

zonas áridas

Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima-Perú
Center for Arid Lands Research, Agrarian National University, La Molina, Lima-Perú

2006 - N°10



Andreas Suchantke

Leyenda de la carátula

Desierto costero a 2000 m de altitud, con *Browningia candelaria* con ramas ornamentadas en la parte superior. En el fondo, un ejemplar joven de columna ramificada y una ramificación principiante en el primer plano. Las ramas superiores pueden presentar un desarrollo aún mayor que el de la *Browningia* adulta (derecha), perdiendo entonces su rígida regularidad y adquiriendo así formas variadas, movidas y onduladas.

Figura extraída del libro, “El Continente de los Colibris” (2003) de Andreas Suchantke y que fuera incluida en el artículo “A través de la Costa Desértica hacia los Cardonales de los Andes Occidentales (2)” en Quepo Vol. 17-2003 (p. 52).

Cover Legend

Desert Coast at 2000 m altitude, with *Browningia candelaria* with ornamental branches at top. Towards the back, a young individual with ramified column; in front an initial ramification. The top branches can develop higher levels as that presented by the adult *Browningia* (right), losing their rigid regularity and becoming of varied, motional and undulated forms. Figure extracted from the book “El Continente de los Colibris” (2003) by Andreas Suchantke included in the article “A través de la Costa Desértica hacia los Cardonales de los Andes Occidentales (2)” in Quepo Vol. 17-2003 (p. 52).

Zonas Áridas

Publicada por el Centro de Investigaciones de Zonas Áridas (CIZA)
Universidad Nacional Agraria La Molina
Published by the Center for Arid Lands Research (CIZA)
National Agrarian University La Molina

Director/ *Director*

MSc. Juan Torres Guevara

Editor Invitado/*Guest Editor*

Dr. Carlos Ostolaza Nano

Editores/*Editors*

Biol. Sonia María González Molina
Dra. María de los Ángeles La Torre-Cuadros
MSc. Reynaldo Linares-Palomino

Comité Científico/*Scientific Committee*

Dr. Eugene N. Anderson
University of California Riverside, EUA
E-mail: gene@ucr.edu

Dra. Norma Hilgert
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y
Técnicas, Argentina
E-mail: normahilgert@yahoo.com.ar

Dra. Egleé López Zent
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas,
Venezuela
E-mail: elopez@ivic.ve

Dr. Antonio Galán de Mera
Universidad San Pablo CEU, España
E-mail: agalmer@ceu.es

Dr. Carlos Galindo-Leal
Programa Bosques Mexicanos WWF, México
E-mail: cgalindo@wwfmex.org

Dr. Alejandro Casas
Instituto de Ecología, Universidad Nacional
Autónoma de México, México
E-mail: acasas@oikos.unam.mx

Dr. Gerald A. Islebe
El Colegio de la Frontera Sur, México
E-mail: gerald@ecosur-qroo.mx

Dr. Miguel Ángel Martínez Alfaro †
Universidad Nacional Autónoma de México,
México
E-mail: malfaro@mail.ibiologia.unam.mx

Dra. María Nery Urquiza Rodríguez
Grupo Nacional de Lucha contra de la Desertifica-
ción y la Sequía, Cuba
E-mail: nery@ama.cu

PhD. Toby Pennington
Royal Botanic Garden Edinburgh
Tropical Diversity Section
E-mail: t.pennington@rbge.org.uk

Diseñadora/ *Designer*

Gaby Matsumoto

Información General/ *General Information*

Zonas Áridas publica artículos referentes a los diversos aspectos de las zonas áridas y semiáridas a nivel mundial, con la finalidad de contribuir al mejor conocimiento de sus componentes naturales y sociales, y al manejo adecuado de sus recursos. Con este objeto acepta contribuciones sobre zonas áridas en los distintos campos de la ciencia básica y aplicada, en particular en: Biología, Ecología, Paleobiología, Antropología, Arqueología, Geología, Hidrología, Forestales, Agricultura, Climatología y Arquitectura referida a las zonas áridas. Esta Revista se inició en 1982 y tiene las siguientes secciones: Editorial, Artículos científicos, Revisiones y Notas Técnicas o Informativas. No se cobran gastos de publicación. Las opiniones expresadas en esta revista son responsabilidad exclusiva de los autores.

Zonas Áridas publishes original articles that address the various aspects of the arid and semi-arid at world-wide level, aiming to contribute to a better understanding of their natural and social components and to the rational management of their resources. It accepts contributions about arid lands in the different scopes of basic and applied science, particularly in: Biology, Ecology, Paleobiology, Anthropology, Archaeology, Geology, Hidrology, Forestry, Agriculture, Climatology and Architecture. This journal was founded in 1982 and it has the following sections: Editorial, Scientific Research Articles, Reviews and Technical or Informative Notes. It has no page charges. Opinions and conclusions expressed in this journal are the sole responsibility of the contributing author (s).

ISSN 1013-445X (Versión impresa)

ISSN 1814-8921 (Versión electrónica)

Título Clave: Zonas áridas

Título Clave Abreviado: Zonas áridas

Biblioteca Nacional del Perú

Depósito Legal: 2003-5607

Dirección Postal/Mailing Address

Centro de Investigaciones de Zonas Áridas (CIZA)

Universidad Nacional Agraria La Molina

Camilo Carrillo 300 A, Lima 11, Perú

E-mail: cizaunalm@yahoo.com

Página Web: <http://www.lamolina.edu.pe/ciza>

Contenidos / Contents

CARTA DEL DIRECTOR / *DIRECTOR'S LETTER*

EDITORIAL

OBTENCIÓN DE EMBRIOIDES DE <i>AGAVE TEQUILANA</i> WEBER A PARTIR DE EXPLANTES DE RAÍZ Liberato Portillo & Fernando Santacruz-Ruvalcaba	11
MANEJO TRADICIONAL Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DE <i>POLASKIA</i> SPP. (CACTACEAE) EN MÉXICO José Juan Blancas, Fabiola Parra, José Demián Lucio, María Eva Ruíz-Durán, Edgar Pérez-Negrón, Adriana Otero-Arnaiz, Nidia Pérez-Nasser & Alejandro Casas	20
VARIABILIDAD GENOTÍPICA DE CACTÁCEAS CON CRECIMIENTO DETERMINADO DE LA RAÍZ EN LA REGENERACIÓN DE RAÍCES A PARTIR DE CALLOS Svetlana Shishkova, Norma E. Moreno & Vicente Castillo-Díaz	41
EFFECTO DEL DISTURBIO CRÓNICO EN <i>ECHINOCEREUS SCHMOLLII</i> (WEING.) N. P. TAYLOR, UNA CACTACEA EN PELIGRO DE EXTINCIÓN EN EL SEMIDESIERTO QUERETANO, MÉXICO José Gpe Hernández-Oria, Chávez Ruth & Sánchez Emiliano	59
EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS DEMOGRÁFICOS DE <i>MAMMILLARIA ZEPHYRANTHOIDES</i> EN CUAUTINCHÁN PUEBLA, MÉXICO María del Carmen Navarro Carvajal & María del Sagrario Juárez Tentle	74
CARACTERIZACIÓN FLORÍSTICA Y ANÁLISIS DE DIVERSIDAD EN EL ÁREA DE DISTRIBUCIÓN DE LA PAVA ALIBLANCA (<i>PENELOPE ALBIPENNIS</i> TACZANOWSKI) Arnold Serván Mori & Fernando Angulo Pratolongo	84
ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA DE <i>CORRYOACTUS ERECTUS</i> (BACKEBERG) RITTER (CACTACEAE) Norma Salinas Revilla & Esther Álvarez Moscoso	102
TAXONOMÍA, ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN <i>EX SITU</i> DE LAS CACTÁCEAS DE LIMA Aldo Ceroni Stuva, Natalia Calderón Moya-Méndez & Viviana Castro Cepero	115
LA GERMINACIÓN <i>IN VITRO</i> UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER EXPLANTES EN CACTÁCEAS Lucía Cuéllar Chávez, Eufemia Morales Rubio & Jaime Fco. Treviño	129

Notas Técnicas e informativas / *Technical and informative notes*

UTILIZACIÓN DE <i>OPUNTIA FICUS-INDICA</i> (L.) MILL) PARA CONSUMO HUMANO: UNA EXPERIENCIA EN EL NORTE DE TIGRAY, ETIOPIA Ana Lilia Viguera	134
EL GÉNERO <i>ARMATOCEREUS</i> BACKEBERG Carlos Ostolaza Nano	144
ESTADO ACTUAL DE LAS SUCULENTAS EN EL PERÚ Guillermo Pino Infante	155
SOBRE EL ORIGEN DE LA TUNA EN EL PERÚ, ALGUNOS ALCANCES Sidney Novoa Sheppard	174
TECNOLOGÍAS, DESASTRES "NATURALES" Y AGRICULTURA. APUNTES PARA ARGUMENTAR UNA ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN EN AMÉRICA LATINA Dámaso R. Ponvert-Delisle Batista	182

Otras notas / *Other notes*

EL CENTENARIO DE FRIDA KAHLO Juan Torres Guevara	208
Canción LA LEY DEL MONTE José Ángel Espinoza	212
CONVOCATORIA ZONAS ÁRIDAS 11	213
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE ZONAS ÁRIDAS CIZA-UNALM (ESPAÑOL/INGLES)	214

Carta del Director

El 2006 fue el “Año Internacional de los Desiertos y la Desertificación”, el año de estos hermosos ecosistemas, que ocupan una cuarta parte de la superficie terrestre del planeta y que debemos conservar así como luchar contra el avance de la desertificación, que es algo diferente, y durante el 2006, fue un tema de mucha vigencia en El Perú, participando instituciones como el INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales), la RIOD- Perú (Red Internacional de ONGs sobre Desertificación), la UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), la UNP (Universidad Nacional de Piura), entre otras, que en coordinación con el Proyecto “Agua y Tierras Secas” y la “Red de Riego”, ambas parte del CYTED - Iberoamérica, realizaron actividades de nivel nacional durante el mes de junio del 2006.

En los desiertos americanos, las plantas que pintan inmediatamente sus hermosos paisajes, son las cactáceas y las suculentas en general. A estos grupos está dedicado el presente número 10 de la Revista Zonas Áridas, conducido científicamente por nuestro editor invitado, el Dr. Carlos Ostolaza Nano, Presidente de la Sociedad Peruana de Cactus y Suculentas del Perú, quien desde la Dirección de la Revista “Quepo” nos muestra los avances logrados en la investigación de estas importantes familias botánicas, tanto a nivel nacional como internacional. Acompañaron a Carlos en este número, la editora Biol. Sonia González Molina y el Comité Editor conformado por la Dra. María de los Ángeles La Torre-Cuadros y el MSc. Reynaldo Linares-Palomino, quienes han marcado el ritmo de la revista durante esta segunda era de la publicación, que tiene 3 años consecutivos manteniendo su periodicidad anual.

Otro elemento que caracteriza este número es la presencia explícita del arte, a través de un homenaje a la gran pintora mexicana Frida Kahlo, que sumado a la composición de los artículos científicos, es un homenaje a uno de los países, que como el nuestro, tiene una gran cultura del desierto, México. Los investigadores peruanos y mexicanos en este tema son una muestra más de los lazos que unen a nuestros antiguos pueblos del desierto y que hoy se proyectan a otros continentes hermanos como África. En este número se presenta un trabajo realizado en otro antiguo país, Etiopía, mostrándonos lo que puede ser en el futuro, el intercambio científico entre los países del “Sur”.

Como una referencia especial rendimos un homenaje desde aquí a uno de los botánicos mexicanos de mayor influencia en la última década, y no sólo en México, Miguel Ángel Martínez Alfaro, incansable caminante de los desiertos, montes, serranías y mercados del mundo, maestro e investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), miembro del Comité Científico del Zonas Áridas. Estamos seguros que Miguel Ángel nos seguirá apoyando desde donde esté ahora.

Va nuestro reconocimiento a todos nuestros autores invitados, destacando el valioso apoyo de nuestro Comité Científico y el Cuerpo de Árbitros. Finalmente, a las instituciones que nos apoyaron en la impresión de la Revista: la Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD siglas en inglés), a la Red de Información Regional sobre Degradación del Suelo, Sequía y Desertificación en América Latina y el Caribe (DESE-LAC), con el apoyo de la cooperación de España, así como al Fondo Nacional del Ambiente (FONAM), a todo ellos nuestro más sincero agradecimiento por su apuesta a la ciencia.

Juan Torres Guevara
Director
Revista Zonas Áridas

Director's letter

The year 2006 was designated as the “International Year of Deserts and Desertification”, honouring these beautiful ecosystems, which cover a quarter of the earth's surface, and which we have to conserve and protect against the advance of desertification. Activities during 2006 in Peru were promoted with the participation of INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales), the RIOD (Red Internacional de ONGs sobre Desertificación) Peru, the UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina), the UNP (Universidad Nacional de Piura) among others, that in coordination with the Project “Agua y Tierras Secas” and the “Red de Riego”, both part of CYTED - Iberoamérica, organized activities of national level during the month of June of the 2006.

Plants that paint immediately these beautiful landscapes in the American deserts are the cacti and succulents. It is towards these plant groups that the present number of the journal Zonas Áridas is dedicated. The journal has been conducted scientifically by Dr. Carlos Ostolaza Nano, president of the Peruvian Cactus and Succulent Society. Carlos has been accompanied in this number by our Editor Sonia González Molina and the Editorial Board conformed by María de los Ángeles La Torre-Cuadros and Reynaldo Linares-Palomino, who have marked the rhythm of the second era of this journal, with annual periodicity for the past three years.

Another element which characterizes this number is the explicit presence of the arts, through homage of the great Mexican painter Frida Kahlo. This, coupled with the rich content of scientific papers, is a homage to one of the countries which, just as with Peru, has a great desert culture: Mexico. Peruvian and Mexican scientists show once more the links which join our ancient desert peoples and which today project towards Africa: this number includes a paper presenting research done in another ancient country, Ethiopia, showing us how the future may look like, with south-to-south scientific exchange.

I would like to make a special homage to one of the Mexican botanists who has been highly influential in the last decade: Miguel Ángel Martínez Alfaro, tireless walker of deserts, mountains, sierras and markets of the world, mentor and scientist of the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), member of the Zonas Áridas Scientific Board. We are sure that Miguel Ángel will continue supporting us.

I would like to thank our invited authors, highlighting the support of the Scientific Board, and the reviewers. Finally, I would like to thank the Secretary of the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), the Regional Information Network on Land Degradation, Drought and Desertification in Latin America and the Caribbean (DESELAC), with the financial support of Spain and the National Environment Fund-Peru (FONAM), to all they owe more sincere gratefulness by its bet to science.

*Juan Torres Guevara
Director
Zonas Áridas Journal*

Editorial

Así como las islas lejanas tienen flora y fauna propias - las islas Canarias, los *Aeonium*, las Galápagos, las Tortugas, Madagascar los *Kalanchoe* - los continentes, en menor escala, también tienen animales y plantas que los identifican. En el caso de América, nuestro continente tiene en exclusividad los cactus, los agaves, los picaflores, los camélidos americanos, las bromelias y las echeverias, por citar sólo unos cuantos ejemplos. Por eso, en esta edición de Zonas Áridas se ha querido privilegiar los cactus y algunas otras plantas suculentas para enfatizar en esta rica flora americana que debemos conocer y proteger.

Nuestros amigos, los biólogos mexicanos, siempre dispuestos a colaborar con nosotros, nos han abrumado con una serie de trabajos interesantes sobre algunas especies de cactáceas y suculentas de Norteamérica: Manejo y conservación de *Polaskia* spp., por José Juan Blancas y col.; Variabilidad genotípica de Cactáceas, por Svetlana Shishkova y col.; Peligro de extinción de *Echinocereus schmollii*, por José Gpe. Hernández-Oria y col. Demografía de *Mammillaria zephyranthoides* en Puebla, por María del Carmen Navarro y María del Sagrario Juárez; y Germinación *in vitro* de Cactáceas, por Lucía Cuéllar Chávez. Liberato Portillo y Fernando Santacruz-Ruvalcaba nos ilustran sobre la obtención de embriones de *Agave tequilana*, especie de la que extraen su bebida nacional. Para completar el valioso aporte mexicano, Ana Lilia Vigueras fue a Etiopía a enseñar como utilizar más eficientemente la *Opuntia ficus-indica* para consumo humano, especie introducida en África hace varios siglos.

Los trabajos de los biólogos peruanos tampoco van a la zaga; tenemos un Estudio anatómico del *Corryocactus erectus* por Norma Salinas y Esther Álvarez, de Cuzco; otro sobre Taxonomía, ecología y conservación de los cactus de Lima por Aldo Ceroni, Natalia Calderón y Viviana Castro; Guillermo Pino ha hecho una revisión del estado actual de las suculentas en el Perú; Sidney Novoa comenta sobre El origen de la tuna en el Perú; Arnold Serván y Fernando Angulo reportan La diversidad florística en el área de distribución de la *pava aliblanca* (*Penelope albipennis*) y el que suscribe ha revisado El género *Armatocereus* en el Perú.

Con una nota especial el director de Zonas Áridas, Juan Torres Guevara, nos recuerda El centenario del nacimiento de Frida Kahlo. Otra nota importante es la de Dámaso Ponvert, de Cuba, quien nos habla de tecnologías, desastres naturales y agricultura.

Como vemos, los trabajos en relación con cactus y suculentas son inagotables además de muy variados e interesantes; esta edición de Zonas Áridas es una prueba de ello y esperamos que disfruten con su lectura.

Dr. Carlos Ostolaza Nano
Editor Invitado

Editorial

*Just as the far away islands have a unique flora and fauna – the Canary islands, the **Aeonium**; the Galapagos, the Tortoises; Madagascar the **Kalanchoe** - continents, have animals and plants which identify them as well, although at lesser scales. Cacti, **agaves**, hummingbirds, Andean camelids, bromeliads and echeverias are exclusive to the Americas. In this edition of Zonas Áridas, the focus is on cacti and other succulent plants to emphasize the rich American flora we need to get to know and protect.*

*Our friends, Mexican biologists, always ready to collaborate, are contributing with a series of interesting papers about north American cacti and succulents: Management and conservation of **Polaskia spp.**, by José Juan Blancas et al.; Genotypic variability in Cactaceae, by Svetlana Shishkova et al.; Extinction danger of **Echinocereus schmollii**, by José Gpe. Hernández-Oria et al.; Demography of **Mammillaria zephyranthoides** in Puebla, by María del Carmen Navarro and María del Sagrario Juárez; and *In vitro* germination of Cactaceae, by Lucía Cuéllar Chávez. Liberato Portillo and Fernando Santacruz-Ruvalcaba illustrate us about Acquisition of **Agave tequilana** embrions, the species from which the national beverage is extracted. To complete the valuable Mexican contribution, Ana Lilia Viguera travelled to Etiopia to teach the efficient use of **Opuntia ficus-indica** for human consumption, a species which has been introduced in Africa for several centuries.*

*The papers of Peruvian biologists do not lag behind. We have an Anatomical study of **Corryocactus erectus**, by Norma Salinas and Esther Álvarez, from Cuzco; another on the Taxonomy, ecology and conservation of the cacti in Lima by Aldo Ceroni, Natalia Calderón and Viviana Castro; Guillermo Pino presents a revision on the Present state of succulents in Peru; Sidney Novoa comments about The origin of the tuna in Peru¹ ; Arnold Serván and Fernando Angulo report on the Floristic Diversity in the distributional range of the white-winged Guan (**Penelope albipennis**), and the author of this editorial has revised The genus **Armatocereus** in Peru.*

In a special note, the director of Zonas Áridas, Juan Torres Guevara, reminds us of The centenary of Frida Kahlo's birth. Another important note is from Dámaso Ponvert, from Cuba, who writes about Technologies, natural disasters and agriculture.

As we can see, studies on cacti and succulents are interminable, varied and interesting, and this edition of Zonas Áridas proves it. We hope you enjoy reading it.

Dr. Carlos Ostolaza Nano
Invited Editor

¹ Note from the translator: *Tuna* is the local and common name of **Opuntia ficus-indica**

Obtención de embrioides de *Agave tequilana* Weber a partir de explantes de raíz

LIBERATO PORTILLO^(*) Y FERNANDO SANTACRUZ-RUVALCABA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, MÉXICO

^(*) Email: portillo@cencar.udg.mx

RESUMEN

Los tallos de las plantas de *Agave tequilana* Weber cultivar azul se utilizan para producir la bebida alcohólica denominada tequila, el área de cultivo de esta planta abarca todo el estado de Jalisco y parte de otros cuatro estados de México, donde en la década pasada más del 20% de 200 millones de plantas se reportaron enfermas; el sistema de propagación por hijuelos de rizoma del cultivar se consideró factor de proliferación de las enfermedades. Como alternativa en la obtención de plantas sanas se tienen las herramientas de la biotecnología vegetal; en este sentido se presenta un protocolo de embriogénesis somática indirecta para la especie en cuestión, con base en explantes de hoja y raíz en combinación con diversas dosis de reguladores de crecimiento. Los resultados muestran que es posible obtener embrioides a partir de explantes de raíz similar que de explantes de hoja, además se observaron varias ventajas cualitativas con el uso de explantes de raíz sobre protocolos que usan explantes de hoja; entre ellos se resaltan la poca presencia de fenoles oxidados y la ausencia de hiperhidricidad en los callos de raíz, características deseables no solo para los cultivos *in vitro* en medio sólido, sino en especial para el uso relativamente nuevo de biorreactores con sistemas de inmersión temporal.

Palabras Clave: Embriogénesis somática, genotipo, fenoles, reguladores de crecimiento

ABSTRACT

*The stems of Agave tequilana Weber cultivar azul plants are used to elaborate the alcoholic beverage named Tequila, the cultivating area of this plant includes all the state of Jalisco and part of another four Mexican states, where in last decade more than 20% out of 200 million plants were reported attacked by disease, the system of propagation by rhizomatous shoots was considered factor of proliferation of diseases. As alternative in the obtaining of healthy plants are the plant biotechnology tools; in this way a protocol of indirect somatic embryogenesis for the species is presented, in base to explants from leaf and root and diverse doses of growth regulators. The results show that it is possible to obtain embryoids from explants of root, similar to those from leaf explants, besides several qualitative advantages with root explants were found against protocols that use leaf explants. There were found less presence of oxidized phenols and the absence of hyperhidricity in root calli, desirable characteristics not only for the *in vitro* cultures on solidified media, but in especially for the relatively new use of bioreactors with temporary immersion systems.*

Key Words: Genotype, phenols, growth regulators, somatic embryogenesis

Agave tequilana Weber cultivar azul es una planta mexicana cuyo tallo se usa para la elaboración de la bebida alcohólica denominada tequila (Figura 1a), el área de cultivo de esta planta, conocida como maguey tequilero, abarca todo el estado de Jalisco y algunos municipios de otros cuatro estados de México, que se incluyen dentro de la Denominación de Origen para la producción de tequila (Consejo Regulador del Tequila, 2006). Su propagación comercial es mediante hijuelos de rizoma (Figura 1b), la cual se ha señalado como factor en la proliferación de enfermedades en el cultivar (Fucikovsky, 2004), fenómeno que en la década pasada afectó a más del 20% de 200 millones de plantas establecidas (Fucikovsky, 2002), motivo por el que se consideran como alternativas de obtención de plantas sanas a las herramientas de la biotecnología vegetal (Portillo & Santacruz-Ruvalcaba, 2006). Existen reportes sobre diversos procesos morfogénicos en varias especies de *Agave* (Binh *et al.*, 1990; Nikam, 1997; Hazra *et al.*, 2002; Martínez-Palacios *et al.*, 2003; Nikam *et al.*, 2003), en particular para *A. tequilana* se tienen desarrollados sistemas de proliferación de yemas (Castro-Concha *et al.*, 1990; Robert *et al.*, 1992) y embriogénesis somática (Rodríguez-Garay *et al.*, 2003; Portillo & Santacruz-Ruvalcaba, 2006), realizados a partir de explantes provenientes de tejidos aéreos, pero ninguno a partir de tejido radicular. Además, debido a que diferentes fuentes de explantes de un mismo vegetal responden distintamente a un proceso morfogénico dado (George, 1993), se consideró oportuno desarrollar un protocolo de obtención indirecta de embrioides (embriones somáticos) a partir de explantes de raíz, para comparar su factibilidad de uso frente a los explantes de hoja que se usan de forma común. Asimismo, probar diversos genotipos, ya que la embriogénesis somática se considera dependiente del tipo de genotipo (Portillo, 1997) y también debido a que la posibilidad de seleccionar un genotipo altamente embriogénico se incrementa al evaluar varios genotipos (Compton, 1994). Por lo tanto, el objetivo planteado para el presente estudio, consistió en comparar la obtención de embrioides en cuatro genotipos de *Agave tequilana* Weber cultivar azul a partir de explantes de hoja y raíz, así como la influencia de los tipos de raíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el establecimiento del material vegetal, los explantes utilizados provinieron de hijuelos de rizoma y semillas de *Agave tequilana* Weber cultivar azul, para el caso de los rizomas, las hojas externas e internas se eliminaron hasta llegar al tallo central y quedar un cubo de 3 cm por cada lado que contenía el domo del meristemo. Todo el material vegetal (rizomas y semillas) se estableció en condiciones asépticas, para lo cual se llevó a cabo un lavado con jabón y agua destilada, para posteriormente pasarlo a una inmersión con agitación en alcohol de 96° por 10 seg, seguido de una inmersión con agitación en hipoclorito de sodio al 3% adicionado de dos gotas de detergente líquido durante 10 min, luego de los cuales se lavaron tres veces con abundante agua estéril. Las partes afectadas de los hijuelos de rizomas por el proceso de desinfección se eliminaron con ayuda de bisturí y finalmente el material se estableció en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) para su brotación y/o germinación. Los explantes establecidos se multiplicaron en medio MS adicionado de 10 mg/l de 6-bencilaminopurina (BA) durante 6 meses, cuyos brotes se individualizaron para permitir su

enraizamiento en medio de cultivo MS carente de reguladores de crecimiento. Con estos materiales se realizaron dos experimentos para conocer la factibilidad embriogénica de los explantes de raíz, el primero consistió en comparar la obtención de embrioides entre explantes de raíz y hoja provenientes de un genotipo de semilla detectado como altamente embriogénico (ES4), con base en siete dosis de reguladores de crecimiento para la inducción embriogénica. Cada uno de los catorce tratamientos que se conformaron (siete con explantes de hoja y siete con explantes de raíz), contaron con seis repeticiones para dar un total de 84 unidades experimentales, que se repartieron en 42 cajas de petri desechables de 10 cm de diam de doble cavidad. Los medios de inducción se elaboraron con las sales nutritivas MS, vitaminas L2 (Phillips & Collins, 1979), suplementados con las siete dosis de reguladores de crecimiento del cuadro 1 y solidificados con 6 g/l de Phytigel®. El segundo experimento contempló analizar la obtención de embrioides en tres tipos de raíces (terminales, intermedias y basales) procedentes de cuatro diferentes genotipos, dos de hijuelos de rizoma y dos de semillas, respectivamente (A11H2, C4, ES4 y G1), estructurados en doce tratamientos que se repitieron cinco veces, lo que arrojó un total de 60 unidades experimentales colocadas en cajas de petri desechables de 10 cm de diam. El medio de inducción se elaboró de manera similar al primer experimento pero suplementado de 2 mg/l de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y 0.3 mg/l de BA (Rodríguez-Garay *et al.*, 2003). Para ambos experimentos cada repetición contó con 25 ml de medio de cultivo, aquellas con explantes de hoja se conformaron con cuatro trozos de hoja recién emergida de 1 cm² cada uno, en tanto que las repeticiones con explantes de raíz estuvieron conformadas por cuatro trozos de raíz terminal de 1 cm de longitud cada uno. El periodo de inducción tomó 30 d, luego del cual el callo embriogénico generado se transfirió a medio de expresión elaborado como los de inducción pero sin reguladores de crecimiento y suplementado con 250 mg/l de glutamina y 500 mg/l de hidrolizado de caseína. Todos los medios de cultivo se ajustaron a pH 5.8 y se incubaron a una temperatura de 27 ± 2°C con un fotoperíodo de 16 h de luz fluorescente (25 µm/seg/m²). La variable de respuesta estuvo constituida por el número de embrioides obtenidos por repetición, se evaluó con base en Análisis de Varianza (ANVA) de doble interacción y comparaciones múltiples de medias con la prueba de Diferencia Mínima Significativa (Montgomery, 1991). Para los análisis estadísticos se empleó el paquete de cómputo *Statgraphics Plus 4.0* (Statistical Graphics Corp.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La generación de callo se formó primero en los explantes provenientes de hoja que aquellos de raíz, pero luego de 20 d ambos tipos de explantes mostraron callo, aunque en menor cantidad en los explantes de raíz. Además, el aspecto de los callos generados en ambos tipos de explantes fue muy diferente, el callo obtenido de hoja fue más variable que aquel de raíz, ya que presentó callo conformado desde células muy friables hasta muy compactas, además en la coloración del callo friable se observaron sectores traslúcidos con tonos de verde a amarillo, en tanto que los callos compactos por lo regular fueron amarillo-cremoso, pero cuando se mostraban hiperhídricos éstos eran verdes (Figura 2a). En cambio el tipo de callo

generado de raíz, aunque también friable o compacto, su aspecto era más lustroso, nunca hiperhídrico, ni se observaron sectores verdes, siempre fue amarillo-cremoso (Figura 2b). El hecho que el aspecto de los callos de hoja sea tan variable, está relacionado con los diferentes tipos celulares que conforman los tejidos de la hoja, donde están activos los cloroplastos, es por ello que el color verde no se observó en los callos de raíz, ya que sus células no están activas hacia la fotosíntesis. Por otra parte, la expresión de embrioides surgió de manera simultánea en ambos tipos de explantes (figuras 2c y d), con la típica asincronía común en los procesos de embriogénesis somática, por lo que fue posible ubicar desde las primeras divisiones asimétricas hasta la germinación de embrioides maduros en un mismo callo.

Los resultados estadísticos del primer experimento indicaron que la obtención de embrioides entre los explantes de raíz y hoja, no difirieron estadísticamente ($P = 0,9374$), en tanto que las dosis de inducción resultaron con alta significancia ($P = 0,0000$), donde aquella conformada por 3 mg/l de 2,4-D más 0,3 mg/l de BA resultó con la mayor generación de embrioides (Cuadro 1). Entre la interacción de las dosis de inducción y el tipo de explante no se encontraron diferencias significativas ($P = 0,9999$). Estos resultados en conjunto con las observaciones cualitativas hechas durante el desarrollo experimental son destacables por cinco importantes observaciones; primero, los explantes de raíz se consideraban con poca viabilidad para generar embrioides maduros, a pesar de que su callo presentaba polaridad en sus primeras divisiones asimétricas (Portillo, 1997), proceso básico de la embriogénesis somática (Dodeman *et al.*, 1997; Gutiérrez-Mora *et al.*, 2004). La segunda observación fue el hecho que los explantes de raíz no mostraron la típica oxidación de fenoles que caracteriza a los cultivos de explantes de hoja (Figuras 2c y d), comparación más evidente al deshidratarse los medios de cultivos, donde los fenoles oxidados se mostraron en color marrón (Figura 2 e). La poca presencia de fenoles en los explantes de raíz, resulta ventajoso al prolongar el tiempo de uso del medio de expresión, lo que favorece un trasplante de embrioides más maduros que los provenientes de hoja. Una tercera observación fue que los callos de explantes de raíz no mostraron hiperhidricidad, como ocurre en los callos de explantes de hoja, lo que promete ser parte de la solución a la alta incidencia de hiperhidricidad en los embrioides (50 a 80%), cuando se lleva a cabo el proceso de embriogénesis somática en sistemas de inmersión temporal (Portillo & Santacruz-Ruvalcaba, 2006). La cuarta observación es sobre la generación de embrioides en los explantes de raíz, respecto de los explantes de hoja, que no se afectó significativamente, aun cuando el contenido endógeno de los reguladores de crecimiento se considera diferente en los diversos tipos de explantes (George, 1993). Finalmente, la quinta observación se refiere a la importancia del ácido 2,4-D en la obtención de embrioides en *A. tequilana*, ya que de las dosis evaluadas, aquellas suplementadas con este regulador de crecimiento tuvieron un desempeño más destacable hacia la embriogénesis somática (Cuadro 1).

El segundo experimento solamente indicó alta significancia estadística entre los genotipos evaluados ($P = 0,0000$) que de acuerdo con la prueba de Diferencia Mínima Significativa se formaron dos grupos, uno constituido por el genotipo ES4 que produjo la mayor cantidad de embrioides y otro grupo con el resto de los genotipos que se comportaron poco embrio-

génicos (Cuadro 2). El comportamiento diferencial de los genotipos hacia diversos procesos morfogénicos, ha sido reportado en varias especies monocotiledóneas (Tokuhara & Masahiro, 2003; Ma *et al.*, 2004; Sato *et al.*, 2004) incluido Agave (Portillo, 1997), lo que supone ajustar los protocolos para cada genotipo en particular.

El hecho de que el tipo de raíz haya resultado no significativo ($P = 0,6942$), favorece el uso de prácticamente cualquier edad de raíz como explante para generar embrioides, ya que las raíces terminales al estar en los extremos de la radícula, son de reciente emergencia, en tanto las intermedias y basales, ubicadas en las secciones primarias del sistema radicular, les corresponde una edad más avanzada.

CONCLUSIONES

La contribución más importante del presente escrito, radica en demostrar la factibilidad de obtener embrioides a partir de explantes de raíz, cuyas plántulas presentan la misma morfología y desarrollo que aquellos provenientes de explantes de hoja (Figuras 3a y b), con lo que se amplía la gama de uso de explantes para embriogénesis somática en *A. tequilana*.

También es importante resaltar las observaciones de que los explantes de raíz mostraron poca presencia de fenoles oxidados y prácticamente ausencia de callo hiperhídrico, comportamientos que resultan atractivos para el escalamiento de la embriogénesis somática en biorreactores de inmersión temporal.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por el soporte otorgado a Liberato Portillo, becario con número de registro 70575, estudiante del Doctorado en Ciencias en Procesos Biotecnológicos del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara, México.

LITERATURA CITADA

- Binh, L. T., L. T. Muoi, H. T. K. Oanh, T. D. Thang & D. T. Phong. 1990. Rapid propagation of agave by in vitro tissue culture. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 2:123-132.
- Castro-Concha, L., V. M. Loyola-Vargas, J. L. Chan & M. L. Robert. 1990. Glutamate dehydrogenase activity in normal and vitrified plants of *Agave tequilana* Weber propagated in vitro. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 22:147-151.
- Compton, M. E. 1994. Statistical methods suitable for the analysis of plant tissue culture data. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 37:217-242.
- Consejo Regulador del Tequila. 2006. Información estadística, enero-marzo 1995-2006. <http://www.crt.org.mx/esp/estadisticas.asp>
- Dodeman, V. L., G. Ducreux & M. Kreis. 1997. Zygotic embryogenesis versus somatic embryogenesis. *J. Exp. Bot.* 48:1493-1509.
- Fucikovsky, L. 2002. Diseases of some tropical and subtropical plants caused by bacteria, phytoplasmas and spiroplasmas. Universidad de Guadalajara y Colegio de Postgraduados. 175 p.

- Fucikovsky, L. 2004.** Agave tequilana Weber var. azul y sus principales problemas fitosanitarios. En: Avances de la investigación en el agave tequilero .147-178. Consejo Regulador del Tequila A. C. Guadalajara, México.
- George, E. F. 1993.** Plant propagation by tissue culture. Part 1. The technology. Exegetics, Limited. England. 574 p.
- Gutiérrez-Mora, A., D. Ruvalcaba-Ruíz, J. M. Rodríguez-Domínguez, M. M. Loera-Quezada & B. Rodríguez-Garay. 2004.** Recent advances in the biotechnology of Agave: A cell approach. Recent res. Devel. Cell Biol., 2:17-36.
- Hazra, S. K., S. Das & A. K. Das. 2002.** Sisal plant regeneration via organogenesis. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 70:235-240.
- Ma, R., Y. Guo & S. Pulli. 2004.** Comparison of anther and microspore culture in the embryogenesis and regeneration of rye (*Secale cereale*). Plant Cell Tiss. Org. Cult. 76:147-157.
- Martínez-Palacios, A., M. P. Ortega-Larrocea, V. M. Chávez & R. Bye. 2003.** Somatic embryogenesis and organogenesis of *Agave victoria-reginae*: Considerations for its conservation. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 74:135-142.
- Motgomery, D. C. 1991.** Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica, S. A. de C. V., México, D. F. 589 p.
- Murashige T. & F. Skoog. 1962.** A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiol. Plant. 15:473-479.
- Nikam, T. D. 1997.** High frequency shoot regeneration in *Agave sisalana*. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 51:225-228.
- Nikam, T. D., G. M. Bansude & K. C. Aneesh Kumar. 2003.** Somatic embryogenesis in sisal (*Agave sisalana* Perr. ex. Engelm.). Plant Cell Rep. 22:188-194.
- Phillips, G. C. & G. B. Collins. 1979.** In vitro tissue culture of selected legumes and plant regeneration from callus cultures of red clover. Crop. Sci. 19:59-64.
- Portillo, L. 1997.** Embriogénesis somática indirecta en *Agave tequilana* Weber: Efecto de auxinas. Tesis de Maestría en Ciencias en Procesos Biotecnológicos. Universidad de Guadalajara-CUCEI, 65 p.
- Portillo, L. & F. Santacruz-Ruvalcaba. 2006.** Factibilidad de uso de un nuevo sistema de inmersión temporal (Orbitabión®) para embriogénesis somática de *Agave tequilana* Weber cultivar azul. Bol. Nakari 17(2):43-48.
- Robert, M. L., J. L. Herrera, J. L. Chan & F. Contreras. 1992.** Micropropagation of *Agave* spp. En: Bajaj, Y. P. S. (ed.) Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 19. High-Tech and Micropropagation III. II. 9. 306-329. Springer-Verlag, Berlin.
- Rodríguez-Garay, B., F. Santacruz-Ruvalcaba & L. Portillo. 2003.** Regeneration of *Agave tequilana* Weber var. azul plants using indirect somatic embryogenesis. Patente número de publicación internacional: WO 03/039244 A1, 15 de mayo de 2003. Registro IMPI JL/a/2001/000023 (prioridad: 08.11.2001), Solicitud internacional PCT/MX02/00104 (08.11.2002, expedida: 03.01.2003).
- Sato, S., T. Clemente & I. Dweikat. 2004.** Identification of an sorghum genotype with high in vitro performance capacity. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 40:57-60.

Tokuhara, K. & M. Masahiro. 2003. Highly-efficient somatic embryogenesis from cell suspension cultures of *Phalaenopsis* orchids by adjusting carbohydrate sources. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 39:635-639.

Cuadro 1

Número de embrioides de *Agave tequilana* Weber cultivar azul obtenidos de las siete dosis de reguladores de crecimiento utilizados en el primer experimento.

Dosis de reguladores de crecimiento	Número de embrioides por repetición
3 mg/l de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D)	7,25 b*
3 mg/l de 2,4-D + 0,3 mg/l de 6-benciladenina	80,40 a
3 mg/l de ácido naftalenacético (ANA) + 1 mg/l de 2,4-D	5,83 b
3 mg/l de ANA + 1 mg/l de ácido indolbutírico	0,42 b
3 mg/l de ANA + 1 mg/l de ácido indol-3-acético	0,00 b
3 mg/l de ANA + 1 mg/l de ácido 4-amino-3,5,6-tricloropicolínico	4,75 b
3 mg/l de ANA + 1 mg/l de ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T)	1,50 b

*Letras iguales no son estadísticamente diferentes con la prueba de Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0,05$)

Cuadro 2

Número de embrioides de *Agave tequilana* Weber cultivar azul obtenidos de los cuatro genotipos utilizados en el segundo experimento.

Genotipo	Número de embrioides por repetición
A11H2	3,78 b*
C4	1,67 b
ES4	101,73 a
G1	0,13 b

*Letras iguales no son estadísticamente diferentes con la prueba de Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0,05$)



Figura 1

Proceso de cosecha y plantación de *Agave tequilana* Weber cultivar azul.

- a) Jimado del maguey tequilero para cosechar el tallo que se utiliza en la elaboración del tequila.
b) Establecimiento en suelo de hijuelos de rizoma de maguey tequilero.

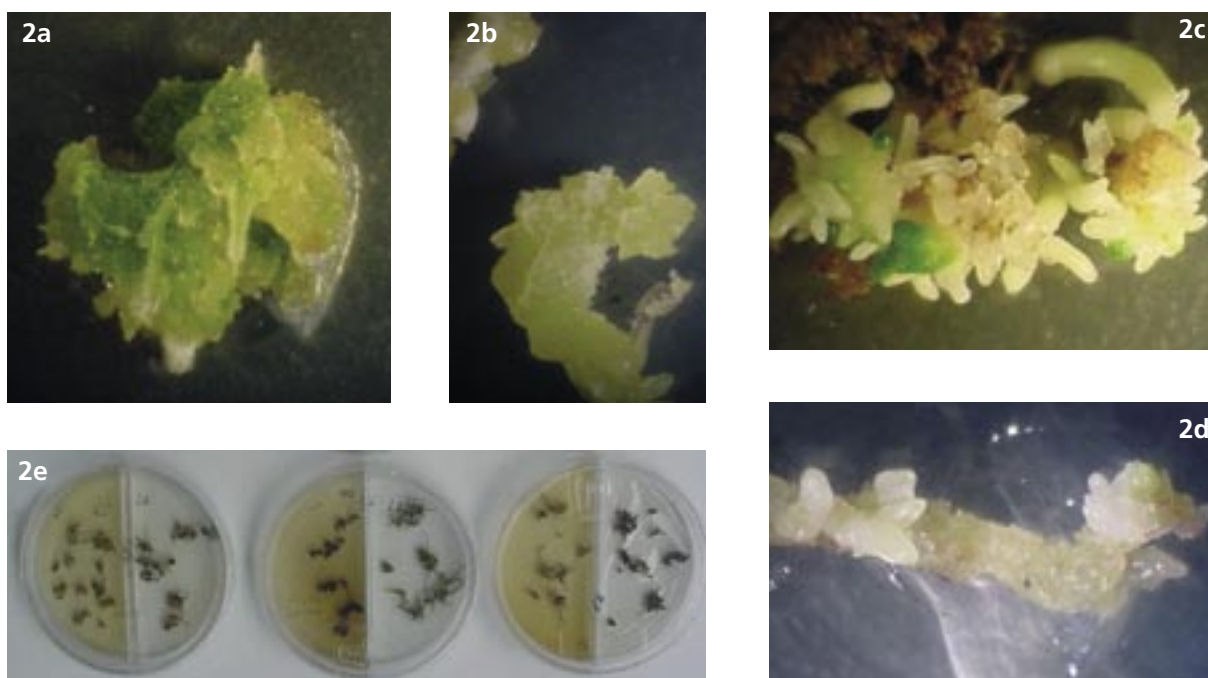


Figura 2

Diferentes aspectos del proceso de embriogénesis somática de *Agave tequilana* Weber cultivar azul en dos tipos diferentes de explantes. a) callo embriogénico proveniente de explante de hoja, b) callo embriogénico proveniente de explante de raíz, c) embrioides provenientes de explante de hoja, d) embrioides provenientes de explante de raíz, e) cajas de petri que muestran del lado izquierdo el medio de cultivo con la coloración típica causada por la presencia de fenoles oxidados donde se cultivaron explantes de hojas. El lado derecho muestra donde se cultivaron explantes de raíz. Barras = 1 cm.

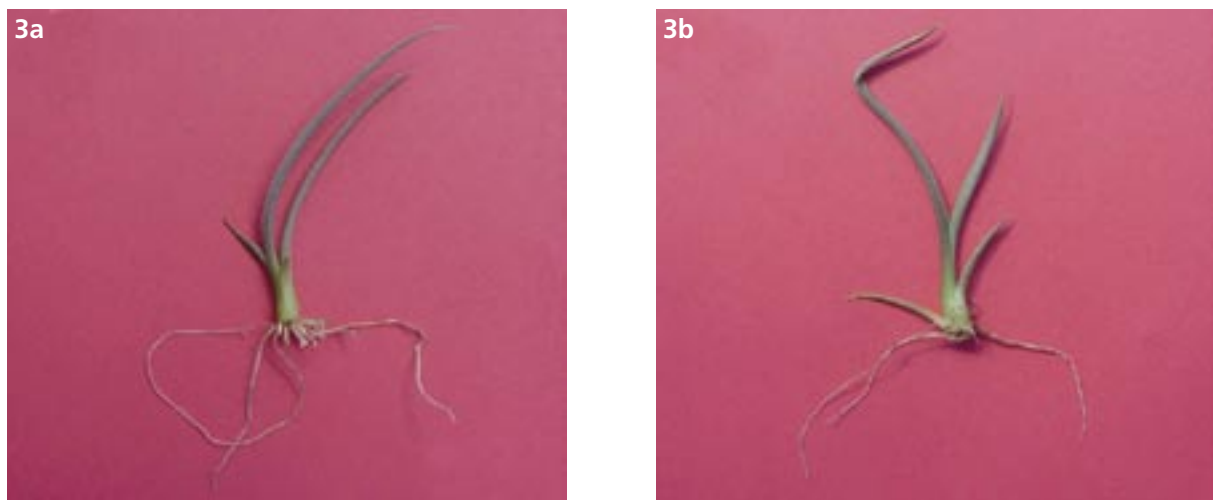


Figura 3

Plántulas de *Agave tequilana* Weber cultivar azul provenientes de embrioides que muestran ambas un desarrollo normal de hojas y raíz luego de cinco meses de su germinación en medio de expresión.

a) Plántula de embrioide obtenido de explante de hoja.

b) Plántula de embrioide obtenido de explante de raíz. Barras = 1 cm.

Manejo Tradicional y Conservación de la Biodiversidad de *Polaskia* spp. (Cactaceae) en México

JOSÉ JUAN BLANCAS, FABIOLA PARRA, JOSÉ DEMIÁN LUCIO, MARÍA EVA RUÍZ-DURÁN, EDGAR PÉREZ-NEGRÓN, ADRIANA OTERO-ARNAIZ, NIDIA PÉREZ-NASSER Y ALEJANDRO CASAS^(*)

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

^(*)Email: acasas@oikos.unam.mx

RESUMEN

Se analizó la diversidad morfológica y genética de *Polaskia chichipe* y *P. chende* en poblaciones silvestres, manejadas *in situ* y cultivadas, con el fin de examinar la eficacia del manejo campesino tradicional en la conservación *in situ* de biodiversidad dentro de cada especie. En muestras de individuos de estas poblaciones se efectuaron análisis de isoenzimas para estimar la diversidad genética en términos de número de alelos por locus (A), porcentaje de loci polimórficos (P) y Heterocigosidad esperada (He). La diversidad morfológica se estimó con base en la frecuencia de distintos estados de caracteres morfológicos, calculando la diversidad por cada carácter con base en el índice de diversidad de Simpson y promediándolos para obtener una estimación multivariada. En *Polaskia chichipe* se encontró que las poblaciones silvestres contienen los niveles más altos de diversidad genética ($He = 0,431 \pm 0,043$), mientras que en las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas se encontró una tendencia a disminuir su variabilidad genética ($He = 0,368 \pm 0,046$ y $0,369 \pm 0,048$, respectivamente), pero ésta no fue significativa. En cambio, la diversidad morfológica fue mayor en las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas ($DM = 0,630 \pm 0,012$ y $0,592 \pm 0,013$, respectivamente) que en la población silvestre ($DM = 0,546 \pm 0,013$). En *P. chende* tampoco hubo diferencias significativas en la diversidad genética entre poblaciones silvestres y manejadas *in situ* ($He = 0,481 \pm 0,014$ y $0,474 \pm 0,015$). Se encontró que la diversidad morfológica de poblaciones silvestres ($DM = 0,343 \pm 0,067$) fue también similar a la de las poblaciones manejadas *in situ* ($DM = 0,353 \pm 0,068$). El estudio muestra la eficacia del manejo campesino tradicional en la conservación de la diversidad biológica de especies comestibles en proceso de domesticación cuyos parientes silvestres son dominantes en la vegetación natural y la importancia de contemplar la conservación de técnicas tradicionales de manejo en los programas de conservación de la diversidad biológica.

Palabras Clave: Cactáceas columnares, domesticación, manejo *in situ*, Mesoamérica, *Polaskia chende*, *Polaskia chichipe*, recursos genéticos

ABSTRACT

*Morphological and genetic diversity of wild, managed in situ and cultivated populations of the columnar cacti **Polaskia chichipe** and **P. chende** was studied in Central Mexico, in order to analyze the effectiveness of traditional management on in situ conservation of biodiversity occurring within these species. Isozyme analysis was conducted in samples of individual plants of these populations to estimate their genetic diversity in terms of number of alleles per locus (A), percentage of polymorphic loci (P), and expected heterocigosity (He). Morphological diversity (DM) was estimated based on frequencies of morphological characters states, calculating the diversity per character through the Simpson index and averaging all the estimations per populations. In **Polaskia chichipe** wild populations had the highest levels of genetic diversity ($He = 0,431 \pm 0,043$), whereas in managed in situ and cultivated populations a trend to decrease genetic variation was observed ($He = 0,368 \pm 0,046$ and $0,369 \pm 0,048$, respectively), but this trend was not significant. Morphological diversity in **P. chichipe** was higher in managed in situ and cultivated populations ($DM = 0,630 \pm 0,012$ y $0,592 \pm 0,013$, respectively) than in wild populations ($DM = 0,546 \pm 0,013$). In **P. chende** genetic diversity between wild and managed in situ populations was not significantly different ($He = 0,481 \pm 0,014$ y $0,474 \pm 0,015$), whereas morphological diversity was also similar in wild ($DM = 0,343 \pm 0,067$) and managed in situ ($DM = 0,353 \pm 0,068$) populations. Our study shows that the traditional management of these species is effective to maintain the biodiversity of plant species whose wild and domesticated populations coexist and that traditional management is important for designing programs for conserving biological diversity.*

Key Words: Columnar cacti, domestication, genetic resources, *in situ* management, Mesoamerica, **Polaskia chende**, **Polaskia chichipe**

Las cactáceas forman parte central de la cultura de numerosas comunidades campesinas de México. Más de 150 especies son utilizadas en la actualidad por grupos indígenas del país, de las cuales aproximadamente la mitad recibe algún tipo de manejo (información con base en Bravo-Hollis 1978, Casas y Barbera 2002). En la actualidad, en México se cultivan alrededor de 200 especies de plantas nativas (estimación con base en Caballero *et al.* 1998), cuyos parientes silvestres forman parte de los ecosistemas naturales y coexisten con las variantes domesticadas. Entre éstas, se cultivan en México al menos 50 especies de cactáceas, de las cuales 15 son especies de cactáceas columnares (estimación con base en Bravo-Hollis 1978, Casas y Barbera 2002). Entre las especies de cactáceas cultivadas, algunas tienen importancia económica a nivel mundial, como *Opuntia ficus-indica*, *Hylocereus undatus*, *Stenocereus griseus* y diversas especies ornamentales, pero la mayoría de las especies son endémicas y tienen importancia a nivel regional o local, presentando niveles incipientes, y en algunos casos avanzados, de domesticación. Existe un número aún no determinado de especies silvestres que se cultivan en las milpas (sistemas tradicionales de cultivo en México, análogos a las chacras andinas) o en las huertas campesinas a través de semillas, propágulos vegetativos o individuos completos transplantados. Este tipo de cultivo puede ocurrir ocasionalmente en algunas especies y carecer de trascendencia en el proceso de domesticación,

pero en otros casos puede ocurrir de manera sistemática y detonar procesos incipientes de domesticación.

Pero junto al cultivo de plantas, en México se practican diversas técnicas de manejo de la vegetación silvestre, que constituyen formas de manejo silvícola (Casas *et al.* 1996, 1997). Estas prácticas incluyen: (1) la tolerancia, que implica dejar en pie individuos de especies favorables en las áreas de vegetación que se transforman con un propósito humano; (2) la promoción, que incluye prácticas dirigidas a aumentar la densidad de población de especies favorables a través de la dispersión de propágulos sexuales o vegetativos o el transplante de individuos completos de un sitio a otro o la eliminación de otras especies que compiten por espacio con la especie de interés humano; y/o (3) la protección de plantas que representan alguna ventaja utilitaria para los seres humanos en áreas de vegetación natural sometida a perturbación deliberada, incluyendo actividades como el control de herbívoros, la protección contra heladas, entre otras (Casas *et al.* 1997). Estas prácticas involucran el manejo de entre 600 y 700 especies de plantas nativas (estimación con base en Caballero *et al.* 1998), entre ellas cerca de 40 especies de cactáceas, de las cuales la mitad son cactáceas columnares (estimación con base en Bravo-Hollis 1978, Casas y Barbera 2002). Estas prácticas de manejo frecuentemente incluyen procesos de selección artificial a favor de los fenotipos con mejores atributos utilitarios, determinando procesos de domesticación (Casas *et al.* 1997, 1999a, 1999b, 2006, Arellano y Casas 2003, Carmona y Casas 2005, Otero-Arnaiz *et al.* 2005).

El manejo de recursos bióticos por los seres humanos muy comúnmente tiene como consecuencia la reducción de la diversidad biológica. Esta puede expresarse en términos de pérdida en riqueza o diversidad de especies en las comunidades bióticas, o en variabilidad genética en las poblaciones de organismos. No obstante, investigaciones etnobotánicas en diferentes partes del mundo han documentado que el manejo tradicional que practican algunos pueblos indígenas son particularmente efectivos en el mantenimiento de la diversidad, y en algunos casos los ecosistemas manejados pueden incluso contener mayor diversidad que los ecosistemas naturales aledaños. Por ejemplo, en México Nabhan *et al.* (1982) y Reichhardt *et al.* (1994) encontraron que los hábitats manejados por los campesinos indígenas pápago del desierto sonorense, en el norte del país, poseen tanta o más diversidad de especies de plantas que los hábitats naturales circundantes. En forma similar, Toledo *et al.* (1994) documentaron entre los indígenas totonacos de Veracruz que los hábitats manejados por los campesinos constituyen verdaderas islas de diversidad biológica en áreas tropicales húmedas del oriente de México. Por su parte, Casas *et al.* (2006) evaluaron la diversidad morfológica y genética en poblaciones silvestres, manejadas *in situ* y cultivadas de la cactácea *Stenocereus stellatus*, encontrando que las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas tenían en promedio mayor diversidad que las poblaciones silvestres.

Tan alta diversidad mantenida en los ecosistemas manejados por los pueblos indígenas se debe primordialmente a un patrón de subsistencia campesina basado en la variedad de ambientes, de recursos y de usos de cada recurso. A este patrón de subsistencia Toledo *et al.* (1994) lo han denominado el “uso múltiple de los recursos”. En México como en la región

andina, los campesinos, sobre todo los campesinos indígenas, comúnmente usan al mismo tiempo una alta riqueza de especies, razas locales y variedades de plantas y sus sistemas de manejo son capaces de mantener una alta diversidad vegetal (véanse ejemplos en Zizumbo y Colunga 1982, Alcorn 1984, Caballero 1991, Casas *et al.* 1994). Por ello, el entendimiento de la tecnología indígena en el manejo de ecosistemas puede contribuir significativamente a desarrollar estrategias óptimas de conservación.

En este estudio analizamos las consecuencias del manejo campesino en la diversidad morfológica y genética de dos especies de cactáceas columnares cuyas poblaciones cultivadas y bajo manejo silvícola coexisten con poblaciones silvestres. Las especies analizadas fueron *Polaskia chichipe* (Gosselin) Backeberg y *P. chende* (Gosselin) Backeberg, endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en el centro de México (Figura 1), en donde estos cactus forman parte de matorrales xerófilos y selvas secas. La población campesina del área donde se distribuyen estas especies incluye comunidades indígenas popolocas, nahuas, mixtecas y cuicatecas, así como mestizas, las cuales obtienen los productos útiles de estas y otras cactáceas a través de la recolección en poblaciones silvestres, pero también en las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas en las huertas y solares (Casas *et al.* 1999a). Las poblaciones manejadas *in situ* resultan de la tolerancia selectiva de individuos particularmente deseables, al mismo tiempo que se eliminan otros fenotipos durante aclareos de terrenos (Figura 2) (Casas *et al.* 1997, Cruz y Casas 2002, Carmona y Casas 2005). La gente identifica la calidad de los individuos con base en rasgos morfológicos de los frutos tales como el color, el sabor, la cantidad de masa comestible, el grosor de la cáscara y la cantidad de espinas (Casas *et al.* 1999a). El cultivo en huertas y solares se lleva a cabo únicamente en el caso de *P. chichipe* y puede realizarse a través de propagación de ramas (Figura 3) de fenotipos favorables de origen silvestres u otros previamente cultivados, así como mediante el transplante de individuos juveniles o la siembra de semillas. En las huertas también se toleran y cuidan individuos deseables que llegan a establecerse en el terreno a partir de semillas dispersadas en las heces de aves, murciélagos y humanos (Casas *et al.* 1997, Cruz y Casas 2002, Carmona y Casas 2005).

De acuerdo con Cruz y Casas (2002) y Carmona y Casas (2005), los fenotipos de *P. chende* y *P. chichipe*, respectivamente, que producen frutos con atributos deseables son más abundantes en las poblaciones manejadas *in situ* que en las silvestres, y en el caso de *P. chichipe* la abundancia de estos fenotipos es aún mayor en las poblaciones cultivadas. Tales diferencias han sido consideradas como expresiones de selección artificial que se practica tanto en el manejo *in situ* como en el cultivo. Ante este panorama, es posible preguntarse si la selección artificial tiene como consecuencia una disminución en la diversidad de las poblaciones sujetas a manejo *in situ* y cultivo, y en qué medida se presenta tal disminución. En principio es posible hipotetizar que el favorecimiento selectivo de algunos fenotipos de mayor interés humano y la eliminación de otros ocasionaría una disminución de la variabilidad tanto morfológica como genética. Sin embargo, considerando el caso de *Stenocereus stellatus* estudiado por Casas *et al.* (2006), también es posible hipotetizar, alternativamente, que el manejo humano involucra un continuo reemplazo de materiales en las poblaciones que enriquece la diversidad tanto morfológica como genética, y que las poblaciones manejadas *in situ* y

cultivadas mantienen una interacción genética continua con las poblaciones silvestres, que favorece un enriquecimiento de la diversidad genética y contrarresta los efectos de la selección artificial y, por lo tanto, las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas pueden contener tanta o más diversidad morfológica y genética que las poblaciones silvestres. Con el fin de probar estas hipótesis se analizó la variabilidad morfológica y genética en poblaciones de n ambientes bajo diferentes formas de manejo.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en nueve poblaciones de *Polaskia chichipe* y en seis de *Polaskia chende* en los alrededores de San Luis Atolotitlán, Caltepec y Los Reyes Metzontla, localizadas en el estado de Puebla; en la Reserva de la Biosfera Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México (Figura 1). También se consideraron para el caso de *Polaskia chende* dos poblaciones más en esta misma zona, pero en el estado de Oaxaca, en las localidades de San Juan Coyula y San Lorenzo Pápalo (Figura 1). Para las primeras tres localidades el clima es semiárido con una temperatura y precipitación media anual de 21° C y 400 mm, respectivamente (Dávila *et al.* 2002).

Especies estudiadas

Polaskia chichipe es una cactácea columnar endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán (Arias *et al.* 1997). Comprende plantas arborescentes muy ramificadas, tronco principal corto bien definido, de hasta 4 m de altura, tallo verde claro ligeramente grisáceo (Figura 4a), con 9 a 12 costillas (Bravo-Hollis 1978). Las flores de color amarillo claro tienen de 2 a 3 cm de largo; los frutos son esféricos, de 2 a 3,2 cm de largo y de 1,5 a 3 cm de ancho, de color rojo cuando maduran y (Figura 4b) (Carmona y Casas 2005). Forma parte de matorrales xerófilos, en asociaciones vegetales muy particulares que Valiente-Banuet *et al.* (2000) han denominado “chichiperas” y se distribuye de los 1600 a los 2300 msnm sobre suelos volcánicos. *Polaskia chende* es también endémica del Valle de Tehuacán, aunque menos abundante que *P. chichipe* y con una distribución más restringida (Cruz y Casas 2002). Su porte es de 3 a 5 m de alto, con el tallo verde claro, y ramas terminales ligeramente arqueadas con 7 a 8 costillas (Figura 5a). Las flores son de color rosado, de 4,5 a 5 cm de largo; los frutos son esféricos a ovalados, de 2,5 a 3,5 cm de largo y de 3,5 a 4 cm de ancho, de color púrpura (Figura 5b). Se distribuye en elevaciones de 1700 a los 2000 msnm, desde el matorral xerófilo a la vegetación riparia, en suelos de origen volcánico (Cruz y Casas 2002).

Muestreo de poblaciones

Se analizó una muestra de 270 individuos de *Polaskia chichipe*, incluyendo 30 individuos de nueve poblaciones (tres silvestres, tres manejadas *in situ* y tres cultivadas). Para el caso de *Polaskia chende* la muestra incluyó 197 individuos de un total de 8 poblaciones (cinco poblaciones con muestras de 30 individuos, una de 20, otra de 18 y otra población de 8 individuos). Las muestras incluyeron únicamente individuos reproductivos. En el

caso de *P. chichi*pe las poblaciones e individuos fueron los mismos para los análisis de diversidad morfológica y genética. En el caso de *P. chende*, todas las poblaciones e individuos mencionados fueron analizados en los estudios de diversidad genética, pero la diversidad morfológica se analizó solamente en una muestra de 20 individuos silvestres y 20 individuos manejados *in situ*. Para estimar los índices de variación genética en *Polaskia chende*, se consideraron 8 poblaciones; 3 silvestres (30 individuos cada una de ellas) y 3 manejadas *in situ* (30 individuos en cada una de ellas) para la parte poblana del Valle de Tehuacán y 2 silvestres en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca (20 individuos cada una de ellas).

Se consideraron como poblaciones silvestres a conjuntos de individuos que se distribuyen dentro del tipo de vegetación conocido como “chichiopera” (Valiente-Banuet *et al.* 2000), el cual tiene a ambas especies como elementos dominantes. Las poblaciones manejadas *in situ* son conjuntos de individuos originalmente silvestres pero la vegetación original a la cual pertenecían fue abierta a través del tiempo para el cultivo de maíz. Se consideraron como poblaciones cultivadas a aquellos conjuntos de individuos que se encuentran en los solares campesinos y huertos familiares.

Las poblaciones silvestres y manejadas *in situ* fueron muestreadas por medio de cuadros de 10 x 50 m. Para las poblaciones cultivadas, la unidad de muestreo la constituyó el solar o el huerto familiar. Se muestreó aleatoriamente el 10% de huertos en las localidades donde se definieron las poblaciones cultivadas.

Diversidad morfológica

En el caso de *P. chichi*pe se analizaron 25 caracteres morfológicos vegetativos y reproductivos (Cuadro 1), mientras que en el caso de *Polaskia chende* sólo se analizaron 9 caracteres reproductivos (Cuadro 2). Las plantas individuales fueron consideradas como una unidad de análisis. Para los caracteres cuantitativos se obtuvieron de tres a cinco medidas, con base en las cuales se calculó un valor promedio por individuo.

Las estimaciones de diversidad morfológica (DM) se efectuaron con base en el índice de diversidad de Simpson. Este se define como $D = 1 / \sum_{i=1}^s (p_i)^2$ donde p_i es la proporción del número total de individuos muestreados en una población representando el i ésimo estado del carácter morfológico y s es el número de estados del carácter morfológico en cuestión. Se eligió este índice debido a que se trata del mismo algoritmo básico del índice de heterocigosidad esperada de Nei (1978). Para calcular el índice DM, primeramente se calcularon las frecuencias de los diferentes estados de cada carácter por población (número de individuos con determinado estado de carácter). Las frecuencias de los estados de caracteres cualitativos se estimaron por conteo directo en cada población, mientras que los caracteres cuantitativos fueron transformados en variables cualitativas multiestado. Esta transformación consistió en asignar clases discretas a rangos de los caracteres cuantitativos significativamente distintos entre sí, de acuerdo con análisis de varianza de una vía, efectuados para cada carácter cuantitativo entre todas las poblaciones de cada especie. Los intervalos significativamente distintos fueron calculados con base en pruebas de rango múltiple de Tuckey. Los estados cualitativos fueron definidos a partir del límite inferior de un determinado intervalo al límite inferior del

siguiente intervalo significativamente distinto. El número total de estados de cada carácter por población fue así definido y la frecuencia de cada estado por población se calculó como se indicó arriba para los caracteres cualitativos. Se calculó el valor de diversidad de cada carácter y el promedio de estos valores se consideró índice promedio de diversidad morfológica (DM) por población.

Diversidad genética

Se colectaron muestras al azar de 20 a 30 individuos de *P. chende* en poblaciones silvestres y manejadas, dependiendo de la disponibilidad de individuos reproductivos, y 30 individuos por población de *P. chichipe*. Se utilizaron muestras de tejido de botones florales, para lo cual se colectaron de uno a tres botones por individuo y se congelaron en nitrógeno líquido para su conservación y transporte. Posteriormente las muestras se almacenaron en un congelador a -80°C hasta su análisis. Los individuos muestreados fueron marcados para posibles estudios en el futuro.

Los sistemas de buffers elegidos para la preparación de geles y para los electrodos fueron el sistema C de Maiz (Stuber *et al.*, 1988), y el sistema D (Stuber *et al.*, 1988). Se utilizó la técnica de electroforesis horizontal en geles de almidón, con la cual se resolvieron en total 11 enzimas para *P. chende* y 12 para *P. chichipe* (Cuadro 3) y se analizaron 15 loci en ambas especies. Todos los loci en *P. chende* resultaron polimórficos, mientras que en *P. chichipe* 14 resultaron polimórficos y uno monomórfico.

RESULTADOS

En *Polaskia chichipe* los valores más altos de diversidad morfológica se presentaron en las poblaciones manejadas *in situ*, registrándose en promedio para estas poblaciones MD = 0,630 ± 0,012. Destaca por sus altos valores particularmente la población manejada *in situ* 1 (MD = 0,652 ± 0,019), seguida por la población manejada *in situ* 2 (MD = 0,628 ± 0,017) y la manejada *in situ* 3 (MD = 0,611 ± 0,025). En contraste, los valores más bajos se registraron en todos los casos en las poblaciones silvestres (véase Cuadro 4). La diversidad morfológica promedio de las poblaciones silvestres fue MD = 0,546 ± 0,013. La menor diversidad se registró en la población silvestre 2 (MD = 0,533 ± 0,020), y ésta creció ligeramente en las poblaciones silvestre 3 (MD = 0,541 ± 0,020) y silvestre 1 (MD = 0,560 ± 0,025). Los valores intermedios se registraron en las poblaciones cultivadas, con un valor promedio de MD = 0,592 ± 0,013. En las poblaciones cultivadas 1, 2, y 3, se registraron valores de MD = 0,597 ± 0,020; 0,606 ± 0,019 y 0,572 ± 0,026 respectivamente.

De acuerdo con los diferentes parámetros sobre diversidad genética analizados para *P. chichipe*, en general ésta fue más elevada en las poblaciones silvestres que en las poblaciones manejadas *in situ* y en estas últimas fue ligeramente mayor que en las poblaciones cultivadas. La heterocigosidad esperada (He) en promedio para todas las poblaciones fue de 0.458. Agrupando a las poblaciones por tipo de manejo no se encontraron diferencias significativas para este parámetro, aunque los datos obtenidos indican que existe una tendencia a encontrar mayor diversidad genética en las poblaciones silvestres (He = 0,431 ± 0,043) que en las

cultivadas ($He = 0,369 \pm 0,048$) y las manejadas *in situ* ($He = 0,368 \pm 0,046$). El número promedio de alelos por locus (A) en todas las poblaciones estudiadas fue de 2,82 (Cuadro 4). Este número fue igual en las poblaciones silvestres y manejadas *in situ* ($A = 3,20 \pm 0,22$) y ligeramente inferior en las poblaciones cultivadas ($A = 3,0 \pm 0,22$). El porcentaje promedio de loci polimórficos (P) en todas las poblaciones fue de 93,37%, mientras que en las poblaciones silvestres el promedio fue de 93,33%, en las poblaciones manejadas *in situ* de 88,88% y en las cultivadas fue de 88,89%. La población con mayor diversidad genética fue la manejada *in situ* 3 ($P = 93,333$, $A = 2,93$, $He = 0,533$), seguida de la silvestre 2 ($P = 93,333$, $A = 2,93$, $He = 0,507$). En contraste, la población con menor variación genética fue la cultivada 2 ($P = 86,67$, $A = 2,67$, $He = 0,377$).

Para el caso de *Polaskia chende*, el valor más alto de diversidad morfológica se encontró en la población manejada *in situ* 1 ($MD = 0,353 \pm 0,068$) y el menor en la población silvestre 1 ($MD = 0,343 \pm 0,067$), pero las diferencias no son significativas (Cuadro 5). En *P. chende* tampoco hubo diferencias significativas en la diversidad genética entre poblaciones silvestres y manejadas *in situ* ($He = 0,481 \pm 0,014$ y $0,474 \pm 0,015$). El número promedio de alelos por locus (A) para todas las poblaciones fue de 2,9. Particularmente se obtuvieron valores más altos en las poblaciones manejadas *in situ* ($A = 3,133 \pm 0,133$) que en las silvestres ($A = 2,907 \pm 0,100$). La población con los valores más altos es la silvestre 3 ($P = 100$, $A = 2,933$, $He = 0,526$), seguida de la manejada *in situ* 1 ($P = 93,333$, $A = 2,933$, $He = 0,503$) y de la silvestre 2 ($P = 100$, $A = 3$, $He = 0,495$). En contraste los valores más bajos se encontraron en la silvestre C ($P = 86,670$, $A = 2,60$, $He = 0,447$) y en la manejada *in situ* 2 ($P = 100$, $A = 3,0$, $He = 0,452$).

Las poblaciones de *Polaskia chichipe* tienen mayor diversidad morfológica ($MD = 0,590 \pm 0,007$) que las de *Polaskia chende* ($MD = 0,348 \pm 0,005$), pero *P. chende* tiene valores de variación genética ligeramente más altos ($He = 0,479 \pm 0,010$) que los de *P. chichipe* ($He = 0,459 \pm 0,016$), aunque estas diferencias no son significativas (Cuadros 4 y 5).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indican que: (1) las poblaciones de *Polaskia chende* y *Polaskia chichipe* contienen en general niveles relativamente altos de diversidad morfológica y genética, comparadas con otras especies de cactáceas columnares; (2) la diversidad genética es mayor en las poblaciones de *P. chende*, mientras que la diversidad morfológica es mayor en las poblaciones de *P. chichipe*, y tales diferencias están relacionadas con la intensidad de manejo que reciben por parte de los campesinos de la región y (3) la conservación de las poblaciones manejadas puede desempeñar un papel central en el diseño de estrategias de conservación de los recursos genéticos *in situ* de ambas especies.

