



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

“Estudio etnobotánico, histológico y químico en el control  
de calidad del complejo medicinal “matarique”  
(*Psacalum* spp., Asteraceae)”

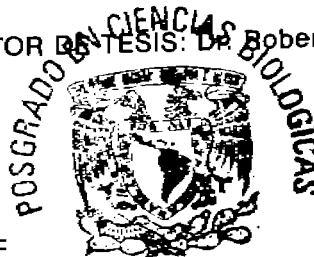
**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**(Biología Experimental)**

P R E S E N T A

**JUANA EDITH ZARATE RODRIGUEZ**

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Robert A. Bye Boettler



MÉXICO, D.F.

MARZO, 2006

COORDINACIÓN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



...orizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e ingreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Juana Edith Zarate Rodríguez

FECHA: 10/03/06

FIRMA: [Firma]

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 21 de noviembre del 2005, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Experimental) de la alumna Zarate Rodríguez Juana Edith con número de cuenta 92107500 con la tesis titulada: "Estudio etnobotánico, histológico y químico en el control de calidad del complejo medicinal "matarique" (*Psacalium ssp.*, Asteraceae)", bajo la dirección del Dr. Robert A. Bye Boettler.

Presidente:	Dra. Ma. Cristina Pérez-Amador y Barrón
Vocal:	Dra. Ana Luisa Anaya Lang
Secretario:	Dr. Robert A. Bye Boettler
Suplente:	M. en C. Rosenda Margarita Ponce Salazar
Suplente:	Dra. Guadalupe Judith Márquez Guzmán

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., 8 de marzo del 2006

  
Dr. Juan Nunez Farfán  
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

Agradezco el apoyo otorgado por CONACYT (registro 172684) y DGEP para la realización de esta investigación; así como la ayuda proporcionada durante la estancia en la Universidad del Rosario, Argentina.

## INDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO UNO: Caracterización macroscópica y microscópica de tres especies de <i>Psacalium</i> spp. (Asteraceae)	11
Resumen	11
Introducción	12
Objetivos	19
Metodología	20
Resultados	22
Discusión	36
Conclusiones	44
Bibliografía	46
CAPÍTULO DOS: Cuantificación de cacalol en especies de <i>Psacalium decompositum</i>	49
Resumen	49
Introducción	50
Objetivos	60
Metodología	61
Resultados	63
Discusión	67
Conclusiones	70
Bibliografía	71
CAPÍTULO TRES: Aspectos etnobotánicos de <i>Psacalium decompositum</i>	75
Resumen	75
Introducción	76
Objetivos	85
Metodología	86
Resultados	87
Discusión	93
Conclusiones	96
Bibliografía	97
APÉNDICES	
1. Descripciones de <i>Psacalium</i> spp.	101
2. Cromatografía en capa fina	104
3. Metabolitos secundarios en el complejo matarique	106
4. Farmacología del complejo matarique	108
5. Ficha de colecta	111
6. Datos de colecta y análisis químico	112
7. Entrevistas de campo	114
8. Datos de colecta en mercado	115

## RESUMEN

Los órganos subterráneos de un complejo de plantas medicinales, conocido comúnmente como "matarique", fueron estudiados desde el punto de vista etnobotánico, histológico y químico para encontrar los parámetros que permitan un adecuado control de calidad en su forma de droga cruda. El complejo está constituido por *Psacalium decompositum* (Gray) H. Robins. & Brett. como especie dominante ; y *P. peltatum* (H. B. K.) Cass., *P. sinuatum* (Cerv.) H. Robins. & Brett., *P. radulifolium* (Kunth) H. Rob. & Brettell y *Acourtia thurberi* (Gray) Reveal & King. como especies sustitutas. Todas ellas son herbáceas perennes nativas de los bosques de pino-encino de MegaMéxico, que además de compartir el nombre común, características morfológicas y algunos productos naturales, son usadas de manera análoga en el tratamiento de distintas enfermedades, incluyendo la diabetes, por lo que se ha promovido su comercialización a nivel nacional e internacional, aunque su uso aún no es oficial en la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos.

Los caracteres morfo-anatómicos y micrográficos de tres especies del complejo (*P. decompositum*, *P. peltatum*, y *P. radulifolium*) fueron descritos para determinar sus características diagnósticas. Los resultados indican que la estructura subterránea, denominada comúnmente como raíz y rizomas en todas las especies de *Psacalium* estudiadas, corresponde en su mayoría a un tallo modificado y el sistema radical está muy reducido por lo que sus características diagnósticas son de menor importancia. Asimismo, las tres especies presentan similitud en los caracteres macroscópicos y microscópicos, pero las diferencias anatómicas permiten la correcta identificación de cada especie, encontrándose que las especies sustitutas comparten más caracteres anatómicos entre sí que con la especie medicinal. La morfometría de las estructuras celulares, igualmente, es una herramienta auxiliar en la identificación de las drogas pulverizadas.

En cuanto a los estudios químicos, estos fueron realizados por cromatografía en capa fina. Mediante un análisis cualitativo se caracterizó el cromatograma (*fingerprint*) de cada especie del complejo usando al cacalol, la cacalona y la maturina como marcadores. De esta forma se pudieron identificar, por perfil cromatográfico, las especies de "matarique" que se comercializan en algunos mercados de la República Mexicana, siendo *P. peltatum* la especie sustituta más común. Por su parte el análisis cuantitativo, fue realizado para medir la producción de cacalol en plantas cultivadas y colectadas en campo (Sierra Tarahumara) de *P. decompositum* en diferentes etapas

fenológicas y condiciones de crecimiento. Los resultados mostraron que las plantas colectadas en campo contienen mayor cantidad de cacalol que las provenientes de invernadero, en las condiciones probadas. Sin embargo, en ambos ambientes la concentración del metabolito depende del estado fenológico de la planta, siendo más abundante durante la senescencia. Las mejores condiciones de crecimiento controladas son en cuarto de sombra y bajo estrés hídrico.

El estudio etnobotánico revela que los tarahumaras tienen más conocimiento sobre el uso del "matarique" que los mestizos; ningún grupo reconoce diferencias morfológicas entre las raíces y rizomas, denominando "raíz" a toda la estructura subterránea; algunos reconocen el olor "picante" de *P. decompositum* como una característica distintiva de la especie; la colecta de la especie se realiza a comienzos del invierno (septiembre y octubre), el uso más común en la Sierra Tarahumara es para dolencias musculares y reumas, mientras que el principal uso en la Ciudad de México es para la diabetes.

Finalmente el estudio etnobotánico en correlación con los estudios histológicos y químicos permiten concluir que: la estructura vegetal que se usa y comercializa como "matarique" corresponde a un rizoma con raíces muy reducidas, y no a "raíces" como se conoce popularmente; la temporada de colecta habitual de los rizomas en la Sierra Tarahumara es cuando la planta se encuentra en senescencia y su contenido de cacalol es mayor, por lo que el momento de cosecha óptimo; por lo anterior, se propone a dicho metabolito como marcador activo útil en el análisis cualitativo y cuantitativo en el control de calidad de *P. decompositum*.

## ABSTRACT

Underground organs of the medicinal plant known commonly as "matarique" were studied from the perspective of ethnobotany, histology and chemistry in order to define parameters the quality control of this Mexican crude herbal drug. The matarique medicinal complex (MPC) includes the following species: *Psacalium decompositum* (A. Gray) H. Robins. & Brett. as the dominant member and *P. peltatum* (H. B. K.) Cass., *P. sinuatum* (Cerv.) H. Robins. & Brett., *P. radulifolium* (Kunth) H. Robins. & Brett. and *Acourtia thurberi* (A. Gray) Reveal & King as substitutes. These herbaceous perennials are native to the pine-oak forests of MegaMexico and, as members of the MPC, share a common name, certain morphological characteristics and natural products, and analogous uses. It is employed commonly in the treatment of certain illnesses, especially diabetes, and is commercialized at both the national and international levels even though it is not listed in the Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos.

Morphological and micrographic characters of three species (*P. decompositum*, *P. peltatum*, y *P. radulifolium*) are described in order to determine their diagnostic characteristics. What has been conventionally referred to as the "root" in the species of *Psacalium* corresponds for the most part to a modified stem while the root system is so reduced that it is of minor importance. Although the three species possess similar macroscopic and microscopic characters, certain anatomical differences allow the distinction between the dominant species and the subordinate taxa (which have more features in common). The morphometric characters of the cellular structures also permit the identification of the powdered drug.

The application of thin layer chromatography (TLC) aids the chemical distinction among the three species. The chromatogram of extracts along with the standards of cacalol, cacalona and maturina presents distinctive fingerprints for the species of *Psacalium*. Results of TLC analysis of matarique samples from markets throughout Mexico indicates that the most commonly commercialized species is *P. peltatum*. Semi-quantitative analysis of cacalol from wild and cultivated *P. decompositum* reveals that it varies depending upon the phenological stage and the growing conditions. Plants from wild populations in the Sierra Tarahumara, Chihuahua, have more cacalol than plants from the same area but grown under greenhouse conditions. None the less, in both cases, the major production of cacalol occurs in the senescence stage at the end of the



growing season. Under controlled cultivation, shade and low water stress produce the greatest cacalol.

Ethnobotanical studies in the area of natural distribution of the dominant species, *P. decompositum*, indicate that the Tarahumara Indians know more about the use of matarique than the mestizos. Neither group distinguished the morphological differences between roots and rhizomes in the underground structure. Some people identified the "root" by its characteristic pungent odor. The "roots" are collected for use and sale after the growing season (September-October). The most common ailments for which the "roots" are employed in the Sierra Tarahumara are muscular and rheumatic pains while in Mexico City the most common application is in the treatment of diabetes.

The ethnobotanical study in correlation with histological and chemical studies conclude that: 1) the "root" of the matarique that is widely used and commercialized is in reality a rhizome with a much reduced radical system, 2) the gathering of matarique "roots" at the stage of plant senescence in the field coincides with optimal presence of cacalol in the rhizome, and 3) cacalol is an appropriate chemical marker for qualitative and quantitative analysis in the quality control of *P. decompositum*.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

---

---

La historia de los pueblos indígenas está en estrecha relación con el entorno natural que los rodea. Cada uno de los elementos florísticos ha jugado un papel importante en sus costumbres alimenticias, medicinales, religiosas, etc. Se puede afirmar que la naturaleza moldea una parte importante del desarrollo de un pueblo (Linares *et al.*, 1999).

La herbolaria, en México, ha sido y sigue siendo un recurso importante para buscar alivio a las enfermedades más comunes. Geográficamente privilegiado, México posee una de las floras más ricas del planeta, culturalmente diverso, su herbolaria también se ha enriquecido por la observación y paciencia de los pueblos que, durante siglos, han buscado apropiarse de sus propiedades curativas (Lozoya, 1998). El uso de las plantas medicinales constituye un conocimiento que aún es transmitido en forma oral de generación en generación como parte de las tradiciones heredadas (Linares *et al.*, 1999).

Los primeros manuscritos que se refieren a las plantas útiles de nuestro país fueron elaborados en la época precolombina, sin embargo, solo se conocen en la actualidad los códices que fueron escritos después de la conquista, por iniciativa de los españoles (Béjar *et al.*, 2000). Muchos años pasaron sin que se hicieran trabajos de investigación sobre plantas medicinales hasta que fue creado el Instituto Médico Nacional en 1888 el cual abrió nuevas posibilidades a los remedios vegetales. Con todo, el auge de la farmacéutica y la pérdida de las tradiciones indígenas por un amplio núcleo de la población nacional, redujeron considerablemente el campo de la medicina herbolaria (Linares *et al.*, 1999). La mayoría de los estudios en plantas medicinales se enfocan principalmente en el papel de éstas dentro de una cultura (Heinrich *et al.*, 1998). Sin embargo, dada la importancia de estas especies en el ámbito farmacéutico, las investigaciones en nuestros días rebasan este campo de estudio, abarcando nuevas disciplinas y tecnologías involucradas en el desarrollo de nuevos medicamentos.

### **El uso de las plantas medicinales y los fitofármacos**

La medicina tradicional, complementaria y alternativa suscita un amplio abanico de reacciones, desde el entusiasmo no crítico hasta el escepticismo no informado. La medicina tradicional se utiliza ampliamente y es un Sistema de Salud que está creciendo rápidamente y es de gran importancia económica. En África y China hasta un 80% y 40% de la población, respectivamente, utiliza este recurso para ayudar a satisfacer sus necesidades de salud. En Asia y Latinoamérica, las poblaciones hacen uso de la herbolaria como resultado de

condiciones económicas y costumbres culturales. Se estima que en México el 70% de la población hace uso de las plantas medicinales para resolver sus principales problemas de salud. Asimismo en los países desarrollados el uso de las plantas medicinales ha aumentado. Se estima que en Canadá y Francia aproximadamente el 70% de la población utiliza la medicina complementaria alternativa, mientras que en Estados Unidos es de un 42% (Organización Mundial de la Salud, 2002).

Los objetivos del uso de plantas medicinales como recurso de agentes terapéuticos son: a) aislar compuestos bioactivos para ser empleados directamente como drogas; por ejemplo, la digitoxina, la morfina o el taxol. b) producir compuestos bioactivos de estructuras nuevas o conocidas e inducir por semisíntesis formas patentables de alta actividad y/o baja toxicidad; por ejemplo, la metaformina. c) para usar compuestos como modelos de acción; por ejemplo, la mezcalina, la yumbina. d) aprovechar la planta entera o partes de ella como medicamentos herbarios o fitofármacos; por ejemplo, el *Ginkgo biloba*, la hierba de San Juan y la equinácea (Fabricant, 2001).

Los fitofármacos recuerdan a los medicamentos galénicos, pues vuelven a prepararse en forma de extractos, pomadas, mezclas de plantas molidas y encapsuladas o tabletas que contienen múltiples compuestos naturales, sin embargo, el conocimiento científico sobre la acción de sus componentes está ahora bien fundamentado (Lozoya, 1998). Debido a esto, la fabricación de dichos productos debe cumplir con los mismos requerimientos científicos farmacéuticos como sustancias estandarizadas en términos de calidad, seguridad y eficacia (Drasar y Moravcova, 2004). En Alemania y muchos países Europeos, estos productos son clasificados como fitofármacos; en USA son vendidos como suplementos alimentarios (Gilani, 2005); y en México, por su traducción, son conocidos como fitomedicamentos o medicamentos herbarios.

En países como Inglaterra y Alemania los fitomedicamentos aprobados en los cuadros de medicamentos son más de 100, mientras que en México no existe ninguno propio. Es claro que en México, un país con gran tradición en el uso de las plantas medicinales, se necesita realizar estudios para validar el conocimiento tradicional y sentar las bases para la producción de nuevos fitofármacos (Andrade, 1999).

### **El control de calidad de los fitofármacos y las farmacopeas**

La reciente tendencia de consumir más productos naturales a su vez, ha aumentado el número de casos adversos por diversas razones, tales como el uso de la especie incorrecta, la adulteración con productos sintéticos no declarados, presencia de contaminantes y

sobredosificación como consecuencia de la interacción con otros medicamentos (Organización Mundial la Salud, 2000; Techen, 2004). Además la mala calidad de los remedios herbolarios se ve reflejada en pobre desempeño de los mismos (Solís *et al.*, 2005). Así mismo, las etiquetas de los productos fitoterapéuticos que existen en el mercado de América Latina se caracterizan por su bajo control de calidad y por la inexistencia de información que certifique si no su eficacia terapéutica, al menos su seguridad (Sharapin, 2000; Drasar y Moravcova, 2004).

Por tanto para la producción de los fitofármacos, como primer paso, es necesario contar con un control de calidad de la materia prima, es decir, establecer la identidad y pureza de la especie vegetal, para después poder determinar la seguridad y eficacia del medicamento herbolario.

Por su parte, la farmacognosia limita su campo de investigación a las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Para la farmacognosia, estudiar una planta medicinal es definir su identidad, esto es: establecer las características macroscópicas y microscópicas, que permitan la identificación de la droga; determinar cuantitativa y cualitativamente sus principios activos; investigar los métodos óptimos de producción; controlar la calidad de las drogas; establecer sus propiedades farmacológicas; e investigar nuevos principios activos o marcadores que puedan constituir un punto de partida para el diseño de nuevos medicamentos (Trease y Evans, 1988; Bruneton, 1999; Kuklinski, 2000).

La identificación macroscópica es el medio más simple y rápido para establecer la identidad, pureza y posiblemente la calidad de los materiales. Ésta consiste en la descripción de las características organolépticas de las diferentes partes vegetales. Considerando que esas observaciones son a menudo subjetivas y que existen sustitutos y adulterantes que son muy parecidos al material genuino, es necesario apoyar las observaciones macroscópicas con análisis microscópicos y químicos, que en correlación, constituyen un apoyo invaluable en el control de calidad de las plantas medicinales (World Health Organization, 1998; Kuklinski, 2000).

El análisis microscópico debe ser aplicado en este caso, para evitar mezclas de la materia prima con especies botánicas parecidas, para detectar la presencia de contaminantes de otras plantas indeseables o para la identificación de compuestos importantes a nivel celular. Estos estudios permiten la caracterización de los tejidos y, con ello, la elaboración de las pautas morfológicas que definen el género y la especie botánica en particular (Rivera *et al.*, 2000).

En cuanto a los ensayos químicos, éstos incluyen la detección, la identificación y la cuantificación de uno o varios compuestos que se encuentran en la especie vegetal. En este último caso, es conveniente disponer de marcadores o principios activos de referencia para comparar el compuesto investigado (Kuklinski, 2000).

La información farmacognósica se reúne en monografías para la publicación de las farmacopeas, que establecen lineamientos oficiales para el control de calidad que aseguran la idoneidad de las plantas utilizadas, haciendo énfasis especial en su identidad y pureza (Secretaría de Salud, 1993; World Health Organization, 1998; Secretaría de Salud, 2001; Organización Mundial de la Salud, 2002).

Las farmacopeas son códigos oficiales u oficialmente adoptados para cada país (Machado, 2000). Sin embargo existen dos Farmacopeas internacionales, la publicada por la *World Health Organization* (WHO) y la realizada por la *European Scientific Cooperative on Phytotherapy* (ESCOP). En ambas, las monografías están divididas en dos partes. La primera incluye las características botánicas, pruebas de identidad, requerimientos de pureza, ensayos químicos y principales constituyentes químicos. La segunda parte describe las aplicaciones clínicas de los principios de las plantas, con la información farmacológica detallada e incluye, además, secciones sobre contraindicaciones, efectos adversos, dosificación, así como una amplia bibliografía (Steinhoff, 1999; Techen, 2004).

En México, recientemente, la Secretaría de Salud publicó la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos en un primer intento de contribuir al fomento de la regulación sanitaria y la investigación de la medicina herbolaria. Para la elaboración de esta obra se tomó como eje principal los métodos de análisis establecidos por la OMS para plantas medicinales y materiales provenientes de éstas, publicados en el libro "*Quality Control Methods for Medicinal Plant Materials*" en Ginebra, 1998, que junto con los Métodos Generales de Análisis incluidos en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos establecen los métodos de análisis de control de calidad y las especificaciones técnicas que deberán cumplir las plantas y los derivados de ellas que se utilicen en la elaboración de medicamentos y remedios herbolarios empleados. Las especies medicinales incluidas fueron seleccionadas por su amplio uso en nuestro país y que contaran, al mismo tiempo, con la suficiente información farmacognósica, incluso referida en farmacopeas de otros países. En consecuencia, la mayoría de las especies publicadas no son mexicanas, lo que refleja en cierta medida la falta de estudios de esta naturaleza con la flora nacional de aplicación en medicina.

## **Estructuras subterráneas usadas en la medicina**

En general las familias botánicas con mayor número de especies medicinales son las Asteraceae y Leguminosae, de éstas las plantas herbáceas son utilizadas en mayor proporción que los árboles y los arbustos (Caballero, 2001). El empleo de las estructuras subterráneas de dichas especies en la medicina tradicional es amplio, pese a que han sido poco estudiadas desde el punto de vista taxonómico. En esta categoría se incluye a las raíces, rizomas, bulbos, cormos, tubérculos (Tyler, 1976; De Oliveira, 1991; Basualdo *et al.*, 1991). La literatura mundial cita el uso de estas estructuras para tratar todo tipo de afecciones: fiebre, desordenes gastrointestinales, malestares respiratorios, dolor s musculares, problemas oftalmológicos, parasitosis, mala circulación, etc. Algunas de ellas han sido muy estudiadas y su uso se encuentra regulado por las Farmacopeas Internacionales, por mencionar algunas: el ajo (*Allium sativum* L.), la raíz de Angélica (*Angelica archangelica* L.), la valeriana (*Valeriana officinalis* L.), la equinácea (*Echinacea purpurea*), la genciana (*Gentiana lutea* L.), el jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) y Ginseng (*Panax ginseng*) (OMS, 2004; ESCOP, 2003).

Existen, incluso, reportes que señalan que el uso de los órganos subterráneos supera a cualquier otra estructura de las plantas (Basualdo *et al.*, 1995; Shrestha, 2003). Lo anterior implica que recolectar estas estructuras puede afectar directamente la sobrevivencia y regeneración de éstas especies (Dhillion y Amundsen, 2000; Canter *et al.*, 2005)

En México, desde la época prehispánica, muchos vegetales han sido sujetos de domesticación por poseer tubérculos o raíces comestibles; tal es el caso de *Bomarea hirtella* Herb. (coyolxóchitl), *Manihot dulcis* (J. F. Gmel.) Pax y *M. esculenta* Crantz (yuca o mandioca), *Solanum tuberosum* L. (papa), *Ipomoea batatas* (L.) Poir (camote) y *Pachyrrhizus erosus* (L.) Urban. (jícama) (Manzanero, 1994).

En el "Mercado de Sonora" de la Ciudad de México, es frecuente la venta de lo que popularmente se le conoce como "raíz", que en términos estrictos engloba a cualquier estructura subterránea, ya sea raíz propiamente dicha, o ciertos tallos especializados con son los cormos, rizomas, bulbos y tubérculos (Manzanero, 1994).

En 1977 se tenían reportadas 1400 especies medicinales, de las cuales, en aproximadamente el 43% de ellas se utiliza la "raíz", sobresaliendo los géneros *Aristolochia* (15 spp.), *Ipomoea* (12 spp.), *Chinchona* (9 spp.), *Perezia* (7 spp.), *Ephedra* (7 spp.), *Dioscorea* (6 spp.), *Valeriana* (5 spp.), *Gonolobus* (5 spp.), *Krameria* (4 spp.), *Bryonia* (2 spp.) y *Cacalia* (2 spp.) (Díaz, 1977).

## Los complejos de plantas medicinales

El aprovechamiento de los recursos vegetales con fines medicinales en México puede ser caracterizado, en parte, por el reconocimiento de complejos de plantas medicinales. Un complejo consiste en un conjunto de plantas taxonómicamente diferentes a nivel de especie, género y en algunos casos familia, que comparten el nombre común; usos o aplicaciones en la medicina tradicional; características morfológicas y organolépticas; y composición química o principios bioactivos. Los análisis del registro de la utilización y la distribución natural de las plantas medicinales de cada complejo, indican la presencia de una especie dominante, la cual es buscada por la gente que habita más allá de su área geográfica de distribución natural; las demás especies son subordinadas y son utilizadas habitualmente dentro de su área geográfica de distribución natural (Linares y Bye, 1987).

El complejo permite explorar las bases etnobotánicas para entender como la gente reconoce, aprovecha y maneja las plantas para satisfacer sus necesidades. Al mismo tiempo, la diversidad taxonómica ha provocado confusión en el sector salud institucional, el cual busca una sola planta como el recurso aceptado y trata a las demás como adulterantes o sustitutas.

Según datos de ejemplares de México y la frontera con Estados Unidos, existen 25 complejos de plantas, los cuales incluyen a cerca de 400 especies (Linares y Bye, 1987). Uno de estos complejos es "matarique".

### El complejo "matarique"

El complejo de plantas medicinales "matarique" está compuesto por cinco taxa: *Psacalium decompositum* (Gray) H. Robins. & Brett., como especie dominante, y *P. peltatum* (H. B. K.) Cass., *P. sinuatum* (Cerv.) H. Robins. & Brett., *P. radulifolium* (Kunth) H. Rob. & Brettell y *Acourtia thurberi* (Gray) Reveal & King., como especies subordinadas; todas pertenecientes a la familia Asteraceae (Tribu Senecioneae). Son herbáceas perennes nativas de los bosques de pino-encino de MegaMéxico, tienen rizomas gruesos, con numerosos y delgados fascículos de raíces en orientación vertical que se extienden en una corona de pelos radicales y con grupos de tricomas en las bases de los tallos (Linares y Bye, 1987). Además comparten algunos compuestos químicos como alcaloides pirrolizídicos y algunos principios bioactivos más estudiados, como el cacalol y otros sesquiterpenos (Alarcón-Aguilar, et al., 1997; Inman, et al. 1999; Garduño-Ramírez et al., 2001). Las raíces son usadas en cataplasma como remedio para el reumatismo, y la cocción de las mismas se emplea en dolencias gastrointestinales y del riñón, así como en el tratamiento de la diabetes (Bye y Linares, 1987; Argueta, et al., 1994; Heinrich, 1996). Actualmente este último es el más importante en la Ciudad de

México (Bye, 1986; Alarcón-Aguilar *et al.*, 1997) y de este punto se derivan muchos estudios, pese a que su uso no está registrado en documentos históricos.

Actualmente, los órganos subterráneos de estas especies son vendidos en distintos mercados del país. Sin embargo, la distribución natural de estos recursos herbolarios es distinta: *P. decompositum* habita en la Sierra Tarahumara (Chihuahua), *P. peltatum* en el Valle de México, *P. radulifolium* en la Sierra de Álvarez (San Luis Potosí), *P. sinuatum* en la Sierra Madre Occidental (desde Durango hasta el eje Neovolcánico) y *A. thurberi* en el norte de la Sierra Madre Occidental (Sur de Arizona y Nuevo México) (Apéndice 1), por lo que su venta en el "Mercado de Sonora", principal abastecedor y acopiador de plantas medicinales en México, depende de la zona geográfica en que se encuentran.

Por otro lado, la sobreexplotación nacional e internacional de la raíces y rizomas de poblaciones de *P. decompositum* ha ocasionado que esta especie se encuentre en vías de extinción local, por lo que es necesario desarrollar programas de propagación y/o conservación *in situ* acompañada con la protección de los hábitats (Bye *et al.* 1987; Estrada, 1986). Asimismo, se puede promover el cultivo de dichas especies en sus localidades de origen para su comercialización.

El presente estudio incluye la caracterización morfo-anatómica de los órganos subterráneos de tres especies del complejo "matarique" (*P. decompositum*, *P. peltatum* y *P. radulifolium*); la cuantificación de uno de los compuestos en raíces y rizomas de *P. decompositum* (la especie dominante del complejo) en diferentes etapas fenológicas y condiciones de crecimiento; la valoración del uso y manejo de esta misma especie en algunas comunidades de la Sierra Tarahumara; y la identificación de especies de "matarique" que se comercializan en algunos mercados de México, a partir de un análisis químico.

Los resultados obtenidos son de interés para implementar un programa de manejo sostenible en una comunidad indígena tarahumara (Chihuahua) en coordinación con el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM, México Norte, A. C. y la Comisión Nacional para el Uso y Estudio de la Biodiversidad (CONABIO), en el que se propone el cultivo de *P. decompositum*. En particular, las técnicas histológicas y químicas empleadas en la identificación de las especies, brindan información farmacognósica como parte del control de calidad del cultivo de *P. decompositum*. Además, la cuantificación de uno de los principios bioactivos es básica para determinar el mejor momento para la recolecta de las raíces y rizomas y asegurar la cosecha óptima.



## OBJETIVOS GENERALES

---

---

### OBJETIVO GENERAL

- Obtener parámetros morfo-anatómicos y químicos que permitan la correcta identificación de los órganos subterráneos de la especie dominante del complejo medicinal "matarique" (*P. decompositum*) y algunas especies subordinadas como parte del control de calidad.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- Realizar una comparación anatómica de las raíces y rizomas de tres especies del complejo "matarique" para distinguir entre la especie dominante (*Psacaliium decompositum*) y algunas especies subordinadas (*P. peltatum* y *P. radulifolium*).
- Obtener el cromatograma de la parte subterránea de todas las especies del complejo "matarique" para diferenciar entre la especie dominante (*P. decompositum*) y las especies subordinadas (*P. peltatum*, *P. radulifolium*, *P. sinuatum* y *Acourtia thurberi*).
- Determinar la edad en *P. decompositum* a la cual se detecta en las raíces y rizomas la presencia de un marcador químico (cacalol) y la concentración del mismo.
- Conocer las especies que se comercializan en algunos mercados de México a través de su análisis químico por cromatografía en capa fina.
- Valorar el conocimiento sobre el uso y manejo de *P. decompositum* en algunas comunidades de la Sierra Tarahumara.

- Alarcón-Aguilar, F. J., R. Román-Ramos, M. Jiménez-Estrada, R. Reyes-Chilpa, B. González-Paredes y J. L. Flores-Saenz, 1997. Effects of three Mexican medicinal plants (Asteraceae) on blood glucose levels in healthy mice and rabbits. *Journal of Ethnopharmacology* 55: 171-177.
- Andrade, A. 1999. Estudio Etnofarmacológico de *Equisetum myriochaetum* Schlechtendal & Chalm. y *Cecropia obtusifolia* Bertol. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. 100p.
- Argueta V., A. L. M. Cano y M. E. Rodarate (Eds.) 1994. Atlas de las plantas Medicinales de la Medicina Tradicional Mexicana. INI. México.
- Basualdo, I., E. Zardini y M. Ortiz. 1991. Medicinal Plants of Paraguay: Underground Organs, II. *Economic Botany* 45 (1): 86-96.
- Basualdo, I., E. Matilde y M. Ortiz. 1995. Medicinal Plants of Paraguay: Underground Organs, II. *Economic Botany* 49 (4): 387-394.
- Béjar, E., R. Reyes-Chilpa y M. Jiménez-Estrada. 2000. Bioactive compounds from selected plants used in the XVI century Mexican traditional medicine. *Studies in Natural Products Chemistry*. 24:799-844.
- Bruneton, J. 1999. Pharmacognosy: Phytochemistry Medicinal Plants. Lavoisier Publishing. USA. 1119 pp.
- Bye, R. 1986. Medicinal Plants of the Sierra Madre: Comparative Study of Tarahumara and Mexican Market Plants. *Economic Botany* 40(1): 103-124.
- Bye R. y E. Linares. 1987. A study of four medicinal plant complexes of Mexico and adjacent United States. *Journal of Ethnopharmacology* 19: 153-183.
- Bye, R., N. Meraz and C. Hernandez 1987. Conservation and development of food and medicinal plants in the Sierra Tarahumara, Chihuahua, México. In: E. F. Aldon, C. E. González V., and W. H. Moir (eds.). *Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones*. Fort Collins. USA. 66-70.
- Caballero, J. y L. Cortés. 2001. Percepción, uso y manejo tradicional de los recursos vegetales en México. En: B. Rendón, S. Rebollar, J. Caballero y M. A. Martínez (eds). *Plantas, cultura y sociedad*. Universidad Autónoma Metropolitana, SEMARNAP. México, D. F. 79-100.
- Canter P., H. Thomas y E. Ernst. 2005. Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *TRENDS in Biotechnology* 23(4): 180-185.
- De Oliveira F., G. Akisue y K. Akisue. 1991. Farmacognosia. Atheneu. Brasil. 412 p.
- Dhillon S. S. y C. Amundsen. 2000. Bioprospecting and the maintenance of biodiversity. In Svarstad, H., Dhillon, S. S. (Eds.), *Responding to Bioprospecting: From Plants in the South to Medicines in North*. Spartacus Forlag, Oslo, pp. 103-131.
- Díaz J. L. 1977. Índice y Sinonimia de las Plantas Medicinales de México, Monografías Científicas II, Instituto Mexicano para el estudio de las plantas medicinales, México.
- Drasar P. y J. Moravcova. 2004. Recent advances in analysis of Chinese medical plants and traditional medicines. *Journal of Chromatography B*, 812: 3-21.
- European Scientific Cooperative on Phytotherapy. 2003. ESCOP Monographs. Scientific Foundation for Herbal Medicinal Products (Eds.) UK.

- Estrada L. E. 1986. Jardines botánicos comunitarios: plantas medicinales. *Revista Chapingo* 10-11 (50-51): 17-21.
- Fabricant D. y N. Farnsworth. 2001. The value of plants used in traditional medicine for drug discovery. *Environmental Health Perspectives*. 109(1): 69-75.
- Garduño-Ramírez, M. L., A. Trejo, V. Navarro, R. Bye, E. Linares y G. Delgado. 2001. New modified eremophilanes from the roots of *Psacalium radulifolium*. *Journal Natural Products* 64(4): 432-435.
- Gilani, A. y Atta-ur-Rahman. 2005. Trends in ethnopharmacology. *Journal of Ethnopharmacology* 100: 43-49.
- Heinrich, M. 1996. Compositae: Biology and utilization. In: D. J. Hind, C. Jeffrey, G. V. Pope (eds.) *Advances in Compositae systematics*. 2:475-503.
- Heinrich, M., A. Ankli, B. Frei, C. Weimann y O. Sticher. 1998. Medicinal plants in Mexico: healers' consensus and cultural importance. *Social Science and Medicine*. 47:1863-1875.
- Inman, W. D., J. Luo, S. D. Jolad, S. R. King y R. Cooper. 1999. Antihyperglycemic Sesquiterpenes from *Psacalium decompositum*. *Journal Natural Products* 62(8): 1088-1092.
- Kuklinski, C. 2000. *Farmacognosia: Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural*. Omega. España. 515 pp.
- Linares, E. and R. Bye. 1987. A study of four medicinal plant complexes of Mexico and adjacent United States. *Journal of Etnopharmacology* 19: 153-183.
- Linares, E., R. Bye y B. Flores. 1999. *Plantas Medicinales de México: Usos y remedios tradicionales*. Instituto de Biología, UNAM. México, D. F. 155 pp.
- Lozoya, X., 1998. *La herbolaria en México*. Tercer Milenio. CONACULTA. México. 63 pp.
- Machado R. L. 2000. Control de calidad de plantas medicinales: Prescripciones farmacopéicas. En *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. Ed. N. Sharapin y R. Pinzón. CAB / CYTED. Serie Ciencia y Tecnología 78:143-156.
- Manzanero, G. 1994. Estudio de siete raíces medicinales del mercado de Sonora. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. Distrito Federal, México
- Organización Mundial de la Salud. 2000. Situación reglamentaria de los medicamentos, una reseña mundial. OMS. Génova. 60 pp.
- Organización Mundial de la Salud. 2002. Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2002-2005. OMS. Génova. 67 pp.
- Rivera A., E.; A. Sosa M. y X. Lozoya. 2000. El papel de la anatomía vegetal en la investigación de los fitofármacos. En: X. Lozoya y E. Gómez (eds). Simposio 4. IMSS-Farmasa Schwabe. El manejo de los fitofármacos en el nuevo milenio. México, 968-824.
- Secretaría de Salud (NOM-001-SSA-1993), que instituye el procedimiento por el cual se revisará, actualizará y editará la farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. *Diario Oficial de la Federación*. 17 junio 1994.
- Secretaría de Salud. 2001. *Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos*. México.
- Sharapin, N. 2000. Materias primas vegetales para la industria de productos fitoterapéuticos. En: N. Sharapin y R. Pinzón (Eds). *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. CAB / CYTED. Serie Ciencia y Tecnología 78:17-26.

Shrestha P. y S. S. Dhillon. 2003. Medicinal plant diversity and use in the highlands of Dolakha district, Nepal. *Journal of Ethnopharmacology* 86: 81-96.

