

FENOLES DEL POLEN DE *STENOCACTUS*, *ECHINOCEREUS* Y
MAMMILLARIA (CACTACEAE)

Norma Almaraz-Abarca^{1,3}, María Da Graça Campos²,
Amanda Delgado-Alvarado¹, José Antonio Ávila-Reyes^{1,3},
Nestor Naranjo-Jiménez^{1,3}, Jesús Herrera-Corral^{1,3},
Ana Filipa Tomatas², Ana Julia Almeida² y Amélia Vieira²

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional
Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango. Sigma s/n Fracc. 20 de Noviembre
II, Durango, Dgo., México. Tel/Fax: (618) 8 14 45 40

²Faculdade de Farmacia
Universidade de Coimbra, 3000-295 Coimbra, Portugal

RESUMEN

Un número variable de compuestos fenólicos ha sido detectado en el polen de *Stenocactus multicosatus* subsp. *zacatecasensis* (Britton et Rose) U. Guzmán et Vázquez-Benítez, comb. et stat. nov., *Echinocereus enneacanthus* Engelm., *Echinocereus pectinatus* (Scheidw.) Engelm., *Echinocereus triglochidiatus* var. *coccineus* (Engelm.) U. Guzmán, comb. et stat. nov. y *Mammillaria heyderi sensu lato*, todas de la familia Cactaceae. Los compuestos fenólicos fueron caracterizados por sus propiedades cromatográficas (HPLC) y espectrométricas (UV). Los fenoles encontrados fueron derivados de ácidos fenólicos y flavonoides. Estos últimos estuvieron representados por flavonoles, de éstos los más abundantes fueron los 3-O-glicósidos derivados de canferol y quercetina. En menor abundancia

se encontraron derivados 3-O-glicósidos de herbacetina. Variabilidad intrapoblacional en la composición fenólica del polen fue registrada en todos los casos. Cada uno de los taxa presentó un perfil fenólico particular. La composición de fenoles del polen de estas especies es presentada por primera vez.

Palabras clave: *Stenocactus*, *Echinocereus*, *Mammillaria*, fenoles del polen.

ABSTRACT

A variable number of phenolics have been detected in pollen of the following species of Cactaceae: *Stenocactus multicosatus* subsp. *zacatecasensis*, *Echinocereus enneacanthus*, *Echinocereus pectinatus*, *Echinocereus triglochidiatus* var. *coccineus* and *Mammillaria heyderi sensu lato*. The phenolics were characterized by

³ Becarios COFAA.

*Autora a quien la correspondencia debe ser dirigida. Correo electrónico: nalmaraz@ipn.mx

means of chromatographic (HPLC) and spectrometric (UV) properties. The most abundant flavonols were 3-O-glycoside derivatives of kaempferol and 3-O-glycoside derivatives of quercetin. 3-O-glycoside derivatives of herbacetin were found in lower abundance. Each species had a particular pollen phenolic profile. Intrapopulation variability in phenolic profiles was detected in all cases. The phenolic composition of these species is reported for the first time.

Keywords: *Stenocactus*, *Echinocereus*, *Mammillaria*, pollen phenols.

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre la composición fenólica de cactáceas son escasos. Los flavonoides en esta familia de plantas han sido investigados con respecto a su estructura química, como en el trabajo de Liu y col. (2001) en el que se describen tres nuevos flavonoles tetraglicósidos de tejidos somáticos de *Cephalocereus senilis*; con fines filogenéticos como en el trabajo de Miller (1988) en el que se analiza la composición de pigmentos florales de *Echinocereus*; y por su actividad biológica, como es el caso del trabajo de Dok-Go y col. (2003) en el que se estudia la capacidad antioxidante de los flavonoides de frutos y tallos de *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*.

El interés en estudios fitoquímicos de cactáceas en México debería estar asociado a la amplia distribución y gran diversidad de los elementos de esta familia y a los importantes papeles ecológicos y económicos que desempeñan en las zonas áridas y semiáridas de este país (Arias, 1997; Arias, 2001; Valiente-Banuet y col. 1997; Casas y col. 1999).

