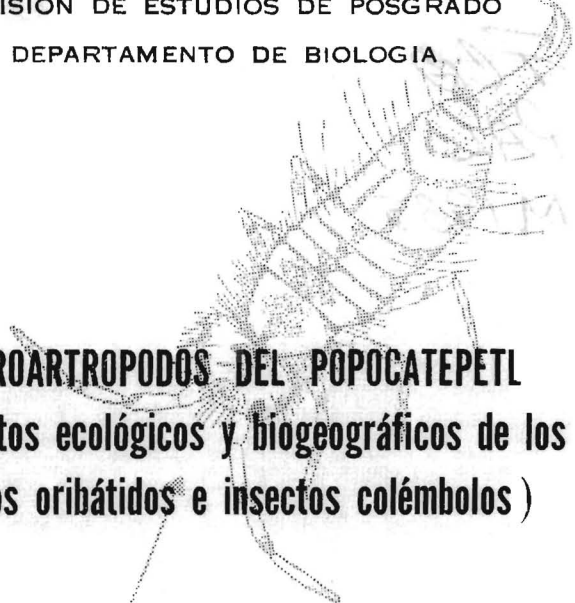


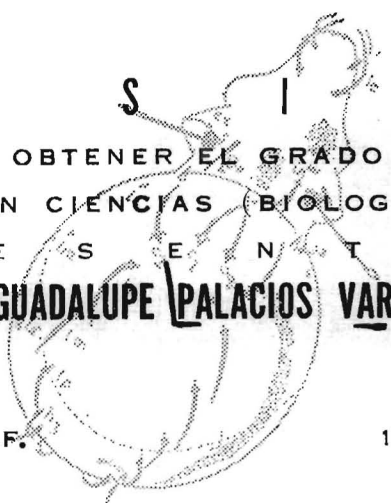
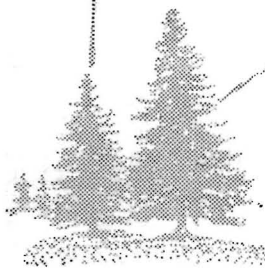


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA



MICROARTROPODOS DEL POPOCATEPETL (Aspectos ecológicos y biogeográficos de los ácaros oribátidos e insectos colémbolos)



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)
P R E S E N T A
EL M. EN C. GUADALUPE PALACIOS VARGAS

MEXICO, D.F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Al dulce recuerdo de la Sra. Vargas,
a sus bellos retoños: Bele, Pili, Pera e Ismene.

A Judith, por el piolín de
mi barrilete.

A la amistad

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Anita Hoffmann su ayuda y apoyo para la realización de esta investigación y la posibilidad de formarme en su laboratorio durante estos diez años.

El jurado revisor de esta tesis estuvo integrado por los Drs. Anita Hoffmann Mendizábal, Isabel Bassols Batalla, Ma. Ana Fernández Alamo, A. N. García, Roberto Johansen Naime, Claudio Delgadillo y el M. en C. Nicolás Aguilera, a quienes reconozco sus valiosos comentarios y ayuda.

La Dra. Judith Najt y el Dr. Roy A. Norton, asesoraron y discutieron ampliamente conmigo el proyecto, en el que han colaborado en muchas formas y con quienes estoy en deuda.

Para el manejo de los datos climatológicos se contó con la amable ayuda de la M. en C. Marfa Engracia Hernández, del Instituto de Geografía. Los dendrogramas de similitud se realizaron con la asesoría del M. en C. Bert Kohlmann, del Instituto de Ecología.

Para la determinación de muchos de los artrópodos se con tó con la ayuda de los siguientes especialistas: M. en C. Ma. Luisa Jiménez (Araneae), Dr. Harry Braylovsky (Hemiptera), Dr. Charles Hogue (Diptera), M. en C. Guadalupe Sampedro (Homoptera), M. en C. Miguel A. Morón (Coleoptera), Dra. Isabel Bassols (Mesostigmata) Dr. Evert E. Lindquist (Mesostigmata y Prostigmata), Dr. Roberto Johansen (Thysanoptera), Dr. Alfonso N. García Aldrete (Psocoptera).

Los líquenes fueron identificados por la M. en C. Beatriz Coutiño, los musgos por el Dr. Claudio Delgadillo y los ejemplares de Arenaria por el M. en C. Francisco Lorea.

El mecanografiado preliminar y definitivo de este trabajo fue realizado por la Srta. Ma. del Carmen Victorio Guzmán y los mapas y figuras por el Arq. Jesús Mejía Recamier.

Un agradecimiento particular para mi asistente, el Biól. Ignacio Vázquez Rojas y a todos mis amigos y familiares por su apoyo y ayuda.

I N D I C E

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCCION..... | 1 |
| II. OBJETIVOS..... | 7 |
| III. ANTECEDENTES..... | 8 |
| IV. ASPECTOS ECOLOGICOS DEL AREA..... | 12 |
| A. La Cordillera Neovolcánica..... | 12 |
| B. Generalidades del área de estudio..... | 15 |
| 1. Datos de localización y geológicos..... | 15 |
| 2. Datos topográficos y edafológicos..... | 16 |
| 3. Hidrología..... | 18 |
| 4. Climatología..... | 19 |
| 5. Vegetación y afinidades florísticas..... | 29 |
| a). Tipos de vegetación..... | 29 |
| b). Afinidades fitogeográficas..... | 31 |
| V. MATERIALES Y METODOS..... | 35 |
| A. Diseño del programa de muestreo..... | 35 |
| B. Trabajo de campo..... | 36 |
| C. Descripción de las estaciones y biotopos muestrea- dos..... | 38 |
| D. Procesamiento en el laboratorio..... | 43 |
| E. Trabajo de gabinete..... | 44 |
| 1. Material botánico..... | 44 |
| 2. Material artropodológico..... | 45 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSION..... | 47 |
| A. Composición faunística de los microartrópodos del Popocatepetl..... | 47 |
| B. Abundancias relativas de los microartrópodos..... | 51 |
| C. Porcentajes de permanencia y coeficientes de frecuen- cia de oribátidos y colémbolos..... | 64 |
| D. Distribución cliserial y similitud faunística..... | 73 |
| E. Abundancia..... | 78 |
| F. Afinidad biocenótica..... | 88 |
| G. Similitud biocenótica..... | 90 |
| H. Consideraciones biogeográficas..... | 95 |

| | |
|------------------------|-----|
| VII. CONCLUSIONES..... | 104 |
| VIII. RESUMEN..... | 109 |
| IX. BIBLIOGRAFIA..... | 111 |
| X. APENDICE..... | 122 |

I. INTRODUCCION

Recientemente muchos trabajos han puesto en evidencia el importante papel de los microorganismos en los procesos de descomposición e integración de la materia orgánica al suelo. Los invertebrados tienen un papel preponderante en estos procesos debido a sus diversas actividades. En los ecosistemas tropicales, su participación en los procesos químicos de descomposición ha sido demostrada y evaluada en algunas regiones hasta en un 20% del total (Athias, et al. 1974, 1975).

Los invertebrados también orientan de manera decisiva las condiciones en que se desarrolla la actividad de otros microorganismos edáficos debido a que ingieren cantidades importantes de materia orgánica vegetal. La ingestión y deyección que realizan asciende a varias centenas o miles de toneladas de tierra al año, lo que, unido a su actividad, produce el mezclado de elementos y la aereación del suelo (Lavelle, et al., 1981).

Dentro de la numerosa fauna del suelo, los artrópodos constituyen el grupo mejor representado, tanto en número de individuos como de especies, formando parte de la micro y mesofauna edáfica. Esta abundancia está determinada por diversos factores bióticos y abióticos. Un parámetro importante dentro de estos últimos es la altitud, ya que modifica a otros factores y provoca cambios en las comunidades vegetales que afectan indirectamente a la fauna de artrópodos del suelo. Esta por su par-

te influye sobre la estructura del suelo, contribuye a su humificación, al reciclaje de la materia orgánica y de nutrientes del suelo y modifica algunas de sus propiedades.

Cada tipo de suelo tiene sus características propias, físicas, químicas y geográficas, como para considerarlo un biotopo particular (Najt, 1973); así como es posible obtener información por medio de las plantas sobre la presencia o ausencia de ciertos elementos químicos en el suelo, también se pueden obtener algunas conclusiones sobre los atributos de éste a partir de las poblaciones de especies indicadoras.

Es importante tener en cuenta que determinar el desarrollo cuantitativo de las poblaciones de microartrópodos in situ constituye por sí mismo un acercamiento al conocimiento de la actividad productiva del suelo, donde el factor ecológico primordial es el agua (Najt, op. cit.). La función de dicha fauna resalta y es mucho más importante en lugares con bajas temperaturas, como las regiones subárticas y las altas montañas, ya que algunas especies pueden realizar sus actividades a temperaturas muy bajas y en condiciones muy adversas (Aitchison, 1979a, b; Mani, 1968; Block, et al., 1978).

Entre los grupos asociados a musgos, líquenes y otras plantas, que son los primeros colonizadores de hábitats devastados o de reciente formación se encuentran los ácaros y colémbolos, que son verdaderos pioneros en la formación de condiciones adecuadas para el desarrollo posterior de la sucesión.

Los trabajos ecológicos de la fauna del suelo, hojarasca y sus anexos (musgos, líquenes, etc.), prácticamente han sido ignorados en México. Existe uno sobre la macro y microfauna de suelos de la Región de Laguna Verde, Palma Sola, Veracruz (Lavelle et al., 1980) y dos sobre los microartrópodos asociados a bromeliáceas epífitas del Derrame del Chichinautzin, Morelos (Palacios-Vargas, 1981, 1982a) en la misma cordillera donde está el Popocatepetl.

Con el propósito de contar con información ecológica para nuestro estudio, se hizo una consulta de los trabajos más significativos. El primer trabajo importante sobre la ecología de la fauna del suelo fue realizado por Delamare-Deboutteville (1951) en Costa de Marfil, África. Cassagnau (1961) hizo el estudio de los colémbolos de los Pirineos, Francia. Travé (1963) hizo un análisis de los ácaros oribátidos saxícolas y arborícolas de Alberes, Francia; y es el primero en hacer investigaciones ecológicas particulares sobre oribátidos.

La gran cantidad de publicaciones que han aparecido en las dos últimas décadas sobre diversos aspectos de la ecología de las poblaciones edáficas, pone de manifiesto la gran importancia que tienen en todos los ecosistemas.

Las zoocenosis muscícolas altimontanas han sido analizadas en su conjunto por Gerson (1969) y Gadea (1964). Recientemente el estudio de los microartrópodos de líquenes epífitos está siendo utilizado como indicador de contaminación atmosférica, así como para determinar el grado de alteración de los ambientes naturales (André, 1979, 1983; André & Lebrun, 1982; Aoki & Harada, 1982).

El estudio de estos organismos edáficos puede servir para detectar la alteración de medios naturales por pastoreo (Bigot & Poinsoot-Balaguer, 1978; Hermosilla et al., 1977), la sucesión faunística al alterar los bosques y selvas (Hermosilla, 1978; Aoki & Kuriki, 1978; Kuriki & Aoki, 1982; Shaddy & Butcher, 1977) e incluso como para detectar gradientes ambientales en áreas de recreación (parques naturales) y alrededores (Mahoney, 1976).

Las últimas investigaciones en Japón han permitido conocer cuál es el impacto de la alteración humana en la fauna del suelo (Aoki, Harada & Miyawaki, 1977; Aoki & Harada, op. cit.), qué familias de ácaros son más sensibles a la destrucción de medios naturales y cuáles se pueden utilizar como indicadores para diagnóstico ambientales (Aoki, 1979).

Durante la década pasada también tuvo impulso la investigación sobre el efecto de los insecticidas en la fauna del suelo (Butcher, Snider & Snider, 1971; Massoud, 1976; Gregoire-Wibo & von Koecke, 1979), la acción de estos microartrópodos en la degradación del DDT y otros plaguicidas que contaminan medios naturales y de cultivo (Klee et al. 1973; Massoud, 1971). Finalmente se está revisando el uso de estas formas edáficas como indicadores de vicarianza ecológica del potencial agrícola (Ponge, 1980; Joosse, 1983) y para caracterizar los tipos de humus en medios forestales (Ponge, 1983).

En los bosques de coníferas del Popocatepetl y sobre todo en la zona alpina, los microartrópodos son de gran importancia;

los ácaros conjuntamente con los colémbolos forman hasta un 98% del total de la población y son los que contribuyen más activamente a la fragmentación y degradación de la materia vegetal, aumentando de esta manera la acción de las bacterias y acelerando las reacciones químicas que culminan en la formación del humus.

La ubicación del Volcán Popocatepetl lo hace interesante también desde el punto de vista latitudinal y biogeográfico porque se encuentra en la Cordillera Neovolcánica donde confluyen dos faunas, la neártica y la neotropical y porque la flora de muy diverso origen tiene un alto grado de endemismo. Además, por su altitud y clima, presenta algunos grupos faunísticos relictuales y es sitio de la presencia de una cantidad considerable de especies nuevas para la ciencia.

El presente trabajo forma parte del programa "Microartrópodos del Popocatepetl", que es muy amplio y a largo plazo, dentro del proyecto "Estudios Bioedafológicos y Bioespeleológicos en México", que se está realizando en el Laboratorio de Acarología de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Gran parte del material biológico recolectado en este programa se ha aprovechado o se está utilizando para la elaboración de tesis profesionales por otras personas.

Aquí se presentan los resultados de los estudios realizados en diferentes elevaciones (de 3,000 a 4,000 msnm) del Popocatepetl. Se incluyen dos grupos de artrópodos, los ácaros oribátidos y los insectos colémbolos, que son habitantes del suelo,

hojarasca, musgos y otros sustratos. Con ello se sientan las bases para estudios ecológicos futuros que puedan contribuir al en tendimiento del comportamiento de estos organismos en su ambiente.

Como la zona de estudio carecía de análisis profundos sobre su climatología, se aprovechó para complementar los aspectos climatológicos que podrán ser de utilidad en futuras investigaciones.

II. OBJETIVOS

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

- A. Determinar y cuantificar los grandes taxa de microartrópodos habitantes de hojarasca, suelo y otros biotopos a distintas altitudes (de los 3,000 a los 4,000 m snm) del Volcán Popocatépetl. Caracterizar dicha fauna, principalmente ácaros oribátidos e insectos colémbolos, citando los nuevos registros para este volcán y para el país.
- B. Obtener la abundancia relativa de los grandes grupos que constituyen la fauna de microartrópodos del Popocatépetl.
- C. Estudiar la variación estacional a nivel específico de los oribátidos y los colémbolos durante un ciclo anual, proporcionar su porcentaje de permanencia y coeficiente de frecuencia para detectar cuáles son las especies más importantes en cada biotopo.
- D. Detectar la distribución altitudinal de las distintas especies, tomando en cuenta los parámetros anteriores.
- E. Analizar la abundancia de las especies y tratar de correlacionar estos datos con la precipitación y temperatura.
- F. Analizar la afinidad biocenótica de algunas especies.
- G. Seleccionar algunas especies de oribátidos y de colémbolos para hacer una comparación de la similitud biocenótica a distintas altitudes del volcán.
- H. Hacer consideraciones biogeográficas de los oribátidos y los colémbolos del Popocatépetl.

III. ANTECEDENTES

El volcán Popocatepetl, junto con el Iztaccíhuatl forma parte de uno de los parques nacionales más interesantes de México, denominado Izta-Popo, que ha despertado el interés de los visitantes desde hace mucho tiempo. Ambos volcanes tuvieron gran importancia en la vida y creencias de los antiguos aztecas, quienes les dedicaban el XIII mes del calendario "Tonalámatl" (SEDUE, 1983).

Desde la época de la Conquista hasta fechas recientes se han escrito notas y artículos sobre las ascensiones al Popocatepetl (Bayo, 1948), la forma de escalarlo (Wilson, 1977) y las posibles rutas a seguir (Sainz y Olvera, 1981). Debido a que no son controladas sus visitas, el pastoreo, los incendios provocados y la tala clandestina ponen en peligro el equilibrio natural de sus bosques.