Solís, P., N. Guerrero, S. Gattuso y A. Cáceres. 2005. *Manual de Caracterización y Análisis de Drogas Vegetales y Productos Fitoterapéuticos*. Organización de los Estados Americanos. 132 pp.

Steinhoff, B. 1999. Escop monographs – a scientific basis for herbal medicinal products in europe under specific aspects of the regulatory situation. *Acta Horticulture*. 503: 71-73.

Techen, N, S.L. Crockett, I. A. Khan. 2004. Authentication of medicinal plants using molecular biology techniques to compliment conventional methods. *Current of Medical chemistry* 11(11):1391-1401.

Trease G. E. y W. C. Evans. 1988. *Tratado de Farmacognosia*. Interamericana. México. 846 pp.

Tyler V. 1996. "Pharmacognosy" i What's that? You spell it how?. *Economic Botany* 50(1): 3-9.

World Health Organization. 1998. *Quality control methods for medicinal plant materials*. WHO. Genova.

## CAPÍTULO UNO

CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA DE LOS ÓRGANOS SUBTERRÁNEOS DE TRES ESPECIES DE *Psacalium* spp.

---

---

### RESUMEN

El estudio morfo-anatómico de tres miembros del complejo "matarique": *Psacalium decompositum* (Gray) H. Robins. & Brett., *P. peltatum* (H. B. K.) Cass., y *P. radulifolium* (Kunth) H. Rob. & Brettell; cuyo uso no es oficial en la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos, fue realizado para determinar las características diagnósticas que permitan su adecuado control de calidad. El trabajo incluye una monografía con ilustraciones de la especie dominante (*P. decompositum*) y otra de las especies subordinadas (*P. peltatum* y *P. radulifolium*). Los resultados permiten la identificación de las tres especies al estado de droga cruda.

Las estructuras subterráneas son una de las partes de las plantas más frecuentemente utilizadas como medicinales son las estructuras subterráneas (Díaz, 1977; De Oliveira, 1991; Basualdo, *et al.* 1995; Shresta y Dhillion, 2003). Para la farmacognosia, uno de sus principales objetivos es la identificación de la materia prima. Dichos materiales se caracterizan de acuerdo a sus estructuras macroscópicas y microscópicas. Estas características son de enorme importancia debido a que gran parte de la información sobre identidad, pureza y con frecuencia la calidad del material puede obtenerse con dichas observaciones (WHO, 1998; Secretaría de Salud, 2001).

### **Análisis macroscópico**

El análisis visual es el medio más simple y rápido para establecer la identidad, pureza y posiblemente la calidad de los materiales. La identificación macroscópica de las plantas medicinales se basa en las propiedades organolépticas de la especie, es decir, en la forma, tamaño, color, características de la superficie y textura de los diferentes órganos vegetales, así como la fractura y aspecto de la superficie de corte. Considerando que esas observaciones son a menudo subjetivas y que existen sustitutos y adulterantes que son muy parecidos al material genuino, es necesario apoyar las observaciones macroscópicas con análisis microscópicos y fisicoquímicos, especialmente cuando se trata de material pulverizado (WHO, 1998; Kuklinski, 2000). Las plantas medicinales deben estar completamente libres de señales visibles de contaminación por microorganismos, animales, sustancias tóxicas o cualquier otra materia extraña dañina. No deben presentarse olores de descomposición ni detectarse decoloración o señales de deterioro (WHO, 1993; WHO, 1998; Kuklinski, 2000; Secretaría de Salud, 2001).

### **La histología en el control de calidad**

Durante el siglo XIX y la primera parte del siglo XX, los avances en la farmacognosia dependieron de una correcta identificación y descripción exacta de la droga vegetal mediante las publicaciones de sus representaciones histológicas detalladas. Actualmente, para la producción de los fitofármacos, la materia prima continua siendo analizada por medio de observaciones microscópicas (Dickison, 2000).

La descripción microscópica, está dirigida para controlar características histológicas específicas, debido a que las drogas se pueden emplear no pulverizadas (enteras o fragmentadas) y pulverizadas. De entre las diversas clasificaciones que existen para éstas características, en el presente estudio se considera la propuesta por Trease y Evans (1988) y Kuklinski (2000), que sugieren dividir en dos grupos: drogas organizadas o estructuras celulares cuando se realizan observaciones en el tejido conservado, y no organizadas o contenidos celulares cuando el tejido está disociado y se realizan interpretaciones a partir de los contenidos celulares ergásticos (Cuadro 1.1).

**Cuadro 1.1.** Principales elementos celulares que deben ser estudiados para la caracterización histológica de las drogas vegetales (Trease y Evans, 1988; Kuklinski, 2000).

<i>DROGAS ORGANIZADAS O ESTRUCTURAS CELULARES</i>	<i>DROGAS NO ORGANIZADAS O CONTENIDOS CELULARES</i>
Elementos largos	
Fibras	Almidón
Traqueidas	Aceites y grasas
Vasos leñosos	Inulina
Radios	Granos de aleurona
Tubos cribosos	Inclusiones salinas
Conductos o cavidades secretoras	Carbonato cálcico (CaCO <sub>3</sub> )
Tubos laticíferos	Oxalato cálcico (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )
Elementos cortos	Sílice (SiO <sub>2</sub> )
Células del parénquima	Taninos
Células de súber	Gomas y mucílago
Células pétreas o esclereidas	Látex
Células epidérmicas	
Recubrimiento de cutícula	
Estomas	
Pelos o tricomas	
Glándulas de secreción	

Para identificar y determinar la calidad y pureza de un fitofármaco que solicita la aprobación de los sistemas de seguridad social, se debe comparar la muestra desconocida con muestras de drogas auténticas o con la descripción que se hace de ellas en las farmacopeas y otras publicaciones autorizadas, cuya caracterización se realiza a partir de ejemplares enteros, y que idóneamente cuenten con las normas de calidad y sanidad en cuanto a cultivo, recolección, desecación y almacenamiento (Tyler *et al.*, 1979).

La identificación de las drogas vegetales es posible gracias a que existen algunos elementos celulares o del tejido que son propios o característicos de cada droga que se determinan al estudiarla al microscopio, pulverizada o micronizada (Cuadro 1.1). La identificación se puede hacer tanto por presencia como por ausencia de dichos elementos, lo que también permite la detección de adulteraciones (Kuklinski, 2000).

El grado de pureza se determina por la presencia de materia extraña, es decir, otras partes de la planta que no constituyen la droga vegetal u otras especies que no son las declaradas y que se les ha añadido de forma voluntaria o involuntaria. De igual forma se puede determinar si el estado de conservación es deficiente, si se encuentran hongos y/o bacterias. En el primer caso, a las drogas se les denomina drogas falsificadas y en el segundo drogas alteradas (Tyler *et al.*, 1979; Kuklinski, 2000). Frecuentemente la comparación con un material de referencia puede revelar características no descritas en las especificaciones que de otro modo habrían sido consideradas como materia extraña y no como constituyentes normales.

### **Morfología y anatomía de los órganos subterráneos**

En términos de farmacognosia, las drogas compuestas por raíces, rizomas y/o bulbos se estudian bajo el mismo término: órganos subterráneos. Estas drogas de acuerdo con su naturaleza pueden ser clasificadas de la siguiente forma (Tyler 1976; De Oliveira, 1991; Basualdo *et al.*, 1995):

*Radical*: No presentan yemas ni hojas modificadas, con mayor o menor acúmulo de reservas, pueden ser de dos tipos: raíces tuberosas y no tuberosas.

*Caulinar*: Presentan yemas u hojas modificadas. Por el tipo de crecimiento que presentan pueden ser tubérculos o rizomas.

*Compleja*: Se incluyen los denominados bulbos, que presentan características radicales, caulinares y foliares. Pueden ser de tres tipos: tunicado, escamoso y sólido o corno.

Para entender las características macroscópicas y microscópicas de las drogas constituidas por estos órganos es conveniente recapitular de manera simple los significados de raíz, rizoma y bulbos.



La raíz constituye la parte subterránea del eje de la planta, especializada en la absorción de sustancias y como órgano de sostén. Esta estructura presenta una amplia variación morfológica, además de diferencias estructurales y de desarrollo en correlación con sus especializaciones fisiológicas más o menos pronunciadas. Según el tamaño y el orden de desarrollo, las raíces pueden clasificarse en primarias, secundarias, terciarias o laterales, y adventicias. Pueden, del mismo modo, clasificarse en pivotantes, fasciculadas o fibrosas, y carnosas o tuberosas (Esau, 1985; González, 1987; Jones, 1988).

Por su parte, un rizoma es un tallo subterráneo más o menos alargado que aparece de una yema lateral, cerca de la base del eje caulinar principal, y se extiende horizontalmente en el suelo. El hábito subterráneo determina la reducción de las hojas, de manera que éstas son pequeñas y escamiformes. (Hayward, 1953). Puede ramificarse, acumular sustancias de reserva y producir raíces adventicias (De Oliveira, 1991; Rzedowski y Rzedowski, 2001).

En cuanto al bulbo, se define como un tipo de tallo subterráneo cuyo eje es corto, vertical y carnoso. Está cubierto con hojas engrosadas y una masa de raíces adventicias fibrosas por debajo, y generalmente está envuelto por las bases foliares (Hayward, 1953; González, 1987).

La diferenciación entre raíz y rizoma, después de su transformación a drogas no siempre es fácil. Un aspecto macroscópico de los rizomas que los distingue de las raíces a partir de observaciones a simple vista o con poco aumento, son los nudos y entrenudos. La superficie externa de los rizomas muestra, frecuentemente, cicatrices relativamente grandes, que dejan las ramas o las hojas. Igualmente se pueden dejar ver vestigios de raíces adventicias (Hayward, 1953; De Oliveira, 1991; Jones, 1988).

		<b>ESTRUCTURA RADICAL</b>	<b>ESTRUCTURA CAULINAR</b>
<b>CORTEZ</b>	<b>EPIDERMIS</b>	Típicamente uniestratificada y con pelos absorbentes unicelulares que absorben agua y minerales. Puede poseer una cutícula delgada.	Uniestratificada con cutícula y paredes cutinizadas. Posee tricomas de diferentes tipos.
	Exodermis	Se forma en la capa subepidérmica; es un tejido protector de una o varias hileras de células vivas con paredes gruesas. No siempre está presente.	Ausente.
	Parénquima cortical	Está constituido por células de paredes primarias delgadas, que dejan espacios intercelulares, en algunos casos hay colénquima.	Pueden estar presentes distintos tipos de parénquima (clorénquima, colénquima, y esclerénquima) formando cilindros o haces discontinuos. Los parénquimas presentan espacios intercelulares y pueden contener almidón, cristales, taninos, idioblastos (esclereidas).
	Endodermis	Es una hilera de células compacta y sin espacios intercelulares. La composición química de las paredes radiales y transversales es distinta el resto de la célula, originando la banda de Caspary.	No siempre está definida.
<b>CILINDRO CENTRAL</b>	Perífcio	Está formado por una o dos capas de células que conservan su carácter meristemático.	Ausente.
	Tejido vascular	El xilema y el floema forman cordones alternados entre sí.	El xilema y floema forman haces colaterales abiertos o bicolaterales. Están dispuestos en un solo anillo y se encuentran separados unos de otros por parénquima interfascicular que constituyen los radios medulares primarios, los que conectan cortex con médula.
	Médula	Escasa o nula.	Está formada por tejido de reserva que a veces puede reabsorberse y formar una cavidad.

**Cuadro 1.2.** Principales diferencias en la estructura radical y caulinar de órganos subterráneos (González, 1987; Trease y Evans, 1988; Gattuso, 1988; De Oliveria, 1991).

A nivel de microscopía, la relación entre raíz y rizoma se ha interpretado de manera diversa. Puesto que los dos órganos tienen muchas analogías estructurales generalmente se aplican términos similares a sus sistemas de tejidos. De esta forma, la disposición de los tejidos primarios de la raíz y el rizoma de una dicotiledónea, en corte transversal, se pueden distinguir: epidermis, cortex y cilindro central (Cuadro 1.2). Sin embargo, la posición del xilema con respecto al floema (a manera de cordones alternos en la raíz y formando un anillo haces colaterales en el rizoma); la presencia o ausencia de periciclo, pelos absorbentes y una médula bien diferenciada, marcan las principales diferencias anatómicas entre raíz y rizoma (Hayward, 1953; González, 1987; Trease, 1988).

En las drogas provenientes de raíces pueden existir o no parénquima cortical y endodermis. Estas estructuras no existen cuando el felógeno se desarrolla a partir del periciclo, lo que acontece con cierta frecuencia. Pueden contener, asimismo, en sus parénquimas diversos tipos de inclusiones; por ejemplo, granos de almidón, inulina, mucílago, oxalato de calcio. Algunos tejidos como: canales secretores, laticíferos, glándulas, grupos de fibras y de células pétreas, también ocurren con frecuencia (De Oliveira, 1991).

### **Antecedentes morfo-anatómicos de los órganos subterráneos del complejo "matarique"**

Las descripciones originales de las especies de *Psacalium* han definido a las estructuras subterráneas como raíces fasciculadas y verticales o raíces gruesas y fibrosas, sin dar mayor detalle de éstas ni mencionar la presencia de rizomas (Pippen, 1968). Algunas otras descripciones han incluido más datos como morfometría, color, textura y olor (Martínez, 1969; Martínez, 1980; Bye, 1986; Linares y Bye, 1987; Manzanero, 1994; Rzedowski y Rzedowski, 2001; Hilerio, 2002), y todas coinciden en que el complejo "matarique" posee rizomas gruesos, con numerosos y delgados fascículos de raíces en orientación vertical que se extienden en una corona de pelos radiculares y con grupos de tricomas en las bases de los tallos (Bye, 1987; Linares y Bye, 1987). De manera particular, para *Psacalium decompositum* se describe un rizoma grueso y horizontal con fascículos de raíces verticales; la unión del rizoma y el tallo está cubierta por una corona de abundantes pelos amarillos; además, las raíces son de color amarillento-café y tienen un característico olor picante. Las raíces de *P. peltatum* son muy similares a las

de *P. decompositum*, pero el rizoma es más ancho y las raíces más largas, y carece del olor picante (Linares y Bye, 1987). Un estudio más detallado describe, además, que el rizoma y las raíces están cubiertos por abundantes pelos pubescentes pudiendo alcanzar un diámetro de hasta 6 cm y 1.5 cm, respectivamente; y que en el rizoma se observan numerosos puntos de crecimiento (Manzanero, 1994). En cuanto a las raíces de *Acourtia thurberi* solo se reporta que se distingue de los "matariques" anteriores por sus raíces que son de un color purpúreo-amarillento en lugar de raíces amarillento-café (Linares y Bye, 1987).

En cuanto a estudios anatómicos solamente existe un trabajo de tesis, en donde se realizó la caracterización histológica de las siete raíces medicinales con mayor demanda en el "Mercado de Sonora", siendo una de éstas *P. peltatum*. La descripción incluyó algunas particularidades morfológicas; el detalle de la epidermis, parénquima cortical, tejido vascular, radios y médula; y la morfometría de fibras, esclereidas, vasos, traqueidas y células parenquimáticas (Manzanero, 1994).

En el presente trabajo se seleccionaron tres especies del género *Psacalium* que son parte del complejo "matarique": la especie dominante (*P. decompositum*) que crece en la Sierra Tarahumara (Chihuahua) y dos de las especies sustitutas (*P. peltatum* y *P. radulifolium*) que habitan en el Valle de México y la Sierra de Álvarez (San Luis Potosí), respectivamente. Debido a la distribución geográfica, estas últimas son las especies más cercanas al "Mercado de Sonora" de la Ciudad de México, y por lo tanto pueden ser las especies sustitutas más frecuentes. Por último es importante señalar que éste mercado herbolario no es el único de este tipo en México, sin embargo, es el principal centro de abastecimiento y de acopio, a nivel nacional e internacional, de plantas medicinales en el país (Bye y Linares, 1987).

### Objetivo general

- ❖ Establecer las características macroscópicas y microscópicas que permitan el reconocimiento del rizoma y la raíz de tres especies del complejo "matarique" para distinguir entre la especie dominante (*Psacalium decompositum*) y algunas especies subordinadas (*P. peltatum* y *P. radulifolium*).

### Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar morfológicamente los rizomas de las tres especies de *Psacalium*.
- ❖ Reconocer anatómicamente los órganos subterráneos de las tres especies medicinales para delimitar entre rizoma y raíz en cada especie.
- ❖ Proponer los caracteres histológicos que permitan el adecuado control de calidad de *P. decompositum* en su droga vegetal.

El material biológico fue obtenido a partir de recolectas en el campo:

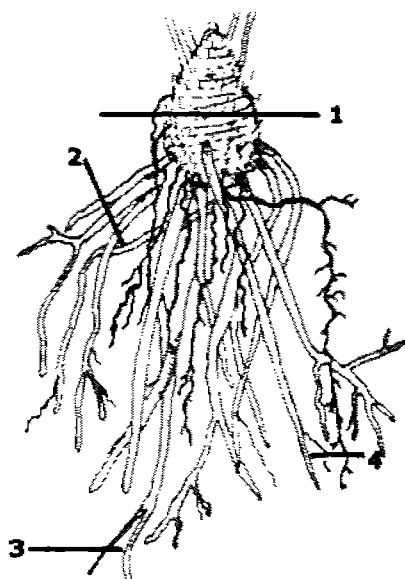
Especie	Localidad	Fecha	Coordenadas geográficas	Altitud
<i>P. decompositum</i>	Humirá, Guachochic, Chihuahua.	Ago-2003	N 27°25'58" W 107°29'20'	1826 msnm
<i>P. peltatum</i>	Santa Ana, Milpa Alta, D.F.	Oct-2003	N 19°09.866 W 99°59.171	2815 msnm
<i>P. radulifolium</i>	Villa de Zaragoza, San Luis Potosí	Sep-2003	N 22°02.583 W 100°36.802	2309 msnm

Los ejemplares de herbario fueron depositados en el Herbario Nacional (MEXU) del Instituto de Biología de la UNAM.

Los órganos subterráneos fueron fijados *in situ* en FAA (Formaldehído-Ácido acético-Alcohol etílico y agua, 1:0.5:5:3.5) por 24 h y mantenidos en GAA (Glicerol-Alcohol etílico-Agua, 2:1:1) hasta el momento de su procesamiento.

El estudio anatómico fue realizado en el Laboratorio de Botánica, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas de la Universidad Nacional de Rosario (Argentina) bajo la dirección de la Dra. Susana Gattuso.

Para el estudio microscópico el material fue disectado (Fig. 1.1) y deshidratado en una serie de alcoholes graduales y alcohol-xileno, para su posterior inclusión en parafina. Los cortes se obtuvieron en un micrótopo tipo Minot en forma transversal, calibrado a 10 µm.



**Fig. 1.1.** Esquema general de un rizoma de *Psacalium* que muestra los planos de corte: 1. Rizoma primario o principal; 2. Rizoma secundario; 3. Rizoma terciario; 4. Raíces adventicias.

Para su tinción, los cortes fueron desparafinados y se les aplicó la tinción doble de safranina—verde rápido (Gattuso y Gattuso, 1999). Para el estudio de las estructuras celulares se elaboró un macerado según las técnicas convencionales (Gattuso y Gattuso, 1999).

Se realizaron medidas de la longitud de los tricomas y elementos traqueales usando reglilla micrométrica. Los dibujos fueron realizados con tubo de dibujo. La representación anatómica fue según los símbolos convencionales propuestos por Metcalfe y Chalk.

Las fotomicrografías se hicieron en un fotomicroscopio Olympus PROVIS AX70 en el Laboratorio de Microcine de la Facultad de Ciencias, UNAM.

### **CARATERIZACIÓN MORFO-ANATÓMICA DE LOS ÓRGANOS SUBTERRÁNEOS DE: *Psacalium decompositum***

#### **Características morfológicas**

La estructura general del rizoma es fasciculada (Fig. 1.1A, 1.2A). El diámetro del rizoma principal mide 1-3.5 cm, y moderadamente irregular en su superficie, solo los más grandes tienen apariencia ligeramente leñosa. En su unión al tallo se encuentra una corona de largos y abundantes tricomas (Fig. 1.1E). Pueden observarse los nudos y entrenudos con numerosos pelos (Fig. 1.2A). Los rizomas secundarios son de 0.5 a 1.3 cm de diámetro y los terciarios de 0.1 a 0.5 cm, ambos son fibrosos, y su color es amarillento-café. Además están cubiertos de abundantes y pequeños tricomas. Al corte se observa una resina rojiza que sale de un anillo de canales muy grandes y abundantes fibras (Fig. 1.1B y 1.1E). Su olor es picante.

#### **Características anatómicas**

*Rizoma primario:* En sección transversal es de contorno circular (Fig. 1.2B y 1.3A). Las células de la epidermis se observan colapsadas y muestran abundantes tricomas simples pluricelulares; por debajo se diferencian de 5- 6 hileras de súber de paredes ligeramente engrosadas (Fig. 1.2C y 1.3B), le continúa un parénquima cortical de 22-25 hileras de células, en el que se observan enclavadas cavidades secretoras de origen esquizógeno, ubicándose una sobre cada haz, cuyo diámetro es de 90-110  $\mu\text{m}$ . El cilindro vascular está constituido por haces colaterales abiertos, con cambium de numerosas hileras de células, el floema va acompañado de abundantes braquiesclereidas (Fig. 1.2C y 1.3C). El xilema está muy desarrollado con vasos punteados con o sin apéndices, vasos helicoidales y numerosas macroesclereidas. Los radios primarios son de 5-6 células de ancho. El parénquima medular contiene gran cantidad de idioplastos de contenido no identificado (Fig. 1.2C y 1.3C).



*Rizoma secundario*: En sección transversal es circular (Fig. 1.2D y 1.3D). La epidermis está constituida por células de paredes poco engrosadas. En posición subepidérmica se ubican de una a dos hileras de colénquima laminar y le continúan de 14 a 16 hileras de células isodiamétricas que constituyen el parénquima cortical en el que se enclavan canales secretores de origen esquizógeno formando un anillo y gran cantidad de braquiesclereidas (Fig. 1.2E y 1.3E). El diámetro de dichos canales es de 30 a 60  $\mu\text{m}$  en su eje menor y de 60 a 80  $\mu\text{m}$  en su eje mayor (Fig. 1.2E y 1.3F); y además, corresponden uno o más canales secretores por cada haz vascular. La última capa del cilindro cortical está representada por la endodermis. El cilindro vascular está constituido por 5-7 haces vasculares colaterales abiertos y en el parénquima se observan braquiesclereidas. Entre cada haz se encuentra un grupo de 2-4 vasos pequeños (Fig. 1.2E y 1.3G).

*Rizoma terciario*: En sección transversal es circular con un epidermis de células de paredes delgadas. Un parénquima cortical de 8 a 10 células en el que se encuentran los canales secretores de origen esquizógeno y braquiesclereidas con paredes de menor grosor. El último tejido del cilindro cortical está representado por la endodermis. El cilindro vascular está constituido por 6 haces colaterales abiertos y un parénquima medular sin esclereidas (Fig. 1.2F-G).

*Raíz*: Las raíces adventicias se originan de los tres rizomas primario, secundario y terciario y todas responden a la misma estructura. Son circulares en sección transversal, la epidermis con muchos pelos radicales y una exodermis constituida por una o dos estratos de células. Se continúa de 5 a 6 hileras de células parenquimáticas y el estrato externo del córtex está constituido por la endodermis. En el cilindro vascular se hace evidente el periciclo formado por una hilera de células de paredes muy delgadas. La raíz es diarca con dos polos de protoxilema y los dos polos de floema en 4-5 subgrupos (Fig. 1.2H-I y 1.3H-I).

*Macerado*: Los elementos celulares más diversos y mayoritarios del macerado en esta especie son las esclereidas (Fig. 1.6A-C; 1.8C-G), por lo que para su descripción se tomó en cuenta la morfometría (Tabla 1.1). Las macroesclereidas son muy abundantes y pueden formar grupos en el tejido (Fig. 1.8D) y uniones entre ellas. Los vasos también fueron medidos para su clasificación (Tabla 1.1; Fig. 1.6F-L; 1.8A). Asimismo, se observaron algunas traqueidas (Fig. 1.6M y 1.8A).

ESTRUCTURAS CELULARES			PROMEDIO DE MEDIDAS (n=20)	FIGURA 6
Esclereidas	Braquiesclereidas	con proyecciones	150×135 μm	A-a
		sin proyecciones	50×40 μm	A-b
	Macroesclereidas	con proyecciones	200×105 μm	B-c
			300×80 μm	B-d
		sin proyecciones	440×65 μm	B-e
Fibroesclereida		525×45 μm	C	
Vasos	Puntados	con apéndice	335×30 μm	F
			95×40 μm	H
		sin apéndice	335×40 μm	G
			500×15 μm	I
			125×15 μm	J
Helicoidales	con apéndice	85×30 μm	M	
	sin apéndice	60×2 μm		

**Tabla 1.1.** Morfometría de esclereidas y vasos encontrados en el macerado de *P. decompositum*.

Algunos de los elementos cortos que se pudieron encontrar fueron: células epidérmicas con tricomas simples pluricelulares (Fig. 1.6D); células de súber con paredes ligeramente engrosadas (Fig. 1.6E); células de parénquima con contenido (Fig. 1.6N) y sin contenido (Fig. 1.6O), células de radio (Fig. 1.6P) y células de xilema muy pequeñas y alargadas (Fig. 1.6Q). Con respecto a las estructuras no organizadas se hallaron acumulaciones de oxalato de calcio en forma de pequeños cristales y partículas de polvo (Fig. 1.6R).

## **CARACTERIZACIÓN MORFO-ANATÓMICA DE LOS ÓRGANOS SUBTERRÁNEOS DE: *Psacalium peltatum* y *P. radulifolium***

Debido a que la estructura de ambas especies es muy parecida, la descripción de estas especies se hace en conjunto y solo se señalan las diferencias pertinentes.

### **Características morfológicas**

*P. peltatum*: La estructura general del rizoma es fasciculado (Fig. 1A y 4A). El rizoma principal puede medir entre 3-5 cm de diámetro. Está cubierto por abundantes pelos pubescentes. Su superficie es bastante irregular y de apariencia leñosa. Además pueden observarse puntos de crecimiento. Los rizomas secundarios y terciarios son fibrosos, largos y delgados, entre 0.3 a 0.8 cm y 0.5-2.0 cm de diámetro para el rizoma terciario y secundario, respectivamente. Al corte puede observarse que emerge

una resina café-rojiza de pequeños canales dispuestos en dos anillos (Fig. 1C). Su color es amarillo pálido y también contienen abundantes tricomas muy pequeños.

*P. radulifolium*: La estructura general del rizoma es fasciculado (Fig. 1A, 4B). El rizoma principal tiene un diámetro de 1.5-4 cm. Su superficie es ligeramente irregular y poco leñosa. Pueden observarse los nudos y entrenudos, además de pubescencias. Los rizomas secundarios y terciarios son fibrosos, medianamente largos y delgados, cuyo diámetro del rizoma primario es de 0.1-0.5 cm y del rizoma secundario es de 0.5 a 1.5 cm. En corte transversal se ven pequeños canales que forman dos anillos de los cuales brota una resina de color café-rojizo de (Fig. 1C). Los rizomas son de color amarillento-café, también contienen abundantes tricomas muy pequeños.

### **Características anatómicas**

Debido a que la estructura histológica en ambas especies es muy parecida, la descripción se hace en conjunto y sólo se señalan las diferencias pertinentes.

*Rizoma primario*: En corte transversal es de contorno circular (Fig. 4C y 5A). Las células epidérmicas se encuentran colapsadas y muestran abundantes tricomas simples pluricelulares; por debajo se diferencian de 9-11 hileras de súber de paredes ligeramente engrosadas (Fig. 4D y 5B). En algunas secciones se pueden observar restos de ritidomis (Fig. 5C). Posteriormente se observan dos anillos de canales esquizógenos dispuestos de manera concéntrica, cuyo diámetro en el anillo exterior es de 220-290  $\mu\text{m}$  y en el interior de 80-120  $\mu\text{m}$ ; a cada anillo corresponde un haz vascular (Fig. 4D y 5C). Los cilindros vasculares se encuentran separados entre sí por 12-15 estratos de células epidérmicas. Éstos son de tipo colateral abiertos; junto al floema se encuentra un grupo de 4-7 braquiesclereidas (Fig. 4D); con un cambium de muchas filas de células. El xilema es muy desarrollado con vasos punteados con o sin apéndices (Fig. 6B y 7G) y macrosclereidas (Fig. 6C-D y 7B). El ancho de los radios primarios está formado por 1-3 hileras de células. El parénquima medular contiene esclereidas (Fig. 4D).

*Rizoma secundario*: En sección transversal es circular (Fig. 4E,G y 5D,G). La epidermis está constituida por células isodiamétricas de paredes poco engrosadas con tricomas; en *P. peltatum* los tricomas son pluricelulares (Fig. 4F y 5E), y en *P. radulifolium* son unicelulares. (Fig. 4H y 5H). el parénquima cortical está compuesto por 1-2 hileras de colénquima laminar, seguido de células isodiamétricas en el que se disponen dos

anillos concéntricos de canales secretores de origen esquizógeno (Fig. 4F,H y 5D,G); en *P. peltatum* se observan esclereidas (Fig. 4F y 5E), mientras que en *P. radulifolium* se observan algunos idioblastos con densos contenidos. En *P. peltatum* la endodermis es muy sinuosa (Fig. 4H y 5H). Al cilindro vascular lo constituyen numerosos haces vasculares de tipo colateral cerrado; en *P. peltatum* están acompañados de esclereidas y el xilema es muy desarrollado (Fig. 5F), en cambio en *P. radulifolium* los haces vasculares son muy poco desarrollados (Fig. 5I). La médula está formada por células isodiamétricas; en *P. peltatum* se observan esclereidas, en tanto que *P. radulifolium* muestra idioblastos de contenido no identificado (Fig. 4F y 4H).

**Raíz:** Las raíces son adventicias y se originan a partir de los rizomas (Fig. 4A-B). En sección transversal son circulares, la epidermis soporta numerosos pelos radicales (Fig. 4I); la exodermis está formada por una capa de células. Adyacente a ella se superponen 5-6 hileras de células parenquimáticas isodiamétricas, en las que se encuentran canales esquizógenos dispuestos en círculo. En la endodermis se observan nítidamente las bandas de Caspary. El periciclo está formado por una hilera de células de paredes muy delgadas. La raíz es pentarca (Fig. 4J y 5J).

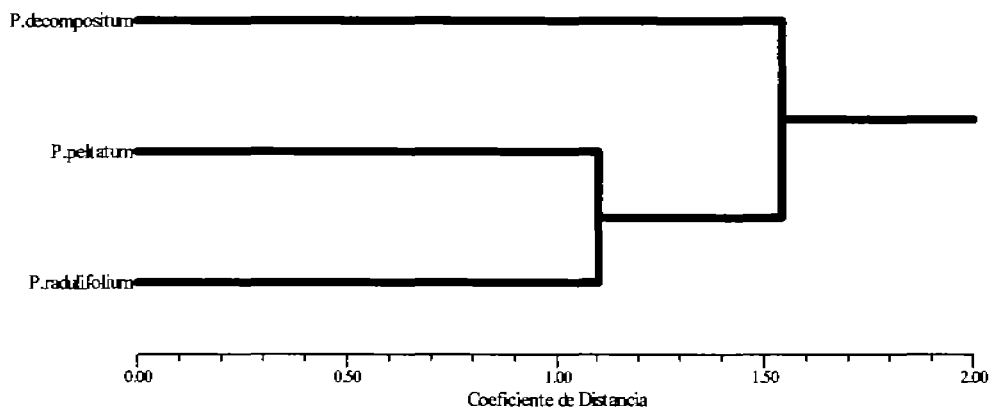
**Macerado:** El análisis del material disociado demostró la presencia de esclereidas de diversas formas y tamaños (Fig. 8C-G) cuya morfometría es indispensable para su clasificación (Tabla 1.2). De la misma forma, se encontraron vasos punteados con y sin apéndices de diversos tamaños (Fig. 7G, H, Tabla 1.2). Asimismo se observaron células de epidermis con tricomas (Fig. 7D); células de parénquima (Fig. 7J-K); células de súber (Fig. 7E), algunas con micorrizas (Fig. 7F); y cristales de oxalato de calcio.

ESTRUCTURAS CELULARES			PROMEDIO DE MEDIDAS (n=20)	FIGURA 7
Esclereidas	Braquiesclereidas	con proyecciones	140×70 μm	A-b
		sin proyecciones		A-a
	Macroesclereidas	con proyecciones	160×80 μm	B-d
		sin proyecciones	200×60 μm	B-e
			375×25 μm	B-c
Fibroesclereida		650×20 μm	C	
Vasos	Punteados	con apéndice	200×25 μm	G
		sin apéndice	50×40 μm	H
			160×30	

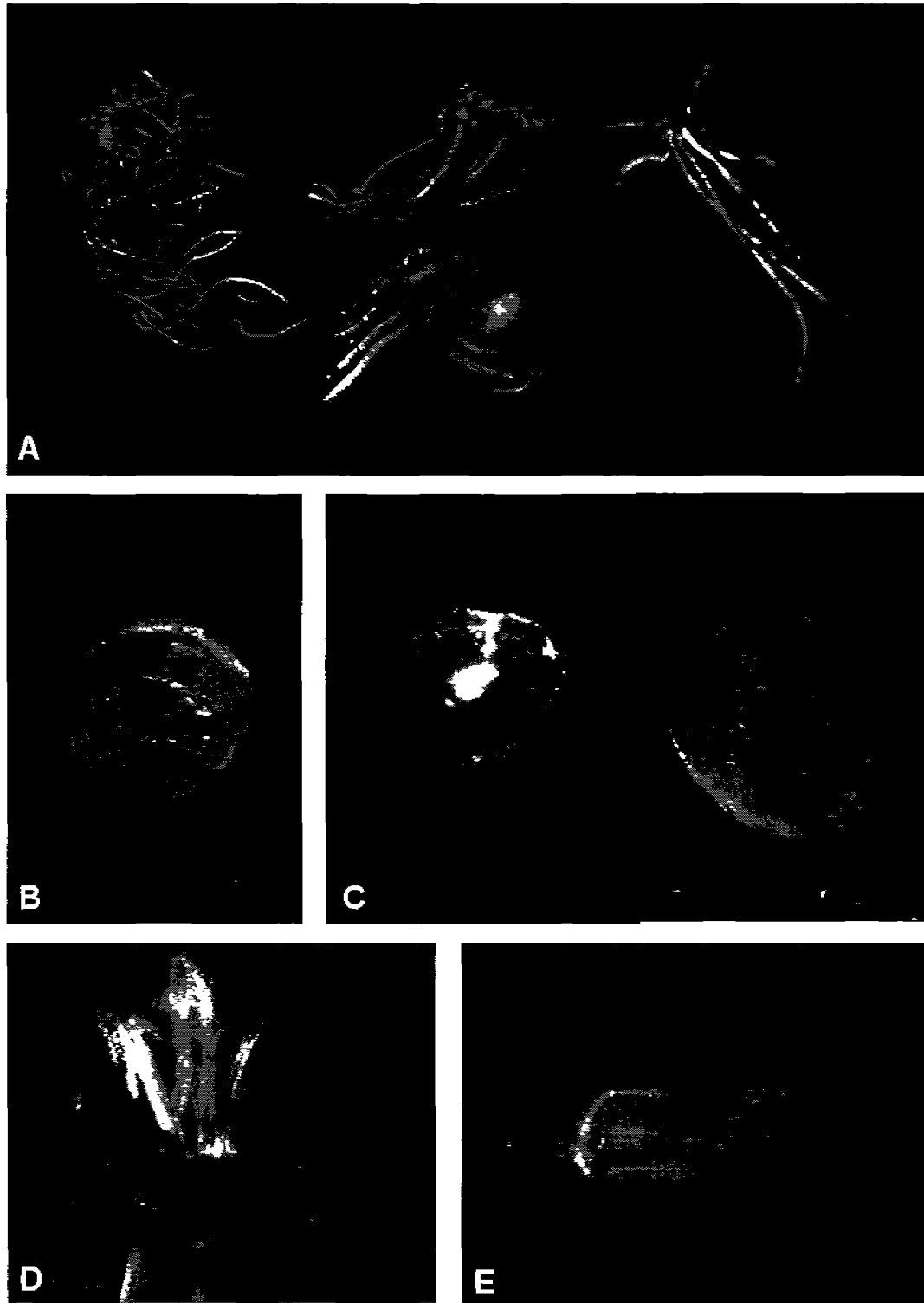
**Tabla 1.2.** Morfometría de esclereidas y vasos encontrados en el macerado de *P. peltatum* y *P. radulifolium*.