La familia Cactaceae comprende entre 1500 y 1 800 especies distribuidas en alrededor de 100 géneros (Barthlott y Hunt, 1993). Se estima que en México existen 707 especies de cactáceas distribuidas en 58 géneros (Arias, 2001), con aproximadamente 14 géneros y 400 especies endémicos (Arias, 1997). *Stenocactus* o *Echinofossulocactus*, *Mammillaria* y *Echinocereus* pertenecen a la subfamilia *Cactoideae* (Guzmán, 1997). Los dos primeros, *Stenocactus* y *Mammillaria*, comparten una relación taxonómica más estrecha, ambos pertenecen a la tribu *Cacteae* y a la subtribu *Cactinae*, mientras que *Echinocereus* pertenece a la tribu *Echinocereae* (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

De acuerdo a varios autores *Stenocactus* o *Echinofossulocactus*, *Mammillaria* y *Echinocereus* son géneros taxonómicamente difíciles por la gran variabilidad en los caracteres morfológicos, por la alta capacidad de hibridación y por, como en el caso de *Stenocactus*, contar con descripciones incompletas, basadas en un solo ejemplar, no tipificadas o sin procedencia (Meyrán, 1979; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991).

Caracteres químicos como los perfiles de flavonoides han sido una herramienta útil en la delimitación de especies y en la ubicación de diversos *taxa* vegetales en un sistema de clasificación (Abdala y Seeligmann, 1995; Del Pero y col., 1997; Fiasson y col., 1997; Almaraz-Abarca, 2000; Almaraz-Abarca y col., 2006). En trabajos recientes se ha manifestado la tendencia especie-específica de los perfiles de flavonoides del polen (Campos, 1997; Almaraz-Abarca y col., 2004a), este aspecto es relevante especialmente para estudios quimotaxonómicos de cactáceas, dentro de

las cuales existen muchos elementos que se encuentran en algún grado de peligro, ya que esa herramienta representa un método de análisis no destructivo de la planta.

Este trabajo informa sobre la variación natural intrapoblacional e interespecífica en la composición de fenoles del polen de cinco especies dentro de los géneros *Stenocactus*, *Echinocereus* y *Mammillaria* de la familia Cactaceae.

METODOLOGÍA

Polen de una especie de *Stenocactus*, tres de *Echinocereus* y una de *Mammillaria* fueron colectadas en diferentes localidades del estado de Durango, México (tabla 1).

Las identificaciones botánicas respectivas se realizaron en campo y a partir de fotografías de cada individuo tomadas *in situ*, con base en caracteres morfológicos. De cada *taxon* se colectó un ejemplar de referencia. Éstos se encuentran depositados en el Herbario CIIDIR. Cada muestra de polen se almacenó de manera individual a temperatura ambiente, en desecador con sílica y en oscuridad hasta su uso. De cada una se tomaron 10 mg y se sonicaron en 1 ml de una solución de etanol-agua (50% v/v) durante 60 minutos. Los extractos resultantes se centrifugaron a 15269g durante 10 minutos. Los sobrenadantes se utilizaron para el análisis de cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos (HPLC/DAD) de acuerdo a lo descrito por Campos (1997). Los extractos (20 µl) se analizaron en un sistema de HPLC marca *Gilson 305*, con un detector de arreglo de diodos *Gilson 170* y una columna *Waters Spherisorb S50D52*, en un sistema de gradiente con acetonitrilo-agua acidi-

ficada. Los cromatogramas se registraron a $\lambda_{\text{máx}}$ 260 y 340 nm. Los datos espectrales para todos los picos se acumularon en el intervalo de 220-400 nm, usando un detector de arreglo de diodos. El perfil fenólico de cada muestra individual estuvo constituido por todos los compuestos resueltos en el respectivo cromatograma de HPLC. Cada compuesto fue considerado como un carácter químico presente. El espectro UV de cada compuesto, registrado por el detector de arreglo de diodos de manera simultánea a su aparición en el cromatograma respectivo, se utilizó para identificar la clase de flavonoide o fenol encontrado en el polen de los individuos analizados. La identificación estructural se realizó de acuerdo a Campos y Markham (2007).

RESULTADOS

Varios flavonoides glicósidos y derivados de ácidos fenólicos fueron detectados en el polen de todas las especies analizadas (tabla 2). Entre las clases de flavonoides que se encontraron en los tres géneros, los flavonoles fueron los más abundantes, con 39 diferentes estructuras basadas en dos agliconas ampliamente distribuidas (canferol y quercetina). La mayor abundancia de derivados glicósidos de canferol fue evidente, 20, contra la de derivados de quercetina, 11. Los derivados glicósidos de herbacetina fueron 7. Los 3-*O*-glicósidos fueron las estructuras dominantes entre los flavonoles.

Los flavonoides están presentes en el polen de muchas especies de angiospermas y gimnospermas y en las esporas de helechos y musgos. En particular los flavonoles canferol y quercetina son fundamentales en especies como tabaco, petunia y maíz (Mo y col., 1992) para que el desarrollo y la

germinación del tubo polínico ocurran. Sin embargo, en especies de *Arabidopsis* no se ha encontrado una función semejante para estos dos flavonoles (Burbulis y cols., 1996). Sería interesante determinar, dada la abundancia de derivados de canferol y quercetina en el polen de las especies de cactáceas estudiadas, si estos compuestos son importantes para asegurar la fertilización en estos *taxa*.