Diversidad morfológica y genética

Al comparar la diversidad morfológica de las dos especies, encontramos diferencias significativas en los promedios totales, siendo mayores los valores de las poblaciones de *P. chichipe*. Tales diferencias parecen deberse principalmente a las diferencias en el tamaño de muestra,

pues para este análisis se incluyeron más poblaciones e individuos de *P. chichipe*, así como al número de variables analizadas (26 en *P. chichipe*, 9 en *P. chende*) y los datos, por lo tanto, no son comparables. Sin embargo, es posible comparar los datos de *P. chichipe* con los de *Stenocereus stellatus* reportados por Casas *et al.* (2006), quienes encontraron una diversidad morfológica promedio por especie $MD = 0,450 \pm 0,015$, que es menor al valor encontrado en *Polaskia chichipe* en este estudio ($MD = 0,590 \pm 0,007$). *S. stellatus* es más intensamente manejada que *P. chichipe*, tiene también una distribución más amplia y fueron más las poblaciones e individuos analizados por esos autores. Las diferencias podrían estar asociadas a la propagación vegetativa con la que preponderantemente es manejada *S. stellatus*, la cual podría determinar una disminución de la variabilidad al favorecer la abundancia de algunos fenotipos en particular. Esto último parece ilustrarse cuando se analiza la variabilidad genética, la cual tanto en *P. chende* como en *P. chichipe* presenta niveles más altos ($P = 95.834$, $A = 2,9$, $He = 0,479$ y $P = 90.371$, $A = 2,821$, $He = 0,459$, respectivamente), cuando se les compara con los obtenidos para *S. stellatus* ($P = 82,86$, $A = 2,35$, $He = 0,264$).

Las poblaciones manejadas *in situ* de *P. chichipe* presentan la mayor diversidad morfológica ($MD = 0,630 \pm 0,012$) encontrada en todas las poblaciones de ambas especies, incluso mayor que la de las poblaciones cultivadas de esa misma especie ($MD = 0,592 \pm 0,013$). Estos niveles de diversidad son también superiores a los encontrados en poblaciones manejadas *in situ* ($MD = 0,461 \pm 0,014$) y cultivadas ($MD = 0,479 \pm 0,012$) de *S. stellatus*. Las diferencias con respecto a *S. stellatus* podrían deberse igualmente a la forma de propagación como se discutió arriba, mientras que las diferencias con respecto a las poblaciones cultivadas de la misma especie *P. chichipe* sugieren que en esta especie la parcela de los sistemas agrosilvícolas son los espacios más importantes para el manejo y selección artificial, mientras que en *S. stellatus*, el solar es el sistema de manejo y selección de mayor importancia y, por lo tanto, los que albergan mayor diversidad respectivamente en cada caso. Estas diferencias se deben a que en *S. stellatus* la propagación vegetativa y el cultivo son prácticas relativamente más sencillas, además de que tiene una mayor velocidad de crecimiento que *P. chichipe*, todo lo cual le confiere a *S. stellatus* mejores condiciones para propagarse exitosamente en los solares, que son espacios antropogénicos manejados con mayor intensidad.

El análisis de variabilidad genética por tipo de manejo indica que las poblaciones silvestres presentan los niveles más altos, tanto en *P. chende* ($He = 0,481 \pm 0,014$) como en *P. chichipe* ($He = 0,431 \pm 0,043$). Sin embargo, en ninguna de las especies las diferencias fueron significativas con respecto a las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas. En *P. chichipe* se observó una tendencia a que la variabilidad genética disminuya en las poblaciones manejadas *in situ* ($He = 0,368 \pm 0,046$) y se incrementa ligeramente en las cultivadas ($He = 0,369 \pm 0,048$), aunque, como se dijo, no de forma significativa. Estos resultados indican que en ambas especies la manipulación humana de las poblaciones silvestres permite el mantenimiento de la diversidad genética, un patrón similar al reportado para *S. stellatus* por Casas *et al.* (2006), aunque en esta última especie los autores documentaron que en las poblaciones manejadas y cultivadas la variabilidad puede ser incluso mayor que en las poblaciones silvestres. En *S. stellatus* Casas *et al.* (2006) consideran que el continuo recambio de individuos

en las parcelas y los solares, junto con el flujo génico entre poblaciones silvestres y cultivadas son los procesos que permiten explicar que en promedio las poblaciones manejadas *in situ* y cultivadas tengan mayor diversidad. En los casos de *Polaskia* spp. analizados aquí existen altos niveles de flujo génico que permiten explicar niveles similares de variabilidad genética, pero el efecto del recambio que se observa en *S. stellatus* no se aprecia ya que en estas especies, como se ha dicho, la propagación intencional y el cultivo tienen mayores dificultades.

Diversidad morfológica y genética asociada a las prácticas de manejo

Los datos obtenidos confirman que las prácticas de manejo campesino pueden ser eficaces en la conservación de la diversidad morfológica y genética de las poblaciones de organismos que aprovechan. Así, aunque la apertura de terrenos de cultivo elimina elementos perennes de la cubierta vegetal, las poblaciones silvestres tanto de *P. chichipe* como *P. chende* logran mantenerse como reservorios de diversidad genética. Para el caso de *P. chichipe*, Farfán-Heredia (2006) documentó a través de un estudio demográfico que bajo el sistema de manejo tradicional, las poblaciones manejadas *in situ* mantienen un crecimiento poblacional adecuado para su restablecimiento y esta especie, como se mencionó, constituye un componente principal de la vegetación original. Aunque faltan aún más estudios sobre el efecto del manejo en otras especies y sobre la dinámica de la regeneración de la vegetación después de haber sido perturbada, los datos disponibles sugieren que las prácticas de manejo tradicional poseen ventajas importantes para la conservación y la restauración de áreas perturbadas. Y esta información parece adquirir aún mayor relevancia si se considera que el manejo silvícola *in situ* constituye una forma común de manejo de docenas de especies de plantas perennes en Mesoamérica.

En los casos analizados, así como en el analizado para *Stenocereus stellatus* por Casas *et al.* (2006) el mantenimiento de la variabilidad genética es una condición necesaria para mantener la producción de frutos, pues estas especies presentan sistemas de cruzamiento autoincompatibles (Cruz y Casas 2002, Otero-Arnaiz *et al.* 2003). Así, la conservación de variabilidad genética en los ambientes manejados tiene consecuencias en general para la conservación de las especies manejadas, pero también para los propósitos humanos de obtener satisfactores de las poblaciones de tales especies. Y desde luego, el estado de la producción de frutos de plantas como las estudiadas también repercute en las poblaciones de otros organismos de la comunidad biótica en la que se encuentran, como por ejemplo las diversas especies de aves, murciélagos y otros mamíferos y hormigas que se alimentan de los frutos y semillas.

Así como estas especies de cactáceas columnares, otras especies de plantas están siendo manejadas de forma similar en el área de estudio, por lo que la documentación de estas prácticas resulta de gran utilidad para construir modelos de manejo que contribuyan a la conservación de un gran número de especies y de su diversidad genética. Y estos estudios son particularmente urgentes debido a que existe un proceso paulatino de pérdida de técnicas tradicionales de manejo (Casas *et al.* 2006, Farfán-Heredia 2006). Así, en la región estudiada, el sistema agrosilvícola de manejo *in situ* tiende a ser desplazado por sistemas que

eliminan todos los componentes de los campos de cultivo, con la consecuente pérdida de diversidad y funciones ecológicas del sistema que hemos discutido. Es decir, el rescate y promoción de estos sistemas debe identificarse como una estrategia clave para la conservación en un área como el Valle de Tehuacán, que posee numerosos recursos vegetales (Casas *et al.* 2001), muchos de los cuales tienen una distribución restringida, como es el caso de *Polaskia chichi*pe y más aún el de *Polaskia chende*.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado con fondos de la DGAPA-UNAM (IN220005), el Fondo Sectorial SEMARNAT/CONACYT (2002-C01-0544) y el Royal Botanic Gardens Kew. Agradecemos a Heberto Ferreira y Alberto Valencia su apoyo en labores de cómputo y a la gente de las comunidades estudiadas por su hospitalidad, apoyo e interés en el trabajo.

LITERATURA CITADA

- Alcorn, J.B. 1984. Huastec Mayan ethnobotany. University of Texas Press. Austin TX.
- Arellano, E. & Casas, A. 2003. Morphological variation and domestication of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) under silvicultural management in the Tehuacán Valley, Central Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution 50: 439-453.
- Arias, S.; Gama, S. & Guzmán, L.U. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 14. Cactaceae A.L. Juss. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. Volumen I. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Caballero, J. 1991. Maya homegardens: past, present and future. Etnoecológica 1(1): 35-56.
- Caballero, J.; Casas, A.; Cortés, L. & Mapes, C. 1998. Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas en pueblos indígenas de México. Revista de Estudios Atacameños 16: 181-196.
- Carmona, A. & Casas, A. 2005. Management, domestication and phenotypic patterns of *Polaskia chichi*pe (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. Journal of Arid Environments 60: 115-132.
- Casas, A., Viveros, J. L. & Caballero, J. 1994. Etnobotánica Mixteca: Sociedad, Cultura y Recursos Naturales en la Montaña de Guerrero. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Instituto Nacional Indigenista. México.
- Casas, A.; Vázquez, M. C.; Viveros, J. L. & Caballero, J. 1996. Plant management among the Nahuatl and the Mixtec of the Balsas river basin: an ethnobotanical approach to the study of plant domestication. Human Ecology 24(4): 455-478.
- Casas, A., Pickersgill, B., Caballero, J. & Valiente-Banuet, A. 1997. Ethnobotany and domestication in Xoconochtlí, *Stenocereus stellatus* (Cactaceae), in the Tehuacán Valley and La Mixteca Baja, México. Economic Botany 51(3): 279-292.
- Casas, A., Caballero, J. & Valiente-Banuet, A. 1999a. Use, management and domestication of columnar cactus in south-central Mexico: a historical perspective. Journal of Ethnobiology 19: 71-95.

- Casas, A.; Caballero, J.; Valiente-Banuet, A., Soriano, J. A. & Dávila, P. 1999b. Morphological variation and the process of domestication of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) in Central Mexico. *American Journal of Botany* 86(4): 522-533.
- Casas, A.; Valiente-Banuet, A.; Viveros, J.L.; Caballero, J.; Cortés, L.; Dávila, P.; Lira, R. & Rodríguez, I. 2001. Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany* 55: 129-166.
- Casas, A. & Barbera, G. 2002. Mesoamerican domestication and diffusion. Pp. 143-162. In: Nobel, P.S. (ed.). *Cacti: Biology and Uses*. University of California Press, Los Angeles, California, E. U.
- Casas, A.; Cruse, J.; Morales, E.; Otero-Arnaiz, A. & Valiente-Banuet, A. 2006. Maintenance of phenotypic and genotypic diversity of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous peoples in Central Mexico. *Biodiversity and Conservation* 15: 879-898.
- Cruz, M. & Casas, A. 2002. Morphological variation and reproductive biology of *Polaskia chende* (Cactaceae) under domestication in Central Mexico. *Journal of Arid Environments* 51: 561-576.
- Dávila, P.; Arizmendi, M. C.; Valiente-Banuet, A.; Villaseñor, J. L. & Lira, R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity and Conservation* 11: 421-442.
- Farfán-Heredia, B. 2006. Efecto del manejo silvícola en la estructura y dinámica poblacional de *Polaskia chichipe* Backeberg en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.
- Lucio, J. D. 2005. Variabilidad genética y procesos de domesticación de *Polaskia chichipe* (Cactaceae) en el Valle de Tehuacán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Nabhan, G. P.; Rea, A.; Reichhardt, K.; Mellink, E. & Hutchinson, C. F. 1982. Papago influences on habitat and biotic diversity: Quitobac oasis ethnoecology. *Journal of Ethnobiology* 2: 124-143.
- Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89: 583-590.
- Otero-Arnaiz, A.; Casas, A.; Bartolo, M. C.; Pérez-Negrón, E. & Valiente-Banuet, A. 2003. Evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, Central Mexico. Reproductive biology. *American Journal of Botany* 90: 593-602.
- Otero-Arnaiz, A.; Casas, A.; Hamrick, J. L. & Cruse-Sanders, J. 2005. Genetic variation and evolution of *Polaskia chichipe* (Cactaceae) under domestication in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Molecular Ecology* 14(6):1603-1611.
- Reichhardt, K.; Mellink, E.; Nabhan, G. P. & Rea, A. 1994. Habitat heterogeneity and biodiversity associated with indigenous agriculture in the Sonoran desert. *Etnoecológica* 2(3): 21-34.
- Ruíz-Durán, M. E. 2006. Patrones de diversidad genética y proceso de domesticación de *Polaskia chende* (Cactaceae) en el Valle de Tehuacán, Puebla. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

- Stuber, C.W.; Wendel, J.M. & Goodman, M.M. 1988.** Techniques and scoring procedures for starch gel electrophoresis of enzymes from maize (*Zea mays*). Technical Bulletin 286. North Caroline State University, E.U.A.
- Toledo, V. M.; Ortíz, B. & Medellín-Morales, S. 1994.** Biodiversity islands in a sea of pasturelands: indigenous resource management in the humid tropics of Mexico. *Etnoecológica* 2(3): 37-49.
- Valiente-Banuet, A.; Casas, A.; Alcántara, A.; Dávila, P.; Flores, N.; Arizmendi, M. C.; Villaseñor, J. L. & Ortega, J. 2000.** La vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 67: 25-74.
- Zizumbo, D. & Colunga, P. 1982.** Los Huaves. La apropiación de los recursos naturales. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Sociología Rural. Chapingo, México.

Cuadro 1. Caracteres morfológicos analizados para *Polaskia chichipe*. Intervalos y rangos significativamente diferentes, correspondiente a un estado por categoría

Carácter	Unidades	Intervalo	Estado	Intervalo	Estado	Intervalo	Estado	Intervalo	Estado	Intervalo	Estado	Intervalo	Estado
Long. Fruto	cm	15,928-17,156	1	17,157-19,294	2	19,295-21,180	3	21,181-22,082	4	22,083-23,516	5	23,517-4,338	6
Diam. Fruto	cm	16,771-18,433	1	18,434-20,767	2	20,768-21,981	3	21,982-23,33	4	23,336-23,964	5		6
No. Areolas Fruto	número	16,151-17,267	1	17,268-19,216	2	19,217-20,737	3		4		5		6
Densidad Areol.Frut.	Número/cm2	1,431-14,758	1	1,759-2,137	2		3		4		5		6
Peso total Fruto	g	2,206-2,786	1	2,787-4,347	2	4,348-5,461	3	5,462-6,859	4	6,860-7,531	5	7,532-7,934	6
Peso cáscara fruto	g	1,230-1,697	1	1,698-2,180	2	2,181-2,540	3	2,541-2,801	4	2,802-3,296	5	3,297-3,827	6
Grosor cáscara fruto	mm	1,107-1,276	1	1,277-1,582	2	1,583-1,740	3		4		5		6
Peso pulpa fruto	g	1,011-1,273	1	1,274-2,071	2	2,072-2,868	3	2,869-3,490	4	3,491-3,837	5	3,838-4,056	6
Peso de semillas	g	0,208-0,249	1	0,250-0,305	2	0,306-0,341	3	0,342-0,380	4		5		6
Número de semillas	número	259,905-302,033	1	302,034-333,247	2	333,248-397,693	3	397,694-459,100	4	459,101-489,294	5		6
Long.Pericarpelo	cm	12,418-13,064	1	13,065-13,650	2	13,651-14,246	3	14,247-14,663	4		5		6
Diam.Pericarpelo	cm	9,985-10,406	1	10,407-10,666	2	0,667-10,935	3	10,936-11,434	4		5		6
Long. Tepalos	cm	16,118-17,085	1	17,086-18,551	2		3		4		5		6
Diam. Perianto	cm	17,566-20,502	1	20,503-22,959	2	22,960-27,130	3		4		5		6
Long.Ovario	cm	2,495-2,666	1	2,667-2,995	2	2,996-3,463	3		4		5		6
Diam. Ovario	cm	3,293-3,409	1	3,410-3,579	2	3,580-4,167	3		4		5		6
Long. Nectario	cm	2,438-2,566	1	2,567-3,068	2	3,069-3,502	3		4		5		6
Diam.Nectario	cm	3,331-3,510	1	3,511-3,778	2	3,779-4,046	3		4		5		6
Long.Pistilo	cm	14,766-17,249	1	17,250-18,392	2	18,393-19,057	3		4		5		6
Diam.Pistilo	mm	1,349-1,529	1	1,530-1,631	2	1,632-1,734	3	1,735-1,860	4		5		6
No. Lóbulos	número	8,175-8,426	1	8,427-8,856	2	8,857-9,115	3		4		5		6
Long.Lóbulos	mm	4,201-4,685	1	4,686-5,002	2	5,003-5,260	3	5,261-5,472	4		5		6
Long.Estambres	mm	14,068-14,957	1	14,598-15,619	2	15,620-16,600	3	16,601-17,113	4		5		6
Long.Anteras	mm	1,768-1,854	1	1,855-1,970	2	1,971-2,100	3		4		5		6
Diam.Anteras	mm	0,951-1,021	1	1,022-1,069	2		3		4		5		6

Cuadro 2. Caracteres morfológicos analizados para *Polaskia chende*. Intervalos y rangos significativamente diferentes, y sus correspondiente estados categóricos.

Carácter	Unidades	Intervalo	Estado	Intervalo	Estado
Número de areolas por fruto	número	9,680-10,827	1		
Tamaño del fruto	cm ³	5,584-6,194	1	6,195-6,523	2
Grosor cáscara fruto	mm	1,956-2,439	1	2,440-2,721	2
Peso del fruto	g	14,871-18,302	1	18,803-20,938	2
Cantidad de pulpa	g	7,651-11,003	1	11,04-12,057	2
Pulpa/peso cáscara	g	1,102-1,328	1	1,329-1,517	2
Peso cada semilla	mg	0,645-0,674	1	0,675-0,714	2
Número de semillas	número	557,364-685,913	1		
°Brix de la pulpa	°Brix	7,913-8,828	1	8,829-9,313	2

Cuadro 3. Enzimas y loci analizados en los estudios de variabilidad genética

Especie	Loci	No. de loci	Referencias bibliográficas
<i>Polaskia chende</i>	(EST1, EST2), glutamato deshidrogenasa (GDH), menadión reductasa (MNR1, MNR2), glucosa 6-fosfato deshidrogenasa (G-6PD), fosfoglucomutasa (PGM1, PGM2), shikimato deshidrogenasa (SDH), malato deshidrogenasa (MDH1, MDH2), enzima málica (ME), 6-fosfogluconato deshidrogenasa (6-PGD), fosfoglucoisomerasa (PGI), isocitrato deshidrogenasa (IDH)	15	Ruíz-Durán 2006
<i>Polaskia chichi</i>	esterasa (EST1, EST2, EST3), menadión reductasa (MNR1, MNR2), glutamato oxaloacetato transaminasa (GOT), glutamato deshidrogenasa (GDH), glucosa 6-fosfato deshidrogenasa (G-6PD), leucina aminopeptidasa (LAP), enzima málica (ME), fosfoglucoisomerasa (PGI), fosfoglucomutasa (PGM), shikimato deshidrogenasa (SDH), 6-fosfogluconato deshidrogenasa (6-PGD), malato deshidrogenasa (MDH)	15	Lucio 2005

Cuadro 4. Medidas de variación genética y diversidad morfológica en poblaciones de *Polaskia chichipe* del Valle de Tehuacán

Población	A	P(%)	He	DM
Silvestre 1	2,730 (0,210)	93,333	0,466 (0,047)	0,56 +0,025
Silvestre 2	2,930 (0,210)	93,333	0,507 (0,052)	0,533 + 0,020
Silvestre 3	2,930 (0,150)	93,333	0,467 (0,051)	0,541 + 0,020
Grupo S	3,20(0,22)	93,33	0,431(0,043)	0,546(0,013)
Manejada 1	2,670 (0,270)	80,000	0,408 (0,068)	0,652 +0,019
Manejada 2	2,930 (0,210)	93,333	0,437 (0,050)	0,628 + 0,017
Manejada 3	2,930 (0,210)	93,333	0,533 (0,051)	0,611 + 0,025
Grupo M	3,20(0,22)	93,33	0,368(0,046)	0,630(0,012)
Cultivada 1	2,800 (0,240)	86,670	0,458 (0,052)	0,597 + 0,020
Cultivada 2	2,670 (0,230)	86,670	0,377 (0,062)	0,606 + 0,019
Cultivada 3	2,800 (0,200)	93,330	0,474 (0,053)	0,572 + 0,026
Grupo C	3,00(0,22)	93,33	0,369(0,048)	0,592(0,013)
Total				0,590 + 0,007

Cuadro 5. Medidas de variación genética y diversidad morfológica en poblaciones de *Polaskia chende* del Valle de Tehuacán

Población	A	P(%)	He	DM
Silvestre 1	3,200 (0,200)	93,333	0,485 (0,062)	0,343 + 0,067
Silvestre 2	3,000 (0,195)	100,000	0,495 (0,044)	
Silvestre 3	2,933 (0,153)	100,000	0,526 (0,049)	
Grupo Silv.	3,333 (0,159)	100,000	0,539 (0,043)	
Silvestre P	2,867 (0,165)	100,000	0,454 (0,038)	
Silvestre C	2,600 (0,214)	86,670	0,447 (0,056)	
Grupo Silv. C	3,067 (0,118)	100,000	0,482 (0,035)	
Manejada 1	2,933 (0,207)	93,333	0,503 (0,052)	0,353 + 0,068
Manejada 2	3,000 (0,169)	100,000	0,452 (0,046)	
Manejada 3	2,733 (0,182)	93,333	0,467 (0,054)	
Grupo Manej.	3,133 (0,133)	100,000	0,516 (0,044)	
Total				0,348 + 0,046

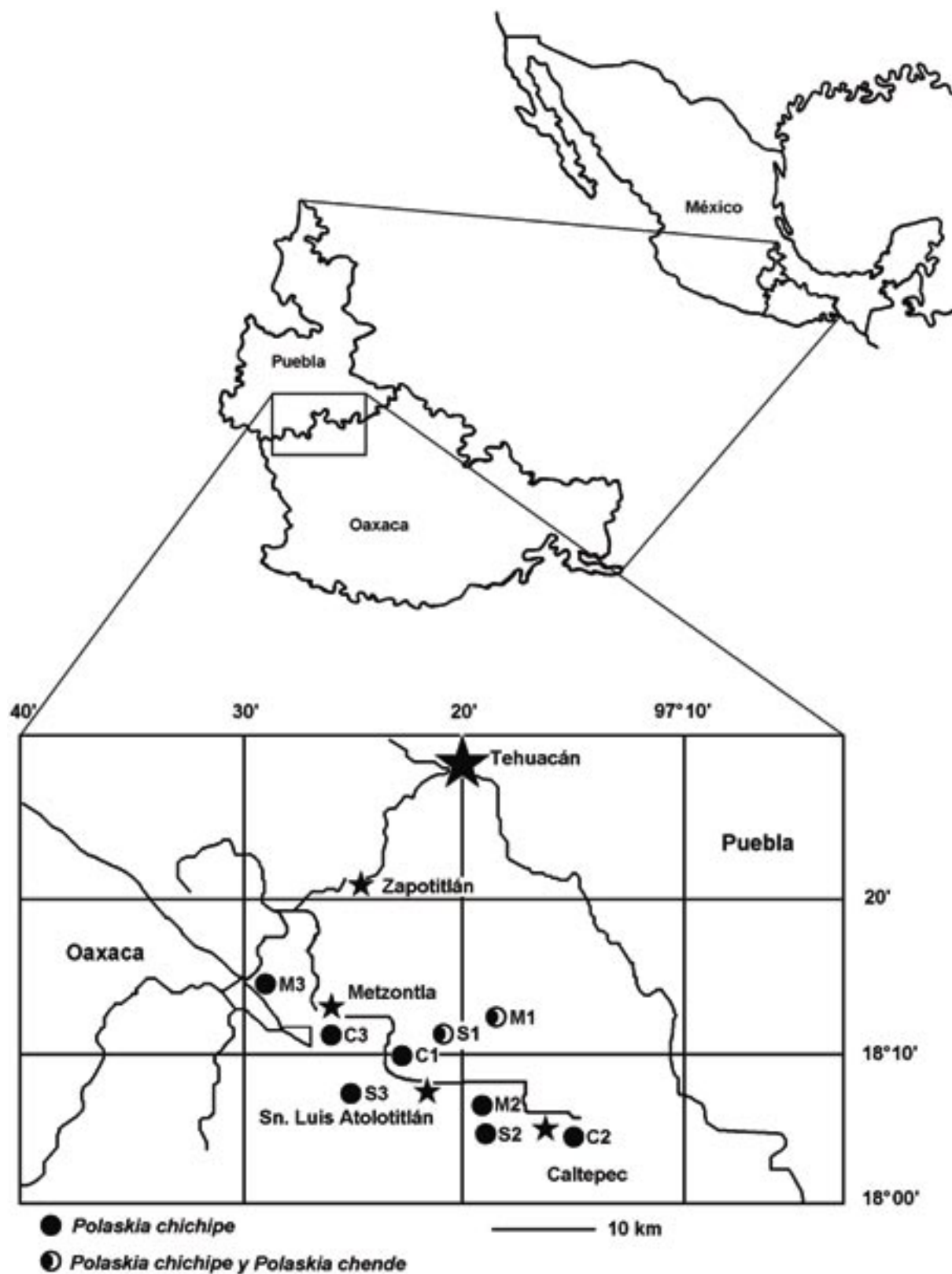


Figura 1. Área de estudio. Localización de las poblaciones de *Polaskia chichipe* y *P. chende* estudiadas en la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán, México.



Figura 2
Poblaciones manejadas *in situ* de *Polaskia chichipe* y *P. chende* en la comunidad de San Luis Atolotitlán, Puebla, dentro de la Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán.

Figura 3

Aspectos del cultivo de *Polaskia chichipe* en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

a) Aspecto de la propagación vegetativa a partir de una rama.

b) Aspecto de un solar campesino con la presencia de *P. chichipe*.





Figura 4

Aspecto de la variabilidad morfológica de *Polaskia chichipe*.

a) Apariencia de un individuo completo.

b) Variabilidad morfológica en frutos.



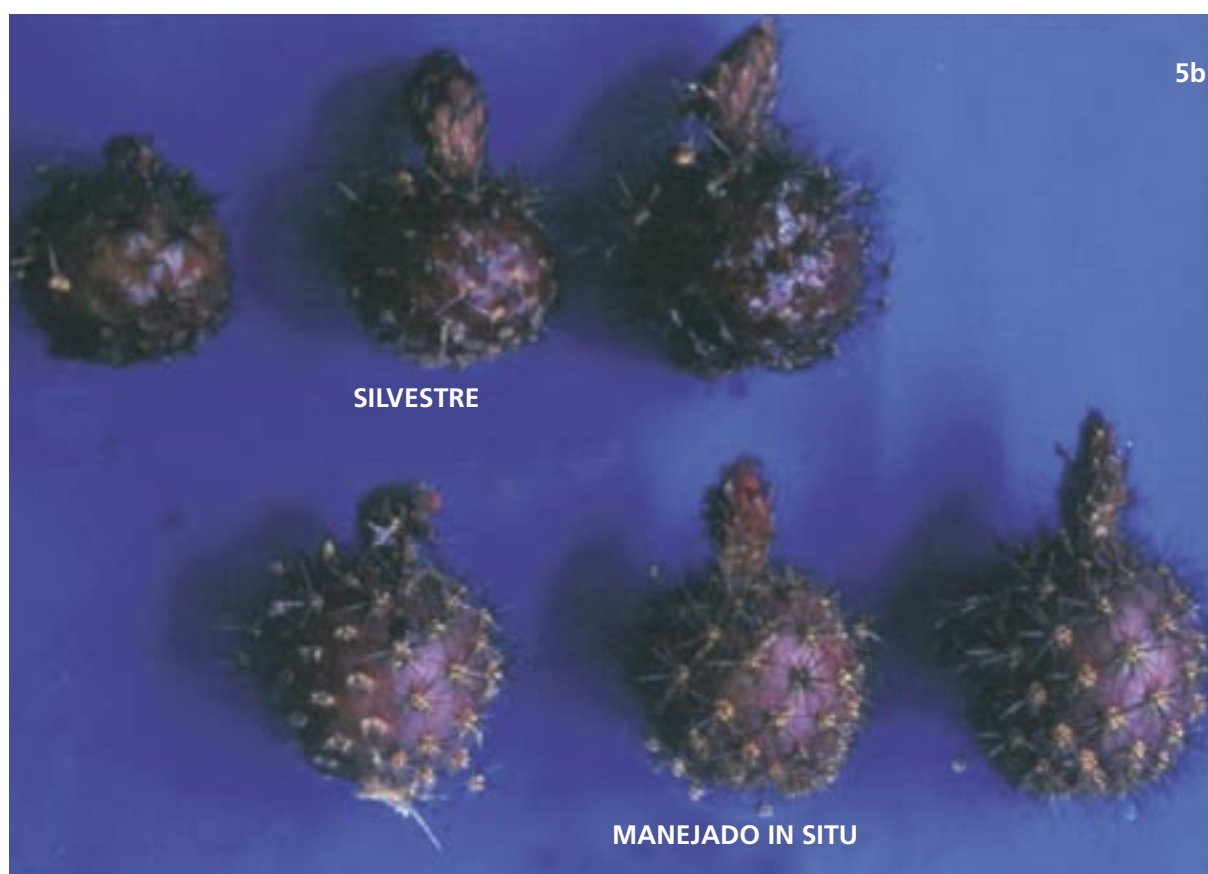


Figura 5

Aspecto de la variabilidad morfológica de *Polaskia chende*.

a) Apariencia de un individuo completo.

b) Variabilidad morfológica en frutos.



Variabilidad Genotípica de Cactáceas con crecimiento determinado de la raíz en la regeneración de raíces a partir de callos

SVEITLANA SHISHKOVA^{1,3}, NORMA E. MORENO¹, VICENTE CASTILLO-DÍAZ¹, JESÚS ARELLANO² & JOSEPH G. DUBROVSKY¹

(¹) DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MOLECULAR DE PLANTAS, INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, CUERNAVACA, MOR., MÉXICO.

(²) CENTRO DE CIENCIAS GENÓMICAS, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, CUERNAVACA, MOR., MÉXICO.

(³) email: sveta@ibt.unam.mx , sveta.shishkova@gmail.com

RESUMEN

En algunas cactáceas del Desierto de Sonora, la raíz primaria tiene crecimiento determinado: las células del meristemo apical de la raíz pasan solamente por unos pocos ciclos celulares y después se diferencian. Este tipo de crecimiento de la raíz primaria se encontró en estas cactáceas cultivadas bajo varias condiciones de crecimiento, y no se revirtió por ningún tratamiento probado. Los mecanismos involucrados en el mantenimiento del meristemo de la raíz y del crecimiento determinado de la raíz primaria en plantas, han sido poco comprendidos. En un estudio previo, establecimos un protocolo para la regeneración de raíces a partir de callos de *Stenocereus gummosus* y *Ferocactus peninsulæ* y evidenciamos que el patrón de crecimiento determinado de las raíces regeneradas, fue similar a aquel de la raíz primaria. En este trabajo, mostramos que el genotipo de la planta es muy importante para la regeneración de raíces a partir de callos de *S. gummosus* y *F. peninsulæ*. Estos hallazgos permitirán el futuro análisis del papel de ciertos genes de las Cactaceae en el patrón de crecimiento determinado de la raíz por la vía de la regeneración de raíces transgénicas a partir de callos transformados.

Palabras Clave: Cactaceae; crecimiento determinado de la raíz; cultivo *in vitro*; desarrollo de plantas.

ABSTRACT

In some Sonoran Desert Cactaceae the primary root has a determinate root growth: the cells of the root apical meristem (RAM) undergo only a few cell division cycles and then differentiate. The determinate growth of primary roots in Cactaceae was found in plants cultivated under various growth conditions, and could not be reverted by any treatment tested. This mode of development is important for rapid lateral-root formation and a successful seedling establishment in a desert. The mechanisms involved in root meristem maintenance and determinate root growth in plants remain poorly understood. In our previous study, a protocol for root regeneration from callus of Stenocereus gummosus and Ferocactus peninsulæ was established, and it was shown that regenerated roots have the determinate growth pattern similar to that of the primary root. In this work we demonstrate that plant genotype is very important for the root regeneration from callus. These findings will permit future analysis of the role of certain Cactaceae genes in the determinate pattern of root growth via the regeneration of transgenic roots from transformed calli.

Key Words: Cactaceae; determinate root growth; in vitro culture; plant development.

En algunas cactáceas del Desierto de Sonora, la raíz primaria tiene crecimiento determinado: las células del meristemo apical de la raíz pasan solamente por unos pocos ciclos celulares y después se diferencian (Dubrovsky, 1997). Como consecuencia, la raíz primaria deja de crecer (Figura 1). Mientras procede el agotamiento del meristemo, los pelos radicales se aproximan a la punta de la raíz hasta que la cubren completamente (Figura 2) y la cofia se pierde. La raíz primaria de las plántulas de las especies empleadas en el presente trabajo, *Stenocereus gummosus* y *Ferocactus peninsulae*, crece durante 2 a 3 días después del inicio de la germinación (Dubrovsky, 1997), mientras que el crecimiento de la raíz primaria de otra especie, *Pachycereus pringlei*, dura de 6 a 8 días (Dubrovsky & Gómez-Lomelí, 2003). Este tipo de crecimiento es una adaptación a las condiciones del desierto, porque la terminación del crecimiento de la raíz primaria induce el desarrollo de las raíces laterales y así facilita el establecimiento rápido de la plántula. Muchas raíces laterales también presentan crecimiento determinado y de esta manera promueven el desarrollo de raíces laterales de segundo orden (Dubrovsky, 1999). El sistema radical desarrollado rápidamente permite a las plántulas jóvenes aprovechar el agua que es un recurso muy limitado. En la Figura 3 se muestran las plantas de *S. gummosus* y *F. peninsulae* en su habitat natural.

S. gummosus, o pitaya agria, es una especie codominante del Desierto de Sonora. Esta especie presenta potencial económico para la producción de frutos para el consumo humano, que actualmente se recolectan en poblaciones silvestres y se venden en los mercados (Dubrovsky, 1999). Además, se vende como planta medicinal para los tratamientos de alta presión arterial, picadura de abeja, veneno de mantarraya y víboras (Encarnación-Dimayuga, 1996). Las especies del género *Ferocactus* se emplean en la medicina tradicional, elaboración de dulces, como forraje y como fuente de agua para animales domésticos; los botones florales y frutos se consumen por los indígenas (Del Castillo & Trujillo, 1991, citado por Maiti *et al.*, 2003). *P. pringlei*, o cardón, que también es una especie codominante del Desierto de Sonora, presenta un gran impacto en la fijación de suelos, prevención de la erosión y el mantenimiento de ecosistemas (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1978). Considerando la distribución y diversidad de usos de estas especies, es importante conocer su biología de desarrollo, para los fines de reforestación, cultivo y domesticación.

El crecimiento determinado de la raíz primaria se ha descrito solamente en algunas cactáceas, mientras que las raíces laterales o adventicias de algunas otras especies también presentan este tipo de crecimiento. Algunos ejemplos de esto son las raíces proteoides de plantas de la familia *Proteaceae* (Skene *et al.* 1996, revisión Shane & Lambers, 2005) y de otras familias (Dinkelaker *et al.* 1995), que se forman cuando las plantas crecen en suelos con una baja concentración de fosfatos; los agrupamientos de raíces laterales ("cluster roots") de *Opuntia arenaria* (Boke, 1979) y algunas raíces laterales de maíz (Varney & McCully 1991). Recientemente se reportó que las plantas de *Arabidopsis thaliana* cultivadas en medio con una baja concentración de fosfatos muestran crecimiento determinado irreversible de la raíz primaria. En este caso la proliferación celular cesa y la diferenciación celular se lleva a cabo en los sitios anteriormente ocupados por las zonas meristemática y de elongación (Sánchez-Calderón *et al.*, 2005). Las raíces primarias de plantas de *A. thaliana* crecidas en otras condiciones, por

ejemplo, en alta concentración de fosfatos, así como plantas privadas de potasio, nitrato, sulfuro o fierro, muestran el patrón indeterminado del crecimiento de la raíz.

Existen algunas mutantes de *A. thaliana* que muestran características de agotamiento del meristemo y, como consecuencia, del crecimiento determinado de la raíz primaria. Entre ellos podemos nombrar mutantes en los genes *SHORT ROOT (SHR)* y *SCARECROW (SCR)*, genes redundantes *PLETHORA1 (PLT1)* y *PLETHORA2 (PLT2)*, todos ellos codifican para factores de transcripción (Benfey *et al.*, 1993; Di Laurenzio *et al.*, 1996, Sabatini *et al.*, 2003; Aida *et al.*, 2004), así como varias mutantes en genes involucrados en el metabolismo, percepción o transporte de auxinas (ver revisión Jiang & Feldman, 2005).

A pesar de que la existencia del crecimiento determinado de la raíz de algunas especies se reportó hace 30 años, hasta la fecha los mecanismos que regulan este tipo de crecimiento se desconocen. Existe la hipótesis de que la organización del meristemo apical de la raíz depende de la formación y el mantenimiento del centro quiescente (Kerk & Feldman, 1995). De acuerdo con esta hipótesis, demostramos que en la raíz primaria de las plantas de la especie *S. gummosus* el centro quiescente no se establece durante los 2 ó 3 días que dura su desarrollo, y en la raíz primaria de *P. pringlei*, que crece durante más tiempo, el centro quiescente se establece solamente en la etapa inicial de desarrollo y luego desaparece (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 2003). Evidenciamos también, que la muerte celular programada no participa en el proceso de agotamiento del meristemo, aunque ocurre en algunos tejidos de la punta de raíz de *S. gummosus* y *P. pringlei* (Shishkova & Dubrovsky, 2005).

Actualmente estamos empezando a desarrollar un proyecto dedicado a la identificación de los genes de las cactáceas con crecimiento determinado de la raíz primaria, que se expresan diferencialmente en las etapas inicial y terminal del crecimiento de la raíz determinada, y así elucidar los genes importantes para el crecimiento determinado. También planeamos analizar el papel de genes identificados, que podrían funcionar en procesos de mantenimiento y agotamiento del meristemo. Debido a varias razones, no se puede llevar a cabo el análisis del tipo de crecimiento de las raíces primarias de cactáceas transformadas genéticamente, porque para las especies de cactáceas de interés no es factible obtener semillas de plantas transgénicas. Por eso, estamos en el proceso de establecer un sistema artificial homólogo para analizar el papel de los genes de interés en el crecimiento determinado de la raíz en las cactáceas. Este sistema consiste en la obtención de callos transformados *in vitro* de las especies de cactáceas de interés, por *A. tumefaciens*, la regeneración de las raíces transgénicas a partir de estos callos y el análisis del tipo de crecimiento de las raíces regeneradas. En la etapa anterior de este trabajo demostramos que se puede regenerar raíces a partir de callos de *S. gummosus* y *F. peninsulae*, y que estas raíces tienen el patrón determinado de crecimiento (García-Mendoza *et al.*, 2003). Los resultados obtenidos en esa etapa sugieren que la regeneración de raíces a partir de los callos de estas especies depende no solamente de las concentraciones de auxinas y citocininas, sino también de los genotipos de las plantas que originan los callos. En el presente trabajo evidenciamos la importancia del genotipo de estas cactáceas en la regeneración de raíces a partir de callos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal, condiciones de crecimiento, inducción y propagación de callo

Semillas de *Stenocereus gummosus* (Engelm.) Gibson & Horak y *Ferocactus peninsulae* (F.A.C. Weber) Britton & Rose, fueron colectadas y esterilizadas como lo describen Shishkova & Dubrovsky (2005). Las semillas fueron germinadas sobre medio MS al 50% (GibcoBRL-Life Technologies, Grand Island, NY, USA) en cajas de Petri mantenidas en posición horizontal. Las plántulas fueron cultivadas en una cámara de crecimiento a una temperatura de $29 \pm 1^\circ\text{C}$, intensidad luminosa de $190 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y un fotoperíodo de 12 h luz / 12 h oscuridad. Las mismas condiciones, fueron utilizadas para la inducción de callo, aunque también se utilizó oscuridad continua para propagación de callo y regeneración de raíces de *F. peninsulae*. Tres explantes de cada plántula de 14 días (2 cotiledones y un hipocotilo), fueron colocados sobre medio de inducción de callo (MIC), el cual contiene las sales MS, las vitaminas del medio de Gamborg B5, sacarosa al 3 % y agar al 0.8 %, suplementado con una auxina y una citocinina. Se utilizaron tres concentraciones de la auxina ácido 1-Naftalenacético (ANA o N cuando se hace referencia a la concentración en los medios en mg/L) y de la citocinina 6-Benciaminopurina (BA o B cuando se hace referencia a la concentración en los medios en mg/L) en tres diferentes MICs: N1B5, N5B1 y N5B5. Por cada caja de Petri se colocaron los explantes de seis plántulas en seis secciones correspondientes. Cuatro semanas después, los callos generados fueron separados de los explantes y se transfirieron a nuevas cajas de Petri con el MIC fresco correspondiente, para su propagación por otras cuatro semanas.

Regeneración de raíces a partir de callos

Cuatro semanas después, se colocaron diez fragmentos de callos de aproximadamente 0.5 cm de diámetro por cada caja de Petri que contenía medio de regeneración de raíces (MRR). El MRR contiene las sales y vitaminas de MS, sacarosa al 2 % y agar al 0.8 %, además fue suplementado con ANA solo o en combinación con BA [mg/l]. Se utilizaron de dos a cuatro MRR diferentes para regeneración de raíces a partir de callos, según la cantidad de callo generada por cada plántula. Para algunas plantas que produjeron poco callo se utilizaron solamente los MRRs N5 y N5B0.01 y para aquellas plántulas que generaron una mayor cantidad de callo, se utilizaron además los medios N3 y N3B0.01, estas últimas fueron la mayoría. Para analizar el impacto del genotipo y del medio de cultivo sobre la regeneración de raíces se registró y se dio seguimiento en cada subcultivo, al número de planta y tipo de explante. Para *S. gummosus*, la inducción de callo y la regeneración de raíces fue llevada a cabo solamente en condiciones de fotoperíodo, mientras que en *F. peninsulae*, el callo fue inducido en fotoperíodo de 12 h y después el callo proveniente de cada plántula fue dividido en dos; una mitad fue propagada en fotoperíodo y la otra fue propagada en oscuridad sobre el mismo MIC. Estos callos se incubaron otras cuatro semanas y después se transfirieron a los medios MRR. La etapa de regeneración de raíces se llevó a cabo en la misma condición que la propagación de callos, es decir, en fotoperíodo y en oscuridad. El número total de raíces regeneradas por cada caja de Petri fue registrado después de otras cuatro semanas y de

esta forma se analizó el efecto del genotipo y de la concentración de hormonas en el medio de cultivo. A menos que se establezca de otra manera, todos los reactivos utilizados, fueron de Sigma-Aldrich Corporation (St. Louis, MO, USA).

Los datos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANDEVA) y la significancia de las diferencias entre genotipos fue determinada de acuerdo con la prueba HSD de Tukey.

RESULTADOS

Los callos de cotiledones y de hipocótilo de *S. gummosus* y *F. peninsulae* se indujeron y se propagaron en tres medios MICs, A5B5, A5B1 y A1B5. En experimentos anteriores evidenciamos, que se induce una mayor cantidad de callo en el MIC A5B5 para ambas especies (Figura 4). En los MICs A5B1 y A1B5 se induce también una cantidad considerable de callo, aunque menos, que en el MIC A5B5. Empleamos estos tres medios con una relación auxina/citocinina igual a uno en MIC A5B5, igual a cinco en MIC A5B1 e igual a 0.2 en MIC A1B5, para saber si la relación entre auxina y citocinina en los medios para inducir y propagar los callos es importante para la regeneración de raíces a partir de estos callos. Para cada callo se registró su origen, es decir, el número de la planta y tipo de explante del que se originó.

Como en los experimentos anteriores encontramos que la regeneración de raíces a partir de callos de *S. gummosus* es eficiente solamente en la condición de fotoperiodo, mientras que para *F. peninsulae* tanto fotoperiodo, como oscuridad no impiden la regeneración de las raíces, los callos de *S. gummosus* se indujeron y se cultivaron solamente en fotoperiodo de 12 horas luz/12 horas oscuridad. Los callos de *F. peninsulae* se indujeron en fotoperiodo, y posteriormente se dividieron en dos partes para su propagación y posterior inducción de raíces en dos condiciones, fotoperiodo y oscuridad permanente. Para la regeneración de raíces, diez fragmentos de callos con un diámetro de 0.5 cm aproximadamente, se transfirieron a cajas Petri conteniendo los MRRs N5 y N5B0.01; para algunas plantas de *S. gummosus*, que formaron una mayor cantidad de callo, también se transfirieron a los MRRs N3 y N3B0.01.

Después de las cuatro semanas de cultivo en los MRRs, analizamos los resultados de regeneración de las raíces a partir de los callos. Como nuestro objetivo principal es usar el sistema de regeneración de raíces para el estudio del crecimiento determinado de la raíz, en todos los experimentos estuvimos revisando el patrón determinado del crecimiento de las raíces regeneradas. Previamente se demostró que la presencia de los pelos radicales en la punta de raíz es una simple indicación morfológica de la terminación del crecimiento de la raíz (Dubrovsky, 1997). Después de cuatro semanas del cultivo de callos en los MRRs, los pelos radicales cubrían la punta de muchas de las raíces regeneradas. También, para algunas raíces regeneradas, en algún momento de su desarrollo se pudo observar la punta no cubierta por los pelos radicales, que correspondía a las zonas meristemática y de la elongación, pero después de unos días, la misma raíz cesaba su crecimiento y los pelos radicales llegaban a cubrir la punta (Figura 5 a, b). Las raíces regeneradas separadas de los callos y cultivadas en cajas Petri en posición vertical, en medio MS sin fitohormonas por 30 días ya no crecieron,

o crecieron unos pocos milímetros y cesaron el crecimiento (Figura 6). En su totalidad, las raíces regeneradas de ambas especies de cactáceas tuvieron el mismo patrón de crecimiento determinado.

Llevamos a cabo un experimento control empleando una especie con crecimiento indeterminado de la raíz: tabaco (*Nicotiana tabacum* L). Para la inducción y propagación del callo en este caso se utilizó el MIC N1B0.2. Las raíces de tabaco se regeneraron a partir de callos en oscuridad después de las cuatro semanas de cultivo en el MRR N1 (Figura 7). Las raíces regeneradas a partir de callos de tabaco siempre tuvieron una parte distal de la raíz no cubierta por pelos radicales. Además, las raíces de tabaco separadas de los callos y cultivadas en cajas Petri en posición vertical, continuaron su crecimiento todo el tiempo del experimento, es decir, de 4 a 6 semanas. Como lo señalamos anteriormente, esto no ocurrió con las raíces regeneradas de las cactáceas (Figuras 6, 7). Estas observaciones confirman que el crecimiento determinado de las raíces regeneradas de las cactáceas se debe al programa genético de desarrollo de la raíz en estas especies, y no a las particularidades de la regeneración de las raíces en el cultivo *in vitro*.

Como todas las raíces regeneradas de las cactáceas tuvieron patrón determinado de crecimiento, procedimos al análisis de la eficiencia de la regeneración de raíces a partir de los callos en función de los MICs y MRRs empleados, el tipo de explante (cotiledón o hipocótilo), y el genotipo de la planta. Para esto, se registró la cantidad de raíces regeneradas a partir de 10 fragmentos de callo que se colocaban en cada caja Petri (Tablas 1 y 2). Estos 10 callos siempre provenían del mismo explante y de la misma planta. Los datos obtenidos se agruparon por número de planta y tipo del explante. Encontramos que la eficiencia de la regeneración de raíces dependería en gran parte del genotipo de la planta que dio origen al callo, y en menor grado del tipo de explante o variación de fitohormonas en los MICs y MRRs.

Para ambas especies, los callos derivados de aproximadamente la mitad de las plantas, no regeneraron raíces o regeneraron muy pocas, como una o dos raíces en diez fragmentos de callos (estas plantas están marcadas con un asterisco “*” en las Tablas 1 y 2). Esta eficiencia muy baja de la regeneración de raíces se encontró para callos inducidos a partir tanto de cotiledones, como de hipocótilos, en todos los MICs y cultivados en todos los MRRs. Para algunas de las plantas de este grupo, analizamos la regeneración de raíces en hasta 160 fragmentos de callos derivados del mismo explante, por ejemplo, callos de cotiledones de la planta G1-5 de la tabla 1, y ninguno de ellos regeneró raíces. La regeneración de raíces fue más eficiente para la otra mitad de plantas de ambas especies. Para *S. gummosus*, aproximadamente una cuarta parte del número total de las plantas presentó la regeneración más eficiente de raíces a partir de callos derivados de hipocotilo, en comparación con los callos derivados de cotiledones (plantas con estos genotipos están marcadas con dos asteriscos “**” en la Tabla 1). En la cuarta parte restante de las plantas se observó una eficiencia similar en la regeneración de raíces en callos derivados de ambos tipos de explantes (plantas marcadas con tres asteriscos “***” en la Tabla 1), o una regeneración más eficiente de las raíces a partir de callos derivados de cotiledones, que a partir de los callos derivados de hipocotilo (plantas

marcadas con cuatro asteriscos “****” en la Tabla 1). El análisis de varianza de una vía de la regeneración de raíces para algunos genotipos de *F. peninsulae* evidenció que no hubo diferencia significativa en eficiencia de la regeneración de las raíces entre los diferentes MICs o diferentes MRRs, probablemente debido a la variabilidad alta de la respuesta entre plantas individuales. Algunos genotipos fueron claramente diferentes de otros en su eficiencia de regeneración de raíces ($P < 0.05$).

Para la otra especie, *F. peninsulae*, desde los experimentos preliminares supimos que es posible regenerar raíces a partir de callos en condiciones tanto de fotoperiodo, como de oscuridad; aunque anteriormente no se evaluó cual de estas dos condiciones es más favorable. Es por eso que incluimos al análisis no solamente el tipo de explante que originó los callos y los MICs y MRRs, sino también la condición de cultivo, fotoperiodo u oscuridad permanente. Encontramos mayor variabilidad dentro de la segunda mitad de las plantas, en los callos de las cuales regeneraron raíces. Similar a los datos de *S. gummosus*, aproximadamente la mitad de este grupo de plantas de *F. peninsulae*, o la cuarta parte del número total de plantas, demostró una regeneración de raíces más eficiente a partir de callos generados de hipocotilo (plantas marcadas con dos asteriscos “**” en la Tabla 1). En la otra cuarta parte de las plantas se observaron patrones variables. Por ejemplo, algunas plantas presentaron una regeneración de raíces más eficiente en fotoperiodo, que en la oscuridad, en los callos derivados de cotiledones (“***1” en la Tabla 2); mientras que para otras plantas se observó una regeneración de raíces más eficiente en la oscuridad, que en fotoperiodo, a partir de los callos generados de ambos tipos de explantes (“***2” en la Tabla 2). Aparentemente, en los dos MRRs empleados en este análisis, los callos de algunas plantas regeneran más raíces en oscuridad, mientras que los callos de algunas otras plantas regeneran más raíces en fotoperiodo. Para una planta, se observó la regeneración más eficiente de raíces en el MRR suplementado con una pequeña cantidad de BA, comparado con el MRR sin BA a partir de callos inducidos en ambos tipos de explantes y en ambas condiciones de crecimiento. El análisis de varianza de tres factores de la regeneración de raíces para cuatro genotipos seleccionados de *F. peninsulae* evidenció que no hubo diferencia significativa entre los diferentes MICs o MRRs, entre cotiledones versus hipocotilos, ni entre condiciones de fotoperiodo versus oscuridad (Tabla 3). El análisis de varianza de dos factores demostró una clara diferencia entre los genotipos ($p < 0.0003$); y una fuerte interacción entre el genotipo y la condición, para los callos inducidos tanto de cotiledones como de hipocotilos (Tabla 4).

DISCUSIÓN

En cactáceas, las técnicas del cultivo de tejidos y regeneración *in vitro* se han usado principalmente con fines de micropropagación (Rubluo *et al.* 2002, Perez-Molpe-Bach *et al.* 2002). Existen escasas publicaciones sobre regeneración de brotes a partir de callos, por ejemplo, Moebius-Goldammer *et al.* (2003). Aunque desde el trabajo de Skoog & Miller (1957) se sabe que para algunas especies de plantas, altos niveles de auxina en el medio de cultivo, promueven la formación de raíces, las técnicas comunes de regeneración de plantas a partir de callos implican la regeneración de brotes primero y el enraizamiento posterior de

los brotes regenerados. No es común que para cactáceas ni para otras especies vegetales se empleen sistemas de regeneración de raíces a partir de callos, similares a lo que necesitamos nosotros. Por lo tanto, al principio de este trabajo nos enfrentamos con una tarea difícil: el reto de establecer un protocolo para la regeneración de las raíces a partir de callos. Las condiciones, las formulaciones de los medios de cultivo y las concentraciones de la auxina ANA y la citocinina BA elegidas, permitieron cumplir satisfactoriamente este objetivo.

Sin embargo, encontramos variabilidad significativa en las respuestas de distintas plantas a las concentraciones de fitohormonas en los medios de cultivo. Observamos una eficiencia variable de la inducción de callos a partir de explantes de diferentes plantas en el mismo MIC (Figura 4). Llevando a cabo el análisis de la formación de callos y regeneración de raíces, evidenciamos que el genotipo de las plantas influye significativamente en la eficiencia de regeneración de raíces a partir de callos. Desde hace tiempo se sabe que el genotipo de las plantas es importante para las respuestas morfogénicas en el cultivo *in vitro* (se pueden encontrar varios ejemplos de este fenómeno, uno de ellos es el artículo de Lutova *et al.* 1994). Para especies con polinización cruzada, como las cactáceas con que estamos trabajando, este efecto es predecible. (Como cada planta con que estuvimos trabajando, se caracteriza por su genotipo único, en el contexto de este trabajo podemos usar los términos “planta” y “genotipo” como sinónimos.) Los callos obtenidos a partir de cotiledones y de hipocotilo de la misma planta generalmente mostraban una capacidad muy similar de regenerar raíces en dos o cuatro MRRs utilizados. Esta capacidad fue alta para algunas plantas, mediana para otras, muy baja o nula para el resto de los genotipos. Además, para los callos inducidos en tres diferentes MICs encontramos plantas en una proporción similar con estos tres tipos de capacidad de regenerar raíces. Entonces, la influencia del genotipo de las plantas utilizadas sobre la regeneración de raíces es más fuerte que la influencia de las concentraciones de hormonas en los medios de cultivo y el tipo de explante que generó los callos. Aplicando el análisis de varianza, no encontramos diferencias significativas en la eficiencia de regeneración de las raíces, entre los MICs con tres diferentes proporciones en la concentración de auxina/citocinina: 1 (N1B1, N5B5), 0.2 (N1B5) o 5 (N5B1) que utilizamos. Interesantemente, para la especie *S. gummosus* logramos la regeneración eficiente de raíces solamente en condición de fotoperiodo, mientras que *F. peninsulae* mostró capacidad de regenerar raíces tanto en fotoperiodo como en oscuridad. Estas diferencias podrían estar relacionadas con diferencias en el hábito de crecimiento de estas especies: en la naturaleza, *S. gummosus* forma muchas raíces adventicias en ramas troncales, lo que no se observa para las plantas de *F. peninsulae*. Aunque de los estudios de mutantes de *A. thaliana* se conocen algunos genes que pueden estar involucrados en la regulación del crecimiento determinado de la raíz, los mecanismos que regulan este tipo de crecimiento se desconocen. Debido a que la raíz primaria de todas las plantas de las cactáceas que estamos estudiando en todas las condiciones presenta el patrón determinado de desarrollo, estas especies representan un sistema modelo idóneo para la investigación de los mecanismos de este tipo de crecimiento, es decir, del mantenimiento y agotamiento del meristemo. Para investigar los mecanismos genéticos de este tipo de crecimiento, es necesario encontrar los genes potencialmente involucrados en este tipo de

crecimiento, que es la tarea que estamos empezando a llevar a cabo y, de esta forma, analizar el efecto de estos genes en el desarrollo de la raíz. Para hacerlo en raíces primarias transgénicas, tendríamos que obtener plantas transgénicas, semillas de estas plantas y germinarlas, lo que no es factible para las especies de cactáceas con crecimiento determinado. Las plantas transgénicas de las especies en cuestión (en el caso de poder elaborar el protocolo de la regeneración de plantas transformadas) tardarían varios años para llegar al estado reproductivo. Además, muchas especies de cactáceas son autoincompatibles, entonces, tener una planta en floración no garantizaría la obtención de semillas, se necesitarían por lo menos dos plantas transgénicas que florezcan simultáneamente. *S. gummosus* es una especie autoincompatible (Clark-Tapia & Molina-Freaner, 2003), las especies del género *Ferocactus*, al parecer, también son autoincompatibles (McIntosh, 2002).

Todas las raíces regeneradas y analizadas de ambas especies utilizadas mostraron patrón determinado de crecimiento. Este descubrimiento nos permite desarrollar un sistema artificial de análisis de los efectos de sobreexpresión o inhibición de los genes en raíces transgénicas regeneradas, que consiste en obtención de callos transformados con el uso de agrobacterias y la regeneración de raíces transgénicas a partir de estos callos. Para el día de hoy, demostramos la posibilidad de obtener callos de *S. gummosus* transformados por *Agrobacterium tumefaciens* y estamos en el proceso de obtener las raíces de estos callos. El estudio de los mecanismos de crecimiento determinado en las cactáceas desérticas será de mucha utilidad, tanto para ampliar el conocimiento general sobre los mecanismos del desarrollo de la raíz, como para entender mejor cómo se adaptan las cactáceas a los ambientes áridos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el excelente apoyo técnico de Selene Napsucialy Mendívil, la ayuda de Natalia Doktor en la elaboración de las figuras, y el apoyo financiero de DGAPA-PAPIIT (Universidad Nacional Autónoma de México), proyecto IN227206. Agradecemos también la participación de los estudiantes de licenciatura/pregrado E. Edith García Mendoza en la etapa de elaboración del sistema de regeneración de raíces anterior a este trabajo y Epifanio Sevilla Mendoza en experimentos de la etapa inicial de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Aida, M., D. Beis, R. Heidstra, V. Willemsen, I. Blilou, C. Galinha, L. Nussaume, Y.-S. Noh, R. Amasino, & B. Scheres. 2004. The PLETHORA genes mediate patterning of the Arabidopsis root stem cell niche. *Cell* 119(1):109-120.
- Benfey, P. N., P. J. Linstead, K. Roberts, J. W. Schiefelbein, M.-T. Hauser, & R. A. Aeschbacher. 1993. Root development in Arabidopsis: four mutants with dramatically altered root morphogenesis. *Development* 119(1):57-70.
- Boke, N. H. 1979. Root glochids and root spurs of *Opuntia arenaria* (Cactaceae). *Am J Bot* 66(9):1085-1092.
- Bravo-Hollis & R. E. Sánchez-Mejorada. 1978. Las Cactáceas de México. 2da Ed. Volumen I, Instituto de Biología, UNAM. Cd. México.

- Clark-Tapia, R., & F. Molina-Freaner. 2003. The genetic structure of a columnar cactus with a disjunct distribution: *Stenocereus gummosus* in the Sonoran Desert. *Heredity* 90(6):443-50.
- Di Laurenzio, L., J. Wysocka-Diller, J. E. Malamy, L. Pysh, Y. Helariutta, G. Freshour, M. G. Hahn, K. A. Feldmann, & P. N. Benfey. 1996. The SCARECROW gene regulates an asymmetric cell division that is essential for generating the radial organization of the Arabidopsis root. *Cell* 86(3):423-433.
- Dinkelaker, B., C. Hengeler & H. Marschner. 1995. Distribution and function of proteoid roots and other root clusters. *Bot. Acta* 108(2):183-200.
- Dubrovsky, J. G. 1997. Determinate primary-root growth in seedlings of Sonoran Desert Cactaceae; its organization, cellular basis, and ecological significance. *Planta* 203(1):85-92.
- Dubrovsky, 1999. Desarrollo del sistema radical durante la ontogénesis de plantas del género *Stenocereus* (Cactaceae). En: Pimienta, E. (Ed.), *El pitayo en Jalisco y especies afines en México*. 133-173. Universidad de Guadalajara, Jalisco.
- Dubrovsky, J. G. & Gómez-Lomelí, L.F. 2003. Water deficit accelerates determinate developmental program of the primary root and does not affect lateral root initiation in a Sonoran Desert cactus (*Pachycereus pringlei*, Cactaceae). *Am. J. Bot.* 90(6):823-831.
- Encarnación-Dimayuga, R. 1996. *Medicina Tradicional y Popular de Baja California Sur*. 1ra Ed. SEP-UABCS. La Paz.
- García-Mendoza, E.E., S. Shishkova & J.G. Dubrovsky. 2003. Root regeneration from callus in some cactaceae. XI National Congress of Biochemistry and Molecular Biology of Plants and 5th Symposium Mexico - USA, Acapulco, Mexico, November 3-7, 2003.
- Jiang, K. & L. J. Feldman. 2005. Regulation of root apical meristem development. *Annu. Rev. Cell. Dev. Biol.* 21:485-509.
- Kerk N. M., & L. J. Feldman 1995. A biochemical model for the initiation and maintenance of the quiescent center: implications for organization of root meristems. *Development* 121(9):2825-2833.
- Lutova L. A., L. V. Bondarenko, I. S. Buzovkina, E. A. Levashina, O. N. Tikhodeev, L. T. Hodjaiova, N. V. Sharova, & S. O. Shishkova. 1994. The influence of plant genotype on regeneration processes. *Russ. J. Genet.* 30(10):928-936.
- Maiti R.K., A. Baquie-Leal, & V.P. Singh. 2003. A review on *Ferocactus* species of Cactaceae. *Crop Research* 26(2):208-218.
- McIntosh M. E. 2002. Plant size, breeding system, and limits to reproductive success in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae) *Plant Ecology* 162(2):273-288.
- Moebius-Goldammer, K. G., M. Mata-Rosas, & V. M. Chavez-Avilla. 2003. Organogenesis and somatic embryogenesis in *Ariocarpus kotschoubeyanus* (Lem.) K. Schum. (Cactaceae), an endemic and endangered Mexican species. *In Vitro Cell Dev Biol Plant* 39(4):388-393.
- Perez-Molpe-Bach, E., M. E. Pérez-Reyes, C. A. Davila-Figueroa, & E. Villalobos-Amador. 2002. *In vitro* propagation of three species of columnar cacti from the Sonoran Desert. *Hortiscience* 37(4):693-696.

- Rodríguez-Rodríguez F., S. Shishkova, S. Napsucialy-Mendivil & J. G. Dubrovsky. 2003. Apical meristem organization and lack of quiescent center establishment in Cactaceae roots with determinate growth. *Planta* 217(6):849-857.
- Rubluo, A., T. Marín-Hernández, K. Duval, A. Vargas, & J. Marquez-Guzmán. 2002. Auxin induced morphogenetic responses in long-term *in vitro* subcultured *Mammillaria san-angelensis* Sanchez-Mejorada (Cactaceae). *Scientia Horticulture* 95(4): 341-349.
- Sabatini, S., D. Beis, H. Wolkenfelt, J. Murfett, T. Guilfoyle, J. Malamy, P. Benfey, O. Leyser, N. Bechtold, P. Weisbeek, & B. Scheres. 1999. An auxin-dependent distal organizer of pattern and polarity in the *Arabidopsis* root. *Cell* 99(5):463-472.
- Sánchez-Calderón, L., J. López-Bucio, A. Chacón-López, A. Cruz-Ramírez, F. Nieto-Jacobo, J. G. Dubrovsky & L. Herrera-Estrella. 2005. Phosphate starvation induces a determinate developmental program in the roots of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell. Physiol.* 46(1):174-184.
- Shishkova, S. & J.G. Dubrovsky. 2005. Developmental programmed cell death in primary root of Sonoran Desert Cactaceae. *Am. J. Bot.* 92(9):1590-1594.
- Shane, M. W. & H. Lambers. 2005. Cluster roots: A curiosity in context. *Plant and Soil* 274(1-2):101-125.
- Sken, K. R., M. Kierans, J. I. Sprent & J. A. Raven. 1996. Structural aspects of cluster root development and their possible significance for nutrient acquisition in *Grevillea robusta* (Proteaceae) *Ann. Bot.* 77(5):443-451.
- Varney & McCully. 1991. The branch roots of *Zea*. II. Developmental loss of the apical meristem in field-grown roots. *New Phytol.* 118(4):535-546

Tabla 1. Número de raíces regeneradas a partir de callos de *S. gummosus*.

# de planta (genotipo)	Callos de cotiledones				Callos de hipocotilos			
	MRR				MRR			
	N3	N3 B0.01	N5	N5 B0.01	N3	N3 B0.01	N5	N5 B0.01
MIC: ANA 5 mg/l, BA 5 mg/l								
G1-5*	0/30	0/40	0/50	0/40	0/10	0/10	1/10	1/10
G2-5*	1/20	0/10	0/10	0/20	0/10	0/10	0/10	0/10
G3****	-	-	54 / 40	53 / 40	-	-	9 / 10	17 / 10
G3-5***	6/10	11/10	6/10	24/10	19/20	-	17/10	14/10
G4*	-	-	0 / 30	0 / 30	-	-	0 / 30	0 / 30
G5**	-	-	2 / 20	0 / 20	-	-	10 / 20	30 / 20
G6**	-	-	2 / 20	0 / 20	-	-	13 / 20	13 / 20
G7****	-	-	15 / 20	17 / 20	-	-	6 / 20	9 / 20
G9*	-	-	0 / 10	2 / 20	-	-	0 / 10	0 / 10
G11-5*	-	-	0 / 10	0 / 10	-	-	0 / 10	1 / 10
G14-5**	-	-	3 / 20	6 / 20	-	-	32 / 20	26 / 20
MIC: ANA 5 mg/L, BA 1 mg/L								
G21-5***	5/10	21/20	18/20	40/10	6/10	69/20	25/20	72/20
G24*	-	-	0 / 20	0 / 20	-	-	0 / 20	0 / 20
G24-5**	-	-	1 / 10	0 / 10	-	-	8 / 10	15 / 10
G25*	-	-	0 / 10	0 / 10	-	-	0 / 10	0 / 10
G25-5***	-	-	15 / 10	12 / 10	-	-	14 / 10	6 / 10
G26*	-	-	0 / 20	0 / 20	-	-	0 / 20	1 / 20
G28-5*	-	-	0 / 30	0 / 30	-	-	0 / 10	1 / 10
G29*	-	-	2 / 20	0 / 20	-	-	0 / 50	2 / 50
G30****	-	-	61 / 30	74 / 30	-	-	2 / 20	24 / 20
G31*	-	-	0 / 10	0 / 10	-	-	2 / 20	2 / 20
MIC: ANA 1 mg/L, BA 5 mg/L								
G23-5**	-	-	8 / 30	19 / 30	-	-	60 / 16	28 / 15
G27*	-	-	0 / 30	0 / 30	-	-	0 / 30	0 / 30
G33*	-	-	0 / 20	0 / 20	-	-	0 / 20	0 / 20
G34*	-	-	0 / 10	1 / 10	-	-	1 / 10	1 / 10
G37**	-	-	18 / 20	8 / 20	-	-	23 / 20	34 / 20
G38**	6 / 10	9 / 10	3 / 10	12 / 10	27 / 10	23 / 10	58 / 10	30 / 10
MIC: ANA 1 mg/L, BA 1 mg/L								
G41-5***	-	-	10 / 10	9 / 10	-	-	11 / 10	19 / 10
G42*	-	-	0 / 20	0 / 20	-	-	0 / 20	1 / 20
G44*	-	-	0 / 30	0 / 30	-	-	0 / 30	1 / 30
G49-5*	-	-	0 / 10	0 / 10	-	-	0 / 10	0 / 10

Se muestran los resultados para las plantas representativas de dos experimentos independientes para *S. gummosus* (Tabla 1) y un experimento para *F. peninsulae* (Tabla 2).

n / m : número de raíces regeneradas (n) en (m) fragmentos de callos.

- : no se analizó (para *S. gummosus* solamente para las plantas que formaron más callo, se realizó el análisis de regeneración de las raíces en 4 RMMs, para el resto de plantas se usaron 2 MRRs). Con asteriscos se muestran patrones de regeneración de raíz (ver texto).

Tabla 2. Número de raíces regeneradas a partir de callos de *F. peninsulae*.

Planta # (geno-tipo)	Callos de cotiledones				Callos de hipocotilos			
	Fotoperíodo		Oscuridad		Fotoperíodo		Oscuridad	
	N5	N5 B0.01	N5 B0.01	N5	N5	N5 B0.01	N5	N5 B0.01
MIC: ANA 5 mg/L, BA 5 mg/L								
101*	0/10	0/10	1/10	1/10	0/20	0/20	0/20	0/20
103*	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
104*	0/10	0/10	0/10	0/10	1/20	1/20	0/20	0/20
108**2	1/10	1/10	0/10	0/10	5/10	7/10	0/10	0/10
109**1	1/10	0/10	0/10	0/10	1/10	0/10	8/10	4/10
110***1	16/20	19/20	10/20	12/20	4/20	4/20	4/20	3/20
111*	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20	0/20
114***2	3/20	9/20	14/20	27/40	3/10	11/20	12/10	21/20
118**1	0/20	1/20	0/20	2/20	0/20	0/20	12/10	12/10
119**1	0/10	0/10	2/10	6/10	0/10	0/10	11/10	13/10
MIC: ANA 5 mg/L, BA 1 mg/L								
314*	0/30	0/30	0/10	0/10	0/30	0/30	0/10	0/10
MIC: ANA 1 mg/L, BA 5 mg/L								
362*	0/20	0/20	0/10	0/10	0/20	0/20	0/10	0/10

Tabla 3. Datos del análisis de varianza de tres factores para 4 genotipos de *F. peninsulae*.

Fuente	gl	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad
Explante (A)	1	94.46	0.06	p>0.81
Medio de cultivo (B)	1	175.78	0.1	p>0.75
Fotoperíodo vs Oscuridad (C)	1	50.15	0.03	p>0.86
A x B	1	7.04	0	p=1.00
A x C	1	3.14	0	p=1.00
B x C	1	112.5	0.07	p>0.79
A v B x C	1	28.12	0.02	p>0.89
Error	24	1708.98		
Total	31			

No existe diferencia significativa ($p>0.05$) entre el tipo de explante (A), medio (B) o condición de cultivo (C).

Tabla 4. Datos del análisis de varianza de dos factores para 4 genotipos de *F. peninsulae*.

Fuente	Cotiledón		Hipocotilo	
	Valor de F	Probabilidad	Valor de F	Probabilidad
Genotipo (A)	112.06	p<0.00026	126.77	p<0.0003
Fotoperíodo vs Oscuridad (B)	1.81	p>0.25	0.01	p>0.92
A x B	155.44	p<0.00014	22.46	p<0.0060

Existe diferencia significativa ($p<0.0003$) entre los genotipos (A) para callos inducidos tanto de cotiledones como de hipocotilos, mientras que la influencia de la condición de cultivo (B) no es significativa ($p>0.05$).

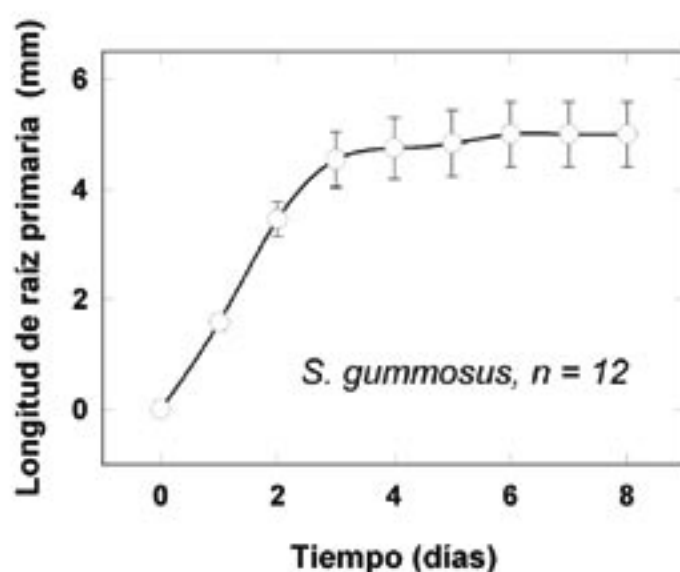


Figura 1
Cinética de crecimiento de la raíz primaria de *S. gummosus*. Las plantas se germinaron en cajas de Petri en papel filtro mojado con agua destilada.

