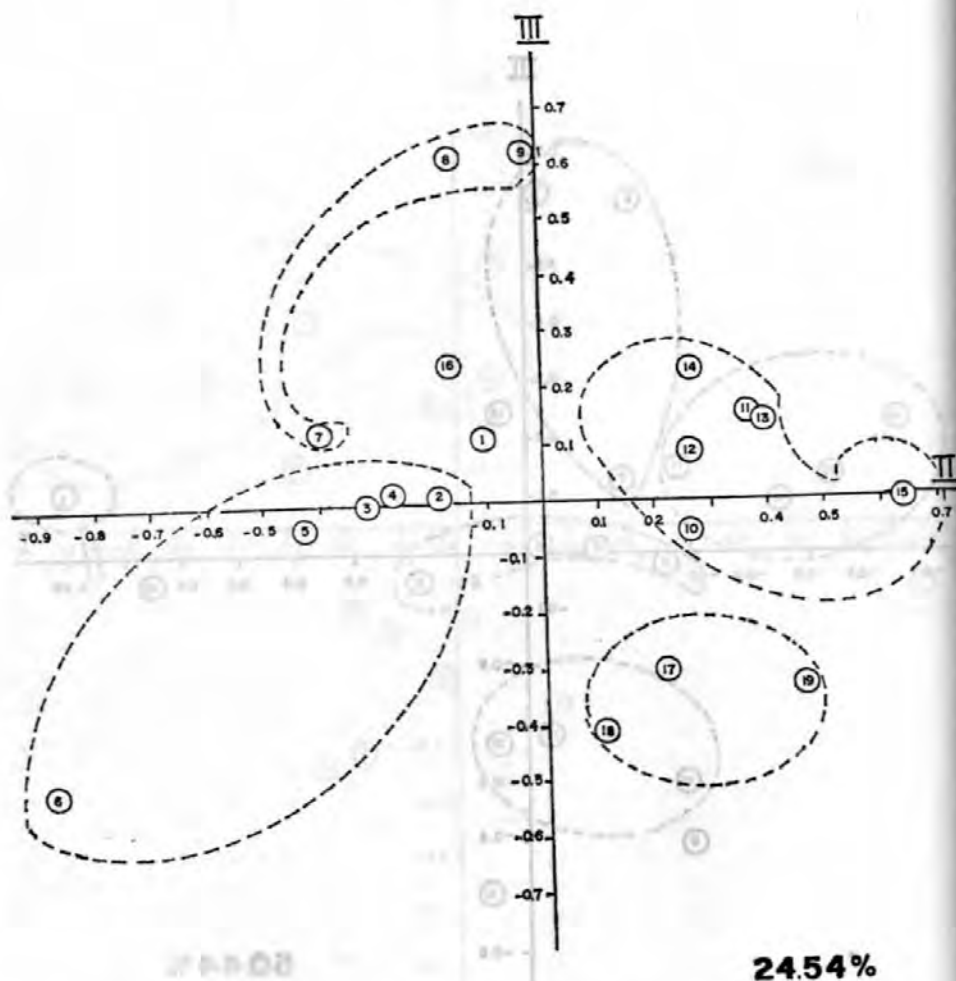


Diagrama de los resultados del "Análisis Coordinado Principal (Gower)" de 49 caracteres en 19 especies de *Crotalaria*. Componentes II y III.

Se han planteado numerosos métodos para evaluar la congruencia taxonómica entre varias clasificaciones del mismo taxon, que incluyen evaluaciones realizadas mediante mediciones precisas aplicando coeficientes, mediciones de la coincidencia entre matrices de similitud, mediciones de la coincidencia entre las estructuras taxonómicas producto de las matrices de similitud y comparaciones visuales.