Cuando en 1935 se declaró parque nacional a las montañas Iztaccíhuatl y Popocatepetl, en los límites de los estados de México, Tlaxcala, Puebla y Morelos, se fijó su límite inferior en la cota de los 3,000 m. Posteriormente, en 1948, se modificaron los linderos, situando el límite en la cota de los 3,600 m, con una superficie aproximada de 25,679 Ha (SEDUE, loc. cit.). Actualmente está entre las coordenadas geográficas 18°34'54" y 19°16'25" de Lat. N y 98°34'54" y 98°42'08" Long. W, más o menos a 80 km al sureste de la Ciudad de México y 50 al oeste de la de Puebla.

La fauna del Macizo Izta-Popo que está relativamente mejor estudiada es la de vertebrados, que entre anfibios, reptiles, aves y mamíferos suman 92 especies; pero son muy pocos los artrópodos que se conocen de esta región.

Del Popocatépetl en particular, Bolívar y Pieltain (1940, 1941) cita al coleóptero sílfido Pteroloma. Según Reyes-Castillo y Halffter (1976), el carábido Trechus azteca se distribuye en el bosque de pinos hasta los 3,750 m de altitud, los sílfidos Pteroloma sallei ordezi y P. s. balli se distribuyen a partir de los 4,000 m en la zona alpina. Bonet describe dos especies de colémbolos, Willemia persimilis Bonet (1945) y Megalothorax incertus (1947), Curran (1947) describe Protodejeania downsi, un díptero taquínido del Paso de Cortés.

En cuanto a los ácaros de vida libre de este volcán, Baker (1946) describe a Stereotydeus mexicanus; Baker y Hoffmann (1948) citan a Cunaxa capreolus (Berlese) de musgos y Atyeo (1960) a Bdella longicornis de corteza de árboles. Mahunka (1983) en un artículo sobre los oribátidos mexicanos, describe 21 especies nuevas, tres de ellas, Furcoppia (Mexicoppia) hauseri, Oppia tequila y Ghilarovus elegans procedentes del Popocatépetl. Recientemente Moreno et al. (1984) están estudiando los ácaros mesostigmados de hojarasca y suelos de este volcán. Del Parque Nacional Zoquiapan, al NW del Iztaccíhuatl, Gispert (1983) cita 19 taxa de ácaros asociados a las galerías de Ips bonanseai (Coleoptera: Scolytidae) en Pinus hartwegii.

De ácaros parásitos se conocen Euchengastia barrerai Hoffmann de Peromyscus maniculatus (Hoffmann, 1960); Neotrombicula

claudioi Hoffmann de Neotomodon alstoni alstoni (Hoffmann, 1965) y se cuenta con varios registros inéditos (Hoffmann, com. pers.) de Hoffmannina suriana Hoffmann, Leptotrombidium panamensis (Ewing), Neotrombicula caballeroi Hoffmann, N. microti Ewing, Odontacarus bakeri (Hoffmann) y Trombicula azteca Hoffmann; otras citas de parásitos protelios fueron hechas por Ewing (1946) y Brennan (1960), todos ellos forman parte de la fauna del suelo, ya que las ninfas y adultos son depredadores activos.

Del Iztaccíhuatl, Ramírez et al. (1980) estudiaron cinco especies de ácaros Mesostigmata parásitos de roedores, describiendo una nueva, Hirstionyssus martinezi y en 1983, analizaron 12 especies de ácaros Laelapidae que ahí encontraron sobre mamíferos silvestres.

En la zona de estudio se realizaron dos importantes investigaciones ecológicas que proporcionaron datos fundamentales para este proyecto, una sobre la distribución cliserial de 38 especies de sifonápteros, parásitos metatelianos, de mamíferos (Barrera, 1968) y otra sobre los suelos y la vegetación (Domínguez, 1975).

Del material de microartrópodos de este trabajo, han derivado varias publicaciones. Se describió Belba clavasensilla, oribatido damaeido asociado a musgos epífitos (Norton & Palacios-Vargas, 1982) y otro damaeido Epidamaeus mitlsensillus de hojarasca (Palacios-Vargas, 1984). De la familia Ceratozetidae se estudió la morfología y desarrollo ontogenético de dos especies, Trichoribates tepetlensis de hojarasca y T. ocotlicus de medios epífitos (Palacios-Vargas & Norton, en prensa).

De colémbolos se han descrito tres especies de neanúridos de hojarasca de este volcán (Cassagnau & Palacios-Vargas, 1983)

Americanura imitator, A. macgregori y A. mexicana; dos odontellidae (Palacios-Vargas & Najt, en prensa), Odontella (Supero-dontella) tlaloci y Xenyllodes unguidentatus; un entomóbrido (Mari Mutt, 1984), Orchesella impavida y se redescubrió Schoettella distincta (Hypogastruridae) habitante de musgos y hojarasca (Díaz & Palacios-Vargas, 1983).

Otros ácaros que han sido citados recientemente son, un oribátido pticoide, Hoplophorella de musgos cortícolas (Ojeda, 1983) y tres especies de prostigmados de la familia Rhagiddidae, Foveacheles rupestris, Poecilophysis pratensis y Robustocheles mucronata, de varios biotopos (Rivas de la Barrera, 1985).

Los ácaros oribátidos y los colémbolos son los que constituyen la parte más importante de los microartrópodos del suelo, hojarasca, musgos y líquenes, pero son casi desconocidos en México. De los primeros se han registrado alrededor de 70 especies, incluyendo las estudiadas por Ojeda (loc. cit.); de los segundos se conocen más de 200 (Palacios-Vargas, 1983).

El escaso conocimiento de estos dos grupos faunísticos en el país y en particular del Popocatepetl, dificulta los estudios ecológicos, puesto que muchas de las especies son nuevas para la ciencia.

IV. ASPECTOS ECOLOGICOS DEL AREA

A. La Cordillera Neovolcánica

En la franja del territorio mexicano comprendida entre los 18 y 22° Lat. N, se levanta un sistema montañoso, no del todo continuo denominado Eje Volcánico Transversal, Cordillera o Sierra Volcánica Transversal o Cordillera Neovolcánica. Incluye algunas de las promiencias más altas de México, que son de oeste a este (altitud en metros sobre el nivel del mar entre paréntesis), las siguientes: Volcán de Sangangüey (2,350) y Ceboruco (2,160), en el Estado de Nayarit; Volcán de Tequila (2,880), Volcán de Colima (3,960) y Nevado de Colima (4,330), en los Estados de Colima y Jalisco; Cerro Patambán (3,750), Volcán Parícutín (2,775) y Pico de Tancítaro (3,800), en el Estado de Michoacán; Nevado de Toluca (4,620) y Cerro de Zempoala (4,280), en el Estado de México; Cerro del Ajusco (3,590), en el Distrito Federal; Popocatepetl (5,452), Iztaccíhuatl (5,380) y Cerro Tlaloc (4,150), entre los estados de México y Puebla; La Malinche (4,460), Pico de Orizaba o Citlaltépetl (5,700) y Cofre de Perote o Naucampantépetl (4,200), en los Estados de Tlaxcala, Puebla y Veracruz (Fig. 1).

El comienzo del levantamiento de este sistema remonta al Eoceno, época en la que ya se constataban deformaciones de rocas cretácicas y subyacentes debidas a fuerzas de empuje, en una zona que corre paralela a la costa del Pacífico, desde el sur de Jalisco hasta Chiapas. Existe allí una gran falla de cabalgadura y continental aún activa cuyo trabajo de empuje parece ser el

responsable de la emergencia de fondos marinos, de su plegamiento y deformación y de contribuir a elevar las bases de los edificios volcánicos sobre los fracturamientos Clarión o Humboldt y San Andrés, con los que el sistema coincide (Fig. 1). Por otra parte, también en el Eoceno se formaron los plegamientos de la Sierra Madre Oriental, al este del llamado Geosinclinal Mexicano y cuyo empuje quizá haya contribuido a elevar el extremo sur del altiplano.

El levantamiento más importante de la Cordillera Neovolcánica debió haberse llevado a cabo con lentitud e irregularidad entre el Mioceno - Oligoceno y el Pleistoceno Superior. En general, dicho levantamiento contribuyó a elevar el nivel de la porción meridional de la Altiplanicie Mexicana y a formar varias cuencas endorréicas; debido a plegamientos coincidentes con la formación de la Depresión del Balsas, se transformó el sistema en uno de tipo disimétrico, constituido por una serie de macizos montañosos orientados generalmente de norte a sur entre los cuales se forman puertos, bajadas y valles intermontanos que desembocan en la Cuenca del Balsas y que tienen gran importancia biogeográfica. También es de interés biogeográfico el hecho de que la Cordillera Neovolcánica se conecte con la Sierra Madre Occidental, prolongación de las Montañas Rocosas y con la Sierra Madre Oriental a la latitud del Cofre de Perote.

En general, la Cordillera Neovolcánica ha sido considerada como una provincia biótica bien definida (Smith, 1940; Goldman & Moore, 1964) y frecuentemente en los trabajos de geografía de más

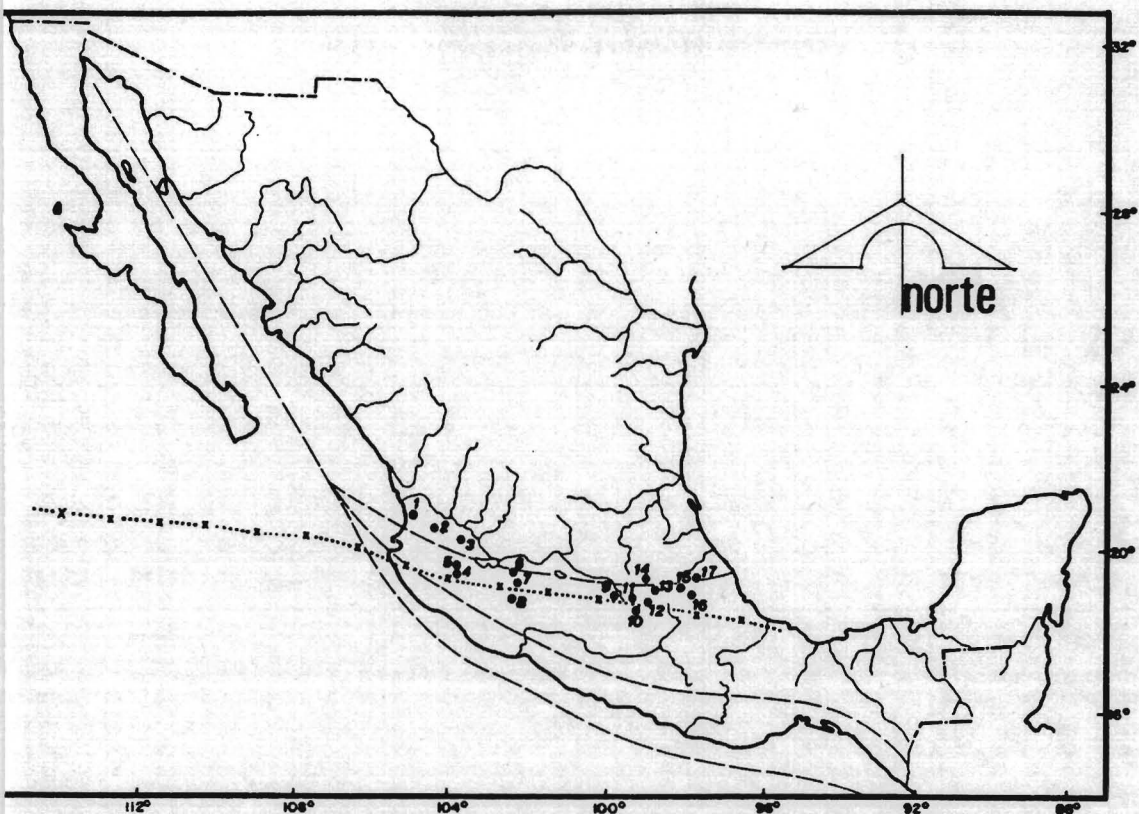


Fig. 1. Localización de las prominencias más altas de la Cordillera Neovolcánica y de la fractura Clarión (-X-) y San Andrés (— —), 1, Volcán de Sangangüey; 2, Ceboruco; 3, Volcán de Tequila; 4, Volcán de Colima; 5, Nevado de Colima; 6, Cerro de Patambán; 7, Volcán Parícutín; 8, Pico de Tancítaro; 9, Nevado de Toluca; 10, Cerro Zempoala; 11, Cerro del Ajusco; 12, Popocatépetl; 13, Iztaccíhuatl; 14, Cerro Tláloc; 15, La Malinche; 16, Pico de Orizaba o Citlaltépetl; 17, Cofre de Perote.

amplia difusión, se trata como una frontera o barrera de gran importancia. Al respecto, Tamayo (1953) coincide con otros en considerar a esta serranía como límite de Norteamérica y Centroamérica, así como el límite altimétrico, orográfico, climático, biótico y etnológico entre estas dos regiones. Para otros, dicho límite está en el Istmo de Tehuantepec.

B. Generalidades del área de estudio.

1. Datos de localización y geológicos.

El macizo Popocatepetl-Iztaccíhuatl, o Sierra Nevada constituye el parteaguas, de unos 90 km de longitud, que separa las cuencas de México y de Puebla; el Popocatepetl, forma parte del límite superior de la gran Depresión del Balsas.

El Popocatepetl, (cerro que humea o montaña humeante en Náhuatl), era bien conocido por los aztecas, que hablan de sus erupciones que tuvieron lugar en 1347 y 1354 aproximadamente. Es un estrato volcán situado en el límite de los Estados de Puebla, Morelos y México; es el más meridional de los grandes volcanes de la Sierra Nevada. Se encuentra al SE de la Ciudad de México, a los 19° 01' 17" de Lat. N y a los 98° 38' Long. W y es el único volcán activo entre los que rodean a la capital. Su cono casi perfecto se alza a los 4,200 m sobre la cuenca tropical de Morelos (Foto 1). Descansa al norte sobre la meseta central de México, cuya altitud media es de 2,200 m y sobre el flanco meridional de su vecino el Iztaccíhuatl, al que se une por medio de un amplio puente o paso, denominado de Cortés, que en su parte media alcanza 3,700 m de altitud (Barrera, 1968).

El cono actual se formó sobre una masa volcánica más antigua de unos 3,800 m de altitud. Cuando la erosión hubo acabado de destruir al Nexpayantla (de época miocénica a pliocénica), el volcán actual, aparecido a comienzos del Pleistoceno, mantuvo una constante actividad, tan intensa que a pesar de la alti-

tud, la glaciación comenzó hasta el Wisconsiniano (0.115 M.A.). Espesas capas de piedra pómez de fines del Pleistoceno muestran que las erupciones siguieron siendo violentas hasta la época "Prearcaica" de la arqueología mexicana.

Desde la Conquista hasta 1702 se sucedieron una decena de erupciones explosivas poco violentas, seguidas por un largo reposo. En 1920, el volcán volvió a despertar. Las explosiones gaseosas y los lanzamientos de cenizas y escorias continuaron durante una década. Los materiales volcánicos más recientes son andesitas con hiperstena, negras muy viscosas y muy diferentes de las andesitas con piroxena, grises y rojas del Nexpayantla.

2. Datos topográficos y edafológicos.

Como se mencionó anteriormente, el Popocatépetl es un volcán estratificado, lo que indica que hubo una actividad brusca al principio y espaciada después, demostrándolo los depósitos subsecuentes de material ígneo que abarcan una vasta zona e incluyen los abanicos volcánicos de Amecameca. Se extiende hasta tocar con las lavas de la Sierra del Chichinautzin al oeste, mientras que al norte, la zona está influenciada por lavas del Iztaaccíhuatl (Fig. 2).

El Volcán Popocatépetl tiene la forma de un cono, pero su simetría queda destruida por el Pico del Fraile, ligera protuberancia que sobresale del flanco noreste y es vestigio del Nexpayantla, que quedó sepultado bajo la alternancia de oleadas de lava que forman el cono actual y que son andesitas, dacitas, traquita y basalto acompañado de cenizas, lapillis y pómez, y capas de piroclastos.