**Figura 2**

Plántulas de *S. gummosus* cultivadas en cajas de Petri en posición vertical. (a): Arriba se muestran plántulas en diferentes etapas del desarrollo; desde el inicio de la germinación hasta llegar a la etapa terminal del desarrollo de la raíz primaria, cuando se agota el meristemo y pelos radicales cubren la punta de la raíz. (b): plántulas en una caja de Petri después de 7 días de la siembra de las semillas; raíces de prácticamente todas las plántulas terminaron su crecimiento. Note los pelos radicales que cubrieron completamente la punta de la raíz.

**Figura 3**

Plantas en su hábitat natural.

(a): *F. peninsulae*.

(b, c): *S. gummosus*.



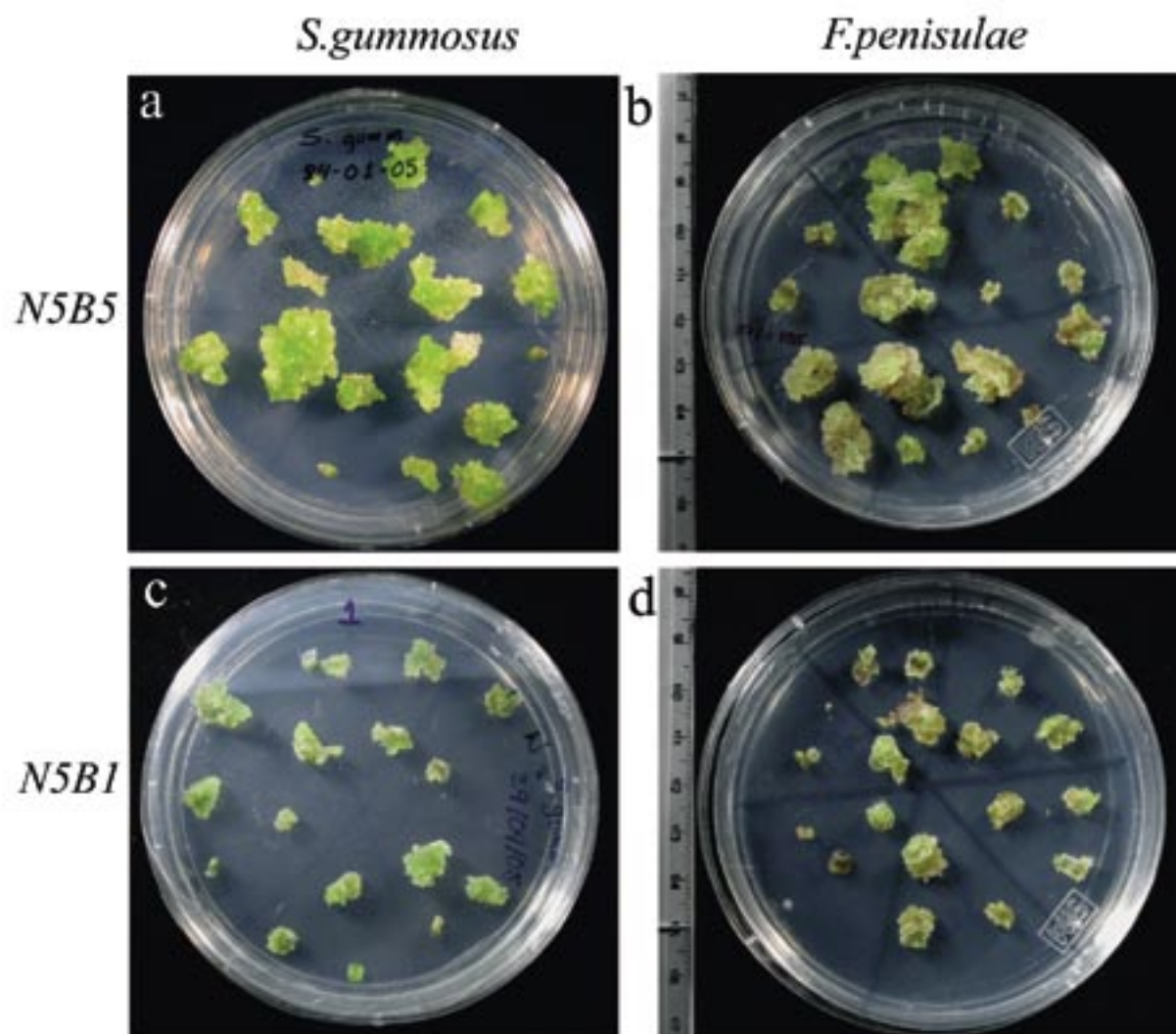


Figura 4
Callos de *S. gummosus* (a, c) y *F. peninsulæ* (b, d) inducidos en MICs A5B5 (a, b) y A5B1 (c, d).

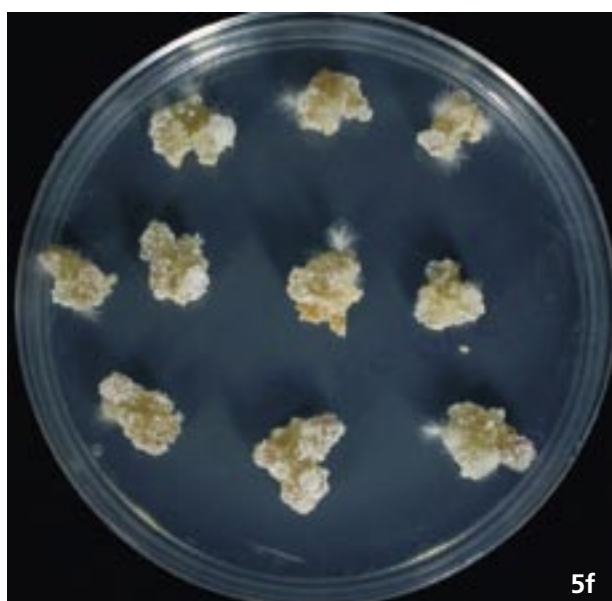
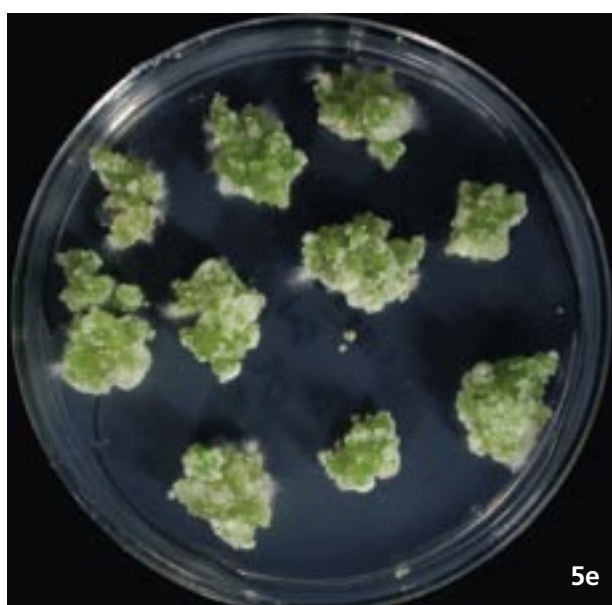
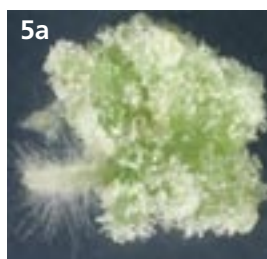


Figura 5.

Raíces regeneradas a partir de callos de *S. gummosus* y *F. peninsulae*.

(a): Una raíz regenerada de *S. gummosus*, que todavía no termina su crecimiento. Se puede observar la punta de la raíz no cubierta por pelos radicales.

(b): La misma raíz dos días después. Los pelos radicales cubren la punta.

(c, d): Cajas de Petri que contienen raíces regeneradas en callos de *S. gummosus* en condición de fotoperíodo (e) y (f). *S. peninsulae* en condición de oscuridad (f).

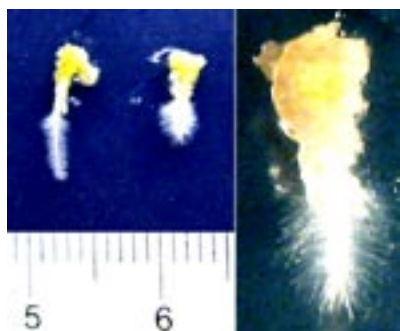
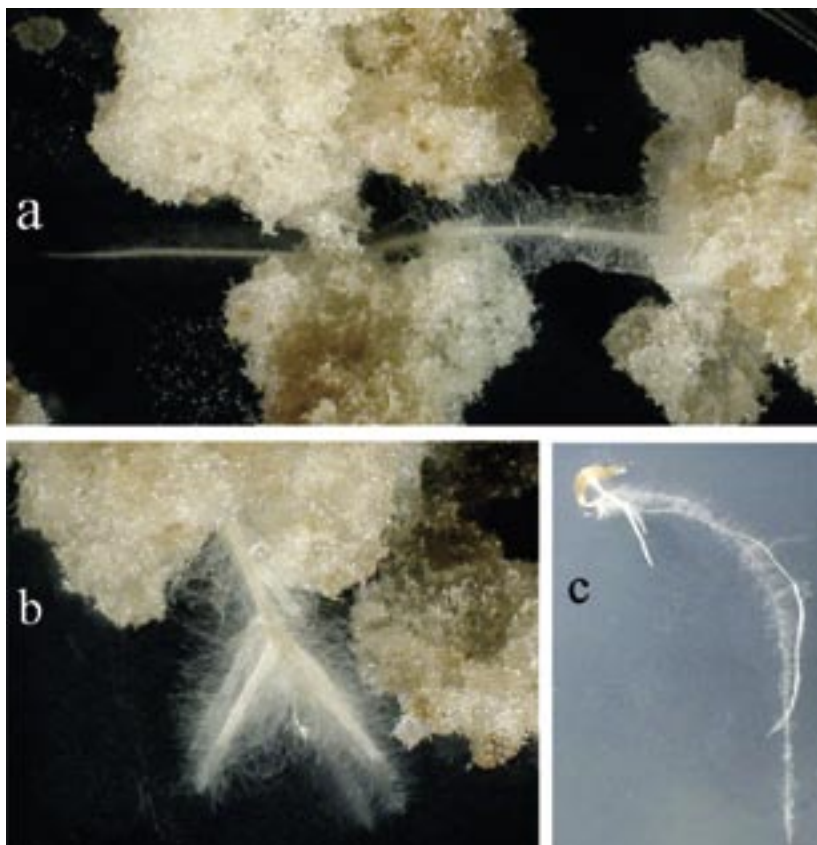


Figura 6

Raíces regeneradas de *S. gummosus* aisladas con un pequeño fragmento del callo de origen y cultivadas en medio MS sin fitohormonas por 30 días. Para las dos raíces de la izquierda se muestra una regla del sistema métrico (en mm y cm), la magnificación para la raíz del lado derecho es de aproximadamente 3 veces.

Figura 7

(a, b): Raíces regeneradas a partir de callos de tabaco. (c): Una raíz de tabaco regenerada y aislada del callo, cultivada en medio MS sin fitohormonas por 15 días. Durante todo este tiempo, la raíz siguió creciendo y formó varias raíces laterales.



Efecto del disturbio crónico en *Echinocereus Schmollii* (Weing.) N. P. Taylor, una Cactácea en peligro de extinción en el Semidesierto Queretano, México

JOSÉ GPE HERNÁNDEZ-ORIA^{1,2}, CHÁVEZ RUTH¹ Y SÁNCHEZ EMILIANO¹

⁽¹⁾JARDÍN BOTÁNICO REGIONAL DE CADEREYTA "ING. MANUEL GONZÁLEZ DE COSÍO", QUERÉTARO, MÉXICO

⁽²⁾ Email: xerofilia@yahoo.com.mx

RESUMEN

Actualmente *Echinocereus schmollii* sobrevive en dos áreas pequeñas y disyuntas del Semidesierto Queretano, una región aislada en el sur del Desierto Chihuahuense. En los últimos 20 años la perturbación antropogénica ha influenciado negativamente el área de distribución de esta especie, principalmente la reducción de sus poblaciones, fragmentación de hábitat, cambios de uso de suelo y la colecta ilegal. Sin embargo, se dispone de muy poca información sobre el impacto del disturbio crónico en el desarrollo natural de la especie. Medimos 14 indicadores de tres agentes de disturbio (actividades humanas, ganadería extensiva y deterioro del hábitat) para evaluar el efecto del disturbio en 11 poblaciones conocidas de *E. schmollii* mediante análisis de componentes principales. Encontramos niveles altos de disturbio en todas las poblaciones estudiadas, lo cual parece influir con una baja densidad poblacional. Los tres agentes de disturbio mostraron un efecto sinérgico. Estos resultados sugieren que el disturbio crónico se debe considerar como un factor crítico para la sobrevivencia y vulnerabilidad de esta especie endémica. Puesto que su actual estatus es en riesgo de extinción, son necesarios esfuerzos de conservación en el corto plazo, los cuales podrían ser un componente esencial para su protección.

Palabras Clave: Cactaceae, conservación, disturbio, *Echinocereus schmollii*, Semidesierto Queretano.

ABSTRACT

At present *Echinocereus schmollii* survives within small patches distributed along two disaggregated nuclei in the Queretaroan semi-arid region, an isolated area from the Southern Chihuahuan Desert. During the last two decades anthropogenic disturbance has affected strongly the geographic range of this threatened cactus, mainly in terms of population decrease, habitat fragmentation and land use changes. However, very little information is available on the net impact of disturbance related with natural development of this species. To assess the effect of chronic disturbance in its habitat, we measured fourteen indicators of three agents of disturbance (human activities, livestock raising and land degradation) in 11 known populations of *E. schmollii*, summarized through principal components analysis. We found high disturbance levels in all populations studied, which seems to affect population density too. In addition, the different disturbance agents showed a synergistic effect. These results suggest that chronic disturbance must be considered as a critical factor for survival and vulnerability of this endemic cactus. Given its actual status in risk of extinction, short term biological conservation efforts are necessary, which could be an essential component to protect this taxon.

Key Words: Cactaceae, chronic disturbance, conservation, *Echinocereus schmollii*, Queretaroan semi-arid region.

Históricamente las formas de apropiación de la naturaleza por el hombre están directamente relacionadas con la preservación o degradación de los recursos naturales (Van der Wal, 1996). Ecológicamente se considera al disturbio como el efecto biótico de la perturbación (Ricklefs, 1985), y en este contexto, el disturbio antropogénico puede ocurrir en transformaciones relativamente rápidas o constantes del recurso natural apropiado (Toledo *et al.*, 1994). Cuando el modo de disturbio es regular o crónico, el proceso es acumulativo y se le reconoce como la principal y más ampliamente distribuida forma de destrucción ambiental en el tercer mundo (Gunderson, 2000).

Las zonas áridas y semiáridas de México tienen una historia ancestral de ocupación y actividad humanas (Challenger, 1998). Estas regiones presentan ambientes muy heterogéneos (Rzedowski, 1978; Medellín-Leal, 1982) y biológicamente diversos, tales como el Semidesierto Queretano (Zamudio, 1984; Chávez *et al.*, 2006); una región cuya añeja ocupación humana (Balbontín, 1993; Meyer, 2001) ha conformado un mosaico complejo de áreas con un grado diferencial de disturbio crónico, dado principalmente por la ganadería extensiva, agricultura y extracción de productos maderables y no maderables. Este tipo de disturbio afecta a las comunidades ecológicas en general, y en particular a aquellas más sensibles, las que tienen un alto valor biológico o las especies endémicas, como es el caso de *Echinocereus schmollii*, una cactácea de distribución extremadamente restringida y presente únicamente en la porción este del Semidesierto Queretano. Dada esta característica biogeográfica y que además es objeto de colecta ilegal, actualmente se encuentra en el apéndice I de CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre) (Hunt, 1999) y con categoría de amenazada en la Norma Oficial Mexicana-O59 (Semarnat, 2001).

Debido a sus preferencias de hábitat (Hernández-Oria *et al.*, 2006), la distribución de *E. schmollii* coincide en gran parte con áreas de asentamientos humanos, que son sitios donde prevalecen actividades de disturbio derivadas de éstos (Ortega, 2004; Hernández-Oria *et al.*, 2006). Considerando su estatus y presencia en áreas de influencia humana, la evaluación del efecto del disturbio crónico en la especie es de relevancia para identificar y valorar los indicadores de los agentes de disturbio que inciden en el hábitat de la especie.

En el presente trabajo se aplicó un método que desarrolla índices multimétricos para evaluar el disturbio crónico en una escala continua para diferentes fuentes de disturbio en poblaciones de *E. schmollii*, y se estimaron los efectos del disturbio en este taxón amenazado (Figura 1).

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

Las poblaciones de *E. schmollii* estudiadas se localizan en el municipio de Cadereyta de Montes, Querétaro, en el centro de México (Figura 2). Actualmente se conocen once localidades que conforman el área de distribución de *E. schmollii* en el semidesierto queretano. El área de estudio se ubica en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, dentro de la Subprovincia Carso Huasteco. Ocupa una pequeña porción en el noroeste del municipio de Cadereyta en el estado de Querétaro. La región del semidesierto queretano pertenece a la

provincia florística Queretano-Hidalguense (Rzedowski 1978), y constituye la distribución extrema del sur del Desierto Chihuahuense (Hernández y Bárcenas 1995) (Figura 3).

El área de distribución de las poblaciones de *E. schmollii* queda comprendida entre los 20° 52' 20" 55' de latitud Norte y 99° 42' 41" de longitud Oeste. La geología está representada por rocas sedimentarias (litología caliza y caliza-lutita) de edad Cretácica. El clima predominante es del subtipo semiseco-templado (BS1kw(w), con una precipitación media anual entre 400-450 mm y un rango de temperatura media anual entre 16-18°C. El suelo es del tipo Rendzina y Regosol calcárico. La altitud varía entre 1800 y 1900 msnm (INEGI 2001). La vegetación corresponde al matorral xerófilo micrófilo (sensu Zamudio *et al.*, 1992) (Figura 4).

Métrica del disturbio crónico

En cada una de las once poblaciones conocidas de *E. schmollii* se trazaron tres transectos de 50m de largo por 2m de ancho y se aplicó el método descrito por Martorell y Peters (2003), que evalúa 14 variables distintas agrupadas en tres agentes de disturbio:

a) Ganadería

- 1) Densidad de excretas de cabra u oveja (*CBR*): se registró la presencia o ausencia de excretas en 10 cuadros de 1 m² a lo largo del transecto, y se estimó como el número de cuadros con excretas entre número de cuadros revisados.
- 2) Densidad de excretas de ganado mayor (*GAN*): igual a la anterior, pero se incluyen excretas de cualquier otro animal doméstico.
- 3) Fracción de plantas ramoneadas (*RAMO*): evidencias de ramoneo en plantas perennes, incluyendo árboles, arbustos, cactus, pero no rosetófilas ni herbáceas. Esta variable es igual al número de plantas ramoneadas entre el total de plantas revisadas.
- 4) Caminos ganaderos (*CGAN*): número de caminos hechos por el ganado a lo largo del transecto, sin considerar caminos menores de 5m de largo, ni los hechos por la gente.
- 5) Compactación del suelo por ganado (*COMP*): se ubicó el camino ganadero más cercano al centro del transecto, y en el sitio donde se cruzan el camino y el transecto, se enterraron 4cm de un tubo de PVC de 10 cm de diámetro. Se vertieron 250 ml de agua y se registró el tiempo necesario para su completa infiltración. El procedimiento se repite en un sitio cercano donde no haya pisoteo de ganado (por ejemplo, bajo un arbusto o nopal). *COMP* = tiempo de infiltración del camino entre el tiempo en el suelo intacto. Si no hay caminos ganaderos, o si el índice obtenido es menor que 1, entonces *COMP* = 1.

b) Actividades humanas

- 6) Fracción de plantas macheteadas (*MACH*): se midió igual que *RAMO*, pero empleando aquellas plantas que muestren evidencia de haber sido cortadas o taladas.
- 7) Evidencia de incendio (*INCE*): si hay rastros tales como cortezas chamuscadas, carbón, etc., en al menos un transecto, *INCE* = 1, de lo contrario su valor es 0. No califican fogatas o fuegos que hayan tenido lugar dentro de milpas y haberse escapado a la vegetación natural.

8) Cobertura de caminos humanos (*CCHU*): se midió el ancho de la zona donde los caminos utilizados por la gente (sin importar si también los emplea el ganado) se interceptan con el transecto. *CCHU* = longitud de la intercepción entre longitud del transecto. En caso de que hubiera más de un camino, se empleó la suma de las intercepciones.

9) Cercanía a poblaciones (*POBL*): registrar la distancia entre el centro de la zona de estudio y el borde de la población más cercana en kilómetros. *POBL* = 1/distancia. Si la distancia es menor a un kilómetro, entonces *POBL* = 1.

10) Adyacencia a núcleos de actividad (*ADYA*): se definió un núcleo de actividad humana a sitios tales como minas, milpas, carreteras asfaltadas (no terracerías) o capillas. Un transecto está adyacente a estos sitios si se encontró a menos de 200 metros. El mismo núcleo no debe tomarse en cuenta en más de un transecto. *ADYA* = número de transectos adyacentes entre el número de transectos totales.

11) Cambio de uso del suelo (*USOS*): se registró la fracción de la superficie de la zona de estudio destinada a zonas urbanas, milpas, minas, etc. Esto puede hacerse por medio de fotografía aérea, de mediciones de áreas en el campo, o por estimación visual. Se trata de una fracción, no un porcentaje, por lo que se expresa entre 0 y 1.

c) Deterioro del hábitat

12) Erosión (*EROS*): se seleccionaron 20 puntos al azar sobre el transecto, y en cada uno de ellos se registró si hay erosión. Se consideró que hay erosión si se observan huellas dejadas por el material al ser arrastrado por el agua, si hay exposición de roca madre (sólo en el caso de que la roca esté expuesta por causas atribuibles al disturbio humano), o en caminos donde el tránsito o el agua han dejado surco. Cualquier tipo de cárcava se consideró erosión. Un río, aunque cause erosión no es posible atribuirla al disturbio. *EROS* = número de puntos donde se registró erosión entre número de puntos revisados.

13) Islas (*ISLA*): los procesos erosivos severos aunados a grandes densidades de caminos ganaderos resultan en paisajes muy característicos en los cuales sólo se observan pequeños montículos de suelo cubiertos de vegetación en una matriz de suelo fuertemente erosionado y desnudo. Si se observa esto en más de la tercera parte de la zona de estudio entonces *ISLA* = 1.

14) Superficie totalmente modificada (*STOM*): en algunos casos porciones de las zonas de estudio han sido tan modificadas que fue imposible o carente de significado realizar las mediciones de los indicadores anteriores en ellas. Tal es el caso del interior de casas, carreteras asfaltadas, milpas, tiraderos de basura, canales de agua, canchas, cárcavas desnudas, etc. En tales casos debe registrarse la longitud del transecto que intercepta estas zonas. *STOM* = longitud de la intercepción entre longitud del transecto. En caso de que haya más de un camino, se emplea la suma de las intercepciones.

El valor calculado para cada indicador se integra en la siguiente fórmula que indica la cantidad y calidad del disturbio (Martorell y Peters, 2003): $3.41CABR - 1.37GANA + 27.62RAMO + 49.20CGAN - 1.03COMP + 41.01MACH + 0.12CCHU + 24.17POBL + 8.98ADYA + 8.98USOS - 0.49INCE + 26.94EROS + 17.97ISLA + 26.97STOM + 0.2$

Se espera que el valor se encuentre entre 0 y 100, pero pueden obtenerse valores fuera de escala, condicionados por sitios muy destruidos o muy bien conservados. Se obtuvo un índice por agente o grupo de disturbio efectuando la sumatoria de las variables involucradas. La contribución porcentual de cada grupo se estimó al dividir el total por grupo entre el total de disturbio de los tres grupos y multiplicado por 100.

La matriz de variables estimadas (indicadores) por sitios se analizó mediante componentes principales (ACP) para resumir y detectar las relaciones entre ambos. Para el análisis se utilizó *MVSP* 3.1 (multivariate statistical Package, Kovach, 1999).

Densidad poblacional de *E. schmollii*

Fue censada la densidad de individuos en dos poblaciones (Hernández-Oria *et al.*, 2006) y estimada en una escala ordinal en las restantes. Se hizo una regresión log-lineal entre la densidad y los valores por sitio en el eje 1 del ACP para detectar los efectos del disturbio por agente y su interacción en la densidad de *E. schmollii*.

RESULTADOS

Se obtuvieron medidas globales del disturbio relativamente altas en las once poblaciones evaluadas. Considerando que el índice global es 0-100 ó >100 en casos extremos (Martorell & Peters, 2003), todos los sitios rebasan los niveles intermedios de disturbio, y en dos casos excedieron la escala de 100 y hubo tres sitios cercanos a 100 (Cuadro 1). En general señalan fuerte perturbación en el hábitat de la especie.

El mayor impacto como agente de disturbio correspondió a las actividades humanas, seguido por la ganadería y la degradación del suelo. Las variables *ISLAS* y *USOS* se eliminaron del análisis por no aportar información. Las actividades humanas y la ganadería tuvieron la correlación más alta (Cuadro 2), mientras que el deterioro del hábitat estuvo moderadamente correlacionado con la ganadería. La ganadería extensiva es una actividad ampliamente practicada en la región y se observó en las 11 poblaciones (Figuras 5 y 6).

Los ejes 1 y 2 de componentes principales explicaron el 32.4 % y 20.4% de la variación total. Se observa un gradiente de disturbio en esta ordenación, desde el sitio más perturbado (La Culata I) hasta los sitios intermedios reunidos en dos grupos escasamente separados. Algunas de las variables correspondientes a las actividades humanas y la ganadería están asociadas a los sitios más perturbados (Figura 7). Este diagrama es consistente y convergente con lo encontrado a partir de los coeficientes de la fórmula del índice general de disturbio, donde La Culata I es el sitio más deteriorado. Separando el conjunto de variables por grupo de disturbio en cada sitio mediante ACP, se corroboró este patrón (Cuadro 3), dado que las actividades humanas son el agente con la mayor contribución entre los sitios.

La densidad de *E. schmollii* en el modelo log-lineal fue significativamente variable de acuerdo con los valores del eje 1 de ACP ($X^2 = 12.4$, $p = 0.00016$). La regresión log-lineal indica que los tres agentes de disturbio afectaron significativamente la densidad de la especie. La ganadería explicó el 17.01 % de la varianza ($X^2 = 38.4$, $p = 0.0012$), las actividades humanas el 23.12 % ($X^2 = 29.6$, $p = 0.002$) y el deterioro del suelo el 13.5 % ($X^2 = 18.3$, $p = 0.002$); y la interacción entre ellos fue significativa ($R^2 = 51.17$, $p = 0.0011$).

DISCUSIÓN

La métrica del disturbio de Martorell & Peters (1985) sí proporcionó una estimación razonable de la cantidad y calidad del disturbio en el hábitat de una especie amenazada, y resultó convergente con un enfoque multivariable aplicado al mismo problema. Es además, potencialmente comparable entre taxa y otros grupos taxonómicos.

El impacto de los tres agentes de disturbio en el hábitat de *E. schmollii* es considerable y su incidencia regular refleja los niveles de disturbio encontrados. Un patrón más o menos semejante se ha encontrado en *Mammillaria pectinifera*, otro taxón amenazado en México (Martorell & Peters, 2005). Particularmente en las cactáceas amenazadas del Desierto Chihuahuense que constituyen el contingente más grande y diverso en el territorio nacional bajo esta categoría (Hernández & Bárcenas, 1995; Hernández et al., 2004), se especula que su principal problema de sobrevivencia es la fragmentación y deterioro de hábitat, causados fundamentalmente por factores humanos (Hernández & Bárcenas, 1996). Las consecuencias bióticas a la escala de individuos y poblacional parecen ser críticas, dado que el área de distribución de la especie se hace cada vez más estrecha y el depauperamiento estructural de las comunidades vegetales es notorio (Hernández-Oria et al., 2006). Todo lo anterior se traduce en que la especie es extremadamente sensible a la perturbación, especialmente la derivada de actividades humanas, como se pudo constatar en este trabajo.

La degradación del hábitat es igualmente negativa para las comunidades acompañantes de *E. schmollii*. Su dependencia de nodrizas para el establecimiento y sobrevivencia (Hernández-Oria et al., 2006) propicia que también la afectación de las especies asociadas tenga un impacto neto directo en la supervivencia de taxón. La expansión de su área actual de distribución también se limita por esta condición, dado que la disminución o extirpación de nodrizas potenciales restringe también el establecimiento de individuos. La disponibilidad de hábitat de alta especificidad provisto por plantas nodrizas es por lo tanto crucial para la persistencia de la especie, lo cual también podría ser una desventaja biológica y ecológica con relación a otras especies de cactáceas amenazadas que son también hábitat-específicas, pero no muestran procesos de nodrizaje (Zavala-Hurtado & Valverde, 2003). Se ha señalado que un gran número de las cactáceas amenazadas del Desierto Chihuahuense son hábitat-específicas, por lo que son altamente sensibles a cambios en cantidad y calidad del hábitat (Hernández & Bárcenas, 1996). Por otro lado, la degradación física de la tierra o el ramoneo son variables que inciden negativamente en el desarrollo de la vegetación nativa, creando comunidades simples en términos de riqueza, biomasa y estructura, disminuyendo con ello la probabilidad de incremento en la cobertura y su papel facilitador en el reclutamiento de nuevos individuos. En tales circunstancias, es probable que el tamaño de las poblaciones permanezca estático y son muy bajas o nulas las posibilidades de expansión.

Al parecer hay un efecto restrictivo del disturbio en general y la abundancia observada en las poblaciones. La mayor densidad poblacional se observó en dos sitios con niveles intermedios de perturbación, lo cual sugiere la existencia de un gradiente de disturbio en su área de distribución, y que la densidad de individuos sí está estrechamente relacionada con un mayor disturbio; ya que con excepción de los sitios El Banco y La Tinaja, las demás locali-

dades tuvieron densidades estimadas bajas. Sin embargo, parece ser que una característica de los taxa amenazados de Cactaceae es su reducido tamaño poblacional (Suzán *et al.*, 1994; Martínez *et al.*, 2001; Navarro & Martínez, 2002; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Hernández-Oria *et al.*, 2003)

La sinergia encontrada entre los grupos de disturbio y la densidad poblacional, sugiere que la vulnerabilidad a la extinción es alta, y podría establecerse que la tendencia es a la desaparición de poblaciones de baja densidad, que es la mayoría (Hernández-Oria *et al.*, 2003). Probablemente esta situación se vea reflejada en la actual fragmentación del área de distribución, ya que las poblaciones forman claramente dos conglomerados en el norte y sur del área, lo que podría representar los puntos extremos de una distribución que habría sido continua. Podría entonces especularse que hubo extinciones locales en la porción media de su área geográfica. Actualmente esta hipotética porción central de su distribución está ocupada por poblaciones humanas. Por ejemplo, Ortega (2004) reportó algunas localidades donde existió la especie a principios de los noventa, y en la actualidad se considera localmente extinta. Este hecho es atribuible además del disturbio, al constante saqueo directo e indirecto de coleccionistas nacionales y extranjeros que compren la especie a gente de las comunidades locales. A pesar de ser una especie protegida, la colecta ilegal, hasta donde se sabe, continúa hasta el presente. Además, las 11 poblaciones remanentes de *E. schmollii* son las únicas que actualmente persisten en su área natural de distribución.

Las condiciones socioeconómicas del medio rural donde se distribuye naturalmente *E. schmollii* han prevalecido desde hace varias décadas (Meyer, 2001). La ganadería caprina y bovina extensiva, así como la agricultura de subsistencia y la colecta de leña son algunas de las principales actividades de un sector importante de la población humana del Semidesierto Queretano (INEGI, 2001). La demanda crece continuamente y la presión sobre los recursos naturales también se incrementa. De esta realidad social se desprende que el efecto combinado de los indicadores refleja una situación actual de fuerte disturbio, más o menos homogéneo entre las poblaciones, es decir, el patrón de disturbio es esencialmente el mismo porque las causas son las mismas y ejercen su influencia casi de la misma manera, sólo en algunas poblaciones es más intensa una u otra forma de disturbio. Este patrón de perturbación antropogénica es semejante entre los países latinoamericanos (Painter & Durham, 1995).

Hoy en día no existen reservas naturales protegidas que incluyan a esta especie. El hábitat típico y óptimo de esta especie (Hernández-Oria *et al.*, 2006) es también el preferido de los asentamientos humanos, de modo que es urgente contar con un espacio natural amortiguador del impacto del disturbio, donde la especie y la flora asociada logren restablecer sus mecanismos biológicos y ecológicos para la sobrevivencia conjunta. De lo contrario, su actual estatus permanecerá como hasta ahora: en peligro de extinción y con un futuro incierto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Dra. Maria.C. Mandujano el apoyo moral y económico para llevar a cabo el estudio, el cual forma parte del programa de recuperación de especies prioritarias en México (PREP-Cactáceas) y al Dr. Carlos Martorel por la asesoría para el desarrollo del trabajo.

LITERATURA CITADA

- Balboltin, J. M. 1993.** Estadística del estado de Querétaro (1854-1855). Gobierno del estado de Querétaro. México.
- Challenger, A. 1998.** Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro: México. Conabio, IBUNAM y Agrupación Sierra Madre. México.
- Chávez, R., Sánchez, E., Hernández, M. Hernández-Oria, J. G. & R. Hernández. 2006.** Propagación de especies amenazadas de la familia Cactaceae del Semidesierto Querétano. Bol. Soc. Latin. Carib. Cact. Suc. 3(2):9-13.
- Godínez-Álvarez, H., Valverde, T. & P. Ortega-Baes. 2003.** Demographic trends in the Cactaceae. The Bot. Rev. 69(2): 173-203.
- Gunderson, L. H. 2000.** Ecological resilience – in theory and application. An. Rev. Ecol. Syst. 31:425-439.
- Hernández, H. M. & R. T. Bárcenas. 1995.** Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. Distribution patterns. Cons. Biol. 9(5): 1176-1188.
- Hernández, H. M. y R. T. Bárcenas. 1996.** Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: II. Biogeography and Conservation. Cons. Biol. 10(4): 1200-1209.
- Hernández, H. M., Gómez-Hinostrosa, C. & B. Goettsch. 2004.** Checklist of Chihuahuan Desert Cactaceae. Harvard papers in Botany 9(1): 51-68.
- Hernández-Oria, J. G., Chávez, R., Galindo, G., Hernández, M., Lagunas, G., Martínez, R., Mendoza, T., Sánchez, J. L. & E. Sánchez. 2003.** Evaluación de aspectos ecológicos de una nueva población de *Mammillaria mathildae* Kraehenbuehl & Krainz en Querétaro. Cact. Suc. Mex. 48(4): 100-110.
- Hernández-Oria, J. G., Chávez, R. & E. Sánchez. 2006.** Estado de conservación de *Echinocereus schmollii* (Weing.) N. P. Taylor en Cadereyta de Montes, Querétaro, México. Cact. Suc. Mex. 51(3):68-95.
- Hunt, D. 1999.** CITES Cactaceae checklist. Royal Botanic Gardens Kew & International Organization for Succulent Plant Study (IOS). Remous Limited, Milborne Port.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2001).** Cuaderno Estadístico Municipal Cadereyta de Montes, Querétaro. Querétaro, México.
- Kovach, W. L. 1999.** MVSP-A multivariate statistical Package for Windows , ver. 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, UK:
- Martínez, D., Flores-Martínez, A., López, F. & G. Manzanero. 2001.** Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass & Foster en la región mixteca de Oaxaca, México. Cact. Suc. Mex. 4(2):32-40.

- Navarro, M. C. & Flores, A. 2002. Aspectos demográficos de *Echinocereus pulchellus* var. *pulchellus* en el Municipio de Chignahuapan, Puebla. Cact. Suc. Mex. 47(2):24-32.
- Martorell, C. & E. Peters. 2003. Disturbiómetro. Taller sobre cactáceas mexicanas en el Apéndice I de CITES. Oaxaca, México.
- Martorell, C. & E. Peters. 2005. The measurement of chronic disturbance and its effects on the threatened cactus *Mammillaria pectinifera*. Biol. Cons. 124:197-207.
- Medellín-Leal, F. 1982. The Chihuahuan Desert. En: Bender, L. (ed.). Reference handbook on the deserts of North America 6: 321-381. West port. Greenwood Press, USA.
- Meyer, F. 2001. Querétaro árido en 1881. Una visita gubernamental a Tolimán, Colón y Peñamiller. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2001 Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Semarnat. Diario Oficial de la Federación. 6 de marzo de 2002. 1-85 pp.
- Ortega, V. R. 2004. Rescate y caracterización ecológica de especies vegetales en estatus crítico de conservación, en el área del proyecto hidroeléctrico Zimapán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Painter, M. & W. H. Durham 1995. The social causes of environmental destruction in Latin America. The University of Michigan Press, Ann Arbor. Michigan.
- Rykiel, E. J. Jr. 1985. Towards a definition of ecological disturbance. Aust. J. Ecol. 10:361-365.
- Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa, México.
- Suzan, H., Habhan, G. & D. Patten. 1994. Nurse plant and floral biology of a rare night-blooming cereus, *Peniocereus striatus* (Brabdegee) F. Buxbaum. Cons. Biol. 8:461-470.
- Toledo, V. M., Ortiz, B. & S. Medellín-Morales. 1994. Biodiversity islands in a sea of pasturelands: Indigenous resource management in the humid tropics of Mexico. Etnoecológica 2:37-50.
- Van derWal, H. 1996. Modificación de la vegetación y el suelo por los chinantecos de Santiago Tlatepusco, Oaxaca, México. Etnoecológica 3(4-5):37-57.
- Zamudio, S. 1984. La vegetación de la cuenca del río Eztórax y sus relaciones fitogeográficas. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zamudio, S., Rzedowski, J., Carranza, E. & Calderón, G. 1992. La vegetación en el estado de Querétaro. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. México.
- Zavala-Hurtado, J.A. & Valverde, P. L. 2003. Habitat restriction in *Mammillaria pectinifera*, a threatened endemic Mexican cactus. J. Veg. Sci. 14:891-898.

Tabla 1

Valores globales y contribución por agente de disturbio en las 11 poblaciones de *E. schmollii* estudiadas.

Sitio	Disturbio global	AGENTES		
		Ganadería	Actividades humanas	Deterioro del hábitat
Bellavista	70,04	16.81	33.70	1.347
Tziquia	90,94	36.37	34.88	1.51
Cerro Prieto	99,71	27.04	35.05	19.44
Panteón	76,99	10.72	35.43	12.6
La Presa II	104,32	22.20	28.02	0
La Presa I	68,40	27.16	45.78	13.20
La Culata I	119,85	12.06	54.57	35.05
La Culata II	71,35	2.03	24.17	26.97
La Culata III	92,03	37.67	33.49	2.69
El Banco	75,12	31.44	24.17	1.34
La Tinaja	88,73	27.93	42.62	0
% Total		33.19	51.72	15.07

Tabla 2

Promedio de coeficientes de correlación entre y dentro de los agentes de disturbio

Agentes	Ganadería (GA)	Act. humanas (AH)	Deterioro del hábitat (DH)
Ganadería	0.14		
Act. humanas	0.49	0.16	
Deterioro del hábitat	0,89	0,40	0.27

Cuadro 3

Valores de los sitios en los dos primeros ejes de PCA y contribución de la ganadería (GA), actividades humanas (AH) y deterioro del hábitat (DH) en los ejes 1 y 2 de ACP.

	Eje 1	Eje 2	Índice GA	Índice AH	Índice DH
Bellavista	-0,41	0,26	-2,21	0,21	0,18
Tziquia	-0,56	-0,30	0,05	0,31	0,18
Cerro Prieto	0,21	-0,08	0,11	0,22	0,25
Panteón	0,20	0,13	-0,32	0,22	0,23
La Presa II	-0,32	0,01	-0,10	0,18	0,18
La Presa I	-0,139	-0,81	-0,15	0,36	0,23
La Culata I	1,54	-0,49	0,007	0,33	0,31
La Culata II	0,53	0,80	-0,005	0,075	0,28
La Culata III	-0,67	-0,47	0,100	0,30	0,19
El Banco	-0,17	0,58	0,18	0,07	0,18
La Tinaja	-0,20	0,37	-0,54	0,16	0,18



Figura 1
E. schmollii en su hábitat, en Cadereyta de Montes, Qro, México.

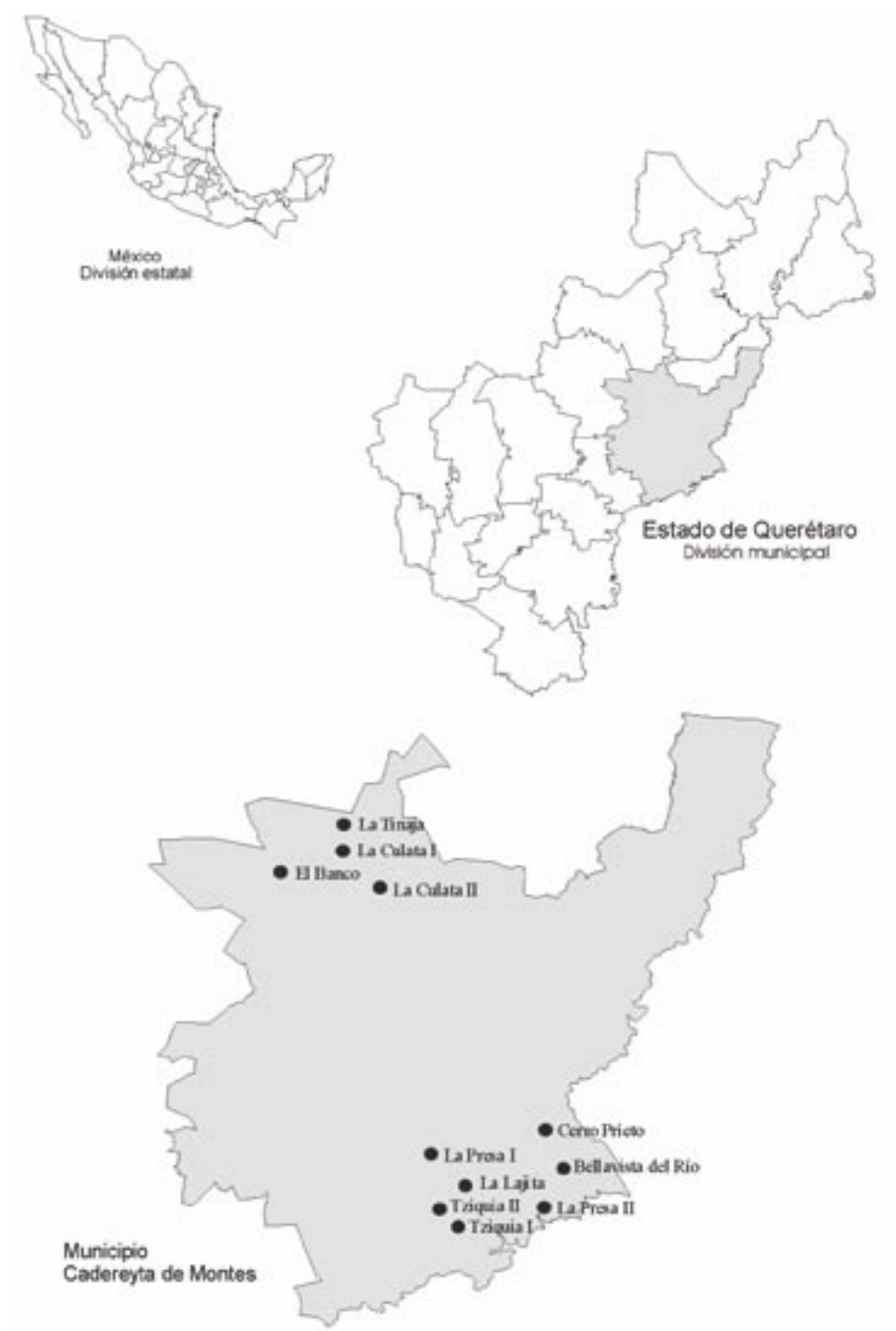


Figura 2
Localización del área de estudio.



Figura 3
Distribución del Desierto Chihuahuense y su extremo sur en México.



Figura 4
Aspecto general del matorral xerófilo micrófilo donde se desarrolla *E. schmollii*.



Figura 5
Ganado vacuno cerca de la población La Tinaja, Cadereyta de Montes, Qro.



Figura 6
Ganado caprino durante la época estival en la población de La Culata, Cadereyta de Montes, Qro.

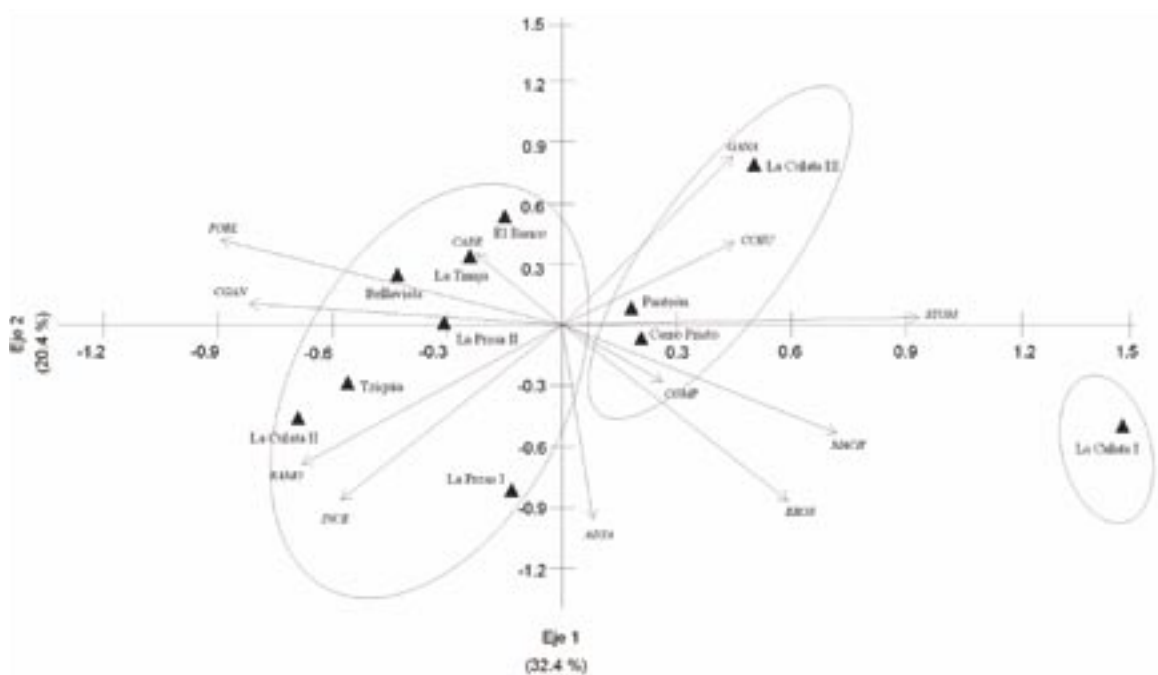


Figura 7
Diagrama de ordenación de sitios (▲) y el conjunto de variables de disturbio (flechas) en los primeros dos ejes de componentes principales. En círculos se señala la agrupación relativa de los sitios. Las abreviaciones de variables corresponden a las descritas en el método.

Evaluación de algunos Parámetros Demográficos de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán, Puebla, México

MARÍA DEL CARMEN NAVARRO CARBAJAL^(*) Y MARÍA DEL SAGRARIO JUÁREZ TENTLE

ESCUELA DE BIOLOGÍA, BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA, MÉXICO

^(*) Email: mcnavarr@siu.buap.mx

RESUMEN

Se estudió una población de *Mammillaria zephyranthoides* en un cerro ubicado en el municipio de Cuautinchán, Puebla para comparar algunos parámetros demográficos como densidad poblacional y fenología reproductiva entre dos laderas (noroeste y noreste), además se realizaron pruebas de germinación en invernadero para evaluar diferentes tratamientos de escarificación. Los resultados indican que la densidad promedio para la ladera noroeste fue ligeramente mayor que en la noreste 1,30 y 0,98 individuos/m² respectivamente. El análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas en la densidad de plantas en las laderas, ni entre categorías de tamaño. La producción de flores fue escasa, en la ladera noreste no se registró ninguna. Para la fenología, el análisis de varianza indicó que existe diferencia en la producción de botones florales entre laderas. En la germinación de las semillas se encontraron diferencias entre los tratamientos de escarificación, el tratamiento más eficiente fue el ácido sulfúrico, lo cual sugiere que las semillas posiblemente requieran pasar por el tracto digestivo de algún herbívoro para poder generar nuevas plántulas.

Palabras Clave: Densidad, floración, *Mammillaria zephyranthoides*, población.

ABSTRACT

A population of *Mammillaria zephyranthoides* located in a hill within the municipality of Cuautinchán, Puebla was studied in order to compare some demographical parameters, such as population density and reproductive phenology between two slopes (northeast and northwest). Greenhouse germination tests were taken including an evaluation of scarification treatments. Results indicate average density slightly increased in the northeast slope 1,30 individuals/m² meanwhile northwest slope showed an average of 0,98. Statistical analysis showed there weren't significant differences in average density between slopes, neither size categories. Flower production was scarce; none was registered for northeast slope. Variance analysis showed differences for bud production between slopes. Scarification tests showed differences for seed germination, higher germination rate was found for sulphuric acid treatment, which suggests seeds may require to go through herbivorous digestive tract so new seedlings are generated.

Key Words: Density, flowering, *Mammillaria zephyranthoides*, population.

En México las cactáceas se distribuyen desde Baja California hasta la Península de Yucatán; la República Mexicana es el más importante centro de distribución de cactáceas ya que cuenta con 48 géneros y 563 especies; 45% del total de especies de la familia (Hernández & Godínez, 1994; Reyes, 1994; Zavala-Hurtado, 1997).

De 160 especies del género *Mammillaria* que se distribuyen en México, 150 son endémicas lo que representa aproximadamente un 94% (Hernández & Godínez, 1994; Arias *et al.*, 1997). Numerosas especies de este grupo de plantas han sido sobreexplotadas para su comercialización y actualmente se encuentran incluidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 como cactáceas amenazadas (Hernández & Godínez, 1994; Reyes, 1994; Zavala-Hurtado, 1997).

La especie *Mammillaria zephyrantoides* es muy preciada por sus hermosas flores y frutos; sin embargo, poco se conoce acerca de su biología, por lo que resulta indispensable conocer algunas de sus características para posteriormente realizar trabajos que den propuestas para su conservación. Una posible alternativa a este problema la brinda el estudio de la biología de las poblaciones de plantas, pero desafortunadamente existen pocos estudios lo suficientemente detallados para permitir la recopilación de parámetros demográficos para diferentes especies (Moore & Chapman, 1986), incluyendo a *Mammillaria zephyrantoides*. Dentro de los pocos estudios poblacionales que se han realizado en México con cactáceas se encuentran los relacionados con cactáceas columnares particularmente en el Valle de Tehuacán (Casas *et al.*, 1999; Godínez-Alvarez *et al.*, 1999) y en Baja California Sur (León de la Luz, J. & R. Domínguez, 1991); para el género *Mammillaria* se han realizado en el Valle de Zapotitlán para *M. pectinifera* y *M. carnea* (Rodríguez & Ezcurra, 2000) y para *M. oteroi* en la mixteca de Oaxaca (Martínez *et al.*, 2001).

La germinación y el establecimiento de las plántulas representan dos de las fases más críticas en el ciclo de vida de las plantas. La población de plantas establecidas depende de la cantidad de semillas dispersadas y de la frecuencia de aparición de sitios adecuados para el establecimiento, en donde la semilla encuentra las condiciones necesarias para romper el letargo y los recursos suficientes para completar el proceso de germinación. Igualmente, en este sitio deben estar ausentes los competidores, depredadores y constituyentes tóxicos del suelo (Granados & Florencia, 2001). Por lo que la germinación de las cactáceas no es la misma para todas las especies ya que algunas solo requieren de la humedad y luz suficiente para germinar mientras que otras necesitan un efecto de escarificación, para que el reclutamiento de nuevos individuos sea mayor dentro de la población (Vega-Villasante *et al.*, 1996; Flores & Manzanero, 2003; Escobar & Huerta, 1999; Ruedas *et al.*, 2000).

Para *M. zephyranthoides* sólo existe información taxonómica (Bravo-Hollis & Sánchez Mejorada, 1991), y se encuentra catalogada como amenazada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, por lo que es urgente realizar estudios de los parámetros de sus poblaciones para contribuir al conocimiento de su biología. Determinar los parámetros demográficos de la población de *M. zephyranthoides* nos permitirá evaluar su estado de conservación.

Cuando se lleva a cabo un estudio demográfico es necesario determinar la densidad poblacional, describir la fenología, el patrón reproductivo y de establecimiento, la sobrevivencia y crecimiento de la especie donde es necesario incluir a las semillas (Moore & Chapman, 1986), por ello en el presente trabajo se evaluará la germinación y emergencia de plantas a partir de semillas pertenecientes a los individuos de la población objeto de estudio.

El objetivo del presente trabajo fue comparar algunos de los parámetros demográficos de *Mammillaria zephyranthoides* en dos laderas (noroeste y noreste) en un cerro ubicado en Cuautinchán, Puebla y evaluar el efecto de escarificación sobre la respuesta germinativa de *Mammillaria zephyranthoides* en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo de enero a agosto de 2006, en la localidad de José María Morelos ubicada al suroeste de Cuautinchán, que se localiza en la parte central del estado de Puebla, México. Sus coordenadas geográficas son 18° 55' 22" norte y 98° 03' 23" oeste y a 2,068 msnm. La mayor parte de la zona se encuentra cubierta por pastizal inducido, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 1998).

El estudio se realizó en dos laderas del cerro, una al noroeste y la otra al noreste. En enero de 2006 se ubicaron 12 cuadros de 2x2 m distribuidos de manera sistemática, seis en cada ladera; los individuos de cada cuadro fueron censados, cada tallo se consideró como un individuo. Los tallos se marcaron con placas de estaño numeradas, y se clasificaron en categorías de tamaño de acuerdo con su diámetro. (Tabla 1)

Para determinar la fenología y el patrón reproductivo se registró el número de botones y flores por individuo y por categoría dentro de cada uno de los cuadros. El registro se inició una vez que se observaron estructuras reproductivas en las plantas, clasificándolas de la siguiente manera: Botón 1.- localizado entre las areolas, Botón 2.- sobre las areolas. Floración 1.- flor en ántesis y Floración 2.- flor seca.

Se llevaron a cabo pruebas de germinación en condiciones de invernadero, con el propósito de evaluar los efectos de distintos tratamientos de escarificación sobre las semillas de *Mammillaria zephyranthoides* para determinar cual de ellos era el más eficiente para inducir la germinación.

Las semillas empleadas en el experimento se obtuvieron de los frutos que produjeron las plantas de *M. zephyranthoides* de la colección de Cactáceas y Suculentas de Puebla "Helia Bravo-Hollis" de la Escuela de Biología de la BUAP. Se utilizaron en total treinta y cinco unidades experimentales que contenían veinte semillas, las cuales fueron sometidas a seis tratamientos de escarificación, cada uno con cinco réplicas. Los tratamientos fueron los siguientes: I.- Inmersión en Tween/ 1min, II.- Inmersión en ácido sulfúrico/ 1 min, III.- Inmersión en ácido sulfúrico/1.5 min, IV.- Inmersión en agua a 50°C/ 5 min, V.- Inmersión en agua a 50°C/ 10 min, VI.- 4-6°C/7 d, VII.- Testigo.

Las semillas se sumergieron en cloro al 70% por 3 min, después se enjuagaron en agua destilada, se les aplicó el tratamiento correspondiente; se volvieron a enjuagar y se introdujeron en una solución de fungicida (Captan) durante 2 min para evitar la proliferación de hongos.

Se sembraron en charolas de plástico transparente de 15x15 cm, con la ayuda de pinzas para evitar su contaminación. Las charolas quedaron cerradas herméticamente para evitar la evaporación del agua y crear un ambiente óptimo para la germinación, contenían como sustrato, una mezcla de 30% de tierra de hoja, 30% de cacahuatillo, 15% de arena y 15% de peat moss. La preparación del sustrato se realizó previamente a su uso, siendo tamizado y esterilizado durante 10 min en un horno de microondas.

Las charolas de germinación fueron llevadas al invernadero de la colección de Cactáceas y Suculentas de Puebla “Helia Bravo-Hollis” de la Escuela de Biología. Se revisaron diariamente y se registró el número de semillas germinadas. Se tomó como germinación positiva la emergencia de la radícula.

El análisis de datos se llevó a cabo con el programa “Statistica ver. 6”. Se realizaron análisis de varianza de dos factores para determinar si existían diferencias en la densidad y en el número de botones producidos por las plantas entre laderas y entre categorías de tamaño, previa transformación raíz cuadrada de los datos para cubrir los supuestos de normalidad. Para la germinación se efectuó un análisis de varianza de un factor para determinar el tratamiento de escarificación más eficiente, para este análisis se hizo una transformación angular de los datos.

RESULTADOS

La población de *Mammillaria zephyranthoides* está constituida por 330 plantas, distribuidas en ambas laderas. El mayor número de individuos se registró en la categoría juvenil III con 43 en la ladera noroeste y 30 en la noreste. El menor número de individuos para la ladera noroeste fue de 16 y para la noreste fue de 9 en las categorías plántula I y adulto II respectivamente. (Tabla 2)

La densidad promedio para la ladera noroeste fue de $1,30 \pm 0,29$ individuos/m² (media $\pm$ SE) y para la noreste fue de $0,98 \pm 0,20$ individuos/m² (media $\pm$ SE). No se encontraron diferencias significativas en la densidad promedio entre las laderas ($F = 2,286$, $p = 0,134$).

En la ladera noroeste se encontró que los individuos de las categorías juvenil III y plántula I presentaron una densidad promedio de 0,29 y 0,11 respectivamente; mientras que en la noreste el valor más alto (0,20) se registró para los individuos de la categoría juvenil III y el más bajo (0,06) para los individuos adulto II. (Figura 1)

El análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas en la densidad entre laderas ($F = 1,634$, $p = 0,150$).

La producción de botones resultó escasa, sólo se registraron 32 distribuidos en los individuos de ambas laderas, la mayor producción ocurrió en los individuos de la categoría adulto II de la ladera noreste; mientras que para la ladera noroeste fueron los de la categoría adulto I. (Figura 2)

El análisis de varianza para comparar el número de botones producidos entre laderas y entre las categorías mostró que solo existen diferencias significativas en la producción de botones entre laderas ($F = 5,48$, $p = 0,032$). (Figura 3)

La producción de flores fue muy escasa, en la ladera noroeste se observó un total de 12 flores, todas en ántesis, en los individuos de las categorías juvenil III y adulto I; mientras que, en la noreste no se encontró ninguna flor.

En las pruebas de invernadero, el mayor porcentaje de germinación de semillas de *Mammillaria zephyranthoides* se obtuvo con el tratamiento de ácido sulfúrico/1,5min (52%), para el resto de los tratamientos los valores oscilaron desde 2 hasta 19%. En el lote testigo sólo se registró un 3% de germinación. (Figura 4)

El análisis de varianza para comparar las medias de los tratamientos mostró diferencias significativas ($F = 18,63$, $p = 0,000$). (Figura 5)

La prueba de Tukey indicó que los tratamientos de ácido sulfúrico inducen de manera significativa a la germinación de las semillas de *M. zephyranthoides*. (Tabla 3)

DISCUSIÓN

La estructura de la población de *M. zephyranthoides* en el municipio de Cuautinchán mostró que el número de individuos en cada una de las categorías de tamaño es heterogéneo ya que podemos encontrar plántulas, juveniles y adultos. Sin embargo, se pudo observar que en la ladera noroeste predominan más los individuos de la categoría juvenil y adulto; en cambio, en la ladera noreste predominan los juveniles y las plántulas. Estos resultados nos permiten inferir que las plántulas de la ladera noroeste son mayormente depredadas o pisadas por el ganado que llega a pastar, por lo que dicha ladera presenta mayor perturbación que la noreste. El número de individuos dentro de las poblaciones naturales es muy variable, puesto que la densidad se ve fuertemente influenciada por las condiciones ambientales, las cuales pueden ser originadas por causas naturales o por las actividades antropogénicas (Enkerlin *et al.*, 1997). Para el caso de *Mammillaria zephyranthoides* la densidad promedio es de 1,14 individuos /m², dicho valor es ligeramente más bajo que lo registrado por R. Cortés (obs. pers.) el cual fue de 1,41 individuos /m² para la misma especie en la misma zona en el año 2002. Esta disminución podría deberse a los impactos negativos a los que está sujeta la población, como es el constante pisoteo y ramoneo por parte del ganado que llega a pastar en la zona, lo cual a su vez ocasiona que los individuos jóvenes no alcancen la etapa de maduración, disminuyendo la reproducción y por lo tanto el reclutamiento de plántulas. En otras especies del género *Mammillaria* se han obtenido valores de densidad más bajos, como en *M. magnimamma* y *M. hamata* las cuales registraron una densidad promedio de 0,060 y 0,005 individuos/m² (Valverde *et al.*, 1999 y A. Castillo, obs. pers.). Para algunas cactáceas globosas se han registrado valores de 1,60 individuos/m² para *Echinocereus pulchellus* y para *Ferocactus histrix* de 0,073 individuos/m². Estas diferencias en la densidad de las cactáceas se deben no solo al tamaño de las diversas especies sino también a los disturbios dentro de la población (Navarro & Flores, 2002; Huerta & Escobar, 1998).

El inicio de la etapa reproductiva en los individuos de *M. zephyranthoides* ocurrió a principios del mes de mayo en ambas laderas y la floración fue sincrónica. La población estudiada tuvo una escasa producción de botones puesto que solo se registraron 32. Entre laderas se observaron diferencias significativas en la producción de botones ($F = 5,481$, $p = 0,032$), la

mayor producción ocurrió en los individuos de la categoría adulto II de la ladera noreste. Estas diferencias podrían deberse a que esta ladera presenta un mayor efecto de pastoreo. La producción de flores también fue escasa, sólo se registraron 12 en la ladera noreste. Esto concuerda con lo obtenido por Navarro & Flores (2002) quienes encuentran que el mayor porcentaje de los individuos de *Echinocereus pulchellus* var. *pulchellus* permanecieron en estado vegetativo durante todo el año y solo algunos empezaron la floración a finales de abril. Granados & Florencia (2001) mencionan que para que se lleve a cabo el proceso de germinación y establecimiento de plántulas es necesario que existan ciertos factores ambientales como humedad, temperatura, luz y sustrato, así como la protección que brindan las plantas o rocas que se encuentran alrededor contra factores bióticos adversos como la depredación. Este factor en algunos casos permite acelerar el proceso de germinación, pues el paso de las semillas por el tracto digestivo de los herbívoros genera la remoción de la testa (Escobar & Huerta, 1999).

Los resultados de la germinación en invernadero mostraron que las semillas de *M. zephyranthoides* requieren de un efecto de escarificación ácida para iniciar el proceso de germinación, debido a que el tratamiento de ácido sulfúrico por 1,5 min fue el más eficiente con mayor porcentaje de germinación 52%, lo cual sugiere que las semillas en el campo además de los factores ambientales requieren pasar por el tracto digestivo de algún herbívoro para generar nuevas plántulas. Esto concuerda con lo obtenido por Flores & Manzanero (2003) para las semillas de *M. kraehenbuehlii* y *M. oteroi* las cuales necesitan concentraciones altas de ácido para incrementar los porcentajes de germinación. De igual modo Escobar & Huerta (1999) mostraron que las semillas de *Ferocactus histrix* no resultan dañadas al pasar por el tracto digestivo de los animales, sino por el contrario aceleran la germinación de estas en más del 50% del tiempo requerido por aquellas que son extraídas directamente del fruto.

Sin embargo, cabe señalar que las semillas de otras especies como las de *M. magnimamma*, *M. huitzilopochtli*, *M. hernandezii* y *Pachycereus pecten-aboriginum* solo necesitan de luz y humedad para poder germinar, además de que la viabilidad de la primera y última de las especies antes mencionadas no se ven afectadas por los pre-tratamientos de acidez (Ruedas *et al.*, 2000; Flores & Manzanero, 2003; Vega-Villasante *et al.*, 1996).

Los resultados indican que la población de *M. zephyranthoides* presentó una ligera disminución en su densidad en los últimos tres años, debido a que la mayoría de los individuos que la constituyen no logran alcanzar la etapa reproductiva, en consecuencia la producción de semillas es escasa. El presente trabajo sugiere que la etapa más crítica para los individuos en la población de *M. zephyranthoides* ocurre durante el período reproductivo, pues se observó escasa producción de botones, muchos de ellos abortan y muy pocos llegan a ser frutos, además la sobrevivencia de los individuos está siendo afectada por el pastoreo. Todas estas causas provocan que la población de *M. zephyranthoides* en Cuautinchán, Puebla se encuentre en riesgo de desaparecer.

LITERATURA CITADA

- Arias, S., S. Gama & L. Guzmán. 1997. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Edit. Instituto de Biología UNAM. México, D. F.
- Bravo-Hollis, H & H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las cactáceas de México. Edit. Dirección General de Publicaciones. UNAM. México, D. F.
- Casas, A., A. Valiente-Baunet., A. Rojas-Martínez & P. Dávila. 1999. Reproductive biology and the process of domestication of the columnar cactus *Stenocereus stellatus* in Central México. Am. Jour. Bot. 86 (4): 534-542.
- Enkerlin, H., G. Cano., R. Garza & E. Vogel. 1997. Las poblaciones ambientales y sus características. En: Enkerlin, H., G. Cano., R. Garza & E. Vogel. (Eds.), Ciencia ambiental y desarrollo sustentable. Internacional Thomson Editores. 125-150. México, D. F.
- Escobar, V & F. Huerta. 1999. Relaciones ecológicas de *Ferocactus histrix* (DC.) Lindsay en los Llanos de Ojuelos, Jalisco-Zacatecas. Cact. Suc. Mex. 44 (2): 40-48.
- Flores, A & G. Manzanero. 2003. Germinación comparativa de especies del género *Mammillaria* endémicas de Oaxaca, México. Cact. Suc. Mex. 48(2): 36-51.
- Granados, S & G. Florencia. 2001. Ecología de la germinación. En: Granados, S & G. Florencia (Eds.), Ecología de las poblaciones vegetales. 43-49. UACH. México, D. F.
- Godínez-Álvarez, H., A. Valiente-Banuet & L. Valiente-Banuet. 1999. Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived, columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacán Valley, Mexico. Can. Jour. Bot. 77: 203-208.
- Hernández, H & H. Godínez. 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Act. Bot. Mex. 26: 33-52.
- Huerta, F & V. Escobar. 1998. Estatus ecológico actual de *Ferocactus histrix* (DC.) Lindsay en los Llanos de Ojuelos, Jalisco-Zacatecas. Cact. Suc. Mex. 43 (3): 57-64.
- INEGI. 1998. Enciclopedia de los municipios de México, Puebla, Cuautinchan. México, D.F.
- León de Luz, J & R. Domínguez. 1991. Evaluación de la reproducción por semilla de la pitaya agria *Stenocereus gummosus* en Baja California Sur, México. Acta Bot. Mex. 14:75-87.
- Martínez, D., A. Flores-Martínez., F. López & G. Manzanero. 2001. Aspectos ecológicos de *Mammillaria oteroii* Glass & R. Foster en la Región Mixteca de Oaxaca, México Cact. Suc. Mex. 46 (2): 32-38.
- Moore, P & S. Chapman. 1986. Methods in plant ecology. Edit. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Navarro, C & A. Flores. 2002. Aspectos demográficos de *Echinocereus pulchellus* var. *pulchellus* en el municipio de Chignahuapan, Puebla. Cact. Suc. Mex. 47 (2): 24-32.
- Reyes J. 1994. Métodos para la propagación de Cactáceas mexicanas. Amaranto. 7: 1-7.
- Rodríguez, C & E. Ezcurra. 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *Mammillaria carnea* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. Cact. Suc. Mex. 45 (1): 4-14
- Ruedas, M., T. Valverde & S. Castillo. 2000. Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactáceae) bajo diferentes condiciones ambientales. Bol. Soc.Bot. 66: 25-35.

- Valverde, T., M. Trejo & S. Castillo. 1999.** Patrón de distribución y abundancia de *Mammillaria magnimamma* en la Reserva del Pedregal de San Ángel, México D. F. Cact. Suc. Mex. 44 (3): 64-74
- Vega-Villasante, F., H. Nolasco & C. Montaña. 1996.** Efecto de la temperatura, acidez, iluminación, salinidad, irradiación solar y humedad sobre la germinación de semillas de *Pachycereus pecten-aboriginum* "cardón barbón" (Cactáceae). Cact. Suc. Mex. 41: 51-61.
- Zavala-Hurtado, A. 1997.** Suculentas mexicanas/Cactáceas. Edit. UNAM. CONABIO. CVS Publicaciones. México.

Tabla 1. Clasificación de las plantas de *M. zephyranthoides* en categorías de tamaño de acuerdo con su diámetro en la población de Cuautinchán Puebla.

Categoría de tamaño	Diámetro (cm.)
Plántula I	0,19 – 0,50
Plántula II	0,51 – 0,81
Juvenil I	0,82 – 1,23
Juvenil II	1,24 – 1,64
Juvenil III	1,65 – 2,05
Adulto I	2,06 – 2,36
Adulto II	2,37 – 2,66

Tabla 2. Número de individuos registrados por categoría de tamaño en la población de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán, Puebla.

Categoría de tamaño	Ladera Noroeste	Ladera Noreste
Plántula I	16	23
Plántula II	17	19
Juvenil I	27	28
Juvenil II	34	22
Juvenil III	43	30
Adulto I	21	11
Adulto II	30	9

Tabla 3. Porcentajes promedio de germinación obtenidos en semillas de *Mammillaria zephyranthoides* sometidas a diferentes tratamientos. Letras diferentes en las medias indican diferencias significativas entre los tratamientos $p < 0,01$

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
Tween	3,44	a
Ácido sulfúrico/ 1 min.	10,67	b
Ácido sulfúrico/ 1.5 min.	18,74	c
Agua 50°C/ min.	7	ab
Agua 50°C/5 min.	5,54	ab
4-6°C/ 7 d	1,62	a
Testigo	2,77	a

Figura 1

Densidad promedio por categoría de tamaño para *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán, Puebla.

PL I.-plántula I
PL II.- plántula II
J I.- juvenil I
J II.- juvenil II
J III.- juvenil III
A I.- adulto I
A II.- adulto II.