Los derivados de ácidos fenólicos fueron más abundantes en el polen de *Stenocactus multicosatus* subsp. *zacatecasensis* (ocho estructuras) (tabla 3). *Echinocereus pectinatus*, *E. triglochidiatus* var. *coccineus* y *Mammillaria heyderi sensu lato* presentaron, respectivamente, una sola estructura derivada de estos ácidos (tablas 5, 6 y 7).

Los perfiles fenólicos del polen de las cinco especies de cactáceas analizadas son relativamente complejos (22 componentes fenólicos en *Stenocactus multicosatus* subsp. *zacatecasensis*, nueve en *Echinocereus enneacanthus*, 17 en *E. pectinatus*, 15 en *E. triglochidiatus* var. *coccineus*, y 17 en *Mammillaria heyderi sensu lato*) si se comparan con lo reportado para el polen de *Zea mays*, en el que se encontraron seis compuestos fenólicos; el de *Bidens odorata*, tres compuestos (Almaraz-Abarca y cols., 2004a); *Eucalyptus globulus*, siete, y *Erica australis*, dos (Campos, 1997). De las especies analizadas, el polen de *Stenocactus multicosatus* subsp. *zacatecasensis* presentó el perfil fenólico más complejo (tabla 3) con 22 estructuras: un flavonoide no identificado, ocho derivados de ácidos fenólicos y 13 flavonoles glicósidos, de los cuales dos son derivados de herbacetina, tres de quercetina y ocho de canferol. El perfil más sencillo se

encontró en *Echinocereus enneacanthus* (tabla 4), con nueve estructuras, dos derivados glicósidos de herbacetina, dos de quercetina y cinco de canferol. En esta especie de cactus no se detectó la presencia de derivados de ácidos fenólicos en el polen. *Echinocereus enneacanthus* y *E. triglochidiatus* var. *coccineus* fueron las especies que presentaron los perfiles menos complejos de los analizados en este trabajo (tablas 4 y 6).

La determinación de los perfiles fenólicos individuales manifiesta la existencia de una variación natural intrapoblacional en todos los *taxa* analizados en este trabajo (tablas 3-7), esto es, que existen individuos que pueden expresar o no un compuesto dado dentro de un perfil tipo. Reportes de variación semejante han sido presentados para los fenoles foliares de *Aspalathus linearis* (Van Heerden y col., 2003) y para los de cinco especies de *Pinus* (Almaraz-Abarca, 2000; Almaraz-Abarca y col., 2006). En cada uno de esos casos fue posible identificar un perfil fenólico tipo y esos perfiles fueron considerados como caracteres quimiotaxonómicos valiosos.

Mammillaria heyderi sensu lato es un grupo taxonómico muy difícil por su elevado polimorfismo y su capacidad de hibridación (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). Este *taxon* y *Echinocereus pectinatus* tienen una distribución geográfica muy amplia y prácticamente continua dentro del estado de Durango, es posible encontrarlos tanto en zonas áridas como en zonas templadas de bosques de pino-encino. Una situación contrastante se presenta en el caso de *Stenocactus multicosatus* subsp. *zacatecasensis*, cuyas poblaciones son pocas y disyuntas (Almaraz-Abarca y col., 2004b). Estas tres especies se pueden

encontrar como poblaciones simpátricas en zonas de bosque de encino con pastos escasos y afloramientos rocosos, como son las áreas de crecimiento de *Stenocactus multicostatus* subsp. *zacatecasensis*. Se ha propuesto que el incremento en la variabilidad morfológica y genética está asociado con el incremento en el área de distribución (Sosa y col., 2002). De acuerdo al intervalo de compuestos fenólicos que pueden ser expresados, la variación encontrada en el perfil de flavonoides de *Mammillaria heyderi sensu lato* también fue alta (12 a 17 compuestos, tabla 7), semejante a la encontrada para *Echinocereus pectinatus* (12 a 17 compuestos, tabla 5) y para *Stenocactus multicostatus* subsp. *zacatecasensis* (14 a 19 compuestos, tabla 3), este último, un grupo geográficamente mucho más delimitado que cualquiera de los otros cuatro analizados en este estudio, pero morfológicamente muy variable. La variación química encontrada para *Stenocactus multicostatus* subsp. *zacatecasensis* podría apoyar la propuesta de que este *taxon* se encuentra en un proceso de evolución actual (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991). *E. enneacanthus* presentó una menor variación en cuanto al número de compuestos fenólicos expresados en el polen (5 a 9, tabla 4). La variación en la expresión fenólica del polen de *E. triglochidiatus* var. *coccineus* fue extrema (4 a 13 compuestos, tabla 6) comparada con la de los otros cuatro *taxa* analizados en este estudio. Sin embargo, esta variación, debida principalmente al individuo 650, podría deberse a que de ese individuo se contó con una muestra muy pequeña de polen y por lo tanto la visualización de los compuestos separados por HPLC/DAD en el cromatograma respectivo pudo no haber sido completa.