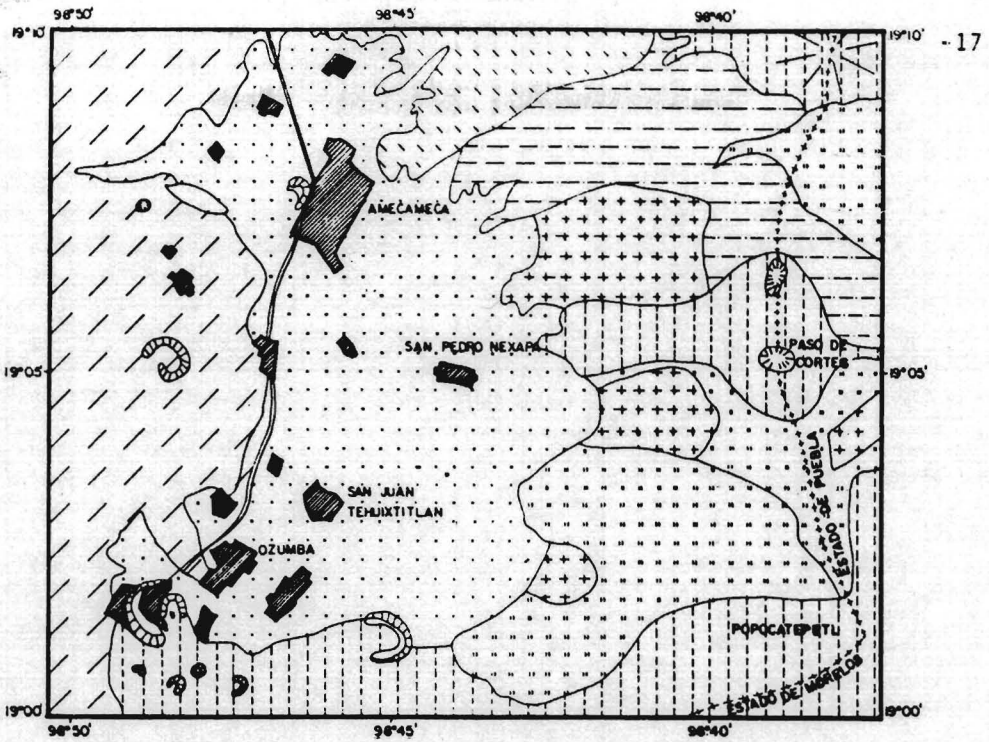
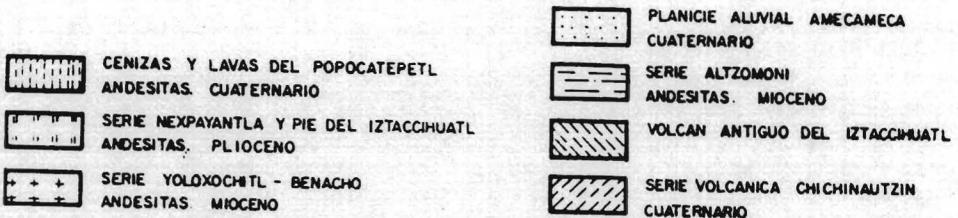


Fig. 2. Geología de la zona de estudio.



Las rocas del volcán con base en las distintas lavas hasta ahora reconocidas (Domínguez, 1975) son: a), basalto labradorítico; b), andesitas de hiperstena; c), traquita.

El suelo que se encuentra en el Volcán Popocatepetl corresponde al grupo de suelos denominados de cenizas volcánicas y de Ando, con material parental de roca basáltica, andesítica o riolítica y predominio de ceniza volcánica. Estos suelos pueden presentar perfiles AC, A(B)C o ABC, con profundidades que oscilan entre 50 cm hasta más de un metro y están bien drenados y aereados. La porosidad total es generalmente alta y muy uniforme en

todo el perfil.

El color de la capa orgánica es oscuro, de negro a café oscuro. La textura va desde moderadamente gruesa como arena migajosa, hasta moderadamente fina como migajón arcillo-limoso. El pH generalmente se encuentra en el rango de 5 a 7. Siguiendo el criterio de Buckman y Brady (1970: 36) su grado de acidez varía de débil o moderado a neutro.

El porcentaje de materia orgánica es alto en la parte superficial, debido a la baja temperatura que limita la acción microbiana y el tipo de vegetación que continuamente está aportando materiales al suelo.

Domínguez (1975) en su investigación: "Estudios ecológicos del Volcán Popocatépetl", proporciona los datos edafológicos de los 2,900 a los 4,020 m de altitud, donde concluye que los suelos están poco intemperizados por tratarse de un volcán joven con erupciones recientes y que el tiempo, la altitud, el clima y la vegetación entre otros factores, están influyendo en su madurez.

Los datos edafológicos son incluidos en la descripción de cada estación de colecta.

3. Hidrología.

Las cimas del Iztaccíhuatl y del Popocatépetl están cubiertas de hielos y nieves perpetuos cuyo límite en verano está entre 4,600 y 4,700 m de altitud; la del primero está ocupada por 12 pequeños glaciares y la del segundo por tres (Lorenzo,

1957).

Las faldas del macizo están surcadas por numerosas cañadas que se originan en el borde inferior de los glaciares. Los arroyos que las recorren en la vertiente occidental desembocan al norte de los 19°15' Lat. N a los canales de la antigua zona lacustre de Chalco; al sur de dicha latitud, con excepción de la cañada de Nexpayantla, todas las corrientes contribuyen a formar el río Cuautla, a su vez tributario del Balsas. En la vertiente oriental, las corrientes del norte del macizo, corresponden a la cuenca del río Atoyac; las australes a la del río Nexapa, pero en este caso los dos ríos son importantes tributarios del Balsas.

No obstante que en el Popocatepetl la precipitación pluvial es considerable y que existe el agua de los deshielos, las corrientes superficiales son débiles, debido a la gran permeabilidad de los suelos y a la gruesa capa de material pumftico que favorecen su rápida infiltración que posteriormente forma lechos subterráneos de aguas artesianas en los valles de México y Puebla (Domínguez, 1975).

4. Climatología.

En el macizo Popocatepetl-Iztaccíhuatl existen cinco estaciones meteorológicas. Algunos datos fueron proporcionados por el Servicio Metereológico Mexicano y otros fueron tomados de Barrera (1968) y Domínguez (1975), ya que la estación metereológica de Hueyatenco dejó de funcionar recientemente.

Las estaciones que nos parecieron más pertinentes por su cercanía a las estaciones de muestreo fueron: la de la Repetido-

ra de T.V. situada a los $19^{\circ} 06'$ Lat. N y $98^{\circ} 39'$ Long. W, a 3,650 m de altitud; la de Hueyatlatco, en la ladera occidental del Iztaccíhuatl, a los $19^{\circ} 10'$ Lat. N y $98^{\circ} 42'$ long. W a 3,557 m snm; la de San Pedro Nexapa, a los $19^{\circ} 05'$ Lat. N y $98^{\circ} 44'$ long. W, a una altitud de 2,625 m (Fig. 3).

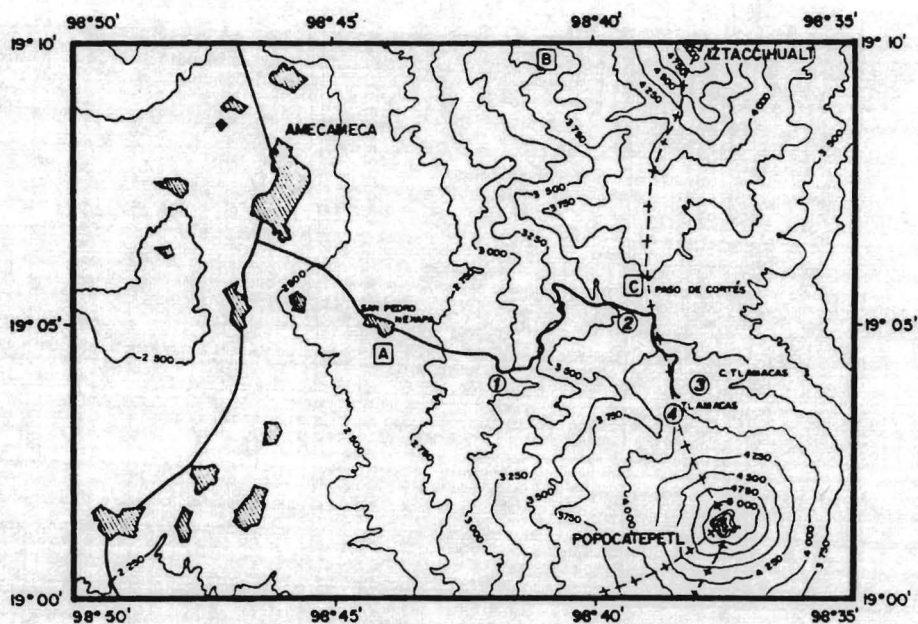


Fig. 3. Localización de las estaciones de muestreo en círculos y estaciones climatológicas en cuadros.

En las laderas austral y oriental no existen estaciones meteorológicas y como punto de comparación se cuenta con los datos de la estación de Cuautla, Mor., situada al sur en la Depresión del Balsas, a los $18^{\circ} 48'$ Lat. N y $98^{\circ} 57'$ long. W, a 1,291 m de altitud.

Los años de observación para algunas estaciones son pocos y los datos, sobre todo para la Repetidora de T.V., incompletos; a pesar de ello se hicieron los cálculos correspondientes para la obtención de la temperatura media mensual y anual, la precipitación media mensual y anual. Al comparar con los datos de otros autores, se encontraron algunas diferencias.

Temperatura.

En la estación de San Pedro Nexapa, como se observa en las gráficas ombrotérmicas tipo Bagnouls y Gausson (1953) que elaboramos, (Figs. 3,4 y 5), las temperaturas medias oscilan entre los 11.5°C en el mes más frío (diciembre) y 16°C en el más caliente (mayo); se encuentra cerca de la primera estación de muestreo.

La segunda estación de muestreo está aproximadamente a la altitud de Hueyatenco, por lo que la temperatura debe ser parecida (Fig. 6), con la media mensual mínima en enero (6.4°C) y la máxima en abril (9.2°C).

La estación de muestreo III está más cerca de la estación meteorológica de la Repetidora de T.V. (3,650 m); las temperaturas medias oscilan entre los 3.8°C en el mes más frío (febrero) y 6.4°C en el mes más caliente (marzo).

En la estación de muestreo IV, que corresponde a la pradera alpina, la temperatura media del mes más cálido es 6.5°C en mayo y la del más frío de -3 a -8°C en febrero.

Precipitación.

El régimen pluviométrico de la zona de estudio, está dis-

OMBROTERMICA SAN PEDRO NEXAPA, MEX.

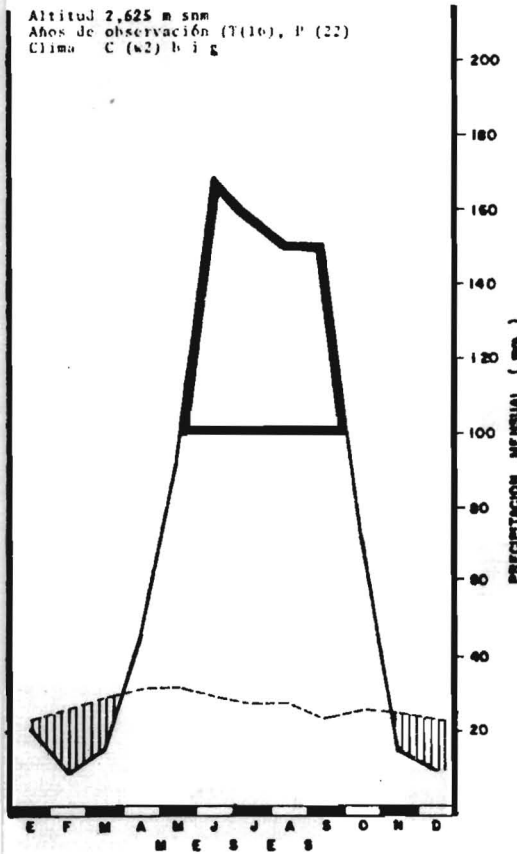


Figura 4.

OMBROTERMICA (p = 2t + 28)
SAN PEDRO NEXAPA, MEX.

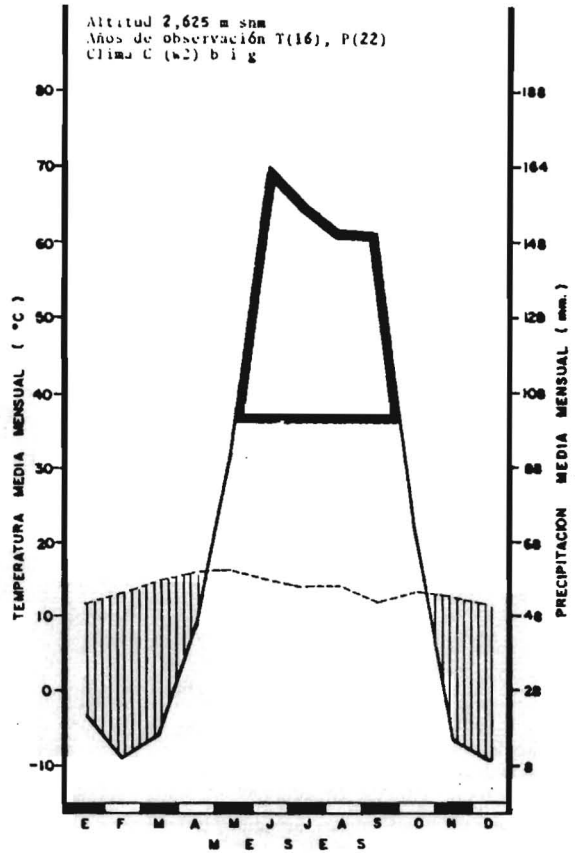


Figura 5.

tribuido en dos temporadas claramente definidas, una de lluvia de mayo a octubre y otra de sequía de noviembre a abril.

La precipitación media anual varía, siendo mucho mayor en la estación de Hueyetlaco (Fig. 6). a pesar de estar a una altitud intermedia entre la de la Repetidora de T.V. y la de San Pedro Nexapa. En Cuautla (Fig. 8) es menor que en cualquiera de

**OMBROTÉRMICA (p=21+28)
ESTACION DE HUEYATLACO**

Altitud 3,557 m snm
Años de observación 19
Clima C (w") (w) b i g

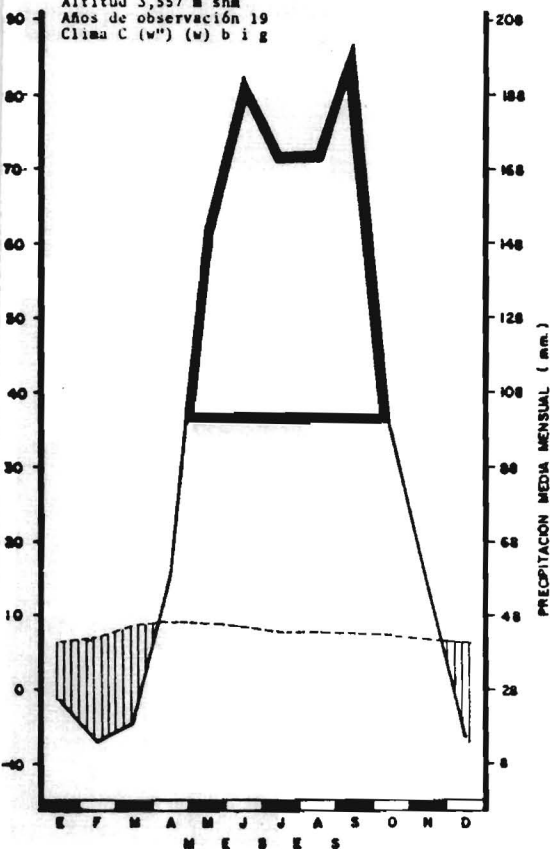


Fig. 6

**OMBROTÉRMICA (p=21+28)
ESTACION REPETIDORA DE T.V. MEX.**

Altitud 3,650 m snm
Años de observación T(10) P(19)
Clima E (T) II C (w"2) (w) g

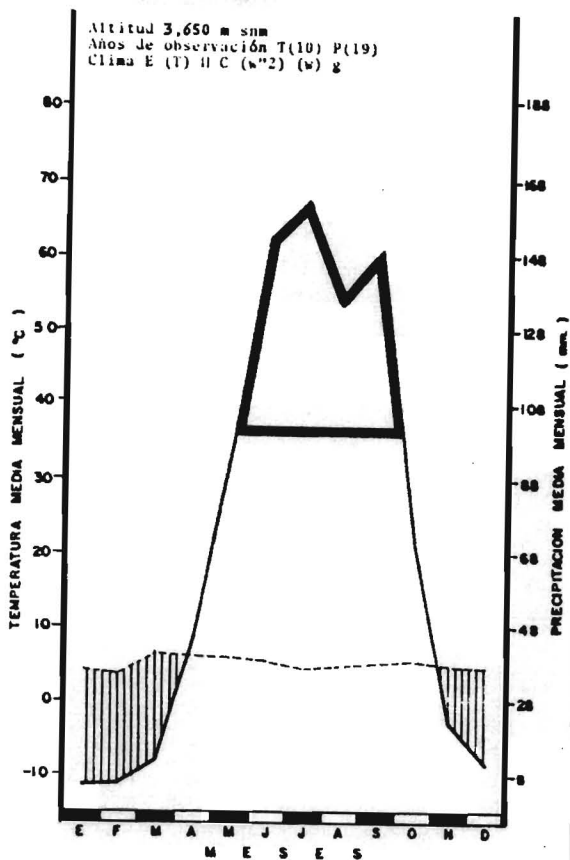


Fig. 7

las otras estaciones, debido principalmente a otros factores como la exposición y el relieve.