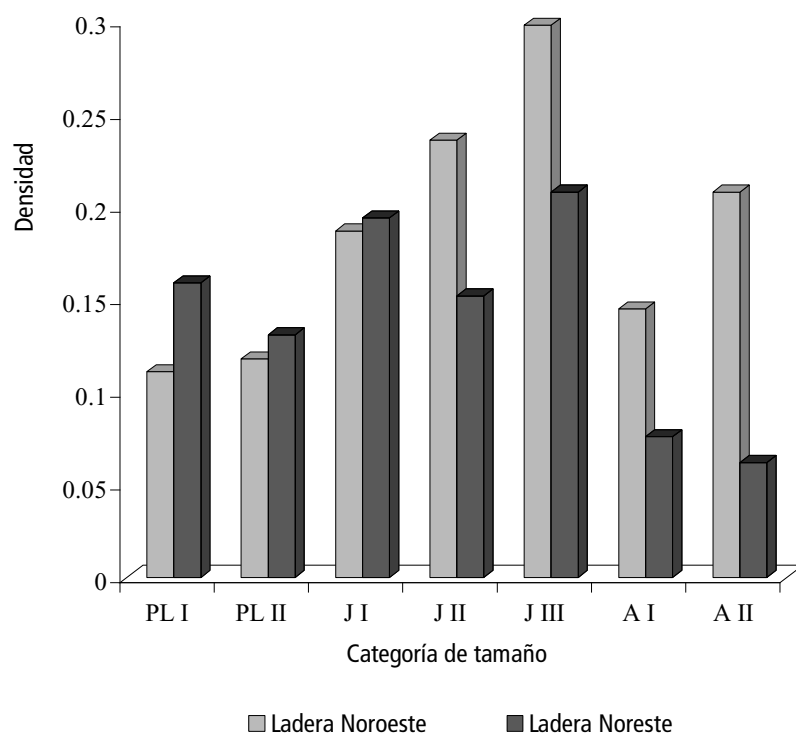


Figura 2

Número de botones en la ladera noroeste y noreste registrados por categoría de tamaño para los individuos de la población de *Mammillaria zephyranthoides* en Cuautinchán, Puebla.

JII.- juvenil II
JIII.- juvenil III
AI.- adulto I
AII.- adulto II

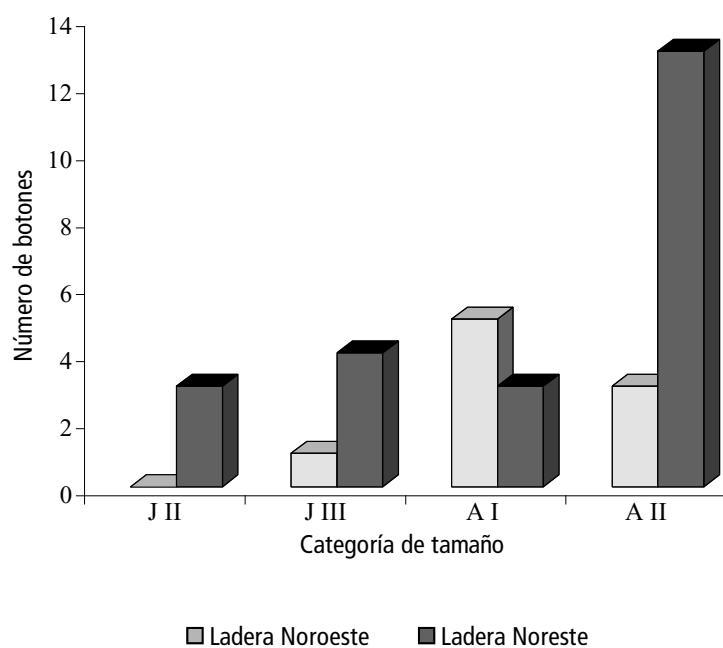


Figura 3

Número promedio de botones registrados para *Mammillaria zephyranthoides* en las laderas noroeste y noreste en Cuautinchán, Puebla.

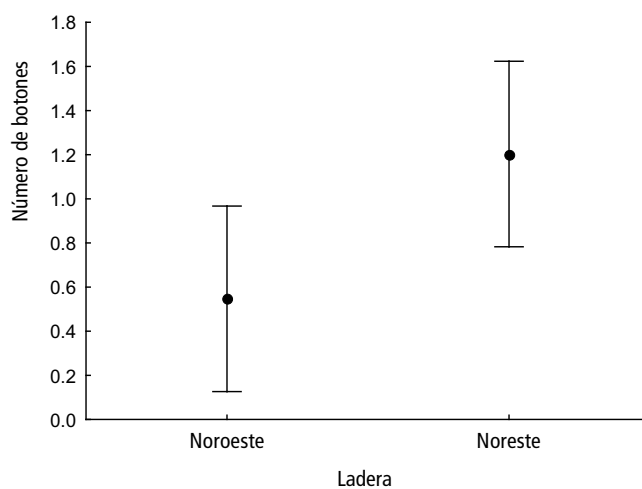


Figura 4

Porcentajes de germinación obtenidos para las semillas de *Mammillaria zephyranthoides* con diferentes tratamientos de escarificación en pruebas de invernadero.

- I.- Tween
- II.- Ácido sulfúrico/ 1min.
- III.- Ácido sulfúrico/1,5 min.
- IV.- Agua a 50°C/5min.
- V.- Agua a 50°C/10min.
- VI.- 4-6°C/7d.
- VII.- Testigo.

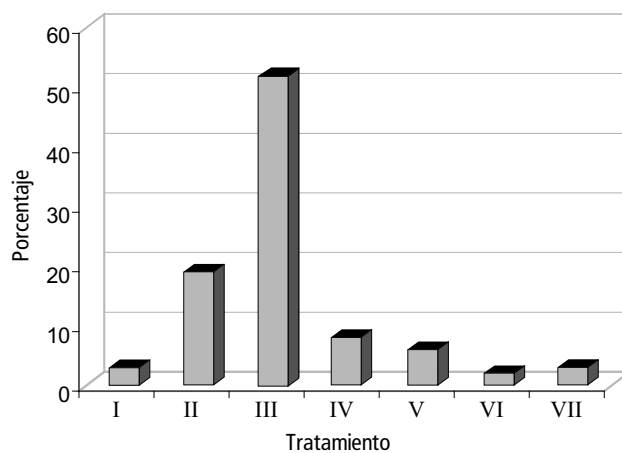
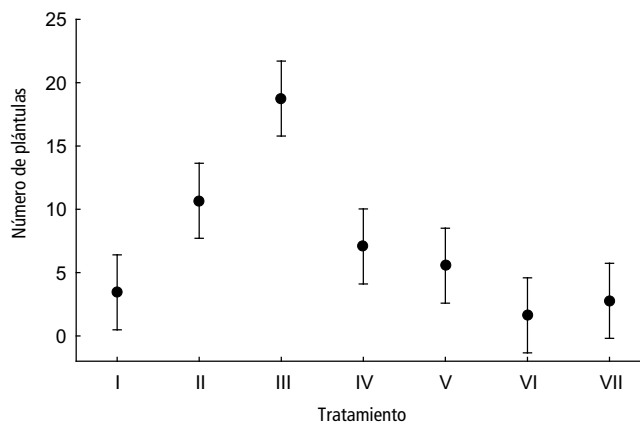


Figura 5

Número promedio de plántulas + SE de *Mammillaria zephyranthoides* obtenidas en los diferentes tratamientos.

- I.- Tween,
- II.- Ácido sulfúrico/ 1min.
- III.- Ácido sulfúrico/1,5 min.
- IV.- Agua a 50°C/5min.
- V.- Agua a 50°C/10min.
- VI.- 4-6°C/7d,
- VII.- Testigo.



Caracterización Florística y Análisis de Diversidad en el área de distribución de la Pava Aliblanca (*Penelope albipennis* Taczanowski)

ING. ARNOLD SERVÁN MORI¹, FERNANDO ANGULO PRATOLONGO²

⁽¹⁾INGENIERO FORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

⁽²⁾DIRECTOR - PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE LA PAVA ALIBLANCA. ASOCIACIÓN CRACIDAE PERÚ

⁽²⁾Email: chamaepetes@gmail.com

RESUMEN

Se caracterizó la composición florística del estrato arbóreo-arbustivo del hábitat de la pava aliblanca (*Penelope albipennis* Taczanowski) a lo largo de su área de distribución y se evaluó el nivel de diversidad vegetal del área. La metodología empleada se basó en los transectos de 0,1 ha para inventarios rápidos, aspectos ecológicos y puntos de registro actual del ave en la zona; y a la estratificación por cuencas hidrográficas. Se determinó que la especie florística más importante, común para todas las zonas estudiadas y a su vez una de las preferidas por la pava aliblanca (alimentación y cobertura para descanso) es *Eriotheca ruizii* (Schumann) Robyns. La similitud florística de las parcelas lo largo del área de estudio es baja cuando están alejadas y alta cuando son próximas. Finalmente, la relación presencia-ausencia de especies leñosas preferidas en la alimentación del ave, es posiblemente, la principal razón ecológica que influye en el tamaño de su población y número de sitios donde se la encuentra.

Palabras Clave: Pava Aliblanca, *Penelope albipennis*, Bosque seco ecuatorial, Caracterización florística, análisis de diversidad

ABSTRACT

*The floristic composition of the arboreal - shrub stratum of White-winged Guan (*Penelope albipennis* Taczanowski) habitat was characterized along its distribution area and the level of floristic diversity was evaluated. The used methodology was based on the Gentry Transects of 0,1 ha for rapid inventories, ecological aspects and points of current records of the bird in the zone; and on the stratification for hydrographic basins. It was determined that the most important species, present in all the studied sites and also one of preferred by the White-winged Guan (feeding and cover) is *Eriotheca ruizii* (Schumann) Robyns. The floristic similarity of the spots along the study site is low when they are far away and high when they are close. Finally, the relation presence - absence of woody feed species preferred by the bird, is probably, the principal ecological reason that influences in the size of its population and number of sites where is found.*

*Key Words: White-winged Guan, **Penelope albipennis**, Equatorial dry forest, floristic characterization, diversity analysis*

La pava aliblanca (*Penelope albipennis*) es un ave endémica del bosque seco del Noroeste Peruano, el cual presenta una compleja diversidad florística con un valor endémico importante y que pertenece a una región de endemismos para aves conocida como Región Tumbesina (Flanagan *et al.*, 2005). Los estudios que ofrecen datos cualitativos y cuantitativos del hábitat actual de los crácidos endémicos de Perú son insuficientes. Es importante saber que muchas especies desaparecen únicamente por la pérdida del hábitat (Brack y Mendiola, 2000), sobre todo si se trata de un sistema frágil como lo es el bosque seco.

La pava aliblanca pertenece a la Familia CRACIDAE y es de aspecto general esbelto, coloración general negra y tiene las 9 primeras plumas de cada ala de color blanco. La cola es larga y las patas son fuertes y de color rosáceo. El largo total está entre los 70 y 80 cm y su peso promedio es de 1,8 kg (Angulo, 2004). Este crácido se encuentra amenazado principalmente por la disminución del hábitat óptimo debido a la tala para obtener áreas para agricultura estacional, leña y materia prima para la elaboración de cajonería para embalaje de frutas (Angulo, 2004).

El área de distribución de la pava aliblanca (ADPA) se localiza al sur del departamento de Piura, a lo largo de todo el departamento de Lambayeque, y en el extremo este del centro del departamento de Cajamarca. Es una estrecha franja de bosques que se extiende casi paralela a la dirección de la cordillera de los Andes entre los 300 y los 1200 msnm y tiene aproximadamente 140 km de largo y 10 km de ancho. El hábitat comprende colinas con quebradas cubiertas por bosques de galería y bosques secos densos adyacentes a los cursos de agua. Esta región tiene dos estaciones bastante marcadas: la estación de lluvias y la estación seca. La primera ocurre desde enero a abril y la estación seca se presenta desde mayo hasta diciembre (Angulo, 2004). En la estación seca, los árboles se encuentran sin hojas, excepto aquellos que conforman los bosques de galería (adyacentes a los cursos de agua), los cuales se han reducido al mínimo y muchos incluso desaparecen. En la estación de lluvias, los árboles se encuentran cubiertos de hojas. Los cursos de agua son generalmente permanentes y los doseles bajos de los bosques están cubiertos por vegetación arbustiva y herbácea con hojas (Asociación Cracidae Perú, 2004). En el hábitat de *Penelope albipennis*, la mayoría de la vegetación del sotobosque ha sido degradada por el sobrepastoreo, y sólo en pocos lugares es posible encontrar bosques prístinos con árboles maduros (Flanagan y Angulo, 2004).

Las especies de árboles y arbustos más comunes incluyen: el angolo (*Pithecellobium multiflorum*), el paipai o charán (*Caesalpinia paipai*), el faique (*Acacia macracantha*), el cerezo (*Muntingia calabura*), el higuerón (*Ficus nymphaeifolia*), el frejolillo o huayrul (*Erythrina smithiana*), el overo (*Cordia lutea*), el palo blanco (*Celtis triflora*), el pasayo (*Eriotheca ruizii*), el palo santo (*Bursera graveolens*), entre otras. Estas especies son conocidas por ser importantes componentes de la dieta de la pava aliblanca (Ortíz y Díaz, 1997; Asociación Cracidae Perú, 2004).

Actualmente, el decreto supremo N° 034-2004-AG (2004), considera a *Penelope albipennis* dentro de la categorización de especies amenazadas de fauna silvestre, En Peligro Crítico (CR), el cual agrupa a los taxones con grave riesgo de extinción en un futuro inmediato. Sin embargo, el ser humano se constituye como el principal depredador de la pava aliblanca y

de su hábitat, especialmente en zonas donde existe ganado, agricultura y cacería. Por otro lado, se puede mencionar que las poblaciones de esta ave y el número de sitios donde se la encuentra son mayores en el tramo norte (cuencas: Cascajal-Tocto, Cascajal-Limón, Cascajal-Ñaupe y Piura) del ADPA, en comparación con el tramo sur (cuencas: Chancay, La Leche y Salas), y se pierde la continuidad del hábitat en el tramo central (cuenca Olmos) donde no existe la pava aliblanca debido a la destrucción del bosque y el alto crecimiento demográfico en la zona; y sólo quedan relictos de lo que pudo ser su antiguo hábitat. Es probable que la razón principal que influye en el tamaño de las poblaciones de individuos de pava aliblanca en estado silvestre sea la disponibilidad de alimento en el bosque. Otras razones que no son ecológicas pero que sí afectan específicamente la vida silvestre y especialmente la reducción de poblaciones serían: la cercanía existente entre la población principal y los caseríos, la cercanía del ADPA a los caseríos, el tamaño de la población humana en cada caserío y el grado de intervención humana en el hábitat de la pava aliblanca. La presente investigación se llevó a cabo desde el mes de octubre de 2004 con la elaboración del proyecto y paralelamente con el reconocimiento de campo. A partir del mes de diciembre del mismo año, se comenzó con el estudio propiamente dicho hasta el mes de febrero de 2005. Posteriormente, se realizó el trabajo de gabinete el cual concluyó en el año 2006, tomando en cuenta para este último año las actualizaciones correspondientes al estudio. Debemos considerar que se trató de un periodo seco con ausencia del fenómeno El Niño. El objetivo general fue caracterizar la vegetación leñosa en el área de distribución de *Penelope albipennis*, obteniendo datos cuantitativos y cualitativos sobre el bosque seco a base de su composición y diversidad florística, con la finalidad de contribuir a la comprensión de las interacciones entre la pava aliblanca y su medio. El objetivo específico fue la caracterización de la composición florística del estrato arbóreo y arbustivo del hábitat de *Penelope albipennis* y la evaluación del nivel de diversidad vegetal del área, utilizando transectos de 0,1 ha, teniendo como propósito generar información descriptiva básica que sea de utilidad para el diseño y el seguimiento de medidas adecuadas para su conservación futura, que permita mejorar los trabajos de reintroducción del ave y que apunte hacia una conservación integral del bosque seco, con dirección a un desarrollo socioeconómico para la zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ámbito de estudio

El ámbito del presente estudio incluye a las cuencas que atraviesan el ADPA de norte a sur, que son: Piura, Cascajal (Cascajal-Tocto, Cascajal-Limón, Cascajal-Ñaupe-Querpon) Olmos, Salas, La Leche y Chancay (ver figura 1). La pava aliblanca (*Penelope albipennis*) encuentra su hábitat en la zona núcleo (quebradas), principalmente cerca de las fuentes de agua y en espacios cerrados por las copas de los árboles y vegetación densa. Estos núcleos abarcan dos áreas bien definidas en cuanto a su fisonomía, pero variables en cuanto a la cantidad de agua presente, que son: el área de influencia de la quebrada (AIQ) o área adyacente a la fuente de agua, y la zona de ladera (ZL), como se puede ver en la figura 2. En el AIQ,

crecen los helechos de la familia Pteridaceae (*Pteridophytae*) y la caña brava (*Gynerium* sp.). Entre las especies leñosas perennifolias representativas de este espacio se encuentran el higuerón (*Ficus nymphaeifolia*), el cerezo (*Muntingia calabura*), el matico (*Piper* sp.) y la hierba santa (*Cestrum auriculatum*). Esta zona tiene un área variable en tamaño dependiendo de la cantidad de agua disponible en los caudales y de acuerdo a los periodos secos y de lluvias. Por otra parte, La ZL se ubica alejada del agua y presenta una topografía muchas veces más accidentada que la primera. Los suelos son más secos y en algunos casos la napa freática sólo es accesible para especies con la capacidad de extender sus raíces como el algarrobo (*Prosopis* sp.); en otros casos, las especies necesitan de adaptaciones especiales para retener el agua y no dejarla escapar por transpiración, como las cactáceas y las espinosas leñosas. En la ZL, las plantas se adaptan a las condiciones de escasez de agua dando lugar al desarrollo de especies caducifolias como *Eriotheca ruizii*, *Erythrina smithiana* y *Bursera graveolens*. Algunas especies perennifolias como el faique (*Acacia macracantha*) se adaptan bien a esta zona

Metodología

Se procedió a la instalación de dos parcelas en un lugar de cada una de las cuencas que atraviesan el ADPA, aplicando la Metodología Gentry. Esta metodología es utilizada para caracterizar la vegetación leñosa del bosque seco, la cual tiene como principio los transectos de 0,1 ha para inventarios rápidos y como objetivo analizar la riqueza, estructura y composición de la vegetación (Gentry, 1982). La unidad básica de muestreo es el censo de las plantas leñosas con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o iguales a 2,5 cm dentro de un transecto lineal de 0,1 ha (Boyle, 1996). Cada transecto tiene la forma discontinua de 5 líneas paralelas de 2 m x 100 m, separadas por 10 m desde la línea base o centro de cada subunidad. En la práctica, el censo de 0,1 ha se realiza cada 50 m, considerando 50 m como una línea. Previamente se tomó en cuenta que el distanciamiento entre cada subunidad es arbitrario. Este valor tuvo decisión final en campo. Finalmente se instalaron dos transectos de 0,1 ha por cada cuenca, es decir, 16 transectos en total.

En cada transecto se registró individuos leñosos de diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 2,5 cm y de altura a 1,3 m desde el suelo. Una cinta métrica de 50 m marcó la línea central o eje de cada subunidad; los individuos que ocurrieron dentro de 1 m a cada lado de la línea central fueron censados. Se colectaron todas las especies que se encuentren fértiles y mínimo con folíolos en el área de muestreo, midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP) en centímetros (cm) y estimando la altura en metros (m). Las colecciones botánicas se obtuvieron para todas las especies; cada ejemplar colectado en un transecto se guardó en una bolsa separada y marcada con el número de transecto y el consecutivo del ejemplar para ese transecto; posteriormente se le asignó un número de colección y se procedió hasta constituir un ejemplar de herbario. Las colecciones fueron codificadas y/o etiquetadas con los datos correspondientes en una libreta de campo. Inmediatamente, las muestras botánicas fueron prensadas y conservadas en una solución de alcohol etílico (75 %).

El trabajo de gabinete consistió en el procesamiento de prensado y secado de las muestras. La identificación se realizó con ayuda de especialistas en el Herbario MOL de la Universi-

dad Nacional Agraria La Molina mediante claves botánicas o por comparación con material identificado e incorporado en el laboratorio. Para los nombres específicos mostramos el binomio conformado por el nombre genérico y el específico, así como el autor, acorde con el Catálogo de especies angiospermas y gimnospermas de Perú (Brako y Zarucchi, 1993) y de acuerdo a la lista de especies leñosas en bosques estacionalmente secos de Perú (Linares-Palomino *et al.*, 2004).

El análisis de estos datos tuvo por objeto aclarar la composición de la flora de los diferentes estratos y su diversidad, con la finalidad de interpretar esta información con una perspectiva hacia la supervivencia de la *Penelope albipennis*. Las variables analizadas para la vegetación observada en el ADPA fueron:

Variables vinculadas a la diversidad

- N° de individuos
- N° de especies
- N° de familias y géneros
- Cociente de mezcla
- Curva especie-área

Variables vinculadas a la composición florística

- Familias, géneros y especies más abundantes

Variables estructurales

- Diámetros (DAP, cm)
- Área basal (m²)
- Altura total (m)

Variables vinculadas a la distribución espacial

- Frecuencia
- Dominancia
- Abundancia

Índice de similitud florística (Presencia ausencia)

- Sorensen (Análisis cuantitativo).
- Jaccard (Cualitativo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la época seca el mecanismo de desprendimiento de hojas de muchas especies se hace notar, sobre todo en la zona de ladera (ZL), produciendo claros en el bosque. En consecuencia, las aves se movilizan en espacios más reducidos cerca de las fuentes de agua y donde encuentran una vegetación densa que las protege de sus depredadores. Tanto las áreas de influencia de la quebrada (AIQ) como las zonas de ladera (ZL) forman parte del hábitat de la pava aliblanca o zonas núcleo de su área de distribución, que a su vez limitan con las zonas de amortiguamiento donde existe mayor intervención antrópica.

Variables vinculadas a la diversidad

Número de individuos

El número total de individuos leñosos con más de 2,5 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) en las 16 parcelas de muestreo es 3 888. El total de área donde se levantó la información fue de 1,6 ha. La parcela con menor número de individuos se encuentra en la quebrada Cásupe, ubicada en La cuenca del río Chancay, con 209 individuos. Por otra parte, la parcela con mayor número de individuos se encuentra en la quebrada El Reloj–Sector Lajas, en la cuenca del río La Leche, con 306 individuos. El valor promedio de individuos de una parcela es similar al promedio esperado del mismo si es comparado con aquellos hallados en otros transectos Gentry del ámbito del bosque seco.

Número de especies

En la totalidad de los transectos se encontraron 108 especies entre leñosas y no leñosas de las cuales 95 pertenecen a la clase arbóreo-arbustivo y 69 especies son monoindividuales. La parcela con mayor número de especies se encuentra en la quebrada Hierba Santa con 41 especies, y con menor número de especies en las quebradas El Reloj-Sector Lajas y La Pilasca, con 24 especies cada una. El mayor número de especies pertenece a la familia *Fabaceae*, con 13 especies, seguido de *Celastraceae* con 6 especies y *Solanaceae* con 5 especies.

Número de familias y géneros

Se encontró un total de 49 familias botánicas, de las cuales 44 familias pertenecen a la clase arbóreo-arbustivo y un total de 90 géneros, de los cuales 79 géneros son de la clase arbóreo-arbustivos. El género con mayor número de especies es *Capparis* con cuatro especies diferentes, seguido por *Cordia* y *Maytenus* con tres especies y *Coccoloba*, *Croton*, *Inga*, *Piper*, *Pithecellobium* y *Solanum* con dos especies. El transecto con mayor número de familias se encuentra en la quebrada Hierba Santa, en la cuenca del río Piura, con 27 familias botánicas de la clase arbóreo-arbustivo y con menor número en la quebrada El Reloj-Sector Lajas, en la cuenca del río La Leche, con 14 familias.

Cociente de mezcla (CM)

El CM es 0,02, valor que indica una heterogeneidad florística muy pequeña en la zona de estudio. Hay en promedio una especie diferente cada 50 individuos. Es relativamente bajo si se compara con otros lugares parecidos en diversidad documentados para los bosques secos.

Curva especies-área

La evaluación se realizó de sur a norte del ADPA. La curva especies-área (ver figura 3) muestra una tendencia clara a la inflexión a partir del transecto N° 12. En adelante, los incrementos en número de especies de cada transecto tienden al 0 % del total de especies; sin embargo, surge un incremento de 8 % al final del transecto N° 15 para luego hacerse nuevamente 0 %. En el área total de estudio, el 66 % del total de especies registradas se alcanzó al completar el transecto N° 6, y el 81 % al completar el transecto N° 10. Los incrementos en número de especies son muy bajos, tal es así que el mayor incremento en número de especies es de 10 %, al completar el transecto N° 3 (ver Tabla 1).

Familias, géneros y especies más abundantes

Las cinco familias botánicas con mayor número de individuos en el ADPA son, en orden descendente, *Fabaceae* (1 134 individuos), *Bombacaceae* (820 individuos), *Celastraceae* (260 individuos), *Ulmaceae* (151 individuos) y *Solanaceae* (134 individuos). Las cinco familias botánicas con mayor número de especies son, en orden descendente, *Fabaceae* (13 especies), *Celastraceae* (6 especies), *Solanaceae* (11 especies), *Boraginaceae* (4 especies) y *Capparaceae* (4 especies).

Variables vinculadas a la composición florística

En cuanto a la presencia de elementos característicos del total de estratos evaluados, las familias abundantes son las que tienen mayor importancia ecológica y a su vez las más diversas. La familia más dominante es *Bombacaceae*, que ocupa el segundo lugar de importancia ecológica después de la familia *Fabaceae*. A su vez, es importante resaltar que una parte sustancial de la diversidad en esta localización se debe a la enorme cantidad de especies de una sola familia, las *Fabaceae*. Esto es característico para cada uno y el total de transectos evaluados.

Los 3 géneros con mayor número de especies son, en orden descendente, *Capparis* (Capparaceae), *Cordia* (Boraginaceae) y *Maytenus* (Celastraceae). Los cuatro géneros con mayor número de individuos son, en orden descendente, *Eriotheca* (Bombacaceae), *Pithecellobium* (Fabaceae), *Eriodina* (Fabaceae), *Maytenus* (Celastraceae) y *Leucaena* (Fabaceae). La especie con mayor número de individuos es *Eriotheca ruizii* (Bombacaceae), seguida de *Erythrina smithiana*, *Pithecellobium excelsum*, *Leucaena trichodes* (las tres son Fabaceae), *Maytenus sp.1* (Celastraceae) y *Celtis triflora* (Ulmaceae).

Variables estructurales

Diámetro (DAP, cm)

El diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio en el ADPA es aproximadamente 17 cm. El valor promedio de diámetro es bastante cercano a los hallados en otros lugares del bosque seco. Las clases diamétricas con mayor cantidad de individuos son las menores, en los intervalos 2,5-12,5 cm de DAP. Los diámetros máximos se hallan entre 102,5-112,5 cm y el mayor diámetro corresponde a un individuo de 112 cm de DAP de la especie *Ficus nymphaeifolia* (Moraceae) (ver figura 4).

Área basal (m²)

El área basal (AB) total en el área de distribución de la pava aliblanca (ADPA) es 98,34 m² y el AB promedio para cada transecto es 6,3 m².

Altura total (m)

La altura total promedio del estrato arbóreo-arbustivo en el ADPA es casi 8 m. Las clases de altura total con mayor cantidad de individuos corresponden a los intervalos menores a 2,5 m. El 78 % del total de individuos (3 032 individuos) son de hasta 7,5 m de altura y el 22%

conforma el estrato más alto. Los árboles más altos tienen más de 15 m, con un máximo de 19 m en un individuo de la especie *Ficus nymphaeifolia* (Moraceae) seguido de *Eriotheca ruizii* (Bombacaceae) con una altura máxima de 18 m (ver figura 5).

Variables vinculadas a la distribución espacial

Frecuencia

En relación con la frecuencia total, 6 especies (7 %): *Pithecellobium multiflorum*, *Loxopterygium huasango*, *Leucaena trichodes*, *Erythrina smithiana*, *Eriotheca ruizii* y *Acacia macracantha*, aparecen en las 16 parcelas. Existen 49 especies (54 %) en 1-3 transectos, 15 especies (16 %) en 4-7 transectos y 9 especies (10 %) en 12-15 transectos (ver figura 6).

Dominancia

Las seis familias dominantes o que prevalecen en términos de su área basal, en orden descendente, en el ADPA son *Bombacaceae*, *Fabaceae*, *Moraceae*, *Burseraceae*, *Ulmaceae*, y *Celastraceae*. Las seis especies dominantes, en orden descendente son *Eriotheca ruizii* (Bombacaceae), *Ficus nymphaeifolia* (Moraceae), *Erythrina smithiana* (Fabaceae), *Bursera graveolens* (Burseraceae), *Celtis triflora* (Ulmaceae) y *Acacia macracantha* (Fabaceae).

Abundancia

Las tres especies más abundantes son *Eriotheca ruizii* (Bombacaceae) con 817 individuos (21 %), *Erythrina smithiana* (Fabaceae) con 283 individuos (7 %) y *Pithecellobium excelsum* (Fabaceae) con 237 individuos (6 %), de un total de 3 888 individuos. Por otro lado, las tres familias más abundantes son *Fabaceae* con 1 134 individuos (29 %), *Bombacaceae* con 820 individuos (21 %) y *Celastraceae* con 260 individuos (7 %), de un total de 3 888 individuos.

Índice de similitud florística

Para las comparaciones respectivas, estas se realizaron siguiendo la dirección sur a norte del ADPA. La similitud es mayor entre las cuencas contiguas (estratificadas para el estudio) y es menor cuando estas son más distantes. Por otro lado, existe mayor similaridad florística entre las cuencas del tramo centro y norte del ADPA y menor similaridad entre las cuencas del tramo sur.

La similitud florística revela que dos parcelas de una misma cuenca son parecidas, y los transectos que presentan mayor valor de semejanza, con 90 % de similitud, se encuentran en la quebrada Cásupe (cuenca Chancay) y en la quebrada La Naranja (cuenca Cascajal–Tocto). En la primera, los transectos comparten 37 especies y en la segunda 26 especies. Los transectos de una misma cuenca que presentan menor similaridad, con 71 % de similitud, se encuentran en la quebrada El Naranjo (cuenca de Olmos). Por otra parte, la similaridad entre dos parcelas de diferentes cuencas, presenta su mayor valor entre la quebrada La Naranja (Cuenca Cascajal–Tocto) y la quebrada El Indio (cuenca Cascajal–Limón), con 82 %

de similitud y 25 especies compartidas. El menor valor ocurre entre las quebrada Cásupe (cuenca Chancay) y las quebradas El Higuerón y Jagüey La Estera (ambas pertenecen a la cuenca Cascajal–Naupe), con 33 % de similitud y 10 especies compartidas en ambos casos (ver figura 6).

El promedio de los resultados obtenidos sobre composición y diversidad de la vegetación es compatible con valores encontrados en otros lugares donde se realizaron estudios en base a transectos Gentry, como es el caso del Parque Nacional Cerros de Amotape, en el departamento de Piura, Perú (ver Tabla 2).

Según la relación de presencia-ausencia de plantas leñosas útiles en la alimentación de *Penelope albipennis* dentro de su hábitat natural (ver Tabla 3), las especies leñosas que ocurren a lo largo del ADPA son: el faique (*Acacia macracantha*), el pasayo (*Eriotheca ruizii*), el huaryul (*Eritrina smithiana*), el hualtaco (*Loxopterygium huasango*) y el angolo (*Pithecellobium multiflorum*); y las especies que se ausentan más son: la hierba blanca (*Alternanthera eggersii*) el vichayo (*Capparis avicennifolia*) la semayuca (*Carica parviflora*) y el algarrobo (*Prosopis pallida*).

Cualitativamente, y en base a la importancia ecológica de la vegetación en el hábitat de la pava aliblanca, estas especies son indicadoras de la oferta de alimento necesaria para el animal y la composición espacial de la vegetación, convirtiéndose en un factor ecológico que determina el tamaño y número de las poblaciones de individuos de pava aliblanca. Tal es así que la oferta de alimento para *Penelope albipennis* es mayor en el tramo norte y está en relación directa al tamaño de su población y número de sitios donde se encuentra.

En el tramo sur, a pesar de la menor cantidad de lugares donde habita y sus reducidas poblaciones, la oferta de alimento y la composición espacial de la vegetación también son importantes. Finalmente, en el tramo central se observa que la oferta de alimento es interesante, pero no existe demanda alguna por la inexistencia de la pava aliblanca.

CONCLUSIONES

La especie más importante florísticamente en el ADPA, común para todas las zonas estudiadas y a su vez una de las preferidas por el ave es el pasayo (*Eriotheca ruizii*).

Las familias más importantes y comunes para todas las zonas estudiadas son Fabaceae y Bombacaceae. La familia más diversa es Fabaceae y la más dominante es Bombacaceae.

Las especies más abundantes son: *Eriotheca ruizii* (Bombacaceae), seguida de *Erythrina smithiana*, *Pithecellobium excelsum*, *Leucaena trichodes* (las tres son Fabaceae), *Maytenus* sp.1 (Celastraceae) y *Celtis triflora* (Ulmaceae). Todas preferidas por la pava aliblanca, principal-

mente como alimento.

La mayor cantidad de individuos están en el rango diamétrico de 2,5-12,5 cm de DAP (1 998 individuos). Por otro lado, el mayor diámetro corresponde a *Ficus nymphaeifolia* (Moraceae) con 112 cm de DAP.

Los árboles más altos tienen más de 15 m, con un máximo de 19 m para *Ficus nymphaeifolia* (Moraceae), seguido de *Eriotheca ruizii* (Bombacaceae) con una altura máxima de 18 m. El promedio de altura para el estrato arbóreo arbustivo es 8 m. Además constituyen las especies más funcionales en el hábitat de *Penelope albipennis*.

Las especies más frecuentes que aparecen en las 16 parcelas son: el angolo (*Pithecellobium multiflorum*), el hualtaco (*Loxopterygium huasango*), la shapa (*Leucaena trichodes*), el huayrul (*Erythrina smithiana*), el pasayo (*Eriotheca ruizii*) y el faique (*Acacia macracantha*).

La similitud florística de los hábitat de *Penelope albipennis* de una misma cuenca es alta, y la similitud entre los hábitat de cuencas diferentes es baja cuando están alejadas y alta cuando son próximas.

La presencia-ausencia de plantas leñosas útiles en la alimentación de la pava aliblanca (*Penelope albipennis*) dentro de su hábitat natural, es un factor ecológico, que influye en el tamaño de la población de individuos de esta ave y en el número de sitios donde se encuentra.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento principalmente a Gustavo del Solar Rojas. Asimismo a Luis Palomino Flores por su asistencia en la logística para las salidas de campo y a la Asociación Cracidae Perú. A Francisco Roman, Tina Lerner, los asistentes de campo Francisco Zea y Ernesto Pimentel, a Aníbal Calderón, jefe de la en ese entonces Zona Reservada Laquipampa por proporcionar los permisos correspondientes, a todos los guías de las salidas de campo, por compartir su vasto conocimiento del campo y de la pava aliblanca. Finalmente a Laura Cancino y Kym Parr del Cleveland Metroparks Zoo por el apoyo financiero para desarrollar el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Angulo P., F. 2004. El proyecto de conservación de la Pava Aliblanca. En: Memorias de la V Jornada Nacional de Ornitología. Dilloniana (Univ. Nac. San Agustín, Arequipa), 4: 72 - 73.
- Asociación Cracidae Perú. 2004. (en línea). Consultado 07 noviembre 2004. Disponible en: <http://www.pavaaliblanca.org>
- Brack, A. & Mendiola, C. 2000. Ecología del Perú (en línea). PE. Asociación Editorial Bruño, Lima. PE. Consultado 14 marzo 2005. Disponible en: <http://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>
- Brako, J. & L. Zarucchi. 1993. Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. St.Louis, Missouri, USA. 1286 p. (Missouri Botanical Garden Monographs in Systematic Botany, 45).

- Boyle, B. L. 1996.** Changes on altitudinal and latitudinal gradients in neotropical montane forests. Washington University, St. Louis. USA. 275 p.
- Decreto Supremo N° 034-2004-AG. 2004.** Normas Legales, p. 276853-276854. El Peruano, Lima, PE. Noviembre.
- Flanagan, J.N.M. & Angulo, F. 2004.** La Zona Reservada de Laquipampa – Ecología, Conservación y Manejo. En: Memorias del Primer Congreso Internacional de Bosques Secos (6-9 Nov. 2003). Universidad de Piura, Perú.
- Flanagan, J.N.M., Franke, I. & Salinas, L. 2005.** Aves y endemismo en los bosques relictos de la vertiente occidental andina del norte del Perú y sur del Ecuador. *Rev. Peru. Biol.* 12(2): 239 - 248 (2005)
- Gentry, A. H. 1982.** Patterns of neotropical plant species diversity. *Evolution Biology* 15: 1-84.
- Gentry, A. H. 1995.** Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical montane forest. p 103-126. In: Churchill, S. P., H. Balslev, E. Forero; J. L. Luteyn (eds.), *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest*. Nueva Cork, USA. The New York Botanical Garden.
- Linares-Palomino, R.; Pennington R. T.; Ratter J.; Pennington, T. D.; Hughes, C. E. 2004.** Lista anotada de plantas leñosas en bosques estacionalmente secos del Perú (en línea). PE. Consultado 12 enero 2006. Disponible en: <http://rbg-web2.rbge.org.uk/dryforest/database.htm>
- Ortiz, E. & V. Díaz-Montes. 1997.** Estudio de Campo y Reevaluación de la Población de Pava Aliblanca (*Penelope albipennis*). p. 218-232 In: *The Cracidae: their Biology and Conservation* (S.D. Strahl, S. Beaujon, D.M. Brooks, A.J. Begazo, G. Sedaghatkish and F. Olmos). Hancock House Publ.
- Stattersfield, A.J., M.J. Crosby, A.J. Long & D.C. Wege. 1998.** Endemic Bird Areas of the World – Priorities for Biodiversity Conservation. BirdLife Conservation Series 7.

Tabla 1

Cuenca	Nº	Transecto	Lugar	Nº de sp.	% del total de sp.	Incremento %
CHANCAI	1	P1 (parte alta)	Quebrada Casupe	40	43,96	
	2	P2 (parte baja)	Quebrada Casupe	43	47,25	3,30
LA LECHE	3	P1 (parte baja)	Quebrada El Reloj-Sector Lajas	52	57,14	9,89
	4	P2 (parte alta)	Quebrada El Reloj-Sector Lajas	53	58,24	1,10
SALAS	5	P1 (parte alta)	Quebrada La Pilasca	58	63,74	5,49
	6	P2 (parte baja)	Quebrada La Pilasca	60	65,93	2,20
OLMOS	7	P1 (parte alta)	Quebrada El Naranjo	65	71,43	5,49
	8	P2 (parte baja)	Quebrada El Naranjo	70	76,92	5,49
CASCAJAL-TOCTO	9	P1 (parte alta)	Quebrada La Naranja	72	79,12	2,20
	10	P2 (parte baja)	Quebrada La Naranja	74	81,32	2,20
CASCAJAL- LIMON	11	P1	Quebrada El Indio,	81	89,01	7,69
	12	P2	Quebrada Caña Brava	82	90,11	1,10
CASCAJAL- ÑAUPE	13	P1 (parte baja)	Jagüey La Estera	84	92,31	2,20
	14	P2 (parte alta)	Quebrada El Higuierón	84	92,31	0,00
PIURA	15	P1 (parte baja)	Quebrada Hierba Santa	91	100,00	7,69
	16	P2 (parte alta)	Quebrada Hierba Santa	91	100,00	0,00

Tabla 2

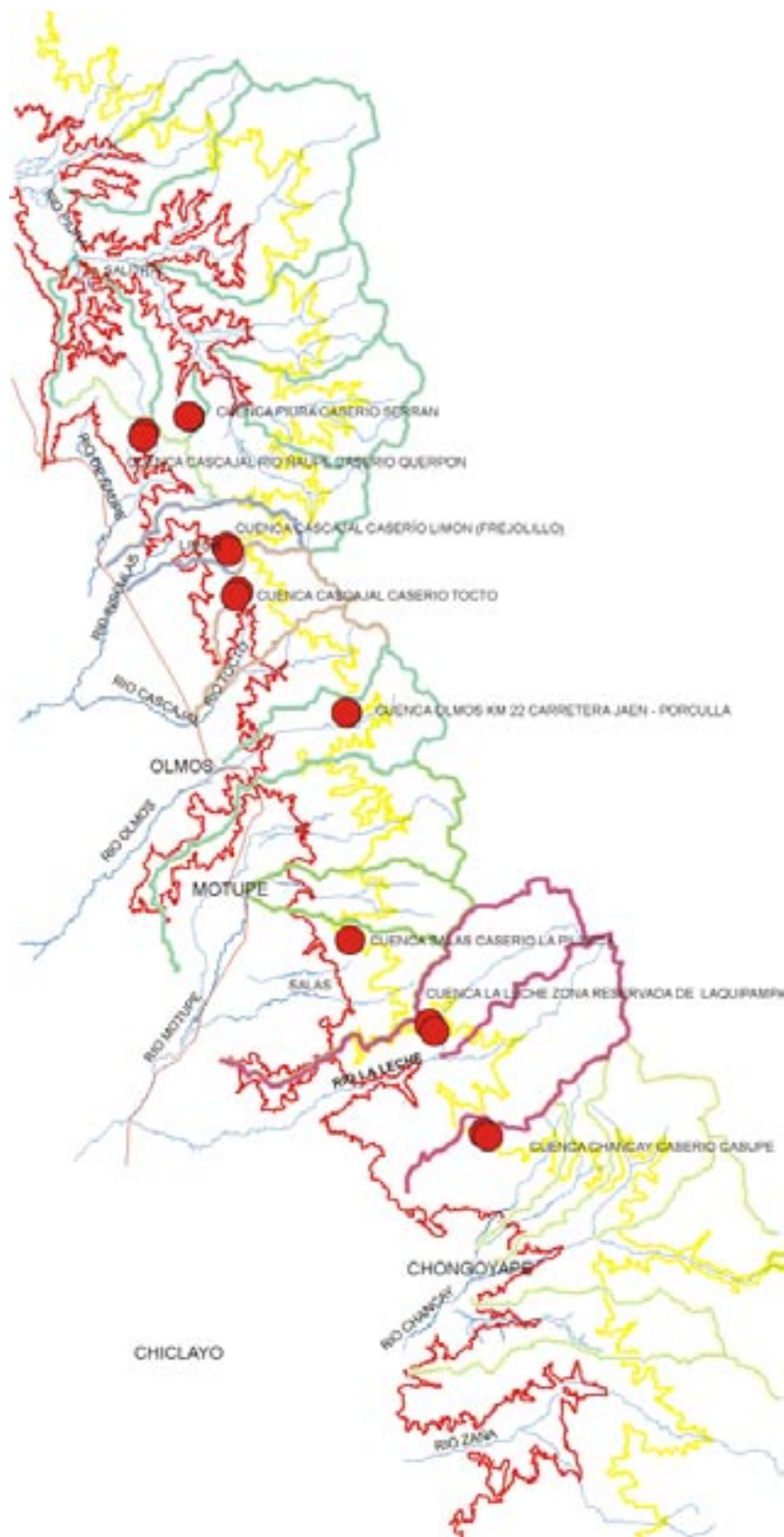
Lugar	ALTITUD (msnm)	Nº FAMILIAS	Nº ESPECIES	Nº INDIVIDUOS
Quebrada Cásupe, Cajamarca	1120	22	40	252
Quebrada Cásupe, Cajamarca	1050	21	43	209
Quebrada El Reloj-Sector Lajas, Lambayeque	690	15	26	219
Quebrada El Reloj-Sector Lajas, Lambayeque	850	14	24	306
Quebrada La Pilasca, Lambayeque	870	17	24	211
Quebrada La Pilasca, Lambayeque	580	18	26	234
Quebrada El Naranjo, Piura	830	15	27	250
Quebrada El Naranjo, Piura	750	22	32	254
Quebrada La Naranja, Piura	500	19	29	240
Quebrada La Naranja, Piura	390	20	29	245
Quebrada El Indio, Piura	575	22	32	253
Quebrada Caña Barva, Piura	590	23	35	241
Jagüey La Estera, Piura	430	17	26	259
Quebrada El Higuierón, Piura	540	14	26	266
Quebrada Hierba Santa, Piura	590	20	39	226
Quebrada Hierba Santa, Piura	750	21	42	223
Cerros de Amotape, Piura (Gentry, 1995)	820	22	40	357

Tabla 3

	CH		LL		S		O		C-T		C-L		C-Ñ-Q		P	
DIETA ALIMENTICIA	p1	p2	p1	p2	p1	p2	p1	p2	p1	p2	p1	p2	p1	p2	p1	p2
<i>Acacia macracantha</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Acnistus arborescens</i>						x					x	x				
<i>Alternanthera eggersii</i>										x						
<i>Bursera graveolens</i>	x		x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Caesalpinia paipai</i>			x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Capparis avicennifolia</i>													x			
<i>Carica parviflora</i>											x					
<i>Celtis triflora</i>			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cestrum auriculatum</i>	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
<i>Cordia lutea</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Eriotheca ruizii</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Erythrina smithiana</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ficus nymphaeifolia</i>	x	x	x			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Geoffroea striata</i>	x	x					x		x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Loxopterygium huasango</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Muntingia calabura</i>	x		x			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pithecellobium excelsum</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pithecellobium multiflorum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Prosopis pallida</i>													x			
<i>Scutia spicata</i>								x	x	x	x	x	x	x	x	x

Presencia en el tramo sur del ADPA: Chancay (CH); La Leche (LL) y Salas (S)	x
Presencia en el tramo central del ADPA: Olmos (O)	x
Presencia en el tramo norte del ADPA: Cascajal-Tocto (C-T); C.-Limón (C-L); C.-Ñaupe-Querpón (C-Ñ-Q) y Piura (P)	x
Ausencia en el hábitat de la pava aliblanca (<i>Penelope albipennis</i>)	
p1: parcela 1; p2: parcela 2	

Figura 1. Área del presente estudio.



Diferenciación Fisonómica en la Quebrada

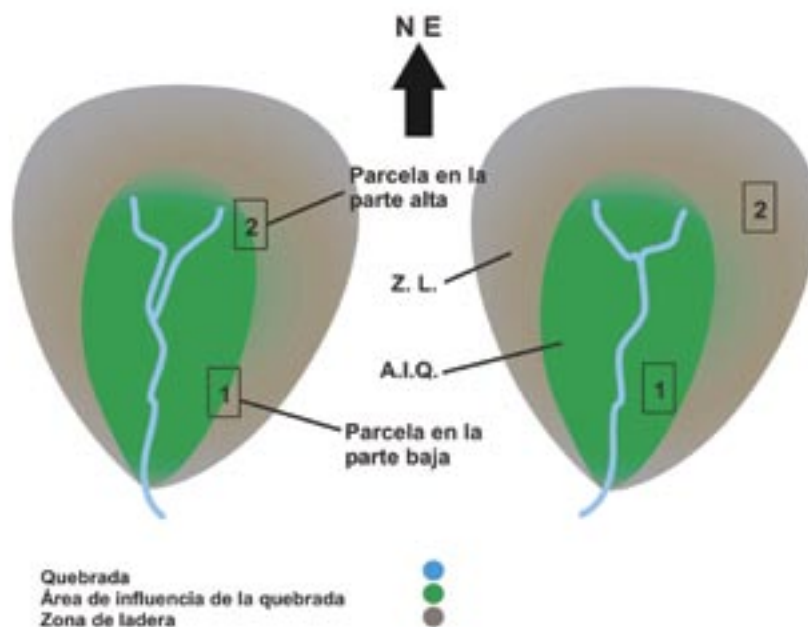


Figura 2. Bosquejo de la microcuenca estudiada y representación de la diferenciación fisonómica entre el área de influencia de la quebrada (AIQ) y la zona de ladera (ZL).

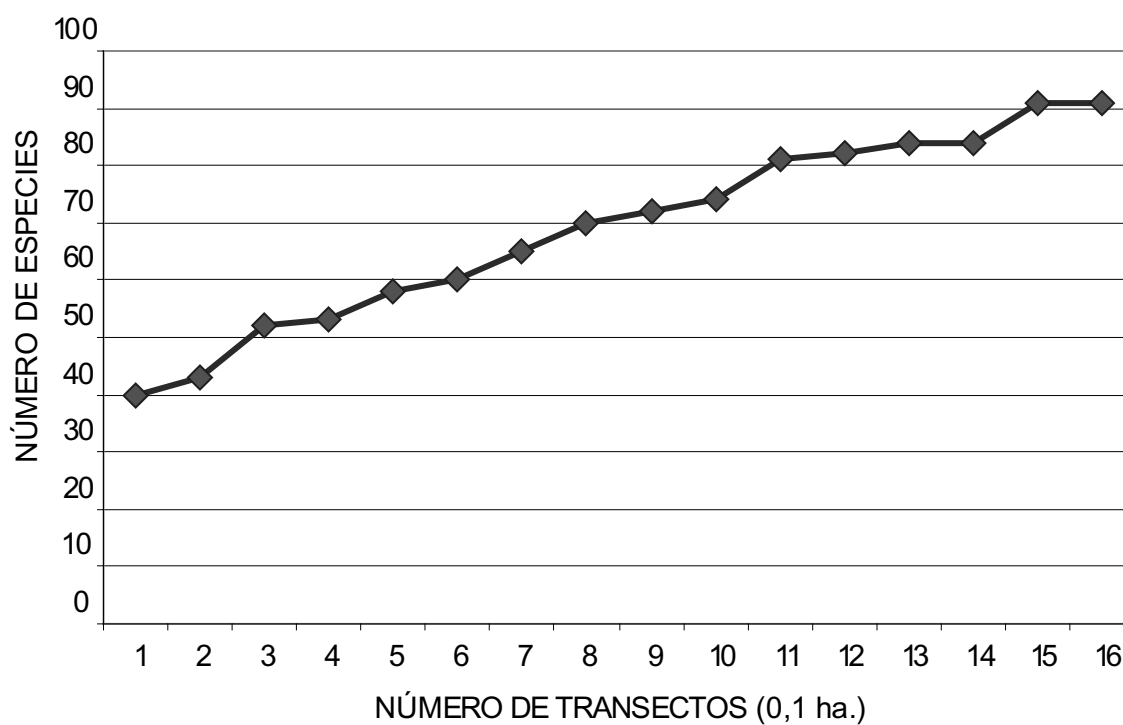


Figura 3. Curva especies-área (sur a norte) en el área de distribución de la pava aliblanca.

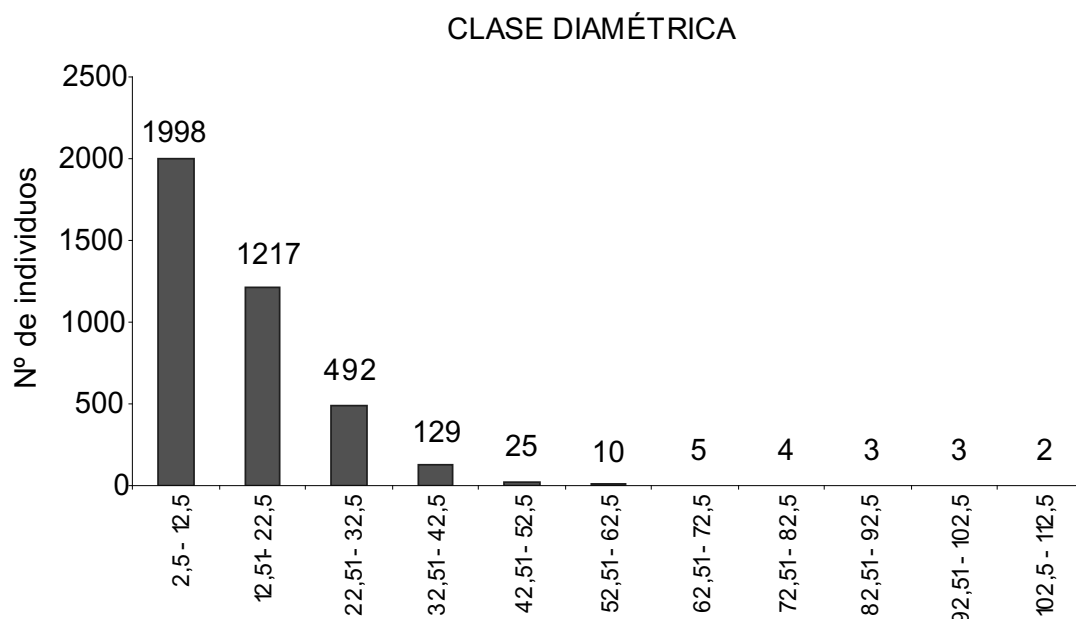


Figura 4. Clase diamétrica en el área de distribución de la pava aliblanca.

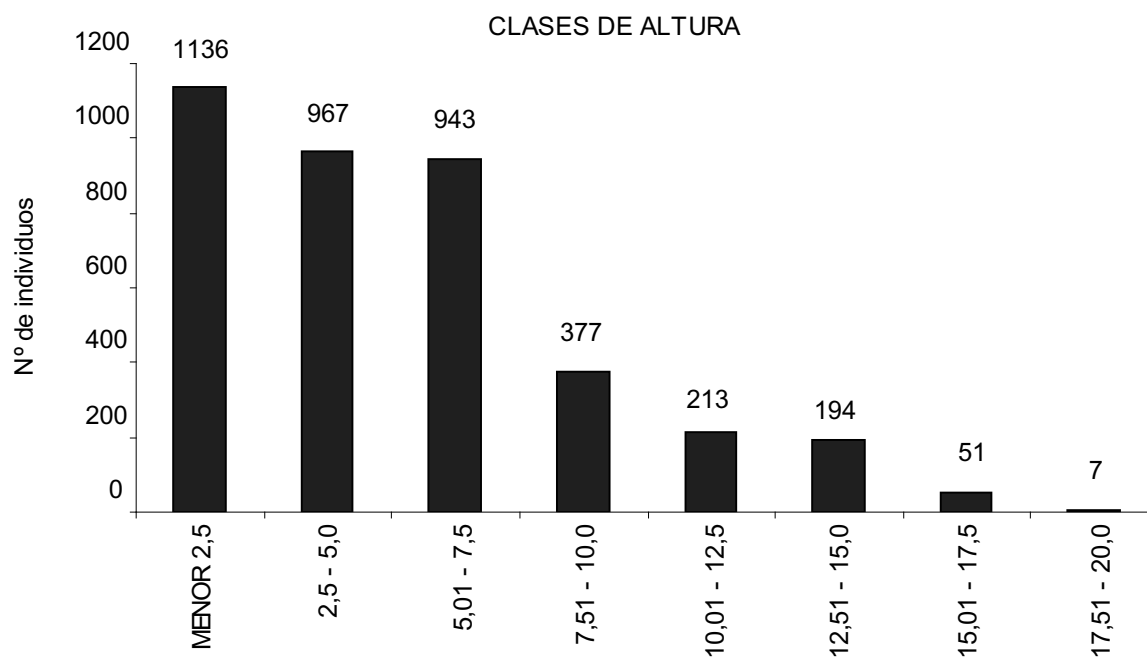


Figura 5. Clases de altura en el área de distribución de la pava aliblanca.

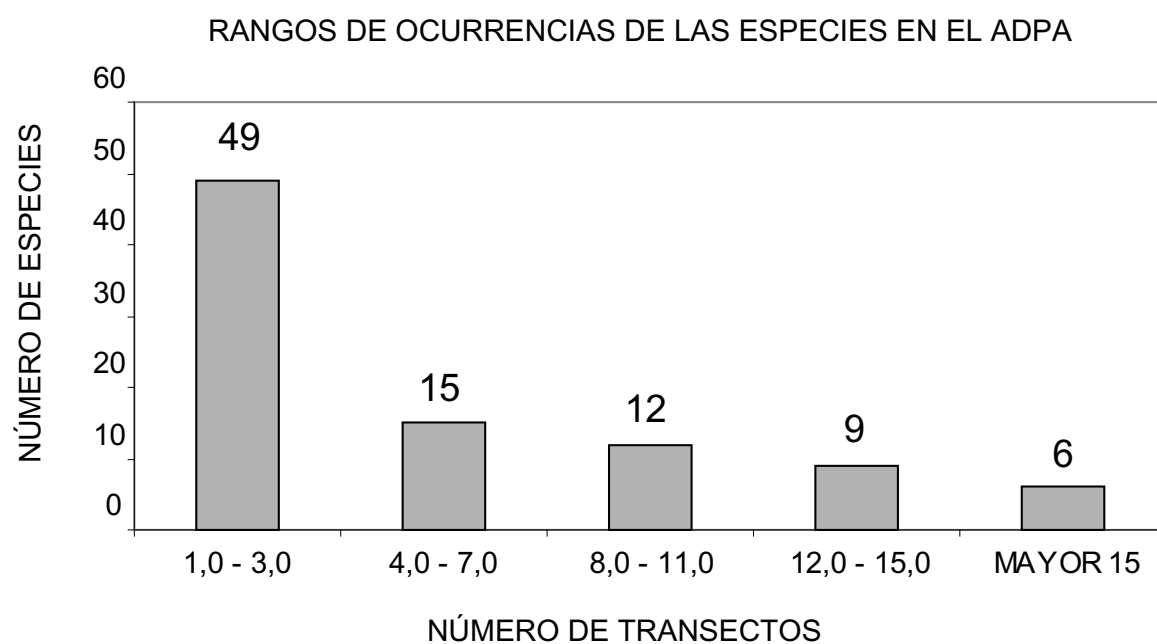


Figura 6. Rangos de ocurrencias de las especies en el área de distribución de la pava aliblanca.

SORENSEN		CCH	CLL		CS		CO		CCT		CCL		CCÑ		CP	
		P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
CCH	P1	0,90	0,51	0,46	0,36	0,41	0,41	0,46	0,52	0,52	0,46	0,47	0,38	0,38	0,42	0,49
	P2		0,40	0,45	0,34	0,43	0,39	0,36	0,41	0,48	0,39	0,46	0,33	0,33	0,44	0,43
CLL	P1			0,84	0,52	0,62	0,49	0,59	0,62	0,55	0,62	0,59	0,62	0,58	0,55	0,51
	P2				0,58	0,60	0,55	0,46	0,57	0,57	0,54	0,51	0,52	0,56	0,48	0,49
CS	P1					0,80	0,59	0,46	0,57	0,57	0,50	0,51	0,52	0,48	0,48	0,46
	P2						0,57	0,52	0,58	0,58	0,52	0,56	0,54	0,58	0,52	0,51
CO	P1							0,71	0,71	0,68	0,64	0,61	0,60	0,57	0,58	0,56
	P2								0,75	0,69	0,69	0,66	0,62	0,62	0,62	0,66
CCT	P1									0,90	0,82	0,81	0,76	0,73	0,68	0,74
	P2										0,79	0,78	0,69	0,69	0,68	0,71
CCL	P1											0,84	0,62	0,72	0,73	0,68
	P2												0,66	0,72	0,70	0,76
CCÑ	P1													0,77	0,62	0,63
	P2														0,65	0,60
CP	P1															0,88
JACCARD		CCH	CLL		CS		CO		CCT		CCL		CCÑ		CP	
		P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
CCH	P1	0,82	0,34	0,30	0,22	0,26	0,25	0,30	0,35	0,35	0,30	0,31	0,24	0,24	0,27	0,32
	P2		0,25	0,29	0,21	0,28	0,24	0,22	0,26	0,31	0,25	0,30	0,20	0,20	0,28	0,27
CLL	P1			0,72	0,35	0,44	0,33	0,41	0,45	0,38	0,45	0,42	0,44	0,41	0,38	0,34
	P2				0,41	0,43	0,38	0,30	0,39	0,39	0,37	0,34	0,35	0,39	0,31	0,33
CS	P1					0,67	0,42	0,30	0,39	0,39	0,33	0,34	0,35	0,32	0,31	0,30
	P2						0,39	0,35	0,41	0,41	0,35	0,39	0,37	0,41	0,35	0,34
CO	P1							0,55	0,56	0,51	0,48	0,44	0,43	0,39	0,40	0,39
	P2								0,61	0,53	0,52	0,49	0,45	0,45	0,45	0,49
CCT	P1									0,81	0,69	0,68	0,62	0,57	0,51	0,59
	P2										0,65	0,64	0,53	0,53	0,51	0,56
CCL	P1											0,72	0,45	0,57	0,58	0,52
	P2												0,49	0,56	0,54	0,62
CCÑ	P1													0,63	0,44	0,46
	P2														0,48	0,43
CP	P1															0,78
Cuencas CCH: Chancay; CLL: La Leche; CS: Salas; CO: Olmos; CCT: Cascajal-Tocto; CCL: Cascajal-Limón; CP: Piura P1: Parcela 1; P2: Parcela 2																

Figura 7. Índice de similitud florística de Sorensen y Jaccard en el área de distribución de la pava aliblanca.

Anatomía y Morfología de *Corryocactus erectus* (Backeberg) Ritter (CACTACEAE)

NORMA SALINAS REVILLA & ESTHER ALVAREZ MOSCOSO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO, PERÚ

Email: nsalinas@ouce.ox.ac.uk; techyalv@yahoo.es

RESUMEN

Se estudió la morfología y anatomía de *Corryocactus erectus* (Backeberg) Ritter con la finalidad de conocer y documentar de mejor manera las características anatómicas y morfológicas de esta especie, una de las más abundantes en la zona de estudio, y compararla con la información disponible para otras especies.

Se describen con detalle los tallos y porciones de las flores. Los resultados mostraron estomas paracíticos no abundantes, la estructura interna de los tallos presenta una hipodermis con colenquima laminar, el parénquima cortical mostró gran cantidad de espacios intercelulares para el depósito de mucílago, los haces vasculares son colaterales, con escaso crecimiento secundario. La estructura anatómica de la flor muestra la epidermis de sus tépalos normalmente papilosa, el ovario tiene una estructura vascular bien desarrollada, con gran cantidad de cavidades secretoras, el polen es tricolpado.

Palabras Clave: Cactaceae, *Corryocactus erectus*, anatomía, epidermis, parénquima, tejido vascular, fibras, tallo, flor, mucílago.

ABSTRACT

We studied the morphology and anatomy of *Corryocactus erectus* (Backeberg) Ritter with the purpose of improving the knowledge and documentation of the anatomical and morphologic characteristics of the above-mentioned species, which is abundant in the area of study. Another goal was to compare these characteristics with the available information for other species.

The stems and flowers' portions are described in detail. The results showed that paracytic stomata were not abundant; the internal structure of the stems displayed a hypodermis with tangential collenchyma cells; the parenchyma cortical showed great amounts of intercellular spaces -to deposit mucilage-; and the vascular bundles were collateral with little secondary growth. The anatomical structure of the flower's tepals had papillated epidermis; the ovary had a good vascular structure developed with great amount of secretory cavities; and the pollen was tricolpate.

Key Words: Cactaceae, *Corryocactus erectus*, anatomy, epidermis, parenchyma, vascular bundle, fibers, stem, flower, mucilage.

INTRODUCCIÓN

Los estudios en la anatomía de cactáceas son escasos, fue desde el siglo dieciséis que se iniciaron los estudios de los caracteres anatómicos en Cactaceae. La investigación se ha enfocado a caracteres relacionados con las diferentes formas y el metabolismo fotosintético de los tallos. Sin embargo, en pocos estudios las estructuras anatómicas se han empleado para caracterizar especies en detalle. Schleiden (1845) concluyó que los cactus se podrían reconocer solamente por sus estomas, ilustrando detalladamente cuatro géneros, enfatizando en la epidermis, cutícula e hipodermis; fue también el primero en describir el xilema (traqueídas) como las células imperforadas con engrosamientos anulares y helicoidales que distinguían el xilema secundario en muchas especies de cactus globosos. La presencia de estas distintivas células fue confirmado por Preston (1901) y descritas a fondo por Mauseth *et al* (1995). Metcalfe & Chalk (1950) resumieron las características anatómicas, indicando que la orientación de la apertura estomática, en relación al eje longitudinal de la planta, es de importancia taxonómica y que las diferencias en las células epidérmicas, estomas, y el parénquima, pueden distinguir especies con relaciones muy próximas.

Otros estudios se centran en el conocimiento de la anatomía de las cactáceas para diferenciar las ramas vegetativas o juveniles de aquellas maduras que portan las estructuras reproductivas (Anderson, 2001). Algunos abordan el estudio morfológico y anatómico de la zona florífera con el fin de caracterizarla y compararla con las ramas juveniles, como en el caso de *Cephalocereus senilis* (Vasquez *et al* 2005). Uno de los trabajos de anatomía que ha estudiado un gran número de especies - alrededor de 350 especies de Cactoideae - propone sintetizar la información sobre los caracteres anatómicos del tallo en Cactoideae y evaluarla desde una perspectiva filogenética, estudiando el tejido dérmico o vascular, y sugiere se realicen estudios que incluyan a la mayoría de las especies de géneros y tribus específicos (Terrazas, T. & Arias, S. 2002).

Terrazas *et al* 2005, considerado como uno de los estudios más afines al presente trata de la anatomía caulinar de 22 especies del género *Stenocereus* comparándola con otras Cactoideae, y menciona como característica del género la existencia de cuerpos de sílice en epidermis e hipodermis; además menciona que la abundancia de células de mucílago es un atributo que comparten las especies de *Stenocereus* con su taxón hermano, afirmando que la combinación de células de mucílago y cuerpos de sílice permite distinguir a las especies de *Stenocereus* de otros miembros de la familia Cactaceae. Aunque una investigación que toma en cuenta los caracteres anatómicos del tallo de un total de 29 taxones de cactáceas incluido *Corryocactus brevistylus* es el realizado por Nyffeler y Eggli (1997) quienes mencionan que la anatomía del tallo de *C. Brevistylus* presenta escaso mucílago y que el grosor de la hipodermis es de solo tres a cuatro filas de células.

Varios autores coinciden en la necesidad de un mayor número de estudios a diferentes niveles taxonómicos que incluyan características anatómicas, con la finalidad de entender la evolución de las especies de esta familia.

El área de estudio se encuentra en la microcuenca del río Lucre, ubicada en el distrito de Lucre, provincia de Quispicanchis, departamento del Cusco y forma parte de la subcuenca del

río Huatanay; se ubica entre las coordenadas 13° 34' y 13° 42' de latitud sur y 71° 42' y 71° 50' longitud oeste desde los 3000 – 3500 metros. Esta Subcuenca es considerada como la cuarta en importancia dentro del sistema de subcuencas de la cuenca media del Vilcanota. El clima de la microcuenca es seco y templado, con una temperatura que varía entre 3°C – 23.5°C durante el día, descendiendo en horas de la noche hasta los 0°C produciéndose heladas en la parte alta en los meses de abril a agosto mientras que de octubre a marzo se aprecia un clima más templado. La precipitación pluvial de 0 a 200 mm. se produce entre los meses de octubre a abril.

El material rocoso de la zona circundante demuestra que mayormente está constituido por conglomerados y areniscas conglomerádicas con cemento calcáreo, silicato, andesita, granito y cuarcita alterada. Además, se encuentran sedimentos mucho más finos constituidos por arcillas rojizas, limolitas, lidolitas con intercalaciones de materiales arenosos; es notoria la presencia de material grueso gravoso correspondiente a canales aluviales (MATTOS, 1996).

MATERIALES Y MÉTODOS

La morfología de *C. erectus* se describe a partir de la observación de ramas juveniles en estado vegetativo y ramas maduras en estado reproductivo. Los ejemplares estudiados fueron recolectados en los alrededores de la laguna de Huacarpay correspondiente a la microcuenca del río Lucre.

La morfología externa se describió sin hacer ninguna disección y se observó las características externas de la especie como distancia entre areolas, largo y ancho de las mismas, número de espinas radiales y centrales. (Fig. 1a – 1 h); se diseccionaron los tallos para medir el diámetro, número de costillas, altura y ancho de la costilla, mientras que en las observaciones anatómicas se realizaron secciones transversales y longitudinales de la base del tallo, específicamente cuello de la raíz de la parte apical del tallo (Fig. 2a – 2g) y de la sección basal de la flor (Fig. 3a - 3d).

Cada rama se cortó en segmentos de 10 cm. de grosor. En las ramas adultas se tomaron segmentos de la zona florífera. Estos segmentos se dividieron en pequeñas secciones que incluían desde las areolas hasta la médula. Los segmentos se fijaron en FAA, se siguió el protocolo para las secciones anatómicas y las muestras se incluyeron en parafina para las preparaciones microscópicas (Johanssen, 1940).

RESULTADOS

Morfología externa

Corryocactus erectus (Backeberg) Ritter, F. 1981.

Basónimo: *Erdisia erecta* Backeberg 1942.

Sinónimos: *Erdisia aureispina* Backeberg & Jacobsen H. 1957.

Erdisia ruthae Johnson H. ex Backeberg 1962.

Bolivocereus pisacensis Knize 1969.

Bolivocereus soukupii Knize 1969.

Borzacactus pisacensis (Knize) Rowley, G. 1976.

Borzacactus soukupii (Knize) Rowley 1976.

Corryocactus erectus es una planta semipostrada a erecta de hábito columnar, monopódica, de hasta 1.0 m de altura y 3 cm de ϕ , con ramas escasas que se consideran basítonas porque se originan de las areolas de la base (Fig. 1a); cuando ocasionalmente hay ramas en la parte superior, éstas se originan como respuesta al daño del meristemo apical (Fig. 1b).

Ramas verdes, con siete a nueve costillas angostas, poco prominentes, de 1 – 12 mm. de altura (Fig. 1c); areolas de 2-3 mm. de ϕ , de circulares a elípticas, separadas entre sí 9-13 mm. (Fig. 1d); las espinas radiales son más pequeñas y delgadas que las centrales, en cada areola se observan ocho a dieciocho espinas desiguales de hasta 2 cm. de largo y abundante pubescencia de color blanquecino cubriendo la areola.

Cuando la planta alcanza la madurez se observa el desarrollo de las flores apicales o laterales (Fig. 1e-1f) de color carmín-escarlata, 2.5 a 4 cm. de largo, con abundantes estambres (Fig. 1g). Fruto es una baya jugosa de rojo claro, a 2 cm. de ϕ , con abundantes semillas (Fig. 1h).

Anatomía

En la epidermis, la cutícula es relativamente gruesa, lisa y se deposita entre las paredes periclinales de las células. La epidermis es simple y está conformada por células cuadradas o rectangulares, con las paredes periclinales más largas que las anticlinales (Fig. 2a), en algunos casos ligeramente oblicua, en el interior de la mayoría de las células se observan cuerpos de sílice ligeramente redondeados. Los estomas son paracíticos con dos a tres pares de células subsidiarias y las células oclusivas se localizan al mismo nivel del resto de las células epidérmicas (Fig. 2b).

La hipodermis está formada por colenquima laminar depositado en tres a cuatro hileras de células. Las paredes periclinales muestran el engrosamiento colenquimatoso. Los cuerpos de sílice son más escasos que en las células epidérmicas. Las células de la hipodermis solamente se ven interrumpidas por las cámaras subestomáticas que atraviesan todos sus estratos hasta llegar incluso al parénquima cortical (Fig. 2a). La corteza primaria está formada por dos regiones: parénquima fotosintético y reservante. Las células de la zona más cercana a la hipodermis tienen forma verticalmente alargada y tienden a formar hileras radiales de entre cinco a nueve estratos. Estas células tienen muchos cloroplastos, por lo que reciben el nombre de parénquima fotosintético o clorénquima (Fig. 2c). Sin embargo, en la zona cortical secundaria, más específicamente del cuello de la raíz, se aprecian menos cloroplastos y las células parenquimáticas tienden a ser más cortas (Fig. 2a). La región reservante se caracteriza, en ambas estructuras, primaria y secundaria, por la forma más o menos isodiamétrica que tienen sus células y con gran cantidad de cavidades de mucílago muy definidas en la estructura secundaria (Fig. 2d). En esta región aparte de las células idioblásticas no se aprecian haces vasculares corticales.