En ausencia de un programa de computador que permita medir las eficiencias y las causas de las similitudes y diferencias entre las clasificaciones de *Crotalaria*, se optó por realizar una comparación visual de las estructuras taxonómicas producto de las matrices de similitud, sin ningún tipo de medición, con el fin de seleccionar los resultados que se correlacionan más estrechamente en la clasificación de BISBY & POLHILL (1973). La comparación se efectuó entre ésta y cada uno de los 14 patrones de relación obtenidos en el análisis fenético ya descrito (Figs. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15). De los resultados obtenidos con las diversas técnicas empleadas, ninguno se ajusta exactamente a la clasificación de BISBY & POLHILL. Se presentan problemas en la asignación de algunas especies a las secciones propuestas por estos autores con base en su estudio de las especies africanas. Es necesario hacer referencia en forma combinada a varias de las técnicas para llegar a conclusiones en cuanto a la ubicación de los siguientes taxa: *Crotalaria glorieae* (6), especie colombiana; *C. incana* (2) y *C. pallida* (7), especies pantropicales que aparecen estrechamente relacionadas en el análisis de grupos; *C. paulina* (15) del Brasil y Colombia, y *C. purdieana* (16), conocida únicamente de Colombia y Cuba.

En los análisis de grupos WPGMA y Ligamiento Completo empleando el coeficiente de distancia (Figs. 2 y 5), *Crotalaria glorieae* (6) forma núcleo con *C. purdieana* a un nivel no significativo; en el análisis UPGMA con el mismo coeficiente (Fig. 3) aparece aislada y relacionada, pero a un nivel bajo, con *C. purdieana* y *C. juncea*, mientras en el fenograma de Ligamiento Completo (Fig. 4) muestra una buena relación de similitud con *C. vitellina* y *C. micans*, entrando a formar así parte de la sección Chrysocalycinae subsección Stipulosae.

En los análisis de grupos WPGMA, UPGMA y Ligamiento Completo efectuados utilizando el coeficiente de correlación momento-producto (Figs. 6, 7 y 9) se distingue claramente la sección Chrysocalycinae, y *Crotalaria glorieae* aparece estrechamente relacionada a *C. vitellina*; en el fenograma de Ligamiento Simple con el mismo coeficiente (Fig. 8) se relacionan igualmente con esta especie, pero no aparece claramente delimitada la subsección Stipulosae.

En el análisis Coordinado Principal "Gower" (Figs. 13 y 14; componentes I-II y I-III) hay mezcla de las secciones Chrysocalycinae, Hedriocarpace y *Crotalaria*; en la figura 15 (componentes II y III), en cambio, *Crotalaria glorieae* se agrupa perfectamente con el total de las especies de la sección Chrysocalycinae que aparece muy bien delimitada respecto a las otras secciones.

En el Análisis de Componentes Principales, PCA (Fig. 11; componentes I y III) la especie en cuestión está aislada y mezclada con miembros de la sección *Crotalaria*, en tanto que en las figuras 10 y 12 (componentes I-II y II-III), se observa una buena delimitación de la sección *Chrysocalycinae*; en esta forma puede considerarse definida la posición de *Crotalaria glorieae* dentro de la sección *Chrysocalycinae*, y más específicamente en la subsección *Stipulosae* donde aparece estrechamente relacionada con *C. vitellina*.

En los diversos análisis de grupos realizados, se produjeron resultados para *Crotalaria incana* (2) y *C. pallida* (7) que no pueden ser tenidos en cuenta. En este caso las interpretaciones de similitud muy estrecha es una descripción del fenograma y no debe confundirse con el paso final (elaboración de las inferencias) en que entran en juego el juicio del taxónomo y los conocimientos que éste posee sobre el grupo; las técnicas, ya sean de análisis de agrupamientos o de ordenación, producen diferentes resultados gráficos y en muchos casos difieren en las relaciones que proponen; el objetivo de utilizar más de una técnica es el de minimizar los defectos metodológicos: estimación de la interdependencia entre caracteres, determinación de homologías, la cantidad y calidad de los caracteres, la codificación, el tipo de evaluación, etc.