Individuos de *Echinocereus enneacanthus* provenientes de dos diferentes poblaciones, separadas una de la otra por una distancia de alrededor de 200 km en línea recta y por barreras geográficas como la sierra El Rosario, que tiene elevaciones que alcanzan los 2 240 m; la presa Francisco Zarco y el río Nazas mostraron perfiles muy homogéneos entre sí (tabla 4). Esto sugiere que hay poca variación en la expresión fenólica del polen entre individuos de las dos poblaciones. Estudios fitoquímicos poblacionales permitirían detectar la variabilidad en la síntesis y acumulación de compuestos secundarios dentro y entre poblaciones, y esa variabilidad proporcionaría una herramienta más para caracterizar y delimitar diferentes *taxa*.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que *Stenocactus multicostatus* subsp. *zacatecasensis*, *Echinocereus enneacanthus*, *E. pectinatus*, *E. triglochidiatus* var. *coccineus* y *Mammillaria heyderi sensu lato* tienen cada una, a pesar de la variación intrapoblacional, un perfil fenólico del polen que tiende a ser especie-específico. Catorce compuestos (15, 19, 31, 32, 35, 36, 39, 45, 47, 49, 50, 51, 52 y 53) fueron únicos al perfil fenólico del polen de *Stenocactus multicostatus* subsp. *zacatecasensis*; dos (17 y 30) lo fueron a *Echinocereus enneacanthus*; siete (2, 3, 4, 7, 11, 13 y 33) lo fueron a *E. pectinatus*; tres (10, 41 y 48) a *E. triglochidiatus* var. *coccineus*, y ocho (6, 12, 18, 21, 24, 38, 40 y 42) a *Mammillaria heyderi sensu lato*. El compuesto 43 (3-O-glicosilcanferol) se encontró en el polen de todos los individuos analizados (excepto en el del individuo 650 de *Echinocereus triglochidiatus* var. *coccineus*, del cual fue difícil visualizar todos los compuestos por contar con muy poca cantidad de muestra).

Si este compuesto fuera encontrado en un número mayor de especies pertenecientes a la misma subfamilia *Cactoideae*, podría considerarse como un marcador quimio-taxonómico a este nivel. Un caso similar sería para el compuesto 37 (3-O-glicosilcanferol), que se encontró en todos los individuos de las tres especies de *Echinocereus*, en este caso ese compuesto podría representar un marcador genérico para ese *taxon*. Más estudios sobre la diversidad química en un número mayor de poblaciones, sobre todo en los *taxa* de distribución geográfica amplia, son necesarios para establecer si los perfiles fenólicos del polen son caracteres que podrían contribuir a la delimitación de grupos a nivel específico e infraespecífico en cactáceas. Ese tipo de estudios además podrían permitir la identificación de compuestos desconocidos para ayudar a entender las rutas bioquímicas asociadas a la diversificación de poblaciones de ese grupo de plantas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la COFAA-IPN por los estímulos a la investigación, a la doctora Martha González Elizondo por su ayuda en la identificación de las especies y al biólogo Raúl Muñiz Martínez por sus valiosos comentarios y sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Abdala, L.R.; P. Seeligmann, 1995. "Flavonoids in *Tagetes zipaquirensis* and their chemosystematic significance". *Biochemical Systematics and Ecology*, **23**: 871-872.
- Almaraz-Abarca, N., 2000. *Estudio quimiotaxonómico de Pinus sección Leiophyllae (Pinaceae)*. Tesis doctoral. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. 119 pp.
- Almaraz-Abarca, N.; M.G. Campos; J.A. Ávila-Reyes; N. Naranjo-Jiménez; J. Herrera-Corral; L.S. González-Valdez, 2004a. "Variability of antioxidant activity among honeybee-collected pollen of different botanical origin". *Interciencia*, **29**: 574-578.
- Almaraz-Abarca, N.; A. Delgado-Alvarado; J.A. Ávila-Reyes; N. Naranjo-Jiménez; J. Herrera-Corral, 2004b. "Las cactáceas del estado de Durango". *Bioptecipn*, **2**: 19-20.
- Almaraz-Abarca, N.; M.S. González-Elizondo; J.A. Tena-Flores; J.A. Ávila-Reyes; J. Herrera-Corral; N. Naranjo-Jiménez, 2006. "Foliar flavonoids distinguish *Pinus leiophylla* and *Pinus chihuahuana* (Coniferales: Pinaceae)". *Proceedings of the Biological Society of Washington*, **119**:426-436.
- Arias, M.S., 1997. "Distribución general". En: *Suculentas Mexicanas. Cactáceas*. UNAM, SEMARNAP. México. pp. 17-25.
- , 2001. "Sistemática y conservación de la familia Cactaceae en México". *Memorias del XV Congreso Mexicano de Botánica*.
- Barthlott, W.; D.R. Hunt., 1993. "Cactaceae". In: K. Kubitzki, J. G. Rohwer, V. Bittrich (eds.). *The Families and Genera of Vascular Plants*. vol. 2. Springer Verlag, Berlin. pp. 161-197.