El tejido vascular primario muestra una estela del tipo eustela presentando un cilindro de veintisiete o treinta haces colaterales discontinuos, separados por radios medulares uni o

multicelulares. Se presentan fibras en algunos casos escasas, sobre el floema primario (Fig. 2e), el cual está constituido por elementos de tubo criboso, células acompañantes y escasas células de parénquima floemático. El xilema primario consta de hasta siete elementos de vaso con paredes anilladas, helicoidales y reticuladas, con placas de perforación simples (Fig. 2f), los haces vasculares nunca son anfvasales (Fig. 2e). El parénquima medular está formado por células de formas isodiamétricas con escasas o nulas cavidades de mucílago y no se observaron haces medulares.

Si en el crecimiento primario el sistema vascular se disponía en haces separados formando un cilindro discontinuo, en el secundario se forma un cilindro continuo debido al gran desarrollo de fibras xilemáticas. No se forma cambium interfascicular, sino sólo fascicular y el crecimiento secundario queda limitado a los haces vasculares.

El crecimiento secundario en estos haces corticales se distingue por la presencia de floema colapsado y no colapsado. A diferencia del floema primario éste presenta escasas fibras y algunas esclereidas. El xilema secundario se compone de un número variable de elementos de vaso más escasos que en el xilema primario y se encuentran embebidos en una matriz fibrosa, hay presencia de radios medulares uni y multicelulares. La médula presenta células isodiamétricas y algunas cavidades de mucílago.

En la estructura anatómica de las flores se aprecia que los tépalos al igual que en otras flores presenta una epidermis papilosa e internamente un parénquima pigmentado. Se observó que el ovario presenta una epidermis estigmática bien diferenciada al igual que la pared ovárica, amplias cavidades secretoras y alrededor de ocho a diez haces vasculares laterales y uno más grande central (Fig. 3a). Los estambres abundantes contienen gran cantidad de polen tricolpado (Fig 3 b, 3c).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los caracteres anatómicos y morfológicos de la especie estudiada permiten una comparación escasa a nivel de estructura primaria y secundaria del tallo de *C. erectus*, por lo que se utilizarán los resultados de trabajos afines para la discusión.

La corteza primaria está formada por dos regiones: parénquima fotosintético y reservante, el parénquima fotosintético está ampliamente diferenciado y contiene abundantes cloroplastos, mientras que en la zona cortical secundaria es semejante al parénquima de empalizada y en algunas secciones está notoriamente reducido, pero ambas presentan gran cantidad de cavidades mucilaginosas mejor diferenciadas en la estructura secundaria.

El tejido vascular primario muestra los haces vasculares discontinuos mientras que en el secundario es una estructura continua con gran cantidad de fibras xilemáticas. El floema primario presenta más fibras que el secundario. El floema en la estructura primaria no está colapsado, en cambio en la secundaria se aprecian espacios colapsados. El parénquima medular en la estructura primaria no contiene cavidades secretoras, en cambio en el secundario sí se aprecian éstas pero no en abundancia.

Comparando con el trabajo de Nyffeler, R. & Eggli, U. (1997) la estructura de *C. brevistylus* muestra que la epidermis tiene el mismo grosor pero la diferencia está en que *C. erectus*

tiene abundante mucílago en la zona cortical mientras que se reportó escaso mucílago para *C. brevistylus*.

En comparación con la estructura anatómica de algunas especies de *Stenocereus*, se puede establecer una semejanza en cuanto al tipo de estomas ya que ambos estudios muestran estomas paracíticos, ubicados al mismo nivel del resto de las células epidérmicas. La hipodermis observada en ambos estudios también fue colenquimatosa variando solamente en el número de capas, también reportada para otras especies de Cactoideae (Loza-Cornejo & Terrazas 2003). De acuerdo al trabajo de Terrazas *et al.* (2005) el número de estratos en la hipodermis es un atributo que permitió distinguir dos grupos de especies. El primero con menos de seis capas de células (*S. alamosensis*, *S. beneckei*, *S. eruca*, *S. gummosus*, *S. kerberi*, *S. quevedonis*, *S. standleyi*) y el segundo agrupó al resto de las especies con más de siete capas celulares en la hipodermis. La especie del presente estudio presentó una hipodermis menos desarrollada que las especies citadas de *Stenocereus*.

De acuerdo a los estudios de Arreola-Nava (2000); Terrazas & Loza-Cornejo (2002), la presencia de los cuerpos de sílice fue una de las sinapomorfías que definieron al género *Stenocereus* como un grupo monofilético; en nuestro caso también se observaron cuerpos de sílice; sería interesante confirmar si otras especies de *Corryocactus* también los presentan ya que según Loza-Cornejo & Terrazas (2003), sólo se han reportado cuerpos de sílice en otras dos especies de cactáceas, *Echinocereus pensilis* y *Wigginsia tephraantha* (Monje & Baran 2000).

La zona cortical fue similar a la presentada en otras especies de Cactoideae con las típicas regiones de clorénquima y parénquima reservante (Sajeva & Mauseth 1991; Terrazas & Loza-Cornejo 2002; Terrazas & Mauseth 2002). A diferencia de *Stenocereus*, en *Corryocactus* no se observaron haces vasculares corticales pero sí abundancia de células que contienen mucílago. Según Terrazas *et al.* (2005) la abundancia de células de mucílago bajo la región del clorénquima también se podría emplear en futuros estudios para apoyar la monofilia del grupo de *Stenocereus*.

Según Mauseth & Kiesling (1997). La presencia de esclerénquima en el floema secundario colapsado (no funcional) fue un atributo que las especies de *Stenocereus* compartieron con *Neoraimondia* y *C. erectus*.

Concluimos que *C. erectus* muestra características que permiten asociarlo y diferenciarlo de las especies de otros géneros por presentar abundantes cavidades mucilaginosas y cuerpos de sílice en la epidermis, variación en el número de capas de la hipodermis así como la presencia de cavidades secretoras en la estructura floral. Consideramos que sería importante también establecer si existe una diferenciación en el número de células subsidiarias que rodean al estoma, entre especies o géneros de cactáceas.

Por todo lo observado sería interesante estudiar más profundamente la estructura anatómica y morfológica de las especies de cactáceas para establecer semejanzas y diferencias y relacionar éstas con la filogenia y/o evolución.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Carlos Ostolaza por el apoyo brindado para la realización de esta investigación y por ser nuestro inspirador para el estudio de las cactáceas.

LITERATURA CITADA

- Anderson, E.F. 2001. The Cactus Family. Timber Press. Portland Oregon.
- Arias, S., Terrazas, T. & Cameron, K. 2003. Phylogenetic análisis of *Pachycereus* (Cactaceae, Pachycereeae) based on chloroplast and nuclear DNA sequences. Systematic Botany 28: 547-557.
- Barthlott, W. & Hunt, D.R. 1993. Cactaceae. In: Kubitzki, K. (ed.), The families and genera of vascular plants 2: 161-197. Springer-Verlag. Berlin.
- Bernal-Salazar, S. & Terrazas, T. 2005. Wood anatomical variation of *Neobuxbaumia tetetzo*: a columnar Cactaceae. Journal of Arid Environments 63: 671-685.
- Eggli, U. 1984. Stomatal types of Cactaceae. Plant Systematics and Evolution 146: 197-214.
- Esau, K. 1959. Anatomía Vegetal. Ed. Omega. Barcelona
- Fahn, A. 1974. Anatomía Vegetal. Ed. Blume. España.
- Paniagua, R. Nistal, M., Sesma, P., Álvarez-Uría & M., Fraile, B. 1993. Citología e Histología Vegetal y Animal. Ed. Edigrafos. España
- Johansen, D. A. 1940. Plant microtechnique. MacGraw Hill. New York.
- Loza-Cornejo, S. & Terrazas, T. 2003. Epidermal and hypodermal characteristics in North American Cactoideae (Cactaceae). Journal of Plant Research 116: 27-35.
- Mauseth, J.D. 1989. Comparative structure-function studies within a strongly dimorphic plant, *Melocactus intortus* (Cactaceae). Bradleya 7: 1-11.
- Mauseth, J.D. 1999. Comparative anatomy of *Espostoa*, *Pseudoespostoa*, *Thrixanthocereus*, and *Vatricania* (Cactaceae). Bradleya 17: 33-43.
- Mauseth, J.D. & Ross, R.G. 1988. Systematic anatomy of the primitive ceroid cactus *Lep-tocereus quadricostatus*. Bradleya 6: 49-64.
- Nyffeler, R. & Eggli, U. 1997. Comparative Stem Anatomy and Systematics of *Eriosyce sensu lato* (Cactaceae). Annals of Botany 80: 767-786.
- Terrazas, T. & Arias, S. 2002. Comparative stem anatomy in the subfamily Cactoideae. The Botanical Review 68: 444-473.
- Terrazas, T. & Mauseth, D.J. 2002. Shoot anatomy and morphology. In: Nobel, P. (ed.), Cacti: Biology and uses: 23-40. California University Press. Berkeley.
- Terrazas, T., Loza-Cornejo, S., Arreola-Nava, H. 2005. Anatomía caulinar de las especies del genero *Stenocereus* (Cactaceae) Acta Bot. Venezuelica. v.28 n.2 Caracas.
- Vázquez-Sánchez, M., Terrazas, T. & Arias, S. 2005. Morfología y anatomía del cefalio de *Cephalocereus senilis* (Cactaceae) Anales del Jardín Botánico de Madrid 62(2): 153-161.



Figura 1a
Tallos sin ramificación.



Figura 1b
Tallos ramificados como respuesta a posibles perturbaciones.

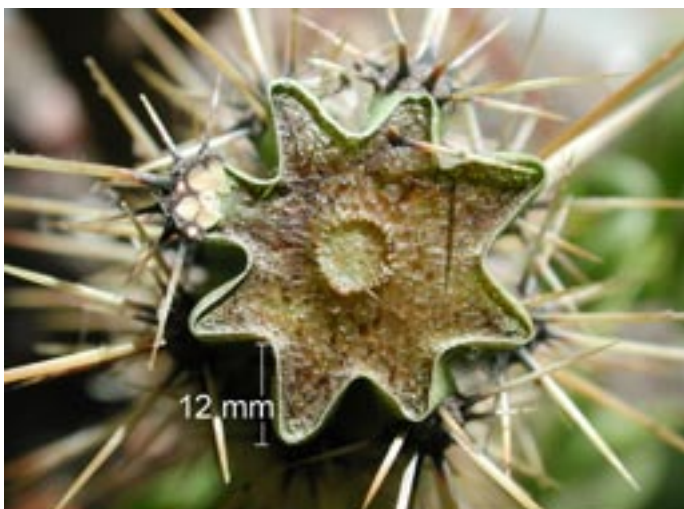


Figura 1c
Tallo mostrando el tamaño y el número de costillas.



Figura 1d
Areolas y espinas (radiales y
centrales).



Figura 1f
Flores apicales.



Figura 1e
Flores laterales.



Figura 1g
Flores con numerosos estambres.



Figura 1h
Fruto baya muestra las numerosas semillas.

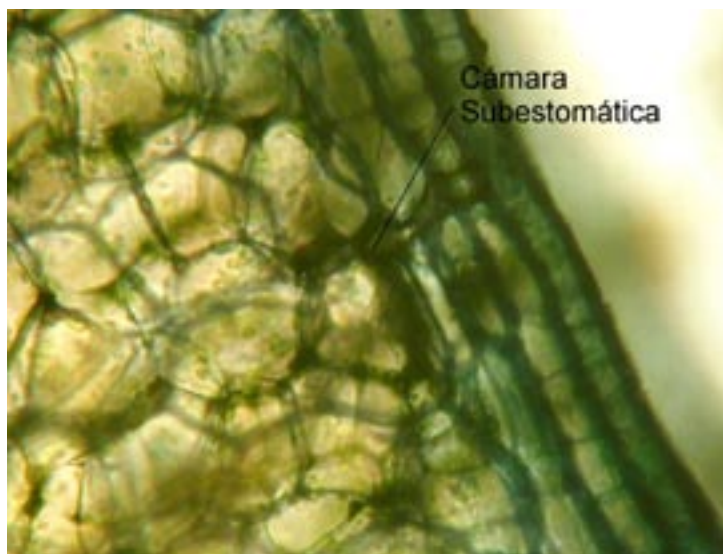


Figura 2a

Epidermis simple de formas rectangulares, hipodermis con colenquima laminar dispuesto en 3 filas, parénquima cortical mostrando la cámara subestomática.

Figura 2b

Estomas paracíticos rodeados de dos células subsidiarias.

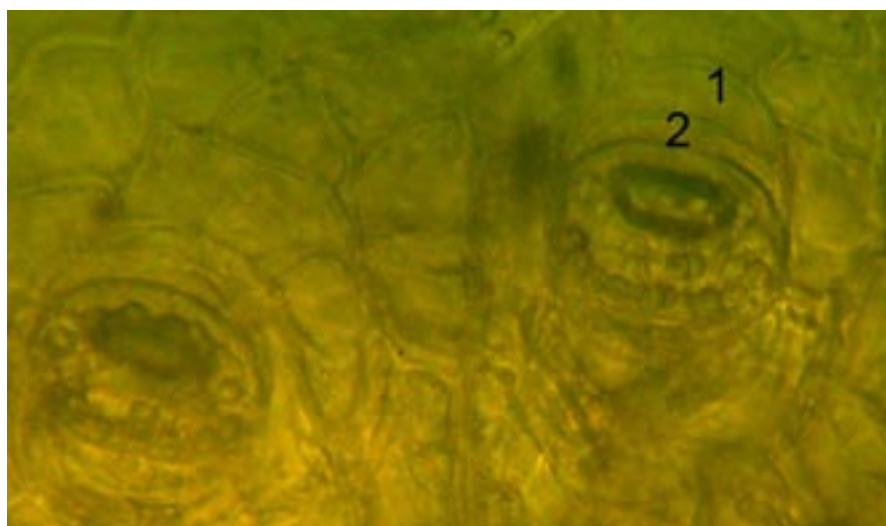
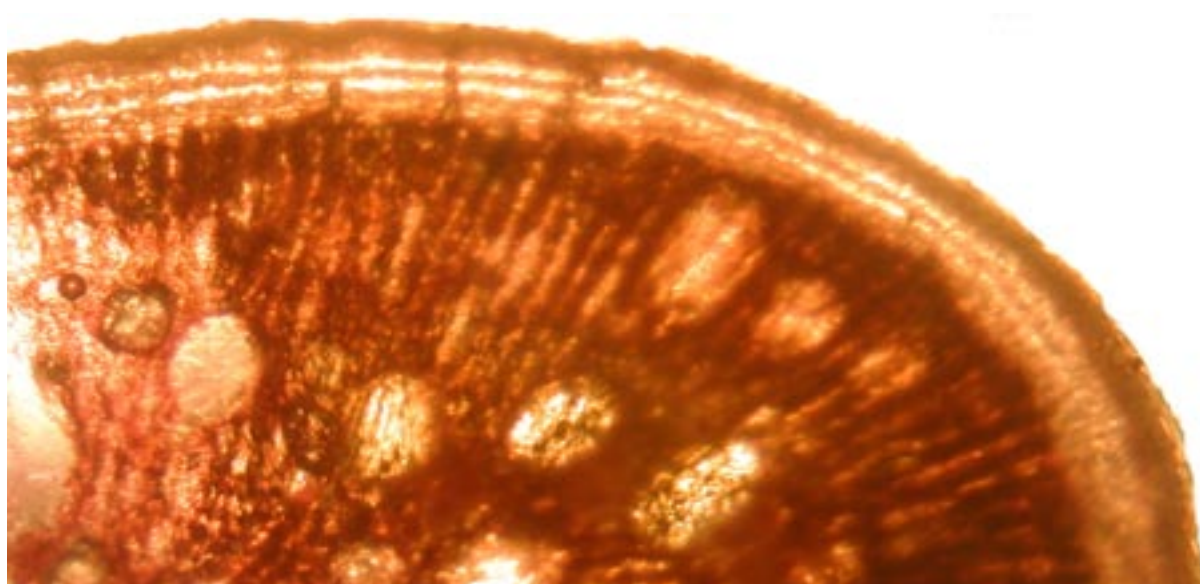


Figura 2c

Parénquima fotosintético, células verticalmente alargadas dispuestas en varias filas.



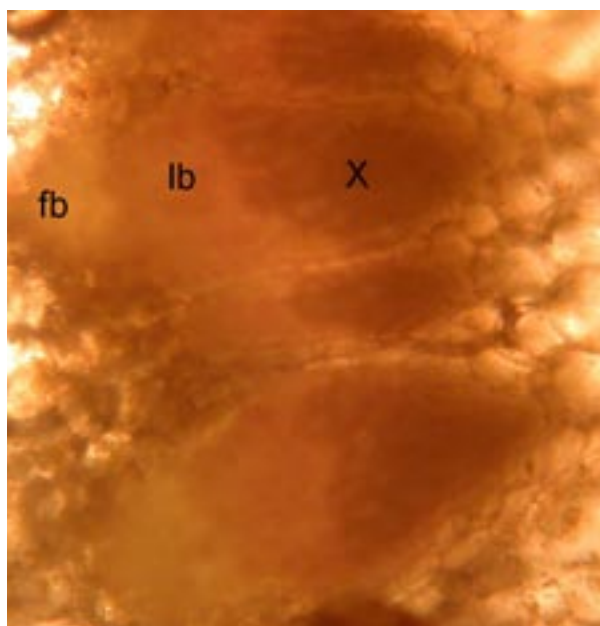


Figura 2d
Camara mucilaginosa.

Figura 2e
Tejido vascular con fibras ex-
traxilemáticas (fb) próximas al
floema (lb; xilema (x).

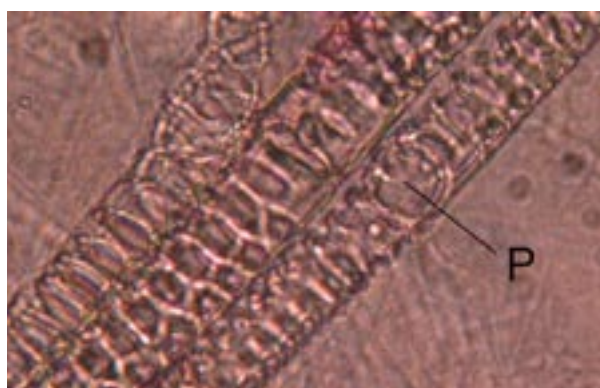
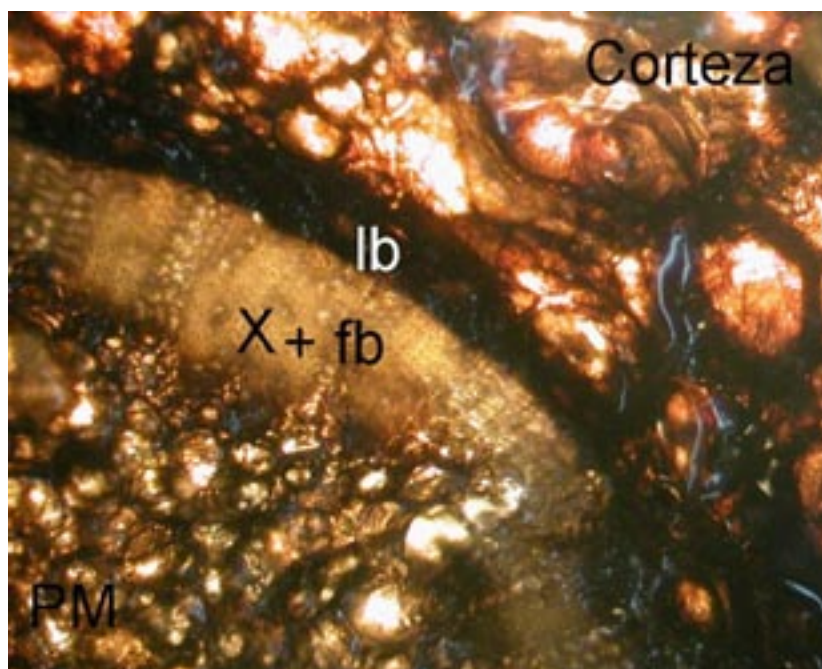


Figura 2f
Traqueas del xilema, se observa una placa de per-
foración simple (P).

Figura 3a
Flor vista del ovario y anteras.

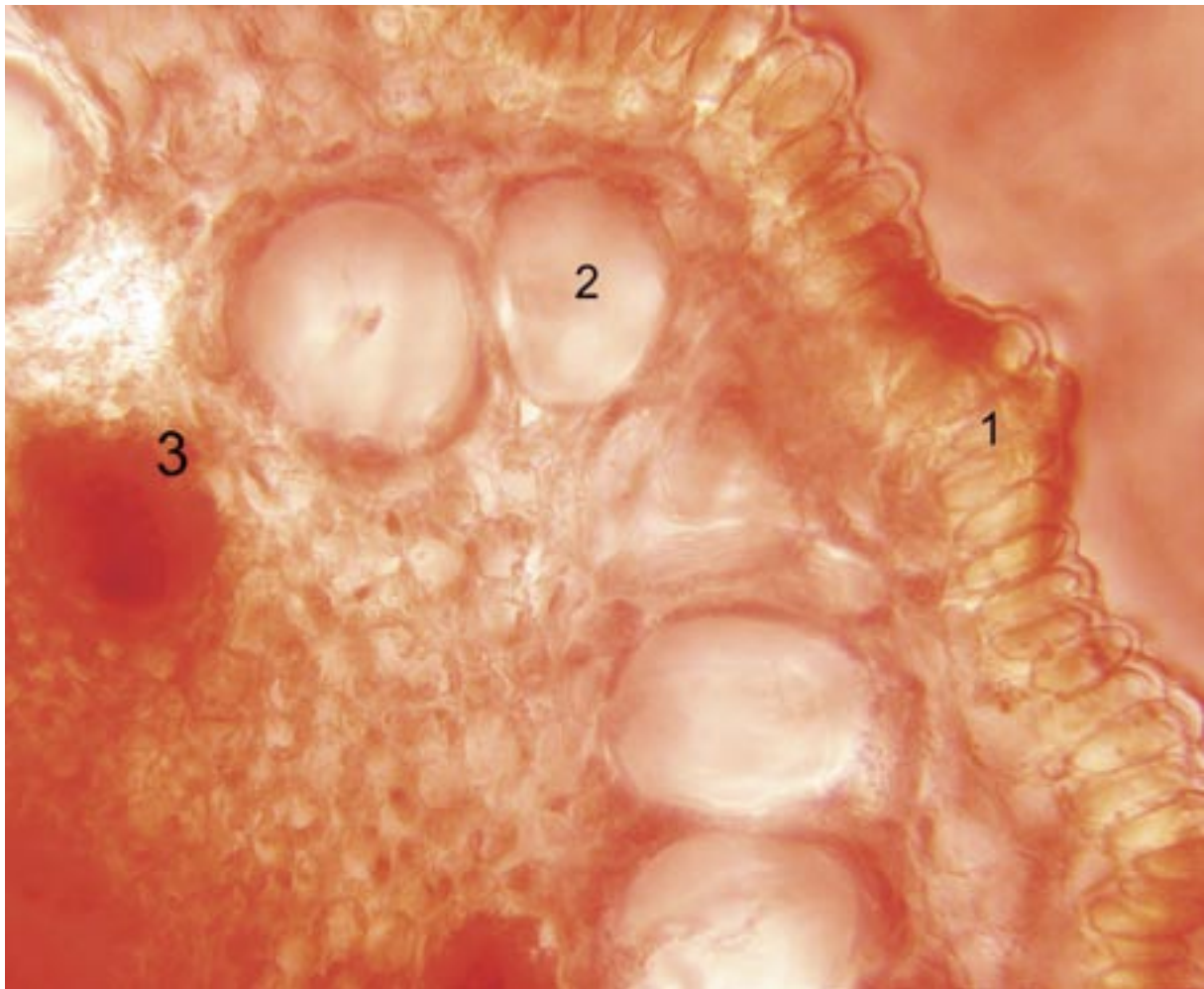
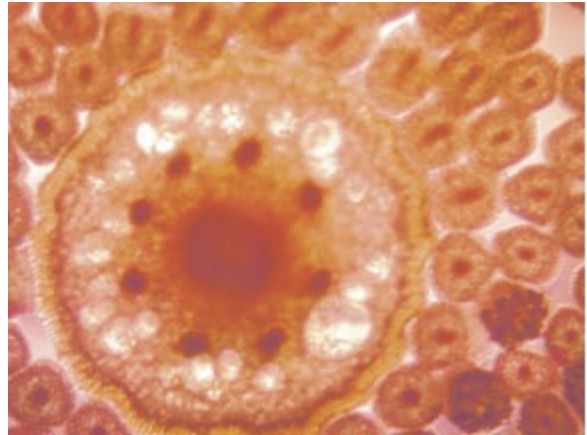


Figura 3b
Ovario (1 pared ovárica, 2 cavidad secretora, 3 tejido vascular).

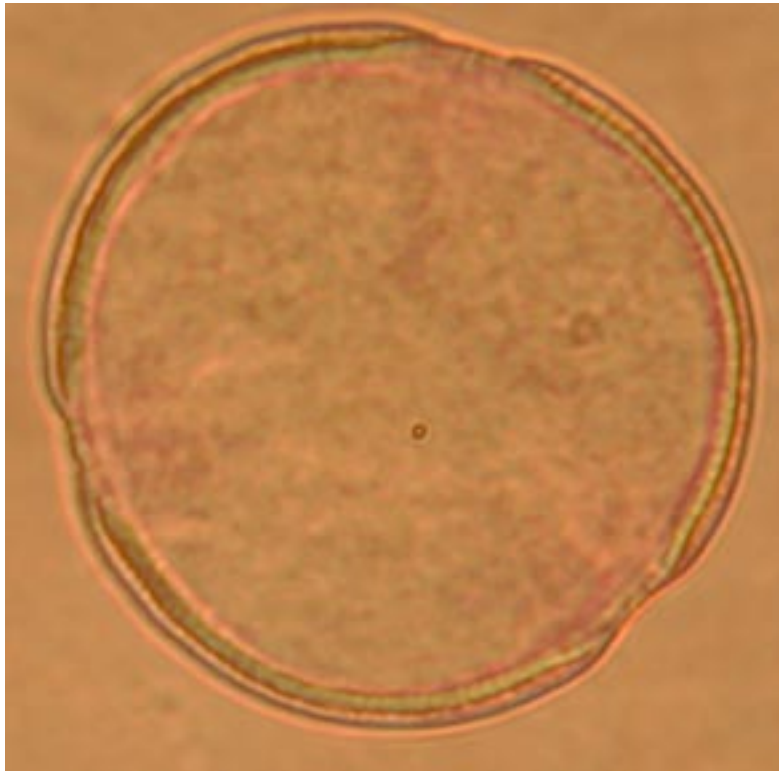


Figura 3c
Polen tricolpado vista polar.



Figura 3d
Polen tricolpado vista ecuatorial.

Taxonomía, Ecología y Conservación *Ex Situ* de las Cactáceas de Lima

ALDO CERONI STUVA ¹, NATALIA CALDERÓN MOYA-MÉNDEZ ² Y VIVIANA CASTRO CEPERO ³

JARDÍN BOTÁNICO “OCTAVIO VELARDE NÚÑEZ”. DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA. FACULTAD DE CIENCIAS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, LIMA, PERÚ

⁽¹⁾Email: aceroni@lamolina.edu.pe

RESUMEN

El proyecto “Taxonomía, Ecología y Conservación *Ex situ* de las Cactáceas de Lima”, iniciado el año 2001, tiene como objetivos principales promover la conservación *ex situ* de cactáceas endémicas del Perú y constituir un banco de germoplasma para trabajos de investigación, divulgación y reintroducción de especies en sus hábitats naturales. Se ha evaluado, registrado y colectado especímenes de cactus en los valles del Chillón, Rímac, Lurín, Huaura y Pativilca, con fines de conservación en el cactario del Jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez” de la UNALM. Asimismo, se han desarrollado estudios de taxonomía del género *Haageocereus* para Lima y otros más puntuales de taxonomía y ecología en el cerro Umarkata y en la quebrada Orobel, en Santa Rosa de Quives, cuenca baja del río Chillón. El presente artículo da a conocer los principales avances obtenidos en el proyecto, tanto en taxonomía, ecología y conservación *ex situ*.

Palabras Clave: Taxonomía, Ecología, Conservación *Ex Situ*, Cactáceas.

ABSTRACT

*The Project “Taxonomy, Ecology and Ex situ Conservation of the Cactaceae from Lima”, initiated in 2001, has as main objectives to promote the ex situ conservation of endemic Peruvian cacti and to build a germoplasm bank as base of research works, scientific communications and species re-introduction to their natural habitats. Cactus specimens from the Chillón, Rímac, Lurín, Huaura and Pativilca valleys have been evaluated, registered and collected for conservation purposes in the “Octavio Velarde Núñez” Botanic Garden at UNALM. In addition, more specific taxonomic studies have been undertaken for the genus *Haageocereus* in Lima as well as other taxonomic and ecological studies in the Umarkata Hill and Oropel basin in Santa Rosa de Quives, in the lower watercourse of Chillón valley. The present article comprises the progress obtained in the project, either in the taxonomy, ecology and the ex situ conservation.*

Key Words: Taxonomy, Ecology, Ex situ Conservation, Cactaceae.

La Familia Cactaceae en el Perú está representada por 34 géneros y más de 255 especies (Hunt, 1999). Estas plantas están distribuidas en casi todos los ecosistemas, desde los desiertos costeros, vertiente occidental, puna, valles interandinos llegando exitosamente al bosque tropical amazónico, por lo que presentan una gran diversidad de adaptaciones, diversidad que hace posible que el Perú albergue una considerable tasa de géneros y especies endémicas (Calderón, 2003).

Las Cactáceas conforman los elementos característicos en la formación vegetal conocida como Piso de Cactáceas Columnares, formación xerofítica dominada por arbustos y cactáceas columnares, ubicada entre los 1000 y 2700 msnm al centro y entre los 1700 y 3400 msnm al sur de la vertiente occidental (Weberbauer, 1945).

En los ecosistemas áridos a lo largo de los diferentes valles de Lima las cactáceas columnares se presentan como una de las formaciones vegetales dominantes y sus especies juegan un rol vital en el flujo de energía como eje principal de todos los procesos y en la cadena trófica de una serie de organismos, al constituir la cobertura vegetal dominante (Ceroni & Castro, 2006).

Sin embargo, la destrucción del hábitat natural de las cactáceas en Lima, debido a la expansión urbana y contaminación ambiental, está causando la pérdida de muchas especies endémicas.

Es dentro de este contexto que, desde el año 2001, el Jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez”, el Laboratorio de Control Biológico y Ecología de Artrópodos y el Herbario Weberbauer de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), conjuntamente con la Sociedad Peruana de Cactáceas y Suculentas (SPECS), vienen realizando el proyecto “Taxonomía, Ecología y Conservación *Ex situ* de las Cactáceas de Lima”, con los siguientes objetivos:

Determinar taxonómicamente las especies y subespecies de las cactáceas de los valles de Lima; elaborar claves de determinación de las especies y subespecies, describirlas e ilustrarlas; elaborar un herbario de las cactáceas de Lima; determinar las relaciones ecológicas existentes, así como la flora acompañante de las comunidades de cactáceas en Lima; determinar su estado de conservación y categorización; promover la conservación *ex situ* de cactáceas peruanas en el Jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez” de la UNALM, e implementar un cactario en el Jardín Botánico de La Molina. En el presente artículo se presentan los principales avances dentro de proyecto, tanto en taxonomía, ecología y conservación *ex situ*.

TAXONOMÍA

En este aspecto se ha realizado en primer lugar un “Estudio taxonómico del género *Haegeocereus* en el Departamento de Lima”, en el cual se estudió la taxonomía, distribución y estado de conservación del género. Las plantas fueron colectadas en 12 localidades ubicadas en las provincias de Canta, Huaral, Huaura, Huarochirí, Lima y Oyón, entre los 180 y 2500 msnm.

Se elaboraron las respectivas claves de determinación, así como las descripciones e ilustraciones de un total de 12 taxones y 2 formas (Figura 1). La especie con menor distribución

correspondió a *H. tenuis*, la cual, por la alta vulnerabilidad de su único hábitat, en el Km. 118 de la carretera Panamericana Norte, se encuentra seriamente amenazada (Figura 2) (Calderón, 2003; Calderón *et al.*, 2004).

Asimismo, se realizó un estudio de “Taxonomía de la Familia Cactaceae en el valle del río Chillón, Lima: cerro Umarcata y quebrada Orobel”, zonas ubicadas en la cuenca baja del río Chillón; el cerro Umarcata a 1260 msnm. (Figura 3) y la quebrada Orobel a 1380 msnm. en la provincia de Canta.

Se determinó un total de 9 especies: 2 Opuntioideae: *Austrocylindropuntia pachypus* y *Cumulopuntia sphaerica* y 7 Cereoideae: *Cleistocactus acanthurus* subsp. *faustianus*; *Espostoa melanostele*; *Haageocereus acanthus*; *Haageocereus pseudomelanostele* subsp. *aurespinus*; *Melocactus peruvianus*; *Mila nealeana* y *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora*. También se elaboraron las respectivas claves de determinación y las descripciones e ilustraciones de cada uno de los taxones (Figuras 4 y 5) (Castro, 2006; Ceroni & Castro, 2006).

ECOLOGÍA

En cuanto a la ecología, por un lado se ha realizado un estudio de “Fenología del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza y su relación con la visita de la hormiga *Camponotus* sp. (Hymenoptera: Formicidae) en el valle del río Chillón” (Figura 6). Estudio realizado en el cerro Umarcata, para lo cual se marcaron 15 plantas adultas donde se evaluó el estado fenológico y el número total de hormigas sobre cada uno de los botones florales durante un año (Figuras 7 y 8).

Se encontró que existe una asociación entre el número de botones florales producidos y el número de hormigas visitantes que se intensifica durante los meses de abril, julio, octubre y noviembre la que se hace más débil durante los meses restantes, lo que podría responder a la oferta de alimento y a factores abióticos como la temperatura y la humedad relativa (Novoa *et al.*, 2003; Novoa, 2005; Novoa *et al.*, 2005a, 2005b y 2005c).

Por otro lado, también se ha hecho un estudio de “Análisis de la diversidad de la comunidad de cactáceas y su relación con los factores edáficos en el valle del río Chillón, Lima: cerro Umarcata y quebrada Orobel”. En este caso se realizó un muestreo en 14 parcelas cuadradas de 15 metros de lado, en cada zona. Se tomaron muestras de suelo para determinar la concentración de potasio, fósforo, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y porcentaje de carbonato de calcio. Los valores de diversidad del cerro Umarcata se encuentran entre 0.75 a 1.789 bits/individuo, mientras que en la quebrada Orobel de 1.22 a 1.88 bits/individuo (Figura 9). En esta última, la diversidad específica y la equidad son mayores, por lo que se considera una comunidad más estable y organizada. El fósforo y el potasio se constituyen como uno de los factores limitantes en el crecimiento de los cactus en la comunidad, y la conductividad eléctrica se relaciona con la diversidad, debido a que ésta mide la salinidad del suelo (Teixeira *et al.*, 2004; Teixeira, 2006).

CONSERVACIÓN *EX SITU*

Durante la realización de los estudios antes mencionados se ha estado colectando especímenes de cactáceas en los valles del Chillón, Rímac, Lurín, Huaura y Pativilca (Ostolaza *et al.*, 2003; 2005; 2006), a fin de implementar el Cactario del Jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez” de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Figura 10). La colección conserva alrededor de 65 taxones, correspondientes a 16 géneros, 35 especies, 11 subespecies, 2 formas y un híbrido, muchos de los cuales son endémicos.

En el cactario se encuentran algunas especies que, de acuerdo a la IOS, se clasifican en estado vulnerable (VU) como *Armatocereus matucanensis*, *Browningia candelaris*, *Haageocereus acranthus*, *H. acranthus* subsp. *olowinskianus* y *H. pseudomelanostele* subsp. *carminiflorus*, de Peligro (EN) como *Cleistocactus acanthurus*, *C. acanthurus* subsp. *pullatus*, *Mila caespitosa* y *Haageocereus pseudomelanostele* y otras en Peligro Crítico (CR) como *Cleistocactus xylorhizus*, *Haageocereus pseudomelanostele* subsp. *setosus*, *H. repens* y *H. tenuis* (Figuras 11 y 12) (Ceroni *et al.*, 2004).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Dra. Inés Redolfi Pivatto, Dr. Carlos Ostolaza Nano, Mg.Sc. Vanessa Teixeira Roth y Blgo. Sidney Novoa Sheppard, investigadores en el presente proyecto, así como a los estudiantes de Biología de la UNALM que colaboraron en la toma de datos. Esta investigación fue financiada por el Fondo Especial de Desarrollo Universitario (FEDU) de la Universidad Nacional Agraria La Molina y la British Cactus & Succulent Society (BCSS) a través de la Sociedad Peruana de Cactus y Suculentas (SPECs).

LITERATURA CITADA

- Calderón, N. 2003. Estudio taxonómico del género *Haageocereus* (Familia Cactaceae) en el Departamento de Lima. Tesis para optar el Título de Bióloga. UNALM. 86 p.
- _____, A. Ceroni & C. Ostolaza. 2004. Distribución y estado de conservación del género *Haageocereus* (Familia Cactaceae) en el departamento de Lima. Perú. Ecología Aplicada. 3 (1 y 2):17–22.
- Castro, V. 2006. Taxonomía de la familia Cactaceae en el valle de río Chillón, Lima: cerro Umarcata y quebrada Orobel. Tesis para optar el Grado Académico de Magíster Scientiae. UNALM. 98 p.
- Ceroni, A.; V. Castro; N. Calderón & S. Novoa. 2004. Cactario del Jardín Botánico “Octavio Velarde Núñez” de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Quepo. 18:34–38
- _____, & V. Castro. 2006. Los cactus del cerro Umarcata. Lima. Canta. Perú. Revista de Biología Augusto Weberbauer. 9:15–18.
- Hunt D. 1999. Cites Cactaceae Checklist. 2da edición. 315 p.
- Novoa, S. 2005. Fenología del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza (Cactaceae) y su relación con la visita de la hormiga *Camponotus* sp. (Hymenoptera: Formicidae) en el valle del río Chillón, Lima-Perú. Tesis para optar el Título de Biólogo. UNALM. 67 p.

- _____, V. Castro; A. Ceroni & I. Redolfi. 2003. Relación entre la hormiga *Camponotus* sp. (Hymenoptera: Formicidae) y una comunidad de cactus (Cactaceae) en el valle del río Chillón. *Ecología Aplicada*. 2 (1):69–73.
- _____, A. Ceroni & C. Arellano. 2005a. Contribución al conocimiento de la fenología del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza (Cactaceae) en el valle del río Chillón, Lima-Perú. *Ecología Aplicada*. 4 (1 y 2):35–40.
- _____, I. Redolfi & A. Ceroni. 2005b. Patrón de actividad diario de la hormiga *Camponotus* sp. en los botones florales del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza. *Ecología Aplicada*. 4 (1 y 2):77–81.
- _____, I. Redolfi; A. Ceroni & C. Arellano. 2005c. El forrajeo de la hormiga *Camponotus* sp. en los botones florales del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza (Cactaceae). *Ecología Aplicada*. 4 (1 y 2):83–90.
- Ostolaza, C.; A. Ceroni; G. Dreyfus; N. Calderón & S. Novoa. 2003. Cacti of the Huaura river valley, Perú – a conservation survey. *British Cactus & Succulent Journal*. 21(2):87–97.
- _____, A. Ceroni; N. Calderón & S. Novoa. 2005. The Huaura valley, Lima, Peru – revisited. *British Cactus & Succulent Journal*. 23(1): 25–33.
- _____, A. Ceroni; N. Calderón; E. Alvarez; J. Zapata; J. Cortéz & L. Salinas. 2006. Cacti of the Pativilca river basin, Lima, Peru. *Cactus World BCSS*. 24(3): 117–128.
- Teixeira, V. 2006. Análisis de la diversidad de la comunidad de cactáceas y su relación con los factores edáficos en el valle del río Chillón, Lima: cerro Umarcata y quebrada Orobel. Tesis para optar el Grado Académico de Magíster Scientiae. UNALM. 75 p.
- _____, V. Castro; A. Ceroni & R. Eyzaguirre. 2004. Diversidad y densidad de la comunidad de cactáceas en el valle del río Chillón: cerro Umarcata y quebrada Orobel y su relación con los factores edáficos. *Ecología Aplicada*. 3 (1 y 2): 1–8.
- Weberbauer A. 1945. El mundo vegetal de los Andes Peruanos: Estudio fitogeográfico. 2da Edición. Estación Experimental Agrícola de La Molina. Dirección de Agricultura. Ministerio de Agricultura. Lima. 776 pp.

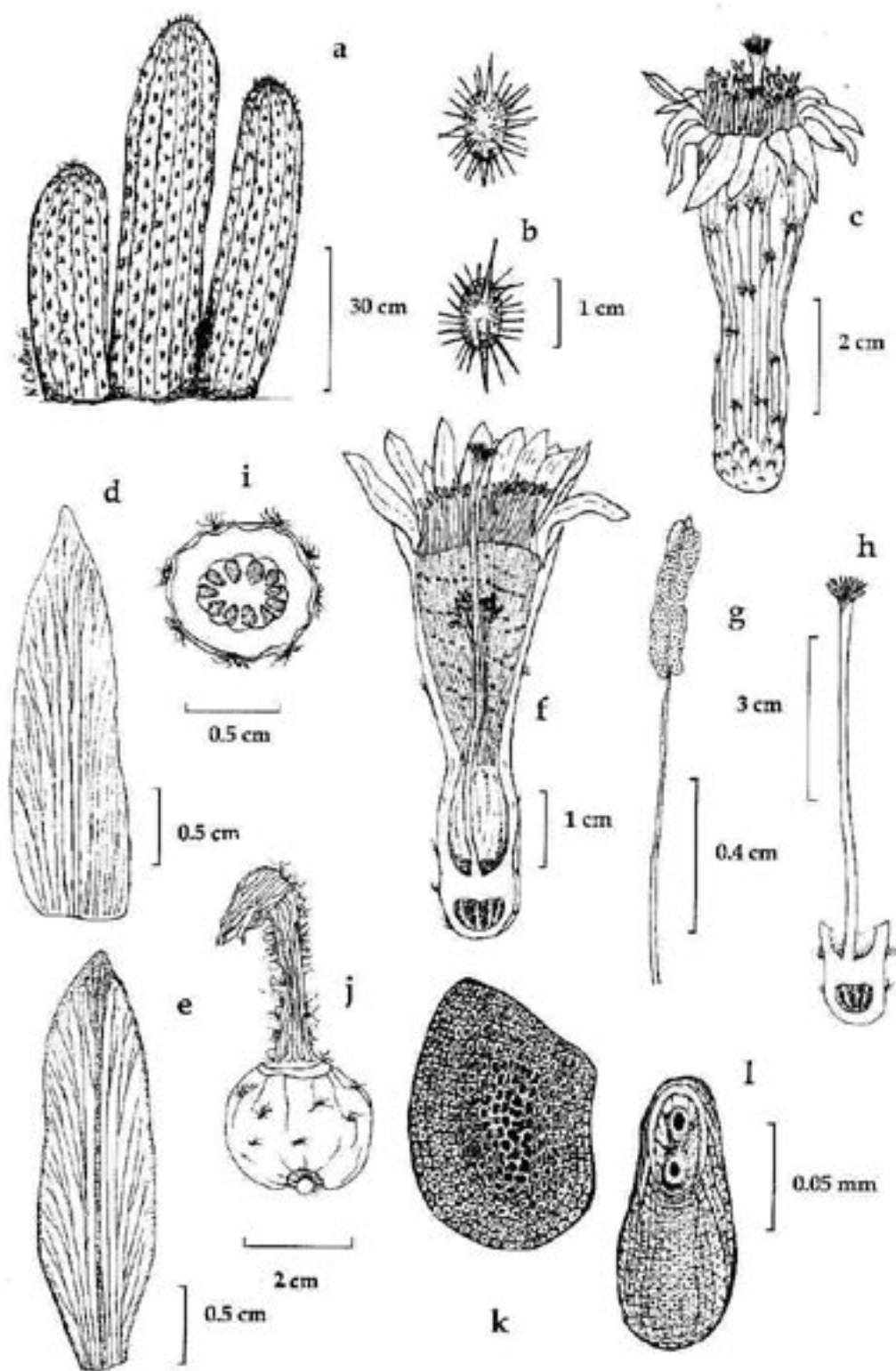


Figura 1. *Haageocereus acranthus* (Vaupel) Backeberg. a. Hábito; b. Areolas; c. Flor; d. Tépalos sepaloides; e. Tépalos petaloide; f. Secc. long. de la flor; g. Estambre; h. Gineceo; i. Secc. transv. del ovario; j. Fruto; k. Vista lat. de la semilla; l. Vista hilar de la semilla.

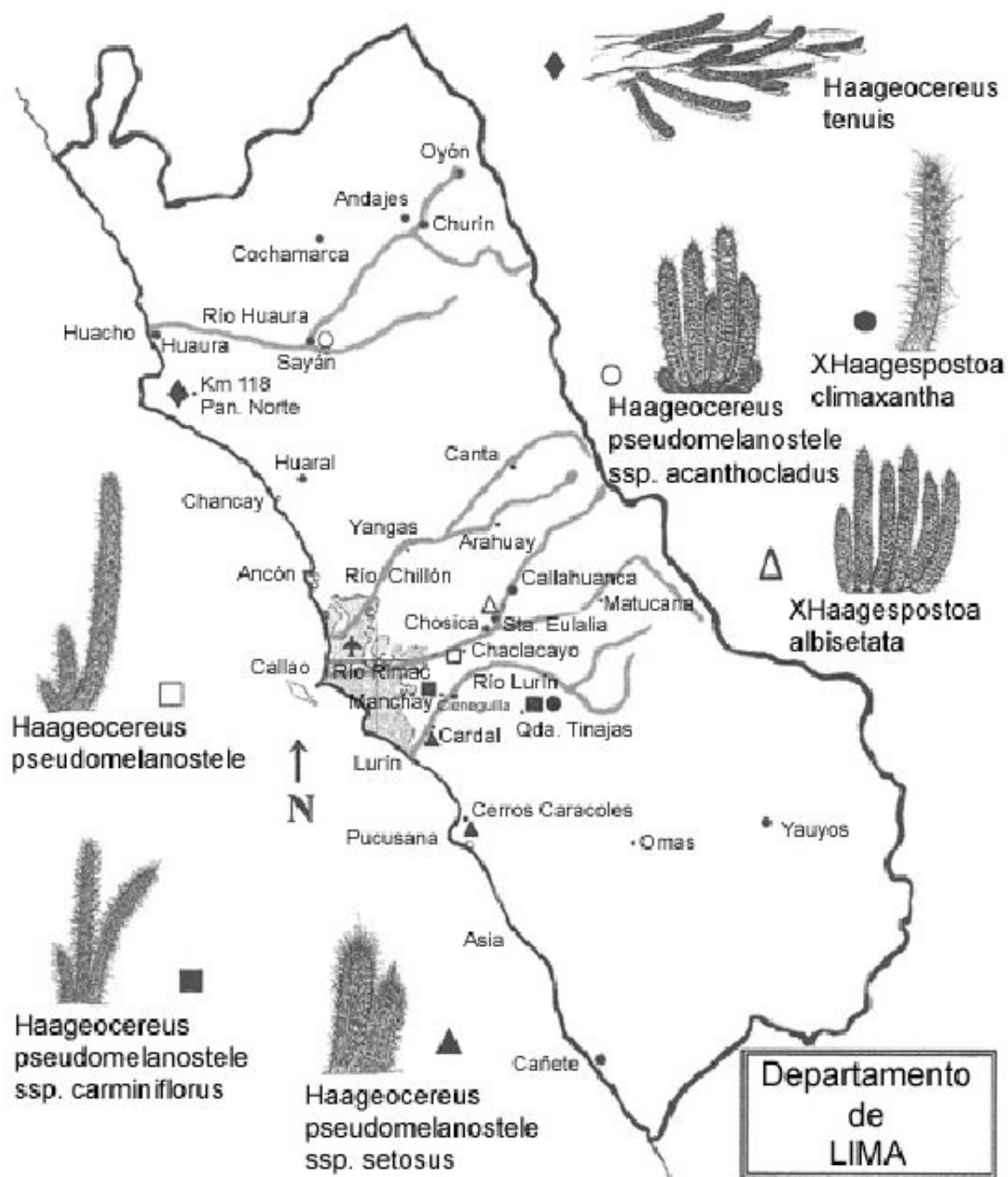


Figura 2. Distribución de las subespecies de *Haageocereus pseudomelanostele*, de *H. tenuis* y de los híbridos *XHaagespostoa albisetata* y *XH. climaxantha* en Lima, Perú.



Figura 3. Cactáceas en el cerro Umarkata. Santa Rosa de Quives. Lima.

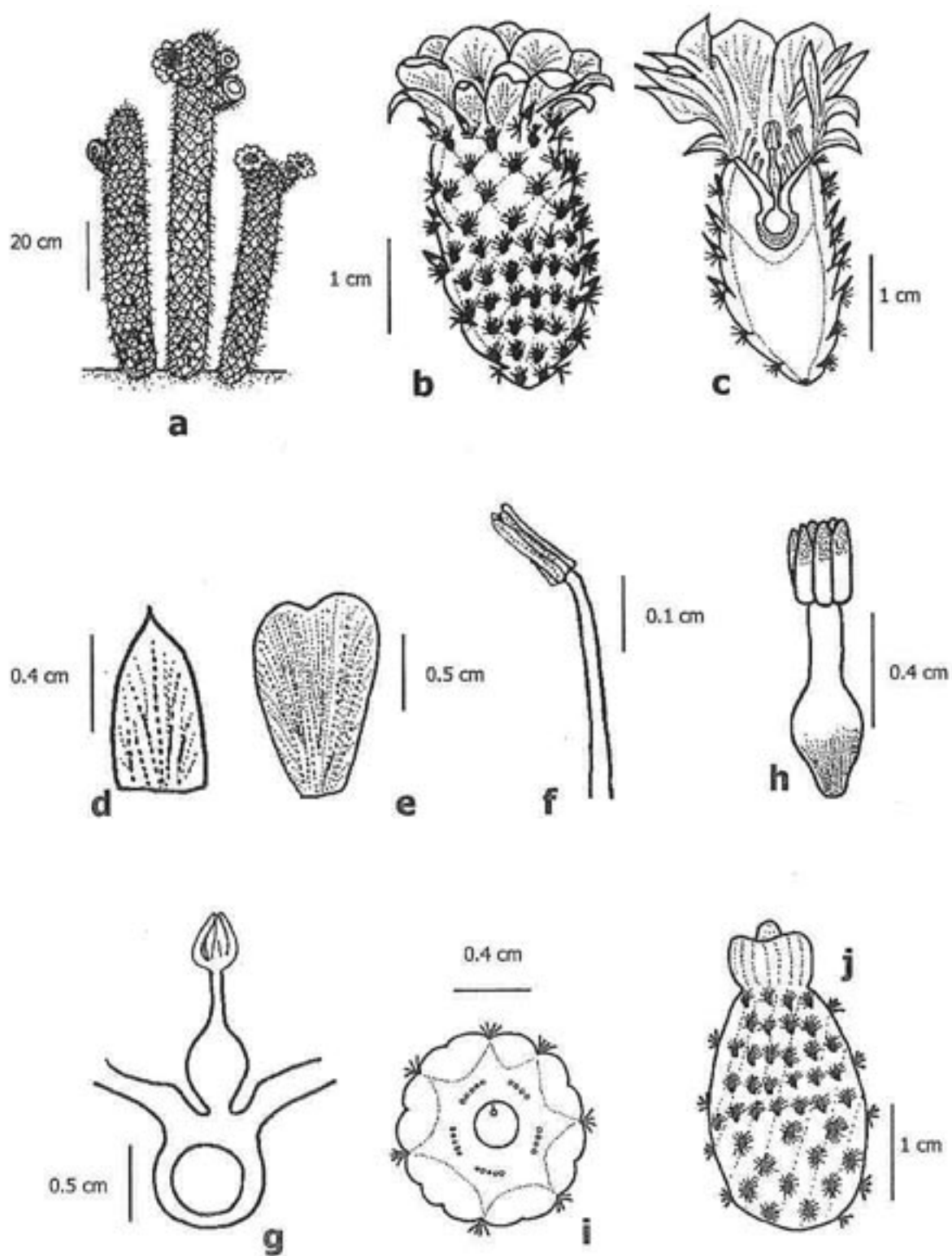


Figura 4. *Austrocyllindropuntia pachypus* (K. Schumann) Backeberg. a. Hábito; b. Flor; c. Secc. long. de la flor; d. Tépaló sepaloide; e. Tépaló petaloide; f. Estambre; g. Gineceo; h. Estilo y estigma; i. Secc. transv. del ovario; j. Fruto.

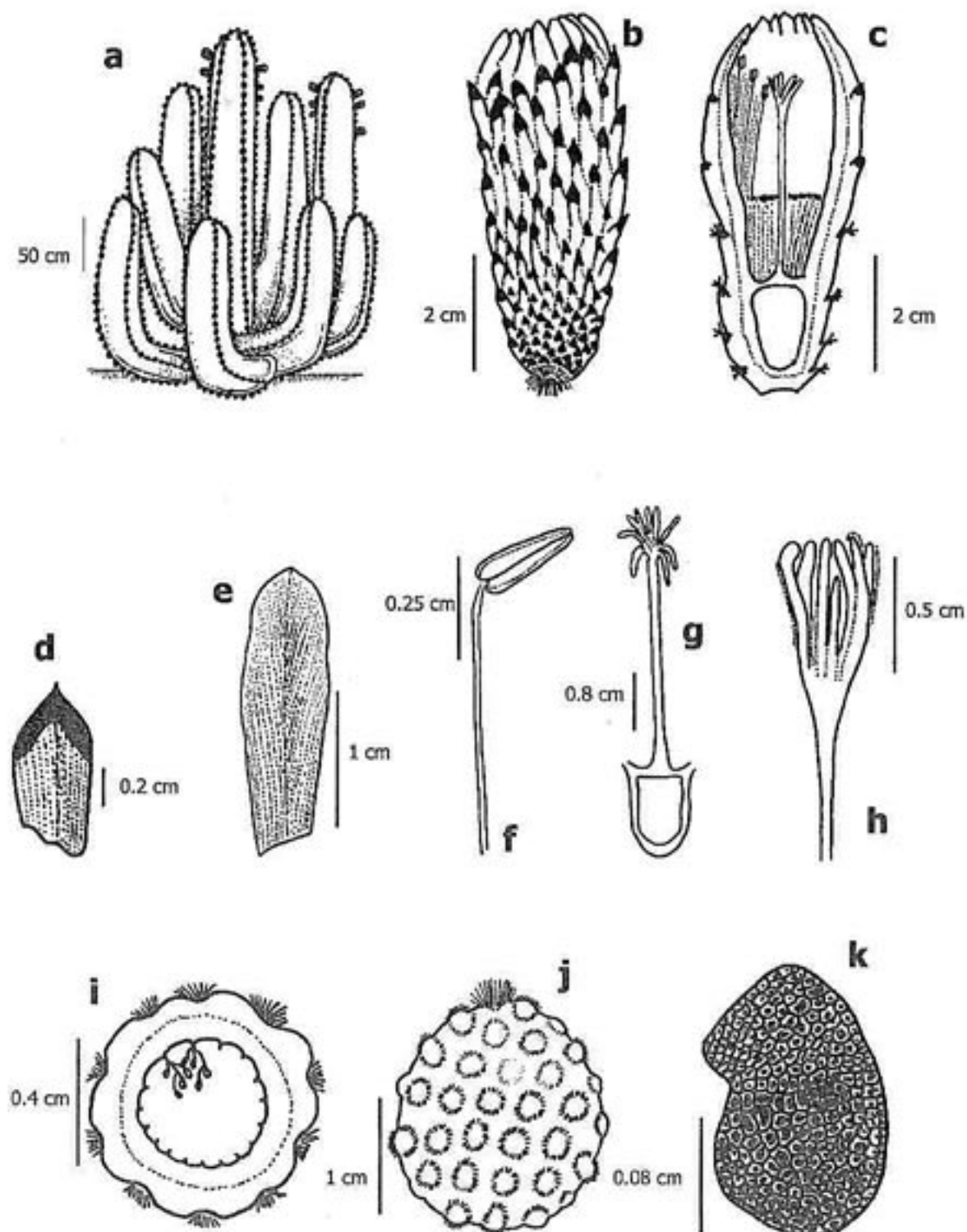


Figura 5. *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza. a. Hábito; b. Flor; c. Secc. long. de la flor; d. Tépalos sepaloides; e. Tépalos petaloide; f. Estambre; g. Gineceo; h. Estigma; i. Secc. transv. del ovario; j. Fruto; k. Semilla.



Figura 6. *Hormiga Camponotus* sp. forrajeando botones florales de *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora*.

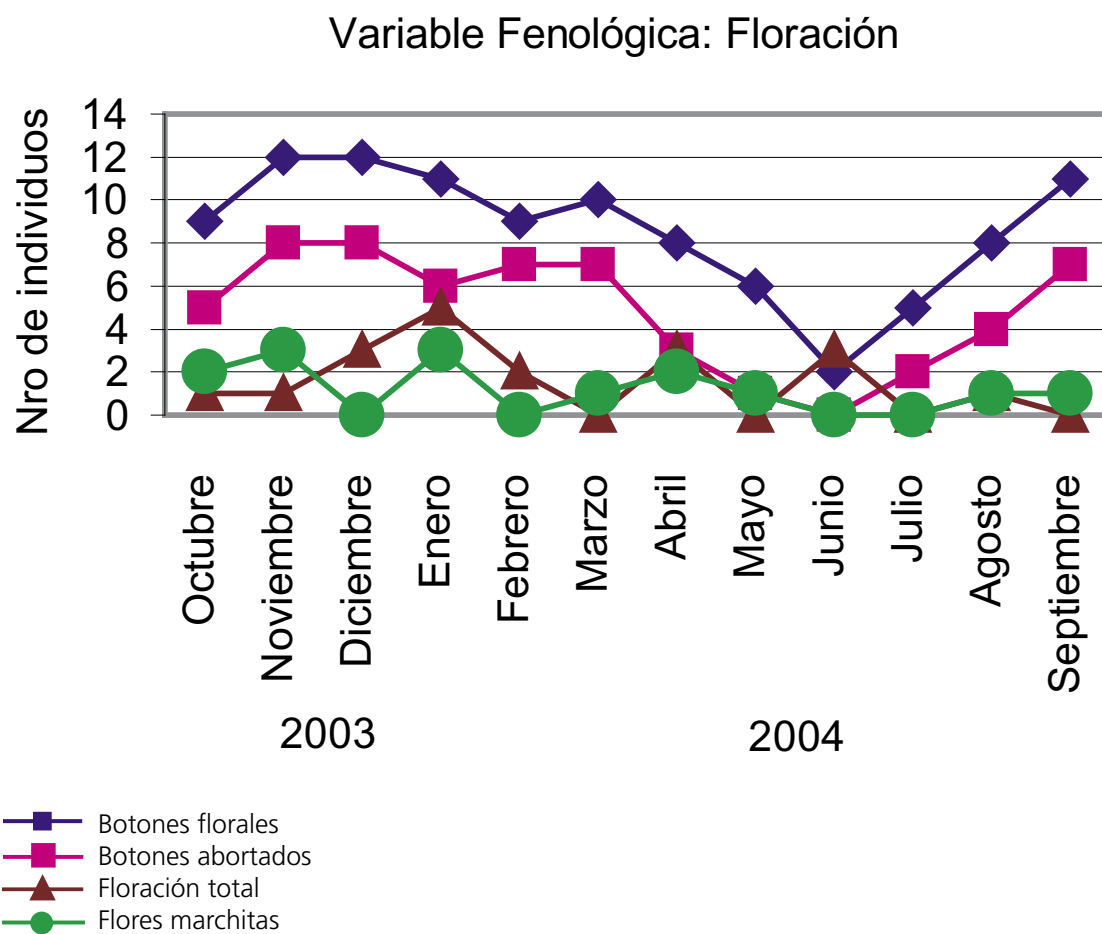


Figura 7. Fenograma de las etapas de la floración de *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora*, de octubre del 2003 a setiembre del 2004.

Individuo 2.

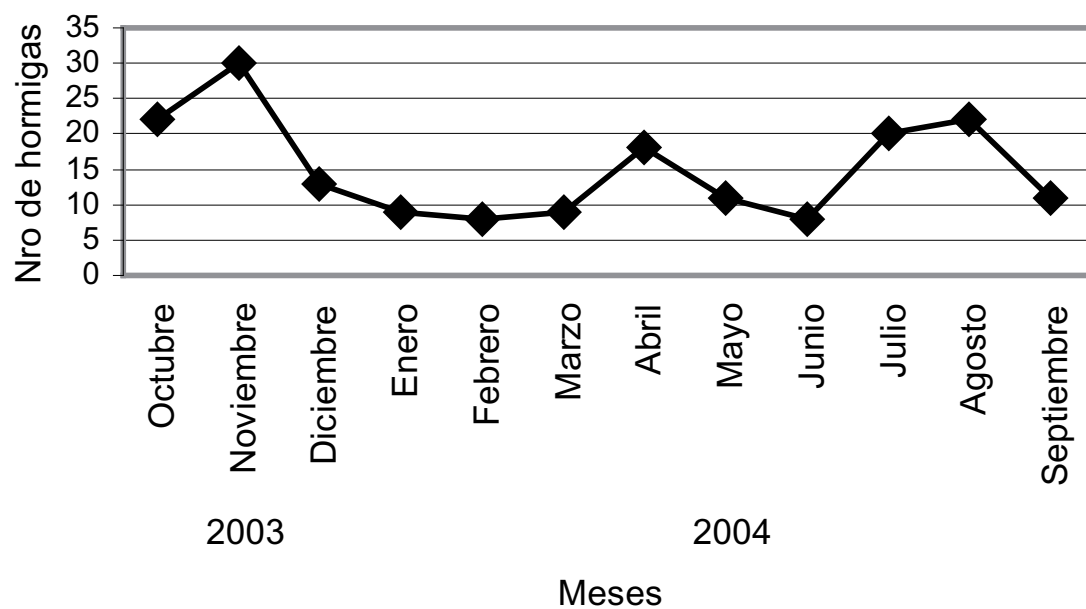


Figura 8

Secuencia estacional de la hormiga *Camponotus* sp. en el individuo 2 de *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora*, de octubre del 2003 a setiembre del 2004.

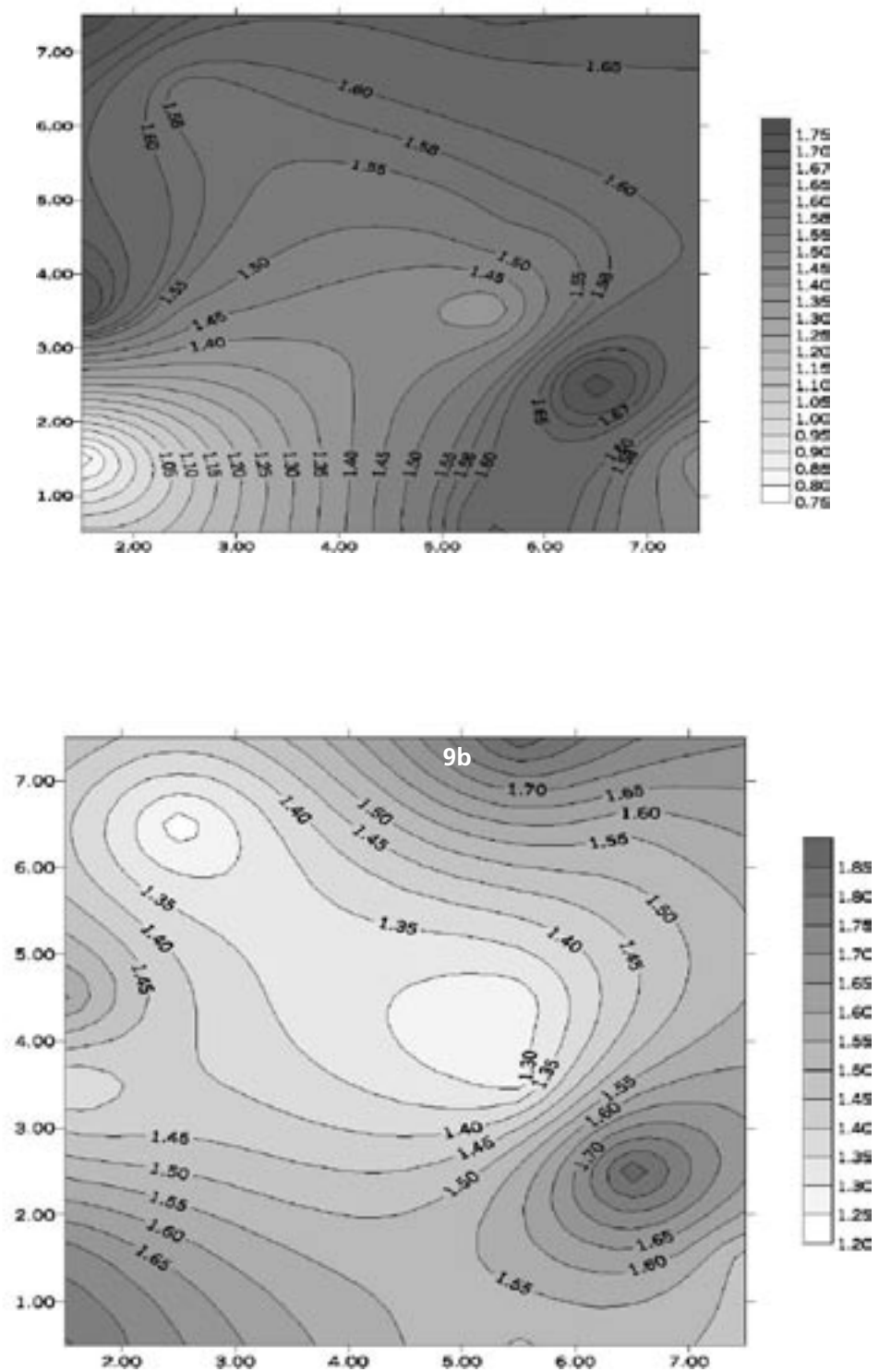


Figura 9
Isolíneas de diversidad de la comunidad de cactáceas en (a) cerro Umarcata y (b) quebrada Orobol.



Figura 10

Cactario del Jardín Botánico de la UNALM.

Figura 11

Cleitocactus xylorhizus (Ritter) Ostolaza, especie seriamente amenazada, en Peligro Crítico (CR), ubicada sólo en la quebrada California. Chosica. Zona actualmente en urbanización.



Figura 12

Haageocereus tenuis (Ritter) Rauh & Ostolaza, especie seriamente amenazada, en Peligro Crítico (CR), por la alta vulnerabilidad de su hábitat, en el Km. 118 de la carretera Panamericana Norte.

La Germinación *In Vitro* una Alternativa para Obtener Explantes en Cactáceas

BIOL. LUCÍA CUÉLLAR CHÁVEZ, MC. MA. EUFEMIA MORALES RUBIO^(*), MC JAIME FCO. TREVIÑO NEÁVEZ

DEPTO. DE BIOLOGÍA CELULAR Y GENÉTICA, FAC. DE CIENCIAS BIOLÓGICAS UANL.

^(*)Email: mmorales1132000@yahoo.com

RESUMEN

Las cactáceas revisten importancia en muchos sentidos y su uso se extiende desde las regiones áridas de México hasta las tropicales y semitropicales de Centroamérica; son apreciadas como ornato, por ser medicinales, por su rareza y dificultad para conseguir, o bien por comestibles; estas características propiciaron que algunas especies estén en riesgo, por lo que se han implementado programas mediante cultivo de tejidos, para establecer protocolos para su recuperación, sin embargo la morfología propia de las cactáceas dificulta la obtención de explantes asépticos.

Se germinaron semillas de *Hylocereus undatus*, *Stenocereus griseus*, *S. queretaroensis* y *S. gummosus* en medio Murashige y Skoog 1962, adicionado con Bencilaminopurina y Kinetina, en una proporción (2:1 miligramos/litro); las semillas fueron obtenidas de frutos maduros y desinfectadas y colocadas en frascos de 250 ml con el medio especificado, se mantuvieron las condiciones de luz (12 horas) y temperatura constantes (24 a 26°C).

S. queretaroensis presentó un 84% de germinación, *S. gummosus* 60%, *S. griseus* un 15.2% y para *H. undatus* un 12.9%. Se concluye que es posible la obtención de explantes asépticos de *S. queretaroensis*, *S. griseus*, *S. gummosus* e *Hylocereus undatus* en un medio Murashige y Skoog 1962 adicionado con Bencilaminopurina y Kinetina (2:1 miligramos/litro).

Palabras Clave: Cultivo *in vitro*, cactáceas, reguladores de crecimiento.

ABSTRACT

Cacti are an important group of plants used in arid, tropical and semi-tropical regions of Mexico and Central America, and are appreciated for a lot of uses. For this reason, this species are in dangerous, and new protocols in tissue culture, are will be implement to recover it, but an important problem to obtain aseptic explants its their morphology

Seeds of *H.undatus*, *S.griseus*, *S.gummosus* and *S.queretaroensis* were germinated in Murashige and Skoog 1962 medium, also Benzilaminopurine and Kinetin were added in a (2:1 miligram/liter) ratio. The seeds were obtained from ripe fruits and were sterilized, and were placed in jars (250 ml, with medium), and were kept in a constant light (12 hours) and temperature (24 – 26°C). The best results were obtained with *S.queretaroensis* with an 84% germination and *S.gummosus*60%, which indicates a good response to the medium used, while *S.griseus* had a 15.2% and *H.undatus* had a 12.9%. We concluded that it is possible to obtain aseptic explants of *S.queretaroensis*, *S.griseus*, *S.gummosus* and *H.undatus* in a Murashige and Skoog (1962) medium added with Benzilaminopurine and Kinetin (2:1 miligram/liter).

Key Words: Tissue culture, cacti, growth regulators

En particular en México, en los últimos años, una de las alternativas más exitosas para recuperar especies en riesgo o peligro de extinción, es la técnica de cultivo de tejidos vegetales. Muchas especies de cactáceas por ser tan cotizadas por sus diversos usos están en peligro o riesgo de extinción, y uno de los problemas que frecuentemente enfrentamos al implementar la técnica de cultivo de tejidos es la obtención y desinfección de explantes, ya que en ocasiones no se dispone del material vegetativo, o bien este puede tener un alto grado de contaminación en el medio natural donde se encuentra, y aunado a la morfología que presentan las cactáceas, es difícil eliminar los contaminantes, por lo que las semillas son una muy buena alternativa para obtener explantes en condiciones asépticas, al inducir su germinación *in vitro*, de este modo, de las pequeñas plántulas obtenidas se utilizan sus tejidos como explantes para la formación de callo, brotes o plántulas. (Comparán & Luna 1994). Las especies trabajadas en el presente estudio, tienen un amplio uso en las regiones áridas, tropicales y semitropicales de México y Centroamérica donde se cultivan en forma semintensiva, y son apreciadas por sus frutos comestibles, usos medicinales, etc. (Bravo & Sánchez, 1978 y Bravo & Scheinvar, 1995). Dodds & Lorin (1986), hacen hincapié en que una de las etapas esenciales para la micropropagación de cualquier especie es la obtención del cultivo aséptico, lo que se logra implementando diferentes técnicas para eliminar todo patógeno del explante. Los procedimientos varían de acuerdo al tipo de explante y especie trabajada.