La prueba de conglomerados demostró que *P. radulifolium* y *P. peltatum* presentan más similitud entre sí que con la especie dominante del complejo, *P. decompositum*, con un valor de  $r = 0.925$  (Figura 8).

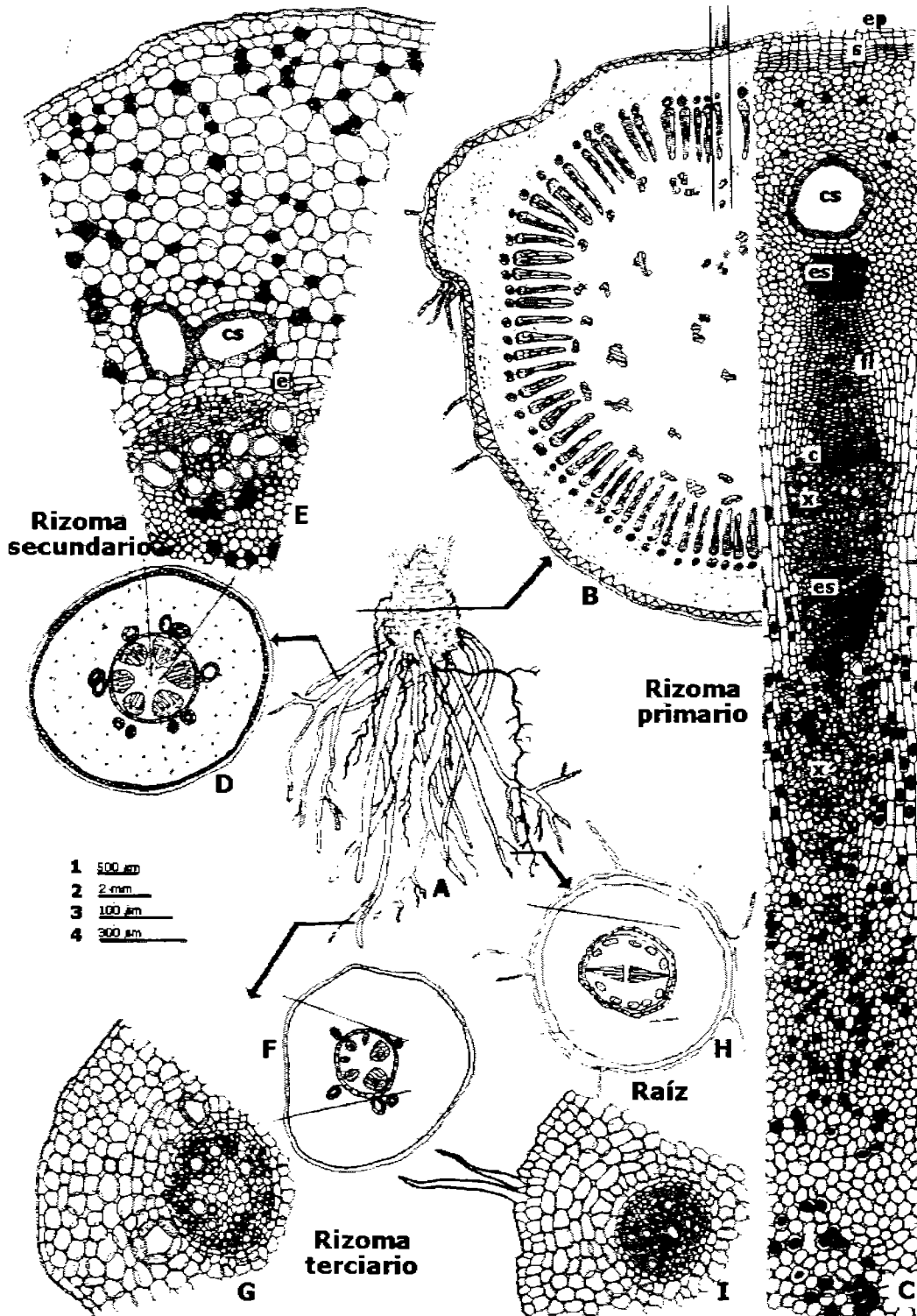
**Figura 8.** Clasificación de las especies de *Psacidium*



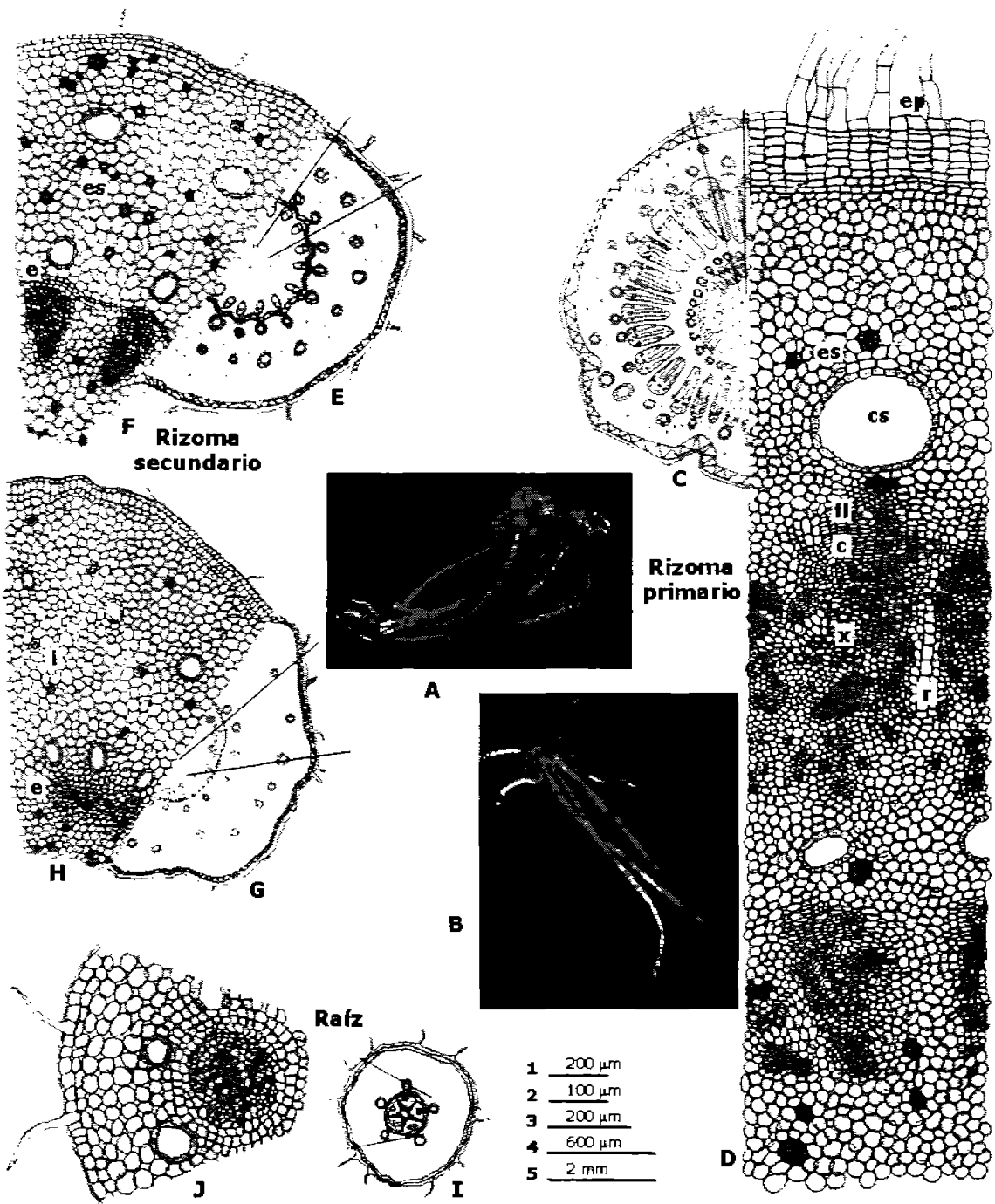
*ium* estudiadas a partir de sus caracteres anatómicos resultado de un análisis de conglomerado.  $R = 9.25$



**Fig. 1.** Características morfológicas de los órganos subterráneos de "matarique". **A:** Raíces y rizomas de *P. decompositum*, *P. peltatum* y *P. radulifolium* (de izquierda a derecha, respectivamente). Rizomas secundarios con resina café-rojiza: **B.** *P. decompositum* presenta un anillo de grandes canales. **C.** *P. peltatum* y *P. radulifolium* con dos anillos de canales pequeños (de izquierda a derecha, respectivamente). *P. decompositum*: **E.** Tricomos de la base del tallo. **F.** Fibras del rizoma secundario.

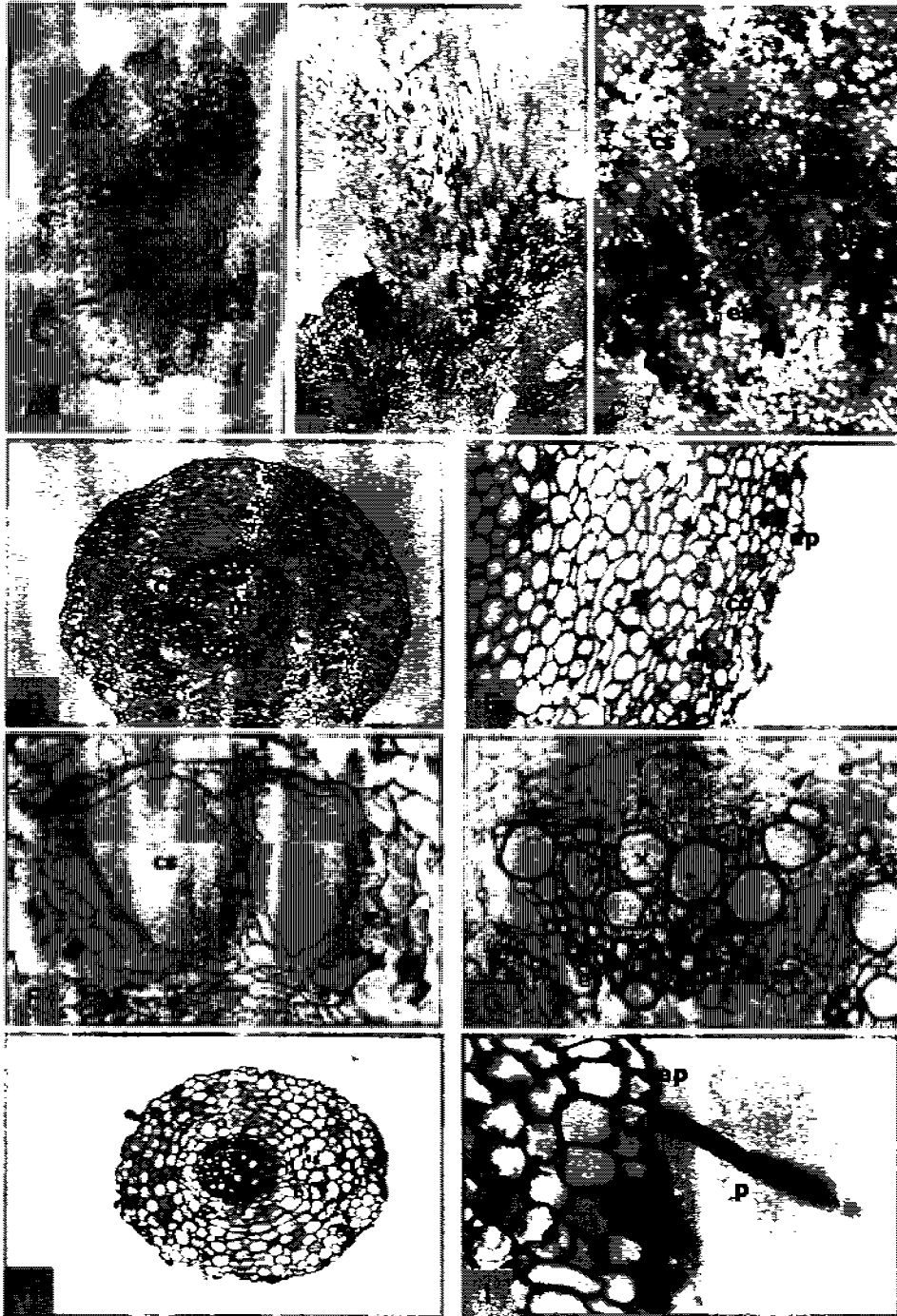


**Fig. 2.** Morfología externa e interna de los órganos subterráneos de *P. decompositum*. **A:** Exomorfología. **B-I:** Sección transversal. **B, D, F y H:** Esquemas según Metcalfe & Chalk: **B,** rizoma primario; **D,** rizoma secundario; **F,** rizoma terciario y **H,** raíz. **C, E, G e I:** Detalle de lo indicado en **B, D, F y H,** respectivamente. **c,** cambium; **cs,** canal secretor; **e,** endodermis; **ep,** epidermis; **es,** esclereidas; **fl,** floema; **l,** idioblastos; **r,** radio; **s,** súber; **x,** xilema. Las escalas corresponden a : 1 a D; 2 a B; 3 a C, E, G e I; 4 a F y H.

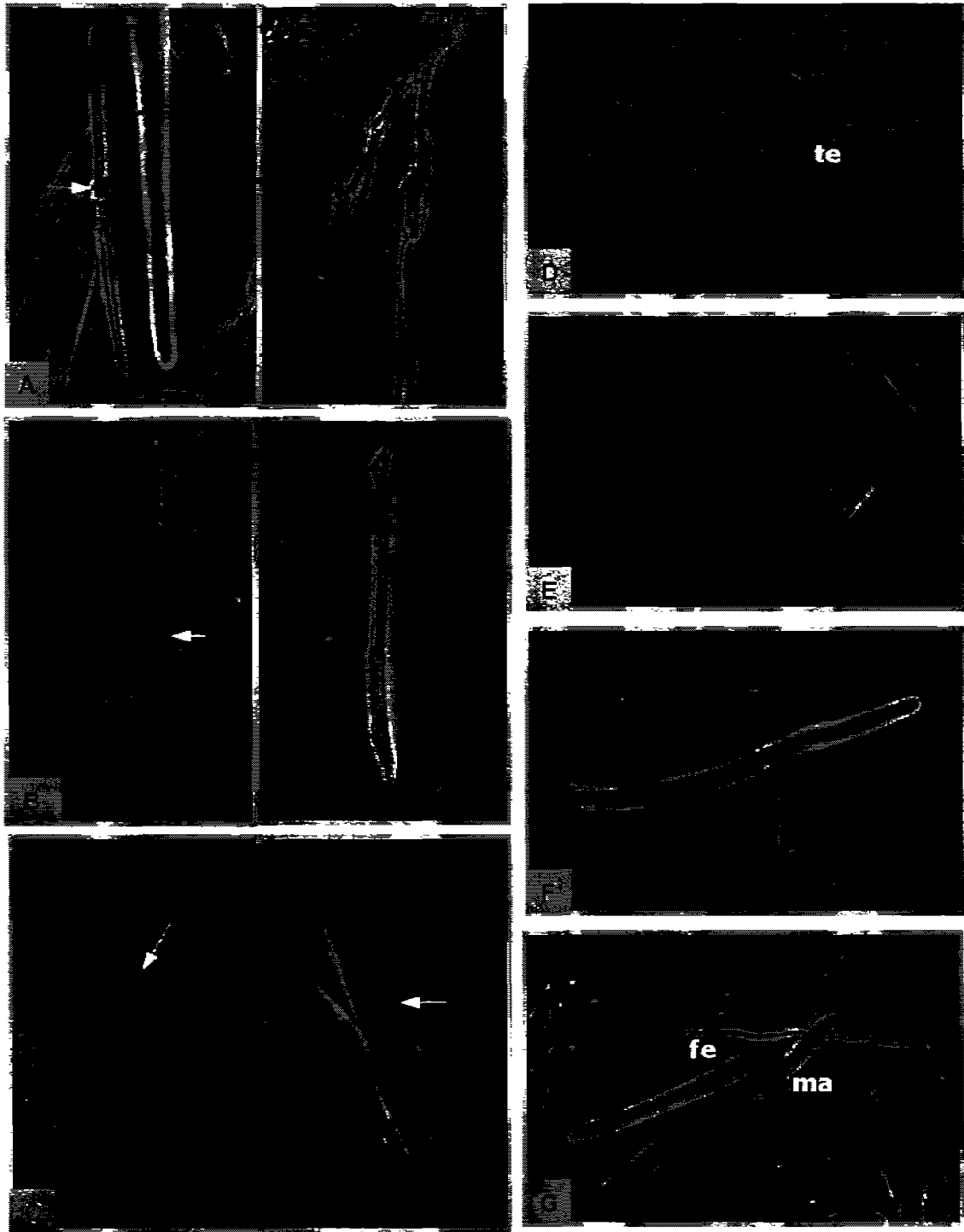


**Fig. 6.** Morfología externa e interna de la parte subterránea de *P. peltatum* y *P. radulifolium*. **A-B:** Exomorfología. **A.** *P. peltatum*. **B.** *P. radulifolium*. **C-J:** Sección transversal. **C, E, G, I:** Esquemas según Metcalfe & Chalk: **C,** rizoma primario; **E,** rizoma secundario de *P. peltatum*; **G,** rizoma secundario de *P. radulifolium* **I,** raíz. **D, F, H, J:** Detalle de lo indicado en **C, E, G, I,** respectivamente. c, cambium; cs, canal secretor; e, endodermis; ep, epidermis; es, esclereidas; fl, floema; i, idioblastos; r, radio; s, súber; x, xilema. Las escalas corresponden a: 1 a F y H; 2 a J; 3 a D; 4 a I; 5 a C, E y G.

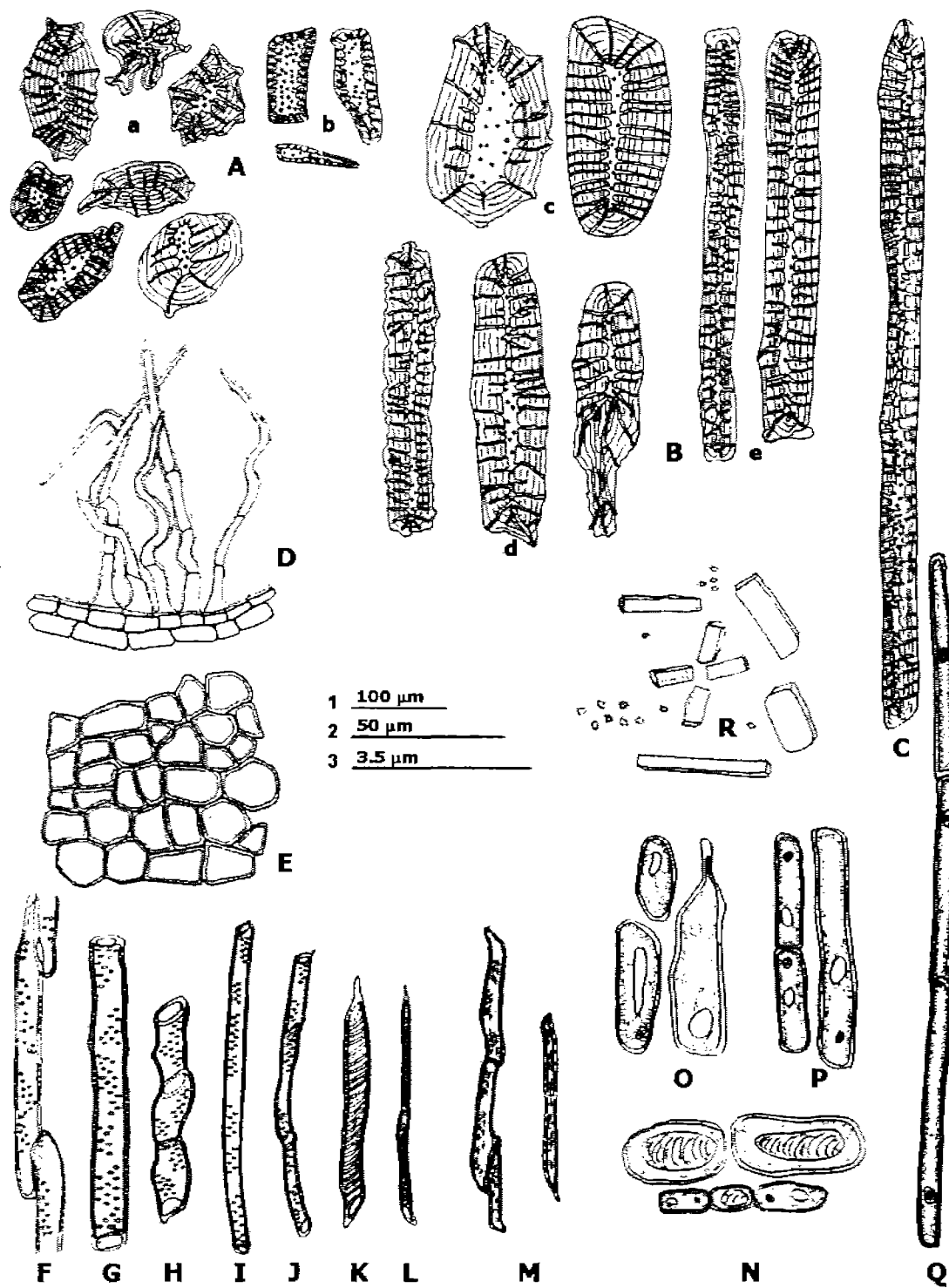




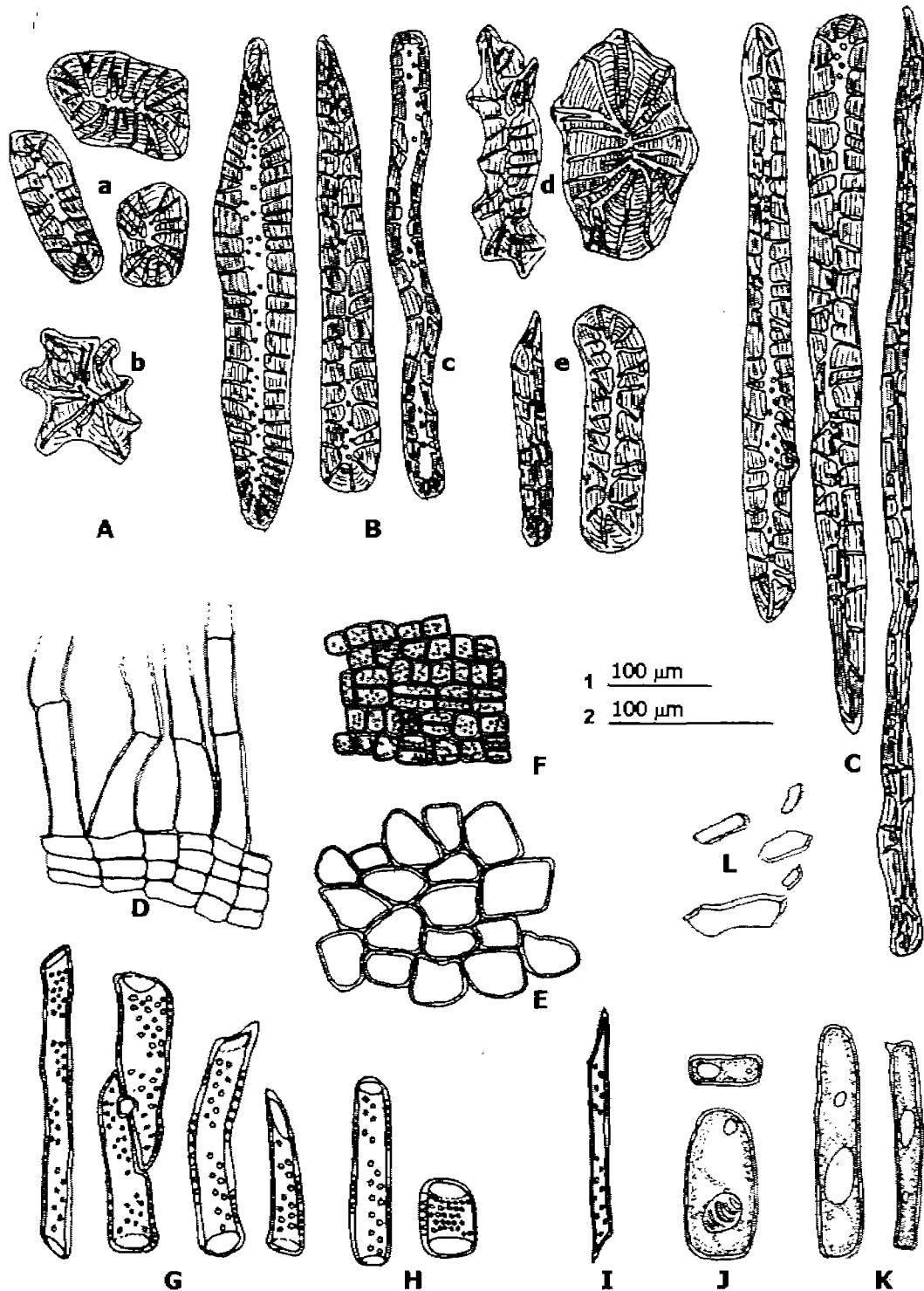
**Fig. 4.** A-C. Caracteres anatómicos diagnósticos de los órganos subterráneos de *P. decompositum*. A-G: Rizoma primario. A. Sección transversal; un anillo de canales secretores (cs) y otro de haces vasculares (hv) se organizan de forma concéntrica. La médula (m) es abundante. x5.3. B. Tricomas (t) sobre la epidermis colapsada, por debajo se encuentra el súber (s). x10.5. C. Los haces vasculares son prominentes y están separados por radios (r) bien definidos. El xilema (x) es muy desarrollado y va acompañado de esclereidas (es). x9.8. D-G: Rizoma secundario. D. Sección transversal; un anillo de canales secretores (cs) y otro de haces vasculares (hv) se organizan de forma concéntrica. La médula (m) es poca. x11.1. E. La epidermis está colapsada, por debajo se encuentra un colénquima laminar (co) y esclereidas (es) x70. F. Canales secretores (cs) muy cercanos a la epidermis (e). x101. G. Haz vascular colateral. El floema (f) está en posición exarca, y el xilema (x) es endarco, con vasos de luz muy grande y acompañado de esclereidas (es). La endodermis (e) muestra algunos puntos de Caspari (punta de flecha). Entre dos haces vasculares se encuentran pequeños grupos de vasos (v). x101. H-I: Raíz. H. Sección transversal de la raíz diarca, con dos polos de protoxilema (px) y dos de floema (f) agrupados en 4-5 subgrupos. x36.2. I. Epidermis con pelo radical. x175.



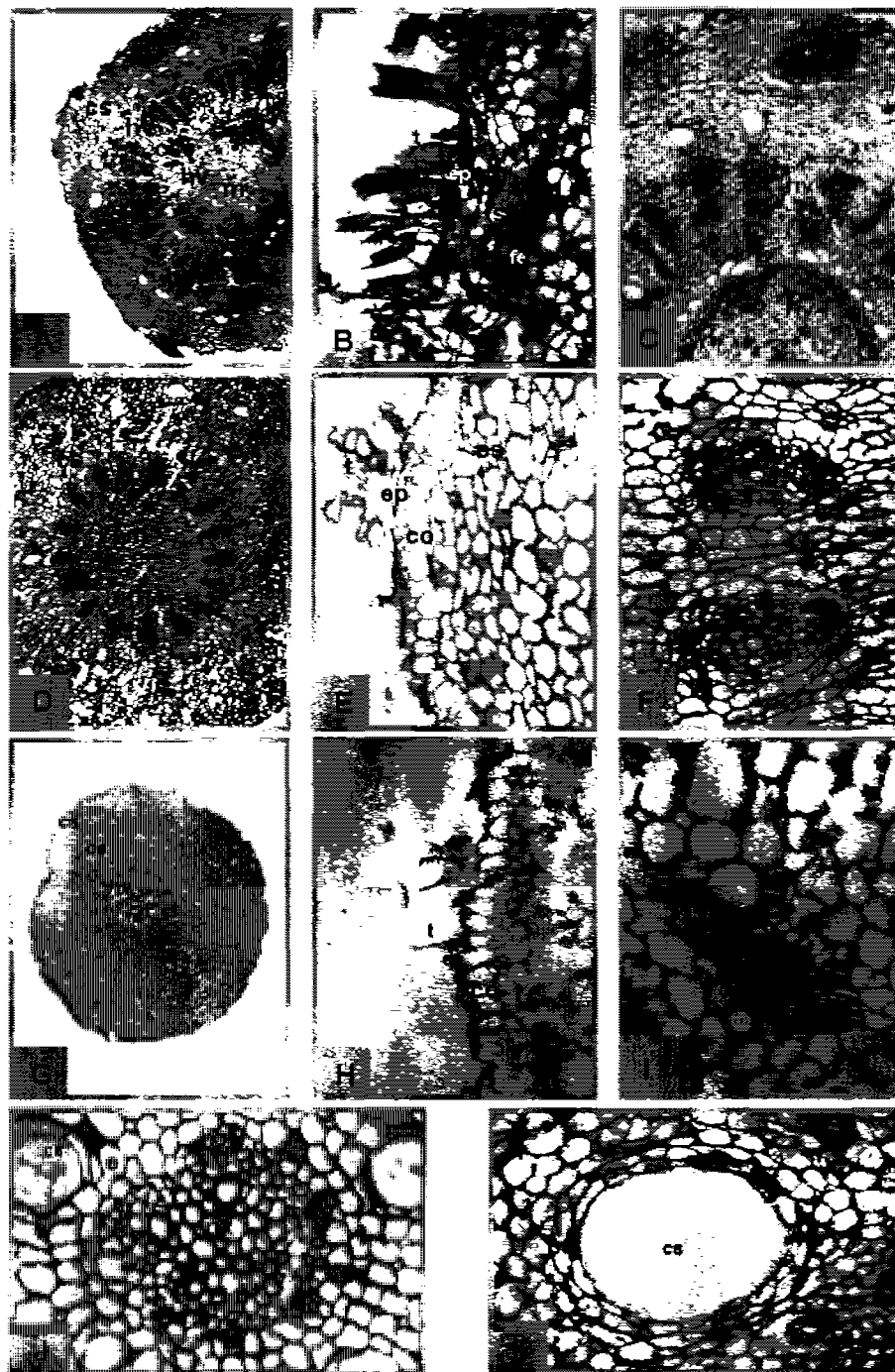
**Fig. 5.** Elementos celulares del macerado de especies de "matarique". **A.** *P. decompositum*. *Izquierda*: Vasos helicoidales con placa perforada (flecha). X101. *Derecha*. Traqueidas. X101. **B.** *P. peltatum* y *P. radulifolium*. *Izquierda*. Vasos punteados con placa perforada (flecha). X153. *Derecha*. Traqueida. X130. **C-G.** Elementos semejantes. **C.** Macroescleridas unidas entre sí (flecha). *Izquierda*, con proyecciones. X100. *Derecha*, sin proyecciones. Contraste de fases. X29.5. **D.** Macroescleridas en sección de tejido (te). X25.2. **E.** Macroescleridas de distintos tamaños. X25.2. **F.** Fibroesclerida. X62.5. **G.** Fibroescleridas (fe) y ymacroesclerida (me). X39.2.



**Fig. 6. A-R:** Elementos macerados de *Psacalium decompositum*. **A:** Braquiesclereidas; **a**, con proyecciones de  $150 \times 135 \mu\text{m}$  y **b**, sin proyecciones de  $50 \times 40 \mu\text{m}$ . **B:** Macroesclereidas; **c**, con proyecciones de  $200 \times 105 \mu\text{m}$ ; y **d**, de  $300 \times 80 \mu\text{m}$ ; **e**, sin proyecciones de  $440 \times 65 \mu\text{m}$ . **C:** Fibroesclereida de  $525 \times 45 \mu\text{m}$ . **D:** Porción de epidermis con tricomas simples pluricelulares. **E:** Súber en vista superficial. **F-J:** Vasos punteados: **F**, con apéndice  $334 \times 28 \mu\text{m}$ ; **G**, sin apéndice de  $335 \times 40 \mu\text{m}$ ; **H**: con apéndice de  $95 \times 40 \mu\text{m}$ ; **I**, de  $500 \times 15 \mu\text{m}$ ; **J**, sin apéndice de  $125 \times 15 \mu\text{m}$ . **K-L:** Vasos helicoidales con apéndices de  $85 \times 30 \mu\text{m}$  y sin apéndice de  $60 \times 2 \mu\text{m}$ . **M**, traqueidas, **N-Q:** Células parenquimáticas. **N**, con contenido; **O**, sin contenido; **P**, de radio y **Q**, de xilema. **R:** Cristales de oxalato de calcio. Las escalas corresponden a: 1 a A-P; 2 a R; 3 a Q.



**Fig. 7. A-L:** Elementos macerados de *Psacalium radulifolium*. **A:** Brachysclereidas; **a**, sin proyecciones de  $140 \times 70 \mu\text{m}$  y **b**, con proyecciones de  $140 \times 70 \mu\text{m}$ . **B:** Macroscleireidas; **c**, sin proyecciones de  $375 \times 25 \mu\text{m}$ ; **d**, con proyecciones de  $160 \times 80 \mu\text{m}$ ; **e**, sin proyecciones  $200 \times 60 \mu\text{m}$ . **C:** Fibrosclereida de  $650 \times 20 \mu\text{m}$ . **D:** Porción de epidermis con tricomas simples pluricelulares. **E:** Súber en vista superficial. **F:** Súber con micorrizas; **G-H:** Vasos punteados: **G**, con apéndice  $200 \times 25 \mu\text{m}$ ; **H**, sin apéndice de  $50 \times 40 \mu\text{m}$  a  $160 \times 30$ ; **I:** Traqueidas, **J-K:** Células parenquimáticas. **J**, con contenido; **K**, de radio. **L:** Cristales de oxalato de calcio. Las escalas corresponden a: 1 a A-C, G-I y L; 2 a D-F, J y K.



**Fig. 8.** Características anatómicas diagnósticas de los órganos subterráneos de *P. peltatum* y *P. radulifolium*. **A-D, G y J-K:** Caracteres comunes. **A-C:** Rizoma primario. **A.** Sección transversal; dos anillos de canales secretores (cs) y dos de haces vasculares (hv) organizados de manera concéntrica; médula (m) escasa. X5. **B.** Abundantes tricomas (t); epidermis colapsada (ep), súber (s) y delgada capa de felógeno (fe). X 47.7. **C.** Ritidomis (ri); haces vasculares del anillo externo (hv-e) más desarrollados que en el interno (hv-i). X12.9. **D, G y K.** Rizoma secundario. **D, G.** Sección transversal; dos anillos de canales secretores (cs) y uno de haces vasculares (hv) organizados de manera concéntrica; médula (m) bien diferenciada. **D.** *P. peltatum*. X7.9. **G.** *P. radulifolium*. X5. **K.** Canal secretor (cs). X63.5. **J.** Raíz pentarca; endodermis (e); canales secretores (cs). X63.5. **E, F, H e I.** Caracteres diferenciales. Rizoma secundario. **E y F.** *P. peltatum*. **E.** Epidermis (ep) con tricomas pluricelulares (t); colénquima laminar (co) y esclereidas (es) poco engrosadas. X 60. **F.** Haces vasculares colaterales; floema (f); xilema (x) desarrollado con esclereidas (es); grupo de vasos (v); endodermis (e) sinuosa. X 45. **H e I.** *P. radulifolium*. **H.** Epidermis (ep) con pequeños tricomas unicelulares (t); colénquima laminar (co); idioblasto (i) X57.8. **I.** Haz vascular colateral poco desarrollado; xilema (x); floema (f). X135.