- Bravo-Hollis, H.; R.H. Sánchez-Mejorada, 1991. *Las Cactáceas de México*. vol. II. UNAM. México. 743 pp.
- Burbulis, I. E.; M. Iacobucci; B.W. Shirley, 1996. "A null mutation in the first enzyme of flavonoid biosíntesis does not affect male fertility in *Arabidopsis*". *The Plant Cell*, **8**:1013-1025.
- Campos, M.G., 1997. *Caracterizaçao do pólen apícola pelo seu perfil em compostos fenólicos e pesquisa de algumas actividades biológicas*. Tesis doctoral. Faculdade de Farmácia. Universidade de Coimbra. Portugal. 318 pp.
- Campos, M.G.; K.R. Markham, 2007. *Structure information from HPLC and on-line measured absorption spectra- Flavone, Flavonols and Phenolic Acids*. Ed. Imprensa da Universidade de Coimbra. Portugal, 188 pp.
- Casas, A.; A. Valiente-Banuet; A. Rojas-Martínez; P. Dávila, 1999. "Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in central México". *American Journal of Botany*, **86**: 534-542.
- Del Pero, M.M.A.; J.P. Pelotto; N. Basualdo, 1997. "Distribution of flavonoid aglycones in *Ilex species* (Aquifoliaceae)". *Biochemical Systematics and Ecology*, **25**: 619-622.
- Dok-Go, H.; K.H. Lee; H.J. Kim; E. H. Lee; J. Lee; Y.S. Song; Y.H. Lee; C. Jin; Y.S. Lee; J. Cho, 2003. "Neuroprotective effects of antioxidative flavonoids, quercetin, (+)-dihydroquercetin and quercetin 3-methyl ether, isolated from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*". *Brain Research*, **965**:130-136.
- Fiasson, J.L.; K. Gluchoff-Fiasson; G. Dahlgren, 1997. "Flavonoid patterns in European *Ranunculus* L. subgenus *Batrachium* (Ranunculaceae)". *Biochemical Systematics and Ecology*, **25**: 327-333.
- Guzmán, C.L.U., 1997. "Grupos taxonómicos". En: *Suculentas Mexicanas. Cactaceas*. UNAM-SEMARNAP. México. pp: 37-41.
- Liu, Q.; M. Liu; T.J. Mabry; R.A. Dixon, 2001. "Flavonol glycosides from *Cephalocereus senilis*". *Phytochemistry*, **36**: 229-231.
- Meyrán, G.J., 1979. "Discusión sobre *Echinofossulocactus*". *Cactaceas y Suculentas Mexicanas XXIV*: 90-94.
- Miller, J.M., 1988. "Floral pigments and phylogeny in *Echinocereus* (Cactaceae)". *Systematic Botany*, **13**:173-183.
- Mo, Y.; C. Ángel; L.P. Taylor, 1992. "Biochemical complementation of chalcone synthase mutants defines a role for flavonols in functional pollen". *Proceedings of the National Academy of Science*, **89**: 7213-7217.
- Sosa, A. P.; F.J. Batista, M.A. González-Pérez, N. Bouza, 2002. La conservación genética de las especies vegetales amenazadas. Técnicas de diagnóstico

- del estado de conservación. En: *Biología de la conservación de Especies Amenazadas*. Bañares, A. (Ed.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. España. pp. 2-27.
- Valiente-Banuet, A.; A. Rojas-Martínez; M. Del C. Arizmendi; P. Dávila, 1997. "Pollination biology of two columnar cacti (*Neobuxbaumia mezcalensis* and *Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacan Valley, central México". *American Journal of Botany*, **84**: 452-455.
- Van Heerden, F.R.; B.E. van Wyk; A.M. Viljoen; P. A. Steenkamp, 2003. "Phenolic variation in wild populations of *Aspalathus linearis* (rooibos tea)". *Biochemical Systematics and Ecology*, **31**: 885-895.