La germinación *in vitro* tiene ventajas respecto a la producida en condiciones naturales: Puede solucionar casos de inhibición total de la germinación, permitir la germinación de semillas con intermediario obligado, aumentar la tasa de germinación, evitar el aborto embrionario, reducir el tiempo necesario y sincronizar la germinación. (<http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS33/semilla33.html>)

Infante (1992), desarrolló brotación y callos embriogénicos de pitahaya amarilla (*Melocactus coccineus*) a partir de plántulas provenientes de semillas germinadas en medio MS con sales minerales, para la brotación utilizó BA (Benciladenina) y NAA (Ácido Naftalenacético) y para la inducción de callo NAA.

Morales (2000), desinfectó semillas de *H. undatus* siguiendo la siguiente técnica: lavado en agua corriente, inmersión en etanol absoluto por 5 seg., inmersión en una solución de Hipoclorito de sodio comercial a 10% v/v, con Tween 20 por 10 min., se enjuagaron con agua destilada esterilizada y se sembraron en agar (7g/L), obteniendo un alto porcentaje de germinación y al subcultivar las plántulas a medio MS con BAP (Bencilaminopurina) (2mg/L) y K(Cinetina) (1 mg/L) se desarrolló una intensa brotación.

Padilla, *et al.* (1995), utilizaron plántulas germinadas *in vitro* como explantes para micropropagar *Echinocereus pectinatus*, en medio MS adicionado con NAA y BAP por separado, el mejor resultado se obtuvo con BAP a concentraciones de 0,03 y 0,08 mg/L.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se germinaron semillas de *H. undatus*, *S. griseus*, *S. gummosus* y *S. queretaroensis*, en medio Murashige y Skoog 1962, adicionado con BAP 2 mg/L y K 1mg/L; las semillas fueron obtenidas de frutos maduros y para su desinfección se lavaron en agua corriente, luego se pasaron a una inmersión rápida en alcohol etílico absoluto (10 seg), después a una solución de Hipoclorito de sodio comercial a 15% v/v, con Tween 20 por 15 min y posteriormente fueron enjuagadas con agua estéril dentro de la campana de flujo laminar. Las semillas se colocaron en frascos de 250 ml con medio y se mantuvieron las condiciones de luz y temperatura constantes (12h luz y 24 a 26°C).

RESULTADOS

El protocolo de desinfección de las semillas de las cuatro especies fue exitoso, ya que no se tuvo contaminación en ningún tratamiento. El procedimiento empleado fue muy similar al de Morales (2000).

Los resultados obtenidos muestran una marcada diferencia en los porcentajes de germinación y en el desarrollo para cada una de las especies. Los porcentajes de germinación para cada una de las especies al final de la toma de datos fueron los siguientes: para la especie *H. undatus* se obtuvo un porcentaje de 12.9%, para *S. griseus* 15.2%, *S. gummosus* 60% y para *S. queretaroensis* 84.1%.

En cuanto al desarrollo de la plántula cada especie presentó diferentes respuestas, para *H. undatus* las plántulas formadas presentaron oxidación, los brotes fueron largos, delgados y cloróticos, sin embargo, al subcultivarlas a un medio diferente, estos mostraban recuperación (Figura 1a). *S. griseus* (Figura 1b) aún cuando el porcentaje de germinación es bajo, los brotes tienen un crecimiento vigoroso, desdiferenciándose a callo, *S. gummosus* (Figura 1c) y *S. queretaroensis* (Figura 1d), desarrollaron brotes vigorosos y de un color verde intenso que al subcultivarlos en otros medios, continuaron su desarrollo o formaron callo (Figura 1e). *S. queretaroensis* fue aclimatado a condiciones de laboratorio y presentó un 50% de sobrevivencia (Figura 1f).

El bajo porcentaje de germinación en *S. griseus* e *H. undatus* puede ser debido a la concentración y tipo de citocininas presentes en el medio, ya que como lo mencionan López EC, & Padilla GI en <http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS33/semilla33.html> los reguladores de crecimiento, son los responsables de controlar (inhibir/inducir) la germinación de las semillas.

Morales (2000), y Dodds y Lorin (1986) recomiendan el empleo de plántulas germinadas en forma aséptica para la micropropagación, principalmente debido al bajo grado de contaminación del material vegetal empleado, mismo parámetro que pudimos corroborar en nuestro bioensayo.

Morales (2000), recomienda una técnica para la desinfección de las semillas, la cual en este trabajo se modificó en cuanto a tiempos de exposición a los desinfectantes, teniendo 0% de contaminación.

Por otra parte, adicionar al medio MS reguladores de crecimiento como BAP y K como lo recomienda Infante (1992), parece acelerar la germinación y desarrollo en *S. queretaroensis* y *S. gummosus*, pero no en *Hylocereus undatus*, y *S. griseus*.

La germinación y desarrollo de semillas de las especies *S. griseus*, *S. queretaroensis*, *S. gummosus* e *Hylocereus undatus* en un medio MS adicionado con BAP y K en una proporción 2:1 mg/l., muestran diferentes tiempos de germinación y desarrollo; sin embargo es factible usar esta técnica para la obtención de explantes asépticos.

LITERATURA CITADA

- Bravo Hollis H. & H. Sánchez Mejorada.** 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- Bravo Hollis H. & L.Scheinvar** 1995. El interesante mundo de las Cactáceas. CONACYT y Fondo de Cultura Económica. México D.F.
- Comparan Sánchez S & J. Luna Martínez** 1994. Aplicación de la Técnica de cultivo in vitro de tejidos para la propagación de las especies *Echinocereus delaetii* y *Pelecophora aselliformis*. Memorias del Primer Congreso Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal. México D.F. Pág. 65.
- Dodds H.J. & W.R. Lorin** 1986. Experiments in plant tissue Culture. Cambridge University Press. London England. Second Edition.
- Infante Rodrigo.** 1992. "In vitro" axillary shoot proliferation and somatic embryogenesis on yellow pitaya *Mediocactus coccineus* (Salm-Dyck). Plant cell tissue and organ culture. 31(2): 155-159.
- Morales Rubio M.E.** 2000. Inducción de germinación, crecimiento de plántula y cultivo "in vitro" de pitahaya *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose. Tesis de Maestría, Especialidad en Botánica. Fac. de C. Biológicas. UANL.
- Murashige T. & F. Skoog** 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiology Plant. 15: 473-497.
- Padilla Reyes J. L., H Silos Espino & L. Valera Montero** 1995. Respuesta "in vitro" de *Echinocereus pectinatus* a dos reguladores del crecimiento NAA y BAP. Memorias del II Congreso Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal. Aguascalientes Ags. México. Pág. 55.
- <http://www.ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/ENCUENTROS33/semilla33.html>

Figura **1a**



Figura **1b**



Figura **1c**



Figura **1d**



Figura **1e**



Figura **1f**



Utilización de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill para consumo humano: Una experiencia en el norte de Tigray, Etiopía

ANA LILIA VIGUERAS

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA Y ZOOLOGÍA, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, MÉXICO.

Email: aviguera@cucba.udg.mx

RESUMEN

Se presentan las actividades de un caso práctico sobre el uso de nopal verdura y tuna como alternativas para consumo humano. Estas actividades se derivan del proyecto “Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Production and Utilization” desarrollado en Tigray, Etiopía, como apoyo técnico de FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) en este país. Los resultados consistieron en organizar y conducir tres talleres teórico-prácticos a diferentes participantes de las comunidades de Erob, Adigrat, Mehoni y Mekelle quienes prepararon diversos platillos con nopal (cladodios) y tuna (fruto) y elaboración de conservas. Después de cada taller los participantes realizaron demostraciones gastronómicas, dos fueron transmitidas por televisión nacional e internacional y traducidas a tres idiomas (tigrino, amharic e inglés).

Palabras Clave: *Opuntia ficus-indica*, nopal, tuna, Etiopía

ABSTRACT

A practical case about use of prickly pear as vegetable and cactus pear utilization for human consumption is presented. Those activities were derivatives from the project: Cactus Pear (Opuntia spp.) Production and Utilization in Tigray, Ethiopia, as technical support from FAO this country. The results was organized and conducted three theoretical-practical training to different communities inhabitants from: Erob, Adigrat, Mehoni, and Mekelle which prepared different dishes with prickly pear (cladodes) and cactus pear (fruit) and processing; After each workshop, a gastronomic demonstration was done for training; two was presented in national and international TV, in three language (tigrigna, amharic and english).

Key Words: Opuntia ficus-indica, prickly pear, cactus pear, Ethiopia .

INTRODUCCIÓN

En la región árida del norte de África, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. ha seguido la transformación de las tribus nómadas hacia comunidades rurales, lo que representa una etapa intermedia entre la actividad de pastoreo de ganado y agricultura permanente.

Esta planta cubre más de 700,000 ha en todo el norte de África; sin embargo estos datos se han incrementado (Selmi *et al.*, 2002), Marruecos presenta distribución en las regiones bajas del noreste y Argelia sólo en la parte costera. En estas áreas se presentan dos cultivares: con y sin espinas; debido a que las formas sin espinas parecen ser más sensibles a las bajas temperaturas, en las planicies altas se encuentran ejemplares con espinas (Brutsch, 2000). En la parte norte no existen cultivos específicos para fruta o forraje, sin embargo su empleo se limita como cerco alrededor de las casas, contra la erosión del suelo y como cortina rompevientos; de las plantas de los cercos se obtiene fruto y en casos de sequía es empleado para forraje (Barbera, 1995).

El nopal en Etiopía es ampliamente conocido como “cactus pear” o “beles”; esta planta fue introducida alrededor de 1846 y 1887 por misioneros alemanes e italianos; la superficie que abarca es de 355,242 ha de nopaleras silvestres y 30,352 ha cultivados (Haile *et al.*, 2002). El nopal presenta amplia distribución en la parte norte del país, concretamente en la Región de Tigray, con adaptación a estas zonas áridas, donde las condiciones de humedad, precipitación pluvial y suelos erosionados no permiten el cultivo de otras plantas; motivo por el cual el nopal representa una alternativa económica para los habitantes de la zona, además de la conservación del suelo y agua (Haile *et al.*, 2002). El 85% de la población subsiste de la agricultura y nopal durante tres meses al año (junio a agosto). Actualmente se cultiva en muchas partes a pesar de su uso limitado como alimento en fresco, sin embargo de manera reciente ha adquirido importancia, al grado que un amplio número de familias (entre el 25 y 80%) cultiva nopal en traspatios o al menos cuenta con una pequeña plantación (Arias, 2003).

La región de Tigray se encuentra en una área geográfica en donde la escasez de lluvia por más de tres años ha sido un problema lo que aunado a un suelo infértil, son limitantes para el cultivo de plantas por lo que la situación se presenta crítica. Si a esto hay que añadir el deterioro de los pastizales, el exceso de población y las malas condiciones de mercado, es de vital importancia aprovechar el recurso nopal como una opción alimenticia.

Entre las propuestas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para hacer frente a esta apremiante situación, estuvo el establecimiento de un proyecto que integró, entre otros aspectos, una serie de actividades relacionadas al mejor aprovechamiento del nopal para el consumo humano en mermeladas, encurtidos, salmueras, dulces, jugos y diferentes platillos, mediante alternativas factibles de incluirse en la dieta alimenticia del pueblo etíope.

El presente trabajo formó parte del proyecto TCP/ETH/2901 “Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Production and Utilization” como apoyo técnico de la FAO a Etiopía. Los objetivos planteados en esta etapa fueron el impartir cursos-teóricos durante tres meses, sobre los elementos básicos de procesamiento del nopal (cladodios y fruto) para consumo humano y difundir las actividades mediante demostraciones gastronómicas, además de implementar una área piloto en la región de Tigray.

METODOLOGÍA

Las actividades se desarrollaron en dos etapas, la primera se realizó en agosto-septiembre de 2003 con una duración de 45 días, y la segunda en agosto de 2004 por quince días; las pres-
tezas se llevaron a cabo en Mekelle, Tigray al norte de Etiopía, se entrenaron participantes de Mekelle, Erob, Adigrat y Meihoni.

La primera etapa consistió en programar un plan de capacitación, para lo cual fue asignada como contraparte Teberhe Weleda Gabriele, directora del Organismo No Gubernamental (ONG) “*Mums for Mums*” y en cuyas instalaciones se construyó y equipó una aula-cocina para el desarrollo de los cursos (Figuras 1, 2a y 2b); como actividad adicional fue elaborado un manual en inglés, que fue traducido al tigríno para mejor comprensión de los participan-
tes, en su mayor parte mujeres de escasos recursos. Se realizó un reconocimiento sobre los hábitos alimentarios de la región y sobre las preparaciones típicas de la dieta diaria.

El desarrollo de los talleres presentó una parte teórica y otra práctica, la primera consistió en sentar las bases sobre la selección de nopal y tuna (cladodio y fruto), y se abordaron los aspectos nutricionales, perspectivas de aprovechamiento y elaboración de alimentos. La parte práctica consistió en el desarrollo de distintos procesos de preparación de alimentos basados en nopal y tuna, pero adaptados a las prácticas alimentarias de la región, y con la intervención directa de los participantes (Figuras 3a y 3b). Una vez concluido cada taller y con la finalidad de reafirmar los conocimientos adquiridos, se realizaron demostraciones gastronómicas con participantes de diversas instituciones. Dichas demostraciones fueron difundidas por medios de comunicación local e internacional.

La segunda etapa consistió en supervisar las actividades realizadas en 2003 y evaluar la conti-
nuidad de las mismas, para en lo posible reforzar aquellas que aún no estuvieran en práctica. Asimismo, se participó en el taller organizado por la Universidad de Mekelle y el director del proyecto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados generados de la primera etapa fue la elaboración de 33 diferentes platillos con ingredientes básicos de la región con base a su alimentación local, dentro de los cuales desta-
caron por su uso cotidiano: kitta (pan hecho de harina de trigo y sal, con adición de harina de nopal) (Figura 4); bombolino (pan dulce con harina de nopal en forma de dona) (Figura 5); selata (ensalada verde con inclusión de tiras de nopal) (Figura 6); sambusa (empanada rellena con mermelada de nopal) (Figura 7); shiro (guisado de harina de frijol con nopal) (Figura 8) y tortitas de nopal (Figura 9); debido a que los participantes gustan productos dulces se prepararon cristalizados, mermeladas, miel de tuna, tiras de nopal con naranja, agua fresca y pan con mermelada de nopal (Figura 10). Cabe señalar que la integración del nopal en la dieta local se facilitó ya que se empleó como estrategia la inclusión del nopal en cada uno de sus platillos; en algunas ocasiones y debido a que los ingredientes difirieron para cada comunidad se modificaron las recetas pero se continuó la misma estrategia. Dado que las personas se interesaron en esta planta como alternativa alimenticia, se abordaron temas relacionados con el aspecto nutricional, para lo cual se mostraron algunas de las propiedades

que presentan el fruto y cladodio; de igual manera fue señalada la importancia en algunos aspectos medicinales.

Como aporte complementario se instruyó a cada participante en la importancia de conservación y cultivo del recurso, ya que una vez que sea utilizado por la población será necesario que se implementen áreas de cultivo de nopal para verdura.

Debido a que el uso que esta planta ha representado para la región de Tigray una opción de alimento y con muchas posibilidades de comercialización a nivel de microindustrias, se hizo énfasis en la importancia de tomar medidas sobre la inocuidad alimentaria en lo relacionado a las conservas, y que posteriormente los análisis microbiológicos y fisicoquímicos orientarán para poder competir con otros productos, lo cual será favorable para generar ingresos con la venta de estos productos.

Las muestras gastronómicas fueron realizadas por los participantes (Figura 11), algunas fueron transmitidas por diferentes medios de comunicación, y en tres idiomas: tigrino, amharic e inglés. Además se contó con la participación de autoridades y representantes de diversas ONG, FAO y otras organizaciones oficiales y privadas (Figuras 12, 13a y 13b).

La segunda etapa consistió en evaluar los avances y conclusiones relacionados al uso de nopal para consumo humano, además de otras como: grana cochinilla, forraje y cultivo de nopal. Como parte de las actividades se propuso explorar las perspectivas de industrialización de derivados de nopal y tuna para ser ofertadas en el mercado internacional. Asimismo, se recomendó realizar talleres similares en otras comunidades, e incluir la elaboración de jabones, cremas o champús con base de nopal y tuna.

CONCLUSIONES

Se tuvo una gran aceptación por parte de las personas participantes, quienes quedaron interesadas y pretenden desarrollar sus propios alimentos con base en el cladodio de nopal y fruto.

El nopal constituye una alternativa alimenticia para los habitantes de la región de Tigray.

En seguimiento al proyecto deberán ser abordados los aspectos de calidad, para lo cual se deberán realizar análisis microbiológicos y fisicoquímicos de los productos elaborados, y explorar otros usos de la *Opuntia* spp. en pequeñas agroindustrias rurales.

Es recomendable explotar este potencial para desarrollar microindustrias con perspectivas de exportación para estos productos no perecederos a otras partes de África.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo técnico del Dr. Enrique Arias, Servicio Cultivos y Pastos de FAO y Coordinador del Proyecto TCP/ETH/2901 “Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Production and Utilization”, y del Dr. Roberto Cuevas, Servicio de Tecnologías de Ingeniería Agrícola y Alimentaria de FAO y supervisor de las actividades.

LITERATURA CITADA

- Arias, E. 2003.** Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Production and Utilization. Proyecto para Etiopía. 35 p.
- Brutsch, M. O. 2000.** A comparative assessment of the status and utilization of naturalized *Opuntia ficus-indica* in the Eastern Cape Province of South Africa and in Tigray, Ethiopia. pp. 75-86. En: Resúmenes 4th IC on Cactus Pear and Cochineal. Eds. A. Nefzaoui and P. Inglese. Acta. Hort.
- Haile, M., H. G. Zimmermann & T. Belay. 2002.** Current and potential use of cactus in Tigray, Northern Ethiopia. pp. 9. En: Resúmenes del IV International Congress on cactus pear and cochineal and IV general meeting of the FAO-CACTUSNET (International cooperation Network on Cactus pear). Hammamet, Tunes.
- Selmi, S., A. Khalfaoui & S. Chouki. 2002.** Cactus in Zelfene (Tunisia): An alternative for rural Development. Cactusnet Newsletter, 6: 5-9.



Figura 1

Aula-cocina equipada con los requerimientos básicos para impartir los cursos.



Figura 2
Limpieza (2a) y corte de nopal por las participantes (2b).



Figura 3
Procesamiento de conservas con nopal y tuna (3a) y elaboración de diferentes platillos (3b).



Figura 4
Kitta elaborado con harina de nopal.

Figura 5
Bombolino, típico pan etiope.



Figura 6
Selata adicionada con nopalitos.



Figura 7

Sambusa rellena de mermelada de tuna.

Figura 8

Shiro con nopales, comida básica en la dieta etíope.



Figura 9

Tortitas de nopal.



Figura 10
Pan con nopal.

Figura 11
Degustación de las muestras gastronómicas por los participantes en cada taller.



Figura 12
Exposición de platillos elaborados por las participantes.



Figura 13

Degustación de diferentes platillos con base en nopal y tuna fruta (13a y 13b).



El Género *Armatocereus* Backeberg

CARLOS OSTOLAZA NANO

Email: carlosto@ec-red.com

RESUMEN

El género *Armatocereus* Backeberg es uno de los seis géneros que conforman la tribu *Browningieae* Buxbaum y/o el grupo V de la IOS, dentro de la subfamilia *Cactoideae*, en la familia *Cactaceae*. Todos estos géneros de cactus sudamericanos son arbóreos, algunos endémicos como *Browningia* Britton & Rose; *Neoraimondia* Britton & Rose y *Calymmanthium* Ritter; los otros son el género *Stetsonia* Britton & Rose, de Argentina y el género *Jasminocereus* Britton & Rose, de las islas Galápagos.

Se revisan nueve especies: *A. cartwrightianus*, *A. laetus*, *A. mataranus*, *A. matucanensis*, *A. oligogonus*, *A. procerus*, *A. rauhii*, *A. riomajensis* y *A. rupicola*, más dos subespecies: *Armatocereus mataranus* ssp *ancashensis* y *A. rauhii* ssp *balsasensis*. De todas ellas, dos especies compartimos con Ecuador: *A. cartwrightianus* y *A. laetus*, el resto son endémicas.

Palabras Clave: Cactáceas peruanas, *Cactoideae*, *Browningieae*, *Armatocereus*.

ABSTRACT

The genus *Armatocereus* Backeberg is one of six genera belonging to the tribe *Browningieae* Buxbaum and/or to the group V of the IOS, in the subfamily *Cactoideae*, of the *Cactaceae* family. All these South American cacti genera are treelike, some are endemic like *Browningia* Britton & Rose; *Neoraimondia* Britton & Rose and *Calymmanthium* Ritter; the others are: *Stetsonia* Britton & Rose, from Argentina and the genus *Jasminocereus* Britton & Rose, from the Galápagos Islands.

Nine species are reviewed: *A. cartwrightianus*, *A. laetus*, *A. mataranus*, *A. matucanensis*, *A. oligogonus*, *A. procerus*, *A. rauhii*, *A. riomajensis* and *A. rupicola* plus two subspecies: *Armatocereus mataranus* ssp *ancashensis* and *A. rauhii* ssp *balsasensis*. We share two species with Ecuador: *A. cartwrightianus* and *A. laetus*, the rest are endemics.

Key Words: Peruvian cacti, *Cactoideae*, *Browningieae*, *Armatocereus*.

Armatocereus Backeberg. *Blatter fur Kakteenforschung*, (6): 21, (1938).

Tipo: *A. laetus* (Kunth) Backeberg ex A.W. Hill, IKS 9: 25, 1938.

Los *Armatocereus* son plantas columnares arbustivas o arbóreas con ramas cilíndricas, ascendentes y articuladas, debido al crecimiento anual. Costillas 5-12 muy marcadas. Areolas grandes. Espinas fuertes, rara vez escasas o ausentes. Flores nocturnas, tubulares, con tubo floral y ovario espinosos, perianto blanco (rojo en *A. rauii* y ssp *balsasensis*). Fruto grande, globoso a ovoide, rojo o verde, fuertemente espinoso, espinas que pierde al madurar. Semillas grandes, negras, ovoides o arriñonadas.

Distribución: Ecuador y Perú. Son once especies y dos subespecies reconocidas, de las cuales cuatro son de Ecuador (dos compartidas con el Perú), y nueve son endémicas del Perú.

1. *Armatocereus cartwrightianus* (Britton & Rose) Backeberg ex A.W. Hill, Index Kewensis, suppl. 9: 25, Dic.1938.

Basónimo: *Lemaireocereus cartwrightianus* Britton & Rose, The Cactaceae 2:100, 1920.

Sinónimos: *Cereus cartwrightianus* (Britton & Rose) Werdermann 1931.

Armatocereus cartwrightianus var. *longispinus* Backeberg, Descr. Cact. Nov. 1:14, 1957.

El nombre específico honra a Alfred Cartwright, cónsul inglés en Guayaquil, Ecuador.

Nombre común: cardo maderero, su madera se emplea en artesanía, mesas y sillas.

Planta arbórea, 5-8 m de alto, con tronco leñoso, 2 m x 30 cm diám, muy ramificado. Ramas articuladas, 15-60 cm de largo, 7-10 cm ø, verde oscuro. Costillas 6-9. Espinas centrales 1-4, 2-10 cm de largo, radiales cerca 20, 0.5-2.5 cm de largo. Flor 7-9 cm de largo, tépalos externos marrón-rojizos, tépalos internos blancos con punta rojiza. Fruto globular a oblongo, 8-9 cm de largo, rojo de pulpa blanca, con espinas pequeñas.

Descrito por Britton & Rose al norte de Guayaquil, Ecuador en 1920 pero llega al norte del Perú: Despoblado, Tumbes; Canchaque, El Angolo, Piura y Olmos (Rauh, 1958) y Salas, Lambayeque (Ritter, 1981). Habitat: costero, vertientes rocosas, matorrales. 0-400 msnm. Herbario: U.

2. *Armatocereus laetus* (Kunth) Backeberg ex A.W. Hill, Index Kewensis, suppl. 9: 25, Dic.1938.

Basónimo: *Cactus laetus* Humboldt, Bonpland & Kunth, Nov. Gen. Sp. Pl. 6:68, 1823.

Sinónimos: *Cereus laetus* (Kunth) De Candolle, Prodr. 3:466, 1828.

Lemaireocereus laetus (Kunth) Britton & Rose, Journ. N. Y. Bot. Gard. 20:157, 1919.

laet (L.) = vistoso, agradable. Alude al hábito de la planta.

Cactus arbóreo, verde-gris, muy ramificado, tronco corto, ramas erectas, 4-6 m de altura, articuladas. 6-9 costillas. Espina central 3 (8) cm de largo. Flor tubular, 7-8 cm de largo, tépalos internos blancos. Fruto verde, ovoide, 8-13 cm, muy espinoso, espinas marrones, pulpa blanca, comestible. Semillas negras.

Distribución: Descrito en Sondorillo, Piura por Kunth y en el valle de Catamayo, al sur de Ecuador por Britton y Rose. Habitat: valles secos, vertientes rocosas, matorrales. 1500-2000 msnm. Herbarios: SGO, ZSS, USM. U.

3. *Armatocereus mataranus* Ritter, Succulenta (Holanda) 46: 23, 1967.

El nombre específico alude a Matará, distrito en la provincia de Cajamarca, Dpto. de Cajamarca.

Planta arbórea, 3-7 m de altura, con muchas ramas, segmentos verde-gris, de 30-50 cm x 10-15 cm diám. Costillas 5-7, prominentes. Espinas aciculares; radiales 6-10, 3-20 mm; centrales 2-8, 1.5-6 cm. Flores cerca de 9 cm, blanco-verdosas, con tinte rojizo. Fruto verde oscuro, 6-8 x 5-6.5 cm. Semillas negras, 3.2 x 2.2 mm.

Descrito por Ritter en Matará, provincia de Cajamarca y en Puente Crisnejas, (el río Crisnejas separa la provincia de San Marcos de la provincia de Cajabamba, ambos en el Dpto. de Cajamarca).

Habitat: vertientes rocosas, matorrales. 2000-2500 msnm. (Brako, 1993).

Herbarios: U, SGO, ZSS.

4. *Armatocereus mataranus* ssp. *ancashensis* (Ritter) Ostolaza, Cact. Cons. Init. 6: 8, 1998.

Basónimo: *Armatocereus mataranus* var. *ancashensis* Ritter, Kakteen in Südamerika 4: 1276, 1981. El nombre de la subespecie alude al Dpto. de Ancash.

Difiere de la especie en segmentos de las ramas más pequeños, estilo floral más corto, fruto menos espinoso y semillas más tuberculadas.

Descrito en Rahuapampa, provincia de Huari pero llega a Sihuas, ambos en el Callejón de Conchucos, Dpto. de Ancash.

Habitat: vertientes rocosas, matorrales. 2000-2500 msnm. Herbarios: U, SGO, ZSS.

5. *Armatocereus matucanensis* Backeberg ex A.W. Hill, Index Kewensis, suppl. 9: 25, Dic.1938.

Sinónimos: *Lemaireocereus matucanensis* Britton & Rose, The Cactaceae 2: 99, 1920. (No *Cactus laetus* Kunth).

Armatocereus arboreus Rauh & Backeberg, Descr. Cact. Nov. 1:13, 1957.

Armatocereus churinensis Rauh & Backeberg, Descr. Cact. Nov. 1:13, 1957.

El nombre específico alude al distrito de Matucana, provincia de Huarochirí, Dpto. Lima.

Planta arbórea de 2-5 m de altura, tronco corto o ausente, con una copa ancha de ramas articuladas. Segmentos 20-60 x 7-15 cm. Costillas 5-6. Espina central hasta 10 cm de largo. Flor blanca, 10 cm de largo, 6 cm de diám. Fruto verde grande, muy espinoso.

Distribución: en todos los valles y quebradas del Dpto. de Lima, del valle del río Fortaleza al valle de Nazca al sur, en el Dpto. de Ica.

Habitat: vertientes rocosas, matorrales. 1500-2500 msnm. Herbario: NY

Debe ser considerado como NT (casi amenazado) en la lista roja de la UICN.

6. *Armatocereus oligogonus* Rauh & Backeberg, Descr. Cact. Nov. 1:13, 1957.

Sinónimo: *Armatocereus ghiesbreghtii* var. *oligogonus* (Rauh & Backeberg) en Ritter Kakteen in Südamerika 4: 1275, 1981.

oligo (L). = poco; gonus (L). = ángulo, esquina. Alude al escaso número de costillas.

Planta arbórea 2-3 m de altura, verde-gris. Costillas 4-5, angostas y prominentes. Espinas grises con punta oscura, radiales 8-12, hasta 1.5 cm de largo, centrales 1-2, hasta 10cm de

largo. Flores 10 cm de largo, blancas. Fruto con largas espinas marrones.

Descrito cerca de Olmos, Salas y también en el valle del río Zaña, en Lambayeque (Rauh, 1958).

Habitat: costero, valles secos, matorrales. 300-500 msnm. Herbarios: SGO, ZSS.

7. *Armatocereus procerus* Rauh & Backeberg, Cactus (Paris) 51: 95, 1956.

Sinónimo: *Armatocereus procerus* var *armatus* (Rauh & Backeberg) Ritter, Kakteen in Südamerika 4: 1277, 1981.

procer (L). = alto. Alude a la altura de la planta.

Planta arbórea, alcanza los 7 m de altura, azulado a verde-gris, rígidamente ascendente, ramas fuertemente articuladas. Costillas 8-10. Espinas radiales 15-20, hasta 2 cm de largo, desiguales, centrales hasta 4, 12 cm de largo. Flores 10 x 5 cm diám, blancas. Fruto 7 cm de largo, con espinas blancas y comestible.

Distribución: desde Casma, Dpto. de Ancash; valles de Fortaleza, Pativilca, Huaura, Chillón en el Dpto. de Lima; valles de San Juan, Chíncha, Pisco, Ingenio y Nazca en el Dpto. de Ica.

Habitat: costero, desiertos, vertientes rocosas. 300-500 msnm.

Por la abundancia de individuos, amplia distribución y escasa perturbación de hábitats le corresponde la categoría LC (preocupación menor) de la UICN. Herbarios: SGO, USM, ZSS.

8. *Armatocereus rauhii* Backeberg, Descr. Cact. Nov. 1:13, 1957.

El nombre específico honra al profesor Werner Rauh de la Universidad de Heidelberg, Alemania.

Planta arbórea, 4-6 m de altura, azulado a verde-gris, tronco de 1 m de alto y una copa de ramas rígidas, ascendentes, algunas ramificándose, cerca de 15 cm diám. Costillas 6-10. Espinas radiales 6-7, sólo 1-2 mm de largo; centrales no siempre presentes, 6-30 mm, de punta oscura. Flor 10-15 cm, carmín, tubo floral con areolas distantes y espinas negras a rojas.

Distribución: Valle del río Huancabamba, cerca de Jaén y Bellavista, provincia de Jaén, Dpto. de Cajamarca, 900-400 m snm, incluso en Dpto. de Amazonas, provincia de Bagua, 700-400 msnm.

Habitat: valles secos, vertientes rocosas, matorrales. 400-900 msnm. Herbarios: SGO, ZSS.

9. *Armatocereus rauhii* ssp *balsasensis* (Ritter) Ostolaza, Cact. Cons. Init. 6: 8, 1998.

Basónimo: *Armatocereus balsasensis* Ritter, Kakteen in Südamerika 4: 1271, 1981.

Sinónimo: *Armatocereus arduus* Ritter Kakteen in Südamerika 4: 1271, 1981.

El nombre específico alude al distrito de Balsas, provincia de Chachapoyas, Dpto. de Amazonas.

Se diferencia de la especie por ser más alta, 6-10 m de alto, ramas más delgadas, 8-12 cm diám. Costillas 8-12. Espinas radiales 8-12, centrales 1-3. Flor 10 cm, púrpura.

Distribución: Provincia de Celendín, Dpto. de Cajamarca, en Balsas, provincia de Chachapoyas, Dpto. de Amazonas, y en Pataz, La Libertad, de 400 a 1500 msnm.

Habitat: valles secos, vertientes rocosas, matorrales. 400-1000 msnm.

Herbarios: SGO, USM, ZSS.

10. *Armatocereus riomajensis* Rauh & Backeberg, Descr. Cact. Nov. 1:13, 1957.

El nombre específico alude al río Majes, de largo curso en el Dpto. de Arequipa.

Sólo 2 m de altura, ramas verde-gris, costillas 7-9, angostas, espinas radiales 10-15, menos de 1 cm, centrales 1-4, hasta 12 cm de largo, de punta marrón, algo retorcidas o angulares, flor blanca, 8-10 cm, fruto hasta 15 cm de largo x 5 cm de ancho, cubierto de espinas gris-violeta.

Distribución: Valle del río Majes, provincia de Castilla; Yura, provincia de Arequipa; Atiquipa, provincia de Caravelí; en Cotahuasi, Provincia de La Unión, Dpto. de Arequipa. También en la Provincia de Mariscal Nieto, Dpto. de Moquegua, entre 2000-3000 msnm.

11. *Armatocereus rupicola* Ritter Kakteen in Südamerika 4: 1278, 1981.

rupes (L). = roca; cola (L). = habitar. Alude a su presencia entre rocas.

Planta arbórea, 4-5 m de alto, ramificada. Tallos rígidos, erectos, verde a verde-gris, 25-40 cm de largo, 6-9 cm diám. Costillas 6-8. Espinas rectas, negras o gris oscuro, centrales 4-8, 2-6 cm de largo, radiales 10-12, más claras, como agujas, 2-6 mm de largo. Flores apicales, blancas, 8.5 cm de largo. Fruto espinoso.

Descrito en la provincia de San Miguel, Dpto. de Cajamarca, a 2000 msnm.

Habitat: valles secos, vertientes rocosas. 2000-2500 msnm.

Hay una foto (1130) de la flor apical cortada en Ritter 4: 1534, 1981. Herbarios: U, SGO.

COMENTARIOS

El género *Armatocereus* fue descrito en Blatter fur Kakteenforschung (Backeberg 1935), pero no validado con un diagnóstico en latín hasta junio de 1938. El nombre *Armatocereus* deriva del latín: *armato* = armado; *cereus* = cactus columnar y alude a sus fuertes espinas.

Ritter considera *A. ghiesbreghtii* (K. Schumann) Ritter 1958 como una especie válida, pero se basa en una planta cultivada, procedente de México (Britton & Rose, 1920; Brako & Zarucchi, 1993), que nadie más acepta. En ella incluye como sinónimos *A. matucanensis*, *A. arboreus*, *A. churinensis* y *A. riomajensis*, y tanto Madsen (1989) como Hunt (2002), lo rechazan como no tipificable. La única especie atribuida a Colombia (*A. humilis*) del valle del Dagua, ahora se considera una especie de *Stenocereus*. (Hunt, 2002).

Hemos incluido *Armatocereus arduus* Ritter, como sinónimo de *Armatocereus rauhii* ssp *balsasensis*, por su descripción incompleta (sin flores), difiere de *A. rauhii* ssp *balsasensis* en que las constricciones en los tallos son más angostas, insuficiente para crear una nueva especie, y fue descrito en El Chagual, Pataz, La Libertad, en la cuenca del Alto Marañón a 1500 m snm, dentro del área de distribución de esta última. Ritter lo reporta también en Puente Crisnejas, San Marcos, Cajamarca, el mismo hábitat que el propio Ritter cita para *A. mataranus*. Hay una mala foto (Nº 1137) de la planta en segundo plano, en Ritter 4: 1537, 1981.

Pensamos que Britton y Rose (1920) y Madsen (1989) asocian erróneamente *A. laetus*, especie-tipo del género, con *A. matucanensis*.

A. churinensis descrito en el valle del río Huaura, al norte de Lima y *A. arboreus* en el valle

del río Santa Eulalia, en el valle del Rímac y en el valle de Pisco, al sur de Lima, difieren de *A. matucanensis* en el tamaño de la planta y mayor o menor espinación del fruto, caracteres que no justifican otros nombres específicos.

Madsen (1989) describe *A. matucanensis* erróneamente en Ecuador confundiéndolo, probablemente, con *A. laetus* que no menciona en su libro.

Ritter (1981) afirma que *A. cartwrightianus* se hibridiza con *A. oligogonus* en el hábitat que comparten al este de Olmos, Lambayeque.

LITERATURA CITADA

Anderson, E. 2001. The Cactus Family, 112-117 Timber Press.

Backeberg, C. 1938, Blatter fur Kakteenforschung, (6): 21.

Backeberg, C. ex A.W. Hill, Dic. 1938. Index Kewensis, suppl. 9: 25.

_____. 1956, Cactus (Paris) 51: 95.

_____. 1957, Descr. Cact. Nov. 1:13.

Brako L. & Zarucchi J. 1993. Catálogo de Angiospermas y Gimnospermas del Perú. 266-267. Miss. Bot. Garden, USA.

Britton N. L. & Rose J. N., 1920, The Cactaceae: 2: 85-103.

Eggli U., et al. 1995. Cactaceae of South America: The Ritter collections. Englera 16. BGBM Berlin Dahlem.

Hunt, D. 1999. Cites Cactaceae Checklist 2a. edición.

_____. 2002. Notulae Systematicae Lexicon Cactacearum Spectantes II. Cactaceae Systematics Initiatives 14: 7-11.

Madsen, J. 1989. Flora of Ecuador- Cactaceae 8-14. Berlings, Suecia.

Ostolaza, C. 1996. A closer look at the Conservation Status of Cacti in the vicinity of Lima, Perú. BCSJ 14(4): 158-174.

_____. 1998. The cacti of the Pisco, Ica and Nazca valleys, Perú. BCSJ 16(3): 127-136.

_____. 1998. Nomenclatural Adjustments in Peruvian Cactaceae. Cactaceae Consensus Initiatives 6: 8-9.

_____. 2002. The cacti of the San Juan river basin, Perú- a conservation survey. BCSJ 20(1): 29-42.

_____. 2003. Cacti of the Huaura river valley, Perú- a conservation study. BCSJ 21(2): 87- 97.

_____. 2003. Categorización y Conservación de Cactáceas Peruanas. Zonas Áridas N° 7. UNALM. Lima, Perú.

_____. 2005 The Huaura river valley, Lima, Perú- revisited. BCSJ, 23(1): 25-33.

_____. 2006. Cacti of the Pativilca river basin, Lima, Perú. Cactus World, BCSJ, 24(3):

Ritter, F. 1967. Succulenta (Holanda) 46: 23.

_____. 1981. Kakteen in Südamerika 4: 1270-1278.



Figura 1

Armatocereus cartwrightianus, en el coto de caza El Angolo, Piura, 290 msnm.



Figura 2

Armatocereus laetus, en Sondorillo, Piura, 1750 msnm.



Figura 3

Armatocereus mataranus, en Matará, Cajamarca, 2000 msnm.



Figura 4

Armatocereus mataranus ssp. *ancashensis* en La Pampa, Corongo, Ancash, 1780 msnm.



Figura 5

Armatocereus matucanensis, en Tinajas, Lurín, Lima, a 2000 msnm.



Figura 6

Armatocereus oligogonus, Saña, Lambayeque, 200 msnm.



Figura 7
Armatocereus procerus, valle del
Chillón, Lima, 750 msnm



Figura 8
Armatocereus rauhii, cerca de
Bagua, Amazonas, 450 msnm.



Figura 9
Armatocereus rauhii ssp *balsasensis*, cerca de
Balsas, Amazonas, 1000 msnm.



Figura 10
Armatocereus riomajensis, Yura, Arequipa,
3000 msnm.

Figura 11

Mapa de distribución de los
Armatocereus en el Perú.



1. *Armatocereus cartwrightianus*
2. *Armatocereus laetus*
3. *Armatocereus mataranus*
4. *Armatocereus mataranus* ssp. *ancashensis*
5. *Armatocereus matucanensis*
6. *Armatocereus oligogonus*
7. *Armatocereus procerus*
8. *Armatocereus rauhii*
9. *Armatocereus rauhii* ssp. *balsasensis*
10. *Armatocereus riomajensis*
11. *Armatocereus rupicola*

Estado actual de las Suculentas en el Perú

GUILLERMO PINO INFANTE

Email: gpino@amauta.rcp.net.pe

La succulencia, término que se refiere a la apariencia engrosada de las partes vegetativas de las plantas, proviene etimológicamente del latín *SUCCUS* y se debe básicamente a la acumulación de agua en tejidos especializados. Es sólo una característica física común a diversos grupos de plantas, y no un criterio de clasificación dentro de un mismo grupo filogenético, siendo por lo tanto quizás un término más apropiado para horticultores que para científicos.

Según se desarrolla la succulencia en las plantas se puede hablar de succulencia de hojas, de tallos aéreos, o de tallos subterráneos. Las plantas de este último grupo son llamadas caudiciformes, adjetivo que proviene de la palabra “caudex”, combinación de los términos latinos *caulis* = tallo y *radix* = raíz, y se refiere al tallo basal succulento, generalmente subterráneo, mientras que el resto de la planta tiene un comportamiento caduco.

El agua almacenada es aprovechada cuando no se puede disponer de ella, y esto se da fundamentalmente en periodos de sequía. La succulencia es el fruto de la evolución para adaptarse a condiciones de aridez, y como tal, se ha dado de modo convergente en muchas familias de plantas.

Una adaptación importante de muchas succulentas es la fotosíntesis tipo CAM (Metabolismo ácido crasulásico) llamado así por haber sido encontrado inicialmente en las crasuláceas. Los estomas no se abren de día sino de noche, absorbiendo CO₂ y almacenándolo como ácido, el que es procesado durante el día mediante la fotosíntesis. En condiciones de extrema aridez no abren sus estomas ni de día ni de noche, el oxígeno liberado se usa para la respiración y el CO₂ para la fotosíntesis permitiendo a las succulentas sobrevivir periodos muy largos de sequía aisladas del medio externo aunque no eternamente.

Otra adaptación es la formación de ventanas o fenestras. Son tejidos translúcidos que dejan pasar la luz solar al interior de la planta, protegiendo los tejidos delicados de los rayos ultravioleta y proveyendo una mayor superficie de fotosíntesis en la cara interna de las plantas, sobre todo a las que se encuentran enterradas.

Según el sistema de clasificación de Cronquist (1981) presentaremos las diversas familias en las que se da el fenómeno de succulencia en el Perú:

MONOCOTYLEDONEAS (Clase Liliopsida),

Subclase Liliidae

Familia Aloaceae Batsch (1802)

Esta familia estaba anteriormente incluida en las Liliaceae o las Asphodelaceae, donde se las puede encontrar en textos inclusive actualizados. Su distribución se limita al antiguo continente. En el Perú la especie *Aloë barbadensis* Miller, (sinónimo *Aloë vera* L.), probablemente nativa del norte de África, fue traída por los conquistadores y desde entonces es muy usada por sus propiedades antiinflamatorias, cicatrizantes, y sobre todo por su efecto laxante. Su nombre común en Perú es “sábila”. También tiene usos mágicos religiosos. Su extenso cultivo ha hecho que algunas veces escape a él y se encuentran poblaciones asilvestradas en las vertientes occidentales desde Piura hasta Tacna, en alturas de 2300 a 3000 metros de altura.

Familia Agavaceae Dumort. (1829)

Esta familia también controversial está ya claramente separada de sus familias afines que son las Liliaceae y Amaryllidaceae, sin embargo últimamente algunos de sus géneros han sido transferidos a las Dracaenaceae y Sansevieraceae. Su género principal y que le da nombre es *Agave*, que proviene del griego *Agavos*: maravilloso, magnífico, ilustre, noble: son plantas perennes, acaules o con tronco corto, hojas en roseta, suculentas, ápice con espina terminal, bordes generalmente con espinas. Si bien en Perú no hay especies nativas se encuentra asilvestrada la especie *Agave americana* L. ssp. *americana* var. *expansa* (Jacobi) Gentry, nativo de la Sierra Madre Oriental de México, donde se le conoce como maguey blanco, con una distribución actual desde Estados Unidos hasta Argentina. Tiene hojas glaucas o grisáceas, de 1.20 a 1.80 m. de largo con espinas terminales y laterales. Presenta un escapo de 4 a 9 m. con 20 a 25 ramas que emergen perpendicularmente del tallo, flores tubulares erectas de hasta 8-10 cm blanco-verdosas de olor poco agradable. Fue introducida al Perú quizás en épocas precolombinas pues es omnipresente y más abundante que las especies nativas de agaváceas, aunque siempre se halla en cercanía de centros poblados. Se le conoce en Perú como “cabuya azul” y se distribuye en toda la zona andina entre los 2500 a 3500 metros de altura. Es sumamente útil, se usa como cerco vivo, su escapo seco sirve de material de construcción, sus hojas o “pencas”, se usan como combustible o como fuente de fibras textiles (sogas y pitas) (Pino, 1996).

En el Perú hay especies nativas de Agaváceas del género *Furcraea* Ventenat (1793) también presentado en algunas floras con su sinónimo *Fourcroya* Spreng (1817), en honor a Antoine François de Fourcroy, con unas 20 especies distribuidas desde el centro de México hasta Sudamérica, se diferencia del género *Agave* por poseer las flores péndulas, con los seis tépalos separados, de color blanco verdoso y aromáticas. Se encuentran en un escapo que forma una inflorescencia en panículo piramidal de ramas muy abiertas y colgantes. La coloración del tallo y hojas es de un color verde más claro y brillante que el de la especie de *Agave* presente en la zona. En el Perú se han reconocido sólo dos especies hasta la fecha:

Furcraea andina Trel. , descrita en el Río Perené y en Cusco, es común verla silvestre en la Carretera Central (Lima) y en el Callejón de Huaylas, así como en casi todas las vertientes

occidentales a alturas de 2200 a 2800 msnm. Forma una roseta con hojas oblongo lanceoladas provistas de espinas fuertes y marrones de 2 cm en los bordes, separadas unos 2 a 3 cm cada una. Su escapo florífero llega a medir hasta 7 metros. Su nombre vernáculo es cabuya, chuchau (Norte), chunta paqpa o paqpa (Sierra Central y Sur).

Furcraea occidentalis Trel., descrita en Ancash y en el valle del Huallaga, es más rara en hábitat, en alturas de 300 a 2400 msnm, también ha sido introducida en las lomas costeras porque se adapta más fácilmente al cultivo en la costa. Es también una roseta acaule con hojas oblongo lanceoladas más angostas, menos rígidas y de borde liso (inermes), aunque raramente pueden presentar algunas espinas de 3 cm. separadas 5 cm o más entre sí en la base de las plantas adultas. Su nombre vernáculo es champa qara.

En el norte de Perú (Amazonas, Piura, Cajamarca) se encuentra también la misma especie armada que se encuentra en Colombia determinada ahí como *Furcraea selloa* C. Koch, (Pérez Arbeláez, 1956) y en Ecuador como *Furcraea andina* Vent., sin embargo al parecer es otra especie diferente. *Furcraea boliviensis* Ravenna posiblemente se halle en el altiplano peruano. Es posible que existan muchas otras especies de *Furcraea* en el Perú, como menciona Ravenna (en Ullrich, 1995) siendo sumamente necesario profundizar el estudio al respecto. Aparte de los usos ya mencionados para *Agave americana*, los nativos peruanos para producir fibra dura utilizan las hojas de *Furcraea* ya secas, remojándolas durante un día y golpeando para extraer el parénquima, luego las vuelven a remojar de un día para otro hasta que sólo quedan las fibras libres, se lavan y se trenzan atando tres cabos torcidos previamente formando sogas y cordeles. Para producir fibra fina para tejer vestidos, bolsas, manteles, cortinas o artículos delicados las hojas frescas se cortan desde la base y se remojan durante un mes, al cabo del cual se lavan y golpean con un mazo de madera sobre una superficie lisa. El agua donde se remojan estas hojas se aclara si está turbia y puede servir como insecticida y antiparasitario (Cerrate, 1988). Ha sido reportada además como Molusquicida (Olano, 1999).

Subclase Zingiberidae

Familia Bromeliaceae Juss. (1789)

Puya raimondii Harms, planta a la que el turismo ha vuelto famosa, es nativa de Perú, Ecuador, Bolivia, viviendo entre los 3800 a 4500 msnm. Forma una roseta de tallo corto que llega hasta 0.8 m de diámetro y 2.2 m de altura, de crecimiento lento, las hojas poseen espinas curvas y afiladas en el borde y un gancho en el ápice. Sus flores emergen de un escapo de 8 a 10 m de altura. Tiene 200 a 500 espigas cónicas insertadas en el raquis fibroso, cada una con 50 flores de color blanco azul o rosado, actinomorfas, que se abren desde la base hasta la punta. Se calcula más o menos 10 millones de semillas por planta. Su nombre vernáculo: kunko, qara, t'itanka. Su eje florífero maduro partido por la mitad sirve para hacer bóvedas en las casas andinas. Se menciona que la goma de su tallo es curativa para el asma y las afecciones hepáticas y el raquis de la inflorescencia es comestible y de sabor dulce. Sin embargo, estamos asistiendo a la paulatina desaparición de esta especie, ya que en los rodales no se encuentran plantas juveniles.

Deuterocohnia longipetala (Baker) Mez, descrita en la Flora Brasiliensis de Martius, sin embargo, el tipo se considera el colectado por Humboldt y Bonpland en el Norte del Perú. Es dudoso que los especímenes de Brasil, Bolivia y Argentina representen la misma especie. Presenta rosetas de hojas estrechamente triangulares de borde aserrado, inflorescencia en panículas de flores amarillas de 2.5 cm de largo. Presente en los valles secos del Norte del Perú, en paredes rocosas entre 800 a 1500 msnm. Es común observarlas en la carretera Pacasmayo-Cajamarca y cerca de Balsas en Amazonas.

DICOTYLEDONEAS (Clase Magnoliopsida)

Subclase Rosidae

Familia Euphorbiaceae Juss. (1789)

Familia fundamentalmente africana, presenta numerosas especies no suculentas. Su característica principal es la de presentar un látex muy irritante que exudan en gran cantidad, algunas especies carecen de perianto formando una estructura floral característica llamada ciatio (cyathium). Su fruto es por lo común una cápsula tricarpelar.

Euphorbia weberbaueri Mansfeld es hasta ahora la única especie suculenta nativa de tallo, descrita en Cajamarca, en el río Huancabamba pero se encuentra también en el Callejón de Huaylas, en el valle del Utcubamba en alturas de 600 a 2500 msnm. Mide hasta 1 metro de alto, tiene tallos erectos, cactiformes de 1-1.5 cm de diámetro y con ocho costillas que convergen y parten a las yemas de a dos, hojas ovado - oblongas, caducas, diminutas. Sus flores son cyathios de color rojo bermellón.

El género *Jatropha* con su especie *J. macrantha* Müll. procede de las vertientes occidentales de los Andes del Perú central, entre 1500 - 2400 msnm, posee un tallo suculento arboriforme, sus hojas son apicales, pecioladas, trilobuladas, rojas al nacer, verdes después, caducas. Sus flores con peciolo largo ramificado, de 2.5 cm. de diámetro, pétalos rojos, muy atractivas. Esta especie es muy apreciada por sus propiedades medicinales, sobre todo antiinflamatorias, pero se le reputa efectos afrodisiacos. Otras especies como *Jatropha ciliata* Müll Arg. conocida como Orqo Wanarpu tiene una gran distribución en el sur de Sudamérica y *Jatropha peltata*, C. Wright, de mayor tamaño, procede del sudeste del Perú.

La especie *Cnidoscolus bisiacanthus* (Pax & K. Hoffm.) Macbride, procede de las vertientes occidentales, entre los 600 y 1000 msnm, tiene un tallo suculento, semi lignificado, con espinas urticantes en los nudos y hojas, estas son trilobuladas, verde claro. Flores con cinco pétalos blancos y fruto una cápsula trilobada. Es conocida como china wanarpu, mito mito. Utilidad: Los nativos extraen la savia de esta planta que exuda a la menor punción y la dejan secar, usándola como jebe y como goma de mascar.

Familia Crassulaceae J. St-Hill (1805)

Las crasuláceas son una familia de distribución mundial y muy abundante. Tiene seis subfamilias: Crassuloideae, Kalanchoideae, Cotyledoideae, Sempervivoideae, Sedoideae y Echeverioideae.

La subfamilia Crassuloideae engloba principalmente al género *Crassula*, que tiene especies suculentas sólo en Africa. En el Perú sólo hay unas pocas especies anuales diminutas no suculentas (León, 1988).

La subfamilia Kalanchoideae debe su nombre al género *Kalanchoë*, diferente al resto de Crasuláceas por sus hojas en verticilos de dos o tres, generalmente con botones adventicios en el borde o en el ápice, que suelen dar origen a nuevas plantas aún sin separarse de la progenitora, y flores terminales en cima generalmente colgantes y tubulares con cuatro pétalos unidos por la base y ocho estambres. No contamos en el Perú con géneros nativos pero *Kalanchoë pinnata* (Lam.) Pers. (Sin. *Bryophyllum pinnatum* (Lam.) Kurz) se encuentra asilvestrada desde México hasta Argentina en zonas de clima cálido, a pesar de ser proveniente de Madagascar. Es tóxica para los mamíferos e invasora de cultivos tropicales. Se encuentra con frecuencia en los valles andinos y Selva alta del Perú entre 100-2500 msnm., departamentos de Loreto, San Martín, Huánuco, Junín.

Asimismo, *Kalanchoë delagoensis* Eckl. & Zeyh. (Sin. *K. tubiflora* (Harvey) Hamet, *K. verticillata* S. Elliot), también de Madagascar, se ha naturalizado en los valles intermedios del Norte del Perú, a alturas de 1300 a 2000 msnm, donde se ha convertido en una planta invasora. Posee hojas lineares surcadas en la parte superior y produce plántulas adventicias en el extremo de las hojas. Es común encontrarla en el valle del Utcubamba donde incluso ha llegado a desplazar a la flora nativa. Junto con *K. daigremontiana* Hamet & Perr. y el híbrido natural entre ellas dos *K. x houghtonii* D.B. Ward son las suculentas más comunes en los jardines de todo el continente (Ward, 2006).

Las subfamilia Sempervivoideae es europea y asiática, pero en la región andina se encuentra con frecuencia *Aeonium arboreum* (L.) Webb. et Berth. y su variedad *atropurpureum*. entre los 3000 a 3800 msnm, es muy utilizada por sus propiedades medicinales. En el Cusco recibe el nombre de “urapu”. Presenta tallos ramificados con cicatrices foliares, terminados en rosetas de hojas espatuladas, con los bordes ciliados. La inflorescencia es una gran panícula terminal de flores amarillas. El tallo florífero muere luego de la floración.

La subfamilia Sedoideae está distribuida por todo el mundo. El género principal *Sedum* es fundamentalmente europeo y norteamericano. La especie mexicana *Sedum dendroideum* Moc. & Sessé ssp. *praealtum* (A. DC) R.T. Clausen, se ha asilvestrado en la zona andina en Colombia y Bolivia (Thiede, 2005) y también es cultivada por sus propiedades medicinales en el Perú para la gastritis y como antiinflamatoria. Se le ubica con frecuencia en los valles andinos desde los 2500 a 3500 m habiéndosele encontrado en Cajamarca, Callejón de Huaylas y Valle del Mantaro.

Antes se pensaba que el Perú no contaba con especies del género *Sedum*. Las especies de Sedoideae de Sudamérica, caracterizadas groseramente por poseer los pétalos unidos desde la base hasta un tercio o bien hasta el ápice, se reunían en dos géneros: *Villadia*, con inflorescencias en espiga o racimo, y *Altamiranoa*, con inflorescencia en cima unilateral. En la Flora de Perú (Macbride, 1936) ambos géneros ya aparecen fusionados (Baehni, 1937); así, hasta hace poco se consideraba a todas las especies peruanas dentro del género *Villadia* hasta que Moran (1996) transfirió todas las especies de *Villadia* de la sección *Altamiranoa* a *Sedum*. Thiede y Henk 't Hart (1999) reasignan los nombres de las especies restantes a *Sedum*.

Los *Sedum* y *Villadia* peruanos se caracterizan entonces por ser plantas pequeñas, cespi-

tosas, de hojas sésiles, teretes o angostamente piramidales, a veces lineares, muy pequeñas, inflorescencia terminal con flores pequeñas muy similares a las de los *Sedum* del hemisferio norte pero unidas en la base formando un corto tubo. Según Moran (1996), el criterio más importante para distinguirlos es la presencia de inflorescencia en espigas o racimos cortos en Villadía y en cima en *Sedum*.

De este modo, según los últimos cambios tenemos las siguientes especies:

Sedum andinum Ball (Sin. *Villadía andina* (Ball) Baehni & J. F. McBride, *Sedum backebergii* von Poellnitz). Es pequeña, cespitosa, de 3 a 7 cm de alto, hojas imbricadas pequeñas, esféricas a ovoides 2–3.5 mm largo, 1.5–2.5 mm ancho, rojizas. Inflorescencia una cima pequeña de 1 a 3 flores, pétalos 3.5–4 mm largo, 2–2.5 mm ancho, extendidos hacia fuera, superficie externa carinada, blanco verdosa al centro, carmin a los costados, superficie interna roja en los márgenes con una raya blanca al centro. Descrita en Chicla, se distribuye por la carretera Central del Perú, en alturas de 3300 a 3800 msnm.

Sedum berillonanum Raymond-Hamet (Sin: *Villadía berillonana* (Raymond-Hamet) Baehni & Macbride) descrita en Ayacucho entre 2500 a 3500 msnm, de tallos postrados de hasta 8 cm de alto, hojas ovadas, obtusas, 3.5–7 mm largo y 1.75–2.75 mm de ancho. Inflorescencia en cimas, pétalos hasta 7.5 mm, color desconocido.

Sedum decipiens (Baker) Thiede & et Hart (Sin: *Villadía decipiens* (Baker) H. Jacobsen, *Sedum plicatum* Thiede & et Hart, *Villadía dielsii* Baehni & J. F. McBride, *Altamiranoa stricta* (Diels) A. Berger). Mide 12–20 cm de alto, ramificada desde la base, con 3 a 5 ramas erectas de color verde claro, hojas sésiles, angostamente ovadas a subtriangulares o teretes, de 8–17 mm largo, 2–4 mm de ancho, subagudas. Inflorescencia en cima, monocasio terminal suelto, con 3 a 4 ramas cincinoides de 1 a 3 cm de largo, cada una con 4–6 flores sésiles. Pétalos oblongo-rectangulares, unidos cortamente en la base, doblándose hacia afuera en la mitad, 6–8 mm largo, 2–3 mm ancho, induplicados, blancos con quilla verdosa en cara externa, márgenes ondulados.

Descrita originalmente en Caraz, su distribución parece ser a lo largo del Callejón de Huaylas hasta la ciudad de Huaraz, entre los 2300 a 3100 msnm. Esta es la especie que más cambios nomenclaturales ha recibido, siendo su nombre válido el otorgado por Thiede en 1999.

Sedum grandyi Raymond-Hamet (Sin: *Villadía grandyi* (Raymond-Hamet) Baehni & Macbride) descrita en Chachapoyas, presenta tallos erectos, ramificados en la base, hasta de 10 cm de largo, hojas angostamente ovadas a teretes, 3.5–6.6 mm de largo, 2.9–4.2 mm de ancho. Inflorescencia en cima, pétalos de 5–6 mm de largo.

Sedum reniforme (H. Jacobsen) Thiede & et Hart (Sin. *Villadía reniformis* H. Jacobsen, *Villadía imbricata* (Diels) Baehni & Macbride), descrita en Cajamarca a 2600 msnm, son plantas pequeñas, subcespitosas, de hasta 10 cm de alto, ramificadas en la base, con hojas muy imbricadas, sésiles con ancha base, triangular dilatadas a reniformes, 2–3 mm de largo y 3–4 mm de ancho. Inflorescencia en cima con dos cincinos, pétalos blancos de ápices recurvados, de 4 mm de largo. Se la ha observado también en Cumbemayo y en el departamento de Ancash (Valle de Nepeña y cerca de Chiquián).

Sedum weberbaueri (Diels) Thiede & et Hart (Sin. *Villadia weberbaueri* (Diels) Baehni & Macbride) descrita cerca de Balsas, Amazonas a 2300 msnm, son plantas ramificadas desde la base, de ramas ascendentes de hasta 15 cm de alto, hojas ovadas, subagudas, de 6-9 mm de largo y 2.5-5 mm de ancho, inflorescencia en cima con dos cincinos, pétalos blancos, de hasta 10 mm de largo, recurvados hacia afuera.

Villadia incarum (Ball) Baehni & J. F. McBride (Sin. *Altamiranoa incarum* (Ball) Berger in Engl. und Prantl, *Villadia dyvrandae* (Raymond-Hamet) Baehni & J. F. McBride. *Sedum dyvrandae* Hamet, *Altamiranoa dyvrandae* (Hamet) Berger). Mide hasta 20 cm de alto, ramificada desde la base, ramas erectas, hojas ovado- triangulares, 7-10 mm largo, 3.5-4 mm ancho, de color verde opaco a rojizo. Inflorescencia terminal con 7 a 12 flores de pétalos oblongo-rectangulares, unidos en la base y levemente curvados hacia fuera, blanco-crema con una quilla marrón en la cara externa.

Si bien fue descrita en Chicla, es más abundante a menos altura entre los 2900 a 3700 msnm, extendiéndose también en los valles de los afluentes del Rímac y en el Valle del Mantaro.

Villadia virgata (Diels) Baehni & J. F. McBride, descrita cerca de Chiquián, Ancash a 3300-3600 m, mide de 20-25 cm de alto, tiene tallos erectos, ramificados desde los 6-10 cm, ramas 1-3, de 2-15 cm largo, verde claro a ligeramente rojizas, hojas sésiles, insertas en ángulo agudo, densamente imbricadas, angostamente ovadas a oblongas, de 6-9 mm largo, 2-2.5 mm ancho, obtusas a subagudas, verde opaco a glaucas. Inflorescencia en espiga terminal de 10-18 flores, pétalos oblongo-hexagonales, unidos en la base, ligeramente curvados hacia afuera, 4-4.5 mm de largo, 2-2.5 mm ancho, induplicados, blancos con leve tinte marrón en quilla. Nombre vernacular: sara sara. Usos: se menciona como desinfectante de las vías urinarias.

La subfamilia Echeverioideae es totalmente americana y se caracteriza por sus inflorescencias laterales. La mayoría forma rosetas muy atractivas. El género *Echeveria* es el más conocido, con hojas en roseta, la inflorescencia lateral con escapo muy largo y flores piramidales con pétalos muy duros y unidos en la base, generalmente de color rojo o naranja. La especie mexicana *Echeveria gibbiflora*. DC. cv. *metallica* (Lemaire) Kimnach, es la más común en cultivo en el Perú, forma plantas con rosetas muy grandes, tallos gruesos de hasta 30 cm de alto y 5 cm de ancho, hojas obovado espatuladas redondeadas a emarginadas en el ápice con un mucrón de hasta 25 cm de largo por 15 de ancho, las inflorescencias son fáciles de distinguir de las especies peruanas pues ramifica formando una panícula de hasta 90 cm de alto, mientras que las especies peruanas sólo forman espigas o racimos. En México es utilizada por sus propiedades anticonceptivas. Esta especie ha escapado al cultivo en los valles del norte del Perú (Luya, Amazonas y Cajamarca).

Echeveria andicola Pino. Descrita en Tarma, Junín. Es una especie que presenta generalmente una sola roseta, tallo subterráneo de hasta 10 cm de largo, rosetas de 7-13 (-18) cm de diámetro. Hojas 18-40, sésiles, juveniles obovadas, luego lanceolado-obovadas a oblongas, de 5.5-8 (-10) cm de largo, 2.5-4 cm de ancho, obtusas con un mucrón diminuto triangular, verde claras, escapo floral erecto de 20-35 cm de largo con 7-10 brácteas deciduas, 11 a 22 flores con pedicelos erectos cortos de 0.2-1 cm de largo, rojo brillantes, corola ovoide,

prismático pentagonal, pétalos elíptico-oblongos, acuminados, cortos de 1.0-1.4 cm de largo, rojo intenso en el exterior y rosado en el interior. Se la ha encontrado a lo largo de la Carretera Central luego de virar al norte pasando La Oroya, a lo largo del Huallaga y en los valles del norte de Junín que drenan al río Palca, en alturas de 3100 a 3700 msnm.

Echeveria chilensis (Ball) Berger, descrita en Chicla, a 4000 m, es una planta que forma de 1 a 5 rosetas, tallo subterráneo, raramente aéreo y en ese caso hasta 10 cm de largo, rosetas de 9-12 cm de diám. Hojas 10-32, sésiles, lanceolado-oblongas, de 5-11 (-18) cm de largo, 1.4-2.4 cm de ancho, agudas, escapo floral 1 ó 2, 29-45 cm de largo, con 23-42 brácteas, 11-16 flores con pedicelos de 0.9-2.5 cm de largo, corola ovoide, pentagonal, pétalos elíptico-oblongos, acuminados, de 1.4-1.6 cm de largo, 3-5 mm de ancho, exterior rojo en la base, naranja a amarillo cerca del ápice, interior rosado en la base, ápice verde. Se la puede encontrar desde los 3300 a los 3800 metros de altura en el Valle del Rímac (Carretera Central), así como en diversos valles del norte de Lima y sur de Ancash. Su variedad *Echeveria chilensis* var. *backebergii* (Poellnitz) Pino, descrita en Matucana, a 2600 m, se caracteriza por estar por completo cubierta de papilas diminutas, transparentes, erectas, cilíndricas, de 80-120 μ m largo y 50-60 μ m diám. dispuestas en hileras paralelas al eje longitudinal de las hojas y brácteas. Es en general más pequeña, acaule, con rosetas de 10-15 cm de diám. Hojas 12-23, decumbentes, luego curvándose hacia afuera o paralelas al suelo, lanceoladas inicialmente, luego lineal-oblongas, de 4.5-9 cm de largo, 1.2-1.8 cm de ancho, verde claro grisáceo, márgenes ásperos, blanquecinos. Escapo floral de 16-32 cm de largo, con 15-20 brácteas lanceoladas, 8-13 flores con pedicelos de 0.6-0.9 cm de largo, corola con pétalos oblongos, acuminados, de 1.2-1.4 cm largo, superficie exterior roja en la base, amarilla en el ápice, a veces totalmente amarillos, interior amarillento. Se encuentra a menos altura, entre los 2300 a 2700 m de altura, en los valles de los ríos Rímac y Chillón.

Echeveria decumbens Kimnach, descrita en el camino de Calca a Amparaes, en el Cuzco, a 3500 m, es pequeña, muy prolífera, con varias rosetas, cada una de 4-7 cm de diámetro, con 20-24 hojas cada una, oblanceoladas con una cúspide levemente recurvada, de 2 a 3.5 cm de largo, 8-12 mm de ancho. Inflorescencia decumbente en racimo equilateral de 12-24 cm de largo, con 9 a 20 flores, raquis sinuoso, pedicelos ascendentes 1-2.5 cm de largo, corola de 13-15 mm de largo, pétalos rojo amarillentos en el medio distal. Nombre común: "urapu".

Echeveria eurychlamys (Diels) Berger, descrita en Hualgayoc, Cajamarca y con una amplia distribución en Chota (Chiguirip) y alrededores de Celendín, forma plantas acaules con generalmente una sola roseta, hojas ovado elípticas de 3-6 cm de largo y 2-3 cm de ancho, glaucas casi blanquecinas. Inflorescencia generalmente única, de 25 a 30 cm de largo, recurvada al emerger, con brácteas rotundato-ovadas hasta suborbiculares, flores sésiles aglomeradas en el extremo de la inflorescencia, de 16-20 mm de largo, pétalos rojos.

Echeveria excelsa (Diels) A. Berger, descrita en la localidad de Cajabamba, a medio camino entre Nepeña y Caraz, en Ancash a 3500 msnm. Forma rosetas de 14 a 22 cm de diámetro, tiene tallos cortos erectos de 1.7-3 cm de diámetro y hasta 20 cm de largo. Sus hojas son sésiles, aplanadas, 9-13 cm de largo y 3.5-5 (-6) cm de ancho, agudas, con un mucrón terminal, verde brillante o algo rojizas. Inflorescencia lateral en espiga erecta de 40-75 (-

120) cm de largo, con 12 a 19 brácteas solo en los dos tercios proximales, 22–26 flores solo en el tercio distal, de 2–2.1 cm largo y 0.9–1.2 cm de diámetro, rojo brillantes, sésiles. Ha sido hallada también en otros valles andinos del norte del departamento de Ancash entre los 2800 a 3600 m. Nombre común: siempreviva.

Echeveria oreophila Kimnach, descrita en Cumbemayo, Cajamarca, son plantas con generalmente un solo tallo erecto glauco al inicio y luego marrón grisáceo, de 10 cm o más y hasta 25 mm de diámetro, rematado en una roseta de 11-15 cm de ancho, con 20-30 hojas, anchamente obovadas con ápice casi truncado, con un mucrón rojizo de 1 mm de largo, de 5-7 cm de largo y 35-45 mm de ancho, verde pálido glaucescente con márgenes y partes expuestas rojizas. Inflorescencias 1 ó 2, equilateralmente racemosas, de 12-20 cm de alto o más, con brácteas inferiores erectas, flores erectas, con pedicelos ascendentes de 2-4 mm de largo, pétalos de 12-14 mm de largo, rosados, algo glaucos. Esta especie tiene una amplia distribución en los alrededores de la ciudad de Cajamarca, es común en la Cuesta del Gavilán, Baños del Inca y cultivada con el nombre de “pinpin”.

Echeveria peruviana Meyen, descrita en Tacna, forma plantas acaules con hojas obovado espatuladas de 5-7.5 cm de largo, inflorescencia con pedicelos de 3-12 mm, corola de 12-15 mm de largo, pétalos rojos. Es conocida como “qallu qallu”.

E. quitensis (Kunth) Lindl. (Sin: *Echeveria pachanoi* Rose) es una especie descrita en Quito, Ecuador, distribuida también en Venezuela y Colombia, que ha sido colectada en Huanacabamba, Piura a 1450 m, forma tallos erectos de hasta 15 cm de alto, ramificados, hojas subrosuladas, separadas entre sí, verde pálido, oblanceoladas a obovadas de 50-60 mm de largo, 25-30 mm de ancho, inflorescencias de 10 a 25 cm de alto, con aprox 20 flores, con corola de 8-15 mm de largo, rojas y amarillas.

Echeveria utcubambensis Hutchison ex Kimnach. Descrita en el valle del Río Utcubamba, al norte de Chachapoyas. Son plantas con varios tallos bien definidos que nacen desde la base, generalmente decumbentes, de 12-20 cm de largo, verde claro al inicio y luego gris verdoso a purpúreo, con frecuencia enraizando a lo largo. Rosetas de 5-7 cm de ancho, con 20-30 hojas en el extremo de los tallos, oblongo-obovadas, de 3-5.5 cm de largo y 14-23 mm de ancho, con un mucrón prominente de 1-3 mm de largo, verde azuladas y con bordes rojizos. Inflorescencia equilateramente racemosa, de aprox. 16 cm de largo, con hasta 10 brácteas, pedicelos ascendentes de 4-6 (-8) mm de largo, flores de 12-14 mm de largo y 12 mm de ancho en la base, pétalos lanceolados, agudos, aprox. 4 mm de ancho, con bandas de naranja y amarillo. Se distribuye por todo el departamento de Amazonas, siendo abundante en Luya, Leimebamba y sobre todo en Kuélap, donde crece entre las grietas de las paredes.

Echeveria westii Walther. Descrita en las ruinas de Ollantaytambo, en el Cuzco, son plantas pequeñas, con rosetas de hojas romboide-obovadas, 30-35 mm de largo, 12-20 mm de ancho, peciolo cuadrangular a la sección, inflorescencia en racimo de hasta 25 cm de alto, pedicelos de 9 mm de largo, corola urceolada de 11 a 13 mm de largo, pétalos rosados en la base, amarillos hacia el ápice.