Como el factor climático que más afecta a la fauna edáfica es la humedad, se trató de observar el comportamiento de la precipitación en 1982, pero sólo se pudo realizar para la

OMBROTERMICA (p= 21+ 28)
ESTACION CUAUTLA, MOR.

Altitud 1,291 m snm
Años de observación 10
Clima A w o (k) (i ') g

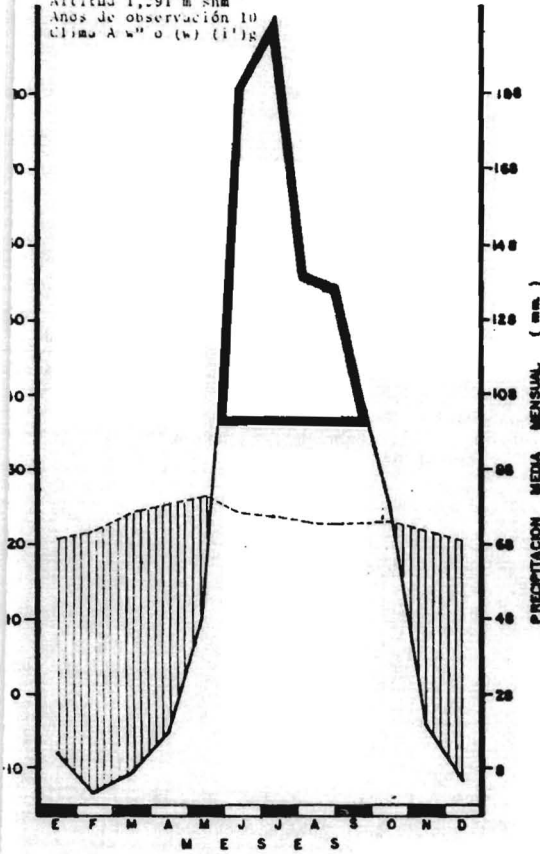


Fig. 8

OMBROTERMICA SAN PEDRO NEXAPA, MEX.
1982

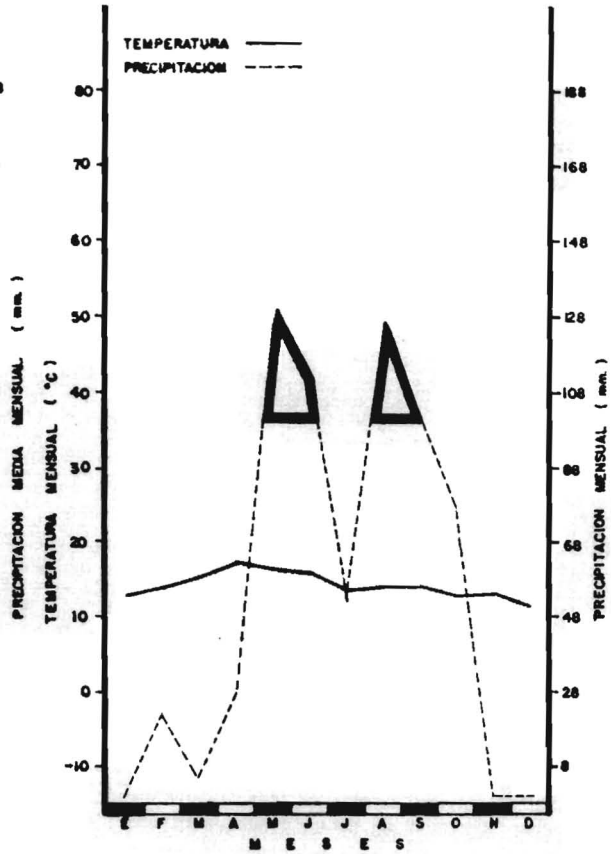


Fig. 9

estación de San Pedro Nexapa (Fig. 9). En esta gráfica, se observa que en 1982 hubo dos picos de máxima precipitación, el primero en mayo y el segundo en agosto. Esto nos hizo pensar que la precipitación tuvo un comportamiento algo diferente mientras se realizó la investigación por lo que se analizó de 1961 a 1982 (Fig. 10)

Relación temperatura-precipitación.

En la gráfica ombrotérmica que elaboramos de la estación climatológica de San Pedro Nexapa (Fig. 4) se observa que hay un déficit de lluvia en los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre. Al trazar dicha gráfica de acuerdo a la escala de precipitación $p = 2t+28$ (Fig. 5) propuesta por García et al. (1982) para los lugares de la República con régimen de lluvias en verano, se obtiene que el mes de abril también tiene un déficit de lluvia como lo registrado en particular para el año de 1982 (Fig. 9).

Al hacer el mismo tipo de gráfica para la estación meteorológica de la Repetidora de T.V. (Fig. 7), se obtiene que el déficit de lluvias es en los meses de enero a abril, noviembre y diciembre. En cambio para la estación de Hueyetlaco, Méx. (Fig. 6) se nota una gran diferencia con las otras dos estaciones meteorológicas, ya que el déficit de lluvias es sólo para los meses de enero a marzo y diciembre, por estar en la vertiente occidental del Iztaccíhuatl (las coordenadas señaladas por varios autores, no corresponden a la verdadera ubicación de dicha estación y deben ser las señaladas en la Fig. 6).

Haciendo lo mismo para Cuautla (Fig. 8) que está al sur del Popocatepetl, dentro de la Depresión del Balsas, se observa que el déficit de lluvias abarca de enero a mayo, noviembre y diciembre (tanto para los 10 últimos años como para los 22 usados por García, 1964). Esto tiene gran importancia desde el pun

to de vista comparativo con implicaciones trascendentales sobre la distribución geográfica de la fauna y flora de esta parte de la Cordillera Neovolcánica ya que el agua es uno de los factores más importantes para las plantas y los artrópodos edáficos y su déficit durante siete meses en la Depresión del Balsas hace que esta zona sea una verdadera barrera biogeográfica para su dispersión hacia el sur del citado eje volcánico.

Solamente se pudo contar con los datos recientes de la estación de San Pedro Nexapa; al analizar el comportamiento de la precipitación se nota que estadísticamente el año de 1982 fue seco, casi muy seco, respecto a la normal de 22 años (Fig. 10).

SAN PEDRO NEXAPA, MEX.
VARIACION DE LA PRECIPITACION ANUAL
de 1961 a 1982

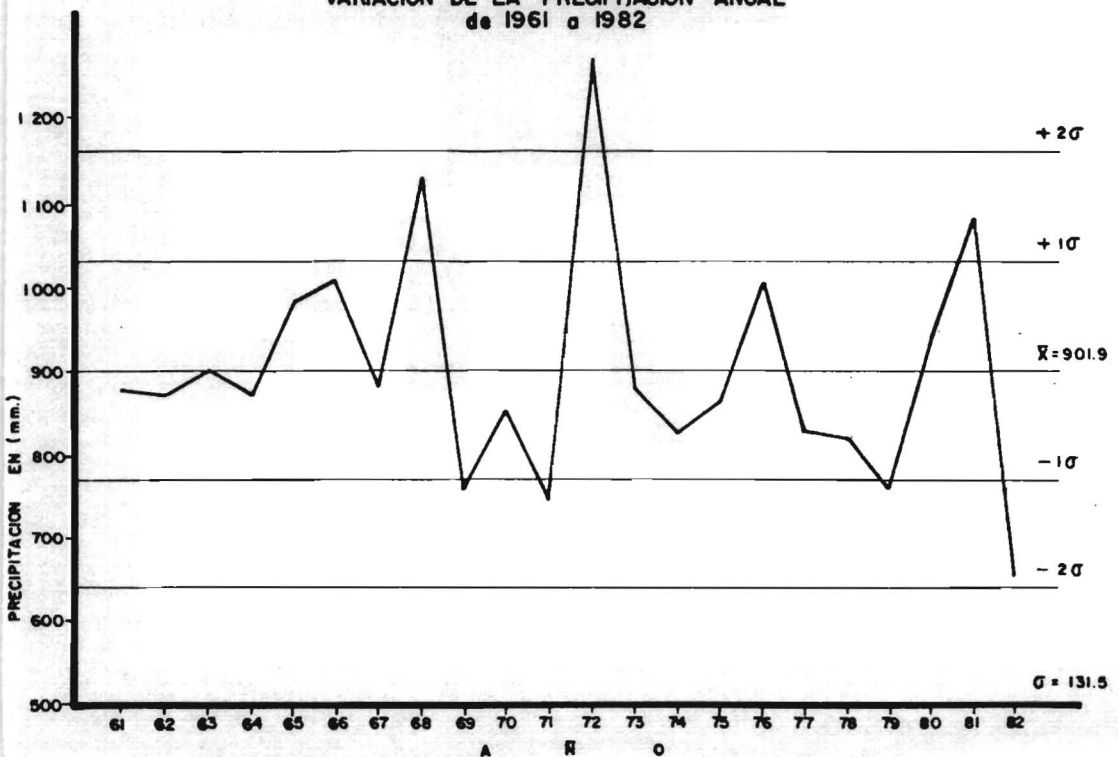


Fig. 10. Comportamiento de la precipitación en 21 años en San Pedro Nexapa, México

Clasificación climática

La clasificación climática de la zona estudiada y las zonas aledañas fue tomada de la Carta Climatológica Veracruz 14Q-VI del CETENAL (Fig. 11) usando las modificaciones al sistema de Köepen por García (1973).

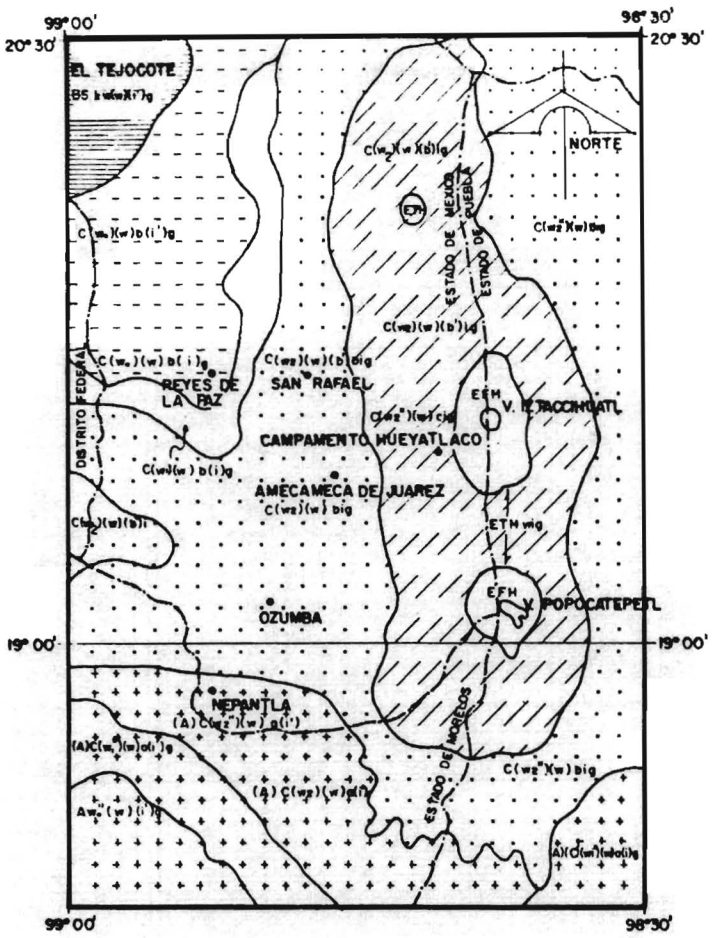
Las estaciones de muestreo quedan comprendidas en el grupo de los climas templados fríos y templados propiamente dichos, con algunas variantes.

La región más fría o polar, se encuentra por arriba de los 4,500 m, donde la temperatura media anual es menor de -2°C y la del mes más caliente menor de 0°C ; ésta se señala en la Figura 11 como EFH. Es aquí donde se encuentran los glaciares y no se realizó ningún muestreo o colecta.

Circundando a la zona anterior, de los 3,950 a 4,500 m snm aproximadamente, hay un clima ETH, que pertenece al mismo tipo de los climas fríos, con temperaturas que oscilan entre -2°C y 5°C . En su límite inferior se encuentra la estación IV de muestreo.

La zona comprendida entre los 3,950 m y los 3,700 m aproximadamente tiene un clima frío ETH wig, isoterma con lluvias en verano y marcha de temperatura tipo Ganges.

El piso vegetacional de Pinus hartwegii, desde los 3,400 m hasta cerca de los 4,000 m, tiene un clima E (T) HC (w''_2) (w)g, que es frío, con temperatura del mes más frío sobre 0°C y la del mes más caliente entre 0° y 6.5°C , de altura, subhúme



ESC. 1: 500 000








-  E T H CLIMA FRIO O POLAR
-  E F H CLIMA MUY FRIO DE GRANDES ALTITUDES
-  C (w₀) (w) big
-  C (w) (w) big
-  C (w₂) (w) (b) i'g
-  BSKW (w) (i') CLIMAS SECO TEMPLADO CON VERANO FRESCO CON LLUVIAS EN VERANO.
-  (A) C (w^{''}) (w) a (i') g CLIMA SEMICALIDO CON LLUVIAS DE VERANO, ISOTERMAL TIPO GANGES.

Fig. 11. Climas de la Sierra Nevada y zonas aledañas.

do. con régimen de lluvias de verano, el más húmedo de los subhúmedos, con menos del 5% de precipitación invernal, con canícula, isotermal y la marcha de la temperatura tipo Ganges.

El resto de la zona de estudio, hasta los 2,900 m snm presenta un C(w₂)big que es templado subhúmedo, entre 5 y 10.2 de porcentaje de precipitación invernal respecto a la total anual. Tiene verano fresco largo (temperatura del mes más caliente, bajo 22°C), isotermal, marcha de la temperatura tipo Ganges. El número de días despejados en toda la Cordillera Neovolcánica es mayor a los 150 al año y el porcentaje de insolación es muy alto.

5. Vegetación y afinidades florísticas.

a) Tipos de vegetación.

La sucesión climática determina, con gran precisión, una cliserie altitudinal en el Macizo Popocatepetl-Iztaccíhuatl que, aunque modificada por condiciones locales, se puede resumir siguiendo a Miranda (1947).