Recibido: 27 junio 2006. Aceptado: 21 diciembre 2006.

Tabla 1. Relación de las muestras de polen.

Número de muestra	Número de colecta	Especie	Fecha de colecta	Localidad
1	559	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
2	560	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
3	561	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
4	562	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
5	563	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
6	564	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
7	565	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
8	566	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
9	568	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
10	569	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
11	571	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
12	572	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
13	573	<i>Stenocactus multicosatus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.

Continuación Tabla 1.

Número de muestra	Número de colecta	Especie	Fecha de colecta	Localidad
14	574	<i>Stenocactus multicostratus</i> subsp. <i>zacatecasensis</i>	13/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
15	567	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
16	576	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
17	577	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
18	578	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
19	579	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
20	580	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
21	581	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
22	582	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
23	583	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
24	584	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
25	585	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.
26	586	<i>Mammillaria heyderi sensu lato</i>	17/03/2005	Chupaderos, Durango, Méx.

Continuación Tabla 1.

Número de muestra	Número de colecta	Especie	Fecha de colecta	Localidad
27	609	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	18/03/2005	Vallecillos, Cuencamé, Durango
28	610	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	18/03/2005	Vallecillos, Cuencamé, Durango
29	611	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	18/03/2005	Vallecillos, Cuencamé, Durango
30	612	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	18/03/2005	Cañón de San Diego, Cuencamé, Durango
31	638	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	09/04/2005	Mapimí, Durango
32	639	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	09/04/2005	Mapimí, Durango
33	641	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	09/04/2005	Mapimí, Durango
34	643	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	09/04/2005	Mapimí, Durango
35	644	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	09/04/2005	Mapimí, Durango
36	645	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	09/04/2005	Mapimí, Durango
37	646	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	09/04/2005	Mapimí, Durango
38	630	<i>Echinocereus pectinatus</i>	08/04/2005	Chupaderos, Durango
39	631	<i>Echinocereus pectinatus</i>	08/04/2005	Chupaderos, Durango
40	632	<i>Echinocereus pectinatus</i>	08/04/2005	Chupaderos, Durango

Continuación Tabla 1.

Número de muestra	Número de colecta	Especie	Fecha de colecta	Localidad
41	634	<i>Echinocereus pectinatus</i>	08/04/2005	5 km sobre carretera Durango-Parral
42	635	<i>Echinocereus pectinatus</i>	08/04/2005	5 km sobre carretera Durango-Parral
43	636	<i>Echinocereus pectinatus</i>	08/04/2005	5 km sobre carretera Durango-Parral
44	637	<i>Echinocereus pectinatus</i>	08/04/2005	5 km sobre carretera Durango-Parral
45	658	<i>Echinocereus pectinatus</i>	25/04/2005	Cuencamé, Durango
46	654	<i>Echinocereus triglochidiatus</i> var. <i>coccineus</i>	23/04/2005	Cuencamé, Durango
47	629	<i>Echinocereus triglochidiatus</i> var. <i>coccineus</i>	06/04/2005	Chupaderos, Durango
48	650	<i>Echinocereus triglochidiatus</i> var. <i>coccineus</i>	10/04/2005	Cuencamé, Durango

Tabla 2. Compuestos fenólicos detectados en los *taxa* analizados.

Número de compuesto	Tiempo de retención (min) (X ± DS)*	Tipo de compuesto
1	25.73 ± 0.01	No identificado
2	29.93 ± 0.03	No identificado
3	30.65 ± 0.02	No identificado
4	32.24 ± 0.02	3-O-glicosilcanferol-7substituido
5	32.54±0.02	3-O-glicosilcanferol C7 sustituido
6	32.68 ± 0.05	No identificado
7	33.91± 0.00	3-O-glicosilcanferol
8	34.16±0.02	3-O-glicosilherbacetina
9	34.18 ± 0,01	Ácido fenólico
10	34.30 ± 0.01	3-O-glicosilherbacetina
11	35.73 ± 0.09	Ácido fenólico
12	35.82 ± 0.03	3-O-glicosilherbacetina
13	36.35 ± 0.03	3-O-glicosilherbacetina
14	36.38 ± 0,02	3-O-glicosilherbacetina
15	36.40±0.00	Ácido fenólico
16	36.54±0.00	3-O-glicosilherbacetina
17	36.56 ± 0.04	3-O-glicosilcanferol
18	36.80± 0,00	Quercetina derivado
19	37.28±0.02	3-O-glicosilquercetina
20	37.54 ± 0.02	3-O-glicosilherbacetina
21	37.76±0.00	3-O-glicosilcanferol
22	37.77 ± 0.03	3-O-glicosilquercetina
23	37.80 ± 0.01	3-O-glicosilcanferol
24	37.82 ± 0.01	Quercetina derivado
25	37.88±0.04	3-O-glicosilquercetina
26	38.20 ± 0.04	3-O-glicosilcanferol
27	38.24 ± 0.02	3-O-glicosilcanferol
28	38.61±0.04	3-O-glicosilcanferol
29	38.85 ± 0.03	3-O-glicosilquercetina
30	38.89 ± 0.04	3-O-glicosilquercetina (7-O-substituido)
31	38.96±0.02	Quercetina derivado
32	39.08±0.03	Ácido fenólico
33	39.12 ± 0.05	3-O-glicosilcanferol
34	39.13 ± 0.02	3-O-glicosilcanferol
35	39.30±0.02	3-O-glicosilcanferol
36	39.42±0.00	Flavonoide no identificado