Debido a que el conocimiento popular denomina como *raíz* de manera general a muchas de las estructuras subterráneas (Díaz, 1977) y a que la exomorfología entre éstas y los tallos subterráneos puede ser muy semejante, es fácil confundir a dichas estructuras. Sin embargo, es frecuente encontrar que los órganos subterráneos medicinales están compuestos total o parcialmente por tallos subterráneos (Basualdo *et al.*, 1991; Shresta y Dhillion, 2003) y, en muchos casos, la transición gradual de tallo a raíz hace imposible la diferenciación exacta entre ambos órganos (Tyler 1976, Esau, 1985).

Dentro del complejo "matarique" la parte subterránea ha sido descrita como: "rizomas gruesos con numerosas y delgadas raíces fasciculadas (Bye, 1986; Linares y Bye, 1987)". No obstante, los resultados indican que el rizoma constituye, casi en su totalidad, la estructura subterránea de las especies de *Psacalium* estudiadas; es decir, aunque puede tener semejanza superficial con una raíz, posee los caracteres anatómicos de un tallo en lo que concierne a la organización de sus tejidos. Asimismo pudo observarse, en todas las especies, un sistema radicular muy reducido, con raíces de tipo adventicio muy delgadas (1-2 mm de diámetro).

En todas las especies se pudo observar el mismo patrón morfológico de las partes subterráneas, en los que se pudieron diferenciar, por lo menos, tres tipos de rizoma en función del orden de desarrollo que presentan. El rizoma primario o principal corresponde al rizoma más grueso (que es la continuidad física del tallo aéreo muy reducido) y que morfológicamente, muestra las características típicas de un rizoma, como son: la presencia de nudos y entrenudos cortos; cicatrices de corte relativamente grandes del tallo aéreo y la porción subterránea; y puntos de crecimiento (Hayward, 1953; De Oliveira, 1991; Jones, 1988). El rizoma secundario está formado por las extensiones fasciculares que derivan del rizoma primario, las cuales son largas y fibrosas. De éstas se originan los rizomas terciarios, los cuales tienen un diámetro menor. Al comparar las características morfológicas se ve que comparten varias de ellas (Cuadro 1.3), por lo que la caracterización anatómica es indispensable.

Los resultados histológicos permitieron diferenciar a los órganos subterráneos en rizoma y raíz. El rizoma presenta haces colaterales (con el xilema en posición exarca y el floema endarco) y radios, ausencia de periciclo y una médula bien diferenciada. En tanto que la raíz muestra abundantes espacios intercelulares en el parénquima cortical, un tejido vascular formando cordones alternados de xilema y floema, un periciclo y endodermis bien determinados y falta de médula. Estas características corresponden a lo descrito anteriormente para distinguir a una estructura radical de una caulinar (Cuadro 1.2)

**Cuadro 1.3.** Caracteres diferenciales externos del rizoma secundario y terciario en las tres especies de *Psacalium* spp.

<b>EXOMORFOLOGÍA</b>			
<b>Características</b>	<i>P. decompositum</i>	<i>P. peltatum</i>	<i>P. radulifolium</i>
Diámetro del rizoma primario (cm)	1 a 3.5 cm	3 a 7 cm	1.5 a 4 cm
Diámetro del rizoma secundario (cm)	0.1 a 1 cm	0.5 a 2.0 cm	0.5 a 1.5 cm
Diámetro del rizoma terciario (cm)	0.5 a 0.3 cm	0.3 a 0.8 cm	0.1 a 0.5 cm
Color	Amarillento-café	Amarillo pálido	Amarillento-café
Apariencia del rizoma primario	Ligeramente irregular y poco leñosa	Bastante irregular y leñosa	Ligeramente irregular y poco leñosa
Olor	Picante	No picante	No picante
Pubescencias del rizoma primario	Presentes	Presentes	Presentes
Pubescencias del rizoma secundario	Ausentes	Presentes	Presentes

La presencia de la endodermis en un órgano diferente a la raíz no es usualmente descrita (Trease y Evans, 1988; De Menezes, et al., 2005), no obstante ha sido observada en los tallos aéreos de algunos helechos y en ciertas angiospermas, principalmente herbáceas (Esau, 1985). Con más frecuencia ha sido reportada en los rizomas (Metcalf, 1957; Tyler, 1976) e incluso, de manera novedosa, se ha descrito en las hojas de algunas monocotiledóneas (De Menezes et al., 2005). Asimismo se ha demostrado que la actividad de la endodermis puede ser muy dinámica, ya que además de ser indispensable como barrera apoplastica en el proceso de transporte de agua y nutrientes y como posible defensa física contra los microorganismos (Esau, 1985; Schreiber, 2001), ha mostrado, también, actividad cambial en raíces (Van Fleet, 1961) y recientemente en tallos y hojas (De Menezes et al., 2005).


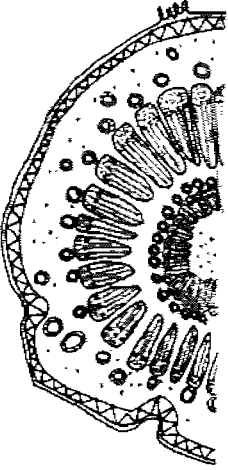
Por lo anterior, la presencia de una endodermis bien definida en los rizomas de segundo y tercer orden en las especies de *Psacalium* aquí estudiadas, no es un factor para presumir que estas estructuras sean una raíz. Debido a que la mayor parte de la estructura subterránea de las especies de *Psacalium* es rizoma de tipo secundario o terciario, y la cantidad de raíces es muy poca, se explica que el rizoma cuente con una endodermis y tricomas, ya que potencialmente funcionan estos rizomas como una estructura de absorción.

En las tres especies de *Psacalium*, los rizomas primarios presentan diferencias histológicas con los rizomas secundarios y terciarios que de ellos se derivan. En cambio, en éstos últimos las características y disposición de los tejidos es prácticamente la misma, lo único que los distingue es la cantidad de tejido, dada por el diámetro de cada rizoma.




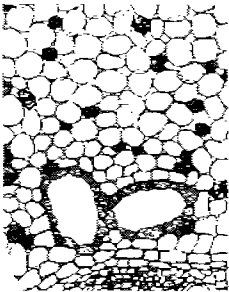
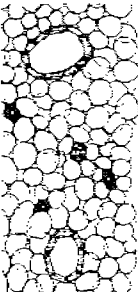


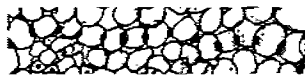
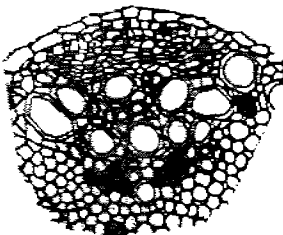
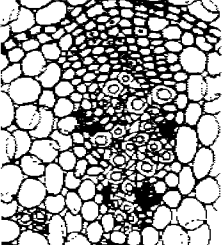
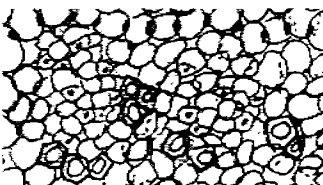
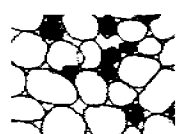
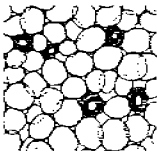
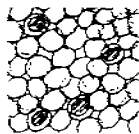
El rizoma primario de *P. decompositum* muestran diferencias con respecto a los rizomas del mismo orden en sus especies sustitutas (*P. peltatum* y *P. radulifolium*), siendo iguales entre sí en éstas últimas (Cuadro 1.4). Por su parte, al comparar los rizomas de segundo y tercer orden en las tres especies es posible observar similitudes y diferencias distintivas para cada una de ellas, sin embargo, presentan más semejanza entre sí las especies sustitutas (Cuadro 1.5).



**Cuadro 1.4.** Caracteres diferenciales del rizoma primario en las tres especies de *Psacalium* spp.

RIZOMA PRIMARIO				
	<i>P. decompositum</i>	<i>P. peltatum</i>	<i>P. radulifolium</i>	
<b>EPIDERMIS</b>	Colapsada con abundantes tricomas simples pluricelulares.			
<b>CORTEZ</b>	Parénquima cortical	Está constituido por un cilindro de células suberosas y parenquimatosas, con esclereidas. <b>Se forma un anillo de canales esquizógenos.</b>	Está constituido por un cilindro de células suberosas y parenquimatosas, con esclereidas. <b>Se forman dos anillos de canales esquizógenos.</b>	Está constituido por un cilindro de células suberosas y parenquimatosas, con esclereidas. <b>Se forman dos anillos de canales esquizógenos.</b>
	Endodermis	Sin endodermis.		
<b>CILINDRO CENTRAL</b>	Tejido vascular	Haces vasculares colaterales abiertos, <b>dispuestos en un solo anillo</b> , separados por radios medulares primarios.	Haces vasculares colaterales abiertos, <b>dispuestos en dos anillos</b> , separados por radios medulares primarios.	Haces vasculares colaterales abiertos, <b>dispuestos en dos anillos</b> , separados por radios medulares primarios.
	Médula	<b>Abundante médula con abundantes idioblastos</b> cuyo contenido no fue identificado	<b>Poca médula con gran cantidad de esclereidas.</b>	<b>Poca médula con gran cantidad de esclereidas</b>
<b>ESQUEMA GENERAL</b>				

**Cuadro 1.5.** Caracteres diferenciales del rizoma secundario y terciario en las tres especies de *Psacalium* spp.

		<b>RIZOMA SECUNDARIO O TERCIARIO</b>		
		<i>P. decompositum</i>	<i>P. peltatum</i>	<i>P. radulifolium</i>
<b>EPIDERMIS</b>		Colapsadas sin tricomas. 	Rectangulares con tricomas simples pluricelulares 	Isodiamétricas con tricomas simples unicelulares. 
	<b>CORTEZ</b>	Parénquima cortical	Con abundantes esclereidas. Se forma un anillo de canales esquizógenos. Corresponde uno o dos canales por cada haz vascular. 	Con esclereidas de luz grande. Se forman dos anillos de canales esquizógenos. Corresponde dos canales por cada haz vascular. 
Endodermis		No sinuosa. 	Muy sinuosa. 	Sinuosa. 
<b>CILINDRO CENTRAL</b>	Tejido vascular	Los haces vasculares colaterales abiertos. Los vasos de xilema grandes. 	Los haces vasculares colaterales abiertos. El xilema es muy desarrollado. 	Los haces vasculares colaterales abiertos. Los haces son muy poco desarrollados. 
	Médula	Abundante médula con gran cantidad de idioblastos de contenido desconocido. 	Escasa médula con esclereidas 	Escasa médula con idioblastos de contenido no identificado. 

La caracterización de *P. peltatum* corresponde, en su mayoría, a lo descrito anteriormente por Manzanero (1994). Sin embargo, en dicho estudio describe la morfología del rizoma, a partir del rizoma primario propiamente dicho, y la caracterización anatómica la elaboró con un rizoma secundario, al que refirió como raíz. No obstante, describe los haces vasculares de tipo colateral abierto organizados en círculo, la presencia de radios, una médula bien diferenciada.

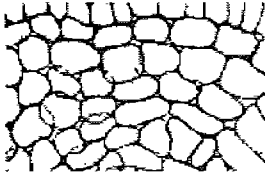
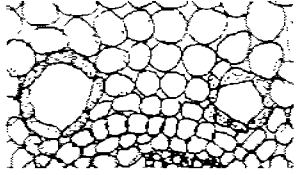
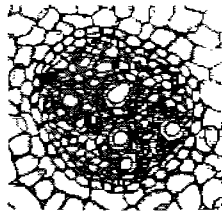
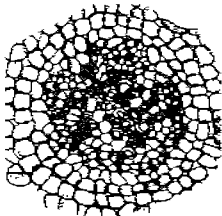
La distribución de los haces vasculares es muy diversa en la familia Asteraceae. En los tallos, generalmente se encuentran formando un anillo. La posición y estructura de los haces, generalmente de tipo colateral, es uniforme en los tallos subterráneos de algunas especies, pero su distribución puede variar a distintos niveles en una misma especie (Metcalf, 1957). El desarrollo anómalo de dos o más anillos concéntricos ha sido reportado en las estructuras subterráneas de algunas especies de asteráceas (Adamson, 1934; Metcalf, 1957). Así, el arreglo, tamaño y orientación de los haces vasculares son de valor diagnóstico para algunos géneros de esta familia (Metcalf, 1957).

De esta forma, los haces vasculares en las tres especies de *Psacalium* es de tipo colateral abierto, con un xilema muy desarrollado. Sin embargo, en los rizomas primarios de *P. peltatum* y *P. radulifolium* se observan el crecimiento anómalo de dos anillos de haces vasculares, cada uno acompañado de un anillo de canales esquizógenos. Esta característica es de gran importancia diagnóstica para distinguir a las especies sustitutas de la especie medicinal (*P. decompositum*), la cual solo posee un anillo de haces vasculares al que corresponde un anillo de canales esquizógenos. En cambio, en los rizomas de segundo y tercer orden, en las tres especies, solo se observa un anillo de haces vasculares.

Debido a que la mayor parte de los órganos subterráneos de las especies de *Psacalium* corresponde a los rizomas, y que el sistema radical se encuentra muy reducido, las características diagnósticas de las raíces son de menor importancia. Las raíces miden de 1 a 2 mm de diámetro, son adventicias y crecen a partir del rizoma de cualquier orden, sin manifestar diferencias anatómicas según el tipo de rizoma del que derivan. Las raíces de *P. decompositum* son distintas a las de sus especies sustitutas (Cuadro 1.6). Por último, los macerados indican que las estructuras celulares son muy parecidas para las tres especies de *Psacalium*, sin embargo la morfometría muestra los intervalos que

debe de tener el material vegetal genuino, siendo de gran ayuda estos valores para la identificación de la droga si se encuentra molida o muy fragmentada. En este sentido las esclereidas y los vasos son las estructuras celulares de mayor importancia para la tipificación de estas especies. Además la presencia de vasos helicoidales únicamente en *P. decompositum* es otro carácter distintivo para el material genuino.

**Cuadro 1.6.** Caracteres diferenciales de las raíces en las tres especies de *Psacalium* spp.

		RAÍCES		
		<i>P. decompositum</i>	<i>P. peltatum</i>	<i>P. radulifolium</i>
<b>EPIDERMIS</b>		Monoestratificada con pelos absorbentes unicelulares.	Monoestratificada con pelos absorbentes unicelulares.	Monoestratificada con pelos absorbentes unicelulares.
	Exodermis	Formada por 1-2 estratos de células.	Formada por 1-2 estratos de células.	Formada por 1-2 estratos de células.
<b>CORTEX</b>	Parénquima cortical	Formado por 5-6 hileras de células parenquimatosas. 	Formado por 5-6 hileras de células parenquimatosas, <b>con canales esquizógenos.</b> 	
	Endodermis	Presente.	Presente.	Presente.
<b>CILINDRO CENTRAL</b>	Periciclo	Formado por <b>1-2 hileras</b> de células.	Formado por <b>una hilera</b> de células.	Formado por <b>una hilera</b> de células.
	Tejido vascular	<b>Diarca</b> , con dos polos de xilema alargados y dos polos de floema en 4-5 grupos.	<b>Pentarca.</b>	<b>Pentarca.</b>
	Médula	<b>Escasa.</b>	<b>Nula.</b>	<b>Nula.</b>
	Dibujo			

La estructura subterránea, denominada comúnmente como raíz y rizomas en todas las especies de *Psacalium* estudiadas, corresponde en su mayoría a un tallo modificado. El sistema radical está muy reducido. Las raíces son de tipo adventicio y muy delgadas (1-2 mm), por lo tanto las características diagnósticas de estas son de menor importancia.

En las tres especies se identificaron tres tipos de rizoma: primario, secundario y terciario, según el orden de desarrollo que presentan. El rizoma primario corresponde al rizoma más grueso, y muestra las características típicas de un rizoma. El rizoma secundario es largo y fibroso, del cual se origina el rizoma terciario, cuyo diámetro es menor (1-2 mm). A simple vista es fácil confundir al rizoma de tercer orden con las raíces.

Fue posible caracterizar morfo-anatómicamente a cada especie de *Psacalium*. Sin embargo, los caracteres exomorfológicos se superponen, por tanto es indispensable el estudio microscópico para la determinación de cada especie.

Existen características histológicas en común para las tres especies, pero *P. decompositum* comparte menos características con sus especies sustitutas (*P. peltatum* y *P. radulifolium*) que entre éstas últimas.

Los rizomas primarios de *P. decompositum* se caracterizan por tener un solo anillo de canales esquizógenos, al que corresponde un anillo de haces vasculares y una abundante médula con idioblastos. Los rizomas secundarios y terciarios presentan una epidermis sin tricomas; un anillo de canales esquizógenos (con un diámetro de 30 a 60  $\mu\text{m}$  en su eje menor y de 60 a 80  $\mu\text{m}$  en su eje mayor) y otro de haces vasculares, correspondiendo uno o dos canales por cada haz; y abundantes esclereidas en el parénquima cortical y medular. Las raíces son diarcas con dos polos de protoxilema y los dos polos de floema, subdividido en 4-5 grupos.

En las especies sustitutas los rizomas primarios y las raíces son semejantes, y solo pueden diferenciarse por la anatomía de los rizomas secundarios y terciarios. El rizoma primario presenta un desarrollo anómalo del tejido vascular, ya que se encuentra distribuido en dos anillos concéntricos; y a cada uno concierne un anillo de canales

esquizógenos; la médula es escasa y contiene esclereidas. Los rizomas de segundo y tercer orden presentan una epidermis con tricomas y dos anillos de canales esquizógenos; en *P. peltatum* el parénquima cortical y medular contiene esclereidas y en *P. radulifolium* presenta idioblastos; además el sistema vascular en esta última está muy poco desarrollado. Por último, las raíces son pentarcas.

La morfometría de las esclereidas y vasos son una herramienta auxiliar en la identificación de la droga pulverizada.

## BIBLIOGRAFIA

---

Adamson, R. S. 1934. Anomalous Secondary Thickening in Compositae. *Annals of Botany*, Vol XLVIII. No. CXC: 505-514.

Basualdo, I., E. Matilde y M. Ortiz. 1991. Medicinal Plants of Paraguay: Underground Organs. *Economic Botany* **45**(1):86-96.

Basualdo, I., E. Matilde y M. Ortiz. 1995. Medicinal Plants of Paraguay: Underground Organs, II. *Economic Botany* **49**(4): 387-394.

Bruneton, J. 1999. *Pharmacognosy: Phytochemistry Medicinal Plants*. Lavoisier Publishing. USA. 1119 pp.

Bye, R. 1986 Medicinal plants of the Sierra Madre: Comparative study of Tarahumara and Mexican Market Plants. *Economic Botany*, 40 (1): 103-124.

Bye, R. y E. Linares. 1996. Usos pasados y presentes de algunas plantas medicinales encontradas en los mercados mexicanos. En: Estrada-Lugo, E. *Plantas Medicinales de México: Introducción a su estudio*. UACH. México, Edo de México. 205-215.

De Oliveira F., G. Akisue y K. Akisue. 1991. *Farmacognosia*. Atheneu. Brasil. 412 p.

De Menezes, N., E. Silva, R. Arruda, G. Melo-de-Pinna, V. Cardoso, N. Castro, V. Scatena y E. Scremin-Dias. 2005. Meristematic activity of the Endodermis and the Pericycle in the primary thickening in monocotyledons. Considerations on the "PTM". *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 77 (2): 259-274.

Díaz, J. L. 1977. *Usos de las Plantas Medicinales de México*. México: Instituto Mexicano para el Estudio de las Plantas Medicinales, A. C. Monografías Científicas II.

Dickison, W. C. 2000. *Integrative Plant Anatomy*. Academic Press. USA. 532 pp.

Esau, K. 1985. *Anatomía vegetal*. Omega. España. 779 pp.

Gattuso, 1988. *Estructura del cuerpo de las espermatófitas*. Universidad de Rosario. Argentina. 114 pp.



Gattuso, M. y S. Gattuso, 1999. Manual de procedimientos para el análisis de drogas en polvo. CYTED. Universidad Nacional de Rosario. Argentina. 49 pp.

González, S. 1987. Botánica I. Pueblo y educación. Cuba. 162 pp.

Hayward, H. 1953. Estructura de las plantas útiles. ACME. Argentina, 667p.

Hilerio, M. 2000. Germinación comparativa de "Matarique" (*Psacalium decompositum*: Asteraceae) procedente de dos poblaciones. Tesis de licenciatura. FES-Iztacala. UNAM. México. 46pp.

Jones, S. B. 1988. Sistemática Vegetal. McGraw-Hill de México. México. 536 pp.

Kuklinski, C. 2000. Farmacognosia: Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Omega. España. 515 pp.

Linares E. y R. Bye. 1987. A study of four medicinal plant complexes of Mexico and adjacent United State. *Journal of Ethnopharmacology*, 19: 153-183.

Manzanero, G. 1994. Estudio de siete raíces medicinales del mercado de Sonora. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. Distrito Federal, México.

Martínez, M. 1969. Las Plantas Medicinales de México. Ediciones Botas. México. 217-221.

Martínez, I. 1980. Etnobotánica de plantas mexicanas popularmente usadas para el tratamiento de la diabetes. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 61 pp.

Metcalf, C. R. 1957. *Anatomy of the dicotyledonous*, Vol. II, Oxford Press. USA. 783-805.

Organización Mundial de la Salud. 2000. Situación Reglamentaria de los Medicamentos: una Reseña Mundial. OMS. Génova. 60 pp.

Pippen, R. 1968. Mexican "Cacalioid" Genera allied to *Senecio* (Compositae). *Contr. U.S. Nat. Herb.* 34: 365-447.

Rzedowski y Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski y Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología A. C. México. 1406 pp.

Schreiber, L. 2001. Endodermis. *Encyclopedia of life sciences*. Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group / [www.els.net](http://www.els.net)

Secretaría de Salud. 2001. Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos. México. 100 pp.

Shresta P. y S. Dhillion, 2003. Medicinal plant diversity and use in the highlands of Dolakha district, Nepal. *Journal of Ethnopharmacology* 86: 81-96.

Trease G. E. y W. C. Evans. 1988. Tratado de Farmacognosia. Interamericana. México. 846p.

Tyler, V. E., L. Brady y J. Robbers. 1979. Farmacognosia. El Ateneo. Argentina. 459 pp.

Van Fleet, .1961. Histochemistry and function of the endodermis. *Bot. Rev.* **27**: 165-221.

World Health Organization. 1993. Good Manufacturing Practices for Pharmaceutical Products. WHO. Genova.

World Health Organization. 1998. Quality control methods for medicinal plant materials. WHO. Genova. 115 pp.

## CAPÍTULO DOS

### ANÁLISIS QUÍMICO CUALITATIVO Y CUANTITATIVO EN EL COMPLEJO "MATARIQUE"

---

---

#### RESUMEN

Los constituyentes químicos de las plantas medicinales pueden ser exclusivos de una especie y/o variar de manera intraespecífica o interespecífica. Por tanto, para la elaboración de los fitofármacos es preciso estandarizar las concentraciones y contenido de sustancias químicas medicinales que garanticen la identidad, seguridad y eficacia de los mismos. El presente estudio permite la caracterización de las cinco especies que componen el complejo "matarique" a través de su perfil cromatográfico y propone al cacalol como uno de los principales marcadores auxiliares en la valoración de la autenticidad y calidad de esta especie. Asimismo, se cuantifica dicho metabolito en plantas crecidas en campo e invernadero en distintas etapas fenológicas, encontrándose que las plantas provenientes de campo producen mayor cantidad del metabolito, particularmente durante la senescencia. En invernadero se encontró que la luz estimula la producción del cacalol en las etapas subsiguientes a plántula.

El efecto medicinal de una planta está en sus principios activos, los cuales son un complejo de compuestos químicos que la planta ha desarrollado a través de la evolución y que produce como un mecanismo de defensa o sobrevivencia; y que al mismo tiempo, tienen un efecto sinérgico en su acción como droga. Estos compuestos cambian en su cantidad y calidad, de manera interespecífica, según la edad de la planta, la época del año, su fenología y las condiciones de crecimiento. Asimismo, la composición de los mismos puede variar de forma intraespecífica. Por lo anterior, los fitoconstituyentes pueden ser usados como marcadores químicos para ayudar en la identificación apropiada del material vegetal y la estandarización de los fitofármacos.

### **El control químico de calidad**

Una vez realizadas las pruebas de identidad macroscópica y microscópica del material vegetal, el siguiente paso consiste en establecer los análisis químicos cualitativos y cuantitativos (Machado, 2000a). Los ensayos químicos enfocados al control de calidad de los fitofármacos incluyen la detección, la identificación y la cuantificación de uno o varios compuestos que se encuentran en la especie vegetal; y que son necesarios en las monografías de plantas medicinales. (World Health Organization, 1998; Bruneton, 1999; Kuklinski, 2000;).

Tradicionalmente, la cromatografía y sus técnicas relacionadas son usadas para evaluar la calidad de la materia prima (Machado, 2000a). En general se reconoce que la cromatografía en capa fina (CCF) es el mejor método de identificación químico de la materia prima, aún cuando existan otros métodos cromatográficos como la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC). Un método de análisis prescrito en la farmacopea no necesariamente es el único o el más avanzado desde el punto de vista científico, pero es el método oficial en el cual se van a fundamentar las decisiones en los casos de duda o de litigio (Springfield, 2005).

La cromatografía es un método físico que permite la separación de mezclas en sus componentes individuales (Apéndice 3). Esta técnica a la par, proporciona información cualitativa y cuantitativa sobre las sustancias presentes en una mezcla. El análisis cualitativo se constituye por definición, como la "huella digital" o *fingerprint* de los componentes del extracto crudo; es decir, el cromatograma de la planta presenta un diseño único en el cual la proporción de sus componentes debe ser homogénea o variar en escalas bastante estrechas (Machado, 2000b).

La CCF tiene como fin elucidar el cromatograma del material vegetal en comparación con un mínimo de dos sustancias de referencia, que deben ser incluidas en la monografía como un reactivo (Springfield, 2005). Hasta 1987, la principal utilización de la CCF era básicamente cualitativa o semi-preparativa. Sin embargo, el desarrollo de los densitómetros modernos permitió la utilización de esta técnica para los análisis cuantitativos. El densitómetro mide el área y la intensidad de las manchas en un cromatograma en capa fina representando registros en forma de picos. La lectura de una placa puede ser llevada a cabo por transmitancia o reflectancia en la región ultravioleta (UV) y visible o por fluorescencia. Para cuantificar una sustancia utilizando esta técnica es necesario primero construir una curva de calibración con concentraciones conocidas de un patrón de la sustancia que va a ser analizada (Machado, 2000b).

### **Los marcadores químicos**

La elección de las sustancias de referencia para ser usadas en los cromatogramas está basada en ciertas consideraciones. Las drogas vegetales son mezclas complejas que contienen miles de constituyentes químicos diferentes, pero solo unos pocos e incluso algunas veces solo uno de estos elementos son los responsables de los efectos terapéuticos y/o tóxicos (Drasar y Moravcova, 2004). Los principios activos son los compuestos idóneos para el control de calidad, sin embargo, en la gran mayoría de los extractos de plantas medicinales no se conoce la identidad de estos componentes. En este caso se seleccionan otros compuestos, los marcadores, cuyo interés es únicamente desde el punto de vista de control. Existen distintos tipos de marcadores: a) marcadores activos: son compuestos de actividad farmacológica conocida, pero su eficacia clínica no está demostrada; b) marcadores analíticos: son componentes cuyo efecto es desconocido, pero son abundantes y de fácil extracción; y c) marcadores negativos: son constituyentes que pueden tener propiedades tóxicas o alérgicas (Machado, 2000; Drasar y Moravcova, 2004; Solís *et al.*, 2005).

Los valores máximos y mínimos de estos marcadores determinan la estandarización del extracto. Estos compuestos son indispensables, además, en los estudios de estabilidad de las formas de dosificación de los fitofármacos, ya que proporcionan la información necesaria para llegar a la fecha de caducidad del producto (Lopes, 2000; Solís *et al.*, 2005).

En la actualidad, los análisis de marcadores químicos han sido aceptados por la OMS como una metodología para la evaluación de los fitomedicamentos, ya que la presencia o ausencia de uno o varios marcadores, permiten la identificación de distintas especies estrechamente relacionadas (Drasar y Moravcova, 2004). Además, de manera intraespecífica, la

determinación cuantitativa y selectiva de estos compuestos son empleados para evaluar la calidad de la materia prima.

### **Efectos que modifican a los fitoconstituyentes**

Las plantas medicinales son la materia prima para la elaboración de remedios herbolarios y medicamentos herbolarios o fitofármacos. Las distintas condiciones de crecimiento, periodo de colecta, origen geográfico, forma de secado y almacenamiento que reciben las plantas previamente a la elaboración de fitofármacos, pueden causar grandes variaciones en la calidad de la materia prima, lo que puede resultar en diferencias dentro de un mismo producto y entre productos. Por tanto para garantizar la calidad de un producto herbario, es necesario mantener en todo momento buenas prácticas de cultivo, manejo, recolección y postcosecha (Drasar y Moravcova, 2004; Solís *et al.*, 2005).

Las drogas vegetales que provienen de la recolección de plantas silvestres presentan una gran variabilidad con relación al contenido de componentes activos y secundarios (Sharapin, 2000). En este sentido, el cultivo de estas especies es recomendable por varias razones: permite conseguir cosechas abundantes; las plantas se obtienen en un estadio de crecimiento similar; se pueden aplicar técnicas de selección y mejora para obtener una mayor calidad de la droga; la producción está localizada; se reduce la posibilidad de adulteraciones y falsificaciones; y no atenta contra la población natural de las plantas (Kuklinski, 2000).

En un cultivo de plantas medicinales lo más importante es la cantidad de principios activos o marcadores presentes en la planta, o sea que la productividad es medida multiplicando la cantidad de material vegetal producido por el contenido de los principios activos y expresando el resultado en cantidad de constituyentes químicos por unidad de área (Sharapin, 2000).

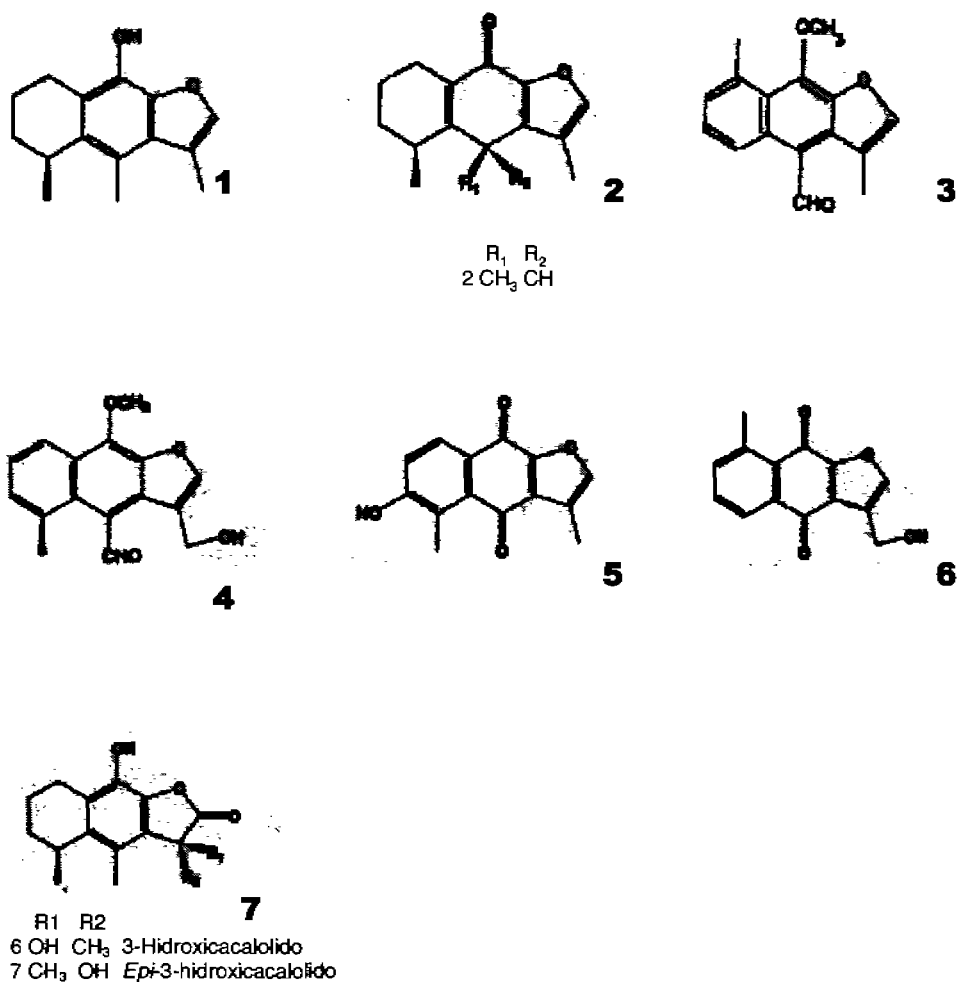
La recolección depende de las características de cada especie medicinal. El momento de la recolección condiciona notablemente la calidad y la cantidad de principio activo de la especie recolectada y es preciso tener en cuenta una serie de factores que afectarán a la droga, como son: la edad de la especie vegetal, la etapa fenológica en la que se encuentre, los factores ambientales, e incluso en algunas especies, la hora de colecta. Los órganos vegetales que se recolectan condicionan asimismo la época y las características de la recolección; así por ejemplo, es recomendable que las RR se recolectan en otoño, cuando finalizan los procesos vegetativos; y las hojas deben cosecharse cuando la fotosíntesis es más activa (Tyler, 1979; Bruneton, 1999; Kuklinski, 2000; Sharapin, 2000). Con el objeto de cumplir con los requisitos de la farmacopea en lo que respecta a las cantidades máximas

de cenizas ácidas insolubles, impurezas adheridas y arena, toda la materia del suelo debe ser eliminada de las estructuras subterráneas que se cosechen (Tyler, 1979; Bruneton, 1999).

Las técnicas de cultivo, así como la selección y mejoramiento son de dominio de la tecnología agronómica y ellas no constituyen la finalidad de este trabajo. Sin embargo, el seguimiento químico que tiene como base el análisis cuantitativo de algunos de los metabolitos secundarios de la planta (principios activos o marcadores), que permita optimizar el momento de su recolecta, es indispensable que se realice de manera paralela a las prácticas agronómicas. Por tanto, dicho análisis forma parte de los objetivos del presente estudio.