- i) Piso de bosque tropoxerofítico. Tiene su máximo desarrollo en el extremo sur de la vertiente oriental, donde alcanza altitudes que en la occidental corresponden al bosque caducifolio o al encinar.
- ii) Piso de bosque caducifolio. El fondo de la cuenca de México de los 2,240 a los 2,300 m de altitud es la región más seriamente modificada por la acción humana. La denominación del piso es meramente teórica y basada en datos históricos y algunos relictos de zonas menos perturbadas (Barrera, 1968). Su vegetación debe haber estado compues-

ta por Populus, Salix, Fraxinus, Buddleia y Prunus.

iii) Piso de encinar y de bosque alto de escuamifolios. De los 2,300 a los 2,700 m de altitud, la vegetación está constituida principalmente por encinares y también, hacia el sur de la vertiente occidental, por bosques de Cupressus benthamii var. lindleyi.

iv) Piso de Pinus montezumae y Abies religiosa. De los 2,800 a los 3,300 - 3,400 m de altitud está Pinus montezumae o Abies religiosa; rara vez se entremezclan. El abeto tiende a ocupar las cañadas protegidas y húmedas, mientras que el pino forma bosques en los lomos y espacios abiertos entre las cañadas.

La cobertura inferior del pino a esta altitud es frecuentemente un zacatal de Festuca amplissima, Muhlenbergia macroura, Stipa ichu, una o dos especies de Lupinus.

v) Piso de Pinus hartwegii. Este piso forestal va de los 3,400-3700 m hasta los 3,800 - 4,000 m de altitud. Por debajo de los 3,700 puede mezclarse con P. montezumae, Alnus firmifolia y Abies religiosa; pero de esta altitud en adelante forma masas puras cuyo límite más alto es el vegetal arbóreo. Por encima de esta especie puede encontrarse Juniperus monticola compacta formando matorrales.

El estrato inferior del "Pinetum hartwegii" es un zacatal de Festuca toluensis, pero en algunos claros, como en el Paso de Cortés, es sustituido por Muhlenbergia quadridentata, formando una pradera subalpina sui generis (Beaman, 1962).

vi) Pradera alpina. De los 3,800 - 4,000 m a los 4,300 las gramíneas crecen en amplios macollos e imparten una fisonomía particular a esta comunidad vegetal, que se ha denominado "zacatonal" o "páramo de altura" puesto que presenta similitud con la vegetación de la alta montaña de los Andes, donde recibe el nombre de "páramo".

Según Rzedowski (1978), es un zacatonal que representa un climax climático y se desarrolla solamente por arriba de la cota de los 4,000 m en el Pico de Orizaba y la vecina Sierra Negra, el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl, la Malinche, el Nevado de Toluca, el Nevado de Colima, el Tacaná, Cofre de Perote, Taníctaro, Ajusco y Tláloc, por lo que su área total es bastante reducida, pero es un biotopo único en su género.

Barrera (1968) señala que los elementos de la pradera alpina (con excepción de los dominantes como Gnaphalium vulcanicum y Draba jorullensis) se estratifican a su vez formando dos subpisos, uno inferior, de los 3,800 - 4,000 a los 4,100 m de altitud, constituido por una asociación de Calamagrostis toluensis y Festuca toluensis, donde es frecuente Lupinus spp. y otra que alcanza los 4,300 m de altitud y que es una asociación de Festuca livida y Arenaria bryoides.

Aquí la oscilación diurna es suficientemente amplia para que se presenten heladas en todos los meses del año y hay ocasional e intermitentemente nevadas en el invierno.

vii) Tundra de montaña. La tundra de montaña es en general más rica en el Iztaccíhuatl que en el Popocatepetl. De

los 4,300 m al límite de las nieves perpetuas (4,800 - 5,000 m snm) solamente se encuentran herbáceas, siendo más frecuentes las gramíneas Festuca y Calamagrostis en los lugares secos y especies de Carex en los más húmedos. Información detallada se encuentra en Beaman (1965) y en Cruz (1969).

En los pisos vegetacionales altos de Pinus hartwegii y en la pradera alpina, las pteridofitas están representadas por especies de Asplenium y Polypodium, que se encuentran solamente en lugares sombreados protegidos por rocas y ocasionalmente como epífitas en ramas de árboles. Los líquenes se encuentran ampliamente representados al igual que los musgos, entre los que destacan especies de Aongstroemia, Bartramia, Bryum, Grimmia, Leptodontium, Mielichhoferia, Pohlia, Racomitrium y Tortula.

Según Guzmán (1977), en las zonas alpinas y subalpinas los hongos son escasos debido a la poca humedad y baja temperatura. Las especies típicas son: Stropharia follaciosa, Panaeolus semiovatus, Laccaria e Inocybe, Anellaria y Conocybe.

b) Afinidades filogenéticas.

La flora alpina de México ha sido dividida en cuatro elementos, el boreal, el endémico, el meridional derivado de flora de los trópicos y el andino.

Al respecto Rzedowski (1975) dice que el elemento endémico que constituye casi 3/4 partes de las especies, no exis-

te a nivel de género, lo que quizás puede interpretarse como una expresión extrema de la desproporción para la flora de las zonas con clima templado y frío en general. Destaca la cantidad relativamente importante (17.5%) de especies comunes con Sudamérica, mientras que a nivel de género las afinidades helárticas (16.5%) son superiores a las neotropicales (11.8%).

El piso de Quercus y bosque alto de escuamifolios de la ladera occidental del Popocatepetl tiene ciertas afinidades boreales (Barrera, *op. cit.*), pero existen en él muchos elementos autóctonos y andinos.

El bosque mesófilo de montaña, intercalado en el piso de Quercus de las laderas austral y oriental del Popocatepetl y que se desarrolla exclusivamente en las barrancas más húmedas; se caracteriza por el predominio de elementos tropicales de montaña (sabiáceas, estiracáceas, araliáceas, simplocáceas, celastráceas, papaveráceas, onagráceas, etc.) entremezclados con algunos boreales como Prunus, Garrya, Clethra, Ilex y Morus y con otros también de claras afinidades boreales como Alnus, Fraxinus, Carpinus, etc., que se consideran como relictos de la flora arctoterciaria y que plantean por su distribución discontinua, un interesante problema fitogeográfico. Esta mezcla de elementos boreales y neotropicales debe ser el resultado de los desplazamientos del frente polar durante las glaciaciones del Pleistoceno.

Delgadillo (1971, 1979) encontró que la flora de musgos alpinos de México puede dividirse en cinco elementos geo-

gráficos: el boreal, el mesoamericano, el de amplia distribución, el meridional y el endémico. El grupo más abundante en el Popocatepetl es el elemento mesoamericano, que incluye especies con un área de distribución desde México hasta el norte de Sudamérica.

V MATERIALES Y METODO

A. Diseño del programa de muestreo

Para determinar tanto las estaciones de colecta como los biotopos, se hicieron varios recorridos en la zona de trabajo tomando como referencia básica el trabajo de Domínguez (1975), quien realizó un estudio edafológico detallado.

Las estaciones se eligieron con base en las asociaciones vegetacionales y la altitud, siguiendo el camino de Amecameca a Tlamacas (Fig. 3). Después del poblado de San Pedro Nexapa, en el km 10, a 3,000 m snm se estableció la primera estación de muestreo. Los biotopos seleccionados fueron la hojarasca y el suelo de una zona reforestada con Pinus sp. (Fotos 2 y 3) que se encuentra contaminada por desechos y basura de los visitantes del Popocatepetl. En este bosque, los pinos son pequeños, con una altura de unos 10 m. Más adelante, siguiendo un camino de terracería, existe un bosque de Cupressus lindleyi (Foto 4), de sus ramas y troncos se tomaron los musgos, al igual que los que crecen en el talud abierto por el camino (Foto 5). En total se escogieron cuatro biotopos.

La segunda estación se estableció en el km 21.5 a los 3,600 m snm, donde existe un bosque de Pinus hartwegii, de más de 15 m de altura (Foto 6). Aquí los biotopos elegidos fueron, la hojarasca que se acumula entre los zacatonales que se desarrollan al pie de los pinos (Foto 7), el suelo inmediatamente por debajo de ella y los líquenes que crecen en las ramas de estos árboles.

La tercera se situó en el límite de la vegetación arbórea, cerca de la Repetidora de T.V., a unos 3,900 m snm, donde también predominan, aunque de menor talla, ejemplares de Pinus hartwegii (Foto 8). Se trabajó con los mismo biotopos que en la anterior (Foto 9).

La cuarta y última estación se estableció a poco más de los 4,000 m snm, en los arenales del Popocatepetl, en la zona alpina (Fotos 10 y 11). En esta estación no hay formas arbóreas y arbustivas, no existe acumulación de hojarasca y el poco suelo que se llega a formar junto a las plantas herbáceas con los vientos, se pierde. Aquí los únicos biotopos que se seleccionaron para su estudio fueron los cojinetes de Arenaria bryoides (Caryophyllaceae) (Foto 12) y los musgos que ocasionalmente crecen entre la especie anterior y más comunmente entre las plantas herbáceas. (Foto 13).

Antes de comenzar el estudio cuantitativo, se tomaron muestras preliminares de todos los biotopos en cada estación. Estas fueron de gran tamaño y su finalidad fue la obtención de muchos ejemplares de cada especie de microartrópodos, para poder determinar o describir, según el caso, las más abundantes y que se pudieran utilizar como indicadores de aspectos ecológicos. Algunas publicaciones al respecto aparecieron ya y se citan en la sección de antecedentes.

B. Trabajo de campo

Se realizaron cuatro excursiones preliminares de recolecta entre el 22 de agosto de 1981 y el 2 de enero de 1982. En este

período se tomaron un total de 45 muestras de distintos tamaños de los diversos biotopos seleccionados.

La recolección sistemática de muestras para el estudio cuantitativo se efectuó mensualmente entre las 11:00 y las 15:00 horas, comenzando el 29 de enero de 1982 y terminando el 4 de marzo de 1983, excepto en septiembre.

Se procuró realizar el muestreo al principio de cada mes, tomando tres muestras de cada biotopo en todas las estaciones, haciendo un total de 36 muestras mensuales. Excepto en la última excursión, en la que no se pudieron tomar las de la estación IV.

El total de excursiones para el análisis cuantitativo fue de 13, durante las cuales se obtuvo un total de 462 muestras. De ellas, 117 fueron de hojarasca, 117 de suelo, 36 de Arenaria bryoides, 78 de líquenes y 114 de musgos.

El tamaño de las muestras fue variable, debido al tipo de sustrato. Se intentó tomarlas de 5 X 5 X 5 cm, pero en la hojarasca con frecuencia se encontraban ramas o conos de los pinos que dificultaban obtenerlas homogéneas e iguales. En el caso del suelo, las pequeñas piedras y la textura del mismo interferían en su adecuado manejo. En suma, debido a las dificultades de manejo, se decidió no darle importancia al tamaño de las muestras, de acuerdo con Ponge(1980).

Los líquenes se tomaron de las ramas que están a 2-3 m de altura en la estación III, mientras que en la II, la altura casi siempre fue superior a los 4 m, debido al tamaño de los árboles. Los musgos epífitos de la primera estación casi siempre se toma-

ron a una altura de 2 m sobre los árboles. Cabe señalar que las muestras de líquenes epífitos de las estaciones II y III en ocasiones estaban entremezcladas con algunos musgos (principalmente Leptodontium viticulosoides y rara vez Didymodon sp.) y que al desprenderlos de las ramas conservaban algo de corteza.

Los datos que se tomaron durante las colectas incluyen: número progresivo de muestra según la bitácora del autor, fecha, estación de muestreo, biotopo y algunas observaciones. Para las estaciones se usaron los números romanos del I al IV respectivamente de los 3,000 a los 4,000 m de altitud (Fig. 3). Para los biotopos se utilizaron letras A, hojarasca; B, suelo; C, musgos o líquenes epífitos; D, musgo sobre suelo o arena y E, cojinetes de Arenaria bryoides.

Las muestras eran colocadas en bolsas de plástico con sus datos de colecta y llevadas al laboratorio donde se comenzaban a procesar el mismo día.

C. Descripción de las estaciones y biotopos muestreados

Debido a que el tipo de suelo puede actuar como un factor limitante, ya sea por la cantidad de poros o espacio vital donde pululan los microartrópodos o por sus propiedades físico-químicas, hay que señalar sus características principales (Fig. 12).

Para el Popocatepetl se cuenta con los datos de Domínguez (1975) y nuestras estaciones de muestreo corresponden aproximadamente con algunos de los sitios que ella estudió.

| ESTACION DE MUESTREO | COLOR EN SECO | | COLOR EN HUMEDO | | % | % | % | CLASIFICACION | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------|----|-------|-----------------|---------|---------------|------|------|
| | | | | | ARENA | LIMO | ARCILLA | TEXTURAL | D.A. | D.R. |
| I | 10 YR 3/2 café grisáceo oscuro | 10 YR 3/1 café muy oscuro | 66 | 28 | 6 | Migajón arenoso | 1.14 | 2.3 | | |
| II | 10 YR 4/2 café oscuro parduzco | 10 YR 2/1 negro | 74 | 24 | 2 | Arena migajosa | 1.02 | 2.08 | | |
| III | 10 YR 4/1 gris oscuro | 10 YR 3/1 gris muy oscuro | 90 | 7 | 3 | Arenoso | 0.84 | 2.24 | | |
| IV | 10 YR 4/1 gris oscuro | 10 YR 3/1 gris muy oscuro | 84 | 14 | 2 | Arena Migajosa | 1.51 | 2.81 | | |

| ESTAC. DE MUESTREO | pH | Rel. 1:2.5 H ₂ O | M.O. % | C.I.C.T. me/100 gr. | N.F. % | Rel. C/N | CALCIO me/100 g | MAGNESIO me/100 g | ALOFANO |
|-----------------------|-----|--------------------------------|-----------|------------------------|-----------|----------|--------------------|----------------------|---------|
| I | 5.9 | 4.7 | 8.34 | 10.5 | 0.249 | 19.41 | 0.029 | 0.150 | X |
| II | 6.0 | 4.7 | 6.7 | 15.2 | 0.210 | 18.56 | 0.079 | 0.021 | XXXX |
| III | 5.0 | 4.0 | 10.47 | 13.2 | 0.288 | 21.5 | 0.033 | 0.066 | - - |
| IV | 6.0 | 5.1 | 0.27 | 3.3 | 0.021 | 7.45 | 0.008 | 0.094 | XXX |

Fig. 12. Características físico-químicas de los suelos del Popocatepetl (datos del primer nivel de perfil edáfico, tomado de Domínguez, 1975).

Estación I. Altitud ca. 3,000 m.

Se encuentra en el km 10 de la carretera de Amecameca a Tlamacas (Fig. 3), al sur de una antigua caseta forestal, en un camino de terracería. Aquí existe un pequeño bosque reforestado con Pinus sp. (Foto 2) el estrato herbáceo no está bien representado. La hojarasca (Foto 3) está formada por hojas de pino poco descompuestas y forman una capa homogénea de poco espesor. Hay poca insolación gracias a la sombra que proporcionan los abundantes pinos. El peso seco de las muestras de hojarasca (biotopo A) varió entre 75 y 151 gr.

El suelo de la capa superior es de color café grisáceo oscuro, con textura de migajón arenoso, un pH débilmente ácido de 6.00 y un contenido de materia orgánica aproximadamente de 8.2%. Las muestras de este biotopo (B) variaron de 176 a 394 gr.

Unos 30 m adelante en este mismo camino de terracería se encuentra un bosque de Cupressus lindleyi (Foto 4), cuyo suelo tiene un pronunciado declive, que no permite la acumulación de la hojarasca. En el estrato herbáceo hay Senecio sp., Dahlia sp., Salvia sp. y otras especies. Sobre las ramas de los árboles crecen musgos (biotopo C) principalmente de la especie Leucodon cryptotheca, formando gruesos cojinetes laxos, que acumulan algo de suelo sobre la corteza de las ramas, donde ocasionalmente crecen helechos de la familia Polypodiaceae. El peso seco de los musgos recolectados varió de 40 a 66 gr por muestras. Estos musgos epífitos tienen poca insolación debido a la sombra de los cipreses.

En el talud abierto por el camino de terracería con exposición al oeste, crecen musgos (biotopo D) del género Didymodon, que son cortos, de 1 a 2 cm de altura y que por no existir cobertura arbórea están completamente expuestos a la insolación (Foto 5). Las muestras de estos musgos eran de mayor peso (130-272 gr) que las anteriores debido a que siempre contenían la capa del suelo (1-2.5 cm) en que crecían.