Continuación tabla 2

Número de compuesto	Tiempo de retención (min) ($\bar{X} \pm DS$)*	Tipo de compuesto
37	39.93 \pm 0.04	3-O-glicosilcanferol
38	39.96 \pm 0.02	3-O-glicosilcanferol
39	40.00 \pm 0.02	3-O-glicosilcanferol
40	40.1 \pm 0.04	3-O-glicosilquercetina
41	40.37 \pm 0.01	3-O-glicosilcanferol
42	40.56 \pm 0.02	Quercetina metilada (isorhamnetina?)
43	41.17 \pm 0.05	3-O-glicosilcanferol
44	41.55 \pm 0.02	3-O-glicosilquercetina
45	42.56 \pm 0.02	3-O-glicosilcanferol C8 sustituido?
46	42.57 \pm 0.05	3-O-glicosilcanferol
47	42.63 \pm 0.00	Ácido fenólico
48	42.82 \pm 0.01	3-O-glicosilcanferol
49	42.90 \pm 0.01	Ácido fenólico
50	43.19 \pm 0.01	Ácido fenólico
51	43.92 \pm 0.02	Ácido fenólico
52	44.17 \pm 0.00	Ácido fenólico
53	53.30 \pm 0.02	Ácido fenólico

*Valores expresados en promedio \pm desviación estándar.

Tabla 3. Variabilidad en los compuestos fenólicos presentes en el polen de 14 individuos de *Stenocactus multicosatus* subsp. *zacatecasensis*.

Compuesto	Tiempo de retención (min) (X ± DS)*	Muestras													
		559	560	561	562	563	564	565	566	568	569	571	572	573	574
3-O-glicosilcanferol C7 sustituido	32.54±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilherbacetina	36.38±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ácido fenólico	36.4±0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilquercetina	37.28±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilherbacetina	37.54±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilquercetina	37.88±0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	38.20±0.04	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
3-O-glicosilcanferol	38.61±0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quercetina derivado	38.96±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ácido fenólico	39.08±0.03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-O-glicosilcanferol	39.30±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flavonoide no identificado	39.42±0.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-O-glicosilcanferol	40.00±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	41.17±0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol C8 sustituido?	42.56±0.02	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3-O-glicosilcanferol	42.57±0.05	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Ácido fenólico	42.63±0.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido fenólico	42.90±0.01	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Ácido fenólico	43.19±0.01	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ácido fenólico	43.92±0.02	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Ácido fenólico	44.17±0.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ácido fenólico	53.30±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número total de compuestos		19	14	15	16	16	15	16	16	16	17	16	16	15	15

1: encontrado; 0: no encontrado. *Valores expresados en promedio ± desviación estándar.

Tabla 4. Variabilidad en los compuestos fenólicos presentes en el polen de 11 individuos de *Echinocereus enneacanthus*.

Compuesto	Tiempo de retención (min) (X ± DS)*	Muestras										
		609	610	611	612	638	639	641	643	644	645	646
<i>Echinocereus enneacanthus</i>												
3-O-glicosilherbacetina	34.16±0.02	1	1?	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	36.56±0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-O-glicosilherbacetina	37.54±0.02	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
3-O-glicosilquercetina	37.88±0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	38.24±0.02	1?	1	1	1?	1?	1?	1	1	1?	1	1
3-O-glicosilquercetina-7-O-sustituida	38.89±0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	39.93±0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	41.17±0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	42.57±0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número total de compuestos		6	6	7	6	6	6	6	6	5	8	7
		(7?)	(7?)	7	(7?)	(7?)	(7?)	(7?)	(7?)	5	8	7

1: encontrado; 0: no encontrado

?: compuestos en baja concentración y difíciles de visualizar en el cromatograma

* Valores expresados en promedio ± desviación estándar

Tabla 5. Variabilidad en los compuestos fenólicos presentes en el polen de ocho individuos de *Echinocereus pectinatus*.