La posición de *Crotalaria incana* y *C. pallida* en la clasificación de BISBY & POLHILL (1973), presenta un caso típico en el que si utilizamos únicamente análisis de grupos la decisión final quedaría sujeta al juicio del taxónomo; sin embargo, al emplear una técnica diferente, Ordenación con el Análisis Coordinado Principal "Gower", en la figura 13 las dos especies problema aparecen mezcladas con miembros de otras secciones, pero en las figuras 14 y 15 se aprecia en una forma clara la ubicación de *C. incana* en la sección *Chrysocalycinae* y de *C. pallida* en la sección *Hedriocarpae*. Además, esto es confirmado por otra técnica de Ordenación, el Análisis de Componentes Principales, PCA (Figs. 10, 11 y 12) donde *C. incana* aparece claramente asociada con los restantes miembros de la sección *Chrysocalycinae*; *C. pallida*, que está asociada con especies de la sección *Hedriocarpae* en las figuras 11 y 12, se muestra mezclada con especies de la sección *Crotalaria* en la figura 10. En esta forma puede considerarse definida la posición de *C. incana* dentro de la sección *Chrysocalycinae*, subsección *Incanae* y la colocación de *C. pallida* en la sección *Hedriocarpae*, subsección *Macrostachyae*. En la monografía de las especies colombianas de *Crotalaria* (BERNAL, 1986) se incluyen los caracteres diferenciales de estas dos y de las otras especies más afines.

Es preciso señalar que en general nunca se ha dado una perfecta congruencia entre clasificaciones, ni utilizando muchos caracteres (solución propuesta por el feneticismo) ni aplicando una técnica cladista; esto nos lleva a concluir que es aconsejable en el procesamiento de los datos el uso de más de una técnica, en lo posible análisis de agrupamiento y ordenación, como se ha hecho en el presente estudio de las especies colombianas de *Crotalaria*.

Otro de los problemas encontrados en cuanto a la asignación de especies a las secciones de BISBY & POLHILL (1973) es el de *Crotalaria paulina* (15). Esta especie aparece aislada y relacionada únicamente con *C. agatiflora* (1)

en niveles muy bajos en los análisis de grupos WPGMA, UPGMA y Ligamiento Simple (Figs. 2, 3 y 4) en los que se empleó el coeficiente de distancia taxonómica; en Ligamiento Completo (Fig. 5) con el mismo coeficiente, forma un núcleo con *C. agatiflora*, pero relacionándose con ella a un nivel muy bajo y por consiguiente no significativo. En los mismos análisis de grupos pero empleando el coeficiente de correlación momento-producto (Figs. 6, 7, 8 y 9) también aparece el par *Crotalaria paulina*-*C. agatiflora* siempre relacionado a niveles de similitud bajos y no significativos.

En el método de ordenación "Gower" ó Análisis Coordinado Principal, *Crotalaria paulina* aparece totalmente aislada en las figuras 13 y 14 (componentes I-II y I-III); en la figura 15 (componentes II-III), en cambio, muestra sus mejores relaciones de similitud, formando grupos con las demás especies de la sección Calycinae aunque aún permanece ligeramente aislada.

En el Análisis de Componentes Principales, PCA, de las figuras 10 y 11 (componentes I-II y I-III) *Crotalaria paulina* aparece aislada; en la figura 12 (componentes II-III, 39.52% de la variación observada), aparece mezclada con miembros de la sección *Crotalaria*; por lo tanto, el PCA no es significativo para la ubicación de esta especie en una determinada sección.

La aparente relación entre *Crotalaria paulina* y *C. agatiflora* no debe ser tenida en cuenta dados sus bajos niveles que no son, por tanto, significativos. La especie en cuestión posee, además, caracteres tales como estípulas dimorfas, forma y tamaño del fruto y brácteas lanceoladas iguales o más largas que el cáliz, que la hacen perfectamente diferenciable no solo de *C. agatiflora* sino de todas las especies colombianas restantes.