### **Productos naturales del complejo "matarique"**

Debido a su importancia en la medicina tradicional el complejo "matarique" ha sido muy estudiado desde distintas disciplinas. Con todo, la especie que ha despertado más atención es *Psacalium decompositum*, la cual ha sido estudiada desde el siglo pasado por diversos grupos de investigación, en varias partes del mundo (México, Escocia, Japón). Pero sin duda, los trabajos más importantes en cuanto a la fitoquímica de la especie, se han realizado en el Instituto de Química de la UNAM. Algunos de estos resultados se resumen en el Apéndice 4. En 1964, Romo y Joseph-Nathan aislaron y caracterizaron por primera vez los compuestos mayoritarios del extracto hexánico de las raíces de *P. decompositum*, conocida entonces como *Cacalia decomposita* A. Gray, siendo éstos el cacalol y la cacalona. Estos compuestos fueron los primeros representantes de una nueva clase de moléculas, descritas por primera vez en la naturaleza (Romo y Joseph-Nathan, 1964). Posteriormente fueron aislados otros productos naturales, también abundantes del mismo extracto, a los que se les dio el nombre de maturina, maturinina, maturona y maturinona (Romo *et al.*, 1969). A todos estos compuestos, de naturaleza sesquiterpénica, se les conoce actualmente como cacalólidos y son derivados del furanoeremofilano: el cacalol (Fig. 2.1.1) tiene como esqueleto al furano tetrahidronaftaleno; la cacalona (Fig. 2.1.2) posee un grupo cetónico en el anillo acíclico; la maturinina (Fig. 2.1.3) es totalmente aromática, además de que el metilo en 4 está oxidado a aldehído; la maturina (Fig. 2.1.4) tiene un metilo en 3 oxidado a alcohol; y en la maturinona (Fig. 2.1.5) y la maturona (Fig. 2.1.6) el anillo central es de forma quinoidea (Romo, 1969). De manera más reciente, fueron aislados dos eremofilanolidos del extracto acuoso. Éstos son el 3-hidroxicacalolido (Fig. 2.1.7) y su isómero, el *epi*-3-hidroxicacalolido (Fig. 2.1.7), de los cuales existe una patente (Inman *et al.*, 1999).



**Figura 2.1.** Estructura de cacalólidos: 1) cacalol; 2) cacalona; 3) maturinina; 4) maturina; 5) maturinona; 6) maturona; 7) 3-hidroxicacalolido y epi-3-hidroxicacalolido.

Sin embargo tres grupos de investigación de manera simultánea, en 1969, revisaron la estructura de la maturinona y convergieron en que la posición de un grupo metilo (3,8-dimetil isómero) había sido descrita erróneamente. El arreglo final de esta molécula fue confirmado por síntesis química y análisis de cristalografía (Brown y Thompson, 1969; Kakisawua *et al.*, 1969; Ruiz, *et al.*, 1969; Inouye *et al.*, 1977). Paralelamente, fueron sometidos a revisión los demás derivados del furanoeremofilano, reestructurando en todos la posición del grupo metilo (Samek *et al.*, 1969; Inouye *et al.*, 1975; Casares y Maldonado, 1976; Yuste *et al.*, 1976; Yuste y Walls, 1976).

Al mismo tiempo, se han caracterizado otros productos naturales que son menos abundantes de la especie, algunos de ellos son el éter metílico de hidrocacalo, la decompostina, la hidroperoxicacalona, y el cacalólido Romo-A (Romo *et al.*, 1968; Rodríguez-Hahn *et al.* 1968; Jiménez-Estrada *et al.*, 1997; Reyes-Chilpa *et al.* 2002).



Asimismo, han sido encontrados otros compuestos más comunes como: el cipreno, el ácido trans-crotónico y el guayazuleno (Romo *et al.*, 1968).

Aunado a lo anterior, se han realizado numerosos estudios que describen, por distintas vías, la síntesis de algunos de los productos naturales más cuantiosos en *P. decompositum*, éstos son: el cacalol, la maturinona y la cacalona (Brown y Thompson, 1969; Kakisawua *et al.*, 1969; Ruiz, *et al.*, 1969; Inouye *et al.*, 1975; Yuste y Walls, 1976; Inouye *et al.*, 1977; Huffman y Pandian, 1979; Garofalo *et al.*, 1999). A la fecha, en el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, se está realizando un proyecto de investigación que intenta detallar la biosíntesis de algunos eremofilanos en raíces transformadas de distintas especies del género *Psacalium*, además de las proteínas inactivadoras de la síntesis de proteínas (Reyes-Chilpa, com. pers.).

Otras de las especies del complejo "matarique" en las que se han caracterizado algunos metabolitos secundarios son *P. radulifolium* y *P. peltatum*. Del extracto hexánico de *P. radulifolium* fueron aislados el cacalol, el *O*-metil-1,2-éter de dehidrocacalol, la adenostina A, la decompostina, la neoadenostilona y una mezcla 1:1 de cacalona y *epi*-cacalona, además de cuatro nuevas sustancias a las que se les denominó; radulifolina A, *epi*-radulifolina A, radulifolina B, radulifolina C (Garduño-Ramírez *et al.*, 2001). Además se aislaron otros cuatro eremofilanos nuevos: la radulifolina D, la radulifolina E, la radulifolina F y la *epi*-radulifolina F, junto con otros compuestos ya conocidos (maturinona, acetil maturina, dimaturina, triacantanol, hidroxicacalólida, *epi*- hidroxicacalólida y 3-O- $\beta$ -D-glucopiranosido de  $\beta$ -sitosterilo,  $\beta$ -D-glucopiranososa y sacarosa).

En *A. thurberi* se ha reportado que el extracto acuoso contiene una mezcla de dos sesquiterpenos (benzoquinonas), la perezona y su derivado el pipitzol (Alarcón-Aguilar, 1997).

#### **Actividad biológica de *Psacalium* spp.**

Las raíces de *P. decompositum* (Sin: *Cacalia decomposita*) han sido estudiadas desde el siglo pasado en distintas partes del mundo. La investigación en cuanto a la estructura y la síntesis de algunos de sus productos naturales ha sido profusa. De esta manera, algunos de los compuestos mayoritarios de los extractos de hexano y diclorometano, como el cacalol y la cacalona, han despertado más interés en cuanto a la búsqueda de su actividad biológica. De igual forma, se han realizado estudios farmacológicos en el resto de las especies del complejo "matarique" (Apéndice 5).

### De las propiedades anti-diabéticas

De los diversos estudios con actividad biológica que se han realizado en el complejo, los más abundantes y que destacan son los que intentan validar el uso de éstas herbáceas en la medicina popular como plantas antidiabéticas. En uno de los primeros estudios etnofarmacológicos de plantas medicinales mexicanas empleadas tradicionalmente en el control de la diabetes, se evaluaron las propiedades hipoglicémicas de 21 especies en ratones CD1. Entre estas especies se incluye a *P. decompositum*, que al administrarse el extracto acuoso por distintas vías (oral e intraperitoneal) mostró actividad hipoglucemiante semejante entre sí (Pérez *et al.*, 1984). Estudios posteriores han demostrado la actividad hipoglucemiante y anti-hiperglicémica del extracto acuoso utilizando distintos modelos animales (Alarcón-Aguilar *et al.*, 1997; Inman *et al.*, 1999; Alarcón-Aguilar *et al.*, 2000a). Por otro lado, un estudio comparativo entre los extractos acuosos de tres especies del complejo "matarique", *P. decompositum*, *P. peltatum* y *Acourtia thurberi*, concluyó que *P. decompositum* disminuye los niveles de glucosa en sangre de ratones y conejos de manera más eficaz que las otras especies (Alarcón-Aguilar *et al.*, 1997).

Uno de los trabajos más polémicos en *P. decompositum* es el de Inman y colaboradores, en donde se reporta la acción anti-hiperglicémica del extracto acuoso, del cacalol y de dos sesquiterpenos (3-hidroxicalolido y *epi*-3-hidroxicalolido) aislados del mismo extracto que fueron aplicados en una mezcla 1:1 en ratones *ob/ob*. Dados los resultados crearon una patente por parte de *Shaman Pharmaceuticals* sobre éstos últimos sesquiterpenos (Inman *et al.*, 1999).

Sin embargo, otro grupo de investigación del Departamento de Ciencias de la Salud de la UAM en conjunto con el Instituto de química de la UNAM, al administrar en ratones sanos (CD1) algunos sesquiterpenos (acetato de cacalol, cacalona, maturina) de *P. decompositum*, incluyendo el cacalol, no encontraron actividad hipoglicémica. No obstante, reportan que una fracción de polisacáridos, obtenida del extracto acuoso, tiene gran actividad hipoglicémica. Además, concluyen que el extracto acuoso disminuye marcadamente los niveles de glucosa en sangre de ratones sanos y con diabetes ligera, en cambio en los ratones con diabetes severa, aunque los resultados son significativos, el efecto hipoglicémico fue menor (Alarcón-Aguilar *et al.*, 2000a). En un trabajo posterior, prueban los extractos de hexano, metanol y acuoso en ratones sanos. Los resultados indican que solo el extracto acuoso tiene actividad hipoglucemiante de manera dosis-dependiente (50, 100, 200, y 400 mg/kg). Conjuntamente ensayan un precipitado del mismo extracto macerado con metanol en ratones sanos y con diabetes inducida con alloxan. Los resultados indican que se produce un pronunciado

decremento en los niveles de glucosa en sangre en ratones con diabetes ligera, tanto como el control positivo (tolbutamida). Sin embargo, el efecto no es significativo en ratones con diabetes severa. Asimismo, corroboran el efecto hipoglucemiante de la fracción de polisacáridos antes obtenida en ratones normoglicémicos (Alarcón-Aguilar *et al.*, 2000b).

Otra de las especies más estudiadas del complejo es *P. peltatum*. En esta especie se ha demostrado el efecto hiperglucemiante del extracto acuoso en ratones y conejos con hiperglicemia temporal y con diabetes ligera; no obstante, la actividad no es significativa en los mismos modelos a los que se les indujo diabetes severa (Roman *et al.*, 1992; Alarcón-Aguilar *et al.*, 1997; Contreras-Weber *et al.*, 2002; Alarcón-Aguilar *et al.*, 2003). Asimismo se han evaluado los extractos de hexano, cloroformo, metanol y de agua en ratones temporalmente hiperglicémicos. Los resultados indican que éstos dos últimos manifiestan la mayor actividad. El extracto metanólico fue sometido a una separación por cromatografía en columna y las fracciones obtenidas se administraron a ratones sanos. Las pruebas biológicas indicaron que la fracción siete presentó actividad hipoglicémica, por lo que se subdividió y se obtuvo que las subfracciones dos y tres reducen significativamente los niveles de glucosa en ratones sanos (Contreras-Weber *et al.*, 2002).

De la misma forma, en *P. radulifolium* se evaluaron las propiedades hipoglicemiantes, antihiperglicémicas y anti-oxidantes del extracto metanólico y algunos productos naturales (cacalol, *O*-metil-1,2-éter de dehidrocacalol, decompostina) de las raíces. El efecto hipoglicémico fue comprobado en ratas, en tanto que los productos naturales no tuvieron resultados significativos. De la misma forma, no se observó la actividad antihiperglicémica en ratas Wistar con diabetes inducida por estreptozotocina. Sin embargo, se obtuvieron resultados positivos en la acción anti-oxidante del cacalol en radicales libres estables de DPPH (Garduño-Ramírez, 2003).

#### Otras actividades biológicas

De las distintas actividades que se ha evaluado en algunas especies del complejo "matarique" se encuentra la antimicrobiana. En *Psacalium decompositum* se ha probado la actividad de los extractos metanólico y hexánico, así como del cacalol y algunos de sus derivados sobre bacterias (*Salmonella typha*, *Shigella sonni*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Candida albicans* y *Cryptococcus neoformans*), hongos (*Penicillium juniculosus*, *Aspergillus niger* y *Rhizopus oligosporus*) y levaduras (*Hansenula anomala* y *Saccharomyces cervisiae*). Los resultados muestran

que tanto ambos extractos como el cacalol tienen una acción antimicrobiana similar (Jiménez *et al.*, 1992).

Iguamente, se ha probado la actividad de los extractos metanólico y hexánico de *Psacalium radulifolium*, sobre distintos organismos (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus miricanthus*, *Candida albicans* y *Artemia salina*). El extracto hexánico mostró actividad antimicrobial sobre *S. aureus* y *C. albicans*. De este extracto fueron aislados algunos sesquiterpenos previamente reportados en *P. decompositum* (cacalol, *O*-metil-1,2-éter de dehidrocacalol, adenostina A, decompostina, neoadenostilona, cacalona y *epi*-cacalona), así como cuatro nuevos compuestos: radulifolina A, *epi*-radulifolina A, radulifolina B y radulifolina C; de estos la radulifolina A presentó una actividad más amplia (Garduño-Ramírez *et al.*, 2001).

Por otro lado, se realizó un estudio de fitotoxicidad del cacalol y algunos derivados (acetato de cacalol y metil cacalol), extraídos de las raíces de *P. decompositum*, sobre la germinación y crecimiento de la radícula de dos especies de plantas, *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. (Poaceae) y *Amaranthus hypochondriacus* L. (Amaranthaceae); y el crecimiento radial de cuatro hongos fitopatógenos (*Helminthosporium* sp., *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. y *Pythium* sp.). *A. hypochondriacus* fue sensible en todos los tratamientos, en tanto que el acetato de cacalol presentó especificidad sobre la inhibición en *E. crusgalli*. Asimismo, el cacalol demostró ser un compuesto fungitóxico.

### **Aspectos fisiológicos de *P. decompositum***

A pesar de que esta especie ha sido muy estudiada en los aspectos fitoquímicos y farmacológicos, son pocos los conocimientos que se tienen respecto a su fisiología. Un estudio evaluó el esfuerzo reproductivo y la capacidad germinativa de esta especie de dos poblaciones a partir de su producción de semillas y los requerimientos germinativos de éstas, concluyendo que la germinación de las semillas no se ve afectada por la luz, la temperatura (20-35°C) ni por la aplicación exógena de ácido giberélico (Hilerio, 2000).

Un segundo trabajo revela que la mayor biomasa de plántulas de *P. decompositum*, bajo condiciones de invernadero, se obtiene cuando se somete a la especie a altas intensidades lumínicas (400-1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  / 25°C / 70% HR); en cambio la sombra (75-400  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  / 20°C / 40% HR), el sustrato (tierra o arena) y la condición de riego (capacidad de campo o estrés hídrico) no son factores que afecten significativamente la biomasa de sus hojas ni de sus RR. Asimismo, incluye una descripción de las etapas de desarrollo de *P. decompositum* (Hilerio, 2004).

**Cuadro 2.1.** Fenología de *P. decompositum*

ETAPAS DE DESARROLLO	ESTACIONALIDAD (MES)
Rebrote	inicios de mayo
Expansión de hojas	finales de mayo
Floración (>1 año) germinación (<1 año)	mediados de junio
Fructificación	finales de junio e inicios de agosto
Senescencia	finales de septiembre
Crecimiento de la parte subterránea	↑ junio; ↓ octubre
Ausencia de crecimiento (inicios del invierno)	finales de octubre e inicios de noviembre

En esta sección del estudio, se incluyeron las raíces y rizomas (RR) de todas las especies del complejo "matarique" dentro del análisis cualitativo, mientras que el análisis cuantitativo solo se realizó con *P. decompositum*, debido al interés de implementar el cultivo de esta por ser la especie dominante del complejo y su actividad biológica.

### Objetivo general

- ❖ Obtener el cromatograma de cada especie del complejo "matarique" para distinguir entre la especie dominante (*Psacalium decompositum*) y las especies sustitutas (*P. peltatum*, *P. radulifolium*, *P. sinuatum* y *A. thurberi*).
- ❖ Determinar el momento de mayor producción de cacalol en las estructuras subterráneas de *P. decompositum*

### Objetivos específicos

- ❖ Proponer los compuestos químicos que puedan ser utilizados como marcadores que permitan el adecuado control de calidad de *P. decompositum*.
- ❖ Evaluar el contenido de cacalol en las estructuras subterráneas de *P. decompositum* en función de su estado fenológico en plantas colectadas en campo y cosechadas en invernadero.
- ❖ Evaluar la influencia de la luz en el contenido de cacalol en las estructuras subterráneas de *P. decompositum* cultivadas en invernadero.

**Material vegetal**

Material de campo

Las cinco especies que conforman el complejo "matarique" fueron colectadas de su hábitat natural (Tabla 2.1). En el caso particular de *P. decompositum*, los ejemplares fueron seleccionados por su estado fenológico: plántulas (P), estado vegetativo (V), estado reproductivo (R) y senescencia (S). El número de individuos estuvo en función de su disponibilidad en el campo. Con los datos de cada especie se elaboró su respectiva ficha de colecta (Apéndice 6). Los ejemplares de herbario fueron depositados en el Herbario Nacional (MEXU) del Instituto de Biología de la UNAM.

**Tabla 2.1.** Datos de colecta.

Especie	Localidad	Fecha	Coordenadas geográficas	Altitud
<i>P. decompositum</i>	Humirá, Guachochic, Chihuahua.	Ago-2003	N 27°25'58" W 107°29'20'	1826 msnm
<i>P. peltatum</i>	Santa Ana, Milpa Alta, D. F.	Oct-2003	N 19°09.866 W 99°59.171	2815 msnm
<i>P. radulifolium</i>	Sierra de Álvarez, San Luis Potosí	Sep-2003	N 22°02.583 W 100°36.802	2309 msnm
<i>P. sinuatum</i>	Carretera Parral-Guachochic, Chihuahua.	May-2005	N 26.85664 W 16.09099	2213 msnm
<i>A. turberi</i>	Carretera Parral-Guachochic, Chihuahua.	May-2005	N 26.85664 W 16.09099	2213 msnm

Material de invernadero

Semillas de *P. decompositum* colectadas en Humirá, Guachochic, Chihuahua en septiembre del 2000 fueron germinadas en medio estéril (agar 9 g/l) e incubadas a temperatura constante (25°C) con fotoperiodo de 12 horas (Hilerio, 2000) por 10 días, después de lo cual fueron transplantadas a macetas con tierra de hoja/arena de río (2:1) como sustrato bajo distintas intensidades lumínicas: luz (400-1000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  / 25°C / 40% HR) y sombra (70-400  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  / 20°C / 70% HR). Algunos especímenes, fueron donados de otro estudio por el M. en C. Martín Hilerio, con edades entre 1 y 2 años.

Las plantas fueron regadas a capacidad de campo y mantenidas en esas condiciones hasta el momento de su cosecha determinada por su estado fenológico (Apéndice 7). Los tratamientos fueron organizados en cuatro grupos (estado fenológico) por cada condición de luz (alta/baja). Por cada grupo se tomaron tres muestras formada por 2 individuos cada una.

### **Obtención de extractos**

Las RR fueron pesados y molidos para su extracción con hexano (R. A. Baker), en una proporción de 1g de material vegetal por 5 ml de disolvente, se mantuvieron a temperatura ambiente y en oscuridad por 24 h con agitación ocasional. El extracto fue separado del material vegetal mediante filtración por gravedad y secado al vacío.

### **Perfiles cromatográficos cualitativos**

La elaboración de las CCF fue realizada bajo los lineamientos que indica la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos basados en la OMS (Apéndice 3). Se aplicaron 10  $\mu$ L de cada extracto, con ayuda de un capilar graduado, en placas de aluminio (Plates Silica Gel 60 F<sub>254</sub>, Merck), las cuales fueron corridas empleando una mezcla de hexano/acetato de etilo (8:2) como fase móvil y reveladas con Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> al 2%. Las placas se observaron con lámpara de luz UV y fotografiadas con cámara digital previamente a ser reveladas.

Algunos de los compuestos químicos fueron identificados a través su  $R_f$  y color con ayuda del Dr. Manuel Jiménez Estrada y el Dr. Ricardo Reyes Chilpa del Instituto de Química, UNAM.

### **Perfiles cromatográficos cuantitativos**

Se elaboró una curva patrón de cacalol como estándar, dicha sustancia fue proporcionada y purificada de RR de *P. decompositum* por el Dr. Jiménez Para la elaboración de las placas Estrada. Los extractos secos de las muestras fueron diluidos en hexano (1mg/ml). De esta dilución fueron aplicados 15  $\mu$ L de las muestras de invernadero y 5  $\mu$ L de las de campo en placas de vidrio (Plates Silica Gel 60 F<sub>254</sub>, Merck). Todas las aplicaciones fueron realizadas por medio de un automuestreador (Automatic TLC Sampler 4).

Las placas fue corrida 6 veces en hexano y luego en hexano/acetato de etilo (8:2). A través de un densitómetro (Camag TLC Scanner 3) se tomaron lecturas de densidad óptica de la curva patrón y las muestras para su posterior análisis y cuantificación.

### **Análisis estadístico**

A partir de la curva patrón se calculó la cantidad de cacalol (mg) contenido en un gramo de raíz. Se obtuvo el promedio de dicha concentración con la cual se elaboraron las gráficas correspondientes para cada tratamiento. Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza de una vía (ANOVA) con  $p \leq 0.05$  para determinar las diferencias significativas (STATA Ver. 6.0).



## RESULTADOS

### CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL CROMATOGRÁFICO DEL COMPLEJO "MATARIQUE"

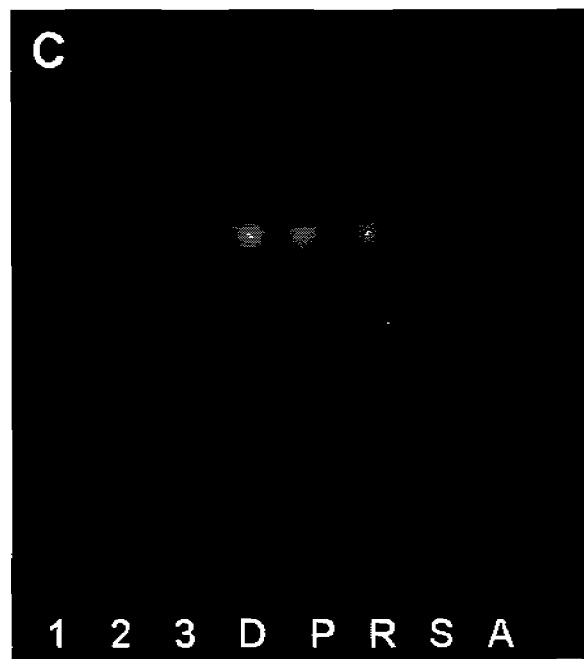
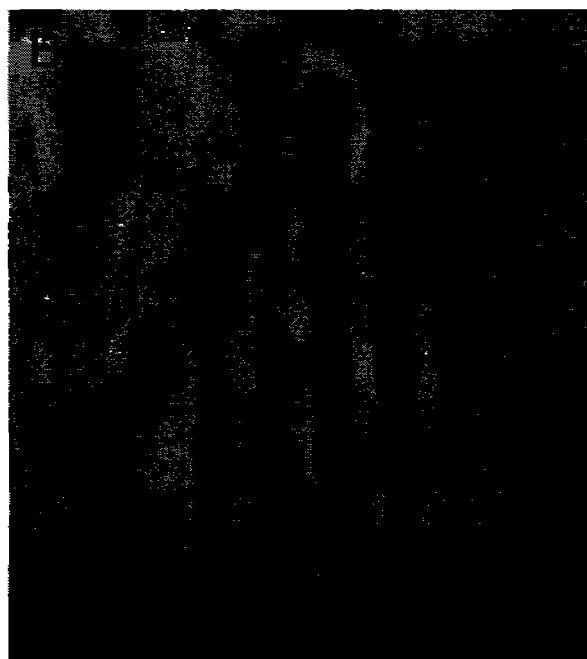
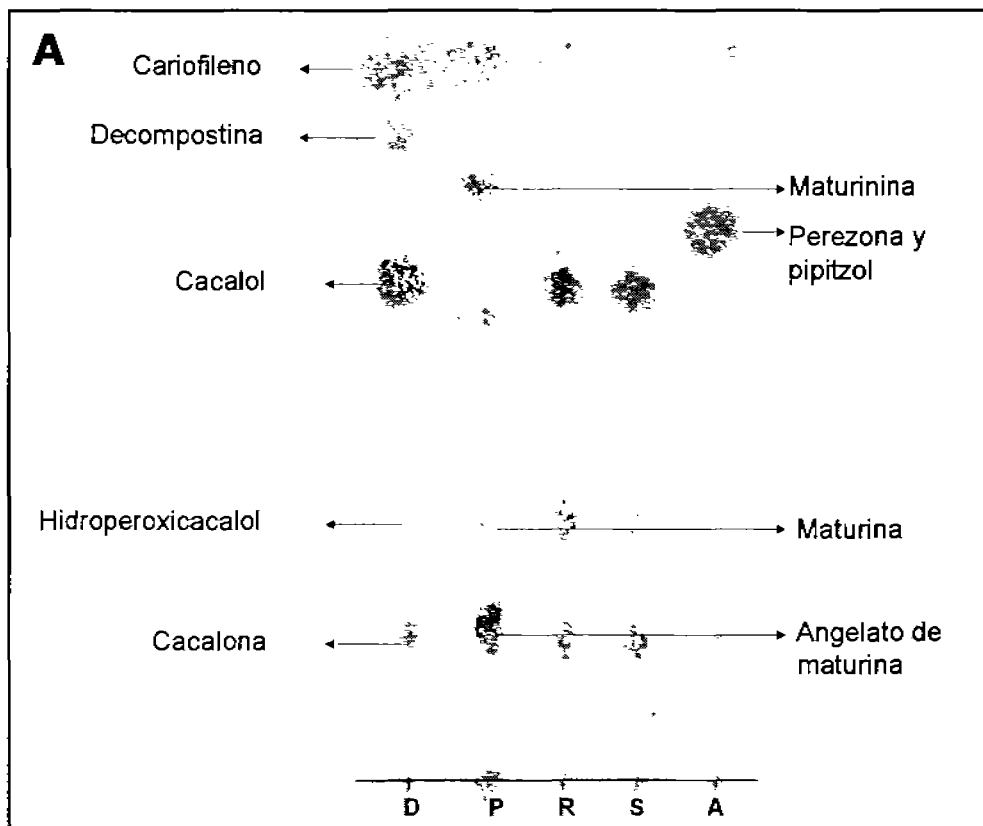
Se pudieron identificar diez de los compuestos reportados en la literatura perteneciente al complejo "matarique": cariofileno, decompostina, maturinina, perezona, pipitzol, cacalol, hidropoxicacalol, maturina, angelato de maturina y cacalona (Cuadro 2.2). En luz visible y después del revelado de las placas, los compuestos que son más fácilmente distinguibles son el cacalol y su derivado por oxidación, la cacalona, debido a que tienen un color azul característico; en tanto que el angelato de maturina es negro. Por su parte el hidropoxicacalol es de color amarillo y la mezcla de perezona y pipitzol se co-revelan en una tonalidad naranja, aún sin necesidad del  $Ce(SO_4)_2$ . El resto de los compuestos presentan coloraciones de café a gris oscuro (Figura 2.2 a).

Bajo  $\lambda$  (254 nm) se presenta una uniformidad de coloración oscura en todas las manchas. En contraste, con  $\lambda$  (365 nm) se expone la presencia de otros compuestos cuyas manchas se observan en una amplia gama de colores que van del morado al azul y del verde al amarillo, así como algunos tonos de café, gris y negro (Figura 2.2 b y c).

Estos metabolitos se distribuyen de distinta forma para cada especie, solo el cariofileno está presente en todas las especies (Cuadro 2.3). *P. decompositum* contiene, además, cacalona, cacalol, hidroxiperoxycacalol y decompostina; *P. peltatum* muestra angelato de maturina, maturina y maturinina; *P. radulifolium* revela cacalona, cacalol y decompostina; en tanto que *P. sinuatum* solo presenta cacalol y cacalona; y en *A. thurberi* se manifiesta la presencia de perezona y pipitzol.

**Cuadro 2.2.** Características de algunos de los metabolitos de distintas especies del complejo "matarique" en cromatografía en capa fina.

COMPUESTO	$R_f$	Color bajo distintas longitudes de onda		
		Visible	Ultravioleta	
			(254 nm)	(365 nm)
Cacalona	0.20	Azul	Gris oscuro	No visible
Angelato de maturina	0.21	Gris oscuro	Negro	No visible
Maturina	0.34	Pardo	Gris oscuro	Café-verdoso
Hidropoxicacalol	0.36	Amarillo	Gris oscuro	Café-verdoso
Cacalol	0.65	Azul	Negro	No visible
Perezona	0.71	Naranja	Negro	No visible
Pipitzol	0.71	Naranja	Negro	No visible
Maturinina	0.77	Pardo	Negro	No visible
Decompostina	0.86	Café-grisáceo	Negro	Azul-grisáceo
Cariofileno	0.93	Café-rojizo	No visible	No visible



**Fig. 2.2.** Cromatografía en capa fina de las especies del complejo "matarique". A) Luz visible revelada con  $Ce(SO_4)_2$ ; B) Luz UV (254 nm) y C) Luz UV (365 nm). Estándares de: 1: Cacalol; 2: Maturina; 3: Angelato de maturina: D: *P. decompositum*, P: *P. peltatum*; R: *P. radulifolium*; S: *P. sinuatum* y A: *A. thurberi*.

**Cuadro 2.3.** Metabolitos presentes en las especies del complejo "matarique".

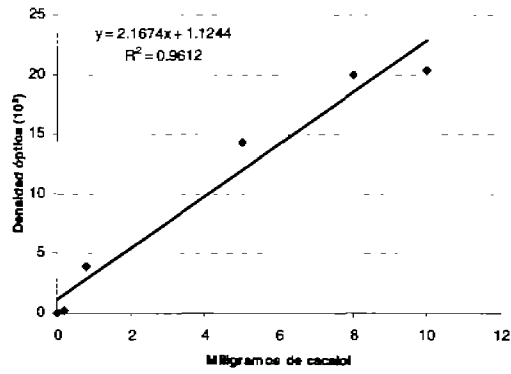
Compuesto	<i>P. decompositum</i>	<i>P. peltatum</i>	<i>P. radulifolium</i>	<i>P. sinuatum</i>	<i>A. thurberi</i>
Cacalona	X		X	X	
Angelato de maturina		X			
Maturina		X			
Hidroperoxicacalol	X				
Cacalol	X		X	X	
Perezona					X
Pipitzol					X
Maturinina		X			
Decompostina	X		X		
Cariofileno	X	X	X	X	X

### **CUANTIFICACIÓN DE CACALOL EN *P. decompositum***

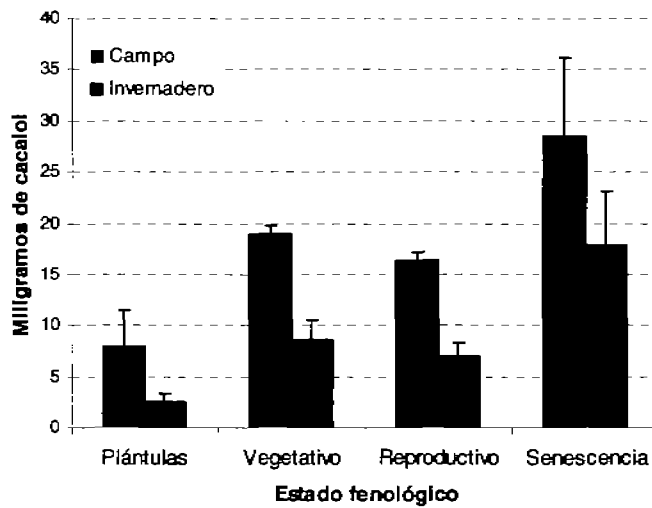
Los registros de rendimientos y contenido de cacalol se encuentran en el apéndice 7. La curva patrón permitió calcular las concentraciones de las muestras colectadas en campo e invernadero (Gráfica 2.1).

El cacalol estuvo presente en todas las muestras estudiadas. La concentración de cacalol, tanto en los ejemplares provenientes del campo como en los de invernadero, demuestra que dicho compuesto está presente desde el estadio de plántula, aumentando en la etapa vegetativa para luego reducir sus concentraciones cuando la planta se encuentra en estado reproductivo de manera no significativa ( ) y, finalmente, expresa mayor concentración durante la senescencia de esta herbácea. No obstante, aunque esta cinética se reproduce en las plantas de invernadero y campo, el contenido de este metabolito es mayor en los individuos colectados en el campo (Gráfica 2.2).

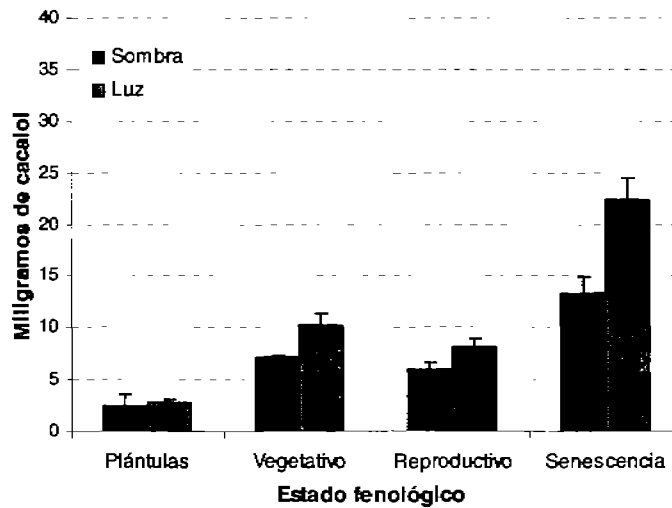
Se observó que la producción y/o almacenamiento de cacalol en RR de plantas cultivadas en invernadero, se ve favorecida con la intensidad lumínica, excepto cuando se encuentra en su primer estadio de vida ( $P_f= 0.6384$ ). Este aumento se ve especialmente favorecido en la senescencia ( $P_f= 0.0039$ ) (Gráfica 2.3).



**Gráfica 2.1.** Curva patrón de cacalol.



**Gráfica 2.2.** Contenido de cacalol en plantas crecidas en campo e invernadero en diferentes estados fenológicos.



**Gráfica 2.3.** Variaciones de cacalol en plantas crecidas en invernadero bajo distintas intensidades de luz.

A través de cromatografía en capa fina (CCF) fueron identificados en las especies del complejo "matarique" 10 metabolitos debidamente descritos por la literatura (Romo *et al.*, 1968; Romo, 1969; Inouye *et al.*, 1977; Alarcón-Aguilar, 1997; Garduño-Ramírez *et al.*, 2001). De ellos el cariofileno es el de menor interés, ya que esta ampliamente distribuido entre los vegetales (Romo *et al.*, 1968). El resto de los metabolitos secundarios: decompostina, maturinina, perezona, pipitzol, cacalol, hidroperoxicacalol, maturina, angelato de maturina y cacalona son conocidos como cacalólidos, es decir, sesquiterpenos derivados del furanoeremofilano (Romo, 1969), y tienen mayor importancia para este estudio debido a que son propios del género *Psacalium* (Tribu Senecioneae) (Pérez-Castorena, 1997).

El patrón de manchas en la placa revelada y vista en  $\lambda$  (254 nm) coincide, de tal manera que los cacalólidos identificados pueden observarse en ambas placas. La intensidad de la mancha (gris oscuro o negro) en la placa en  $\lambda$  (254 nm) esta dada por la concentración del metabolito. Cuando la placa es vista en  $\lambda$  (365 nm) se evidencia la presencia de otros compuestos que por su concentración no pueden ser observados posteriormente del revelado de la placa. De los sesquiterpenos identificados, bajo esta longitud, solo la maturina, el hidroperoxicacalol y la decompostina pueden observarse. En cambio fluorescen en tonos azules, morados y amarillos, otros compuestos que, por su coloración, posiblemente se trate de alcaloides (Wagner, 1984), debido a lo cual, no fueron incluidos sus valores de  $R_f$  en el cuadro 2.2.