Compuesto	Tiempo de retención (min) ($X \pm DS$)*	Muestras																
		630	631	632	634	635	636	637	658	<i>Echinocereus pectinatus</i>								
No identificado	25.73±0.01	1	0	0	0	1	1	1	1									
No identificado	29.93±0.03	1	0	0	0	1	1	1	1									
No identificado	30.65±0.02	1	0	0	1	1	1	1	0	1?								
3-O-glicosilcanferol-7-sustituido	32.24±0.02	1	0	0	1	1	1	1	1	1?								
3-O-glicosilcanferol	33.91±0.00	1	0	0	1	1	1	1	1	0								
3-O-glicosilherbacetina	34.16±0.02	1	1	1	1	1?	1	1	1	1								
Ácido fenólico	35.73±0.09	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilherbacetina	36.35±0.03	1	1	1	1	1?	1	1	1	1								
3-O-glicosilherbacetina	37.54±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilquercetina	37.77±0.03	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilcanferol	37.80±0.01	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilcanferol	38.20±0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilquercetina	38.85±0.03	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilcanferol	39.12±0.05	1	1	1	1	1?	1	1	1	1								
3-O-glicosilcanferol	39.93±0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilcanferol	41.17±0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
3-O-glicosilcanferol	42.57±0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
Número total de compuestos		17	12	14	15	16	17	16	14	14	16?	14						

1: encontrado; 0: no encontrado.

?: compuestos en baja concentración y difíciles de visualizar en el cromatograma.

* Valores expresados en promedio \pm desviación estándar.

Tabla 6. Variabilidad en los compuestos fenólicos presentes en el polen de tres individuos de *Echinocereus triglochidiatus* var. *coccineus*.

Compuesto	Tiempo de retención (min) (X ± DS)*	Muestras		
		654	629	650
<i>Echinocereus triglochidiatus</i> var. <i>coccineus</i>				
No identificado	25.73±0.01	1	0	1
Ácido fenólico	34.18±0.01	1	0	0
3-O-glicosilherbacetina	34.30±0.01	1	1	0
3-O-glicosilherbacetina	36.38±0.02	1?	1	0
3-O-glicosilherbacetina	37.54±0.02	1	1	0
3-O-glicosilquercetina	37.77±0.03	0	0	1
3-O-glicosilquercetina	37.88±0.04	1	1	0
3-O-glicosilcanferol	38.20±0.04	1?	1	1
3-O-glicosilcanferol	38.61±0.04	1	1	0
3-O-glicosilquercetina	38.85±0.03	0	0	1
3-O-glicosilcanferol	39.93±0.04	1	1	0
3-O-glicosilcanferol	40.37±0.01	1	1	0
3-O-glicosilcanferol	41.17±0.05	1	1	0
3-O-glicosilcanferol	41.55±0.02	1	0	0
3-O-glicosilcanferol	42.82±0.01	1	1	0
Número total de compuestos		11	10	4
		(13?)		

1: encontrado; 0: no encontrado.

?: compuestos en baja concentración y difíciles de visualizar en el cromatograma.

* Valores expresados en promedio ± desviación estándar.

Tabla 7. Variabilidad en los compuestos fenólicos presentes en el polen de 12 individuos de *Mammillaria heyderi sensu lato*.

Compuesto	Tiempo de retención (min) (X ± DS)*	Muestras											
		<i>Mammillaria aff. gummifera</i>											
		567	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586
3-O-glicosilcanferol-7 substituido	32.54 ± 0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
No identificado	32.68±0.05	1	1?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ácido fenólico	34.18±0.01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilherbacetina	35.82±0.03	1?	1?	1	1?	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilherbacetina	36.38±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Quercetina derivado	36.8±0.00	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1
3-O-glicosilherbacetina	37.54±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	37.76±0.00	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
Quercetina derivado	37.82±0.01	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
3-O-glicosilcanferol	38.24±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	39.13±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	39.96±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilquercetina	40.1±0.04	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
Quercetina metilada (isorhammetina?)	40.56±0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilcanferol	41.17±0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3-O-glicosilquercetina	41.55±0.02	1?	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
3-O-glicosilcanferol	42.57±0.05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Número total de compuestos		14	13	15	14	17	14	14	16	16	14	12	15
		(16?)	(15?)		(15?)								

1: encontrado; 0: no encontrado.

?: compuestos en baja concentración y difíciles de visualizar en el cromatograma.

* Valores expresados en promedio ± desviación estándar.