Estación II. Altitud 3,600 m.

Se encuentra en el km 21.5 de la carretera, cerca de una caseta forestal. Es un bosque con dominancia de Pinus hartwegii

de más de 15 m de altura (Foto 6). El sustrato herbáceo está representado principalmente por zacatonales de Festuca amplissima (Foto 7). Existe poco declive, pero la hojarasca se acumula homogéneamente en densas capas, formada por hojas de pino, zacate y pequeñas ramas de los árboles. Las muestras variaron de 77 a 100 g. El suelo presenta encima una capa de humus negro, su color oscuro parduzco negro, con textura de arena migajosa y un pH débil, de 6.0 y un contenido de materia orgánica de 6.7%. Las muestras fueron de 132 a 248 gr.

En las ramas de los árboles, que están a más de 3 m de altura sobre el suelo, crecen abundantes líquenes principalmente Pseudovernia intensa y Usnea subfloridana y con menos abundancia, musgos. La insolación es regular, debido a lo espaciado de los árboles. Las muestras de líquenes variaron de 50 a 75 g.

Estación III. Altitud ca. 3,900 m.

Se encuentra al E del albergue de Tlamacas, rumbo hacia la antena de la Repetidora de T.V. (Foto 8). Es el límite de vegetación arbórea, con un bosque de Pinus hartwegii, de baja talla y cuyas ramas se encuentran muy deformadas debido a la acción de los fuertes vientos. En el estrato herbáceo existen Calamagrostis toluensis, Festuca amplissima y F. toluensis entre otras especies. Debido al pronunciado declive del suelo, la hojarasca se reparte muy irregularmente, en capas gruesas o delgadas e incluso hay lugares con suelo desnudo. Esta hojarasca está formada por hojas y una gran cantidad de pequeñas ramas rotas y conos de los pinos. Existe mucha insolación. Las muestras siempre se tomaron al pie de los árboles y pesaron de

74 a 132 gr.

El suelo tiene color gris oscuro, textura arenosa, un pH moderadamente ácido (5.0) y el contenido de materia orgánica es de 10.4%. Las muestras pesaron de 142 a 342 g.

En los troncos y ramas de estos pinos crecen abundantemente ejemplares de líquenes fructicosos pendulares (Foto 9) como Pseudovernia intensa, Usnea subfloridana y otros, además de musgos como Leptodontium viticulosoides. Las muestras de líquenes variaron de 40 a 70 gr.

Estación IV. Altitud 4,000 m.

Se localiza después del albergue de Tlamacas, rumbo hacia el Pico del Fraile. Es una pradera alpina con zacatonal de Festuca hephaestophila y Calamagrostis toluensis (Foto 10). La insolación es muy alta y las plantas crecen en macollos o bien las plantas musciformes se desarrollan en manchones sobre la arena. En el invierno se cubre de una capa de nieve que varía en espesor y duración (Foto 11). Debido a la carencia de vegetación arbórea sólo se muestrearon musgos (biotopo D) y cojinetes de Arenaria bryoides (biotopo E).

El suelo que analizó Domínguez (op. cit) es de color gris oscuro con textura arenosa migajosa, pH débilmente ácido (6.0) y muy poca materia orgánica (0.27%).

Los musgos crecen por lo general a las orillas de los macollos y pueden ser cortos o largos y la cantidad de arena que pueden contener es muy variable, así que las muestras pesaron

entre 118 y 235 gr. Los ejemplares pertenecen principalmente a Bartramia sp., Bryum sp., Tortula andicola y Leptodontium spp. (Foto 12).

Los cojinetes de Arenaria bryoides (Foto 13) tienen una parte expuesta de 1 a 2 cm de espesor, pero la parte enterrada, con la raíz incluida puede medir más de 3 cm y las muestras pesaron de 157 a 338 gr debido a la cantidad de arena que contenían.

D. Procedimiento en el laboratorio.

Cada una de las muestras era colocada en un embudo de plástico de 10 cm de diámetro (método de Berlese-Tullgren). La malla utilizada en ellos tenía una abertura de aproximadamente 2 mm, ya que la finalidad era la obtención de los microartrópodos; además, las muestras de suelo tenían una textura arenosa y el uso de una abertura mayor ocasionaría el paso del mismo hacia el frasco colector, dificultando la observación y separación de los ejemplares extraídos.

Las muestras se dejaron secar en los embudos durante diez días a temperatura de laboratorio, sin utilizar ninguna fuente de calor, para dar oportunidad a las formas juveniles de bajar al frasco recolector (Najt, com. pers.). En dichos frascos recolectados, que eran tubos claros de fondo plano, se utilizó alcohol de 95% (Mari-Mutt, com. pers.) en el cual los colémbolos no flotan, o en caso de que lo hagan, agitando fuertemente el tubo se disuelve la cera que los cubre y descienden. El inconveniente para los ácaros es que se endurecen; sin embargo,

estos pueden reblandecerse y aclararse en lactofenol, en el caso de los oribátidos con frecuencia es necesario disecarlos.

Después de los 10 días, las muestras se retiraron de los embudos y se colocaron nuevamente en bolsas de plástico, con su número correlativo, se pesaron y los vegetales se determinaron.

Una vez obtenidos los ejemplares de microartrópodos, se procedió a separarlos en alcohol al 75%, contarlos y determinarlos, algunos hasta especie, bajo el microscopio de disección. Pero para poder identificar los otros taxa, sobre todo los ácaros y colémbolos, fue necesario hacer preparaciones temporales y permanentes.

Para los colémbolos se utilizó la siguiente técnica: Los ejemplares se ponen en KOH al 5% en frío, durante unos 60 segundos aproximadamente; se hierven en lactofenol (50% de ácido láctico y 50% de ácido fénico) durante el tiempo necesario hasta que se aclaren. Finalmente se montan entre porta y cubreobjetos, utilizando líquido de Hoyer.

A los ácaros oribátidos por lo general se les aclaró durante 24 horas o más en ácido láctico a 50°C, después se les disecó y montó.

E. Trabajo de gabinete.

1. Material botánico.

Los musgos fueron determinados en forma preliminar por el Dr. Claudio Delgadillo, del Instituto de Biología de la UNAM. Cada muestra se separó en dos partes; una con todos sus datos fue depositada en el Instituto de Biolo-

gía y la otra en el Herbario de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Con frecuencia las muestras contenían dos especies de musgos, por lo que el total de ejemplares identificados ascendió a 124, de 24 distintos taxa. Entre estos, Didymodon sp. 1, representa el 25%, Leptodontium sp. el 15%, Leucodon cryptotheca el 14%, Neckera chlorocaulis el 12% y los demás tienen un porcentaje muy bajo.

Todos los líquenes, con sus respectivos datos, fueron donados al Laboratorio de Morfofisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias, a cargo de la M. en C. Beatriz Coutiño, para su determinación e incorporación en la colección. Se determinó un total de 100 ejemplares, pertenecientes a siete especies distintas, aunque con mucha frecuencia se encontraban entremezclados. De ellos, el 48% está representado por Usnea subfloridana, el 45% por Pseudevernia intensa y el 7% por otras cinco especies.

Estos líquenes fueron colectados principalmente en las estaciones de muestreo II y III; P. intensa se halló ocasionalmente en la I.

Los ejemplares de Arenaria bryoides fueron determinadas por el Biól. Francisco Lorrea y depositados en el Herbario de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

2. Material artropodológico

Los microartrópodos se determinaron a nivel de orden o familia, excepto los ácaros oribátidos y los colémbolos, que

por ser los más importantes para esta investigación, se identificaron a nivel genérico o específico.

Varios grupos de insectos fueron determinados por diversos especialistas. Los Thysanoptera por el Dr. Roberto Johansen, los Psocoptera por el Dr. Alfonso García Aldrete, los Homoptera por la M. en C. Guadalupe Sampedro, los Hemiptera por el Dr. Harry Brailovsky, todos del Departamento de Zoología del Instituto de Biología de la UNAM.

Los Araneae fueron identificados por la M. en C. Ma. Luisa Jiménez, del Laboratorio de Acarología de la Facultad de Ciencias y los Coleoptera por el M. en C. Miguel Ángel Morón, del Instituto de Ecología.

Muchas de nuestras determinaciones fueron ratificadas por diversos especialistas, pero principalmente por el Dr. Roy A. Norton (Acarida: Oribatei) de la Universidad Estatal de Nueva York, Syracuse, N.Y., Estados Unidos de América y por la Dra. Judith Najt (Collembola) del Museo de Historia Natural de París, Francia.

Terminada la cuantificación e identificación, se elaboraron listas faunísticas, cuadros, diagramas, etc. y realizaron las pruebas y comparaciones que se muestran en la sección de resultados.

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

A. Composición Faunística de los Microartrópodos del Popocatepetl.

Los pseudoescorpiones que habitan la corteza de los pinos de la estación III pertenecen a Serianus sp. (Olpiidae) y los de musgos de la primera estación no fueron determinados.

Los Araneae están representados por ocho familias, pero debido a la técnica de extracción, la mayoría son juveniles. De Opilionida sólo se encontraron dos ejemplares (Anexo 1).

La Clase Acarida es la más abundante y diversa en los biotopos estudiados del Popocatepetl. Del Orden Mesostigmata existen seis familias, de Prostigmata 33 géneros incluidos en 17 familias. De Astigmata sólo se determinó Thyreophagus sp. (Acariidae), mientras que de Oribatei (Cryptostigmata) se han determinado 23 familias con 34 especies (Fig. 13).

Los Diplopoda y Chilopoda fueron formas juveniles, por lo que no fueron determinadas; tampoco se identificaron los Pauropoda y Symphyla por estar pobremente representados.

De los insectos apterigotos, los órdenes Protura y Thysanura sólo contienen una familia cada uno; de los Collembola hemos determinado ocho familias con 38 especies (Fig. 14).

Se obtuvieron un total de siete órdenes de insectos pterigotos. Psocoptera está representado por siete especies. Thysanoptera por dos (Frankliniella minuta y F. annulipes). De Homoptera se determinaron tres familias (Cicadellidae, Aphididae y

Fig. 13. LISTA DE ACAROS CRYPTOSTIGMATA DEL POPOCATF PETL

PALAFACARIDAE

Palaeacarus sp.

PHTHIRACARIDAE

Hoplophorella sp.

EOBRACHYCHTHONIDAE

Eobrachychthonius oudemansi

CAMISIIDAE

Camisia horrida

LIODIDAE

Teleioliodes sp.

DAMAEIDAE

Belba clavasensillaDyobelba sp. 1Dyobelba sp. 2Epidamaeus mitlsensillusEpidamaeus sp.

CEPHEIDAE

Eupterotegaeus sp.

EUTEGAEIDAE

Neoeutegaeus sp.

METRIOPIIDAE

Ceratoppia sp.

TECTOCEPHEIDAE

Tectocephus sp.

OPPIDAE

Oppiella sp.G. ca. OppiellaOxyoppia sp.Quadroppia sp.

SUCTOFLBIDAE

Suctobelbila sp.Suctobelbella sp.

EREMELLIDAE

Eremella sp.

CYMBAEREMAEIDAE

Scapheremaeus sp.

ZETOMOTRICHIDAE

Ghilarovus elegans

ORIPODIDAE

Oripoda sp.

ORIBATULIDAE

Domerotina sp.Scheloribates sp.

HAPLOZETIDAE

Peloribates sp.

CERATOZETIDAE

Propelops sp.Trichoribates ocotlicusT. tepetlensis

MYCOBATIDAE

Mycobates sp.

PELOPIDAE

Eupelops sp.

TEGORIBATIDAE

Tegoribates sp.

ACHIPTERIIDAE

Anachipteria sp.

FIG. 14. LISTA DE COLLEMBOLA DEL POPOCATEPETL.

HYPOGASTRURIDAE

- Ceratophysella sp.
Hypogastrura sp. 1
Hypogastrura sp. 2
Schoettella distincta
Willemia persimilis
Xenylla sp.
X. acauda

ONYCHIURIDAE

- Mesaphorura sp.
Mesaphorura gr. krausbaueri
Onychiurus gr. fimetarius

NEANURIDAE

- Brachystomella ca. parvula
Friesea sp. 1
Friesea sp. 2
F. hoffmannorum
Micranurida sp.
Neanura muscorum
Americanura imitator
A. macgregori
A. mexicana
Pseudachorutes sp. 1
Pseudachorutes sp. 2
Pseudachorutes sp. 3
Odontella (superodontella) tlaloci
Xenyllodes unguidentatus

ISOTOMIDAE

- Folsomia sp.
Isotoma viridis
Isotomodes klostermani
Pseudisotoma sensibilis
Proisotoma minuta
Janstachia-Coloburella

ENTOMOBRYIDAE

- Janetschekbrya sp.
Lepidocyrtus sp.
Orchesella impavida
Seira sp.

SMINTHURIDAE

- Sphaeridia sp.
Sminthurus sp.

DICYRTOMIDAE

- Ptenothrix sp.

NEELIDAE

- Megalothorax minimus

Pseudococcidae), al igual que de Hemiptera (Cydnidae, Anthocoridae y Lygaeidae). Del Orden Coleoptera se registraron nueve familias: Carabidae, Erotylidae, Cucujidae, Scolytidae, Orthoporidae, Curculionidae, Chrysomellidae, Staphylinidae y Ptiliidae; de Diptera cinco: Psycodidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Sciaridae y Scatopsidae, de la familia Formicidae y de la superfamilia Chalcidoidea (Anexo 1).

Con estos datos se puede inferir que en los biotopos analizados existen más de 170 especies de artrópodos, siendo los colémbolos y los ácaros oribátidos los que presentan la mayor diversidad. Hay que aclarar que en un futuro estudio taxonómico detallado de todo el material colectado se proporcionará un mayor número de especies de las que hasta ahora hemos registrado, principalmente dentro de los ácaros oribátidos.

La diversidad específica encontrada es relativamente baja, si comparamos con lo que otros autores han citado en diversas localidades. Por ejemplo, un número normal o aún elevado de colémbolos es alrededor de 100 especies en la Sierra Nevada, España (Selga, Simon y Acon, 1978), y en la localidad que hemos estudiado se encontraron menos de la mitad de este número, pero con frecuencia en número de individuos muy grandes, que superan a todos los demás órdenes de microartrópodos (Fig. 15).

Con los ácaros ocurre algo similar en las zonas frías del mundo como Canadá, Francia y España, donde coexisten regularmente unas 150 o 200 especies. En comparación, la fauna encontrada en el Popocatepetl es pobre en cuanto al número de especies, pero

su abundancia relativa es muy alta, sobre todo la de algunos oribátidos habitantes de musgos y líquenes epífitos (Figs. 19 y 20).

Algunas especies, sin ser estenoicas, se encuentran preferentemente en algunos biotopos: Trichoribates ocotlicus, Belba clavasensilla, Dometorina sp. Friesea hoffmannorum, Xenylla acauda y otras, que habitan los ambientes epífitos, como se discute más adelante en la sección de frecuencia y fidelidad.

De los microartrópodos identificados a nivel específico, se registran dos nuevas citas de colémbolos para el país: Xenylla acauda e Isotomodes klostermani. En el Popocatepetl, a excepción de Megalothorax incertus, Orchesella impavida, Americanura imitator, A. macgregori, A. mexicana, Willemia persimilis, Schoettella distincta, Odontella (s.) tlaloci y Xenyllodes unguidentatus, todas las especies son citas nuevas para esta localidad (Fig. 14).

Todos los oribátidos, excepto Belba clavasensilla, Trichoribates ocotlicus, T. tepetlensis y Ghilaroyus mexicanus, son nuevos registros para la localidad y para el país, con un total de 23 especies: Palaeacarus sp., Eobrachychthonius oudemansi, Camisia horrida, Dyobelba sp. 1, Dyobelba sp. 2, Teleoliodes sp., Eupterotegaeus sp., Neoeutegaeus sp., Tectocephus sp., Oppiella sp., Suctobelbilla sp. Suctobelbella sp., Ceratoppia sp., Eremella sp., Scapheremaeus sp., Oripoda sp., Dometorina sp., Peloriabates sp., Propelops sp., Mycobates sp., Eupelops sp., Tegoriabates sp. y Anachipteria sp.