La presencia y/o ausencia de los metabolitos que se pudieron identificar, por su valor de  $R_f$  y el color que reflejan, constituyen la huella digital o *fingerprint* de cada especie (Cuadro 2.3). Los huellas digitales que son más fácilmente reconocibles en luz visible son los de *P. peltatum* y *A. thurberi* ya que no comparten sus componentes químicos entre sí ni con las otras especies del complejo: *P. decompositum*, *P. radulifolium* y *P. sinuatum* (Cuadro 2.3 y Figura 2.1). Estas últimas, comparten varios compuestos con  $R_f$  iguales y algunos otros con  $R_f$  parecidos por lo que se dificulta su caracterización en la placa revelada o vista en  $\lambda$  (254 nm). En consecuencia, resulta de gran utilidad la correlación con la placa en  $\lambda$  (365 nm). De esta forma *P. decompositum* se caracteriza por contener cacalol, cacalona, decompostina e hidroperoxicacalol, siendo este último el componente más importante de su perfil. Aunado a esto, en  $\lambda$  (365 nm) se observa un compuesto no identificado por debajo del cacalol ( $R_f=0.62$ ) de color blanco. Por su parte, *P. radulifolium* contiene cacalol, cacalona y

decompostina y en  $\lambda$  (365 nm), se aprecia el desplazamiento de un metabolito muy polar, que llega hasta el frente de la planca, el cual no fue determinado y que fosforece en azul claro; además, se muestra otro compuesto no identificado de color amarillo intenso ( $R_f=0.62$ ) por debajo del cacalol. En cuanto a *P. peltatum*, esta especie contiene cacalol, cacalona y en  $\lambda$  (254 nm) se distingue un compuesto no identificado ( $R_f=0.67$ ) justo por arriba del cacalol, mientras que en  $\lambda$  (365 nm) se ve otro compuesto no registrado por debajo del cacalol ( $R_f=0.62$ ) de color azul-morado. Es probable que el primero corresponda a la radulifolina B (Garduño-Ramírez *et al.*, 2001).

A pesar de que en las raíces de *P. decompositum* se ha reportado la presencia de maturina, maturinona y maturona (Joseph-Nathan, 1970), en este estudio no fue observada ninguna de ellas, quizá debido a que la concentración de estos compuestos es muy poca y no es detectable en la placa revelada ni en UV.

El empleo de marcadores siempre debe estar dado por un conjunto de dos o tres compuestos como mínimo para cada especie (Drasar y Moravcova, 2004; Springfield, 2005), Bajo las condiciones realizadas en este estudio, el cacalol y la cacalona, a pesar de que cuentan con tamaño y color manchas fácilmente reconocibles en CCF, al no ser exclusivos de una especie, no pueden ser utilizados en dúo como únicos marcadores químicos en este complejo medicinal. En cambio el hidroperoxicacalol que es característico de *P. decompositum*; el angelato de maturina, la maturina y la maturinina que son muy evidentes en *P. peltatum*; y la mezcla de las dos benzoquinonas (perezona y pipitzol) distintivas de *A. thurberi* son, todos ellos, compuestos candidatos para ser usados como marcadores químicos para el complejo "matarique". En este sentido, los marcadores químicos deben ser seleccionados para diferenciar a la especie dominante del complejo, *P. decompositum*, de las especies sustitutas: *P. peltatum*, *P. radulifolium*, *P. sinuatum* y *A. thurberi*.

Asimismo, otro criterio para elegir a un marcador es si este ha presentado actividad biológica, ya que entonces, puede funcionar como un biomarcador (Kulinski, 2000; Drasar y Moravcova, 2004; Solís *et al.*, 2005) además, de marcador químico. Este es el caso del cacalol, que además de tener actividad antioxidante, antimicrobiana, fitotóxica y antihiperglicémica (Jiménez *et al.*, 1992; Inman *et al.*, 1999; Garduño-Ramírez *et al.*, 2001; Garduño-Ramírez, 2003), es muy abundante en el extracto hexánico y su coloración azul al ser revelado en CCF con  $Ce(SO_4)_2$  es característica.

Por lo anterior, los marcadores que se proponen para la identificación de *P. decompositum* son el hidroperoxicacalol y el cacalol.

Por otro lado, el análisis cuantitativo del cacalol mostró que éste estuvo presente en las RR de todos los individuos de campo e invernadero estudiados, independientemente de su etapa fenológica. La mayor acumulación del metabolito se presenta cuando la planta se encuentra en senescencia, sin importar su sitio de procedencia. Esto concuerda con la literatura que ha reportado que las estructuras subterráneas se colectan en otoño, cuando finalizan los procesos vegetativos y los metabolitos se acumulan en las estructuras subterráneas (Tyler, 1996; Bruneton, 1999; Kulinski, 2000; Sharapin, 2000). Asimismo, en este periodo el crecimiento de la parte subterránea disminuye (Hilerio, 2004), por lo que el metabolito se puede concentrar más.

Es importante hacer notar que la desviación estándar es mayor en las plantas de campo que respecto a las de invernadero, lo cual que refleja que las variables ambientales, que no están controladas en campo, afectan directamente la producción del metabolito. Por el contrario, hay mayor uniformidad en las muestras e invernadero, aunque la producción del metabolito no alcanza los niveles de las plantas de campo.

Investigaciones previas han demostrado que la intensidad lumínica puede afectar la producción de metabolitos secundarios (Thiele *et al.*, 1996; Canter *et al.*, 2005; Fonseca *et al.*, 2005). Los resultados obtenidos, de igual forma, muestran que la cantidad de cacalol en las estructuras subterráneas de *P. decompositum* se incrementan cuando las plantas son expuestas a mayor radiación y condiciones óptimas de riego, particularmente en las plantas que se encuentran en senescencia. Anteriormente se reportó que las plántulas crecidas en invernadero con mayor disponibilidad de luz producen mayor biomasa que sus similares mantenidas en sombra, bajo condiciones optimas de agua.(Hilerio, 2004). Lo anterior indica que la luz es un factor muy importante en el cultivo de esta especie, ya que por un lado favorece la mayor productividad de RR y por otro estimula la producción o almacenamiento del cacalol.

## CONCLUSIONES

---

En las especies estudiadas que componen el complejo "matarique", la especie dominante (*Psacalium decompositum*) y las sustitutas (*P. peltatum*, *P. radulifolium*, *P. sinuatum* y *A. thurberi*), se logró caracterizar su perfil cromatográfico. Sin embargo, es prioridad establecer los marcadores que sirvan para la certificación y autenticación de la especie dominante del complejo. Por lo anterior, bajo las condiciones experimentales empleadas en este estudio, para el *fingerprint* de *P. decompositum* se requiere como mínimo la presencia del cacalol y el hidroperoxicacalol, por tanto se propone a estos compuestos como marcadores químicos. Al mismo, el cacalol ha presentado actividad antioxidante, antimicrobiana, fitotóxica y antihiperglicémica, por tanto es un potencial biomarcador. No obstante, se requiere de más estudios farmacológicos que correlacionen la concentración de cacalol con la actividad medicinal de la especie.

Por otro lado, las condiciones del campo a pesar de presentar más variabilidad que las de invernadero, son mejores para la producción del cacalol, encontrándose que la temporada de mayor acumulación de este metabolito es a finales del otoño y comienzos del invierno, justo cuando la planta se encuentra en senescencia, por lo que se recomienda que la cosecha de esa especie se realice en los meses de septiembre y octubre. Asimismo, en las plantas mantenidas en invernadero, la mayor intensidad lumínica y la senescencia deben coincidir para una mayor acumulación del cacalol en las RR. No obstante, se desconocen los requerimientos específicos necesarios de cultivo para que esta especie en invernadero produzca las cantidades de cacalol que se pueden alcanzar en campo.



## BIBLIOGRAFÍA

---

- Alarcón-Aguilar, F. J., R. Roman-Ramos, M. Jiménez-Estrada, R. Reyes-Chilpa, B. González-Paredes y J. L. Flores-Saenz. 1997. Effects of three Mexican medicinal plants (*Asteraceae*) on blood glucose levels in healthy mice and rabbits. *Journal of Ethnopharmacology* **55**: 171-177.
- Alarcón-Aguilar, F. J., M. Jiménez-Estrada, R. Reyes-Chilpa, B. González-Paredes, G. Gonzalez-Paredes, C.C. Contreras-Weber y R. Roman-Ramos. 2000a. Hypoglycemic activity of root water decoction, sesquiterpenoids, and one polysaccharide fraction from *Psacalium decompositum* in mice. *Journal of Ethnopharmacology* **69**: 207-215.
- Alarcón-Aguilar, F. J., M. Jiménez-Estrada, R. Reyes-Chilpa y R. Roman-Ramos. 2000b. Hypoglycemic effect of extracts and fractions from *Psacalium decompositum* in healthy and alloxan-diabetic mice. *Journal of Ethnopharmacology* **72**: 21-27.
- Alarcón-Aguilar, F. J., A. Valdes-Arzate, S. Xolalpa-Molina, T. Banderas-Dorantes, M. Jiménez-Estrada, E. Hernandez-Galicia y R. Roman-Ramos. 2003. Hypoglycemic Activity of Two Polysaccharides Isolated from *Opuntia ficus-indica* and *O. streptacantha*. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* **46**: 139-142.
- Brown, M. y R. H. Thomson. 1969. Naturally Occurring Quinones. Part. XVI. Structure of Maturinone and Related Compounds. *Journal Chemical Society (C)*: 1184-1186.
- Bruneton, J. 1999. *Pharmacognosy: Phytochemistry Medicinal Plants*. Lavoisier Publishing, USA. 1119 pp.
- Canter, P., H. Thomas y E. Ernst. 2005. Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *TRENDS in Biotechnology* 23(4):180-185.
- Casares, A. y L. A. Maldonado. 1976. The structure of cacalone. *Tetrahedron Letters* **29**: 2485-2488.
- Contreras-Weber, C., S. Pérez-Gutiérrez, F. Alarcón-Aguilar y R. Román-Ramos. 2002. Anti-Hyperglycemic Effect of *Psacalium peltatum*. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* **45**: 134-136.
- Drasar P. y J. Moravcova. 2004. Recent advances in analysis of Chinese medical plants and traditional medicines. *Journal of Chromatography B*, 812: 3-21.
- Fonseca J., J. W. Rushing, N. C. Rajapakse, R. L. Thomas y M. B. Riley. 2005. Parthenolide and abscisic acid synthesis in feverfew are associated but environmental factor affects them dissimilarly. *Journal of Plant Physiology* **162**(5):485-494.

Garduño-Ramírez, M. L., A. Trejo, V. Navarro, R. Bye, E. Linares y G. Delgado. 2001. New Modified Eremophilanes from the roots of *Psacalium radulifolium*. *Journal of Natural Products* **64** (4): 432-435.

Garduño-Ramírez, M. L. y G. Delgado. 2003. New Eremophilanoids from the Roots of *Psacalium radulifolium*. Hypoglycemic, Antihyperglycemic and Anti-Oxidant Evaluations. *Revista de la Sociedad Química de México*. **47**(2): 160-166.

Garofalo, A. W., J. Litvak, L. Wang, L. G. Dubenko, R. Cooper y D. E. Bierer. 1999. Total Synthesis of Cacalol. *Journal of Organical Chemical* **64**: 3369-3372.

Hilerio, M. 2000. Germinación comparativa de "Matarique" (*Psacalium decompositum*: Asteraceae) procedente de dos poblaciones. Tesis de licenciatura. FES-Iztacala. UNAM. México. 46pp.

Hilerio, M. 2004. Efecto de la disponibilidad de luz y agua sobre la tasa de crecimiento y el patrón de asignación de biomasa en una especie medicinal: *Psacalium decompositum* (Asteraceae). Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. P.

Huffman, J. W. y R. Pandian. 1979. Synthesis of (±)- Cacalol. *Journal of Organical Chemical* **44**(11):1851-1855.

Inouye, Y., Y. Uchida y H. Kakisawa. 1975. Synthesis of cacalol. *Chemistry Letters*:1317-1318.

Inouye, Y., Y. Uchida y H. Kakisawa. 1977. Synthetic Proof for the Structures of Maturinone and Cacalol. *Bulletin of the Chemical of Society of Japan* **50**(4):961-966.

Inman, W., J. Luo, S. D. Jolad, S. R. King y R. Cooper. 1999. Antihyperglycemic Sesquiterpenes from *Psacalium decompositum*. *Journal Natural Product* **62**:1088-1092.

Jiménez, M., C. Lozano, J. Valdés, J. R. León, G. Alarcón y B. Sveshtarova. 1992. Actividad antimicrobiana del cacalol y sus derivados. *Revista Latinoamericana de Química*. **23**/1 y **22**/4:14-17.

Jiménez-Estrada, M., A. Navarro-Ocaña, E. Villanueva, B. Paredes-González, R. Reyes-Chilpa, R. Román-Ramos y F. Alarcón. 1997. Hydroperoxycacalone: A New Furanoremorphilane from *Psacalium decompositum*. *Planta Medica* **63**:387-388.

Joseph-Nathan, P., M. C. Negrete y M. P. González. 1970. Studies in *Cacalia* species. *Phytochemistry* **9**:1623-1628.

Kakisawa, H. y Y. Inouye. 1969. Diels-Alder Reaction of 3-Methylbenzofuran-4,7-Quinone II. A Revised Structure of Maturinone. *Tetrahedron Letters* **24**: 1929-1932.

Kuklinski, C. 2000. Farmacognosia: Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Omega. España. 515 pp.

Lopes, J. M. 2000. Formulación farmacéutica de productos fitoterapéuticos. En: N. Sharapin y R. Pinzón (Eds). Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. CAB / CYTED. Serie Ciencia y Tecnología 78:113-124.

Machado L. 2000. Control de calidad de productos fitoterapéuticos. En: N. Sharapin y R. Pinzón (Eds). Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. CAB / CYTED. Serie Ciencia y Tecnología 78:157-178.

Machado R. L. 2000. Control de calidad de plantas medicinales: Prescripciones farmacopéicas. En Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. Ed. N. Sharapin y R. Pinzón. CAB / CYTED. Serie Ciencia y Tecnología 78:143-156.

Pérez-Castorena, A., A. Castro y A. Romo. 1997. A dirhamnopyranoside from *Psacalium megaphyllum*. *Phytochemistry* **46**(7):1297-1299.

Pérez , R. M., A. Ocegueda, J. L. Muñoz, J. G. Avila y W. W. Morrow. 1984. A study of the hypoglycemic effect of some mexican plants. *Journal of Ethnopharmacology* **12**: 253-262.

Reyes-Chilpa, R., M. Jiménez-Estrada, M. V. Godínez, S. Hernández-Ortega, M. Campos y E. Béjar. 2002. A Novel Cacalolide from *Psacalium decompositum*. *Natural Product Letters* **16** (4): 239-242.

Rodríguez-Hahn, L., A. Guzmán y J. Romo. 1968. The constituents of *Cacalia decomposita* A. Gray - IV: Structure of decompostin. *Tetrahedron* **24**:477-483.

Roman, R., A. Lara, F. Alarcón y J. L. Flores. 1992. Hypoglycemic Activity of Some Antidiabetic Plants. *Archives of Medical Research* **23**(3):105-109.

Romo, J. y P. Joseph-Nathan. 1964. The constituents of *Cacalea decomposita* A. Gray: Structures of cacalol and cacalome. *Tetrahedron* **20**: 2331-2337.

Romo, J., L. Rodríguez-Hahn, A. Manjarrez, E. Rivera y J. Bellido. 1968. Nuevos constituyentes aislados de la *Cacalia decomposita* A. Gray: V.- Algunos derivados del cacalol. *Boletín del Instituto de Química*. Universidad Nacional Autónoma de México. **20**:19-29.

Romo, J. 1969. Correlación de los derivados Naftalenicos de la *Cacalia decomposita* con los Furanoeremofilanos VII. *Boletín del Instituto de Química*. Universidad Nacional Autónoma de México. **21**: 92-96.

Ruíz, R. M., J. Correa y L. A. Maldonado. 1969. Synthèse de la diméthyl-3,8-naphtho(2,3,b)furanquinone-4,9 (1) structure de la maturinone et des composés connexes. *Bulletin de la Société Chimique de France* **10**: 3612-3614.

Samek, Z., J. Harmatha, L. Novotný y F. Sorm. 1969. Absolute Configuration of Adenostylone, Neoadenostylone and Isoadenostylone from *Adenostyles alliariae* (Gouan) Kern, and of Decompostin from *Cacalia decomposita* A. Gray. *Collection Czechoslov. Chem. Commun.* **34**: 2792-2808.

Sharapin, N. 2000. Materias primas vegetales para la industria de productos fitoterapéuticos. En: N. Sharapin y R. Pinzón (Eds). *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. CAB / CYTED. Serie Ciencia y Tecnología 78:17-26.

Solís, P., N. Guerrero, S. Gattuso y A. Cáceres. 2005. *Manual de Caracterización y Análisis de Drogas Vegetales y Productos Fitoterapéuticos*. Organización de los Estados Americanos. 132 pp.

Springfield, E. P., P. K. F. Eagles y G. Scott. 2005. Quality assessment of South African herbal medicines by means of HPLC fingerprinting. *Journal of Ethnopharmacology* **101**: 75-83.

Thiele, A. K. Schirwitz, K. Winter y H. Krause. 1996. Increased xanthophyll cycle activities and reduce D1 protein inactivation related to photoinhibition in two plant system acclimated to excess light. *Plant Sci.* **115**:237-250.

Tyler, V. 1996. "Pharmacognosy"! What's That? You Spell It How?. *Economic Botany* **50**(1):3-9.

Wagner, H., S. Bladt y E. M. Zgainski. 1984. *Plant Drug Analysis*, Springer-Verlag, Berlin.

World Health Organization. 1998. *Quality control methods for medicinal plant materials*. WHO. Genova.

Yuste, F., E. Díaz y F. Walls. 1976. The Structure of Cacalone. *Journal of Organical Chemical* **41** (26): 4103-4106.

Yuste, F. y F. Walls. 1976. Synthesis of (±)- Cacalol. *Austral Journal Chemical* **29**: 2333-2336.

## CAPÍTULO TRES

### ASPECTOS ETNOBOTÁNICOS DE *Psacalium decompositum*

---

---

#### RESUMEN

Se realizó un estudio etnobotánico en algunas comunidades de la Sierra Tarahumara para evaluar el uso y manejo que se le da a esta especie en esa región. Asimismo, la información obtenida, se correlacionó con los resultados de los capítulos anteriores. Actualmente *Psacalium decompositum* es una planta culturalmente importante entre los rarámuris. El uso de esta se está perdiendo entre los mestizos. La droga vegetal es conocida como *raíces*, sin embargo el estudio anatómico reveló que las estructuras empleadas son en su mayoría rizomas, propiamente dichos. El uso principal en la sierra es para las reumas y dolores de hueso, en tanto que en los mercados de otros lugares fuera de la distribución natural, se expende, principalmente, para la diabetes en donde se sustituye por *P. peltatum*. La temporada de colecta tradicional es a principios de invierno, cuando la planta está en secescencia y uno de sus componentes bioactivos (cacalol) se encuentra en mayor concentración.

La Etnobotánica representa una síntesis del conocimiento tradicional sobre el uso de la flora y proporciona la plataforma en la que se pueden cimentar estrategias de uso racional de los recursos. Este tipo de investigaciones resultan de especial relevancia para México, en donde la tradición y la modernidad deben impulsar la conservación y utilización eficiente de sus recursos vegetales.

### **De la Etnobotánica a los fitofármacos**

La etnobotánica, en sus primeros días, fue implícitamente conformada por motivos imperialistas; los colectores eran enviados para reunir plantas útiles de áreas ocupadas por grupos culturales tradicionales, especies que posteriormente eran explotadas con fines comerciales por el mundo moderno. No obstante, en el mundo en desarrollo de hoy, la etnobotánica tiene como propósito reunir información dirigida dentro de una estructura a través de la cual dicha información pueda contribuir a la realización de diversos planes de desarrollo en cualquier nación, siendo especialmente útil en la planificación del desarrollo de aquellas regiones de donde se obtuvieron los datos (Alcorn, 1995).

Como disciplina académica, la etnobotánica, originalmente estuvo limitada a inventariar la flora útil de los grupos indígenas de todo el mundo. Al presente, los propósitos de estudio son multidisciplinarios, involucrando la interacción entre la botánica, la antropología, la medicina, la agronomía, la farmacología, la química, la ecología y otras disciplinas (Jäger, 2005). De esta forma, la primera definición del término etnobotánica, aplicada al estudio de la relación utilitaria entre el humano y el medio ambiente de la planta, ha sido extendida para incorporar también las relaciones simbólicas, ecológicas y cognitivas en un marco de la etnobotánica contemporánea (Soejarto, 2005).

Existen muchas formas potenciales de abordar la investigación etnobotánica. Una de ellas es el tipo de necesidad que responde al uso de la planta: medicinal, comestible, como condimento, material para construcción, colorante, ornamental, ceremonial, forraje, venenosa, insecticida, etc. De estas, las especies medicinales representan el mayor número de plantas útiles, superando incluso a las plantas alimenticias u otros vegetales que cubren alguna otra necesidad básica (Estrada, 1995; Caballero, 2001). Es por ello que la etnobotánica ha dedicado gran parte de su estudio a la medicina herbolaria.

El registro más antiguo del uso de las plantas medicinales proviene de dibujos sumerios que muestran el uso del opio alrededor del año 2500 a. C. Sin embargo, los reportes mejor

documentados para el uso de las hierbas en la medicina provienen del Código Hammurabi (1770 a C.), en el que se mencionan plantas como el beleño, el regaliz y la menta (Simpson y Conner-Ogorzaly, 1986). En Mesoamérica, son pocos los vestigios conocidos respecto a la forma en que los habitantes del mundo prehispánico guardaban la información sobre las plantas curativas, sin embargo se sabe que contaban con una medicina notablemente organizada; con escuelas para médicos especializados, así como jardines y mercados de plantas medicinales (Lozoya, 1998). En el siglo XVI, algunos tratados de plantas medicinales fueron escritos en México, tres de los más importantes son: el "Libellus Medicinalibus Indorum Herbis", el "Códice Florentino" y el "Historia Natural de la Nueva España" (Béjar *et al.*, 2000).

Durante el siglo XVIII, como consecuencia de la Ilustración, se produjo un cambio sustancial en el estudio de las plantas medicinales y surgió el interés en los médicos por conocer las propiedades y efectos de las mismas. Como resultado de la incorporación de la química en los estudios científicos de las plantas medicinales, el conocimiento sobre el contenido curativo de un vegetal se desarrolló rápidamente. Para el siguiente siglo se descubrió que los compuestos presentes en el vegetal podían ser extraídos y utilizados para elaborar un producto diferente, el medicamento, lo que originó un nuevo campo de estudio en las plantas medicinales: la farmacología. De esta forma surgieron los primeros medicamentos galénicos, a base de extractos embotellados que formaron jarabes, tinturas y otras formas más fácilmente industrializables para el consumo de los habitantes de las ciudades. El desarrollo de la química fue indicando el sentido de las investigaciones y la búsqueda de los compuestos químicos activos se convirtió en el motivo fundamental de los estudios en las plantas medicinales (Lozoya, 1998). A mediados de este siglo, cerca del 80% de todos los medicamentos eran derivados de especies vegetales (Gilani, 2005). En estos mismos años se escribieron las primeras farmacopeas.

La primera guerra mundial modificó de raíz el desarrollo de la medicina y de la ciencia en general. La industria galénica no era capaz de abastecer con productos de plantas medicinales los requerimientos de los países en guerra. Así, para la segunda guerra mundial, la producción de los medicamentos se había convertido en una actividad estratégica de los países en conflicto. Estos factores estimularon la investigación de medicamentos y fue la química de síntesis la disciplina que ofreció la solución para el periodo inmediato. La herbolaria empezó a ser vista como una antigualla; la información cultural, histórica y médica que rodeaba al consumo de las plantas medicinales fue relegada en un segundo plano, pues para la industria farmacéutica estas especies solo eran fuente de compuestos químicos que podían ser sintetizados. Durante la posguerra, el mercado de medicamentos se

expandió gracias a los sistemas de seguridad social y a las instituciones gubernamentales de atención médica que proliferaron como modelo de medicina social (Lozoya, 1998).

Si bien, la primera y la segunda guerra mundial impulsaron el desarrollo de la industria químico-farmacéutica y de los denominados medicamentos sintéticos, la medicina herbolaria nunca salió de escena (Gilani, 2005). En los años setenta del siglo pasado, se produjo un cambio importante en el empleo y el estudio de la herbolaria en la mayor parte del mundo. Tal giro provino de la Organización Mundial de la Salud, la cual reconoció que la medicina tradicional desempeña un papel importante en los programas de salud en muchos países, dada su accesibilidad y asequibilidad (Organización Mundial de la Salud, 2000). Un claro ejemplo es China, en donde sus entonces 800 millones de habitantes habían alcanzado un elevado nivel de salud gracias a que el gobierno de ese país había encontrado la forma de combinar los conocimientos de la ciencia médica occidental y moderna con los de la antigua tradición médica china. Recuperar el conocimiento tradicional, validarlo y reinsertarlo en la medicina científica fueron los principales objetivos de los nuevos programas de investigación en plantas medicinales (Lozoya, 1998).

De esta forma surgió la etnofarmacología, rama de la etnobotánica moderna, la cual se basa en el estudio interdisciplinario de las acciones fisiológicas de la planta, animal u otra sustancia usada por la medicina tradicional de culturas pasadas y presentes (International Society of Ethnopharmacology, 2005). Por tanto se requiere de investigaciones con las comunidades indígenas, de la composición química de los extractos y de la actividad farmacológica de sus componentes. Las personas involucradas son de distintas disciplinas: etnobotánicos, químicos de productos naturales, farmacólogos, taxónomos, curanderos tradicionales y/o usuarios de las comunidades, y en algunos casos, también se requiere de abogados o expertos en ética (Mulholland, 2005).

Uno de los objetivos de esta ciencia es poder producir fitomedicamentos. Los fitomedicamentos o fitofármacos son productos medicinales cuyos elementos farmacológicamente activos son sistemas multicomponentes de constitución compleja procedentes exclusivamente de plantas medicinales. Para la elaboración de estos productos se debe estandarizar a la droga vegetal, es decir, se necesita contar con sustancias químicamente definidas y cuantificadas en términos de calidad, seguridad y eficacia (Martínez, 2004).

Actualmente, las ventas de los productos herbolarios en el mundo sobrepasan los 100 billones de dólares al año. En los países occidentales la fitomedicina está creciendo rápidamente. Alemania es el principal país en Europa, seguido de Francia, en el uso de fitomedicamentos. El costo de cerca del 40% de los fitomedicamentos que prescriben los médicos en Alemania es cubierto por el sistema salud social (Gilani, 2005).



La medicina convencional está ahora aceptando el uso de algunas plantas que han sido científicamente validadas. El *Ginseng*, el *Gingko*, la *Valeriana* y la "Hierba de San Juan" son algunos de los ejemplos de plantas medicinales que han ganado popularidad entre los médicos modernos (Gilani, 2005).

Las plantas medicinales constituyen un campo de estudio vigente. En su forma cruda muestran una interesante combinación de actividades, lo que representa su enorme potencial en la investigación a nivel mundial. Al mismo tiempo, son una fuente de recursos para nuevos medicamentos de síntesis o semisíntesis. Se calcula que actualmente por lo menos el 25% de los medicamentos en las farmacias occidentales provienen de plantas medicinales; además, muchos medicamentos incluyen un prototipo de producto natural. La aspirina, la atropina, la colchicina, la digitoxina, la efedrina, la morfina, el taxol y la quinina, por mencionar algunos, son fármacos que originalmente se aislaron a partir de plantas medicinales que fueron referidas, por primera vez, a través de estudios etnobotánicos (Gilani, 2005).

### **De la Diabetes mellitus**

La Diabetes mellitus (DM) es una enfermedad metabólica con una alta incidencia (4-5%) en todo el mundo, ocupando el tercer sitio a escala mundial y el cuarto lugar en el ámbito nacional, por lo que representa uno de los problemas más grandes de salud pública así como la primera causa de orfandad en mujeres y la segunda en hombres en nuestro país (Contreras-Weber *et al.*, 2002; Alarcón-Aguilar, 2003; Secretaría de Salud, 2001; World Health Organization, 1998; Rull *et al.*, 2005). Esta enfermedad se caracteriza por una elevación de la concentración de glucosa en el plasma, como resultado de una insuficiencia y/o resistencia de insulina (Hernández-Galicia *et al.*, 2002a; Leahy, 2005).

El tratamiento de la enfermedad está basado en cuatro factores fundamentales: la educación del paciente concerniente a la enfermedad; ejercicio físico; dieta especial; y agentes hipoglicémicos. Los agentes actualmente usados en el control de la diabetes son las sulfonilureas, las biguanidas, los derivados de tiazolidinedionas y la insulina. A pesar de que estas drogas son usadas de manera extensiva, ninguna de ellas ha demostrado ser, hasta ahora, un remedio eficaz en el control de este padecimiento (Pérez *et al.*, 1984; Hernández-Galicia *et al.*, 2002a). Al mismo tiempo cada una de estas medicinas ocasiona efectos adversos específicos; y tanto la vía de administración como la dosis adecuada para cada individuo son otros de los problemas que enfrenta el enfermo. Aunado a lo anterior se encuentra la carencia de los recursos económicos necesarios para la adquisición de los medicamentos, por lo que la población de México se ha visto forzada a utilizar los recursos

de la medicina tradicional en el control de esta enfermedad (Hernández-Galicia *et al.*, 2002a). Las plantas medicinales representan, por lo tanto, importantes recursos potenciales de nuevos agentes hipoglicémicos (Hernández-Galicia *et al.*, 2002b).

### **De las plantas usadas en el tratamiento de la DM**

Las prácticas tradicionales con plantas medicinales son usadas para el control de la DM en muchos países. Esto ha ocasionado un incremento en el número de investigaciones experimentales y clínicas que tienen como objetivo validar las propiedades que les son atribuidas de manera empírica (Roman-Ramos *et al.*, 1995). La información etnobotánica mundial ha reportado a más de 800 especies medicinales usadas en el control de la DM, las cuales se encuentran agrupadas en 725 géneros y 183 familias y se extienden filogenéticamente desde las algas marinas hasta las plantas superiores, lo cual indica la gran variedad de sus constituyentes activos (Pérez, 1997; Alarcón-Aguilar, 1998). Algunas de estas especies son plantas comestibles y en consecuencia presentan un interés adicional ya que acoplan dos factores básicos en el control de la diabetes: forman parte de la dieta y tienen efecto hipoglucemiante (Roman-Ramos *et al.*, 1995).

Existe mucha información de acerca de investigaciones de plantas antidiabéticas en México, sin embargo, los análisis y discusión de los resultados obtenidos son a menudo confusos, dispersos y complicados (Hernández-Galicia, 2002a). Algunas de las plantas reportadas para aliviar algunos de los síntomas de la DM se conocen desde tiempos prehispánicos (Pérez *et al.*, 1984); sin embargo las primeras investigaciones clínicas y experimentales de plantas usadas en nuestro país son a partir de 1979 (Roman *et al.*, 1992); y para 1993 ya se tenían registradas 150 especies anti-diabéticas, de las cuales, sólo en 60 se había evaluado el efecto hipoglicémico (Alarcón-Aguilar *et al.*, 1993). Recientemente se reportó el uso de 269 plantas anti-diabéticas, de ellas solo 80 habían sido sometidas a estudios farmacológicos y sólo de 7 especies se conocen los compuestos bioactivos (Hernández-Galicia, 2002a; Alarcón-Aguilar *et al.*, 2003).

De igual forma se han elaborado listados de las plantas antidiabéticas usadas en México, de los más importantes son el de Hernández-Galicia y colaboradores (2002a) y el de Andrade-Cetto y Heinrich (2005). En un marco etnobotánico, en el primer trabajo se registran las 82 especies más utilizadas y citadas en la bibliografía como anti-diabéticas, ordenadas por familia botánica y nombre científico, además se incluye información acerca del nombre popular más común, parte utilizada y manera de preparación. Las familias botánicas mejor representadas son la Asteraceae y Leguminosae con 33 y 23 especies respectivamente (Hernández-Galicia, 2002a). En el segundo estudio se enlistan 306 especies que han sido citadas en la literatura mundial por su efecto hipoglicémico en investigaciones

etnofarmacológicas, fitoquímicas y/o clínicas. Estas especies pertenecen a 235 géneros distintos y están agrupadas en 93 familias botánicas, de las cuales las más comunes son la Asteraceae (47 especies) y la Fabaceae (37 especies) (Andrade-Cetto y Heinrich, 2005). La combinación de dichos listados se encuentra en el Apéndice 8.

Del mismo modo se ha encontrado que las especies más estudiadas en México son *Opuntia streptacantha* Lem. (Cactaceae), *Tecoma stans* L. (Bignoneaceae) y *Psacalium decompositum* (Alarcón-Aguilar et al., 2000; Roman-Ramos et al., 2001; Alarcón-Aguilar et al., 2003).

### **Sinonimias, distribución y usos de las especies del complejo**

#### ***Psacalium decompositum* (Gray) H. Robins. & Brett.**

SINONIMIAS: *Cacalia decomposita* Gray; *Odontotrichum decompositum* (Gray) Rydb.

NOMBRES COMUNES: Español: "Matarique", "maturín", "maturí", "matarí"; Tarahumara: "matari", "materí", "matariki", "matariqui", "pitcawi".

DISTRIBUCIÓN: Esta herbácea perenne crece en los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental (principalmente en Chihuahua), en el noreste de México y las montañas del sur de Arizona y Nuevo México (Apéndice 1). Produce un rizoma grueso y horizontal con fascículos de raíces verticales. La unión del rizoma y el tallo está cubierta por una corona de abundantes pelos amarillos. Las raíces tienen un característico olor picante.

Usos: Las raíces en té son usadas para el reumatismo, para fríos, y dolores de espalda, caminatas, cólicos en los bebés y como diurético. También es un remedio popular para la diabetes, malestares del riñón, la malaria y fiebre. Las raíces también son empleadas en el tratamiento de las heridas, ya sea en infusión, como antiséptico, para lavar las heridas, o bien las raíces se aplican en cataplasma. Para aliviar el dolor de dientes, se coloca un trozo de raíz sobre la caries. Las raíces maceradas se usan para la mordedura de serpiente. Las irritaciones de la piel son aliviadas con lavados o polvos preparados de las raíces. El té de "matarique" es usado también el tratamiento de la artritis, dolores musculares, y dolencias del tracto urinario. Es considerada como una planta de naturaleza "fresca" (Bye, 1986; Linares y Bye, 1987).

#### ***Psacalium peltatum* (H. B. K.) Cass.**

SINONIMIAS: *Cacalia peltata* (H.B.K.) y *Senecio peltiferus* (Hemsl).

NOMBRES COMUNES: Español: "Matarique", "Chongo de huare"; Purépecha: "Tipejtsikua nanakeri".

DISTRIBUCIÓN: Esta herbácea perenne crece en los bosques de pino-encino del sur de la Sierra Madre Occidental, sur de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. Se localiza en zonas perturbadas, principalmente en pastizales resultantes de la tala de los bosques de coníferas, donde las especies fisonómicamente dominantes son pastos amacollados sujetos a pastoreo de ganado vacuno. Las raíces son muy similares a las de *P. decompositum*, pero el rizoma es más ancho y las raíces más largas, además carece del olor picante.

Usos: La infusión de las raíces se utiliza para el dolor de cabeza y dolores del riñón. El té preparado con "matarique" y la "tronadora" (*Tecoma stans* (L.) H. B. K.) o la "pingüica" (*Arctostaphylos pungens* H. B. K.) es consumido como "agua de uso" para calmar la sed que causa la diabetes. El macerado de las raíces se recomienda para el reumatismo. Esta planta se considera de naturaleza "fresca" (Linares y Bye, 1987; Manzanero, 1994).

#### ***Psacalium radulifolium* (Kunth) H. Rob. & Brettell**

SINONIMIAS: *Odontotrichum radulifolium* (H.B.K.), *Senecio Radulaefolius* (H.B.K.).

NOMBRES COMUNES: "Matarique"

DISTRIBUCIÓN: En los bosques de pino-encino de Sinaloa, Durango, San Luis Potosí, Guanajuato y Tamaulipas (Pippen, 1968).