Echeveria wurdackii Hutchison ex Kimnach. Descrita en Calla-Calla, cerca a Leimebamba, Amazonas. Es una planta con una sola roseta de 10-13 cm de ancho, tallo de 10 cm o más, 10-30 hojas obovadas, subobtusas, a veces con un mucrón rojizo, de 4-9 cm de largo y 3-5 cm ancho, verde ligeramente glauco, rojizo en los márgenes. Inflorescencias 1-4, equilateralmente racemosas, de 16-25 cm de largo, pedicelos (2.5-)3-4 cm de largo, naranja, corola con los dos tercios basales salmón-naranja, tercio distal amarillo, 14-15 mm largo y 8-10 mm ancho en la base, pétalos oblongo-ovados, agudos de 5 mm ancho. Al parecer se distribuye solo en la ruta Celendín – Leimebamba y el río Pomacocha, a alturas de 2700-2900 m.

Familia Oxalidaceae R. Br.

Esta familia posee especies suculentas sólo en Sudamérica. En el Perú tenemos a *Oxalis carnosus* Molina, con caudex suculento y escamoso, ramificado, de flores amarillas, crece en las lomas del Perú central. Otras especies son: *Oxalis peduncularis* Kunth, *Oxalis succulenta* Barneoud, *Oxalis sepulosa*, *Oxalis paposana*, *Oxalis paucartambensis*.

Subclase Caryophyllidae

Familia Basellaceae Moq. Tand.

En esta familia tenemos a *Ullucus tuberosus* Caldas, el “olluco” que es considerada suculenta.

Familia Chenopodiaceae Vent.

En esta familia tenemos suculentas como *Salicornia fruticosa* L., una hierba halófito de tallos moniliformes común en las albuferas de la costa y a *Suaeda foliosa* Moq., una hierba xerófito de tallos rígidos y hojas pequeñas teretes, descrita en la costa peruana.

Familia Aizoaceae Rudolphi

En esta familia tenemos a *Sessuvium portulacastrum* (L.) L. endémico de las costas tropicales y en Perú presente en los manglares de Tumbes y Piura, ocurre esporádicamente en las albuferas costeras como en Medio Mundo, Reserva Nacional de Paracas, etc. Es una planta halófito. En la antigüedad se la quemaba para producir sosa.

Familia Portulacaceae Juss.

Dentro del género *Portulaca* tenemos a *Portulaca pilosa* L., de amplia distribución desde el Sur de Estados Unidos hasta Sudamérica, en el Perú en los valles andinos entre Lambayeque a Tacna, a alturas de 2500 a 3500 msnm. Ha sido introducida en Hawaii, Australia y China. Es una suculenta pequeña, cespitosa, de 5 cm de alto, muy ramificada, con hojas alternas, sésiles, teretes de 10-20 mm de largo y 1-4 mm de diám, pilosas, flores de 2 cm de diámetro, rodeadas de 6-9 brácteas y abundante pilosidad, con pétalos rojo-púrpura. *Portulaca peruviana* I.M. Johnston es una especie de hojas espatuladas distribuida en las vertientes occidentales a alturas de 200 a 2700 msnm.

El género *Calandrinia* Kunth presenta plantas que habitan sobre todo en las lomas del litoral, como es *Calandrinia ruizii*, JF. Macbr. que se encuentra en las lomas cercanas a Lima, con una gran población en las Lomas de Lachay, y luego esporádicamente hasta Tacna, forma rosetas con hojas obovadas a subrotundas de 4 a 8 cm por 5 a 6 de ancho, flores pediceladas

con pétalos obcordados morados o rosados de 1 cm de largo. *Calandrinia paniculata* (Ruiz & Pav.) Hershkovitz. Se encuentra también presente en las lomas, pero es más abundante en el Sur del Perú.

Subclase Magnoliidae

Familia Piperaceae C.A. Agardh

Esta familia se caracteriza por sus inflorescencias en espigas delgadas y largas, con miles de flores microscópicas muy primitivas. El género *Peperomia* Ruiz et Pav. presenta flores, cada una con dos anteras, un pistilo y una bráctea inferior. El género se distribuye en Centro y Sudamérica y existen más de 1000 especies. La gran mayoría de peperomias son plantas semi suculentas, de hojas aplanadas y de crecimiento todo el año. Otras especies tienen dos formas de crecimiento: En el periodo húmedo almacenan agua en sus hojas suculentas y luego producen hojas delgadas y de mayor superficie. Las especies suculentas verdaderas son pocas, y gran número de ellas son nativas del Perú. Las peperomias suculentas pertenecen a dos de los subgéneros de *Peperomia*, las que tienen tallos aéreos pertenecen al subgénero Micropiper y las que presentan un tubérculo enterrado del que emergen las hojas al subgénero Tildenia.

Subgénero Micropiper Miq.

Plantas con hojas alternas:

Peperomia dolabriformis Kunth. Esta especie fue descrita en Huancabamba y se halla distribuida en valles andinos cálidos de La Libertad, Cajamarca, Lambayeque y Amazonas entre los 1200 a 1900 m. formando macizos en los claros del bosque ralo caducifolio con cactáceas o aislada en cavidades y grietas de paredes rocosas. Es la *Peperomia* suculenta más conocida. Son plantas de 25-35 (-65) cm de alto. Presenta tallo cilíndrico, suculento, ramificado en forma arborescente. En estado silvestre este tallo es de color gris, tornándose verde en cultivo, con hojas alternas subsésiles; lámina comprimida en sentido vertical, dolabriformes (en forma de hacha), 2.5-5.5 cm. de largo x 1.2-3 cm de alto, base cuneada, borde superior surcado, fenestrado transparente. Su inflorescencia es una panícula terminal, de 15-20 cm de largo. Nombre vulgar: "congona". Usos: las hojas trituradas son cicatrizantes tópicos, la infusión de las hojas e inflorescencias se usa como antiinflamatorio. Existen las variedades *P. dolabriformis* var. *brachyphylla* (Rauh, 1978), de 6-15 cm de alto, hojas más pequeñas de 1.5-2.5 cm de largo, 0.5-0.9 cm de altura, *P. dolabriformis* var. *confertifolia* Yuncker crece en el Valle del Marañón al Norte de Cajamarca y Amazonas a menor elevación, *Peperomia dolabriformis* var. *grandis* Hutchison ex Pino et Klopfenstein, descrita en la carretera de Cajamarca a Balsas a 1170 m, que mide 25-40 (-60) cm de alto y tiene hojas grandes de (4.5-) 6-13 cm de largo y 1.8-2.5 (-3.5) cm de alto con peciolo bien definidos, inflorescencias de 35-55 cm de alto.

Peperomia ferreyrae Yuncker, es otra de las especies más conocidas, descrita en el campamento Ingenio sobre el río Utcubamba, es muy común en Amazonas, a todo lo largo del río Utcubamba, desde los 1200 a 2500 msnm. Su tallo es cilíndrico, de 10 a 12 cm de largo, simple o ramificado en forma arborescente. Hojas: lineares de bordes paralelos, peciolo

de 2 mm, de 2.5-4 cm de largo y 3-4 mm de ancho, con fenestra superior transparente. Su inflorescencia es en panícula de espigas color amarillo claro. Nombre común: congona amarilla.

Peperomia strawii Hutchison ex Pino et Klopfenstein, forma plantas de 10-15 cm, tallos erectos con hojas alternas en espiral, falcadas o lunadas de 3-5.5 cm de largo, 4-6 mm de alto, cara superior curvada en V. Fue descrita en Aricapampa, en La Libertad, y se la encuentra también en la cercanía de San Marcos, Cajamarca. *Peperomia trolli* Hutchison et Rauh, (1978) descrita en Balsas, forma plantas de hasta 60 cm de alto, con hojas falcadas de 4-6 cm de largo y 1-1.5 cm de ancho, ápice uncinado, color verde muy claro, inflorescencias muy grandes de hasta 20 cm de alto con espigas de hasta 10 cm de largo, con características brácteas de color blanco de 3-4 mm de largo.

Peperomia hutchisonii, descrita en Balsas y presente también en Jaén, Cajamarca, entre los 600-800 m presenta un aspecto áspero de la epidermis, agrupado en papilas grandes que le dan un aspecto verrucoso o empedrado. Las hojas miden 3 a 4 cm x 2 a 2.5 cm, aplanadas verticalmente, de color gris rosado en hábitat, semicirculares o elíptico-lanceoladas con una nervadura central prominente, alternas, separadas cada 1 a 2 cm con un pecíolo corto de 5 mm. Tallo de 3 a 4 mm de ancho, 6 a 8 de alto, 12 a 15 cm en total con el escapo floral, el cual es único y rodeado de hojas modificadas cada vez más pequeñas y delgadas.

Peperomia nivalis Miquel, descrita sin localización exacta pero probablemente en Cajamarca aunque al parecer existe en casi toda la zona andina, habiendo sido reportada en La Libertad, Ancash, Lima, Arequipa y Cuzco entre los 2000 -3000 msnm. Es conocida como “empanadilla”, Son plantas pequeñas de 10-15 cm de alto, tallo rastrero ramificado desde la base; ramas erguidas de 7- 10 cm de alto, hojas alternas, pecíolo cilíndrico insertado ínfero-oblicuamente a la base de la hoja, de 1.5-5 mm de largo, lámina comprimida en sentido vertical, oval a dolabriformes, 0.8-1.2 de largo y 0.4-0.8 cm de alto, 2-4 mm de ancho, ápice subagudo, base cuneada; borde superior surcado, fenestrado transparente. La inflorescencia es una panícula terminal alterna con 3-7 espigas. Nombre vulgar: “trigo” (Otuzco) “cucharrilla”, “pin-pin hembra” (Cajamarca) “empanadilla” (Cajamarca, Ancash). Usos: las hojas asadas al fuego son comprimidas usándose el extracto en gotas contra la otitis y conjuntivitis ocular. Toda la planta molida se usa como emplasto tópico para el dolor abdominal. La variedad *P. nivalis* var. *sanmarcensis* (2004) Pino et Cieza se caracteriza por los tallos más largos y decumbentes, hojas más angostas pero más largas, de 1.4 a 1.6 cm de largo y 4-5 mm de alto, de color más rojizo. Crece en las raíces de los árboles de tara en los alrededores de San Marcos, en lugares muy secos. La variedad *Peperomia nivalis* var. *compacta* Pino et Cieza, (2003) se diferencia por su tamaño más compacto, ramas más erectas, hojas más pequeñas de 0.4–0.8 cm de largo, muy congestionadas en los tallos y por habitar lugares más expuestos a menor altura (2900-3200). Fue descrita en San Marcos, Cajamarca.

Peperomia asperula Hutchison & Rauh. (1975) Descubierta en el Valle de Otuzco a 800 m. Presenta tallo erecto, succulento de 15 - 20 cm de alto, llegando a 30 al florecer, ramificado desde la base. Sus hojas son alternas, lanceoladas, con ápice agudo, adultas son péndulas, midiendo 4.5 cm x 12 mm x 7 mm. Fenestradas en la parte superior, que es lisa y en forma

de v, cubiertas por entero de papilas en el resto de la hoja. Este aspecto áspero de las epidermis de las hojas, los peciolo y tallos jóvenes, es producido por células papiladas en forma de estrella, lo que da el nombre a la planta. La planta entera es de color plomo rojiza en hábitat y verdosa en cultivo.

Peperomia cymbifolia Pino (2004) es muy parecida a la anterior, de tallos de 30-35 cm de alto, color gris rojizo a rojo pizarra, hojas alternas, colgantes en la temporada seca, elevándose hasta perpendiculares al tallo en la época lluviosa, lámina comprimida en sentido vertical, coriácea en la temporada seca, succulenta en la época de lluvias y en cultivo, oval-elíptica a lanceolada, (1.6-) 2.2-3.4 cm de largo, 0.7-0.8 cm de alto, 2-5 (-10) mm. de ancho, ápice agudo, base cuneada; borde superior profundamente surcado en “v”, liso, fenestrado transparente, superficie papilosa. La inflorescencia es terminal de 10-18(-30) cm de largo, con generalmente una sola espiga erguida, de 3.8-6 (-15) cm de largo, verde rojiza. Nombre vulgar: “tonga”. Usos: las hojas trituradas son usadas tópicamente como cicatrizantes. Fue descrita en el camino de Cajamarca a Chilete, en la Cuesta del Gavilán, también está presente en Chota, distrito de Chiguirip. Su variedad *Peperomia cymbifolia* var. *goodspeedii* Pino et Cieza (2005) es mucho más pequeña, de 10 a 15 cm de alto, hojas de 0.8-1.4 cm de largo, 0.5-0.7 cm de alto y de color rojo purpúreo, fue descrita en Celendín camino a Balsas y se halla también en Ichocán, San Marcos.

Peperomia worfgang-krahnii Rauh (1986), descrita en Aricapampa, La Libertad, presenta tallos ramificados desde la base, de hasta 10 cm de alto, con hojas de hasta 1 cm de largo, superficie algo verrucosa y bordes sinuosos, característica única entre las *Peperomia* de este grupo.

Peperomia columella Rauh & Hutchison (1973) la encontramos en Caclic, Chachapoyas, Amazonas a 1500 msnm. Es pequeña, de tallo cilíndrico erecto, hasta de 1 cm de diámetro y 8 a 15 de alto, muy ramificado desde la base. Hojas sésiles, acorazonadas de 4-7 mm x 4 mm, muy gruesas con la cara externa fenestrada, arregladas en cinco líneas espirales. Las hojas están dispuestas tan cerca la una de la otra que ocultan el tallo, dando a toda la planta una forma de columna de donde deriva su nombre. Las inflorescencias son múltiples y terminales, de 1 a 1.2 cm x 3 mm. Es una planta en peligro, pues sólo se la ha encontrado en su localidad tipo.

Una especie afín a la anterior es *Peperomia columnaris* Hutchison ex Pino et Klopfenstein (2005) que crece en las riberas del Utcubamba y subida a Kuélap, entre los 1700 a 2000 m, es erecta, con tallos de 28-35 cm y hasta 55 cm en floración, tallo simple o sólo ramificado en la base, hojas alternas, colgantes en la temporada seca, comprimidas verticalmente, obovo-lanceolado a lunadas, 0.9-2 cm largo, (4-)5-7 mm alto, base obtusa, subcuneadas, con la superficie superior fenestrada. Su inflorescencia en panícula terminal de 5-10 cm de largo con 10-20 espigas.

Peperomia cereoides Pino et Cieza (2003), es una de las especies más diferenciadas de *Peperomia*. Son plantas de 35-45(-55) cm de alto, tallo al inicio postrado, luego erecto de 18-26 mm diám. en base, grisáceo, con cicatrices foliares, muy ramificado, hojas dispuestas en espiral alrededor del tallo, subsésiles, densamente agrupadas, obovado-pentagonales, de 5-6.5 mm de largo y 2.5-3.5 mm de ancho, agudas, levemente acuminadas. Inflorescencia

terminal en panícula de 2.5–4 cm largo. Ha sido descrita en Liclic, San Marcos, Cajamarca a 3000 m y también en Ichocán. Su variedad *Peperomia cereoides* var. *reducta* Pino et Cieza, (2004) se caracteriza por su tamaño mucho menor, de 10 -15 cm de alto, tallos más delgados y por habitar en sitios más altos y fríos. Ha sido descrita en Cajamarca, San Marcos, localidad de Casablanca a 3600 m.

Peperomia liclicensis Pino et Klopfenstein (2003), forma plantas de 15–20 cm de alto, tallo basal enterrado en musgo, luego erecto, verde grisáceo, hojas alternas, oblongo-lanceoladas, apex agudo, base cuneada; 2–3.5 cm de largo y 1.1–1.9 de ancho, cara superior surcada en V, fenestrada, rojiza en áreas expuestas, inflorescencia terminal, con espiga única de 4.5–6 cm de largo y 1.8–2.5 mm de diámetro. Descrito hasta ahora sólo en la localidad tipo, Liclic en San Marcos a 2950 m.

Plantas con hojas verticiladas:

Peperomia inaequalifolia R&P. (Sin: *Peperomia congona* Sodiro) Se conoce sólo en cultivo por sus propiedades medicinales, tiene 55-75 cm de alto, hojas en verticilos de 4-5(-6); lámina obovada – subespatulada de 3.5-5 x 1.5-1.8 cm con ápice retuso, base cuneada, con aroma a canela. Inflorescencia en espigas terminales, raramente axilares 2-5; de 7-15 cm de largo. Nombre vulgar: “congoná”, “siempreviva”. Usos: las hojas trituradas son cicatrizantes tópicos y se usan como dentífrico y contra la gingivitis. La infusión de las hojas es tranquilizante y analgésica para la cefalea. Las hojas se mezclan con el alimento de los animales para apacentarlos. A las hojas asadas al fuego se les extrae el contenido por presión y se aplica en gotas contra la otitis y conjuntivitis ocular.

Peperomia galioides Kunth, es afín a la anterior pero más pequeña, descrita originalmente en Colombia, es muy abundante en México, Perú y en Bolivia entre los 2600 a 3000 m, saxícola y ocasionalmente epífita en lugares húmedos y semisombreados. Puede ser pequeña o grande de 10-50 cm de alto, según las condiciones del medio. Presenta un tallo cilíndrico, ramificado en la base y nudos inferiores, hojas verticiladas de 8 por nudo, las juveniles suculentas, colgantes o insertadas perpendicularmente; obovada-oblongas de 0.8-1.2 de largo, 5-6 mm de ancho y 1.5-2.5 mm de espesor, ápice obtuso a subretuso, base obtusa a cuneada, margen entero, haz convexo transparente liso, nervaduras invisibles, envés verde grisáceo a rojizo, convexo, nervaduras invisibles excepto la medial. Las hojas maduras cercanas a las inflorescencias papiráceas o coriáceas, elípticas, 1.5-1.8 cm de largo, pinnatinervias, verde amarillentas, base y ápice obtusos, erectas o en ángulo recto con respecto al tallo. Su inflorescencia es en espigas terminales en nudos de 1-3; 3-8 cm de largo. Luego de florecer el tallo muere, mientras tanto inicia su crecimiento un nuevo tallo vegetativo a partir de la base enraizada. Nombre vulgar: “tunacongoná”, “congoná hembra”. Usos: los tallos y hojas trituradas son cicatrizantes tópicos, Cerrate (1988) menciona que para tal fin se lava la planta sin la raíz, se muele y se aplica sobre la herida cubriéndose con un apósito, se cambia la mezcla interdiariamente y luego cada 4 días. La infusión de las hojas se bebe como tranquilizante. Su variedad *Peperomia galioides* var. *glauca* Pino (2004) se diferencia por estar cubierta de un indumento céreo que le da un color azulado, lo que le permite estar más expuesta al sol, es de mayor tamaño y sus hojas basales son sésiles, obovado orbiculares. Se la ha descrito en

San Juan, Cajamarca y está presente también en Porcón, Chota y en San Marcos. Nombre vulgar: “tullu shakay”. No se ha reportado usos medicinales de esta variedad.

Peperomia hartwegiana Miq., forma plantas epífitas o saxícolas de 13-25 cm de alto, tallo decumbente, hojas verticiladas 3-5, comúnmente 4, pecíolo pubescente, láminas orbiculares u ovadas, de 0.9-1.1 (-1.6) cm de largo y 0.8-0.9 (-1.1) cm de ancho, ápice subagudo a obtuso, base redondeada, borde entero ciliolado. La inflorescencia es en espiga terminal simple de 9-12 cm de largo, rojo vinoso. Se la encuentra en el monte ribereño sombreado como epífita o saxícola sobre farallones en lugares húmedos sombreados y fríos, de 3000 a 3800 m. Descrita en los Andes de Colombia, en el Perú ha sido colectada en Cajamarca, Amazonas y en Ancash, en la Cordillera Blanca en el Parque Nacional Huascarán. La variedad *Peperomia hartwegiana* var. *minutifolia* Pino et Klopfenstein (2004), se caracteriza por su tamaño más pequeño de 9-17 cm de alto, hojas menores y pubescentes de 7-9 mm largo, 6-6.5 mm de ancho, espigas de 4-7 cm de largo. habita en lugares más expuestos y secos, a más altura, en San Marcos, Chota, Huamachuco, Pataz y Leimebamba.

Subgénero *Tildenia* Miq.

Son peperomias caudiciformes, es decir, que presentan una estructura succulenta bajo tierra, a partir de la cual emergen las hojas que son deciduas y generalmente peltadas o subpeltadas. Las hojas emergen generalmente en grupos concéntricos, cada uno de los cuales presenta a su vez una inflorescencia en espiga. Son prácticamente invisibles en los meses de sequía (junio a noviembre) en que permanecen enterradas, exhibiendo sus estructuras vegetativas y reproductivas sólo en los meses de lluvia.

Peperomia peruviana (Miq) Dahls, descrita en Perú en el lago Titicaca, reportada en Bolivia y Argentina. Presenta tubérculos globosos, cubiertos de raíces en toda su superficie, hojas peltadas orbiculares con la inserción del pecíolo en el centro, de 1 - 2 cm de diámetro, pecíolo de 2-5 cm de largo, espigas de 2-5 cm de largo. Se le conoce en el Perú como kasa kasa.

Peperomia andina Pino. (2004) Es una especie con tubérculo enterrado, discoideo o placentiforme, de 2-4.5 (-7) cm de diámetro, 2.5-3 cm de alto, y raíces que emergen de la base. Sus hojas nacen de las yemas de la cara superior del tubérculo con pecíolos cilíndricos verde rojizo a púrpura, 6-10 cm de alto, lámina orbicular-ovoide, coriácea, infundibuliforme, peltada excéntricamente a un tercio de la base, 2-2.8 cm x 1.5-2.4 cm. Sus espigas miden 6-15 cm de largo. Crece entre los 2700 a 3600 m. en la zona andina. Es común en los alrededores de Cajamarca, donde fue descrita, también en La Libertad. En Cajamarca la llaman “munllu-munllu” “lápara” “papa madre”. Usos: los tubérculos triturados son cicatrizantes y antiinflamatorios tópicos aplicados sobre los párpados. Macerados son bebidos como tranquilizantes, hervidos son bebidos como antiinflamatorios. Su efecto cicatrizante ha sido publicado aunque con otra determinación para la planta (Pino, 2001; Guillermo, 2002, 2005) como *Peperomia scutellifolia* R. et P., que corresponde a otra especie tuberosa de las Lomas de Atiquipa, Islay y Camaná, que tiene tubérculos mucho más pequeños, hojas ovadas más anchas que largas, que secan papiráceas, mientras que *P. andina* tiene las hojas más succulentas.

Peperomia macrorhiza Kunth. Se caracteriza por su tubérculo globular en la planta joven, irregular y multilobulado después, expuesto totalmente, muy grande, llegando a medir hasta 7 cm. Las raíces emergen desde la base. En la parte superior emergen hojas orbiculares peltadas de 5 a 6 mm de diámetro, con peciolo de 2.5 a 4 cm de largo, espigas de 2.5 a 7 cm de largo. Descrita en Cajamarca, nunca fue recolectada hasta que Rauh (1989) la redescubre. Se la encuentra en Cajamarca entre 2500 a 2800 m, entre las grietas de formaciones megalíticas, con musgos, en lugares muy soleados y expuestos al viento. Nombre vulgar: “uma puma”, “pata de oso”, “munllu munllu”. Usos: Los tubérculos pelados molidos y macerados en agua se beben como tranquilizantes. Su variedad *Peperomia macrorhiza* Kunth. var. *lilliputiana* Pino et Cieza (2005), proviene de Huamachuco, en La Libertad, la laguna Sausacocha, se caracteriza por sus hojas ovales a cordiformes, densamente implantadas sobre los tubérculos.

Peperomia parvifolia C.DC. es una especie pequeña, con tubérculos de 1.2-2.3 cm de alto, 1.2-1.5 cm de diámetro, enterrados en el musgo o líquenes, hojas peltadas en el centro, orbiculares de 0.4-0.6 cm de diám., espigas de 2.8-3.5 cm de largo. Vive en hábitats rocosos andinos entre los 3600 a 3800 m.

Otra especie notable por la estructura de sus hojas diferente al resto de peperomias caudiciformes es *Peperomia dolabella* Rauh et Kimnach. Presenta un tubérculo de 2 a 5 cm de diámetro, placentiforme achatado, con raíces desde la mitad inferior, cara superior cóncava, hojas erectas suculentas dolabriformes con fenestra superior, parecidas a las de *P. nivalis*, de 4-6 (-18) mm de alto y 6-8 (-20) mm de largo, espigas de 3 a 6 cm de largo. La planta permanece totalmente enterrada y sin hojas entre junio y setiembre. Hasta ahora ha sido encontrada solamente en los alrededores de la ciudad de Cajamarca. La localidad tipo de esta planta es un área muy pequeña, con gran presión agrícola y cerca de canteras de arena para construcción, por lo que podría considerarse como una especie amenazada. Nombre vulgar: “linli-linli” (orejas). Usos: Las hojas son usadas para engordar al ganado mezcladas con su alimento.

Subclase Hammamelidae

Familia Urticaceae Juss.

Dentro de esta familia tenemos a *Pilea serpyllacea* Kunth, (Sin: *Pilea globosa* Wedd.), muy abundante en la mayoría de valles andinos del Perú, entre los 2000 y 3500 m. Son plantas diminutas, con tallos de 5 a 10 cm, muy ramificados, rojo-violáceos y hojas globosas, pecioladas de 3-4 mm x 2-3 mm, el hemisferio superior es rojo debido a las antocianinas que impiden que la luz penetre dentro de la hoja, al contrario, el hemisferio inferior es transparente, fenestrado, permitiendo que la luz reflejada de las piedras del suelo penetre por debajo y llegue a las células fotosintéticas que se encuentran en la cara interna de la hoja. Sus flores son pequeñas, las femeninas son tripartitas de color rojo mientras que las masculinas son cuatripartitas y de color blanco. Es conocida como aqoykarpa, k'urukisa, wamlachi de la quinua. Usos: se menciona como desinfectante de las vías urinarias (Rauh, 1959).

LITERATURA CITADA

- Baehni, C. 1937.** Villadia *et* Altamiranoa. Étude sur la fusion de deux genres de Crassulacées. Candollea 7: 283-286.
- Brako et Zarucchi. 1993.** Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. Missouri Botanical Garden. Monographs in Systematic Botany from Missouri. Vol 45.
- Cerrate, E. 1980.** Plantas que curan las heridas del hombre y los animales. Boletín de Lima. 3.
- Cerrate, E. 1988.** Suculentas útiles. Segunda Parte. Quepo Vol. 2 n°2. 67-71.
- Cerrate, E. 1990.** Euphorbia weberbaueri Mansf. Suculenta Peruana. Quepo Vol. 3 n°4. 22-26.
- Guillermo, F. 2002.** Comprobación del efecto cicatrizante de *Peperomia scutellaefolia* R. *et* P., aspectos etnofarmacológicos, botánicos y estudios químicos. Tesis (Químico Farmacéutico)- Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Departamento Académico de Química Básica y Aplicada.
- Guillermo, F et al. 2005.** Efecto cicatrizante del tallo subterráneo de *Peperomia scutellaefolia* R. *et* P. en geles aplicados a *Ratus norvergicus*. Folia Dermatol., ene./abr. 2005, vol.16, no.1, p.15-22.
- Greuter, W., Barrie F.R., Burdet, H.M. 1998.** International Code of Botanical Nomenclature. Regnum Vegetabile 138. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, Alemania.
- Hill, A.W. 1906.** The Morphology and Seedling structure of the Geophilous Species of Peperomia, together with some views on the Origin of Monocotyledons. Annals of Botany, Vol XX. No LXXX. 395-427.
- Hill, A.W. 1907.** A revision of the Geophilous species of Peperomia, with some additional notes on their Morphology and Seedling structure. Annals of Botany, Vol XXI. No LXXXII. 139-160.
- Humboldt, A, Bonpland, A et Kunth K.S. 1815.** Nova Genera et Species Plantarum, quas in peregrinatione orbis novis collegerunt, descripserunt, partim adumbraverunt. Tom. I. 50-61. Tab. 3- 17. Libreria Greco-Latina-Alemana, Paris
- Jacobsen, H. 1960.** A handbook of succulent plants. Blandford Press, London
- Jankalski, S. 1989.** Windowed leaf Peperomias. The Baltimore Areole, September Issue.
- León B. 1988.** Las pequeñas Crassula de nuestra flora. Quepo Vol 2 N° 2 50 – 52.
- López P, M. 2000.** *Aloe barbadensis*, historia, propiedades y usos. Quepo Vol 14. 68-74.
- Low JE. 2006.** Regarding the new Sedums and Villadias of Peru. Sedum Society Newsletter (UK) 76: 39–41.
- Macbride, J.F. 1936.** Flora of Peru. Vol XII Part 1, N°3, Part 2, N°2, Part2, N°3. Chicago USA.
- Mathieu G. 2001-2004.** Taxonomic Repertory of the Genus *Peperomia*. www.peperomia.net.
- Moran, R. 1996.** Altamiranoa into Sedum. Haseltonia 4:46.

- Olano S, 1999.** Acción molusquicida de *Furcraea andina* Trel. (Agavaceae) sobre *Fossaria viatrix*, (Orbigny, 1835) y sus componentes fotoquímicos. Tesis (Biólogo)-Mención: Microbiología y Parasitología. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Biológicas.
- Pérez-Arbeláez E. 1956.** Plantas Útiles de Colombia. 14ava. Edición. Editorial Victor Hugo, Medellín, Colombia.
- Pino G. 1994.** Peperomias suculentas del Perú. Quepo Vol. 8. 72-78
- Pino G. 1995.** Crasuláceas nativas y cultivadas. Quepo Vol.9. 66-72
- Pino G. 1995.** Suculentas de Chota. Quepo Vol.9. 86-91
- Pino G. 1996.** Agaváceas cultivadas en el Perú. Quepo Vol.10. 64-70
- Pino G. 1998.** Cactus y Suculentas del Valle del Río Utcubamba. Quepo Vol.12. 36-41
- Pino G. 2001.** Usos Medicinales de las Especies de Peperomia en el Perú. Biota. Vol 18 (100) 80-95.
- Pino G. 2002.** The varieties of *Echeveria chichensis* (Crassulaceae), an endemic Peruvian species. Haseltonia 9, 51-61.
- Pino G, Klopfenstein O, Cieza N. 2003.** Three new taxa of Peperomia from northern Peru. Cact.Succ.J (US), Vol. 75 (1) 27- 36.
- Pino, G. 2004.** Peperomias de Cajamarca. Resultados de la Tesis de Maestría en Botánica Tropical de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Pino G, Klopfenstein O, Cieza N. 2004.** Four new Taxa of Peperomia (Piperaceae) from San Marcos, Northern Peru. Haseltonia 10: 87-95.
- Pino G, Klopfenstein O, Cieza N. 2005.** Four new Peperomias from Northern Peru. Haseltonia 11:103-112.
- Pino G. 2005.** *Echeveria andicola*, a new species from Central Peru. Haseltonia 11: 98-102.
- Rauh, W. 1959.** Über einige bemerkenswerte Blattsukkulente aus den Anden Perus: *Pilea serpyllacea*. Kakteen und andere Sukkulanten 10(9) 129-133
- Rauh, W. 1960.** Über knollenbildende Peperomien aus den Hochanden. Kakteen und andere Sukkulanten 11(8) 116-118.
- Rauh, W. 1978.** *Peperomia trollii*. Eine neue Art aus Nordperu. Kakteen und andere Sukkulanten 29(1) 1-6.
- Rauh, W. 1978** *Peperomia dolabriformis* var. *brachyphylla*. Kakteen und andere Sukkulanten: 29(1) 5.
- Rauh, W. 1986.** Eine neue sukkulente Peperomia aus Nordperu: *Peperomia wolfgang-krah-nii* Rauh. Kakteen und andere Sukkulanten 37(7). 136-140.
- Rauh, W. 1989.** *Peperomia macrorhiza* H.B.K. A little known tuberous species from northern Peru. Cactus and Succulent Journal Vol 61. 225-232.
- Rauh, W. 1997.** À propos de quelques espèces intéressantes dans le genre *Peperomia*. Suculentas (France) 20ème année spécial. 1-32.
- Rauh, W. et Barthlott, W. 1975.** Two new species of succulent *Peperomia* from South America. Cactus and Succulent Journal Vol 47. 199-208.

- Rauh, W. et Hutchinson, P. 1973.** *Peperomia columella*. A new, succulent, dwarf species from Northern Peru. Cactus and Succulent Journal Vol 45. 152-156.
- Rauh, W. et Kimnach, M. 1986.** *Peperomia dolabella*, a new species from Peru. Cactus and Succulent Journal. Vol 58. 3-8.
- Ruiz, H et Pavón, J. 1798.** Flora Peruviana et Chilensis. Vol I. 29-33 . Pl. XLIV-LII. Reimpresión 1965 J. Cramer-Lehre New York.
- Sagastegui, A. 1995.** Diversidad Florística de Contumazá. Universidad Antenor Orrego de Trujillo. Fondo Editorial.
- Soukup, J. 1987.** Vocabulario de los nombres vulgares de la flora peruana y Catálogo de los Géneros. Editorial Salesiana, Lima Perú.
- Thiede, J & 't Hart, H. 1999.** Transfer of four Peruvian *Altamiranoa* species to *Sedum*. (Crassulaceae). Novon 9: 124–125
- Thiede, J. 2003.** *Villadia*. Pages 367-374 in Illustrated Handbook of Succulent Plants, Vol. VI, Crassulaceae. ed. U Eggli. Heidelberg: Springer.
- Trelease, W et Yuncker, T. G. 1950.** The Piperaceae of Northern South America. Vol 2. 442-753 Pl. 395-674. University of Illinois Press, Urbana.
- Uhl, CJ & Moran R. 1999.** Chromosomes of *Villadia* and *Altamiranoa*. American Journal of Botany 86: 388.
- Ullrich, B 1992.** *Furcraea* (Agavaceae) en Sudamérica. Quepo Vol. 6. 67-75.
- Walther E. 1972.** *Echeveria*. San Francisco: California Academy of Sciences, San Francisco.
- Ward, D B. 2006.** A name for a hybrid *Kalanchoe* now naturalized in Florida. Cact.Succ.J (US), Vol. 78 (2) 92-95.
- Weberbauer, A. 1945.** El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos. Estac. Exper. Agríc. La Molina. Ministerio de Agricultura. Edit. Lumen. S.A. Lima.
- Yuncker, T.G. 1953.** The *Piperaceae* of Argentina, Bolivia and Chile. Lilloa, Tomo 27, 167-284. Pl. XLVI-CLXV, Tucumán, Argentina.
- Yuncker T.G. 1956.** South American *Piperaceae*: new species and nomenclatural notes on two previously published taxa. American Journal of Botany Vol 43 (3) 161-168.
- Yuncker T.G. 1961.** New Taxa of Peruvian *Piperaceae*. Brittonia Vol 13. 60-63.

Sobre el Origen de la Tuna en el Perú

Algunos alcances

SIDNEY NOVOA

JARDÍN BOTÁNICO “OCTAVIO VELARDE NÚÑEZ”. DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.

Email: 2000084@lamolina.edu.pe

RESUMEN

Se presenta una recopilación de datos históricos y biológicos relacionados con el origen de la tuna en el Perú. El uso de opuntias nativas data de épocas precolombinas con más de 11,000 años de antigüedad. La tuna (*Opuntia ficus-indica*) fue registrada por los cronistas, detallando el uso comestible de sus frutos y la presencia de cochinilla en la superficie de sus tallos. Se discuten datos de análisis citológicos y genéticos, conjuntamente con una revisión de colorantes de tejidos prehispánicos como fuentes de información que podrían contribuir a dilucidar el tiempo de introducción de esta planta.

Palabras Clave: Alimentación, cochinilla, culturas prehispánicas, opuntia, origen.

ABSTRACT

*A summary of historical and biological data related with the origin of the tuna in Peru is presented. The uses of native opuntias date from before Columbus times with more than 11,000 years of antiquity. The tuna (*Opuntia ficus-indica*) was registered by the chroniclers, detailing the edible uses of its fruits and the cochineal presence in the surface of its stems. Cytological and genetic analyses are discussed jointly with a revision of prehispanic dyes as sources of information that could contribute to elucidate the introduction time of this plant.*

Key Words: Cochineal, feeding, opuntia, origin, prehispanic cultures.

INTRODUCCIÓN

La tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) es un recurso de gran importancia en los sistemas agro-pastoriles de los Andes peruanos. Esta cactácea se encuentra ampliamente distribuida en el país, especialmente en los valles interandinos donde ha encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento (Piña, 1981). Sus frutos son consumidos en forma natural tanto por campesinos como por pobladores locales, y son comercializados en los principales mercados del país. Con éstos también se elaboran productos derivados como mermeladas y bebidas. Sus tallos se utilizan como forraje para el ganado, especialmente en épocas de sequía, igualmente son útiles en el establecimiento de cercos vivos, y cuando la planta muere, sus restos se usan para la elaboración de fertilizantes orgánicos (Granados & Castañeda, 1991; Nobel, 1998). Pero sin duda el uso más frecuente que se le da a esta planta es como hospedera para la crianza de un insecto conocido como cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa), en cuyo interior se produce el carmín, pigmento natural usado en la industria alimenticia, textil y farmacéutica (Rodríguez *et al.*, 2006). El Perú sigue siendo el primer productor de carmín a nivel mundial, aportando entre el 85 y el 90% de la demanda internacional, y la actividad productiva se basa en la recolección artesanal de estos insectos, principalmente en la zona de Ayacucho (Rodríguez & Pascual, 2004; Portillo, 2005).

OPUNTIAS NATIVAS EN LA ÉPOCA PRECOLOMBINA

Los primeros restos sobre el uso de cactáceas encontrados en el Perú datan de la época del Horizonte Pre-agrícola (10,000-6000 años de antigüedad), y se encontraron en los basurales próximos a la cueva de Pachamachay en las cercanías del lago de Junín sobre los 4200 msnm. En ese sitio se hallaron semillas de una especie de *Opuntia* de una antigüedad de más de 11,800 años, la cual podría tratarse de *Austrocylindropuntia floccosa* (Salm-Dyck ex Winterfeld) F.Ritter, que es la única que crece en tales altitudes y cuyos frutos aún siguen siendo consumidos en las serranías del centro y sur del país (Ostolaza, 1994; Vilcapoma, 2000). Desafortunadamente han sido escasos los estudios de coprolitos humanos que son los tipos de restos arqueológicos que determinarían la identidad de las especies de cactáceas que formaban parte de la dieta del hombre antiguo del Perú.

Posteriormente se encontraron restos de opuntia y otras cactáceas, formando parte de ofrendas con las que se enterraban a los muertos como anzuelos, alfileres o peines hechos con espinas de *Austrocylindropuntia exaltata* y *Neoraimondia arequipensis* (Towle, 1961, Ostolaza, 1994; Piacenza & Ostolaza, 2002). También se han encontrado restos de opuntia formando parte del material de construcción en algunas edificaciones prehispánicas (Álvarez & Cáceres, 2003).

El estudio de las manifestaciones artísticas de las culturas preincas ha permitido identificar otras especies de gran importancia, siendo el cactus “San Pedro” (*Echinopsis pachanoi* (Britton & Rose) Friedrich & Rowley o *E. peruviana* (Britton & Rose) H. Friedrich & GD Rowley) el de mayor relevancia en el Perú prehispánico (Ostolaza, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000; Reyna & Flores, 2001; Anderson, 2001).

Las opuntias han sido documentadas como elementos importantes de las culturas Paracas, Nazca, Moche, e Inca (Yacovleff & Herrera, 1934; Blasco & Ramos, 1980; Ostolaza 1996, 1997, 1998, 1999, 2000). Sin embargo, el grupo de las platyopuntias dentro del que se encuentra la tuna, solo ha sido reportado en las culturas Moche e Inca (Horkhemier, 2004). Especialmente es en la iconografía Mochica en la que resaltan estas opuntias de tallos planos y redondeados (Fig 1), probablemente se trata de *Opuntia macbridei* Britton & Rose, la cual se distribuye ampliamente en el norte del país. Presumiblemente sus frutos eran consumidos por los moches, así como por los animales (zorros y venados) que se distinguen en los ceramios (Donnan & McClelland, 1995).

LA TUNA EN LAS CRÓNICAS

Los primeros reportes de la colonia sobre *O. ficus-indica* en el Perú fueron realizados por cronistas como Pedro de Rivera (1586) quien comenta: “...*hay algunos cardones que se da en la tierra templada, del grandor de una mano, los cuales se cultivan con mucho cuidado; su fruto es de grana colorada finísima con que se tiñe la ropa, que en esta tierra se hace de cumpi y otras curiosas para el vestido de los indios...*” y posteriormente, el padre Bernabé Cobo en su obra “Historia del Nuevo Mundo” (1650) (ambos cronistas citados por Yacovleff & Herrera, 1934), quien describe a la tuna de la siguiente manera “*Viven muchos años, en que difieren de las yerbas; no producen ramas ni hojas, sino unos trozos redondos y gruesas pencas encaramadas e ingeridas unas sobre otras; son tiernas aguanosas, como zábilas, pepinos o calabazas, destila de ellas un humor pegajoso como el de la sábila, en que muestran no convenir con los árboles y las matas. Están de alto abajo pobladas de agudísimas espinas, unas mayores que otras, de agujas y alfileres...*” en clara alusión a las características de esta cactácea. Estas referencias indican que durante la llegada de los españoles a esta parte del continente americano encontraron a estas plantas bajo cultivo. Igualmente hacen mención al uso de la cochinilla, Miguel de Estete (1534) en una cita de Piña (1977), informa que la grana se cultivó en Perú desde antes de la llegada de los españoles, además de que habría otras pruebas de que la grana se producía y se empleaba como colorante, no sólo en Perú (Lima y Ayacucho) sino en Bolivia y Chile, reportando que los indios recogían “*mucho grana y algodón*”, afirmación confirmada posteriormente por Cobo (1650) recalando que la cochinilla que ya era conocida en México, se llamaba “magno” en el Perú.

TUNA Y COCHINILLA

Otro argumento sostenido para la determinación del origen de la tuna en el Perú puede atribuirse al uso de la cochinilla (*Dactylopius* spp.). Este insecto cuya hembra ha sufrido grandes modificaciones en su morfología para adaptarse a una vida sésil sobre los cactus, es endémico del continente americano, al igual que las cactáceas, siendo la relación entre ambos de una alta especificidad (Claps & Haro, 2001; Novoa, 2005), tal que estas no podrían sobrevivir en la superficie de ninguna otra planta. Se alimentan de varias especies de cactus, opuntias en su mayoría, y producen un colorante natural de gran importancia en la industria cosmética y alimenticia; estos fueron de gran importancia en las culturas prehispánicas, en especial para el teñido de fibras y tejidos.

La especie de mayor uso comercial es la cochinilla del carmín (*D. coccus*) y se le encuentra asociada a 14 especies de opuntias entre silvestres y cultivadas (solamente en platyopuntias) (Portillo & Viguera, 2003; Portillo, 2005). Conocido como “magno” o “macno” en Perú, este pigmento ha sido encontrado en varios tejidos de diferentes culturas prehispánicas (Yacovleff & Herrera, 1934). Fester (1941) sostuvo, con base en reportes de la época colonial, que *D. coccus* “debió ser domesticada durante el periodo del incanato” y que podría haber sido utilizada en tejidos Paracas. Igualmente menciona otras especies silvestres como *D. ceylonicus* (Green) y *D. confusus* (Cockerell) que probablemente habrían sido colectadas y usadas como colorantes en estos mismos tejidos. Posteriormente mediante un análisis espectroscópico se identificó ácido carmínico en textiles de las culturas Paracas, Nazca y Chimú. En un principio se había considerado alguna especie de *Dactylopius* como la posible fuente de colorante de carmín para estas muestras, pero trabajos subsecuentes demostraron que la principal fuente del tinte rojo provenía de una rubiaceae del género *Relbunium* (Fester & Lexow, 1943; Donkin, 1977). Años más tarde, en un estudio realizado por la Dra. Rosario (1988) mediante la técnica de análisis cromatográfico en 170 muestras de tejidos pertenecientes a distintos periodos culturales y zonas geográficas del Perú se encontró la presencia de *D. coccus* en 47 muestras de 52 que pertenecían a las culturas Huari, Tiahunaco, Chimú, Chancay e Inca. Todas estas culturas se desarrollaron en un periodo de tiempo entre 500 a 1532 años después de Cristo (Cuadro 1). Cabe mencionar que después de los Tiahuanaco la preferencia por estos insectos se hizo evidente. Rosario menciona que en investigaciones anteriores se ha señalado la presencia ocasional de cochinilla en tejidos Paracas con solo 3 muestras de 141 analizadas, también en Nazca; este podría tratarse de una cochinilla silvestre (*D. confusus*) que se encontraba en *Austrocylindropuntia exaltata* (A. Berger) Backeberg y en *A. cylindrica* (Lam.) Backeberg, lo que explicaría la presencia de ácido carmínico en estos tejidos (Yacovleff & Muelle, 1934; Towle, 1961; Perez Guerra & Kosztarab, 1992; Rosario, 1999).

ETNOBOTÁNICA Y ALGUNOS USOS DE LA TUNA EN EL PERÚ

Actualmente se consume la pulpa fresca de sus frutos a la cual se le atribuyen propiedades cicatrizantes, contra enfermedades del hígado y contra la diabetes. También son materia prima para la elaboración de jaleas, mieles, melcocha y licores. En algunos pueblos del altiplano también se consumen en sopas las pencas a las que denominan “karas” o “paletas” (Antúnez de Mayolo, 1981). Los usos medicinales se basan en el aprovechamiento del mucílago de los cladodios, el cual viene siendo utilizado para aliviar la tos convulsiva y tos seca, erisipela, fluxión de músculos y para tratar los abscesos y bajar el colesterol. En la cosmetología se aprovecha dicho mucílago para quitar las manchas cutáneas. También es utilizado como jabón para lavarse el cabello y para purificar el agua turbia. Igualmente es una especie importante en prácticas agroforestales en la serranía, donde prospera en los ambientes más rústicos y terrenos de baja calidad; cabe mencionar que el mucílago preparado con barro es utilizado para el “tarrajeo” de las viviendas brindando gran resistencia de las superficies a la lluvia. Igualmente se destacan sus usos ya conocidos como hospedera de cochinilla y como forraje, en especial las variedades sin espinas (Brack, 1999, 2003; Mostacero *et al.*, 2002).

ESTUDIOS CITOLÓGICOS Y ADN EN *OPUNTIA FICUS-INDICA*

La *O. ficus-indica* es resultado de un proceso de domesticación que tuvo lugar desde hace más de 9000 años, siendo Mesoamérica el centro con el mayor número de especies de cactáceas utilizadas y en algunos casos domesticadas por los pueblos indígenas del área (Casas *et al.*, 2003). Determinar las relaciones sistemáticas de esta especie representa un enorme reto al haber sido sometida por miles de años a presiones de selección artificial por diferentes grupos culturales, además de la drástica modificación geográfica que muchas veces ha llevado a la confusión sobre su origen (Portillo, 2005; Reyes-Agüero *et al.*, 2005). En un reciente trabajo sobre citología se propone a la especie cultivada como *O. ficus-indica* como derivada de una forma diploide, esto fue descubierto después de notar que para la subfamilia Opuntioideae el 63.3% de los taxa son poliploides. Sin embargo, se observó que solo el grupo de especies de Opuntia de las series *streptacantha* y *ficus-indicae*, existen *octoploides* (Kiesling, 1998). Posteriormente Labra *et al.* (2003) empleando AFLP como marcadores moleculares determinaron que *O. ficus-indica* es una forma domesticada de *O. megacantha* Salm-Dyck (especie que se distribuye naturalmente en México). Griffith (2004), encontró mediante un análisis filogenético bayesiano de espacios internos transcritos de la región nuclear del ribosoma (nrLTS), que las especies de opuntias de Centro y Sudamérica se excluían del grupo de posibles ancestros de *O. ficus-indica*. Es decir, los datos moleculares muestran que las especies del centro de México son antecesores de *O. ficus indica*, lo que descarta su origen sudamericano.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las evidencias arqueológicas no muestran pruebas del consumo de esta especie en culturas prehispánicas del Perú, estas se habrían alimentado con los frutos de otros géneros de esta subfamilia tales como Tephrocactus y Tunilla, los cuales son mas comunes en esta parte del continente (Iliff, J en Hunt, 2001). Igualmente, su representación en las manifestaciones culturales no han sido tan notorias como en las culturas mexicanas (Piña, 1977).

Las descripciones de las especies de cactáceas en general, hechas por los cronistas que llegaron al Perú no son confiables, salvo las realizadas por el padre Bernabé Cobo quien sí logró captar la identidad física de la tuna, al haber problemas de escasez de detalles y de sinonimias en cuanto a nombres comunes que se manejaban en la época, siendo usualmente utilizados los términos “tuna” o “cardo” para denominar a todas las especies de cactáceas que reportaban.

Respecto a las pruebas referentes a la cochinilla (*D. coccus*), aún no se precisa con exactitud el tiempo en el que llegó a ser utilizada comúnmente como colorante en Sudamérica. De acuerdo a los resultados de Rosario (1998), la cochinilla debió haber sido introducida 500 años después de Cristo, probablemente entre los años 600-900 d.C. En un comienzo ésta no fue usada como reemplazante de las primeras plantas tintóreas (hasta el año 1100 d.C.), pero su uso se difundió definitivamente en el siglo XII.

En el Perú no se ha reportado *D. coccus* en otras especies de opuntia nativas, por lo que es muy probable que fuera introducida en la época precolombina a través de los intercambios

que efectuaban los navegantes peruanos con productos de Panamá y Centroamérica (Antúnez de Mayolo, 1981; Rodríguez & Niemeyer, 2000; Griffith, 2004), por lo que podemos deducir que el tiempo de introducción de la tuna (planta hospedera de cochinilla) debe bordear los 500 a 900 años d.C.

Se recomienda una investigación más detallada sobre la dieta del hombre antiguo del Perú, vital para conocer las especies vegetales, en especial las cactáceas de las que se alimentaban las culturas prehispánicas. Igualmente, un análisis químico sobre el contenido de carmín de todas las especies de cochinilla actualmente conocidas nos permitirá la correcta identificación de las especies utilizadas como colorante en los tejidos antiguos. También hace falta conocer las especies de dactilópodos que se distribuyen en el Perú; una lista preliminar de los mismos contribuiría al conocimiento de su uso en la antigüedad, además de dilucidar con mayor exactitud el tiempo de introducción de la tuna en el país y sería un aporte biogeográfico sobre este grupo de insectos de gran importancia económica para el país.

LITERATURA CITADA

- Anderson, E.F. 2001. The Cactus Family. Timber Press.
- Antúnez de Mayolo, S.E. 1981. La nutrición en el antiguo Perú. Banco Central de Reserva. Lima-Perú.
- Álvarez, P & F. Cáceres. 2003. Usos e importancia de las cactáceas en la cultura Churajón (Dpto. Arequipa). Quepo 17: 20-27.
- Blasco, C & L.J. Ramos. 1980. Cerámica Nasca. Valladolid-España.
- Brack, A. 1999. Diccionario enciclopédico de plantas útiles del Perú. PNUD. Centro Bartolomé de las Casas.
- Brack, A. 2003. Perú, diez mil años de domesticación. Proyecto FANPE-GTZ. PNUD. Ed. Bruño. Lima.
- Casas, A., A. Otero-Arnaíz, E. Perez-Negrón & A. Valiente-Banuet. 2003. Manejo y domesticación de cactáceas en Mesoamérica. Zonas Áridas 7: 75-104.
- Claps, L & M. de Haro. 2001. Coccoidea (insecta: hemiptera) Associated with cactaceae in Argentina. Journal of Professional Association for Cactus Development 6. Online at: www.jpacd.org/contents2001.htm.
- Donkin, R.A. 1977. Spanish red. An ethnogeographical study of cochineal and the *Opuntia* cactus. Transactions of the American Philosophical Society 67: 1-77.
- Donan, C & D. McClelland. 1995. Moche fineline Painting. It's Evolution and It's a Artists.
- Fester, G. A & J. Cruellas. 1934. Colorantes de Paracas. Revista del Museo Nacional de Lima 3: 154-156.
- Fester, G. A. 1941. Colorantes de insectos. Anales de la Sociedad Científica Argentina 132: 100-103.
- Fester, G. A & S.G. Lexown. 1943. Colorantes de insectos. Anales de la Sociedad Científica Argentina 135: 89-96.
- Granados, D & A. Castañeda. 1991. El Nopal. Editorial Trillas. México.
- Griffith, P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae):

- new molecular evidence. *American Journal of Botany* 91 (11): 1915-1921.
- Horkheimer, H. 2004.** Alimentación y obtención de alimentos en el Perú prehispánico. Instituto Nacional de Cultura. Segunda Edición. Lima.
- Hunt, D & N. Taylor. 2002.** Studies in the Opuntioideae (Cactaceae) Succulent Plant Research. 6.
- Kiesling, R. 1998.** Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica*. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 3. Online at: www.jpacd.org/contents1998.htm.
- Labra, M., F. Gras, M. Bardini, S. Imazio, A. Guiggi, S. Citterrop, E. Banfi & S. Sgorbati. 2003.** Genetic relationships in *Opuntia* Mill. genus (Cactaceae) detected by molecular marker. *Plant Sciences* 165: 1129-1136.
- Nobel P. 1998.** Los Incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. México.
- Novoa, S. 2005.** Cactus e Insectos. Primera Parte. *Quepo* 19: 34-43.
- Mostacero, J., F. Mejía & O. Gamarra. 2002.** Taxonomía de la fanerógamas útiles del Perú. Vol I y II. Concytec. Trujillo-Perú.
- Ostolaza, C. 1994.** Horizonte Preagrícola. *Quepo* 8: 79-86.
- Ostolaza, C. 1995.** El Periodo Formativo. *Quepo* 9: 73-82.
- Ostolaza, C. 1996.** La Cultura Paracas. *Quepo* 10: 42-49.
- Ostolaza, C. 1997.** La Cultura Nazca. *Quepo* 11: 79-86.
- Ostolaza, C. 1998.** La Cultura Moche. *Quepo* 12: 62-68.
- Ostolaza, C. 1999.** Culturas Wari y Chimú. *Quepo* 13: 32-37.
- Ostolaza, C. 2000.** El Imperio de los Incas. *Quepo* 14: 14-23.
- Pérez-Guerra, G & M. Kosztarab. 1992.** Biosystematic of the family Dactylopiidae (Homoptera:Coccinea) with emphasis on the life cycle of *Dactylopius coccus* Costa. Studies on the Morphology and Systematics of Scale Insects No. 6. Bulletin No. 92-1 Virginia Agricultural Experiment Station, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Piacenza, L & C. Ostolaza. 2002.** Cahuachi y la Cultura Nazca. *Quepo* 16: 22-27.
- Piña, L. 1977.** La grana o cochinilla del nopal. Monografías Lanfi No. 1, México.
- Piña, I. 1981.** Observaciones sobre la grana y sus nopales hospederos en el Perú. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 26 (1): 10-15.
- Portillo, L & A. Vigueras. 2003.** Cría de grana cochinilla. Universidad de Guadalajara, México.
- Portillo, L. 2005.** Origen de *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae): ¿Norte o Sudamérica?. *Dugesiana* 12(1): 1-8.
- Reyes-Agüero, J., J. Aguirre-Rivera & H. Hernández. 2005.** Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia* 39 (4): 395-408.
- Reyna, V & J. Flores. 2001.** El uso del “San Pedro” (*Echinopsis pachanoi*) en medicina tradicional peruana. *Quepo* 15: 28-37.
- Rodríguez, L.C & H.M. Niemeyer. 2000.** Evidencias indirectas sobre el origen de la cochi-

nilla, *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Dactylopiidae). Revista Chilena de Entomología 27: 85-89.

Rodríguez, L. & U. Pascual. 2004. Land clearance and social capital in agro-ecosystems: the case of *Opuntia scrubland* in Ayacucho, Peru. Ecological Economics 49: 243-252.

Rodríguez, L., U. Pascual & H. Niemeyer. 2006. Local identification and valuation of ecosystem goods and services from *Opuntia scrubland* in Ayacucho, Peru. Ecological Economics 57: 30-44.

Rosario, N. 1988. The análisis of natural dyerstuffs by high performance liquid chromatography methodology and application to Peruvian textiles. Royal Institute of Artistic Heritage. Jubelpark 1, B-1040. Brussels, Belgium.

Rosario, N. 1999. Tintes en el Perú prehispánico, virreynal y republicano. En: Tejidos Milenarios del Perú. Colección AFP Integra. 75-106.

Towle, M. 1961. The ethnobotany of the pre-columbian Peru. Aldine Publishing Company-Chicago.

Vilcapoma, G. 2000. Frutas silvestres de la cuenca del río Chillón (Cactáceas). Quepo 14: 59-67.

Yacovleff, E & F. Muelle. 1934. Notas al trabajo "Colorantes de Paracas". Revista del Museo Nacional 3: 157-163.

Yacovleff, E & F.L. Herrera. 1934. El mundo vegetal de los antiguos peruanos. Revista del Museo Nacional 3: 243-322.

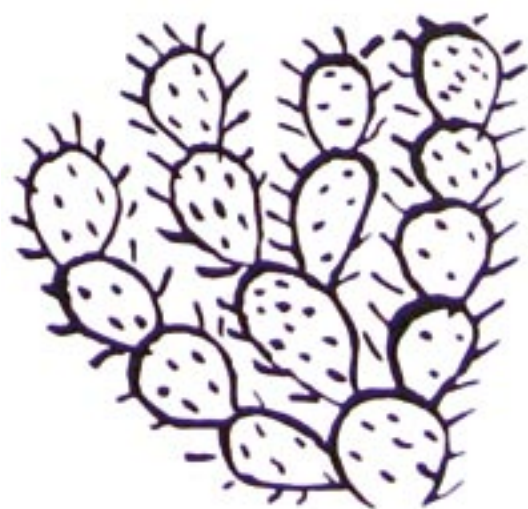


Figura 1
Representación de opuntia en cerámica Moche.

Cultura	Años
Paracas	300-0 a.C
Nazca	100 a.C-700 d.C
Huari	500-1100 d.C
Tiahuanaco	700-1100 d.C
Chimú	1100-1470 d.C
Inca	1476-1532 d.C

Cuadro 1
Tiempo de desarrollo de las culturas prehispánicas del Perú.

Tecnologías, Desastres “Naturales” y Agricultura

Apuntes para Argumentar una Estrategia de Intervención en América Latina

DÁMASO R. PONVERT-DELISLES BATISTA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS, FACULTAD DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA, UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA

HABANA “FRUTUOSO RODRÍGUEZ PÉREZ”, PROVINCIA LA HABANA, CUBA

Email: dponvert@isch.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión actualizada del contenido y alcance de tres áreas temáticas que están interrelacionadas. Dichas áreas temáticas son: las tecnologías, los desastres “naturales” y la agricultura. Para complementar el objetivo indicado, se expone a modo de introducción, una visión en torno al término “desastres naturales” y la tipología de los fenómenos incluidos en esta categoría. En el desarrollo del trabajo se resaltan los impactos que suelen causar determinados tipos de desastres naturales sobre la agricultura y su ambiente, así como las ventajas del uso de las tecnologías espaciales de Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en tareas de evaluación, monitoreo y manejo de daños causados a escala nacional, regional y local, señalándose las metodologías internacionales más empleadas en cada caso.

Palabras Clave: Desastres naturales, Agricultura, Teledetección, SIG, Daños.

ABSTRACT

The present work has as objective give an updated view about three interrelated themes. These themes are: Technology, “natural disasters” and agriculture. In order to fulfill this objective, we explain the term “natural disasters” and the types of natural phenomena included in this category. In the development of the work we highlight the impacts caused by different types of “natural disasters” in the agriculture and the environment. In addition, we explain the advantages of use space technologies as Teledetection and Geographic Information Systems (GIS) in tasks of assessment, monitoring and manage of damages by disasters to different scale (local, regional or global) indicating useful international methodologies for each case.

Key Words: Natural Disasters, Agriculture, Teledetection, GIS, Damages.

LOS DESASTRES “NATURALES” Y EL HOMBRE

Los peligros naturales son “aquellos elementos del ambiente físico, o del entorno físico, perjudiciales al hombre y causados por fuerzas ajenas a él” (Burton, 1978). En este documento el término peligro natural se refiere a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) u originados por el fuego, por razón de donde ocurren, su severidad y frecuencia, pueden afectar de manera adversa a los seres humanos, a sus estructuras o actividades. Algunos países utilizan el término amenaza natural en sustitución de peligro natural. El calificativo natural excluye de la definición peligros originados por los seres humanos, como guerras, polución y contaminación química, o peligros no necesariamente relacionados con el entorno físico como enfermedades infecciosas. El cuadro 1 contiene una lista simplificada de los peligros naturales reconocidos internacionalmente.

A pesar de la calificación de “naturales”, estos peligros tienen ciertos elementos de participación humana. Es preciso distinguir tres conceptos: i) Evento físico, es un fenómeno natural que no afecta a los seres humanos porque sus efectos no entran en contacto con ellos, no se considera peligro natural. ii) Peligro natural, es un fenómeno natural que ocurre en un área poblada o con infraestructura que puede ser dañada. iii) Desastre natural, es un peligro natural que causa muchas muertes o daños a propiedades. En áreas donde no existen intereses humanos a vulnerar, los fenómenos naturales no constituyen un peligro ni causan desastres (OEA, 1993, Capítulo 1).

Definir y discriminar conceptos coloca el peso de la problemática de los daños, en la concurrencia de actividades humanas y de fenómenos naturales, y es contraria a percibir los peligros naturales como un mal que resulta inevitable debido a la existencia de fuerzas naturales incontrolables.

Las personas pueden hacer muy poco para cambiar la incidencia o intensidad de la mayoría de los fenómenos naturales pero pueden tomar medidas para que los eventos naturales no se conviertan en desastres, debido a sus propias acciones y omisiones, que aumenten su frecuencia y severidad. La intervención humana reduce el efecto de mitigación que tienen los ecosistemas naturales, un caso extremo de intervención humana destructora del ecosistema es la desertificación que, por propia definición, es un peligro “natural” inducido por el ser humano.

La clave para desarrollar medidas efectivas de reducción de vulnerabilidad consiste en: si las actividades humanas pueden causar o agravar los efectos destructivos de los fenómenos naturales, también pueden reducirlos o eliminarlos.

LOS DESASTRES “NATURALES” Y SUS EFECTOS EN LA AGRICULTURA

No todos los desastres naturales ejercen un efecto dañino similar en la agricultura y su entorno físico. Ellos actúan de modo diferente con los disímiles tipos de coberturas agrícolas (cultivos, plantaciones, vegetación, foresta, etc.). A continuación se presenta una breve caracterización de los efectos más frecuente que ellos causan al sector agropecuario en Cuba y en otros contextos geográficos.

Inundaciones

Son el más común de los peligros naturales que puede afectar a personas, infraestructura y al ambiente natural; la de los ríos, que son las más frecuentes, se originan por prolongadas e intensas precipitaciones, rápido derretimiento de nieve en las cabeceras de vertientes, o por el ciclo regular de deshielo durante la primavera. Las causadas por precipitaciones cortas pero extremadamente fuertes sobre terrenos relativamente planos; por el reflujo de estuarios debido a mareas altas que coincidan con inundaciones marinas fruto de tormentas; por falla de presas; rebalse de presas por efecto de derrumbes en el reservorio y seiches y mareas originados en grandes lagos por acción del viento. Ocasionalmente, una erupción sobre un glaciar, o en un pico volcánico cubierto de nieve, puede originar inundaciones o flujos de lodo a causa de los cuales el terreno es radicalmente modificado y cualquier desarrollo agrario es totalmente destruido, frecuentemente con cuantiosa pérdida de vidas (OEA, 1993, Capítulo 4).

Huracanes

Los ciclones tropicales o huracanes como comúnmente se les conoce en las regiones del Caribe (ciclón en el Océano Índico, tifón en el Pacífico, y bagulo en el Archipiélago Filipino) (Wijkam y Timberlake, 1984), son uno de los eventos hidrometeorológicos más importantes productores de desastres en gran escala.

Los huracanes son tormentas intensas con vientos de 118 km/h o más, las tormentas tropicales, que son vientos menores de 62 km/h, son también consideradas en este grupo. Esta relación viene dada por el desarrollo potencial y/o factual del huracán, es decir que una depresión tropical al tomar fuerza puede llegar a constituirse en un huracán. Este proceso puede ser al contrario, o sea, una tormenta intensa con vientos de 118 km/h, puede llegar a ser huracán brevemente para luego convertirse tan solo en una depresión tropical (Velis y Campos, 1991).

Las tormentas tropicales y huracanes afectan los recursos del bosque, directamente a través del impacto de vientos fuertes que destruyen los árboles o indirectamente a través del daño de deslizamiento de tierras o el barro que resbala, afectando su salud y su crecimiento. Los árboles bajo estas condiciones son blancos del ataque de organismos secundarios cuyas raíces y tallos pudren por las condiciones de las tierras anegadas, el oxígeno deficiente y la actuación de los hongos de los tipos *spp* de *Phytophthora* y *spp* de *Pythium*.

En casos específicos, los bosques juegan un papel importante en la mitigación del impacto de las tormentas por la protección contra el viento que ejercen sistemas de la agro-silvicultura, mangles y bosques costeros. Se afirma que la deforestación fue un factor contribuyente al daño extenso de recientes huracanes en Centroamérica y el Caribe.

Sequía

Tal vez el fenómeno más perjudicial para la actividad agropecuaria sea la sequía, considerada como uno de los peores enemigos de la humanidad en todas las épocas. Prácticamente todas las regiones del mundo están expuestas en mayor o menor grado a las sequías.

La sequía puede definirse en términos generales como una disponibilidad insuficiente de agua durante períodos prolongados de tiempo en áreas extensas ocasionando privaciones y tensiones severas (SENA, 2000).

En general la sequía cubre mayor extensión geográfica que otros fenómenos. Si ésta llega a ser frecuente y de gran intensidad, puede afectar de manera considerable la agricultura y la ganadería, el suministro de agua, el flujo de los ríos y los recursos de agua subterránea, entre otros.

Las regiones más propensas a la sequía son los trópicos y los subtrópicos del mundo, especialmente en las zonas áridas. La sequía deteriora los campos, lo que se traduce en pérdidas directas por la reducción de las cosechas, deterioro de los pastos, bajo rendimiento y muerte de animales domésticos, mermas en la producción de energía eléctrica, además de afectar al transporte y al mercadeo de los productos (SENA, 2000), (Consejo Agropecuario Centroamericano, 1954).

Son sumamente graves los daños ecológicos permanentes que se ocasionan en las zonas propensas a las sequías, que son justamente las que tienen suelos con una erosión generalizada, debido a que el terreno retiene una cantidad de agua cada vez menor (CCAD, 2002).

Desertificación

La “desertificación” es un proceso por el que las tierras afectadas pierden su capacidad productiva. A menudo se vincula la degradación de tierras con la seguridad alimentaria y la pobreza, en una relación de causa y efecto. La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD) tiene por objeto invertir esta tendencia.

La desertificación es la degradación de las tierras áridas, semiáridas y zonas subhúmedas secas, causada principalmente por variaciones climáticas y actividades humanas tales como el cultivo y el pastoreo excesivo, la deforestación y la falta de riego. La desertificación no se refiere a la expansión de los desiertos existentes. Sucede porque los ecosistemas de las tierras áridas, que cubren una tercera parte del total de la tierra, es extremadamente vulnerable a la sobreexplotación y a un uso inapropiado de la tierra (CINU-1, 2006).

La característica principal de la aridez o la sequedad es la falta de la humedad existente en condiciones climáticas normales, son tierras áridas o secas aquellas en las que se registra un equilibrio negativo entre los insumos (nivel de precipitaciones anuales) y las pérdidas de humedad (evapotranspiración). Se utiliza un Índice de aridez, o relación insumo/pérdida de humedad, para delimitar las diferentes zonas climáticas respecto de la sequedad (Atlas Mundial de la Desertificación, PNUMA). Con arreglo a este criterio, por zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas se entiende aquellas zonas en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial está comprendida entre 0,05 y 0,65, excluidas las regiones polares y subpolares (Mecanismo Mundial, 2006). Estas zonas también se denominan ‘tierras secas’.

Son tierras secas el 40% de toda la superficie terrestre (alrededor de 5100 millones de hectáreas), que son el hábitat y el medio de subsistencia de más de 1000 millones de personas (Atlas Mundial de la Desertificación, PNUMA).

En América Latina y el Caribe, más de 600 millones de hectáreas están afectadas, en diversos grados, por el proceso de desertificación. La desertificación es una ruptura del frágil equilibrio que hizo posible el desarrollo de la vida en las zonas áridas del planeta. Esto se traduce en una severa reducción de la productividad de los ecosistemas, disminuyendo los rendi-

mientos agrícolas, pecuarios y forestales, así como en la pérdida de la diversidad biológica. A pesar de la imponencia de la biodiversidad animal y vegetal en las zonas áridas y semiáridas de América Latina, ésta no ha sido completamente cuantificada ni identificada, se estima que los recursos genéticos en esos ambientes de la región se encuentran altamente amenazados debido a múltiples razones. Sin embargo, incuestionablemente la actual eliminación o degradación de los hábitats naturales, causada por el avance de la frontera desértica, la tala indiscriminada de la vegetación, el pastoreo incontrolado, la expansión de la frontera agrícola, y en general el manejo inapropiado de los recursos naturales, inciden directamente en la reducción en marcha de los recursos genéticos, y en la insustentabilidad de sus ecosistemas (Izquierdo, 2006).

En la región de América Latina y el Caribe se advierten problemas serios generados por una deficiente integración de las actividades agrícolas de riego, de manejo de pastizales y atención a los bosques, lo que incrementa el deterioro de los ecosistemas naturales.

Erosión

La erosión (pérdida) del suelo la provocan principalmente factores como las corrientes de agua y de aire, en particular en terrenos secos y sin vegetación, además el hielo y otros factores. La erosión del suelo reduce su fertilidad porque provoca la pérdida de minerales y materia orgánica. La erosión del suelo es un problema nacional e internacional al que se le ha dado poca importancia en los medios de comunicación masiva (Autores Varios, 1997).

El agua es un erosivo muy enérgico. Cuando el suelo ha quedado desprotegido de la vegetación y sometido a las lluvias, los torrentes arrastran las partículas del suelo hacia arroyos y ríos. El suelo, desprovisto de la capa superficial, pierde la materia orgánica (humus) y entra en un proceso de deterioro que puede originar hasta un desierto. El viento es otro de los agentes de la erosión. El suelo desprovisto de la cortina protectora que forman los árboles, es víctima de la acción del viento que pule, talla y arrastra las partículas de suelo y de roca.

La erosión del suelo es un fenómeno complejo, en el que intervienen dos procesos: la ruptura de los agregados y el transporte de las partículas finas resultantes a otros lugares. Además de la pérdida de la capa de suelo, que contribuye a la desertización, las partículas arrastradas pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminación (plaguicidas, metales, nutrientes, minerales, etc.). Se trata de un fenómeno natural pero que ha sido acelerado por las actividades humanas. La erosión puede ser causada por cualquier actividad humana que exponga al suelo al impacto del agua o del viento, o que aumente el caudal y la velocidad de las aguas de escorrentía.

Salinización

El agua salina es común en regiones secas. Los suelos derivados de depósitos marinos químicamente desgastados (tales como pizarra) son frecuentemente salinos. Generalmente, los suelos salinos han recibido sales transportadas por el agua desde otras localidades. La salinización más frecuente ocurre en terrenos irrigados como resultado de un pobre control del agua, y la fuente primaria de las sales que impactan a los suelos es agua subterránea o de superficie.