B. Abundancias relativas de los Microartrópodos.

Para efectuar el análisis de la fauna, después de su sepa-

Fig. 15. Abundancias relativas de los microartrópodos del Popocatépetl (1982-1983).

(Para las cuatro estaciones de muestreo)

| Grupo | No. | % |
|---------------------------------|-------|-------|
| PSEUDOSCORPIONIDA | 12 | 0.02 |
| ARANEAE | 149 | 0.24 |
| MESOSTIGMATA (- Uropodid.) | 3788 | 6.20 |
| UROPODIDAE | 236 | 0.39 |
| PROSTIGMATA (-Bdell. y Rhagid.) | 12948 | 21.20 |
| BDELLOIDEA | 610 | 0.99 |
| RHAGIDIIDAE | 229 | 0.37 |
| ASTIGMATA | 3309 | 5.41 |
| ORIBATEI | 17645 | 28.89 |
| PAUROPODA | 61 | 0.10 |
| SYMPHYLA | 30 | 0.05 |
| DIPLOPODA | 60 | 0.09 |
| CHILOPODA | 20 | 0.03 |
| PROTURA | 63 | 0.10 |
| COLLEMBOLA | 20298 | 33.24 |
| PSOCOPTERA | 228 | 0.37 |
| THYSANOPTERA | 144 | 0.23 |
| HOMOPTERA | 669 | 1.10 |
| COL.: PTILIIDAE | 146 | 0.23 |
| COL.: STAPHYLINIDAE | 74 | 0.12 |
| HYM.: CHALCIDOIDEA | 31 | 0.05 |
| LARVAS DE INSECTOS | 247 | 0.40 |
| OTROS INSECTOS | 67 | 0.11 |
| TOTALES | 61064 | 99.64 |

ración y cuantificación, se reunieron los datos por grupos taxonómicos según se indica en la Fig. 15. Algunos insectos estaban representados en un porcentaje tan bajo (menos de 0.03%) que se señalan conjuntamente bajo el rubro de otros insectos.

Del total de 61,064 ejemplares recolectados en todos los biotopos los ácaros (63.47%) y los colémbolos (33.24%) tienen un papel preponderante ya que conjuntamente constituyen el 96.7% de la fauna capturada. El remanente está formado por homópteros (1.1%) y todos los demás artrópodos, incluyendo arácnidos, miriápodos e insectos que representan el 2.19% (Fig. 15).

Si se considera sólo a los ácaros (38,765 individuos), se observa que los oribátidos (Cryptostigmata) ocupan el primer lugar en abundancia con un 45.5% (17,585) mientras el segundo está ocupado por los prostigmados fitófagos, 33.4% (12,948) y los depredadores (Mesostigmata, Bdelloidea, Rhagidiidae) suman sólo el 11.8%.

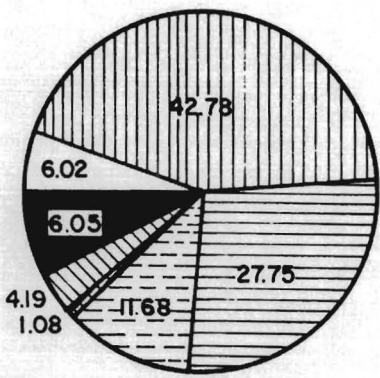
Mucho más indicativo resulta el porcentaje obtenido por grupo para cada biotopo en particular en las estaciones de muestreo; aunque este dato no muestra la variación estacional, es un acercamiento a la actividad e importancia que cada grupo tiene en dicho biotopo (Figs. 16-25).

En el biotopo A (hojarasca) de la primera estación, los colémbolos son el grupo mejor representado (42.7%) y en orden decreciente los prostigmados (27.7%) y los mesostigmados (11.6%). Sólo los ácaros en conjunto (51.1%) sobrepasan el porcentaje de los colémbolos y entre ambos forman el 93% de la fauna total. Aquí es donde los paurópodos y coleópteros tienen su máxima abundancia relativa (Fig. 16 y 17).

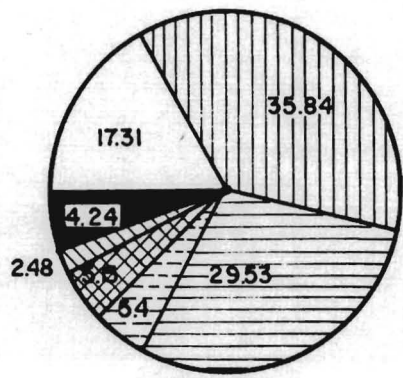
FIG. 16 ABUNDANCIAS RELATIVAS DE MICROARTROPODOS
DEL POPOCATEPETL POR BIOTOPO.
(Febrero 1982 a Marzo 1983).

| ESTACION | I (3,000 m snm) | | | | | | | |
|----------------------|-----------------|-------|-----------|-------|---------------------|-------|----------------------|-------|
| | A (hojarasca) | | B (suelo) | | C (musgos epifitos) | | D (musgos del talud) | |
| BIOTOPO | No. | % | No. | % | No. | % | No. | % |
| Grupo | No. | % | No. | % | No. | % | No. | % |
| PSEUDOSCORPIONIDA | - | - | - | - | 12 | 0.76 | - | - |
| ARANEAE | 6 | 0.15 | 1 | 0.03 | 14 | 0.9 | 1 | 0.15 |
| MESOSTIGMATA (parte) | 465 | 11.68 | 159 | 5.40 | 78 | 4.9 | 28 | 4.29 |
| UROPODIDAE | 23 | 0.57 | 1 | 0.03 | - | - | - | - |
| PROSTIGMATA (parte) | 1105 | 27.75 | 870 | 29.53 | 798 | 50.9 | 440 | 67.38 |
| BDELLOIDEA | 32 | 0.8 | 5 | 0.17 | 95 | 6.0 | 2 | 0.3 |
| RHAGIDIIDAE | 4 | 0.1 | 3 | 0.1 | - | - | - | - |
| ASTIGMATA | 176 | 4.19 | 73 | 2.48 | 8 | 0.51 | 1 | 0.15 |
| ORIBATEI | 240 | 6.02 | 510 | 17.31 | 285 | 18.17 | 66 | 10.1 |
| PAUROPODA | 35 | 0.88 | 16 | 0.54 | - | - | - | - |
| SYMPHYLA | - | - | 1 | 0.03 | - | - | - | - |
| DIPOPODA | 32 | 0.50 | 3 | 0.1 | - | - | - | - |
| CHILOPODA | 8 | 0.2 | 4 | 0.13 | - | - | 1 | 0.15 |
| PROTURA | 2 | 0.05 | 37 | 1.26 | - | - | - | - |
| COLLEMBOLA | 1703 | 42.78 | 1056 | 35.84 | 205 | 13.07 | 73 | 11.18 |
| PSOCOPTERA | 22 | 0.55 | 11 | 0.37 | 30 | 1.9 | 16 | 2.45 |
| THYSANOPTERA | 8 | 0.2 | 6 | 0.02 | 18 | 1.14 | 3 | 0.46 |
| HOMOPTERA | 43 | 1.08 | 152 | 5.15 | 10 | 0.64 | 18 | 2.76 |
| COL.: PTILIIDAE | 22 | 0.55 | 2 | 0.06 | - | - | - | - |
| COL.: STAPHYLINIDAE | 15 | 0.38 | 6 | 0.02 | - | - | - | - |
| HYM.: CHALCIDOIDEA | 2 | 0.05 | 3 | 0.1 | - | - | 2 | 0.3 |
| LARVAS DE INSECTOS | 33 | 0.82 | 22 | 0.75 | 11 | 0.7 | 1 | 0.15 |
| OTROS INSECTOS | 17 | 0.42 | 6 | 0.20 | 5 | 0.31 | 1 | 0.15 |
| TOTALES | 3981 | 99.99 | 2946 | 99.98 | 1568 | 99.99 | 653 | 99.97 |

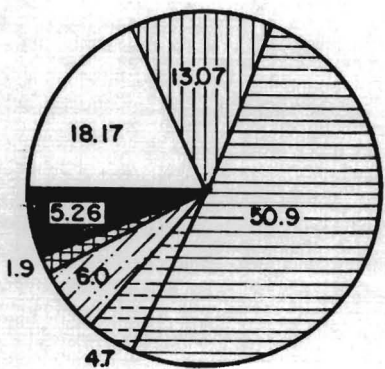
FIG. 17. DISTRIBUCION PROPORCIONAL DE LOS MICROARTROPODOS DE LA ESTACION I. A, HOJARASCA; B, SUELO; C, MUSGOS EPIFITOS; D, MUSGOS EDAFICOLAS.



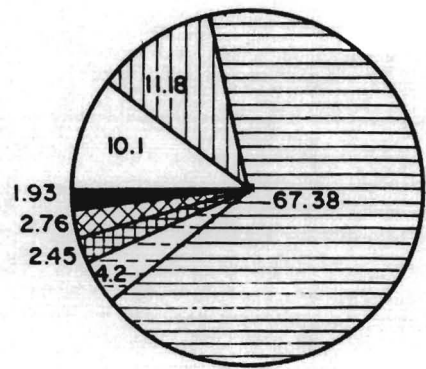
A



B



C



D

-  ORIBATEI
-  COLLEMBOLA
-  PROSTIGMATA
-  MESOSTIGMATA
-  BDELLOIDEA

-  OTROS
-  PSOCOPTERA
-  ASTIGMATA
-  HOMOPTERA

Para el suelo (biotopo B) de la misma estación, ocurre algo similar, puesto que los colémbolos tienen el porcentaje más alto (35.8%) seguidos por los prostigmados (29.5%); pero los oribátidos alcanzan un 17.3% (Fig. 16). En este biotopo los proturos y homópteros alcanzan su máximo porcentaje comparativamente (Fig. 17). El total de los ácaros es de 55.0%, mientras que en los musgos epífitos (biotopo C) forman el 80.4% y los colémbolos tan solo el 13%. Aquí, los prostigmados constituyen el 50.9% de la fauna. Otros grupos que tienen su máxima representación en este biotopo son los ácaros Bdelloidea, Psocoptera y Pseudoscorpionida, este último exclusivamente se encontró en este biotopo (Fig. 16).

En los musgos del talud (biotopo D), el grupo mejor representado es el de los ácaros prostigmados, ya que hacen un 67.3% y los colémbolos únicamente el 11.1%, pero si tomamos en cuenta el total de ácaros y colémbolos, estos son el 93.5% de la fauna de estas briofitas (Figs. 16 y 17B).

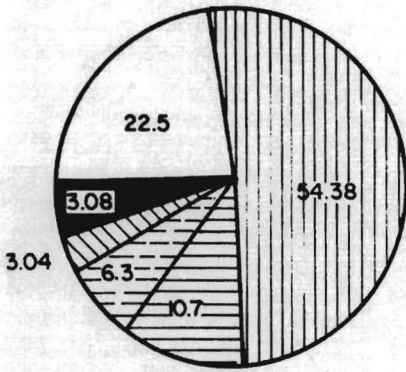
En el biotopo A de la segunda estación se observa que los colémbolos alcanzaron un 54.3% de la fauna, siendo aquí donde se ve su máxima abundancia, al comparar con las demás estaciones, e incluso sobrepasan al total de ácaros (44.1%) de esta estación. Entre ambos grupos forman el 98.5% de la fauna de la hojarasca. (Figs. 18 y 19A).

La máxima abundancia en el suelo está representada en orden decreciente por los colémbolos (40%), los oribátidos (34.3%), los prostigmados (9.2%) y los mesostigmados (8.5%) (Figs. 18 y 19B). En este biotopo es donde los Symphyla tuvieron su máxima representación (Fig. 18).

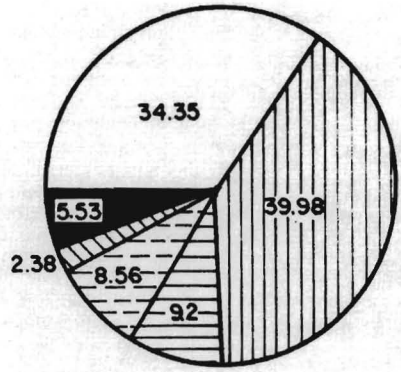
FIG. 18 ABUNDANCIAS RELATIVAS
DE MICROARTROPODOS DEL POJCATEPETL POR BIOTOPO.
(Febrero 1982 a Marzo 1983).

| ESTACION | | II (3,600 m. snm). | | | | | |
|------------------------|--------------|--------------------|----------|-------|-------------|-------|--|
| BIOTOPO | A(Hojarasca) | | B(Suelo) | | C(Epifitas) | | |
| | No. | % | No. | % | No. | % | |
| PSEUDOSCORPIONIDA | - | - | - | - | - | - | |
| ARANEAE | 72 | 0.42 | - | - | 13 | 0.8 | |
| MESOSTIGMATA (parte) | 1059 | 6.3 | 281 | 8.56 | 44 | 2.7 | |
| UROPODIDAE | 103 | 0.61 | 17 | 0.51 | - | - | |
| PROSTIGMATA (parte) | 1800 | 10.7 | 302 | 9.2 | 579 | 34.45 | |
| BDELLOIDEA | 96 | 0.57 | 10 | 0.3 | 83 | 5.08 | |
| RHAGIDIIDAE | 66 | 0.4 | 65 | 1.98 | 3 | 0.18 | |
| ASTIGMATA | 512 | 3.04 | 78 | 2.38 | 147 | 9.0 | |
| ORIBATEI | 3785 | 22.5 | 1127 | 34.35 | 528 | 32.33 | |
| PAUROPODA | - | - | - | - | - | - | |
| SYMPHYLA | 2 | 0.01 | 20 | 0.61 | - | - | |
| DIPLOPODA | 14 | 0.08 | 2 | 0.06 | - | - | |
| CHILOPODA | 4 | 0.02 | - | - | - | - | |
| PROTURA | 6 | 0.03 | 16 | 0.49 | - | - | |
| COLLEMBOLA | 9147 | 54.38 | 1312 | 39.98 | 150 | 9.18 | |
| PSOCOPTERA | 9 | 0.05 | 7 | 0.21 | 30 | 1.84 | |
| THYSANOPTERA | 1 | 0.06 | 2 | 0.06 | 21 | 1.29 | |
| HOMOPTERA | 5 | 0.02 | 12 | 0.36 | 21 | 1.29 | |
| COL.: PTILIIDAE | 66 | 0.4 | 2 | 0.06 | - | - | |
| COL.: STAPHYLINIDAE | 23 | 0.14 | 6 | 0.18 | 1 | 0.06 | |
| HYM.: CHALCIDOIDEA | 12 | 0.07 | 3 | 0.09 | - | - | |
| LARVAS DE INSECTOS | 26 | 0.15 | 18 | 0.54 | 11 | 0.67 | |
| OTROS INSECTOS | 12 | 0.07 | 1 | 0.006 | 2 | 0.01 | |
| TOTALES | 16820 | 99.96 | 3281 | 99.92 | 1633 | 99.88 | |

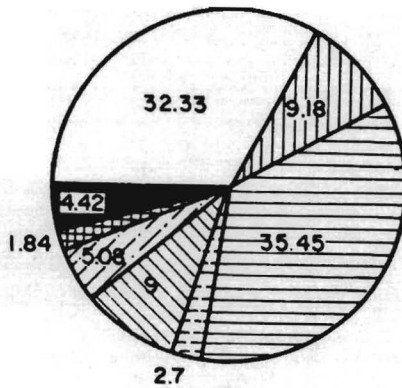
FIG. 19. DISTRIBUCION PROPORCIONAL DE LOS MICROARTROPODOS DE LA ESTACION II. A, HOJARASCA; B, SUELO; C, LIQUENES Y MUSGOS EPIFITOS.