Con base en los resultados obtenidos en el análisis coordinado principal "Gower" que se ilustra en la figura 15, y teniendo en cuenta algunos caracteres tales como receptáculo pequeño, hojas unifolioladas, cáliz bilabiado, apéndices del estandarte restringidos en la lámina y relativamente largos, puede ubicarse provisionalmente a *Crotalaria paulina* en la sección Calycinae; su inclusión definitiva no es posible aún, entre otras cosas porque posee caracteres tales como el extremo de la quilla no retorcido que la apartan considerablemente.

Finalmente *Crotalaria purdieana* (16) no muestra claramente sus relaciones con otras especies. En efecto, solamente en el análisis de grupos por Ligamiento Simple (Fig. 4) se hace visible alguna similitud con *C. spectabilis* (19) pero a un nivel muy bajo (1.26), mientras en el análisis de componentes principales (fig. 10) ocurre lo mismo con *C. retusa* (17); estas dos especies pertenecen a la sección *Crotalaria* subsección *Crotalaria*, pero las relaciones que muestran con *C. purdieana* son pobres y no constituyen prueba suficiente para la inclusión de esta especie en la sección. SENN (1939) la consideró como un miembro americano de la subsección *Oliganthae* (Benth.) Baker f. por poseer legumbres atenuadas en la base e inflorescencias axilares cortas, características que distinguen a esta subsección de las demás; según Senn, *C. purdieana* está estrechamente relacionada con *C. lotifolia*, de la cual se distingue

por poseer racimos axilares con 4-8 flores (vs. 1-3 en *C. lotifolia*) y por tener hojas pubescentes en la haz.

Crotalaria lotifolia es la especie tipo de la sección *Crotalaria* y, por consiguiente, de la subsección *Crotalaria*; este hecho puede contradecir la inclusión de *C. purdieana* en la subsección *Oliganthae* como lo propone SENN.

Existe la posibilidad de revalidar *Crotalaria* secc. *Crotalaria* (como "*Eucrotalaria*") subsecc. *Oliganthae* (Benth.) Baker f., para incluir a *Crotalaria lotifolia*, *C. purdieana* y otras especies dividiendo la sección *Crotalaria* de BISBY & POLHILL (1973) en tres subsecciones: *Crotalaria*, *Longirostres* y *Oliganthae*.

Es claro, en resumen, que la decisión final en cuanto a la ubicación definitiva de *Crotalaria purdieana* en alguna de las secciones existentes debe necesariamente esperar una investigación que incluya todos los taxa tanto del Nuevo como del Viejo Mundo. Es con poco convencimiento que incluyo provisionalmente a *C. purdieana* en la sección *Crotalaria* subsección *Crotalaria* teniendo como base para hacerlo la discusión anterior.

Aunque para el estudio de las especies colombianas de *Crotalaria* se emplearon atributos parcialmente diferentes a los utilizados en otras clasificaciones del género, es interesante señalar que se obtuvieron resultados semejantes a los de BISBY (1970) en lo referente al análisis de caracteres. En efecto, los caracteres que más contribuyen a la clasificación (Tabla 2) coinciden ampliamente con los presentados por él.

En términos generales, las conclusiones taxonómicas a que se ha llegado en este estudio muestran una marcada coincidencia con los resultados obtenidos por BISBY & POLHILL (1973).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con base en evidencias puramente fenéticas permiten hacer entre otras las siguientes aseveraciones:

1. El género *Crotalaria* está representado en Colombia por 19 especies. El número de taxa presentes en el país se incrementa en 6 (seis) con relación a los 13 (trece) conocidos cuando se inició el estudio; de estos la especie *Crotalaria glorieae* H. Y. Bernal, Mutisia 54: 1-4. 1983, se delimitó y describió como nueva para la ciencia.
2. Las especies colombianas de *Crotalaria* crecen desde el nivel del mar hasta 3400 m de altura; sin embargo, es posible reconocer marcadas diferencias en la distribución altitudinal de algunos taxa, así:

C. verrucosa, *C. purdieana*, *C. nitidula* y *C. glorieae* se encuentran de 0 a 480 m; *C. brevidens* y *C. paulina* entre 1200 y 1600 m; en tanto que *C. agatiflora* se conoce de 2600-2820 m. La especie con distribución más amplia es *C. nitens*, que ha sido coleccionada desde 0 hasta 3400 m; los restantes taxa ocupan también, en términos generales, una amplia faja altitudi-

- nal sin sobrepasar los 2600 m. Es preciso aclarar que la distribución restringida de *C. paulina*, *C. purdieana*, *C. retusa*, *C. verrucosa* y *C. vitellina* es una consecuencia directa de factores ecológicos como son clima y especialmente suelos y en ningún momento debe ser interpretada en otro sentido.
3. La delimitación de las especies es el resultado del análisis de 14 patrones de relación fenética, que incluyen varios métodos de agrupamiento y de ordenación. Ninguno de estos resultados obtenidos se ajusta exactamente a la clasificación de BISBY & POLHILL (1973) para las especies africanas. No obstante, puede afirmarse que las conclusiones taxonómicas a que se ha llegado en este estudio muestran una marcada coincidencia con los resultados obtenidos por los citados autores (véase Tabla 3).
 4. Es necesario hacer referencia en forma combinada a varias de las técnicas para llegar a conclusiones en cuanto a la ubicación de los siguientes taxa: *Crotalaria glorieae*, *C. pallida*, *C. incana*, *C. paulina* y *C. Purdieana*. De esta manera es clara la colocación de *C. glorieae* en la sección *Chrysocalycinae* subsección *Stipulosae*, *C. incana* en la sección *Chrysocalycinae* subsección *Incanae* y de *C. pallida* en la sección *Hedriocarpae* subsección *Macrostachyae*.
 5. La decisión final en cuanto a la ubicación definitiva de *Crotalaria paulina* y *C. purdieana* en alguna de las secciones existentes debe necesariamente esperar una investigación que incluya todos los taxa tanto del Nuevo como del Viejo Mundo.
 6. Las relaciones fenéticas más estrechas entre las especies colombianas se resumen así:
Crotalaria micans - *C. maypurensis* - *C. vitellina*
C. glorieae - *C. vitellina*
C. brevidens - *C. lanceolata*
C. nitens - *C. nitidula*
C. pilosa - *C. sagittalis*
C. retusa - *C. verrucosa* - *C. spectabilis*.
 7. Aunque para el estudio de las especies colombianas de *Crotalaria* se emplearon atributos parcialmente diferentes a los utilizados en otras clasificaciones del género, es interesante señalar que los resultados obtenidos son semejantes a los de BISBY (1970) en lo referente al análisis de los caracteres.

TABLA 3

Clasificación de *Crotalaria* modificada de BISBY & POLHILL, 1973).

Sinopsis de las secciones y subsecciones colombianas

1. Sección GRANDIFLORAE

1. *Crotalaria agatiflora* Schweinf.

2. Sección CHRYSOCALYCINAE

Subsección 2a. INCANAE

2. *Crotalaria incana* L.

(Tabla 3 continuación)

Subsección 2b. STIPULOSAE

- 3. *Crotalaria micans* Link
- 4. *Crotalaria maypurensis* H.B.K.
- 5. *Crotalaria vitellina* Ker
- 6. *Crotalaria gloriae* H. Y. Bernal, sp. nov.

3. Sección HEDRIOCARPAE

Subsección 3a. MACROSTACHYAE

- 7. *Crotalaria pallida* Ait.
- 8. *Crotalaria brevidens* Benth.
- 9. *Crotalaria lanceolata* E. Mey.