Usos: La raíz se emplea en el tratamiento de la diabetes.

#### ***P. sinuatum* (Cerv.) H. Robins. & Brett.**

SINONIMIAS: *Odontotrichum sinuatum* (Cerv.) Rydb.; *Senecio albo-lutescens* Sch.-Bip.

NOMBRES COMUNES: "Matarique"

DISTRIBUCIÓN: Esta herbácea perenne crece en los bosques de pino y encino de la Sierra Madre Occidental del centro de Durango al eje Neovolcánico Central.

Usos: La infusión de las raíces es recomendada para el dolor de estómago, diabetes, fiebre y dolencias de los riñones y pulmones (Linares y Bye, 1987).

#### ***Acourtia thurberi* (Gray) Reveal & King**

SINONIMIAS: *Perezia thurberi* Gray.

NOMBRES COMUNES: Español: "Matarique", "matarique morado", "yerba de la tarántula", "mata gusano"; Tarahumara: "pipichawi"; Wariho: "pipichowa".

DISTRIBUCIÓN: Esta herbácea perenne crece en el norte de la Sierra Madre Occidental y las montañas del sur de Arizona y Nuevo México.

Usos: La raíz se prepara en te para dolencias del riñón, para diabetes, y también como purgativo (Bye, 1986; Gentry, 1942). En infusión, las mujeres lo toman para facilitar el flujo menstrual y aliviar el dolor de espalda (Gentry, 1942).

### **De los mercados herbolarios**

En los países en vías de desarrollo y las sociedades rurales la atención médica oficial está basada en medicamentos comerciales cuyo precio puede ser muy elevado. En estos países una alternativa económica en materia de salud es el consumo de las plantas medicinales, debido a que su costo es mucho más bajo (Hersch, 1995). Un centro de abastecimiento de una gran diversidad de estos productos son los mercados de plantas medicinales, por lo que representan un punto de partida de diferentes estudios etnobotánicos.

Los primeros mercados en México, como informan los conquistadores, proveían de una diversidad de productos a muchas regiones. Los mercados de hoy en día, son un reflejo de la mezcla de culturas que han intervenido para conformar la herbolaria mexicana (Bye y Linares, 1987).

El "Mercado de Sonora" en el Distrito Federal es famoso por la venta de una amplia variedad de plantas medicinales provenientes de todas partes del país. Aquí se encuentra la mayor cantidad y variedad de plantas medicinales frescas en México, y también es el principal centro de redistribución de plantas secas a mercados nacionales e internacionales (Bye y Linares, 1987; Manzanero, 1994).

No obstante, la comercialización de las plantas medicinales requieren un control sobre las mismas, ya que pocas veces es posible obtener en el mercado plantas o partes de ellas que estén completamente libres de alguna forma inocua de materia extraña; de la misma forma, de la adulteración y sustitución de especies medicinales pueden derivar problemas de salud, toxicidad, etc. (Kuklinski, 2000; Secretaría de Salud, 2001).

### **Comercialización del "matarique"**

Las raíces utilizadas en la medicina tradicional tienen una gran importancia en el "Mercado de Sonora" debido a su diversidad y permanencia a lo largo del año, además del amplio número de grupos de enfermedades en que se utilizan (Manzanero, 1994). Las raíces de "matarique" son comercializadas frescas y secas. Bajo el mismo nombre, son vendidas las distintas especies que forman el complejo, sin embargo, los compradores prefieren el "matarique" de Chihuahua que los demás debido a que es más efectivo, aunque su precio es más elevado (Bye, 1986; Bye y Linares, 1987).

El "matarique", al igual que la mayoría de las especies medicinales que se comercializan, es una planta silvestre. Actualmente, las poblaciones de *P. decompositum* en la Sierra Tarahumara han disminuido, por lo que es más frecuente encontrar en el mercado a especies sustitutas. *P. peltatum* es la raíz fresca más vendida en el "Mercado de Sonora". Los lugares de colecta para su abastecimiento al mercado son en el Distrito Federal: Cerro del Ajusco; Estado de México: Santa Catarina y San Pablo Izayoc, Texcoco y Jalatlaco (Manzanero, 1994). Del complejo, es la única especie cuyo aprovechamiento se encuentra regulado por la Norma Oficial Mexicana (NOM-004-RECNAT-1996), que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de raíces y rizomas de vegetación forestal.

### OBJETIVO GENERAL

- Valorar el conocimiento sobre el uso y manejo de *P. decompositum* en algunas comunidades de la Sierra Tarahumara.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer las especies que se comercializan en algunos mercados de México a través de su análisis químico por cromatografía en capa fina (CCF).
- Correlacionar la información etnobotánica obtenida con los resultados del análisis morfo-anatómico y químico.

### **Entrevistas en campo**

Se realizaron tres visitas a la Sierra Tarahumara, Chihuahua; dos de ellas en agosto y octubre del 2003, respectivamente y la tercera en mayo del 2005. Las encuestas que se aplicaron (Apéndice 9) fueron de tipo abierto y semiestructurado (Cotton, 1996) y se entrevistaron al azar a un total de 31 personas en las 9 comunidades visitadas (Humirá, Samachique, Kirare, Bocoyna, Choguita, El Ranchito, Batopilas, Creel y Norogachi).

### **Colectas de mercados**

Se adquirieron muestras de raíces de "matarique" en las ciudades de los estados de Puebla (n=5), Chihuahua (n=1) y el Distrito Federal (n=11). Por otro lado, las muestras procedentes del Estado de México (n=12) fueron proporcionadas por el Dr. Ricardo Reyes Chilpa del Instituto de Química, UNAM. Las colectas etnobotánicas fueron depositadas en el Jardín Botánico de la UNAM. Para cada muestra se llenó su respectiva ficha de colecta (Apéndice 10)

### **Determinación de las especies que se comercializan**

Los ejemplares adquiridos en los mercados fueron secados y pesados para su posterior extracción con hexano, en una proporción de 1 g de material vegetal por 5 ml de solvente, y se mantuvieron a temperatura ambiente y en oscuridad por 24 h. Después, se aplicaron 10 $\mu$ L de cada extracto, con ayuda de un capilar graduado, en placas de aluminio (Plates Silica Gel 60 F<sub>265</sub>, Merck), las cuales fueron corridas empleando una mezcla de hexano/acetato de etilo (8:2) como fase móvil y reveladas con Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> al 2%. Las placas se observaron con lámpara de luz UV y se fotografiaron con cámara digital previamente a ser reveladas.

### **Análisis estadístico**

Los resultados de las encuestas en campo fueron examinados mediante análisis de conglomerados y de ordenación de componentes principales, utilizando el programa "*Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*" (Ntsys, Version 2.0). Para la elaboración de una matriz básica de datos se seleccionaron 19 caracteres, de los cuales solo uno es cuantitativo y el resto son cualitativos (Apéndice 11), en donde las filas corresponden a los caracteres y las columnas (OTU's) a los individuos entrevistados (Apéndice 12).



### INFORMACIÓN DE CAMPO

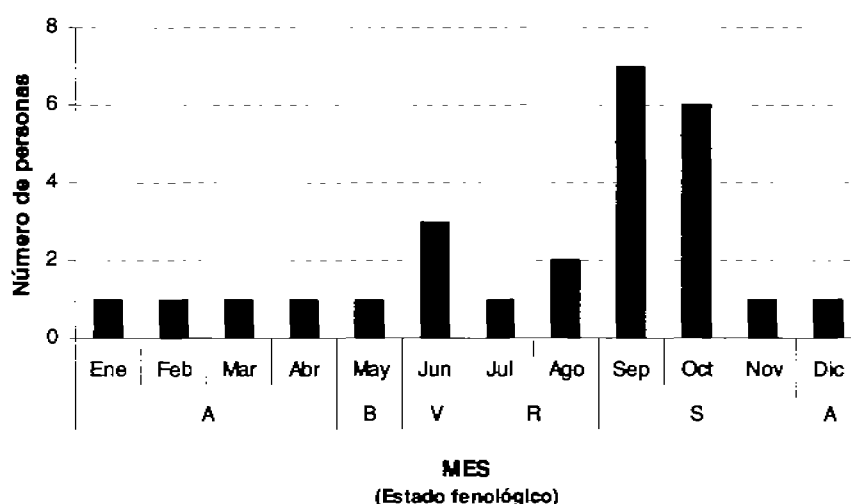
De las 31 personas entrevistadas 7 de ellas dijeron no conocer la planta, lo que representa poco más del 22 % de la población entrevistada, debido a lo cual fueron discriminadas para la elaboración del análisis de conglomerados. De la misma forma, algunos caracteres de la entrevista, no fueron incluidos en la matriz.

Por su parte, el fenograma mostró la existencia de dos grupos (I y II), con un valor de  $r=0.679$  (Figura 3.1).

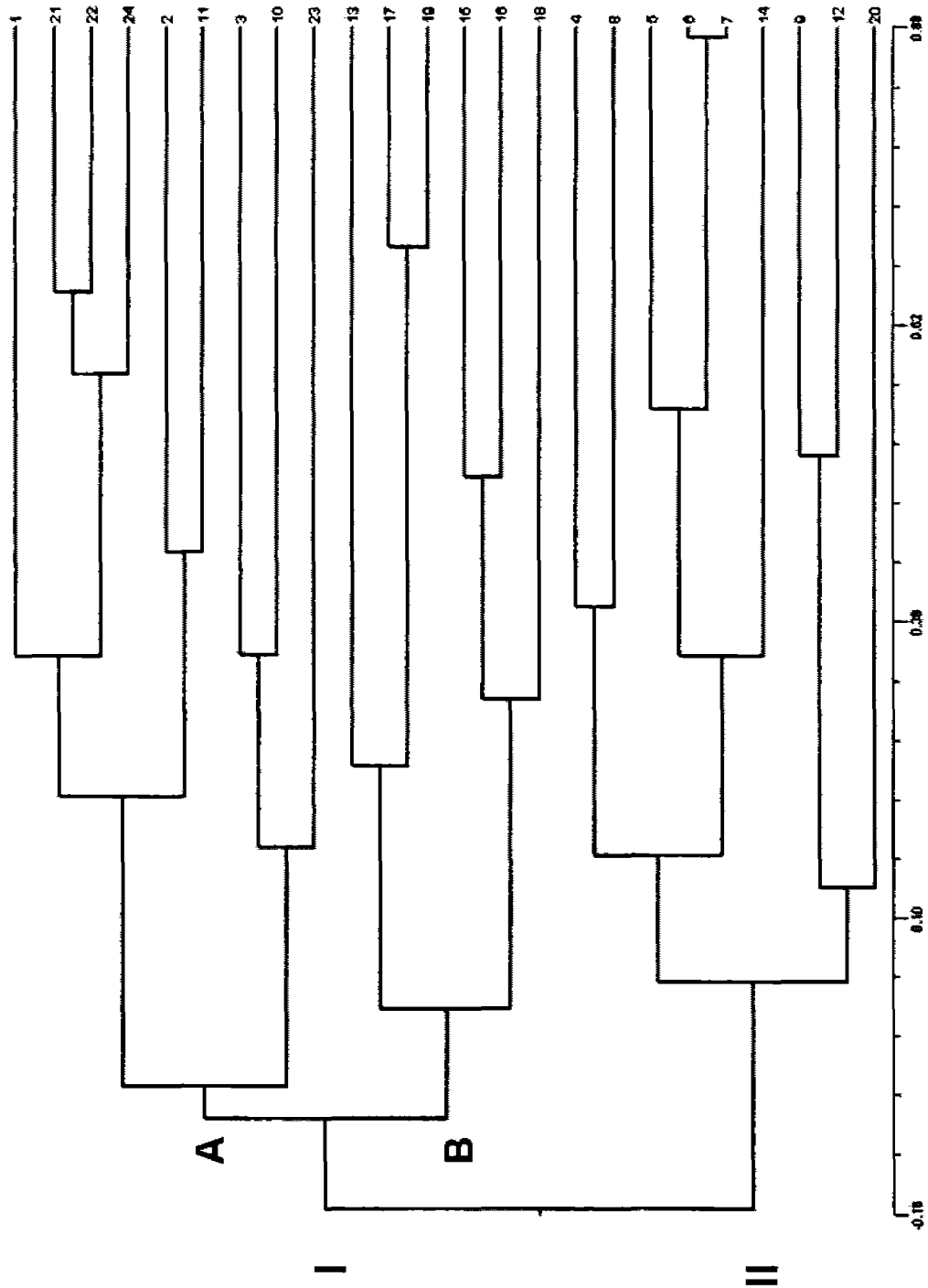
### GRUPO I

Está integrado ( $n=15$ ) por 10 indígenas y 5 mestizos, con ocupaciones muy diversas: amas de casa, agricultores, comerciantes de plantas medicinales, profesores y empleados de aserradero. Las edades incluyen a un joven (15-30 años), tres adultos mayores (más de 60 años) y el resto son adultos (31 a 60 años), de los cuales 8 son hombres y 7 son mujeres. Asimismo, este grupo se subdivide en dos subgrupos: A y B.

Todos afirman conocer la fecha de colecta, la cual dicen que comienza en los meses de septiembre y octubre: 6 dijeron que en septiembre, 5 en octubre, 2 en junio. 1 en agosto y 1 en cualquier mes (Gráfica 3.1).



**Gráfica 3.1.** Colecta de *P. decompositum* en la Sierra Tarahumara a lo largo del año en distintos estados fenológicos de la planta. A: ausencia; B: brote o rebrote; V: etapa vegetativa; R: etapa reproductiva y S: senescencia.



**Figura 2.1.** Fenograma de 24 informantes en donde se aprecian dos grupos (I y II) principales y dos subgrupos (A y B).  $r=0.679$ .

### Subgrupo A

Se forma por 9 individuos, todos indígenas, 4 de ellos son mujeres que se dedican a las labores del hogar y el resto son hombres cuya actividad son las labores del campo, un albañil y un trabajador de aserradero. Ellos refieren que conocen al "matarique" por sus padres, y que el periodo de colecta comienza en los meses de septiembre y octubre con una duración de entre 2 a 4 meses. Conocen más de un nombre (matari, matili, matarili y matarique) y de un uso para *P. decompositum* (dolor de estómago, gastritis, diarrea, dolores musculares o de hueso, tos, fiebres, susto). El uso más mencionado es para el tratamiento del reumatismo, como dolores musculares, articulaciones o de hueso. Las plantas que sugieren como sustitutas, por su uso, son: "chucaca", "piona", "oni", "chuchupate", "coronilla", "tascate" y "hierba de la víbora", sin embargo, para su empleo en cataplasma, pomada, cocción o infusión se usa sola, es decir, sin otra planta.

Afirman que los lugares donde crece esta especie están asociados a laderas y arroyos, en bosques de pino-encino. De la misma forma indican que las medidas de la planta que cortan están entre 45 cm de ancho X 30 cm de alto.

Por último, en este grupo, solo tres personas mencionan que la eficacia de la planta está en relación a la cantidad de la sustancia roja que brota de las raíces al momento de cortarlas.

### Subgrupo B

Esta agrupación consta de 6 individuos: 5 mestizos y 1 indígena. De ellos 3 son hombres: 2 de los cuales se dedican al comercio de plantas medicinales y uno es profesor. El resto son mujeres que se dedican a las labores del hogar y una de ellas, además, es colectora de plantas medicinales. Estas son las características más importantes que organizan a este grupo.

En general, este grupo indica que las plantas que pueden ser utilizadas como sustitutas son: el "wereque", la "coronilla", la "hierba del indio", la "corsionera", el "chuchupate" y el "chancarro", y la única forma de preparación que conocen es la cocción.

Solo los comerciantes conocen otros nombres comunes de la planta así como otros usos, entre ellos el anti-diabético. Además, a diferencia del resto de los entrevistados, su conocimiento lo adquirieron por libros o personas distintas a los padres. En cuanto al hábitat de la planta, los comerciantes lo desconocen, en cambio el resto del grupo afirma que crece en bosques de pino-encino y que está asociada a arroyos y laderas. De la misma forma, los comerciantes desconocen el manejo de la especie en el campo, ya que las demás personas indican que la planta mide entre 45 cm de ancho X 40 cm de alto.

Con respecto a la sustancia roja que emerge de las raíces al momento del corte, las amas de casa dicen que está relacionada con la eficacia terapéutica de la planta, en cambio los comerciantes dicen no saber y el profesor dice que no esta relacionada con la eficacia. De todo el grupo, solo dos mujeres dejan un poco de raíz cuando extraen la planta.

## GRUPO II

Está constituido por 9 individuos: 4 mestizos y 5 indígenas. Los conocimientos de acerca del "matarique" lo adquirieron a través de sus padres. De esta forma conocen de 1 a 3 usos medicinales de la planta, además, saben que la parte que se usa es la "raíz" y que la forma de preparación es en cocción. No saben con que frecuencia se utiliza, en que lugar crece, ni tampoco refieren la presencia de secreciones en las raíces y rizomas de la especie.

Por otro lado se obtuvieron algunos datos más específicos, que fueron excluidos de la matriz debido a que muy pocas personas del total de entrevistados, tienen conocimientos de ellos:

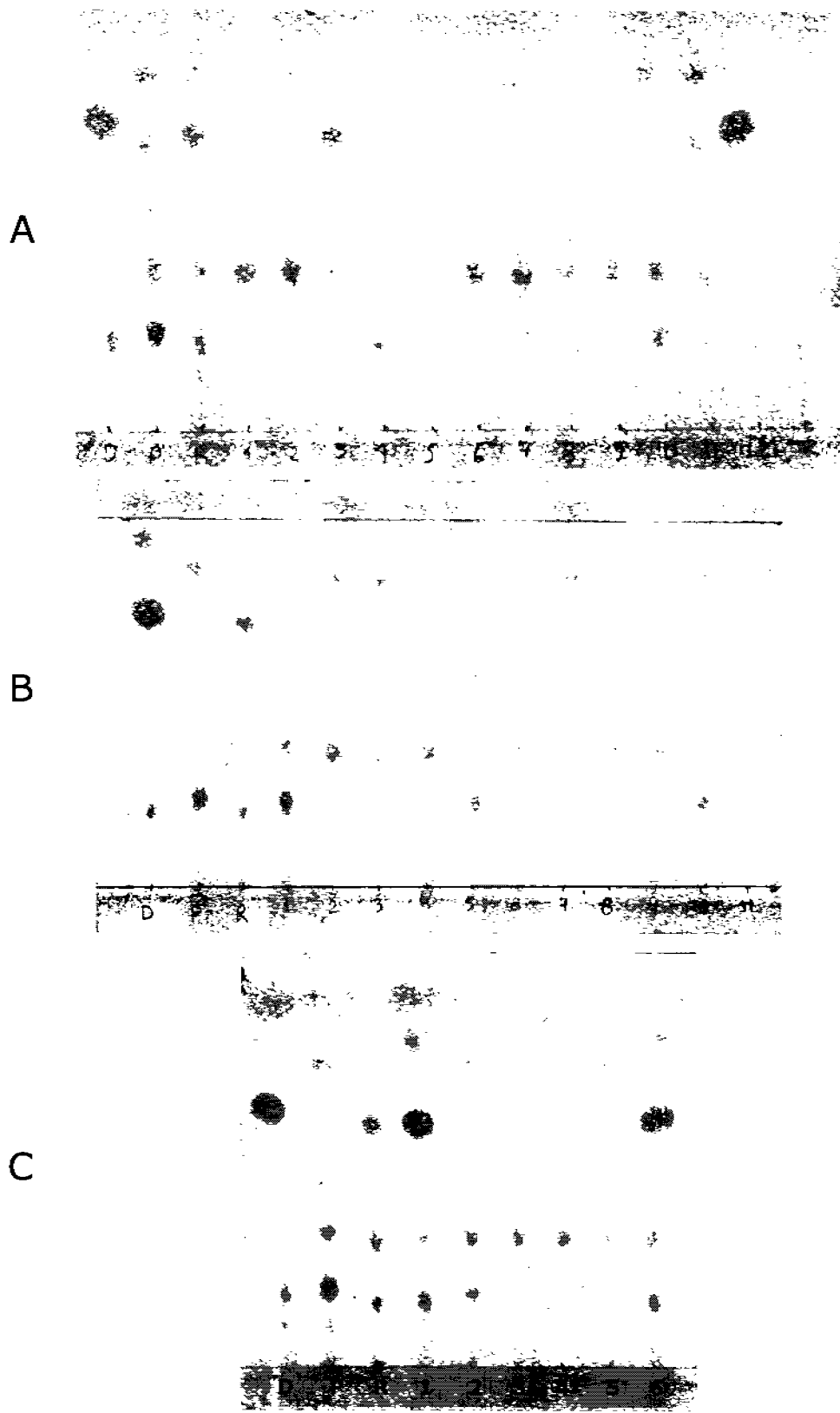
- Solo 5 personas conocen los nombres de las distintas estructuras de la planta en su lengua rarámuri:

Estructura	Nombre rarámuri
Raíz	nahuara
Tallo	varirá o vuilirá
Hojas	sawará
Flor	chiwatsare o sewá
Fruto	racaré o vacaré

- De los entrevistados, 10 reconocen diferencias morfológicas en las estructuras subterráneas, pero no saben el nombre de cada una en su lengua.
- Existe una canción que se canta en las fiestas o "tesgüinadas" de las comunidades rarámuris que se titula "matarí burema" (amarrar el "matarique") que narra cómo los indígenas colectan el matarique para amarrárselo alrededor de las piernas en forma de cataplasma y prepararse para las carreras típicas de su cultura.

## INFORMACIÓN DE MERCADOS

La información de la CCF revela que de las 29 muestras estudiadas, solo 4 corresponden a *P. decompositum* en tanto que el resto pertenecen a la especie sustituta más común que se comercializa: *P. peltatum*. De dichas muestras de *P. decompositum*, 2 de ellas provienen del Estado de Puebla, una de Puebla y otra de Chihuahua.



**Figura 3.2.** Cromatografía en capa fina de las muestras de mercado. A: Estado de México; B: Distrito Federal; C: Chihuahua y Puebla. D: *P. decompositum*; P: *P. peltatum* y R: *P. radulifolium*.

La información obtenida de las fichas de colecta de los mercados revela que el principal uso que se le da a esta especie es para la diabetes y reumas. Los sitios de colecta para la Ciudad de México son los alrededores de misma. El mínimo vendible son \$10 cuyo peso seco es de 100 a 200 g. Las raíces frescas solo se adquirieron en el Mercado de Sonora de la Ciudad de México.

Se entrevistaron un total de 31 personas de diferentes edades (10 a 70 años) en distintas localidades de la Sierra Tarahumara donde se distribuye "matarique". De manera general, los datos muestran que el 78% de los entrevistados conocen a "matarique", y el mayor uso que le dan corresponde a lo descrito por la literatura: para el reumatismo, dolores musculares o de articulaciones (Linares y Bye, 1987). La parte que se utiliza es la raíz seca, principalmente, y se aplica en cocción o en cataplasma. La mayoría de las personas utiliza las raíces solas, es decir, sin otras plantas. El conocimiento adquirido fue a través de los padres y, además, no reconocen diferentes partes en las estructuras subterráneas, a las que denominan de manera general *raíces*.

Sin embargo, se pueden encontrar diferencias muy marcadas entre el grupo I y el II, ya que el primero está constituido por 15 individuos y se caracteriza, principalmente, por contener a un mayor número de personas cuyo conocimiento acerca del uso y manejo del "matarique" es más amplio, en tanto que el segundo grupo (II) está formado solo por 9 individuos y su conocimiento en la especie es mucho menor.

Uno de los principales caracteres que definen la formación de cada agrupación es la procedencia: indígena (rarámuri) o mestizo (chavochi).

El grupo I se subdivide en dos conjuntos, A y B. En el primero todos son indígenas y a pesar de que conocen más detalles en cuanto al uso y manejo de la especie, este no presenta uniformidad en la información y, en consecuencia, no se puede observar claramente cuales son los principales rasgos que definen a este subgrupo. Posiblemente debido a la diferencia de lenguajes no se pudo establecer una conversación fructífera. Los rarámuris son gente muy reservada y conservadora (INI, 1995).

El subgrupo B, por su parte, es la agrupación más estructurada en cuanto a información. Entre las personas que lo conforman solo se encuentra un indígena, y aunque su conocimiento en la especie es menor, reflejan un conocimiento homogéneo de conocimiento en la especie.

Ambos subgrupos coinciden que la planta se usa sola y reconocen algunas otras especies que pueden ser sustitutas, por su efecto medicinal, pero no por su parecido morfológico.

El 95% de las personas que utilizan a *P. decompositum* colectan la planta para autoconsumo. Prefieren colectarla entre los meses de septiembre y octubre, hasta el comienzo de las primeras heladas cuando las hojas ya están caducas, ya que piensan que en esas

condiciones "lo que cura" de la planta se concentra en las raíces y por lo tanto su eficacia será mayor. Al respecto, pocas personas han observado una sustancia roja que secreta la planta en sus raíces al momento del corte (de consistencia aceitosa al hervir la raíz), a la cual se le atribuyen la eficacia medicinal de la planta.

Al comparar la gráfica del periodo de colecta a lo largo de un año (Gráfica 3.1) con la gráfica del capítulo anterior que muestra la cantidad de cacalol contenida en las estructuras subterráneas de *P. decompositum* de plantas colectadas en campo (Gráfica 3.2) se nota que los meses descritos de mayor colecta (septiembre-octubre) coinciden con el periodo de senescencia de la planta, tiempo durante el cual las estructuras subterráneas contienen más cacalol. Los meses senescencia han sido reportados en la literatura (Hilario, 2004) y fueron corroborados por observaciones directas en el campo.

El tamaño de la planta que recolectan tiene una altura aproximada de 45 cm. Algunos entrevistados reconocen diferentes partes en las estructuras subterráneas, pero no pueden identificarlas por separado con un nombre específico, ni en su lengua ni en el castellano, y comentan que debido a que las raíces de "matarique" están profundamente enterradas, al momento de colecta se quedan algunas raíces en la tierra, mismas que ya no son retiradas y se espera que para el siguiente año rebroten esas mismas plantas. Dichas observaciones se apoyan en el estudio anatómico de ese trabajo (Capítulo 1), donde se revela que la parte subterránea de *P. decompositum* es en su mayoría un sistema de rizomas fasciculados con aspecto de raíz, por lo que el rizoma propiamente dicho no es muy evidente. Además, el rizoma es un tallo modificado, y en consecuencia está formando por sistemas de nudos y entrenudos, por lo cual puede ramificarse, acumular sustancias de reserva y producir raíces adventicias (Esau, 1985; González, 1987; Jones, 1988; De Oliveira, 1991; Rzedowski, 2001). Es, entonces, esta estructura potencialmente capaz de regenerar y rebrotar al siguiente periodo después de la colecta. En este sentido, son necesarios estudios enfocados a la forma de colecta y cantidad máxima que se pueda extraer de cada individuo para no causar su muerte.

En cuanto al grupo II, la información que proporcionan en cuanto al conocimiento y uso de "matarique" es muy escueta. Esto puede deberse, en parte a que los entrevistados eran mestizos y el conocimiento entre este grupo se pierde con mayor rapidez debido al desuso (Benz *et al.* 2000).



La importancia cultural de esta especie entre los rarámuris es muy grande, incluso existe una canción que se canta en las fiestas o "tesgüinadas" que se titula "matari burema" (amarra el "matarique") que narra cómo los indígenas colectan el matarique para amarrárselo alrededor de las piernas en forma de cataplasma y prepararse para las carreras de campo traviesa que los ha dado a conocer mundialmente.

La CCF de los ejemplares colectados en los mercados, se obtuvo que la especie subordinada más común que se comercializa en los mercados estudiados (Puebla, Estado de México, D. F. y Chihuahua) es *P. peltatum*. Debido a que el uso de esta especie como antidiabética ha sido validado en algunos estudios (Roman et al., 1992; Alarcón-Aguilar et al., 1997; Contreras-Weber et al., 2002; Alarcón-Aguilar et al., 2003), se considera a esta especie como sustituta y no adulterante, dentro de este complejo medicinal.

Con la información de mercados corroboró que el uso más recurrente de *P. decompositum* que se le da a esta especie fuera de su zona de distribución natural es para aliviar la diabetes, sin embargo en la Sierra Tarahumara, de donde proviene, no se tiene esta categoría de uso (Bye, 1986).

## CONCLUSIONES

---

El "matarique" en la Sierra Tarahumara es una planta muy conocida y utilizada principalmente entre los rarámuris, para quienes tiene una importancia cultural. Prueba de ello es una canción popular en las fiestas, dedicada a esta especie.

El conocimiento sobre el uso y manejo de *P. decompositum* es menor entre los mestizos, probablemente debido al desuso.

Los usos que se le da a esta especie en la Sierra Tarahumara están relacionados con enfermedades del frío: dolor de huesos o articulaciones y reumas. Sin embargo, el motivo por el cual se comercializa en los mercados herbolarios fuera del área de su distribución natural, es para el tratamiento de la diabetes.

El estudio anatómico de la especie reveló que las estructuras subterráneas que se colectan son en su mayoría rizomas y no raíz, propiamente dicha. Por lo anterior, a pesar de que la explotación de estas estructuras no está controlada, los rizomas potencialmente pueden inducir el rebrote al siguiente año de la colecta. Al respecto hacen falta estudios.

El análisis cuantitativo de uno de sus constituyentes químicos con actividad biológica, indica que el mejor momento de cosecha de la especie es durante la senescencia de la misma, esto correspondió a lo informado por las personas entrevistadas, que afirman que durante este periodo se acumula la "sustancia medicinal" en las raíces debido a que el resto de la planta se "seca".

La especie sustituta más común que se comercializa en los mercados aquí estudiados es *P. peltatum*, que a pesar de presentar actividad hipoglucemiante para lo cual es requerida, su efectividad es menor a *P. decompositum*. Por último, cabe señalar que en el Mercado de Sonora, de la Ciudad de México, que es el principal centro de distribución y acopio de las plantas medicinales en nuestro país, ninguna de las especies que se comercializaron bajo el nombre común de "matarique" correspondió a *P. decompositum*, pese a que algunos vendedores afirmaron traerla del estado de Chihuahua.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Alarcón-Aguilar A., R. Roman-Ramos y J. L. Flores-Saenz. 1993. Plantas medicinales usadas en el control de la diabetes mellitas. *Ciencia* **44**:363-361.
- Alarcon-Aguilar, F. J., R. Roman-Ramos, M. Jiménez-Estrada, R. Reyes-Chilpa, B. González-Paredes y J. L. Flores-Saenz. 1997. Effects of three Mexican medicinal plants (*Asteraceae*) on blood glucose levels in healthy mice and rabbits. *Journal of Ethnopharmacology* **55**: 171-177.
- Alarcón-Aguilar, R. Roman-Ramos, S. Perez-Gutierrez, A. Aguilar-Contreras, C.C. Contreras-Weber, J. L. Flores-Saenz. 1998. Study of the anti-hyperglycemic effect of plants used as antidiabetics. *Journal of Ethnopharmacology* **61**:101-110.
- Alarcón-Aguilar, F. J., M. Jiménez-Estrada, R. Reyes-Chilpa, B. González-Paredes, G. Gonzalez-Paredes, C.C. Contreras-Weber y R. Roman-Ramos. 2000. Hypoglycemic activity of root water decoction, sesquiterpenoids, and one polysaccharide fraction from *Psacalium decompositum* in mice. *Journal of Ethnopharmacology* **69**: 207-215.
- Alarcón-Aguilar, F. J., A. Valdes-Arzate, S. Xolalpa-Molina, T. Banderas-Dorantes, M. Jiménez-Estrada, E. Hernandez-Galicia y R. Roman-Ramos. 2003. Hypoglycemic Activity of Two Polysaccharides Isolated from *Opuntia ficus-indica* and *O. streptacantha*. *Proc. West. Pharmacol Soc.* **46**: 139-142.
- Alcorn, J. B. 1995. The scope and aims of Ethnobotany in a developing world. *Ethnobotany Evolution of a Discipline*. R. E. Shultes and Siri Von Reis (Eds). Portland. Dioscorides Press:23-39.
- Andrade-Cetto A. y M. Heinrich. 2005. Ethnopharmacology of commonly used antidiabetic plants in México. *Journal of Ethnopharmacology* **99**:325-348.
- Bye, R. 1986 Medicinal plants of the Sierra Madre: Comparative study of Tarahumara and Mexican Market Plants. *Economic Botany*, 40 (1): 103-124.
- Bye, R., N. Meraz and C. Hernandez 1987. Conservation and development of food and medicinal plants in the Sierra Tarahumara, Chihuahua, México. *In*: E. F. Aldon, C. E. González V., and W. H. Moir (eds.). *Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones*. Fort Collins. USA. 66-70.
- Béjar, E., R. Reyes-Chilpa y M. Jiménez-Estrada. 2000. Bioactive compounds from selected plants used in the XVI century mexican traditional medicine. *Studies in Natural Products Chemistry*. 24:799-844.

Benz, B., J. Cevallos, F. Santana, J. Rosales y S. Graf. 2000. Losing Knowledge about plant use in the Sierra de Manantlan Biosphere Reserve, Mexico. *Economic Botany* 54(2): 183-191.

Caballero, J. y L. Cortés. 2001. Percpción, uso y manejo tradicional de los recursos vegetales en México. En B. Rendón, S. Rebollar, J. Caballero y M. A. Martínez (Eds.). *Plantas, cultura y sociedad*. UAM-ztapalapa, México. 79-100.

Contreras-Weber, C., S. Pérez-Gutiérrez, F. Alarcón-Aguilar y R. Román-Ramos. 2002. Anti-Hyperglycemic Effect of *Psacalium peltatum*. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* **45**: 134-136.

Cotton, C. M. 1996. *Ethnobotany: Principles and Applications*. John Wiley and Sons Ltd. Chichester, England. 424 pp.

De Oliveira F., G. Akisue y K. Akisue. 1991. *Farmacognosia*. Atheneu. Brasil. 412 p.

Esau, K. 1985. *Anatomía vegetal*. Omega. España. 779 pp.

Estrada, L. E. 1995. Cultivo de plantas medicinales, una urgencia en Latinoamérica. En Estrada-Lugo E. (Eds.). *Plantas medicinales de México: introducción a su estudio*. UACH. México. 437-439.

Gilani, A. y Atta-ur-Rahman. 2005. Trends in ethnopharmacology. *Journal of Ethnopharmacology* 100: 43-49.

González, S. 1987. *Botánica I. Pueblo y educación*. Cuba. 162 pp.

Hersch, P. 1995. Commercialization of Wild Medicinal Plants from southwest Puebla, México. *Economic Botany*. **49**(2):197-206.

Hernández-Galicia, E., A. Aguilar-Contreras, L. Aguilar-Santamaria, R. Roman-Ramos, A. A. Chavez-Miranda, L. M. Garcia-Vega, J. L. Flores-Saenz y F. J. Alarcón-Auilar. 2002a. Studies on Hypoglycemic Activity of Mexican Medicinal Plants. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* **45**:118-124.

Hernández-Galicia E., A. E. Campos-Sepulveda, F. J. Alarcón-Aguilar, L. I. Vazquez-Carrillo, J. L. Flores-Saenz y R. Roman-Ramos. 2002b. *Proc. Acute Toxicological Study of Cucurbita ficifolia Juice in Mice*. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* **45**:42-43.

Hilerio, M. 2004. Efecto de la disponibilidad de luz y agua sobre la tasa de crecimiento y el patrón de asignación de biomasa en una especie medicinal: *Psacalium decompositum* (Asteraceae). Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. P.

Instituto Nacional Indigenista. 1995. Etnografía Contemporánea de los Pueblos Indígenas de México. INI. México. 320 pp.

International Society of Ethnopharmacology. 2005. ISE Constitution (available at <http://www.ethnopharmacology.org/iseConst.html>).