En Cuba, los suelos salinos o en vías de salinización constituyen casi el 20 % del total de los 3 000 000 de ha de áreas agrícolas del país, de forma tal que este problema se considera uno de los más importantes que enfrenta la agricultura cubana actual (Ortega *et al.*, 1986). Entre las regiones del país con mayores afectaciones se encuentran los valles de Guantánamo y del Cauto, el norte de las provincias centrales y el sur de las provincias occidentales (Ortega *et al.*, 1986).

El uso y mejoramiento de los suelos salinos requiere una caracterización precisa de las regiones afectadas, por lo que en el país se confeccionaron cartogramas de salinidad a escala 1:50,000 (CNSF, 1985). Sin embargo, la salinidad de los suelos es muy variable por lo que, para propósitos de mejoramiento y manejo de los mismos, los cartogramas de salinidad deben confeccionarse a escalas detalladas, de 1:10,000 o mayores (Obregón, 1990). A lo anterior debe añadirse que los cartogramas son útiles solo hasta cinco años después de realizados, debido a la variabilidad temporal del fenómeno (Ortega *et al.*, 1986), de ahí que muy pocas empresas agrícolas cuentan con cartogramas de salinidad de suelos actualizados. Asimismo, aunque se conocen las causas generales de la salinización en las distintas regiones del país (Ávila, 1978), sin cartogramas de salinidad a escalas detalladas es muy difícil reconocer cuál es la causa específica que provoca el fenómeno en un sitio dado, lo cual impide encontrar la vía adecuada para la recuperación de esos suelos, o planificar el riego y otras actividades para impedir la salinización en el caso de los amenazados por la salinidad (Ortega *et al.*, 1986). Todo esto implica la necesidad de buscar vías que abaraten la confección de cartogramas de salinidad, con tal fin los trabajos cartográficos, a nivel internacional, han utilizado en los últimos años las imágenes de satélites y otros sensores remotos, en unión de sistemas de información geográfica (Konecny, 1998).

Incendios en la vegetación y los bosques

Un gran número de incendios forestales ocurren cíclicamente alrededor del planeta que en la actualidad constituyen, un problema grave que afecta a muchos países (Oharriz, Valdés y Llorente, 1990). Particularmente en las últimas décadas ha habido en el mundo una importante tendencia al aumento de los incendios forestales (Vélez, 2000) y Cuba no ha sido una excepción. El número de incendios ocurridos en las últimas décadas y la cantidad de áreas afectadas indican que en el país existe necesidad de implementar nuevas acciones que contribuyan a revertir la actual situación, así como buscar mecanismos más efectivos de previsión, detección y control de incendios (Mejías y Setzer, 2006).

El impacto del fuego en la atmósfera terrestre es también de gran significación. Estudios meteorológicos y de composición química de la tropósfera han demostrado que la ocurrencia de incendios provoca, sin dudas, contaminación atmosférica y tienen influencia en los cambios climáticos regional y global. Sus emisiones contribuyen a inyectar a la atmósfera grandes cantidades de gases de efecto invernadero y por tanto al aumento de la temperatura media del planeta. Gases como el CO, NO_x, SO₂, HCN y aerosoles provocan alteraciones en el balance radiativo de la tierra. Otros gases producidos por la combustión, CH₄, CO y NO, desempeñan un rol importante en la formación de las moléculas de Ozono (O₃); el aumento de sus concentraciones troposféricas y reducciones del estratosférico, principal absorbente en la atmósfera de la radiación ultravioleta del sol.

Entre los efectos más importantes causados por los incendios se pueden citar: acaba con las fuentes de vida, afecta la calidad del paisaje, favorece la deposición masiva de sedimentos en lechos de ríos y estuarios, afectan la infiltración y la protección de fuentes de agua, provoca la migración de depredadores hacia los cultivos a la vez que eliminan los controles naturales y además afecta la fijación del carbono en el suelo, la protección de las aguas, la biodiversidad y los ecosistemas.

Deslizamientos de tierras

Los deslizamientos de tierra constituyen uno de los fenómenos naturales más comunes en la serie de desastres relacionados a la actividad hidrometeorológica, pero también relacionados a la actividad humana (Velis y Campos, 1991).

El término deslizamiento de tierra incluye deslizamientos, caídas y flujos de materiales no consolidados. Los deslizamientos de tierra pueden iniciarse por terremotos, erupciones volcánicas, suelos saturados por lluvias intensas, o por el acercamiento de la capa freática a la superficie y por erosión causada por ríos. El sacudimiento sísmico de suelos saturados crea condiciones particularmente peligrosas. Aunque los deslizamientos son localizados, pueden ser muy dañinos debido a la frecuencia con que ocurren.

Los volcanes

Las erupciones volcánicas van desde pequeños rebalses de lava hasta explosiones violentas. La diferencia está determinada, en gran parte, por la viscosidad del magma o roca fusionada, y su contenido de gas disuelto. Los magmas, fluidos ricos en hierro y magnesio, tienden a permitir que los gases volcánicos escapen y lleguen más frecuentemente a la superficie en forma de flujos suaves de lava. Los magmas más viscosos, ricos en sílice, tienden a atrapar a los gases volcánicos, resultando en una creciente presión, y así tienen una mayor propensión a las erupciones violentas. Los productos de explosiones violentas incluyen pedazos de lava derretida, que se solidifican rápidamente para formar vidrio, y fragmentos sólidos que van desde ceniza fina hasta piedras del tamaño de una casa. La naturaleza de los peligros volcánicos está determinada por el material eyectado por una erupción y por la fuerza con la cual es eyectado.

Aún cuando las cenizas de muy grandes erupciones volcánicas tales como el Krakatoa, en lo que ahora es Indonesia, pueden dar la vuelta al mundo en cuestión de pocos días y pueden afectar las puestas del sol durante muchos años después, el daño serio está restringido a pequeñas áreas en comparación con la extensión de daños de grandes inundaciones o grandes terremotos. Sin embargo, las erupciones volcánicas pueden causar grandes pérdidas de vidas humanas y de propiedades. Hay razones para esta aparente contradicción (OEA, 1993, Cap.11).

La descomposición de la mayoría de los materiales volcánicos resulta en suelos ricos para la agricultura -particularmente significativo en áreas tropicales donde los suelos tienden a ser bajos en contenido de nutrientes- y para hacer uso de ellos, los productores están dispuestos a correr el riesgo del peligro de una nueva erupción. Aún más, la población rural más densa en América Latina, y algunas de las grandes ciudades, están ubicadas en la Cordillera Andina y su extensión a Meso América a lo largo de la zona de vulcanismo contemporáneo.

Terremotos

Un terremoto es causado por la liberación súbita de energía de las fuerzas elásticas que se acumulan lentamente a lo largo de una falla dentro de la corteza terrestre. Las áreas de superficie o subterráneas que se fracturan y que pueden experimentar terremotos, se conocen como zonas sísmicas de fallamiento. Un 15% de los terremotos del mundo ocurren en América Latina, concentrados principalmente en la cordillera occidental. El Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), con sede en Lima, Perú, ha producido un mapa titulado “Grandes Terremotos en América del Sur -1520-1981” que muestra los terremotos significativos ocurridos en América Latina durante este período (OEA, 1993, Capítulo 11).

Según el tamaño y su ubicación, un terremoto puede causar los fenómenos físicos de sacudimiento de terreno, ruptura en superficie de una falla, fallamiento del terreno y los tsunamis en algunas áreas costeras. Ocurren réplicas sísmicas más pequeñas después del evento principal, a veces durante varias horas, o meses o aún años.

En cuanto a los daños principales causados por los terremotos, cabe señalar en primerísimo lugar, a las construcciones, otros tipos de estructuras y la infraestructura en general, estando todas expuestas a daños o colapso debido al sacudimiento del terreno. Los incendios son un efecto indirecto, común de un gran terremoto dado, que pueden interrumpir las líneas de abastecimiento de electricidad y de gas. Aún más, los esfuerzos contra incendios pueden ser obstaculizados por la interrupción en las rutas de transporte y por la ruptura de tuberías de agua. Los daños a reservorios y presas pueden dar lugar a inundaciones súbitas. En general, las medidas estructurales tales como diseño sismorresistente y el reforzamiento, son efectivas. Las medidas menos costosas, no estructurales, tales como zonificación y restricción para el uso de tierras también pueden reducir enormemente el riesgo.

Tsunamis

Los tsunamis son olas en el agua u olas sísmicas marinas, causadas por un movimiento súbito a gran escala del fondo marino, debido generalmente a terremotos y, en ocasiones muy raras, a deslizamientos, erupciones volcánicas o explosiones hechas por el hombre (OEA, 1993, Capítulo 11).

No se conocen tsunamis que amenacen la vida en el Océano Atlántico desde 1918 pero sí son un problema serio en el Pacífico. Aunque la configuración tectónica de las cuencas del Caribe indica que el área es susceptible a la actividad sísmica, estos terremotos rara vez son tsunamigénicos.

Los efectos de los tsunamis pueden ser grandemente amplificados por la configuración de la línea de costa local y el fondo marino. Dado que no existe una metodología precisa para definir estos efectos, es importante examinar el registro histórico para determinar si una sección particular del litoral ha sido afectada por tsunamis y qué elevación alcanzaron. También se debe hacer un esfuerzo para determinar los posibles efectos de ampliación de la configuración costera, aún con las metodologías crudas disponibles (Nichols y Buchanan-Banks, 1974).

TECNOLOGÍAS, INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS PARA LA EVALUACIÓN DE AMENAZAS NATURALES.

Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Cada día hay más organismos de planificación en la región que intentan emprender la mitigación de riesgos naturales mediante estudios de planificación del desarrollo. Sin embargo, aunque existan los conocimientos y los datos básicos en forma de mapas, documentos y estadísticas, a menudo falta un enfoque sistémico. La cantidad de información necesaria para el manejo de riesgos naturales, especialmente en el contexto de la planificación del desarrollo integrado, sobrepasa la capacidad de los métodos manuales y hace casi obligatorio el uso de técnicas computarizadas (OEA, 1993, Capítulo 5).

El uso de los SIG ofrece varias ventajas: puede resultar sorprendentemente barato; seleccionando correctamente el sistema y sus aplicaciones, evita el uso de equipos y expertos muy costosos.

La información a ser incluida en un SIG para el manejo de riesgos, se determinará de acuerdo a su nivel de aplicación (nacional, regional o local) y a su utilización: evaluaciones de amenazas, evaluaciones de vulnerabilidad, preparación y respuesta a desastres o actividades de auxilio y reconstrucción después de un desastre.

Por lo general existen tres categorías de información diferentes:

- i) Información sobre amenazas naturales, que señala la presencia y efecto de fenómenos naturales. Esta información debería incluir la ubicación, severidad, frecuencia y probabilidad de ocurrencia de un evento. Para los planificadores, la ubicación es la información más fácil de encontrar; el resto puede obtenerse a menudo en organismos sectoriales, centros de investigación y monitoreo de eventos naturales y, cada día más frecuentemente, en estudios de planificación del desarrollo integrado.
- ii) Información sobre ecosistemas naturales (por ejemplo, las pendientes y su estabilidad, el caudal de los ríos, la cubierta vegetal), que proporciona la base para estimar el efecto que los eventos naturales pueden tener sobre los bienes y servicios que estos sistemas ofrecen, y que también determina los factores o condiciones que crean, modifican, aceleran y/o retardan la ocurrencia de un fenómeno natural.
- iii) Información sobre la población e infraestructuras, que es la base para cuantificar el impacto potencial que tiene el evento natural sobre las actividades de desarrollo ya existentes o planeadas. Por ejemplo, los datos sobre infraestructuras vitales y asentamientos humanos son elementos críticos para preparar evaluaciones de vulnerabilidad y para iniciar las actividades de preparación y respuesta a un desastre. La mayor parte de los datos están disponibles en cada país.

El SIG puede usarse para el manejo de riesgos en diferentes niveles de la planificación del desarrollo: a escala nacional, territorial o regional y local (OEA, 1993, Capítulo 5).

A escala nacional, los planificadores pueden utilizar los SIG para categorizar el terreno de acuerdo con las amenazas naturales y determinar hasta qué punto estos fenómenos naturales imponen un peligro significativo. A este nivel, basta conocer la ubicación para hacer una primera estimación sobre la situación general de las amenazas.

A escala territorial, los SIG pueden utilizarse para el estudio más detallado de áreas específicas en lo que se refiere a su potencial de desarrollo y sus limitantes relacionadas con amenazas. Típicamente, la información a nivel nacional se complementa con información territorial, mapas temáticos a diferentes escalas y datos tabulares, incluyendo: evaluaciones sobre amenazas utilizando información obtenida con técnicas de teledetección (por ejemplo, fotografías aéreas e imágenes de satélite); mapas indicando los límites de las planicies de inundación, áreas de deslizamientos, zonas sísmicas, áreas susceptibles a tsunamis, etc.; suelos, topografía, usos de la tierra, recursos hidráulicos, infraestructuras vitales y densidad de población, y estructuras.

En América Latina y el Caribe, muy pocos planificadores encontrarán mapas ya preparados de las infraestructuras vitales individuales o en conjunto. Donde éstos no existen, un SIG puede utilizarse para prepararlos (OEA, 1993, Capítulo 5).

Uso de sensores remotos en evaluaciones de amenazas naturales.

El sensoramiento remoto (teledetección) es el proceso de grabar información por medio de sensores ubicados en un avión o en satélites. La técnica es aplicable al manejo de riesgos naturales ya que casi todos los fenómenos geológicos, hidrológicos y atmosféricos son eventos o procesos recurrentes que dejan huellas de los episodios anteriores. Al revelar la ubicación de eventos previos y/o distinguir las condiciones en las que hay posibilidad de que éstos ocurran, la técnica permite identificar áreas que puedan ser expuestas a eventos naturales, de manera que se pueden incluir dentro del proceso de planificación las medidas necesarias para reducir el impacto social y económico de los desastres.

El sensoramiento remoto aéreo es útil en el manejo de amenazas naturales para enfocar las áreas prioritarias, verificar la interpretación de datos a pequeña escala y revelar características que son muy pequeñas para ser detectadas por las imágenes de satélite. Entre los sistemas aéreos disponibles, los más útiles para la evaluación de amenazas naturales y la planificación del desarrollo integrado son las fotografías aéreas, radares aéreos y “scanners” térmicos infrarrojos.

A pesar de su gran utilidad, los estudios aéreos muy extensos son poco frecuentes, ya que generalmente exceden los límites de presupuesto de los estudios de planificación y pueden proveer más información de la necesaria, particularmente en las primeras etapas.

Las técnicas de sensoramiento remoto por satélite son cada día más importantes desde el satisfactorio lanzamiento del Landsat 1 en 1972. Las mismas proveen el punto de vista sinóptico requerido por los estudios de planificación del desarrollo integrado.

Dada la gama de elementos disponibles para el sensoramiento remoto aéreo y por satélite, la aplicación de los mismos varía de acuerdo a las ventajas y limitaciones de cada uno.

En adelante, se expone la posibilidad práctica de detectar el potencial de inundaciones, huracanes, terremotos, erupciones volcánicas y peligros asociados, y deslizamientos de tierra, y otros tipos de fenómenos naturales con la tecnología de percepción remota. Resultará evidente que algunos de estos peligros están interrelacionados, p.e., inundaciones y huracanes; terremotos, volcanes y deslizamientos de tierra (OEA, 1993, Capítulo 4).

Inundaciones

La prueba más obvia del potencial de inundación de un área, aparte de los datos históricos, es la identificación de planicies de inundación y de áreas propensas a inundaciones. Estas áreas son generalmente reconocibles en imágenes de sensoramiento remoto (Figura 1). En consecuencia, la aplicación del sensoramiento remoto más valiosa para la evaluación del riesgo de inundación, es el trazado de mapas de áreas susceptibles y la cobertura por satélite de un área de estudio es el medio más práctico - en términos de costo y tiempo - para definir las planicies de inundación. Dichos mapas pueden ayudar a definir las áreas potencialmente propensas a inundaciones, donde el nivel de inundación definido excede los límites de pérdida aceptables. Cuando no han ocurrido inundaciones durante el período de sensoramiento, pueden utilizarse indicadores indirectos de susceptibilidad a inundaciones para determinar dichos niveles. Sin embargo, las nubes o la neblina pueden ocultar las imágenes de satélite de grandes porciones de los ecosistemas húmedos tropicales.

Si se obtienen con cualquier tipo de sensor imágenes de áreas cubiertas por inundaciones, huracanes u otras tormentas inmediatamente después del evento, éstas deben usarse sin importar su resolución, dado que la delimitación de las áreas más problemáticas va a ser más exacta que cualquier interpretación de datos de mayor resolución obtenidos en un período sin inundaciones.

Terremotos

En la mayoría de las áreas donde hay terremotos se dispone de algún tipo de información sísmica, aunque puede no ser suficiente para la planificación. Las técnicas de teledetección y los datos obtenidos por su intermedio, pueden ayudar a proveer la información adicional necesaria.

Los radares aéreos han resultado útiles para localizar zonas de fallas, identificar depósitos de materiales no consolidados (donde la mayoría de los daños ocurren) y delinear las áreas donde un terremoto pueda causar derrumbes. La fotografía aérea convencional en blanco y negro o color, puede también ser útil.

Las técnicas de percepción remota y la interpretación de datos resultantes podrían proporcionar información adicional (OEA, 1993, Capítulo 4).

La actividad tectónica es la principal causa de los terremotos destructivos, seguida por los terremotos asociados a la actividad volcánica. En áreas que presenten un historial de terremotos debidos a la actividad sísmica, las fallas asociadas con dicha actividad pueden ser frecuentemente identificadas sobre imágenes de satélite.

Para identificar los peligros de terremotos es necesario tener el conocimiento que permite reconocerlos y luego escoger los sistemas de percepción remota que ayuden a demarcarlos de la mejor manera.

Una alternativa adecuada pero de menor bondad que el uso del radar o de la fotografía aérea, es el uso de imágenes multiespectrales obtenidas con los sensores Landsat TM y/o SPOT HRV.

Si bien las imágenes de radar son una fuente ideal de datos, la cobertura es extremadamente limitada y la adquisición de datos de radares aéreos es, por lo general, excesivamente cara.

Los Landsat TM y ETM son la fuente de datos más práctica, simplemente debido a su disponibilidad, y ambos tienen resolución suficiente para los estudios de planificación regional.

Erupciones volcánicas

Gawarecki *et al.*, 1965, fueron los primeros en detectar el calor volcánico mediante la percepción remota de satélite, utilizando imágenes de IR térmico de un radiómetro IR de alta resolución (HRIR). La interpretación de los datos de percepción remota puede conducir al reconocimiento de eventos catastróficos pasados asociados con volcanes activos recientes, en términos geológicos, como es el caso de los Andes y las Antillas Menores. Esa información, unida a datos históricos disponibles, puede ser utilizada como base para evaluar los riesgos de un área con peligro potencial relacionado a los volcanes (Figura 2).

La variada naturaleza y tamaño de los peligros volcánicos requiere del uso de diferentes tipos de sensores, tanto de satélites como de aeronaves. Debe alentarse el uso de la fotografía para el análisis del área relativamente pequeña, circundante a los volcanes. La cobertura aérea estereoscópica, en blanco y negro pancromático, a escalas entre 1:25,000 y 1:60,000, es generalmente adecuada para reconocer y cartografiar evidencias geomórficas de actividad reciente y sus peligros asociados. La fotografía a color, y también a color IR, puede ser útil para determinar los posibles efectos de la actividad volcánica en la vegetación circundante, pero la menor velocidad de la película, menor resolución y su alto costo reducen en gran parte cualquier ventaja.

El barredor térmico aéreo IR es, probablemente, la herramienta más valiosa para examinar el estado geotérmico de un volcán. Es posible detectar tanto el calor interior y subyacente como su desplazamiento. Debido a que la resolución disminuye rápidamente conforme aumenta la altitud (unos 2 m por cada 1000 m), las observaciones deben hacerse a altitudes bajas, por debajo de los 2000 metros. Un patrón en IR del calor geotérmico en la vecindad de un volcán, es una indicación de la actividad térmica que caracteriza a muchos volcanes inactivos.

Las técnicas de mitigación que requieren fotointerpretación y mapas topográficos, incluyen la predicción del recorrido de flujos potenciales de lodo o lava y la restricción del desarrollo en esas áreas.

Deslizamientos

En un área con potencial de deslizamientos, generalmente hay evidencia de eventos previos o datos históricos. Las marcas de los deslizamientos más grandes son evidentes, y aún cuando los rasgos de deslizamientos pequeños no sean discernibles individualmente, la apariencia áspera de una pendiente determinada puede indicar que ha sufrido un gran movimiento.

La resolución espacial requerida según Richards (1982) para el reconocimiento de la mayoría de las grandes características de los deslizamientos, es de aproximadamente 10 m. En la mayoría de los casos esto impide el uso de imágenes tomadas desde un satélite, si bien los derrumbes de grandes bloques pueden ser detectados desde el Landsat. El reconocimiento depende en gran parte de la habilidad y experiencia del intérprete y está realzado por la disponibilidad de cobertura estereoscópica, la cual puede ser costosa.

El mejor sistema de teledetección para detectar deslizamientos grandes - o pequeños, en la medida en que se puedan encontrar - es la fotografía aérea, y pueden usarse escalas fotográficas de hasta 1:60,000. Las películas pancromáticas en blanco y negro o las películas infrarrojas son adecuadas en la mayoría de los casos, pero las infrarrojas pueden ser más útiles en ciertas circunstancias dado que atraviesan la niebla en los trópicos húmedos.

Otras técnicas que pueden ser aplicables incluyen los "scanners" térmicos infrarrojos y radares. La utilización de los detectores térmicos infrarrojos es particularmente importante para ubicar áreas de filtración que lubrican los deslizamientos, pero su uso generalmente está excluido debido a la baja altitud que se requiere para lograr una resolución razonable, la gran cantidad de vuelos requeridos en un área extensa y las distorsiones geométricas inherentes al sistema. Los radares pueden ser de cierta utilidad, por su capacidad de definir algunas texturas grandes relacionadas con deslizamientos, y pueden ser el único sensor capaz de proveer información clara en ambientes nublados.

Desertificación y Sequía.

Ambas técnicas de teledetección, espacial y aéreas, proveen herramientas muy valiosas para evaluar áreas sujetas a desertificación y sequía. Se pueden usar diapositivas, fotografías e imágenes digitales para ubicar, evaluar y monitorear el deterioro de las condiciones naturales de un área específica. La información sobre estas condiciones puede obtenerse con medidas directas o puede inferirse de indicadores.

La fotografía aérea a gran escala provee una buena cantidad de detalles para los estudios sobre desertificación y sequía. Vuelos sistemáticos de reconocimiento pueden usarse para el monitoreo del ambiente y para la evaluación de recursos. Los sensores por radar y los dispositivos infrarrojos pueden usarse para monitorear la humedad del suelo y otros indicadores de desertificación y sequía. Sin embargo, la adquisición de este tipo de datos es costosa y consume mucho tiempo.

Como es el caso de cualquier otro tipo de estudio relacionado con amenazas naturales, los datos obtenidos por intermedio de teledetección espacial y aérea deben combinarse con datos recolectados en tierra. Esta combinación de datos puede proveer las bases para realizar una evaluación más efectiva.

Para describir, evaluar y decidir sobre el tipo de acción a tomarse, los siguientes puntos deben ser considerados:

- i) Ubicación: incluye la identificación de áreas que están actualmente bajo proceso de desertificación (sequía) y áreas que se supone están expuestas a las fuerzas que conducen al deterioro.
- ii) Evaluación: involucra la identificación y cuantificación de tipos de cobertura de vegetación, suelos, formas de terreno y patrones de cambio en el uso de tierras. La vulnerabilidad al cambio, velocidad de cambio, y dirección del cambio en patrones de desertificación, pueden ser estudiados en base a esta evaluación.
- iii) Monitoreo: se logra con la detección y medición de cambios en las características del entorno durante un período de tiempo. Se hacen comparaciones entre condiciones presentes y condiciones previamente observadas, con el propósito de conocer la reducción en la productividad biológica.

Un método detallado, debe tomar en consideración cuatro conjuntos de datos para el estudio de desertificación de una área dada: i) datos que se obtienen al final de la estación húmeda, ii) datos que se obtienen al final de la estación seca, y iii) los datos para ambas estaciones que se hubieran obtenido cinco o diez años antes (López Ocaña, 1989). La selección de datos para un área dada estará directamente relacionada con el nivel de detalle deseado, el tamaño del área, el grado de precisión y exactitud requerido y tiempo disponible.

El uso de imágenes de satélite es recomendado para las primeras etapas de un estudio detallado de desertificación, ya que ofrece una visión general de toda la región (Figura 3). El uso de computadoras, compuestos a falso color y las clasificaciones, pueden proporcionar información útil. Los datos estadísticos obtenidos de análisis cuantitativos mediante el uso de sistemas de información geográfica SIG, pueden ser expresados como un histograma, un gráfico, una tabulación, o una nueva imagen (OEA, 1993, Capítulo 4).

Las imágenes AVHRR están comercialmente disponibles y han sido usadas para estudios de cambios de vegetación. Una resolución en superficie de 1 a 4 km. representa limitación para hacer estudios de áreas continentales grandes. Otros estudios han hecho uso de los datos del Nimbus para demarcar patrones de humedad y linderos de la vegetación. Los datos del satélite GOES (Satélite Ambiental Operacional Geoestacionario) han sido usados eficientemente para localizar y medir plumas de polvo; también las imágenes del Seasat SAR han sido aplicadas en la demarcación de la morfología de grandes dunas.

Los datos de Landsat MSS y TM, y de SPOT han demostrado ser útiles y costo-efectivos para evaluaciones regionales.

La percepción remota aérea y espacial proporciona elementos valiosos para estudios de desertificación y sequía, aunque, como para cualquier otro estudio relacionado con peligros naturales, deben ser combinados con datos recogidos en superficie. El uso de métodos de percepción remota debe minimizar la necesidad de datos en superficie, ahorrando tiempo y resultando, así, relativamente poco costoso por unidad de dato. La combinación de datos de percepción remota obtenidos en superficie puede, por lo tanto, ser la base para la evaluación.

Salinización

Una de las aplicaciones más importantes de la teledetección en la agricultura es la posibilidad de reconocer, identificar y clasificar la vegetación. La vegetación muestra diferentes grados de reflectancia según su estado fisiológico, entre cuyas causas está la salinidad del suelo, de aquí que se hayan desarrollado trabajos que estudian y determinan la salinidad del suelo mediante la teledetección y el procesamiento digital de las imágenes. Joshi y Sahai (1993), prepararon mapas de áreas costeras del estado de Gujartat, India que proveen información sobre la extensión e intensidad de las tierras afectadas por la salinidad, utilizando imágenes Landsat-2 MSS, 1972 (multiespectral scanner) de 80 m de resolución espacial e imágenes Landsat-5 TM, 1986. La salinidad detectada varió entre 0,24 y 12,18 mmhos/cm.

En aplicaciones específicas para suelos salinos, Dwivedi y Rao (1992), identificaron que la mejor combinación de tres bandas entre 20 del Landsat Thematic Mapper (TM) para delimitar los suelos afectados por la salinidad en la planicie aluvial Indo-Gangetic fue la

1,3 y 5. Sing (1994), monitoreó los cambios en la recuperación y la extensión de los suelos afectados por la salinidad en el norte de la India, usando mapas preparados por el método de campo en 1956, que mostraban grandes bloques de suelos de más de 80 ha afectados por la salinidad, los que se compararon con mapas elaborados a partir de fotografías aéreas a escala 1:40,000 de 1972 e imágenes Landsat a escala 1:50,000, de 1986, que en conjunto permitían una precisión de un tamaño de 2 ha. Se constató que la recuperación de suelos salinizados en el período 1956-86 fue de un 22 %, mientras que la extensión de la salinidad en la periferia de los bloques fue de un 3 %.

Weigand *et al.* (1996), utilizando muestras de caña de azúcar, observaciones espectrales SPOT HRV (High Resolution Video) y clasificación no supervisada de imágenes, ilustraron cómo se puede cuantificar y mapear las variaciones en la conductividad eléctrica aparente de la zona radicular y la producción de caña de azúcar. Se demostró que por cada dS m⁻¹ en la CEA la población de tallos de caña de azúcar se reduce en 0,6 tallos m⁻², el peso de los tallos en 0,14 kg y la producción de tallos en 13, 7 t ha⁻¹. Ellos determinaron que el crecimiento de la caña de azúcar no se afecta por la salinidad en zona radicular cuando es menor de 2 dS m⁻¹, mientras que los tallos no son aprovechables cuando la salinidad excede de los 10 dS m⁻¹. Resultó una buena escala la de 25 píxeles ha para el mapeo de los patrones de estrés por la salinidad y las acciones de mejoramiento específico de cada sitio y concluyeron que es aplicable a otros tipos de vegetación estresada.

Pulido *et al.* (1996), en un estudio de estimación de salinidad y pérdidas del rendimiento de cosechas en el Valle del Carrizo y Río Yaqui, utilizando imágenes Landsat y el sensor EM38, obtuvieron entre otros, los resultados siguientes: la correlación entre el NDVI y la CE es de $r = 0,72$; $0,83$ para el trigo; $r = 0,64$; $0,76$ para el algodón, y $r = 0,66$ para la soya. Al Khaier (2000), exploró la capacidad de las bandas de las imágenes ASTER para el mapeo de la salinidad, de acuerdo con la relación temporal entre la sal en suelo antes de la siembra y durante el crecimiento del cultivo, también estimó la salinidad a través de la evapotranspiración, usando el algoritmo para el balance de la energía superficial de las tierras (Bastiaanssen, W.G.M. *et al.*, 1998.).

En todos estos trabajos se utilizaron imágenes multiespectrales, cuyas bandas rojo e infrarrojo cercanas, registran, con apreciable diferencia, la vegetación sana y la estresada, por lo que combinándolas, según el índice de vegetación de la diferencia normalizada, es posible diferenciar esos dos estudios de la vegetación con suficiente detalle, el grado de afectación y por consiguiente permiten correlacionarlas con la conductividad del suelo, asumiendo que los demás factores que pueden afectar la vegetación son uniformes (Figura 4), (Lau, A., E. Garea y M.E. Ruiz, 2005).

Huracanes

A fin de mitigar el impacto de los huracanes, el planificador debe conocer la frecuencia e intensidad de las tormentas en el área de estudio, el grado en que pueden afectar a la población y las estructuras, y cuáles sub-áreas serían las más afectadas, tales como las áreas costeras bajas, de estuarios y ribereñas amenazadas por inundaciones terrestres y marinas.

La trayectoria de anteriores huracanes en la región, puede ser obtenida de los datos de per-

cepción remota con los sensores a bordo de los satélites de la U.S. National Oceanographical Atmospheric Administration (NOAA), diseñados y operados con fines meteorológicos (Figura 5). Estos datos ya han sido graficados por organizaciones meteorológicas en los Estados Unidos y en otros países donde los huracanes también son un peligro. Para graficar nuevos datos, el mejor sensor es el AVHRR por la cobertura de una franja de terreno de 2700 km de ancho, cuatro veces al día y resolución apropiada. La banda roja es utilizable para definir nubes y vegetación en horas del día, mientras que la banda IR térmica (10,5 μ m a 11,5 μ m) es útil tanto de día como de noche para la observación de nubes (OEA, 1993, Capítulo 4). El AVHRR no es útil para planificar contingencias de huracanes en otros aspectos, porque tiene una resolución espacial limitada. Las necesidades de la planificación requieren mayor resolución que la que se puede obtener con otros sensores de satélites. Deben ser utilizadas, no importando su resolución, todas las imágenes de las áreas inundadas por ríos, tormentas de huracanes u otras, obtenidas inmediatamente después del evento. Cualquier información que se obtenga oportunamente debe ser utilizada para demarcar las áreas problemáticas, dado que su definición es más exacta que la que se puede interpretar de datos de mayor resolución obtenidos durante períodos normales.

Se puede predecir las áreas con potencial de inundación a lo largo de la costa y en el interior utilizando mapas topográficos a escalas tan grandes como 1:12,500. Cuando estos mapas no están a disposición, puede usarse técnicas de percepción remota. En regiones con estaciones húmedas y secas marcadas, es deseable obtener imágenes Landsat o comparables, durante la estación húmeda, bien en las bandas del IR cercano, bien usando un compuesto a color IR de imágenes Landsat MSS o TM, o las del SPOT HRV. Estas imágenes pueden ser usadas para identificar las áreas saturadas de humedad susceptibles a inundaciones, así como los terrenos más elevados y secos que son áreas potenciales de evacuación.

El planificador del desarrollo también debe considerar una característica adicional de los huracanes: los fuertes vientos. Al identificar medidas para mitigar los efectos del viento, el planificador puede considerar tipo de cultivos, si existen planes para desarrollo agrícola, y/o el diseño y los materiales de construcción a ser empleados en los edificios.

Incendios

El empleo de la teledetección satelital ha abierto al hombre, nuevas posibilidades para la detección temprana, mejor control y manejo de los incendios desencadenados en el medio forestal, lo cual resulta difícil y complejo utilizando los métodos tradicionales, incluido el empleo de aviones, cuyo costo operacional es sumamente alto y el que en ocasiones se ve altamente limitado por las grandes nubes de humo que impiden la visibilidad y el acceso a la zona (Chuvieco y Martin 1994), (Castro y Chuvieco 1995).

Con el empleo de esta tecnología, desde las alturas siderales, los incendios son percibidos sistemáticamente por sensores remotos emplazados a bordo de plataformas satélites que orbitan la tierra (Liew, Kwoh, Lim, y Lim, 2001) y se ha convertido en una herramienta de bajo costo muy útil para el pronóstico, la detección temprana y monitoreo aceptable de la evolución de los focos activos de incendios en la superficie terrestre. Informaciones importantes para los estrategias de la lucha contra el fuego.

Comparado con los métodos convencionales de observación, la adquisición de datos de incendios con el empleo de satélites, tiene mayores ventajas al tener mayor cobertura, ya que logran obtener información detallada de grandes áreas en la superficie terrestre, ofrecen una visión sinóptica de los acontecimientos y la distribución espacial de los fuegos, tienen mayor frecuencia de observación y visitas del campo de interés, etc.

Los datos de satélites son ampliamente empleadas para la realización de estudios e investigaciones sobre el fuego ya que proporcionan información sobre la cobertura geográfica y frecuencia de los incendios, requerida por muchas investigaciones biofísicas, análisis espacio-temporal de la actividad del fuego, entre otras (Figura 6). En la actualidad, gran número de satélites se encuentra proporcionando información aplicable a los trabajos de incendios y otro gran número de satélites se está diseñando.

El comportamiento de algunos elementos meteorológicos que caracterizan el clima tiene efectos significativos sobre el comportamiento del fuego, influyendo decisivamente en la ignición y propagación de los incendios (Batista 2000). La rudeza del clima en Cuba, sometido a largos períodos de escasas precipitaciones —de entre cuatro y seis meses— lo convierte en un aliado indiscutible de los incendios forestales.

Paveri, Lama, Linares, Chávez y Díaz (2001), establecieron en la “Estrategia nacional del sistema de protección contra incendios forestales en Cuba,” entre sus acciones para el período 2001-2005, el rediseño del actual sistema de detección terrestre y aérea de incendios, así como ampliar su cobertura para todo el territorio nacional, incorporando para ello la teledetección.

A partir de estos antecedentes Mejías y Setzer (2006), han implementado un sistema para la detección y monitoreo de incendios en la vegetación para Cuba con el empleo de la teledetección satelital, incluido el pronóstico de peligro a corto y mediano plazo, mediante el cual se garantiza:

- La detección de incendios en la vegetación en todo el territorio cubano, de forma operativa y permanente mediante el procesamiento digital de imágenes.
- La integración de las informaciones de focos de calor detectados a un “Banco de Datos Geográficos” de Cuba con el empleo de sistemas de información geográfica (SIG).
- Suministrar a los usuarios las informaciones generadas por el sistema en tiempo real a través de un sistema de aviso y alertas tempranas utilizando diferentes opciones y servicios de redes electrónicas.
- Crear una base de datos de información de incendios en la vegetación, detectados con satélite para Cuba y otras informaciones y productos derivados del sistema para ser empleados en los estudios posteriores e investigaciones de este fenómeno en el país.

CONCLUSIONES.

A pesar de la calificación de “naturales”, los peligros descritos contienen ciertos elementos de participación humana. Para estos efectos es preciso distinguir entre tres conceptos: i) Evento físico, fenómeno natural que, de hecho, no afecta a los seres humanos porque sus efectos no entran en contacto con ellos; ii) Peligro natural, fenómeno natural que ocurre en un área poblada o con infraestructura que puede ser dañada y; iii) Desastre natural, es un peligro natural que causa un número inaceptable de muertes o daños a propiedades. En áreas donde no existen intereses humanos a vulnerar, los fenómenos naturales no constituyen un peligro ni causan desastres.

Entre los tipos de fenómenos naturales que más afectan a la agricultura, se encuentran las inundaciones; la desertificación, la sequía, los desastres costeros y los incendios, fenómenos que pueden ser evaluados, monitoreados y manejados por herramientas modernas y eficaces como la teledetección y los SIG. Dichos fenómenos producen severas afectaciones a los cultivos agrícolas pudiendo ser evaluados mediante indicadores cualitativos y cuantitativos que permitan medir el impacto económico, o medio ambiental de la afectación.

Destaca el empleo de las tecnologías espaciales (Teledetección y SIG) para la generación de productos cartográficos temáticos que pueden ser utilizados para delimitación espacial de amenazas múltiples, herramientas que facilitan la discriminación de aquellos factores de riesgo que pueden ocasionar serios problemas en la agricultura y su entorno físico y con los cuales realizar las tareas de evaluación del riesgo de ocurrencia de dichos fenómenos y de mitigación de manera más eficiente. Igualmente estos mapas se pueden combinar con los mapas de las instalaciones críticas, que pueden producir severos daños por ellas solas o por la acción conjunta con las amenazas múltiples, constituyendo herramientas de manejo de situaciones de riesgo muy apropiadas para los empresarios y tomadores de decisiones en el

sector agrícola.

LITERATURA CITADA

Al Khaier, F., 2003. Soil Salinity Detection Using Satellite Remote Sensing, M.Sc. Thesis in Geo-Information Science and Earth Observation, Watershed Management, Conservation and River Basin Planning Specialization, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 51 pp..

Atlas Mundial de la Desertificación Mundial, 2006. ¿Qué es la desertificación? En <http://gm-uncd.org/Spanish/About/desertificación.htm>

Autores Varios, 1997. El Suelo-erosión, UNESUR, Universidad Nacional Experimental del Sur del Lago "Dr. Jesús M^a. Semprúm", Sta. Bárbara de Zulia. En <http://www.monografias.com>.

Ávila, L., 1978. Las vías de salinización de los suelos en: Conferencias de la Reunión Nacional de Suelos Salinos, Academia, La Habana, 67 pp.

Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes, A.A.M. Holtslag, 1998. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 1 formulation, J. of Hydr. 212-213: 198-212.

Batista, A. C., 2000. Mapas de riesgo. Una alternativa o planeamiento de control de incendios forestales". Fundacao de pesquisas forestais do Parana. Curitiba, Brasil. V. 30 pp 45-54.

Burton, I., Kates, R.W., G.F. White, 1978. The Environment Hazard, New Cork, Oxford University Press.

Castro, R.,E. Chuvieco, 1995. Clasificación digital de combustibles forestales a partir de imágenes de alta resolución y modelos digitales del terreno. Boletín de la SELPER, 10: 8-15.

CCAD, 2002. El Impacto Socioeconómico y Ambiental de la Sequía de 2001 en Centro América, CEPAL/UN. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. Doc. 14628 en CD-ROM – CRID. México D.F.

CINU-1, 2006. Tema de Interés: Desertificación, Centro de Información para México, Cuba y República Dominicana, Naciones Unidas En http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost/desert.htm

CINU-2, 2006. Tema de Interés: Desertificación, Centro de Información para México, Cuba y República Dominicana, Naciones Unidas. En [http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johanesburgo/documentos/luchacontra desertificación.htm](http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johanesburgo/documentos/luchacontra%20desertificación.htm)

CNSF, 1985. Centro Nacional de Suelos y Fertilizantes (CNSF), Estudio Nacional de Salinidad y Sodicidad en base al Mapa de Suelos escala 1:50 000, 77 pp., MINAGRI, La Habana, Cuba.

Consejo Agropecuario Centroamericano, 1954. Informe sobre los Efectos de la Sequía en la Producción de Granos Básicos en Colombia. Doc. 9295 en CD-ROM – CRID.

Chuvieco, E., Martín, M. P., 1994. Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60, 5, pp.563-570.

Dwivedi, R.S. & Rao, B.R.M. 1992. The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils. Int. J. R.S., 13(11), 2 051-2 058.

Gawarecki, S.J., Moxham, R.M., Morgan, J.Q., Parker, 1965. Infrared Spectral Returns and Imagery of the Earth from Space and Their Applications to Geologic Problems, in

Scientific Experiments for Manned Orbital Flight, Science and Technology Series, American Astronautical Society, Vol. 4, pp. 13-33.

Izquierdo, J., 2006. Programa FAO/PNUMA para el Control de la Desertificación. Actividades y Perspectivas. Depósito de Documentos de la FAO, Anexo IV-Presentaciones Técnicas. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.

Joshi, M.D. & Sahai, B. 1993. Mapping of salt-affected land in Saurashtra coast using Landsat satellite data. *Int. J. R.S.*, 14(10): 1 919-1 929.

Konecny, G., 1998. Remote Sensing for Sustainable Development: State of the art. Operational Remote Sensing for Sustainable Development, 1923 pp.

Lau, A., E. Garea, M.E. Ruiz, 2005. Estimación de la salinidad de los suelos utilizando una imagen multiespectral y el Sistema de Información Geográfica Telemap, Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 14, No.1, pp. 47-54.

López Ocaña, C. 1989. Desertification Risks Assessment in Development Planning. Unpublished manuscript, Washington, D.C. World Resources Institute.

Mecanismo Mundial, 2006. ¿Qué es la CLD?, Artículo1. <http://www.gm-unccd.org/Spanish/About/unccd.htm>

Mejías, E., A. W. Setzer, 2006. Sistema para la Detección y Monitoreo de Incendios en la Vegetación con el empleo de la Teledetección. Pronóstico de Peligro a Corto y Mediano Plazo Instituto de Meteorología, Cuba (en prensa).

Nichols, D.R., and Buchanan-Banks, J.M., 1974. Seismic Hazards and Land Use Planning, Circular 690, Washington, D.C., U.S. Geological Survey.

Obregón, A., 1990. La Problemática de la Salinización de los Suelos de la República de Cuba, Memorias del XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo, La Habana: 1314:1316.

OEA, 1993. Incorporación del manejo de peligros naturales al proceso de planificación para el desarrollo, en: Manual sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Departamento de Desarrollo Regional y Ambiente. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Washington, D.C.

OEA, 1993. Sistemas de Información Geográfica en el Manejo de Peligros Naturales, en: Manual sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Departamento de Desarrollo Regional y Ambiente. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Washington, D.C.

OEA, 1993. Percepción Remota en la evaluación de peligros naturales en: Manual sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado, Departamento de Desarrollo Regional y Ambiente. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Washington, D.C.

OEA, 1993. Peligros geológicos, en: Manual sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Departamento de Desarrollo Regional y Ambiente. Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Washington, D.C.

Oharriz, S., C. Valdés, B. Llorente, 1990, Estadísticas de los Incendios Forestales en Cuba durante el período 1981 – 1985. CIDA, La Habana, Cuba.

- ORTEGA, F., J. Pen, N. Castillo, 1986.** La salinidad de los suelos de Cuba. Aspectos económicos globales, *Cienc. de la Agric.* 27, pp. 137-144, 1986.
- Paveri M., Lama G. M., Linares L. E, Chávez B., M Díaz, 2001.** Estrategia y programa nacional para la actividad de protección contra incendios forestales en la República de Cuba. La Habana. PROYECTO FAO TCP/CUB/0066.
- Pulido L., et al., 1997.** Soil Salinity Surveying Using Satellite Imagery and a Portable Sensor. International Symposium on Sustainable Management on Salt Affected Soils in the Arid Ecosystem, pp. 91-105, Cairo, Egypt.
- Richards, P.B., 1982.** The Utility of Landsat-D and Other Satellite Imaging Systems in Disaster Management, Final Report. NASA Goddard Space Flight Centre Disaster Management Workshop, NASA DPR S-70677, Washington, D.C.: Naval Research Laboratory.
- S. C. Liew, L. K. Kwoh, O. K. Lim, H. Lim, 2001.** Remote sensing of fire and haze, in *Forest fires and regional haze in Southeast Asia*, ed. P. Eaton and M. Radojevic (New York: Nova Science Publishers), Chapter 5, pp. 67-89.
- San Miguel-Ayanz, J., M. M. Verstratete, B. Pinty, J. Meyer-Roux, G. Schmuck, 2000.** The Use of Existing and Future Remote Sensing Systems in Natural Hazard Management: Specifications and Requirements, In M. M. Verstratete, M. Menentti and J. Peltoniemi (eds), *Observing Land Form Space Science Customers and Technology*, Kluwer Academy Publisher, Dordrecht.
- SENA, 2000.** Sequías Sistema Nacional para la Prevención y Atención a Desastres (SENA), Cruz Roja Colombiana, s.f. 28 p. illus. Bogotá, Colombia. Doc. 1181 en CD.ROM CRID.
- Singh, A. N., 1994.** Monitoring Change in the Extent of Salt-affected Soils in Northern India," *Int. J. Remote Sensing*, vol. 15, no. 16, pp. 3173-3182.
- Vélez, R., 2000.** La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. Madrid, McGraw-Hill/Interamericana de España S.A.U.
- Velis, L., N. Campos, 1991.** Desastres por actividad hidrometeorológica, CEPRODE, 87 p., Doc. 1452, en CD-ROM – CRID.
- Wiegand, C. L., et al., 1994.** "Photographic and Videographic Observations for Determining and Mapping of Response of Cotton to Soil Salinity," *Remote Sen. Environ*, 49:212-223.
- Wijkam, A., LL. Timberlake, 1984.** Natural Disasters; Acts of God o r Acts of Man? Earthscan and Cruz Roja Sueca, International Institute for Environmental and Development, London and Washington D.C.

Cuadro 1

Tipos de desastres naturales más frecuentes.

No.	TIPOS	SUBTIPOS
I	ATMOSFÉRICOS	Tempestades de granizo Huracanes Tornados Tormentas tropicales
II	HIDROLÓGICOS	Inundaciones costeras Inundaciones de ríos Tempestades marinas y marejadas Desertificación Sequía Erosión y sedimentación
III	SÍSMICOS	Terremotos Tsunamis
IV	OTROS FENÓMENOS GEOLÓGICOS/HIDROLÓGICOS	Deslizamientos de tierra y avalanchas Caída de rocas Deslizamientos submarinos
V	VOLCÁNICO	Hundimiento Flujos de lava Flujos de lodo Flujos piroclásticos Proyectiles y explosiones laterales
VI	INCENDIOS	Bosques Pastos Sabana

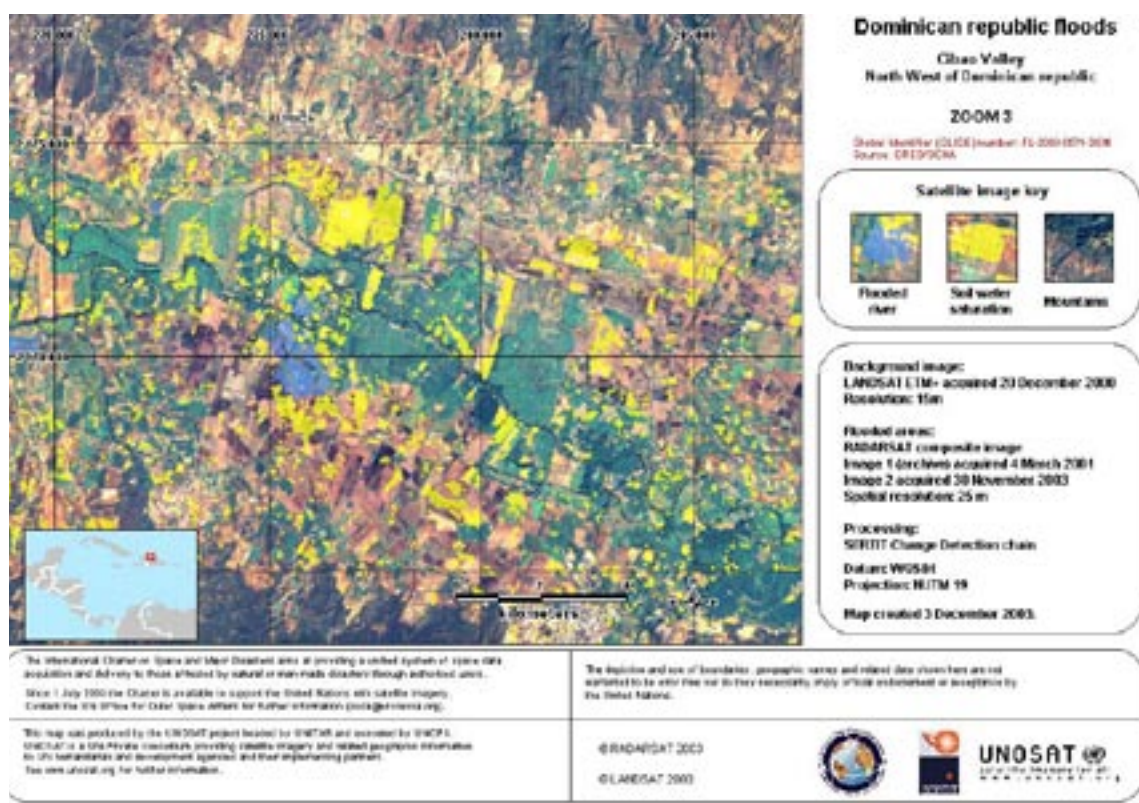
Cuadro 2 Imágenes de satélites aplicadas a evaluaciones de peligros naturales.

	TERREMOTOS	ERUPCIONES VOLCÁNICAS	DESPLAZAMIENTOS DE TIERRAS	TSUNAMIS	DESERTIFICACION	INUNDACIONES	HURACANES
INFORMACIÓN A SER OBTENIDA	Mapas de uso de tierras mapas geológicos	Mapas de áreas vulnerables a flujos de lava, caída de ceniza, caída de derrubios e incendios	Mapas de pendientes, estabilidad de pendientes, elevación geológica, tipos de suelo, áreas de embalse de agua, mapas para uso de tierras	Mapas batimétricos/topográficos	Mapas para uso de tierras, contenido de humedad en el suelo, condición de la cosecha y de la vegetación natural	Mapas de demarcación de las llanuras de inundación, clasificación de uso de tierras, del suelo y humedad del suelo	Mapas para uso de tierras
BANDA ESPECTRAL	Visible e IR cercano V	Visible, IR cercano e IR térmico	Visible	Visible, incluyendo el azul e IR cercanos	Visible, IR cercano y microondas	IR cercano, IR térmico y microondas	Visible a IR cercano
RESOLUCIÓN ESPACIAL	20-80m	30-80m	10-30m	30m	80m-1km	20m (para rasgos culturales), 30-80m (para uso de tierra); 1 km (para cobertura de nieve y humedad del suelo)	20m (para rasgos culturales); 30-80m (para uso de tierra)
ÁREA DE COBERTURA	Área grande	Área larga	Área larga	Área costera grande	Área regional grande	Área regional grande	Área grande
CAPACIDAD EN TODO CLIMA	No	No	No	No	No	No	No
VISION SINÓPTICA	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
CAPACIDAD ESTEREO	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	
FRECUENCIA DE OBSERVACIÓN ESTUDIO DE PLANIFICACIÓN	1 a 5 años	1 a 5 años	1 a 5 años	Mensualmente	Estacional (excepto semanal para cobertura de nieve y humedad del suelo)	Anual	

Fuente: Adaptado de Richards, P.B. The Utility of Landsat-D and other Satellite Imaging Systems in Disaster Management (Washington, DC: Naval Research Laboratory, 1986).

Figura 1

Producto cartográfico de UNOSAT que muestra los cambios ocurridos en territorios inundados en la República Dominicana entre el 3/03/2001 y el 30/11/2001, obtenido a partir de imágenes de Radarsat combinadas con imágenes Landsat de fondo.



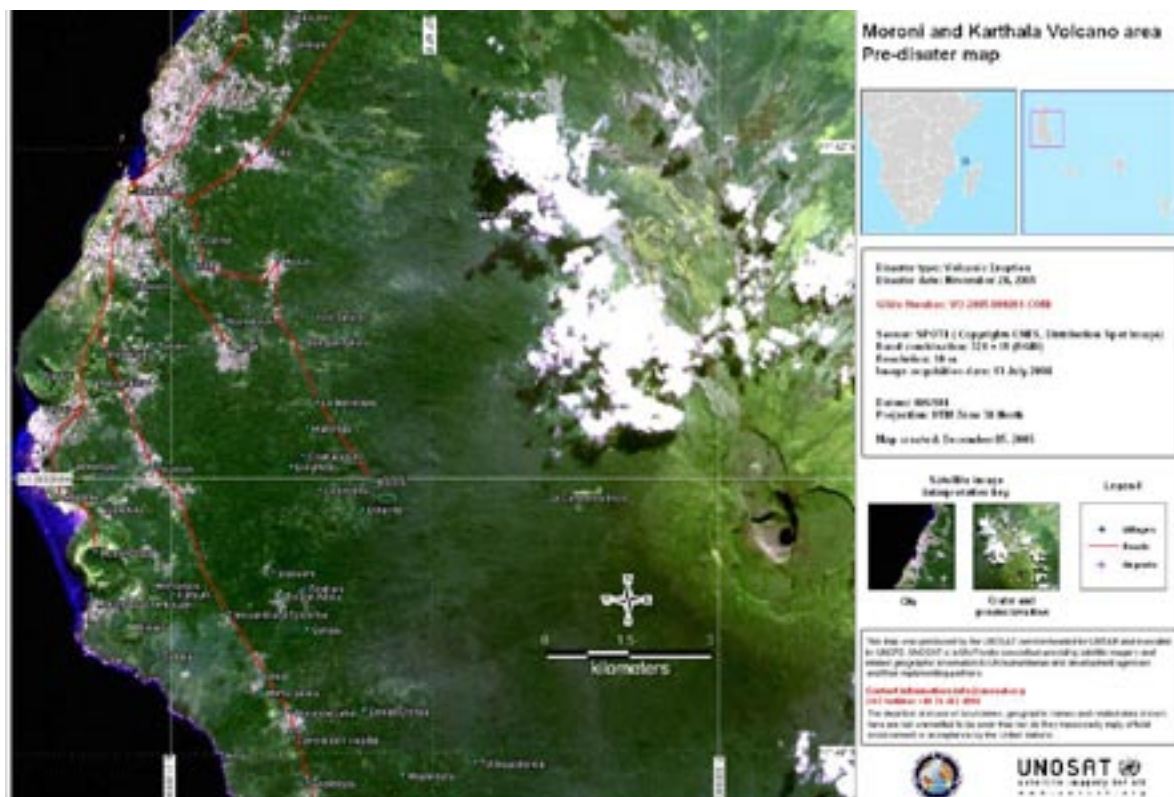


Figura 2

Mapa obtenido a partir de una imagen Spot 4 y SIG para asistir estudios previos a desastres en el área del Volcán Moroni y Karthala en 2004. Elaborado por el servicio de UNOSAT / UNITARS / UNOPS en 2005.



Figura 3

Imagen del Satélite Landsat TM mostrando la aridez y las superficies desérticas en una región de Eritrea, en donde los patrones espaciales pueden ser bien discriminados. Disponible en: http://unosat-conflictmapping.web.cern.ch/unosat-conflict-mapping/webmap/eritrea_region_district.asp

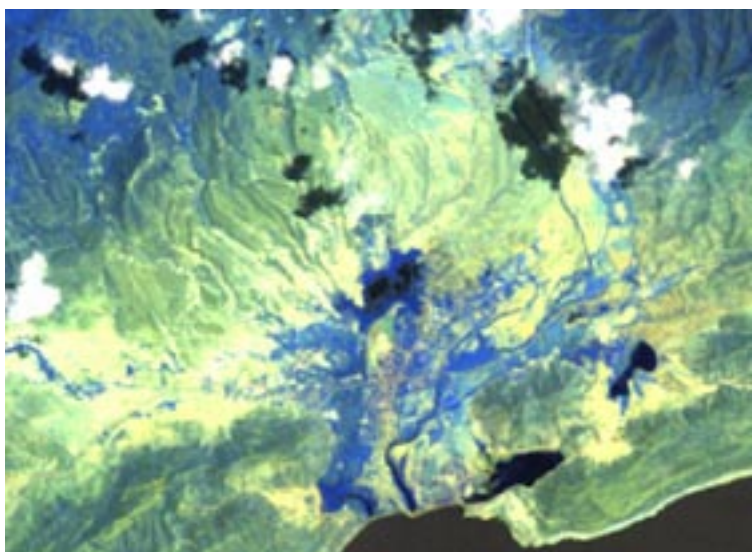


Figura 4

Imagen multiespectral del satélite Landsat, mostrando zonas salinizadas en el valle de Guantánamo, Cuba, luego de ser procesadas digitalmente. El trabajo fue realizado en el 2003.

Figura 5

Vista del huracán "Ivan" en las proximidades de la isla de Cuba mediante una imagen del satélite NOAA-AVHRR tomada en septiembre de 2004.

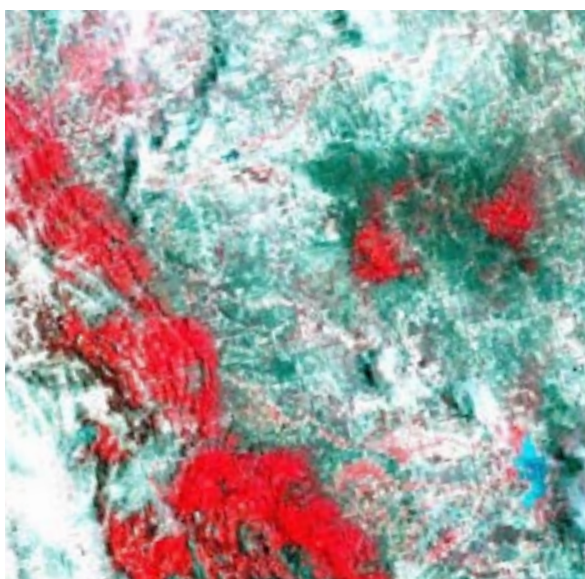
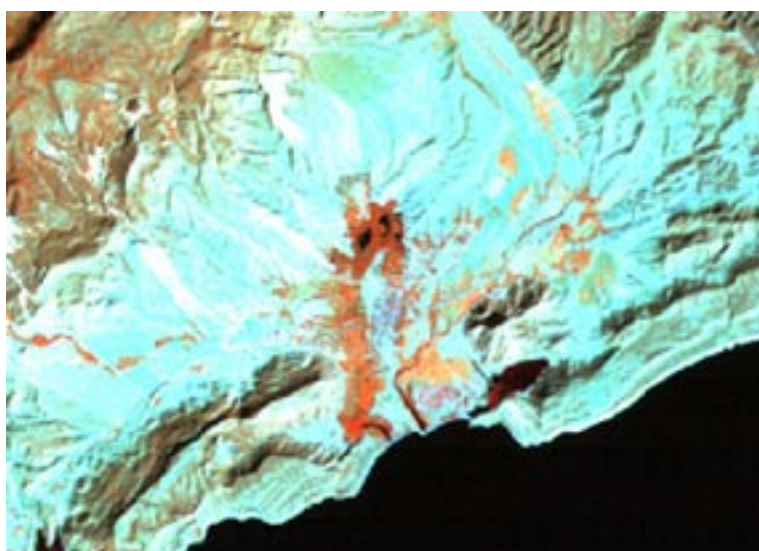


Figura 6

Imagen Landsat TM de Julio 1998 mostrando zonas afectadas por incendios forestales en Nuevo León, México. (Tomada del sitio <http://albers.mty.itesm.mx/proyecto/incendios/incendios.htm>)

EL CENTENARIO DE FRIDA

Nota del Director

La presente nota titulada: “Frida Kahlo (1907-1954)” cuyo autor es Craso y que apareciera publicada en la Revista: “Quepo” de la Sociedad Peruana de Cactus y Suculentas Vol.14 del año 2000, es reproducida textualmente con motivo del centenario del nacimiento de la gran pintora mexicana Magdalena Carmen Frieda Kahlo Calderón (6 julio 1907- 6 julio 2007), como un homenaje a esta artista que hoy es parte del acervo cultural no sólo mexicano sino de América Latina. Frida pintó plantas del desierto, pintó cactus y agaves y eso nos une a ella en esta revista dedicada a estos hermosos paisajes que son parte de nuestras vidas.

Juan Torres Guevara

THE CENTENARY OF FRIDA

Note by the Director

The present titled note: “Frida Kahlo (1907-1954)” whose author was Craso, and appeared in the Magazine: “Quepo” of the Peruvian Society of Succulent Cactus and Vol.14 of year 2000, is reproduced textually because of the centenary of the birth of the great Mexican painter Magdalena Carmen Frieda Kahlo Calderón (July 6th 1907 - July 6th 2007), like a tribute to this artist who is part of the Mexican culture for whole Latin America. Frida painted plants of the desert, painted cactus and agaves and that unites us to her in this magazine dedicated to these beautiful landscapes that are part of our lives.

Juan Torres Guevara

“Frida Kahlo (1907-1954)”

CRASO

Vida y Obra

Como Magdalena Carmen Frieda Kahlo Calderón, nace esta notable artista mexicana en Coyoacán, el 6 de julio de 1907. En 1925 sufre un grave accidente de tráfico y en su larga estancia en el hospital inicia su afición a la pintura. En 1929 se casa con el famoso pintor y muralista Diego Rivera. La pareja vive en los Estados Unidos desde 1930 hasta 1933. Frida expone con éxito, sus pinturas en Nueva York en 1938 y en París en 1939, año en el que se divorcia de Rivera, para volver a casarse con él en 1940. En 1946 su cuadro titulado “Moisés”, obtiene un premio anual de pintura en México. En 1950 es operada siete veces de la columna vertebral. En 1953 realiza su primera exposición individual en México. Muere en la “Casa Azul”, en Coyoacán, el 13 de Julio de 1954.



“Autorretrato en la frontera entre México y los Estados Unidos”.1932.

La artista se yergue entre el mundo mexicano preñado de historia y el mundo norteamericano dominado por la tecnología. Vemos en la parte inferior izquierda, unos cactus esféricos de costillas marcadas y unas flores demasiado grandes, que nos atrevemos a identificar.

Los Cactus en la pintura de Frida Kahlo

En Quepo, Vol. 9 de 1995 reproducimos un fragmento en prosa, donde Frida Kahlo comparaba a su esposo Diego Rivera, a quien amaba entrañablemente, con los cactus. Ella incluyó con frecuencia ejemplos de la flora y fauna mexicana en sus obras, entre ellos los cactus, que aparecen como fondo de autorretratos o de retratos de otras personas. Además pintó monos, perros, ciervos y papagayos, que ella tenía como mascotas en su casa.

“Retrato de Doña Rosita Morillo”. 1944. (fragmento)

La Sra. del retrato era la madre de un diplomático mexicano que en el curso de los años adquirió unos 30 cuadros de Frida y encargó retratos de varios miembros de su familia. Detrás de la Sra. Morillo vemos un cactus columnar delgado y otro en flor que es sin duda, *Aporocactus flagelliformis*.



Aporocactus flagelliformis en flor. Este es el cactus que F. Kahlo pintó como fondo en el retrato de la Sra. Morillo.

FRIDA KAHLO INCLUYÓ EN SU OBRA EJEMPLOS DE FLORA Y FAUNA MEXICANA Y ENTRE ESTOS, LOS CACTUS SON UN TEMA FRECUENTE.



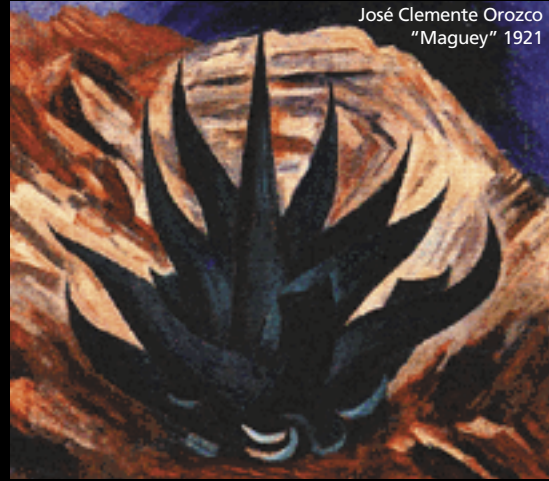
“El abrazo de amor de el universo, la tierra (México), Yo, Diego y el señor Xólotl”. 1949. En esta pintura hay muchos elementos de la mitología mexicana: el día y la noche, el sol y la luna, la diosa de la tierra Cihuacoatl y la figura en forma de perro, Xólotl, el guardián del mundo de los muertos. Frida sostiene en sus brazos a Diego Rivera niño, con el tercer ojo de la sabiduría en la frente. Hay también varias *Opuntias*, un *Agave*, un *Cephalocereus* y *cactus arbóreos* estilizados como manos.

LA LEY DEL MONTE

Canción Popular Mexicana

José Angel Espinoza

Grabé en la penca de un maguey tu nombre
unido al mío, entrelazados
como una prueba ante la ley del monte
que allí estuvimos enamorados.



Tú misma fuiste quien buscó la penca
la más bonita, la más esbelta
y hasta dijiste que también grabara
dos corazones con una flecha.

Ahora dices que ya no te acuerdas
que nada es cierto, que son palabras,
yo estoy tranquilo porque al fin de cuentas
en nuestro idilio las pencas hablan.

La misma noche que mí amor cambiaste
también cortaste aquella penca
te imaginaste que si la veía
pa' ti sería cómo una afrenta.

Se te olvidaba que el maguey sabía
lo que juraste en nuestra noche
y que a su modo el también podía
recriminarte con un reproche.

No sé si creas las extrañas cosas
que ven mis ojos, tal vez te asombres
las pencas nuevas que al maguey le brotan
vienen marcadas con nuestros nombres.



ESTUDIAR EL PASADO - ENFOCAR EL PRESENTE - PLANIFICAR EL FUTURO

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE ZONAS ÁRIDAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Camilo Carrillo 300A. Jesús María Lima 11 - Perú
Telef. 51-1-4335616 Email: cizaunalm@yahoo.com
www.lamolina.edu.pe/ciza

Solicitud de Artículos

Zonas Áridas No 11

dedicada al tema

**Agricultura y Desastres en las zonas áridas y
semiáridas en América Latina y el Caribe**

Call for Articles

Zonas Áridas No 11

devoted to

*Agricultura y Desastres en las zonas áridas y
semiáridas en América Latina y el Caribe*

CIZA invita al envío de artículos de revisión, investigación y notas técnicas para el siguiente número, dedicado: "Agricultura y Desastres en Zonas Áridas y Semiáridas en América Latina y el Caribe".

Artículos originales de más de 500 palabras serán bienvenidos. Aquellas personas activas en investigación en Agricultura y Desastres en Zonas Áridas y Semiáridas son especialmente animadas a enviar manuscritos. Los temas que se espera cubrir incluyen, pero no están limitados a botánica, florística y zoología de bosques secos, así como ecología teórica y aplicada, proyectos de conservación y educación y material legal, cultural e histórico. Se aceptan contribuciones en español, inglés y portugués. La fecha límite de remisión es el 30 de Setiembre del 2007. El número saldrá publicado hacia Diciembre del 2007.

CIZA invites the submission of review articles, research articles and/or notes for its next issue devoted to: "Agricultura y Desastres en Zonas Áridas y Semiáridas en América Latina y el Caribe".

Feature original articles of 500 words or more. Those active in Agricultura y Desastres en Zonas Áridas y Semiáridas research are encouraged to send manuscripts. Subjects considered, but not limited to, are dry forest botany, floristic, zoology, theoretical or applied ecology, conservation or education projects, as well as legal, cultural and historical material. Contributions in Spanish, English or Portuguese are accepted.

The submission deadline is 30 September 2007. The issue is expected to be published by December 2007.

Mayor información /More information:

E-mail: cizaunalm@yahoo.com

Web: www.lamolina.edu.pe/ciza



ESTUDIAR EL PASADO - ENFOCAR EL PRESENTE - PLANIFICAR EL FUTURO

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE ZONAS ÁRIDAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Camilo Carrillo 300A. Jesús María Lima 11 - Perú
Telef. 51-1-4335616 Email: cizaunalm@yahoo.com
www.lamolina.edu.pe/ciza

El Centro de Investigaciones de Zonas Áridas (CIZA) es parte de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y su objetivo es estudiar las regiones áridas y semi-áridas del Perú generando propuestas de desarrollo sustentable así como el promover tecnologías sustentables para estas zonas.

Desde sus inicios en 1976, el CIZA ha concertado significativos esfuerzos para estudiar las áreas áridas y semi-áridas del Perú que constituyen el 40 % de la superficie del país y dónde vive el 90 % de la población peruana. Ecosistemas como los bosques tropicales estacionalmente secos de la Costa Norte, las lomas centrales y sureñas así como montañas semi-áridas son prioritarios. Estos ecosistemas frágiles vienen sufriendo procesos de desertificación acelerados debido a la implementación de propuestas de desarrollo inadecuados a las especificidades de estos paisajes.

Entre las propuestas de uso sostenible se tiene las elaboradas para los bosques tropicales estacionalmente secos, destacando las estrategias de gestión basadas en sistemas diversificados, productivos (sistemas agro-silvo-pastoriles) y para los ecosistemas de montaña, se maneja la hipótesis de que la estrategia ideal para su uso sostenible es el manejo de cuencas hidrográficas, específicamente el manejo de microcuencas. En ambos ecosistemas, los principales aspectos de los proyectos del Centro de Investigación son la conservación y uso sostenible de la biodiversidad.

La investigación está relacionada con la biología aplicada básica, con propuestas sobre desarrollo sostenible y capacitación e intercambio de experiencias a nivel campesino.

La Revista de Zonas Áridas que se publica una vez al año, está abierta a investigadores a nivel mundial con énfasis en zonas áridas de Latinoamérica.

El CIZA trabaja en cooperación con instituciones similares en Perú y Latinoamérica.

The Center for Arid Lands Research (CIZA) is part of the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) and its aims are to study the arid and semi-arid regions of Peru, to generate sustainable development proposals, and to promote sustainable technologies for these areas.

Since its beginnings in 1976, CIZA has concentrated significant efforts on studying arid and semi-arid areas in Peru, which constitute 40% of the total area of the country and which support 90% of the population. Ecosystems such as seasonally dry tropical forests in the northern coast, the Loma formations in the central and southern coast, and the semi-arid mountains are a priority for the Center. These fragile ecosystems are experiencing accelerated desertification processes due to the implementation of development plans that are not adequate for the particularities of these landscapes.

Included among the sustainable use proposals that have been elaborated are those for the seasonally dry forests that contain management strategies based on diversified and productive systems. With respect to mountain ecosystems, the hypothesis is that the ideal strategy for their sustainable use is through the management of watersheds and specifically through the management of micro-watersheds. In both ecosystems the main aspects of the Research Center's projects are the conservation and sustainable use of biodiversity.

This research is related closely to basic applied biology, with proposals of sustainable development, training and interchange of experiences at the farmer level.

Zonas Áridas, is published annually and is open to scientists from around the world with a research focus in Latin-American arid zones.

CIZA works in cooperation with similar institutions in Peru and Latin America.