4. Sección CALYCINAE

- 10. *Crotalaria juncea* L.
- 11. *Crotalaria nitens* H.B.K.
- 12. *Crotalaria nitidula* Mart. ex Schrank
- 13. *Crotalaria pilosa* Miller
- 14. *Crotalaria sagittalis* L.
- 15. *Crotalaria paulina* Schrank

5. Sección CROTALARIA

Subsección 5a. CROTALARIA

- 16. *Crotalaria purdieana* Senn
- 17. *Crotalaria retusa* L.
- 18. *Crotalaria verrucosa* L.
- 19. *Crotalaria spectabilis* Roth

6. Sección DISPERMAE

- Crotalaria pumila* Ortega*

AGRADECIMIENTOS

Dejo constancia de mis sinceros agradecimientos:

Al Dr. Enrique Forero por la formación científica, orientación y apoyo que siempre estuvo dispuesto a ofrecerme no sólo durante el desarrollo de este trabajo, sino desde el comienzo de mis estudios universitarios.

A la Ing. Gloria Inés Giraldo por su invaluable colaboración y orientación en todo lo referente a Sistemas, además de su constante apoyo y asistencia en diversos aspectos del trabajo.

* Según BURKART (1952:327) *C. pumila* es especie indígena andina, que sólo crece en las faldas orientales de los Andes subtropicales, entre 450 y 2500 msnm.; por consiguiente dudo de la presencia natural de esta especie en Colombia, y únicamente conozco un ejemplar cultivado en la Estación Experimental "Tulio Ospina", ICA, Medellín, s/f, J. B. Martínez 21 (MEDEL). Por tanto, la especie no se incluye en el presente trabajo.

A los Profesores del Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de Colombia, Seccional Bogotá.

Al Dr. Frank Bisby de la Universidad de Southampton, Inglaterra, quien sugirió el estudio de las especies colombianas de *Crotalaria* y la aplicación de técnicas numéricas para delimitarlas.

Al Dr. Robert Sokal de la Universidad del Estado de New York, Stony Brook, por sus enseñanzas sobre Taxonomía Numérica; por las sugerencias en relación con la metodología más adecuada para este trabajo, y por su colaboración en la obtención de los programas de computador.

Al Dr. Jorge Victor Crisci del Museo de la Plata, Argentina, por sus enseñanzas, y por haber leído en forma crítica una porción del manuscrito, y por haber autorizado la adaptación de algunos apartes de su monografía "Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica" (1983).

Al personal directivo y administrativo del Centro de Cómputo y Procesamiento de información de la Universidad Nacional de Colombia, por facilitar los servicios de esa dependencia, sin los cuales hubiese sido imposible realizar la parte computacional del trabajo.

RESUMEN

Se presenta un estudio taxonómico de las especies colombianas de *Crotalaria* (Papilionaceae/Leguminosae/Fabaceae-Papilionoideae/Faboideae-Crotalariaeae) en el cual se han usado métodos numéricos. Los métodos de análisis de grupos y ordenación se emplearon para evaluar similitudes entre las especies, y para ayudar en su ubicación dentro de las secciones reconocidas por BISBY & POLHILL (1973) para las especies africanas del género. Se compararon 95 caracteres y 201 estados y se analizaron 14 patrones de relación. Se reconocieron estrechas relaciones fenéticas entre varios grupos de especies (núcleos); la ubicación de algunos de los taxa americanos fué satisfactoria en algunos casos (*Crotalaria agatiflora*, *C. incana*, *C. micans*, *C. maypurensis*, *C. vitelina*, *C. glorieae*, *C. pallida*, *C. brevidens*, *C. lanceolata*, *C. juncea*, *C. nitens*, *C. nitidula*, *C. pilosa*, *C. sagittalis*, *C. retusa*, *C. verrucosa* y *C. spectabilis*) pero no en otros (*C. paulina*, *C. purdieana*). El uso de técnicas numéricas también ayudó al reconocimiento y delimitación de una nueva especie (*Crotalaria glorieae*). En total, se reconocen 19 especies para Colombia, las cuales representan 5 secciones (Tabla 3).