Jäger, A. 2005. Is traditional medicine better off 25 years later?. Journal of Ethnopharmacology. **100**:3-4.

Leahy, J. 2005. Pathogenesis of Type 2 Diabetes Mellitus. Archives of Medical Research **36**(3):197-209.

Kuklinski, C. 2000. Farmacognosia: Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Omega. España. 515 pp.

Linares, E. and R. Bye. 1987. A study of four medicinal plant complexes of Mexico and adjacent United States. Journal of Ethnopharmacology **19**: 153-183.

Lozoya, X., 1998. La herbolaria en México. Tercer Milenio. CONCULTA. México. 63 pp.

Manzanero, G. 1994. Estudio de siete raíces medicinales del mercado de Sonora. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. Distrito Federal, México.

Martínez, E. 2004. Efecto hipoglucemiante de *Malmea depressa* (Barilon) R. E. Fries. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencia, UNAM. México.

Mulholland, D. 2005. The future of ethnopharmacology. A southern African perspectiva. Journal of Ethnopharmacology **100**:124-126.

Organización Mundial de la Salud. 2000. Situación Reglamentaria de los Medicamentos: una Reseña Mundial. OMS. Génova. 60 pp.

Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología A. C. México. 1406 pp.

Secretaría de Salud. 2001. Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos. México. 100 pp.

Simpson B. B. y M. Conner-Ogorzaly. 1986. Economic Botany. Plants in our World. McGraw-Hill, New York.

Pérez , R. M., A. Ocegueda, J. L. Muñoz, J. G. Avila y W. W. Morrow. 1984. A study of the hypoglucemic effect of some mexican plants. Journal of Ethnopharmacology **12**: 253-262.

Pérez-Castorena, A., A. Castro y A. Romo. 1997. A dirhamnophyranoside from *Psacalium megaphyllum*. Phytochemistry **46**(7):1297-1299.

Pippen, R. 1968. Mexican "Cacalioid" Genera allied to Senecio (Compositae). Contr. U.S. Nat. Herb. **34**: 365-447.

Roman, R., A. Lara, F. Alarcón y J. L. Flores. 1992. Hypoglycemic Activity of Some Antidiabetic Plants. Archives of Medical Research **23**(3):105-109.

Roman-Ramos, R., J. L. Flores-Saenz y F. J. Alarcon-Aguilar. 1995. Anti-hyperglycemic effect of some edible plants. Journal of Ethnopharmacology **48**: 25-32.

Roman-Ramos R., C. C. Contreras-Weber, G. Nohpal-Grajeda, J. L. Flores-Saenz y F. J. Alarcón-Aguilar. 2001. Blood glucosa level decrease caused by extracts and fractions from *Lepechinia caulescens* in healthy and alloxan-diabetic mice. **39**(4):317-321.

Rull, J., C. Aguilar-Salinas, R. Rojas, J. M. Rios-Torres, F. J. Gómez-Pérez y G. Olaiz. 2005. Epidemiology of Type 2 Diabetes in Mexico. Archives of Medical Research **36**(3):188-196.

Soejarto, D. D., H. H. Fong, G. T. Tan, H. J. Zhang, C. Y. Ma, S. G. Franzblau, C. Gyllenhaal, M. C. Riley, M. R. Kadushin, J. M. Pezzuto, L. T. Xuan, N. T. Hiep, N. V. Hung, B. M. Vu, L. X. Dac, L. T. Binh, N. Q. Chien, N. V. Hai, T. Q. Bich, N. M. Cuong, B. Southavong, K. Sydara, S. Bouamanivong, H. M. Ly, T. V. Thuy, W. C. Rose y G. R. Dietzman. 2005. Ethnobotany/ethnopharmacology and mass bioprospecting: Issues on intellectual property and benefit-sharing. Journal of Ethnopharmacology **100**:15-22.

World Health Organization. 1998. Quality control methods for medicinal plant materials. WHO. Genova. 115 pp

## APÉNDICE 1

Descripción de <i>Cacalia decomposita</i> (A. Gray) R. & S.		
<b>Datos generales</b>	Sinonimia	<i>Cacalia decomposita</i> A. Gray, <i>Senecio grayanus</i> Hemsl., <i>Mesadenia decomposita</i> (A. Gray) Standley
	Distribución	Noroeste de Durango, hacia el norte en Sonora, Chihuahua y Arizona. Los límites al sur se encuentran en el norte de Durango.
	Habitats ( n = )	Pastizales, bordes de Bosques de pino-encino. n=30
	Hábito	Herbácea,
	Sexo	Monoica
	Duración	Perenne, subescaposa.
	Tamaño	1-1.5 m de altura
	Floración	Mediados de junio
<b>Estructura general</b>	<b>Estructura específica</b>	<b>Características</b>
<b>Tallo</b>	Tallo	Delgados de 3 – 5 mm, grueso en la base, terete, subleñoso.
	Indumento	Densamente pubescente de color amarillo, pelos multicelulares
<b>Raíces</b>		<b>Fasciculadas verticales</b>
<b>Hojas</b>	Duración	6 meses
	Estructura	Hojas básales de 2 a 4, largamente pecioladas. Hojas caulinares de 3 a 4, de 20 a 30 cm de largo por 12 a 27 cm de ancho, tan largo como tan ancho o usualmente 2-5 cm más largo que ancho. Una hoja caulinar reducida, en forma de bráctea, de 4-9 cm de largo, 1-4 cm de ancho, 1-3 veces pinnatisecta dentro del segmento linear, la bráctea (hoja) caulinar más alta de 1-6 cm de largo, 5 mm de ancho.
	Lámina	3 a 4 veces pinnatisecta, ovada o elíptica en el contorno, la división primaria 10-15 (-17), distal mente opuesto, cada 2 o 3 veces pinnatisecto, el último segmento triangular angosto o ampliamente oblongo y falcado, 0.5-2 cm de largo, 2-5 mm de ancho, la porción laminar reducida a un margen angosto casi 1 mm de ancho en cada lado de las venas.
	Pecíolo	Subterete o triangular a través de un corte, 17-25 cm de largo, subglabro o espaciadamente pubescente.
	Nervadura	Pinada
	Indumento	Pelos multicelulares de 0.4 -1 mm de largo, mayormente en las nervaduras y en el margen.
<b>Inflorescencia</b>	Tipo	Paniculiforme o corimbiforme, de 11 a 20 cm de largo y de 12 a 22 cm de ancho.
	Brácteas	Caliculado 1-3, 2-4 mm de largo, linear-subulado. Densamente pubescentes
	Pediceo	1-1.5 mm de largo.
	Pedúnculo	Densamente pubescentes, en pedúnculo principal ovado angostamente o linear-subulado.
	Cabezuelas	100 o menos, de 10-12 mm de longitud
<b>Flores</b>	Flores	(5-) 6-7 (8)
	Sexo	Monoicas
	Corola	Color blanco amarillenta, 7-8 (-9) mm. de largo, el tubo 3.5-4 (-5) mm de largo, el lobo linear-agudo, 3.5-4 mm de largo, 0.5 mm de ancho, no presenta garganta.
	Anteras	2-3 mm de largo
	Estilo	Las ramas del estilo 1-1.5 mm de largo, las puntas truncadas o obtusas, el margen terminal con tricomas (o raramente un grupo de tricomas converge en la punta )
	Receptáculo (Hipanto)	1.5 mm de ancho.
<b>Semillas</b>	Aquenio	Elipsoidales a menudo falcados de 4 a 5 mm de largo, 2 a 3 mm de ancho, 1 mm de grueso, glabro, de color gris pardo. Contrasta con costillas claras, las costillas de 15-18.
	Vilano	(4-) 5.5-6 (-7) mm de largo, de color blanco o crema.
<b>Referencias</b>		Pippen, R. 1968. Mexican "Cacalioid" Genera allied to Senecio (Compositae). Contr. U.S. Nat. Herb. 34: 365-447.

### Descripción de *Psacaliium peltatum* (H.B.K.) DC.

<b>Datos generales</b>	Sinonimia	<i>Cacalia peltata</i> H.B.K., <i>Senecio peltiferus</i> Hemsl.
	Distribución	Sureste de Chihuahua a Durango y Jalisco, a través del eje neovolcanico transversal, principalmente Michoacán, Distrito Federal, Puebla y Estado de México.
	Habitats ( n = )	Pastizales y bordes de Bosques de Pino. n=30
	Hábito	Herbácea, subescaposa
	Sexo	Monoica
	Duración	Perenne
	Tamaño	2.5 m
	Floración	Septiembre y octubre
<b>Estructura general</b>	<b>Estructuras específicas</b>	<b>Características</b>
<b>Tallo</b>	Tallo	Estriado-acanalado y meduloso, lanosos en la base cerca de la raíz.
	Indumento	En ocasiones densamente cubiertos con glándulas, diminutas, estipitadas y multicelulares, de 2 a 4 mm de largo.
<b>Raíces</b>		<b>Gruesa y fibrosa.</b>
<b>Hojas</b>	Duración	6 meses
	Estructura	Hojas básaes 3 ó 4.
	Disposición	Las básaes dispuestas en roseta. Las caulinares intermedias similares a las básaes pero frecuentemente más reducidas, subpeltadas y semiamplexicaules.
	Lámina	Suborbiculares, peltadas y palmatinerves, de 10 a 30 (60) cm. de diámetro. Profundamente multilobadas, con 7 a 9 lóbulos primarios, divididos en 3 a 7 lóbulos secundarios, y éstos a su vez con 3 ó 4 lóbulos o dientes más pequeños.
	Pecíolo	6 a 42 cm. de largo.
	Textura y/o superficie	Coriáceas
	Nervadura	6 a 8 nervaduras principales.
<b>Inflorescencia</b>	Indumento	Esparcida a densamente pilosas o hirsutas, con pelos multicelulares, carentes de glándulas.
	Tipo	Paniculado-corimbosa
	Pedúnculo	A veces densamente glandular-estipitadas. Se originan en las axilas de brácteas
	Brácteas; o	Foliáceas, sésiles, ovadas o angostamente ovadas, ocasionalmente lineares
	Pedicelo	A veces densamente glandular-estipitadas
	Cabezuelas	Discoideas, de 10 a 100 de 1 a 1.5 (2) cm. de alto
	Involucro	Acampanulado o ligeramente cilíndrico.
	Brácteas	8 a 12 (14) mm de largo, ápice acuminado, café-rojizas
<b>Flores</b>	Calículo	2 a 5 brácteas angostamente ovadas a lineares, frecuentemente más largas y anchas que las brácteas involucrales.
	Indumento	Esparcida a densamente pilosas o hirsutas, con pelos multicelulares, carentes de glándulas.
	Flores	10 a 24 (38), de 14 a 21 mm de largo
	Sexo	Monoica
	Corola	Color crema a café o purpúreas
<b>Semillas</b>	Olor	Desagradable
	Receptáculo (Hipanto)	Plano y ligeramente alveolado
	Pedúnculo	0.3 a 2 cm. de largo
<b>Referencias</b>	Aquenio	Cuando están maduros son elipsoidales a Claviformes, de 3 a 6 mm de largo.
	Testa	Multiestriados, glabros a tomentulosos, de color crema o verdosos
	Vilano	Cerdas blancas, de 6 a 9 mm de largo
<b>Referencias</b>		Rzedowski, G. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología A. C. y CONABIO, México. 1406 pp. Pippen, R. 1968. Mexican "Cacalioid" Genera allied to Senecio (Compositae). Contr. U.S. Nat. Herb. 34: 365-447.



**Descripción de *Cacalia radulifolia* (H.B.K.) Rydb.**

<b>Datos generales</b>	Sinonimia	<i>Cacalia radulifolia</i> H.B.K., <i>Senecio radulaefolius</i> (H.B.K.) Schultz, <i>Cacalia Schaffneri</i> A. Gray, <i>Odontotrichum schaffneri</i> (A. Gray) Rydb. Bull. Torrey
	Distribución	Sinaloa, Durango, San Luis Potosí y de Guanajuato a Tamaulipas.
	Habitats	Pastizales abiertos en Bosques de pino-encino y pasturas.
	Hábito	Herbácea,
	Sexo	Monoica
	Duración	Perenne,
	Tamaño	1.5 m de alto
	Floración	Julio y agosto.
	Indumento	Planta completamente pubescente excepto los filarios.
<b>Estructura general</b>	<b>Estructura específica</b>	<b>Características</b>
Tallo	Tallo	3-5 (-8) mm de grueso en la base, verde o púrpura.
	Indumento	Pubescente
Hojas	Estructura	Hojas basales 2 o 3. Hojas caulinares 2-4, las más bajas tan largas como algunas basales y similares, pero en la base el pecíolo es más dilatado y a menudo hoja-marginada. Las hojas caulinares más altas progresivamente más pequeñas, en forma de brácteas, base auricular, elíptica u ovada, distal mente situada 7 a 9 lobada. Hojas pinado lobadas tres-quintos o cuatro-quintos de distancia a la costilla media, los lobos primarios 7-9 (-11), cada división dentro usualmente 3(2-5) lobos, los lóbulos secundarios a menudo lobados, 3-angulado o bastante dentado, los pares más bajos de lóbulos primarios desviados, paralelos al pecíolo.
	Posición	Subpeltada
	Lámina	Ovada-cordada o subcircular, (6-) 10-12 (-18) cm de largo, (8-) 12-14 (-22) cm de ancho, usualmente 3-5 cm de ancho que largo o tan largo como ancho.
	Pecíolo	Pegado en la hoja 2-10 (-30) mm cerca de la base. (7-) 12-21 (-30) cm de largo;
	Nervadura	Pinada
Inflorescencia	Tipo	Corimbiforme, (3-) 12-30 cm de largo y ancho, las ramas subtendidas por brácteas linear-subbulada (5-) 7-10 mm de largo.
	Cabezuelas	Color blanco, (25-) 50-75, 10-11 mm de largo.
	Brácteas	Filarios 3-5, oblonga o angostamente ovada, 5-7 mm de largo, 1-2 (3-) mm de ancho, glabras.
Flores	Flores	5 o 6
	Corola	6.5-7.5 mm de largo, el tubo 3-3.5 (-4) mm de largo, el cuello muy corto, amplio, 0.5-0.7 mm de largo, 0.7-1 mm de ancho en el apice, lo lobos 3-3.5 mm de largo.
	Anteras	2-3 mm de largo.
	Estilo	Las ramas del estilo 1-1.5 mm de longitud, hispido en la superficie abacial, las puntas truncadas o obtusas con un margen subterminal con tricomas.
Semillas	Aquenio	Elipsoidales, 4 mm de largo, 1.5 mm de ancho, de color café, con 14 costillas, pubescente. Los pelos de 0.5 mm de longitud, verdoso.
	Vilano	Cremoso, 4-5.5 mm de largo.
<b>Referencias</b>	Pippen, R. 1968. Mexican "Cacalioid" Genera allied to Senecio (Compositae). Contr. U.S. Nat. Herb. 34: 365-447.	

## APÉNDICE 2

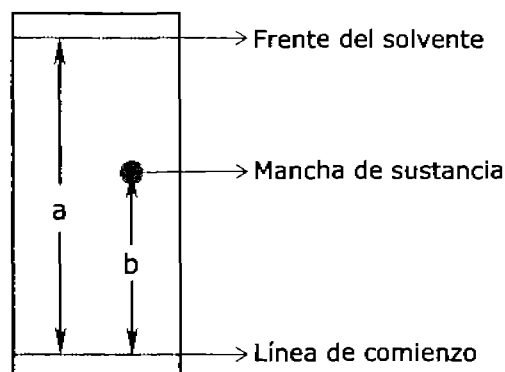
### Cromatografía en capa fina

La cromatografía (literalmente "escritura en color") es una técnica de separación para la purificación o análisis de mezclas complejas. Existen una diversidad de técnicas cromatográficas y todas trabajan con un principio semejante, conocido desde hace más de 100 años: la muestra a separar se disuelve en un solvente, la solución se llama fase móvil y se hace pasar por un material adsorbente inerte, o fase estacionaria. En vista de que distintos compuestos se adsorben en la fase estacionaria a diversos grados, migran a lo largo de la fase a velocidades diferentes, separándose entres si. El tiempo en que se eluye un compuesto está muy influido por su polaridad. Las moléculas con grupos funcionales polares se adsorben en general con más fuerza y en consecuencia migran por la fase estacionaria con más lentitud que las moléculas no polares (McMurry, 2001).

En la cromatografía en capa fina (CCF) el adsorbente, que puede ser de gel de sílice o alúmina, celulosa o poliamida, está unido a una capa delgada de soporte por ejemplo una placa de vidrio o una hoja de aluminio. En esta capa la mezcla de la sustancia es separada por elusión con un solvente pertinente. La separación más frecuente es de manera ascendente en una cámara cromatográfica (método estándar o "corrida" linear). La placa se revela para localizar las posiciones de las fracciones incoloras rociando con una sustancia química apropiada o por la exposición a radiación UV.

La evaluación depende del propósito del análisis cromatográfico. Para una determinación cualitativa la localización de las sustancias puede ser suficiente. Los componentes se identifican comparando la distancia que han recorrido por la placa con soluciones tipo que han subido simultáneamente, o mediante el cómputo de un valor  $R_f$  (factor de retención), el cual se define como sigue:

$$R_f = \frac{\text{distancia de la línea de comienzo al centro de la mancha}}{\text{distancia de la línea de comienzo al frente del solvente}} = \frac{a}{b}$$



## **Recomendaciones de la Farmacopea para la elaboración de CCF**

En general se reconoce que la cromatografía en capa delgada (CCF) o la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) son excelentes medios de identificación y certificación de material vegetal. Los otros ensayos de identidad se deben utilizar en correlación para verificar la identidad de la materia prima (Secretaría de Salud, 2001).

La CCF es una técnica particularmente valiosa para la determinación cualitativa de pequeñas cantidades de compuestos o impurezas. Esta técnica es fácil de realizar, es efectiva y requiere de equipo poco costoso; por lo tanto es utilizada frecuentemente en la evaluación de las plantas medicinales y de sus preparaciones.

Los siguientes parámetros deben determinarse con base en las monografías de la farmacopea o establecidas experimentalmente por el análisis de cada material vegetal individual:

- El tipo de adsorbente y método de activación
- El método de preparación y concentración de la solución de prueba y la solución de referencia.
- El volumen de la solución que se aplicará a la placa
- La fase móvil y distancia de migración
- Las condiciones de secado, la temperatura y el método de detección
- Para los resultados obtenidos observar en las manchas
  - Número y posición o el valor del R<sub>f</sub>
  - Fluorescencia y color
- Detección bajo lámpara de luz UV (254 nm ó 365 nm) o visible

**APÉNDICE 3**  
**Metabolitos secundarios en el complejo "matarique"**

Compuesto	Fórmula	Descripción física	Punto de fusión	UV	Extracto	PRESENCIA	REFERENCIA
Cacalol	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	Cristales (Et <sub>2</sub> O/pentano)	92-94°	[neutral] λ <sub>max</sub> (ε) 218 (30400), 256 (10500), 264 (10000), 286 , (1840) (MeOH)	Hexano, Agua	<i>P. decompositum</i> , <i>P. radulfifolium</i>	Romo y Joseph-Nathan, 1964 Romo et al., 1966; Alarcón-Agullar et al., 1997; Garduño-Ramírez et al., 2001
Cacalona	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	Cristales (acetona/hexano)	120-121°	λ <sub>max</sub> (ε) 212 (6600), 250 (11200), 320 (8500)	Hexano, Agua	<i>P. decompositum</i>	Romo y Joseph-Nathan, 1964 Romo et al., 1966; Alarcón-Agullar et al., 1997
Decompostina	C <sub>17</sub> H <sub>20</sub> O <sub>5</sub>	Prismas amarillo pálido (Acetona/hexano)	183-184°	λ <sub>max</sub> (ε) 254 (4600), 302 (16200 )	Hexano	<i>P. decompositum</i> <i>P. radulfifolium</i>	Rodríguez_Hahn et al. 1968 Garduño-Ramírez et al., 2001
Éter metílico de dehidrocacalol	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	Cristales (éter-metanol)	79.5-81°	λ <sub>max</sub> (ε) 220 (17300), 240 (11300), 249 (10500), 283 (14700)	Hexano	<i>P. decompositum</i> <i>P. radulfifolium</i>	Romo et al. 1968 Garduño-Ramírez et al., 2001
Hidroperoxiacalona	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub>	Cristales amarillos (Éter de petróleo/EtOAc)	97-98°		Éter de petróleo	<i>P. decompositum</i>	Jiménez-Estrada et al., 1997
3-hidroxicacalolido	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>4</sub>	Sólido blanco amorfo		λ <sub>max</sub> (ε) 295 (3.37) (EtOH)	Acuoso y etanólico	<i>P. decompositum</i>	Inman et al., 1997
Maturina	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	Cristales amarillos	119-121°	λ <sub>max</sub> (ε) 251 (27000), 353 (8550)	Benceno, Agua	<i>P. decompositum</i> <i>P. peltatum</i>	Correa y Romo, 1966; Alarcón-Agullar et al., 1997
Maturinina	C <sub>16</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	Cristales amarillos (acetona/hexano)	95-96°	λ <sub>max</sub> (ε) 250 (28300), 372 (8900)	Hexano	<i>P. decompositum</i>	Correa y Romo, 1966
Maturona	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	Agujas cristalinas amarillas (Acetona/hexano y acetona/éter)	169-170°	λ <sub>max</sub> (ε) 250 (29000), 298 (6500), 354 (3220)	Benceno	<i>P. decompositum</i>	Correa y Romo, 1966
Maturinona	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	Agujas cristalinas amarillas	168-169°	λ <sub>max</sub> (ε) 250 (29000), 298 (6500), 354	Benceno:Hexano	<i>P. decompositum</i>	Correa y Romo, 1966

		(CHCl <sub>3</sub> /MeOH)		(3220)	(1:3 y 1:2)		
Radulifolina A	C <sub>15</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub>	Pólvo blanco amorfo	117-119°	λ <sub>max</sub> (ε) 208 (4.48), 287(3.53) nm	Hexano	<i>P. radulifolium</i> R <sub>f</sub> 0.440 (hex- AcOEt, 75:25)	Garduño-Ramírez et <i>al.</i> , 2001
Radulifolina B	C <sub>16</sub> H <sub>20</sub> O <sub>4</sub>	Acelte amarillo		λ <sub>max</sub> (ε) 206 (3.86), 286 (3.05) nm	Hexano	<i>P. radulifolium</i> R <sub>f</sub> 0.714 (hex- AcOEt, 75:25)	Garduño-Ramírez et <i>al.</i> , 2001
Radulifolina C	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	Pólvo amarillo amorfo	163-165°	λ <sub>max</sub> (ε) 204 (3.75), 250 (3.63), 285 (3.42), 329 (3.75) nm	Hexano	<i>P. radulifolium</i> R <sub>f</sub> 0.32 (hex- AcOEt, 75:25)	Garduño-Ramírez et <i>al.</i> , 2001
Radulifolina D	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	Sólido amarillo	122-124°	λ <sub>max</sub> (ε) 207 (4.50), 245 (4.20), 277 (4.00), 336 (4.00)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> -EtOH (3:2)	<i>P. radulifolium</i> R <sub>f</sub> 0.226 (hex- AcOEt,)	Garduño-Ramírez et <i>al.</i> , 2003
Radulifolina E	C <sub>17</sub> H <sub>18</sub> O <sub>5</sub>	Sólido amarillo	222-225°	λ <sub>max</sub> (ε) 319 (3.95), 257 (3.71), 240.5 (3.65), 232 (3.66), 224.5 (3.65), 205.5 (3.72)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> -EtOH (3:2)	<i>P. radulifolium</i> R <sub>f</sub> 0.413 (hex- AcOEt, 3:2)	Garduño-Ramírez et <i>al.</i> , 2003
Radulifolina F	C <sub>21</sub> H <sub>28</sub> O <sub>9</sub>	Acelte amarillo			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> -EtOH (3:2)	<i>P. radulifolium</i> R <sub>f</sub> 0.295 (hex- AcOEt, 85:15)	Garduño-Ramírez et <i>al.</i> , 2003
epi- Radulifolina F	C <sub>21</sub> H <sub>28</sub> O <sub>9</sub>	Acelte amarillo			CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> -EtOH (3:2)	<i>P. radulifolium</i> R <sub>f</sub> 0.295 (hex- AcOEt, 85:15)	Garduño-Ramírez et <i>al.</i> , 2003
Romo-A	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	Cristales ámbar (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	168-170°	λ <sub>max</sub> (ε) 246 (32473), 289 (6689), 249 (5067) nm (CH <sub>3</sub> CN)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	<i>P. decompositum</i>	Reyes-Chilpa et <i>al.</i> 2002

**APÉNDICE. 4**  
**Farmacología del complejo "matarique"**

ACTIVIDAD	ESPECIE	EXTRACTO	COMPUESTO	MODELO EXPERIMENTAL	EFECTO	REFERENCIA
ANTI- OXIDANTE	<i>P. radulifolium</i>		Cacalol, cacalona, epi-cacalona, neoadenostilona, radulifolina C, radulifollna D, radulifollna F	Radicales libres DPPH	Solo el cacalol es positivo.	Garduño-Ramírez, 2003
ANTIMICROBIANA	<i>P. decompositum</i>	Metanólico y hexánico	Cacalol	Bacterias, hongos y levaduras	Positivo de manera similar los extractos y el cacalol.	Jlménez <i>et al.</i> , 1992
	<i>P. radulifolium</i>	Metanólico y hexánico	cacalol, O-metil-1,2-éter de dehidrocacalol, adenostina A, decompostina, neoadenostilona, cacalona, epi-cacalona, radulifollna A, epi-radulifollna A, radulifollna B radulifollna C	Bacterias y levaduras	Positivo del extracto hexánico y los productos naturales, mayoritariamente de la radulifollna A.	Garduño-Ramírez <i>et al.</i> , 2001
HIPOGLICEMI CA	<i>P. radulifolium</i>	Metanólico	Cacalol, O-metil-1,2-éter de dehidrocacalol, Decompostina, radulifollna D, radulifollna E, radulifollna F epi-radulifollna F	Ratas Wistar normoglicémicas	No significativo en las dosis empleadas.	Garduño-Ramírez <i>et al.</i> , 2003

	<i>P. decompositum</i>	Acuoso	Cacalol, acetato de cacalol, cacalona, maturalina Fracción de polisacáridos	Ratones CD1 normoglucémicos	Significativo en el extracto y la fracción de polisacáridos. No significativo en los sesquiterpenos	Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 1997; Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 2000a; Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 2000b	
ANTIHIPERGLICÉMICA	<i>P. decompositum</i>	Acuoso		Ratones CD1 con diabetes inducida con alloxan Conejos Neozelandeses con hiperglicemia temporal	Significativo	Pérez <i>et al.</i> , 1984 Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 1997	
	<i>P. decompositum</i>	Acuoso	Cacalol, 3-hidroxicacalolido, epi-3-hidroxicacalolido	Ratones <i>ob/ob</i>	Significativo en el extracto y todos los compuestos	Inman <i>et al.</i> , 1997	
	<i>P. decompositum</i>	Acuoso Hexánico y metanólico	Fracción del precipitado acuoso macerado con metanol (WMP)	Ratones CD1 con diabetes ligera y severa inducida con alloxan	Significativo en el extracto acuoso (principalmente en ratones con diabetes ligera) y la fracción WMP (en ratones con diabetes ligera). No significativa la fracción WMP en animales con diabetes severa No significativo en los extractos hexánico y metanólico.	Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 2000a; Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 2000b	
	<i>P. peltatum</i>	Acuoso, metanólico, hexánico y de cloroformo.			Ratones CD1 con hiperglicemia temporal.	Significativo en el extracto acuoso y metanólico.	Roman <i>et al.</i> , 1992; Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 1997; Contreras-Weber <i>et al.</i> , 2002; Alarcón-Aguilar <i>et al.</i> , 2003.
		Acuoso			Conejos Neozelandeses con hiperglicemia temporal	Significativos	

				Ratones CD1 y conejos Neozelandeses con diabetes ligera Inducida con alloxan		
				Ratones CD1 y conejos Neozelandeses con diabetes severa Inducida con alloxan	No significativos	
	<i>P. radulifolium</i>	Metanólico		Ratas Wistar con diabetes inducida con estreptozotocina	No significativo.	Garduño-Ramírez, 2003



**APÉNDICE 5**  
**Ficha de colecta**

DATOS DE COLECTA:

Nombre científico \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Individuo \_\_\_\_\_ Talla \_\_\_\_\_

Forma biológica: Estado vegetativo ( ) En floración ( ) Fructificando ( )

Asociación: \_\_\_\_\_

Hábitat \_\_\_\_\_

Abundancia \_\_\_\_\_

UBICACIÓN DE LA COLECTA:

Estado y Municipio \_\_\_\_\_ Localidad \_\_\_\_\_

Coordenadas \_\_\_\_\_ Altitud \_\_\_\_\_ Clima \_\_\_\_\_

Tipo y profundidad del suelo \_\_\_\_\_

Topografía \_\_\_\_\_ Tipo de vegetación \_\_\_\_\_

## APÉNDICE 6

### Datos de colecta y análisis químico

#### Plantas de campo

Muestra	Número de Individuos	Fecha de cosecha	Edad (mes)	Estado fenológico	Peso seco (g)	Rendimiento (%)	Densidad óptica	Cacalol (mg)/raíz (g)	Estado fenológico	
									Promedio	DE
1	3	Sep-03	D	P	0.45	5.09	3966.23	5.34	7.89	3.61
2	2	Oct-03	D	P	0.65	3.98	10286.78	10.44		
3	3	Oct-03	D	V	17.45	5.48	10543.05	19.05	19.00	0.83
4	1	Oct-03	D	V	8.87	5.49	10894.55	19.80		
5	1	Oct-03	D	V	0.68	5.82	9567.96	18.14		
6	1	Oct-03	D	R	14.43	2.97	15831.39	16.14	16.37	0.88
7	1	Oct-03	D	R	4.44	5.61	8663.21	15.62		
8	2	Oct-03	D	R	7.55	4.80	10903.54	17.34		
9	1	Sep-03	D	S	2.57	7.72	14883.13	39.19	28.58	7.55
10	1	Sep-03	D	S	3.50	6.60	12185.27	26.93		
11	1	Oct-03	D	S	2.56	7.81	10466.37	26.92		
12	1	Oct-03	D	S	4.59	6.61	9850.80	21.30		

D - Desconocido

P - plántula; V - estado vegetativo; R - estado reproductivo; S - senescencia

## Plantas de invernadero

Muestra	Fecha de cosecha	Edad (mes)	Intensidad lumínica	Estado fenológico	Peso seco (g)	Rendimiento (%)	Densidad óptica	Cacalol (mg) / raíz (g)	Condiciones de crecimiento		Estado fenológico		P <sub>r</sub> (p≤0.05)
									Promedio	DE	Promedio	DE	
1	Feb-03	1	B	P	1.65	1.90	11563.50	3.66					
2	Feb-03	1	B	P	0.09	2.61	5918.63	2.31					
3	Feb-03	1	B	P	0.24	2.13	4314.73	1.26	2.41	1.20			
4	Feb-03	1	A	P	0.11	5.10	4348.65	3.04					
5	Feb-03	1	A	P	0.29	3.66	4662.04	2.39					
6	Feb-03	1	A	P	0.31	2.52	7351.51	2.90	2.78	0.34	2.59	0.82	0.638
7	May-03	4	B	V	1.35	3.16	13209.89	7.04					
8	May-03	4	B	V	0.47	3.36	12302.63	6.92					
9	May-03	4	B	V	2.29	2.46	17214.93	7.32	7.09	0.20			
10	May-03	4	A	V	0.07	6.93	8242.67	9.10					
11	May-03	4	A	V	0.39	4.33	14501.74	10.69					
12	May-03	4	A	V	1.56	3.25	19453.83	11.01	10.26	1.02	8.68	1.86	0.006
13	Jul-03	24	B	R	0.15	5.37	7169.42	5.99					
14	Jun-03	35	B	R	0.08	6.92	6372.04	6.70					
15	Jul-03	36	B	R	0.36	2.85	11051.87	5.23	5.97	0.74			
16	Jul-03	48	A	R	0.79	5.54	9854.33	8.93					
17	Jun-03	25	A	R	0.50	4.46	10800.60	7.97					
18	Jul-03	36	A	R	1.34	2.96	14328.48	7.21	8.04	0.86	7.00	1.34	0.034
19	Sep-03	8	B	S	0.18	5.77	11848.08	11.43					
20	Sep-03	8	B	S	0.12	9.32	9373.94	14.20					
21	Sep-03	8	B	S	0.02	48.67	2716.08	14.29	13.31	1.63			
22	Sep-03	8	A	S	0.52	8.94	16130.86	24.76					
23	Sep-03	8	A	S	0.08	10.34	12153.34	21.04					
24	Sep-03	8	A	S	0.25	7.68	16200.24	21.37	22.39	2.06	17.85	5.24	0.004

B - baja; A - alta

P - plántula; V - vegetativo; R - reproductivo; S - senescencia.

## APÉNDICE 7

### Entrevistas en campo

ID	Nombre	Edad	Fecha	Municipio	Localidad	Grupo étnico
Principal actividad		¿Conoce la planta llamada matarique?			Sabe con que otros nombres se le conoce?	
¿En qué periodo se colecta?		Raíz	Tallo	Flor	Hoja	Fruto
¿Cuál es el uso de la planta?		¿Cómo supo de este uso de la planta?		¿Hay alguna otra planta que sirva para lo mismo?		
¿Qué parte de la planta se utiliza?		¿Las raíces tienen diferentes partes?		¿Cuáles son?		
¿Cómo se prepara y aplica?						
Fresca	Seca	Cualquiera	¿Se utiliza sola o con otras plantas?		¿Con qué frecuencia se usa?	
¿Ha observado la sustancia roja que se secreta de la raíz?			¿Relación sustancia roja - eficacia?		¿Cuál es?	
¿En qué época es más abundante la sustancia roja?			¿Usted colecta la planta?		¿Qué parte de la raíz utiliza?	
Autoconsumo	Trueque	Venta directa	Intermediarios	¿En qué lugares son más abundantes?		
¿A qué hora del día se colecta?		¿Se deja alguna porción de la raíz enterrada?		¿Existe algún color u olor preferencial?		
¿Cómo es?	Cuál es la altura y el ancho de la planta que colecta			¿Condiciones de la flor y las hojas al momento de la colecta?		
Estado vegetativo	En floración	Fructificando	¿Hay una característica importante de las plantas que colecta?			
Asociación:	Hábitat :		Abundancia		¿Cuánta planta colecta al año?	
Observaciones						

## APÉNDICE 8

### Datos de colecta en mercados

<i>Entrevista</i>		<i>Clave</i>	<i>Estado</i>		<i>Localidad</i>
<i>Nombre</i>		<i>Nombre del mercado</i>		<i>Local</i>	<i>Fecha</i>
<i>¿Para qué usa el matarique?</i>					
<i>¿Cómo se prepara y aplica?</i>					
<i>Fresca</i>	<i>Seca</i>	<i>Cualquiera</i>	<i>Otras plantas</i>		
<i>¿Con qué frecuencia se recomienda usar la raíz?</i>					
<i>¿De dónde proviene el producto que vende?</i>					
<i>¿Cuánto compra al año? o ¿Qué cantidad recolecta?</i>					
<i>¿Conoce diferentes tipos o variedades?</i>			<i>¿Cómo los/los reconoce?</i>		
<i>¿Ha observado la sustancia roja que secreta la raíz?</i>					
<i>¿Existe relación entre sustancia roja que se secreta y eficacia?</i>					
<i>¿Cuál es?</i>					
<i>¿Cual de las variedades vendidas tiene más sustancia roja?</i>					
<i>¿Peso y precio por menudeo?</i>					
<i>Observaciones</i>					