BIBLIOGRAFIA

- BAILLON, H. 1870. *Historie des Plantes*. Tomo II. Librairie Hachette et Cie. Paris. pp. 21-384.
- BAKER, J. G. 1871. *Flora of Tropical Africa* 2:7-44.
- BAKER, E. G. 1914. The African Species of *Crotalaria*. *Journ. Linn. Soc.* 42: 241-421.
- BALL, G. H. 1965. Data Analysis in the social sciences: what about the details? In *Proceedings of the fall joint computer conferences*, Stanford, 553-559. New York, Macmillan.

- BENTHAM, G. 1843. Enumeration of Leguminosae indigenous to southern Asia and central and southern Africa, XV. *Crotalaria*. Journ. Bot. 2: 472-481, 559-593.
- . 1859. Leguminosae subordo Papilionaceae. In C. F. P. von Martius. Flora Brasiliensis 15 (1): 1-350.
- & J. D. HOOKER 1865. Papilionaceae. Genera Plantarum 1: 437-562.
- BERNAL M., H. Y. 1986. Flora de Colombia: 4. *Crotalaria* (Fabaceae-Faboideae). — Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural. — 119 p.: il.
- BISBY, F. A. 1970. The evaluation and selection of characters in angiosperm taxonomy: and example from *Crotalaria*. New Phytol. 69: 1149-1160.
- . 1973. The role of taxometrics in angiosperm taxonomy. I: Empirical comparisons of methods using *Crotalaria*. New Phytol. 72: 699-726.
- & R. M. POLHILL 1973. The role of taxometrics in angiosperm taxonomy. II: Parallel taximetric and orthodox studies in *Crotalaria* Linneo. New Phytol. 72: 727-742.
- BLACKITH, R. E. & R. A. REYMENT 1971. Multivariate morphometrics. Academic Press, London and New York, 412 p.
- BURKART, A. 1952. Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas. 2da edición, Acme Agency Ltda., Buenos Aires. 569 p.
- CLIFFORD, H. T. & W. STEPHENSON 1975. An introduction to numerical classification. Academic Press, New York.
- CRISCI, J. V. & M. F. LOPEZ A. 1983. Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica, O.E.A. Washington. 132 p.
- DALLA TORRE, C. G. & H. HARMS 1900-1907. Genera Siphonogamarum. Engelmann, Leipzig. pp. 212-246.
- DE CANDOLLE, A. P. 1825. Leguminosae. Prodr. 2: 94-422. Treuttel & Wurtz, Paris.
- DIELS, L. 1936. Leguminosae unterfamilie Papilionatae, pp. 239-243. In: Engler's Syll. Pflanzenfam. 11th. ed. Borntraeger, Berlin.
- DUMMER, R. A. 1913. Synopsis of the species of *Lotononis* Eckl. & Zeyh. and *Pleiospora* Harv. Trans. Roy. Soc. S. Afr. 3: 275-335.
- DWYER, J. D. 1980. Papilionoideae. In Flora of Panama. Ann. Missouri Bot. Gard. 67 (3): 523-614.
- ENDLICHER, S. 1840. Genera Plantarum. pp. 1253-1321. Beck, Vienna.
- EVERITT, B. 1974. Cluster Analysis. Social Science Research Council, Heinemann Educational Books. 122 p. London.
- GARCIA-BARRIGA, H. & E. FORERO 1968. Catálogo ilustrado de las plantas de Cundinamarca. Vol. III. Las leguminosas. Publ. Inst. Ciencias Naturales. 127 p. Bogotá.
- GOWER, J. C. 1966. Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. Biometrika 53: 325-338.
- HARMAN, H. H. 1967. Modern factor analysis. ed. 2. Univ. Chicago Press. Chicago.
- HARVEY, W. H. 1862. *Crotalaria*. Harv. & Sond., Fl. Cap. 2: 39-47. Hodges & Smith, Dublin.
- HUTCHINSON, J. 1964. The genera of flowering plants. Vol. I. Dicotyledons. Oxford University Press. pp. 297-489.
- LAMARCK, J. B. 1786. Encyclopédie Méthodique 2: 195-197.
- LINNEO, C. 1753. *Crotalaria*. Species Plantarum 2: 714-716. Stockolm, Laurentii Salvii.
- MACBRIDE, J. F. 1943. Leguminosae. In Flora of Peru. Field Mus. Nat. Hist. Bot. 13 part 3 No 1: 228-391.
- MEISSNER, A. 1843. Cape Plants. In Hooker's London Journal, Vol. II. pp. 60.
- MICHENER, C. D. & R. R. SOKAL. 1957. A quantitative approach to a problem in classification. Evolution 1: 130-162.
- MORRISON, D. F. 1967. Multivariate statistical methods. McGraw-Hill, New York, 338 p.

- PELTIER, M. A. G. 1959. Le genre *Crotalaria* Linneo. Journ. d'Agric. Trop. Bot. Appliq. 6: 22-36.
- PHILLIPS, E. P. 1951. Genera of south African Flowering Plants, ed. 2.
- PITTIER, H. 1944. Leguminosae de Venezuela. I. Papilionaceae. Min. Agr. Cría; Serv. Bot. Bol. Téc. N° 5, Ed. Elite, Caracas, Venezuela. 171 p.
- POLHILL, R. M. 1968. Miscellaneous notes on African species of *Crotalaria* Linneo. II. Kew Bull. 22 (2): 169-348.
- . 1981. Crotalariceae. In Polhill, R. M. & P. H. Raven (eds.), Advances in Legume Systematics 1: 399-402. Royal Botanic Gardens, Kew.
- ROHLF, F. J. 1972. MINT (mini-NTSYS) Numerycal Taxonomy sistem of multivariate statistical programs. Tech. Rep. State University of New York at Stony Brook, New York.
- SCHULZE-MENZ, G. K. 1964. Leguminosae. Engler's Syll. Pflanzenfam. Angiosperm, 2. Berlin. pp. 221-242.
- SEAL, H. L. 1964. Multivariate statistical analysis for Biologists. Methuen, London 209 p.
- SENN, H. A. 1939. The North American Species of *Crotalaria*. Rhodora 41: 317-366.
- SNEATH, P. H. A. & R. R. SOKAL 1973. Numerical Taxonomy. W. H. Freeman and Company. USA. 573 p.
- SOKAL, R. R. 1961. Distance as a measure of taxonomic similarity. Syst. Zool. 10: 70-79.
- , & F. J. ROHLF 1962. The comparison of dendrograms by objetive methods. Taxon 11: 33-40.
- , & H. A. SNEATH 1963. Principles of numerical taxonomy, San Francisco and London. 350 p.
- SPENCE N. A. & P. J. TAYLOR 1970. Quantitative methods in regional taxonomy. Progr. Geogr. 2: 1-64.
- STANDLEY, P. C. & J. A. STEYERMARK 1946. Leguminosae. Flora de Guatemala Fieldiana Bot. 24 (5): 153-335.
- VERDOORN, I. C. 1928. A revisión of the *Crotalaria* of South and South-East Tropical Africa. Bothalia 2: 371-420.
- WIGHT, R. & ARNOTT-WALKER, G. 1834. *Crotalaria* in Prodr. Fl. Ind. Or. 1: 180-195.
- WILCZECK, R. 1953. *Crotalaria*. Flore du Congo Belge 4: 47-273.
- WILLIAMS, W. T. & M. B. DALE 1965. Fundamental problems in numerical taxonomy. Advances Bot. Res. 2: 35-68.
- WISHART, D. 1969. FORTRAN II Programs for 8 methods of cluster analysis (CLUSTAN I). Kansas Geol. Surv. Computer Contrib. 38: 1-112.