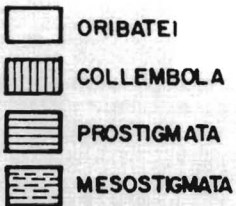
A



B



C



En los líquenes epífitos fructicosos (biotopo C), los colémbolos están pobremente representados (9.1%), mientras que los prostigmados (35.4%) y oribátidos (32.3%) constituyen el grueso de la población. Las arañas y los trips se hallan en un porcentaje mayor (Fig. 18), en comparación con las demás estaciones de muestreo.

En el límite de vegetación arbórea (estación III), la hojarasca tiene un 30% de oribátidos, 21.7% de astigmados (su máxima abundancia), 18.9% de prostigmados y sólo el 16.7% de colémbolos. Todos los ácaros constituyen el 80% y conjuntamente con los colémbolos el 96.7% de la fauna (Fig. 20 y 21A). En el suelo de la misma estación los prostigmados forman el 30.3%, los colémbolos el 23.7% y los ácaros oribátidos el 14.5%. Entre todos, los ácaros y los colémbolos hacen un 96.5% de la fauna. En comparación con las otras estaciones, en ésta, los mesostigmados alcanzan su mayor porcentaje (Figs. 20 y 21B).

En los líquenes de esta estación, los oribátidos son el grupo que está mejor representado que en cualquier otra estación o biotopo, formando el 76.9% de los habitantes de este medio. Los colémbolos sólo constituyen el 8.9% y en conjunto con los ácaros forman el 95.5% (Fig. 21C).

Los musgos de la estación IV (Biotopo D), tienen un 42% de oribátidos, 27.5% de prostigmados y 16.4% de colémbolos (Figs. 22 y 23D); mientras que en los cojinetes de Arenaria bryoides (biotopo E), el primer grupo en abundancia está formado por los colémbolos (32.5%), siguiendo en orden decreciente

FIG. 20. ABUNDANCIAS RELATIVAS DE MICROARTROPODS DEL
POPOCATEPETL POR BIOTOPO.
(Febrero 1982 a Marzo 1983).

| ESTACION | | III (3,900 m snm) | | | | | |
|----------------------|------|-------------------|------|----------|------|-------------|--|
| BIOTOPO | | A(hojarasca) | | B(suelo) | | C(Epffitos) | |
| Grupo | No. | % | No. | % | No. | % | |
| PSEUDOSCORPINOIDA | - | - | - | - | - | - | |
| ARENEAE | 15 | 0.18 | 4 | 0.15 | 12 | 0.28 | |
| MESOSTIGMATA (parte) | 588 | 6.53 | 326 | 12.7 | 3 | 0.07 | |
| UROPODIDAE | 62 | 0.69 | 30 | 1.17 | - | - | |
| PROSTIGMATA (parte) | 1705 | 18.94 | 779 | 30.37 | 310 | 7.25 | |
| BDELLOIDEA | 93 | 1.03 | 6 | 0.23 | 65 | 1.52 | |
| RHAGIDIIDAE | 27 | 0.3 | 26 | 1.01 | - | - | |
| ASTIGMATA | 1959 | 21.75 | 329 | 12.82 | - | - | |
| ORIBATEI | 2772 | 30.78 | 373 | 14.54 | 3286 | 76.91 | |
| PAUROPODA | 4 | 0.04 | - | - | - | - | |
| SYMPHYLA | 4 | 0.04 | 3 | 0.11 | - | - | |
| DIPLOPODA | 7 | 0.07 | 1 | 0.03 | - | - | |
| CHILOPODA | 2 | 0.02 | 1 | 0.03 | - | - | |
| PROTURA | - | - | 1 | 0.03 | - | - | |
| DIPLURA | - | - | - | - | - | - | |
| COLLEMBOLA | 1512 | 16.79 | 608 | 23.7 | 380 | 8.9 | |
| PSOCOPTERA | 14 | 0.15 | 13 | 0.5 | 17 | 0.39 | |
| THYSANOPTERA | 11 | 0.12 | 5 | 0.19 | 10 | 0.23 | |
| HOMOPTERA | 95 | 1.05 | 11 | 0.42 | 159 | 3.72 | |
| COL.: PTILIIDAE | 49 | 0.54 | 8 | 0.31 | 1 | 0.02 | |
| COL.: STAPHYLINIDAE | 15 | 0.18 | 3 | 0.11 | - | - | |
| HYM.: CHALCIDOIDEA | 6 | 0.06 | 1 | 0.03 | 2 | 0.04 | |
| LARVAS DE INSECTOS | 52 | 0.57 | 33 | 1.29 | 27 | 0.62 | |
| OTROS INSECTOS | 12 | 0.13 | 4 | 0.15 | 3 | 0.07 | |
| TOTALES | 9004 | 99.80 | 2565 | 99.82 | 4273 | 99.95 | |

FIG. 21. DISTRIBUCION PROPORCIONAL DE LOS MICROARTROPODOS DE LA ESTACION III. A, HOJARASCA; B, SUELO; C, LIQUENES EPIFITOS.

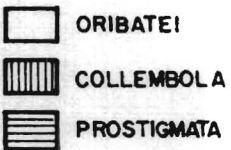
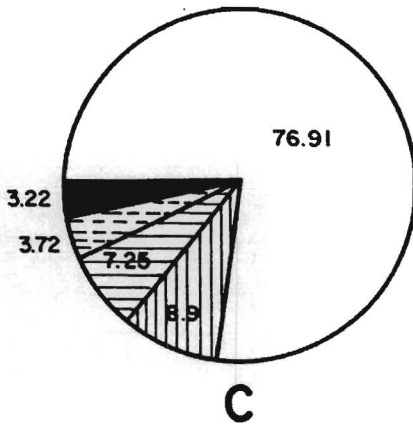
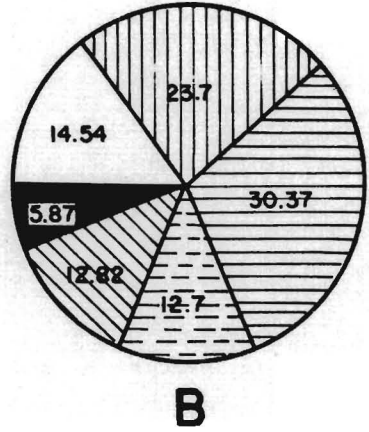
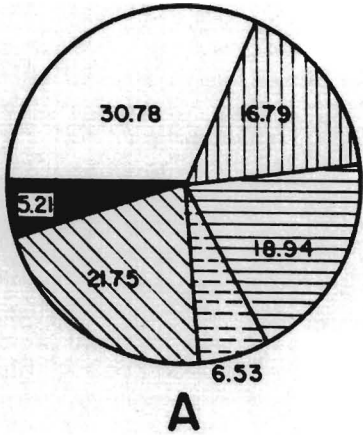
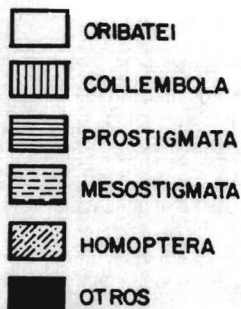
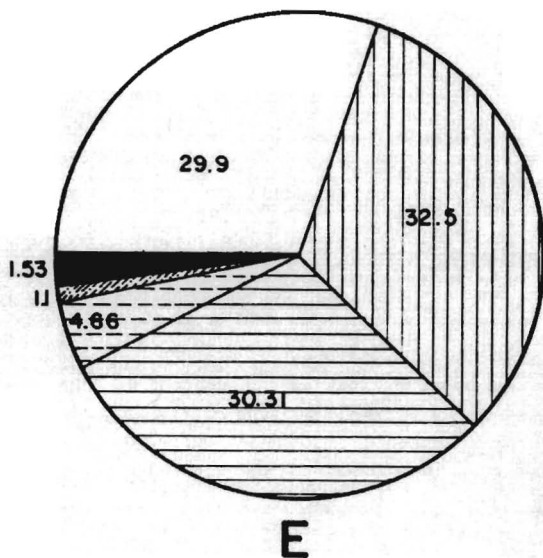
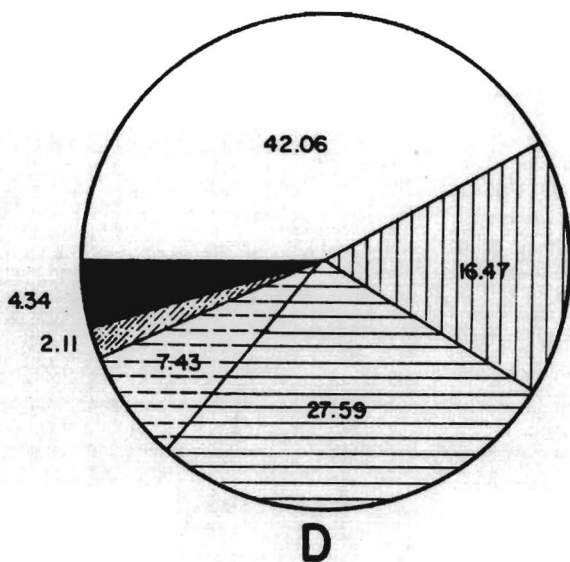


FIG. 22. ABUNDANCIAS RELATIVAS DE MICROARTROPODOS DEL
POPOCATEPETL POR BIOTOPO.

(Febrero 1982 a Marzo 1983).

| ESTACION | | IV (4,000 m snm) | | |
|----------------------|------------|------------------|--------------------------------|-------|
| BIOTOPO | D (musgos) | | E (<u>Arenaria bryoides</u>) | |
| Grupo | | | | |
| PSEUDOSCORPIONIDA | - | - | - | - |
| ARANEAE | 3 | 0.09 | 8 | 0.07 |
| MESOSTIGMATA (parte) | 236 | 7.43 | 521 | 4.66 |
| UROPODIDAE | - | - | - | - |
| PROSTIGMATA (parte) | 876 | 27.59 | 3384 | 30.31 |
| BDELLOIDEA | - | - | 123 | 1.1 |
| RHAGIDIIDAE | 26 | 0.81 | 9 | 0.08 |
| ASTIGMATA | 31 | 0.97 | 4 | 0.02 |
| ORIBATEI | 1335 | 42.06 | 3339 | 29.9 |
| PAUROPODA | 1 | 0.03 | 5 | 0.04 |
| SYMPHYLA | - | - | - | - |
| DIPLOPODA | 1 | 0.03 | - | - |
| CHILOPODA | - | - | - | - |
| PROTURA | 1 | 0.03 | - | - |
| COLLEMBOLA | 523 | 16.47 | 3629 | 32.5 |
| PSOCOPTERA | 50 | 1.57 | 9 | 0.08 |
| THYSANOPTERA | 4 | 0.12 | 55 | 0.49 |
| HOMOPTERA | 67 | 2.11 | 76 | 0.68 |
| COL.: PTILIIDAE | - | - | - | - |
| COL.: STAPHYLINIDAE | 4 | 0.12 | 1 | 0.01 |
| HYM.: CHALCIDOIDEA | - | - | - | - |
| LARVAS DE INSECTOS | 12 | 0.37 | 1 | 0.01 |
| OTROS INSECTOS | 3 | 0.09 | 4 | 0.02 |
| TOTALES | 3174 | 99.8 | 11,164 | 99.86 |

Fig. 23. DISTRIBUCION PROPORCIONAL DE LOS MICROARTROPODOS DE LA ESTACION IV. D, MUSGOS EDAFICOLAS; E. ARENARIA BRYOIDES.



los prostigmados (30.3%), y los oribátidos (29.3%). La suma de los colémbolos y ácaros en total da un 98.5% de los microartrópodos (Fig. 23E).

La alta abundancia de colémbolos en la hojarasca de la estación II, posiblemente se debe al tipo de hojarasca, que permite mayor retención de humedad. La importancia de la forma y tamaño de la hojarasca ha sido citada como un factor relevante por Stevenson et al. (1982).

C. Porcentaje de permanencia y coeficiente de frecuencia

Muchas de las investigaciones sobre ecología de los microartrópodos del suelo, están basados en los grandes taxa que constituyen esta fauna (Lavelle, et al., 1981, Péfeur, 1981). Otras, profundizan sobre el tema utilizando algún grupo taxonómico, de acuerdo a la especialidad del autor, ya sean colémbolos (Izarra, 1970, 1974; Rapoport & Najt, 1966) o ácaros oribátidos (Aoki, 1971, 1976); otras más, llegan a realizarse tomando en cuenta las diversas familias de ácaros (Athias, 1974, Hermosilla, 1978) o de colémbolos, (Hermosilla & Rubio, 1976). Son muy escasos los estudios a nivel mundial en que se consideran tanto las especies de oribátidos como de colémbolos (Deharveng & Travé, 1983) para ver la diferente respuesta de los dos grupos dominantes en estos ambientes.

Si bien no fue posible llegar a determinar todo el material a nivel específico o describir previamente todas las especies de oribátidos y colémbolos, este trabajo se basa primordialmente en ellos, ya que la comparación entre ambos resulta muy interesante por

tratarse de grupos muy distintos no sólo filogenéticamente, sino también en sus requerimientos ecológicos y en sus interacciones con las demás especies, además que los dos habitan tanto el suelo como sus anexos (musgos, líquenes, etc.).

Las especies que se utilizan como indicadoras de similitud biocenótica, abundancia y distribución cliserial en este trabajo fueron seleccionadas por su elevada frecuencia y dominancia, por encontrarse en diferentes biotopos de varias estaciones y por poderse identificar aún en sus formas juveniles; son 13 especies de oribátidos (Eobrachyichthonius oudemansi, Camisia horrida, Belba clavasensilla, Dyobelba sp. 1, Dyobelba sp. 2, Epidamaeus sp., Epidamaeus mitlsensillus, Scapheremaeus sp., Dometorina sp., Scheloribates sp., Trichoribates ocotlicus, T. tepetlensis y Mycobates sp.) y 11 de colémbolos (Hypogastrura sp. 1, Schoettella distincta, Willemia persimilis, Xenylla acauda, Mesaphorura krausbaueri, Friesea hoffmannorum, Isotomodes klostermani, Janetschckbrya sp., Lepidocyrtus sp., Seira sp. y Sphaeridia sp.).

La fidelidad de los microartrópodos a un determinado biotopo está expresada por el porcentaje de permanencia; el que se obtiene dividiendo el número de meses en que aparece determinado taxón entre los meses muestreados y multiplicando por cien. Es decir, el porcentaje de veces en que un taxón se presenta a lo largo del tiempo de observación (Rapoport & Najt, 1966).

$$\% \text{ permanencia} = \frac{\text{meses en que aparece } \times}{\text{meses muestreados}} \times 100$$

El coeficiente de frecuencia (c.f.) es el número de muestras en que aparece una especie o taxón, entre el número total de muestras tomadas, siempre y cuando se trate de una misma zona (Christiansen, 1964) y del mismo biotopo.

$$\text{C.f.} = \frac{\text{muestras con } X}{\text{total de muestras}} \times 100$$

Como en este trabajo se establecieron cuatro estaciones de muestreo de acuerdo a las asociaciones vegetacionales y a la altitud, para la obtención de este coeficiente se consideran por separado el número de muestras que se estudiaron para cada estación y cada biotopo; después se comparó el comportamiento de cada especie en los distintos biotopos.

En las Figuras 24 a 27 se han representado esquemáticamente las cuatro estaciones de muestreo, los biotopos y las especies que los habitan. El porcentaje de permanencia está representado por un triángulo (7 a 33%) un cuadrado (34 a 66%) o un círculo (67 a 100%) según sea el caso. A partir de dichas figuras se puede saber la importancia y duración aproximada que tienen las especies en cada biotopo. Las abreviaturas corresponden a las siguientes especies: H1, Hypogastrura sp. 1; Sd, Schoettella distincta; Wp, Willemia persimilis; Xa, Xenylla acauda; Mk, Mesaphorura krausbaueri, Fh, Friezea hoffmannorum; Ik, Isotomodes klostermani; Ja, Janetschekbrya sp.; Le, Lepidocyrtus sp.; Se, Seira sp., Sph, Sphaeridia sp.; En, Eobrachythonus oudemansi; Ch, Camisia horrida; Bc, Belba clavasensilla; D1, Dyobelba sp. 1; D2, Dyobelba sp 2; Em, Epidamaeus mitlsensillus, Eps, Epidamaeus sp.; Sc, Scapheremaeus sp.; Do,

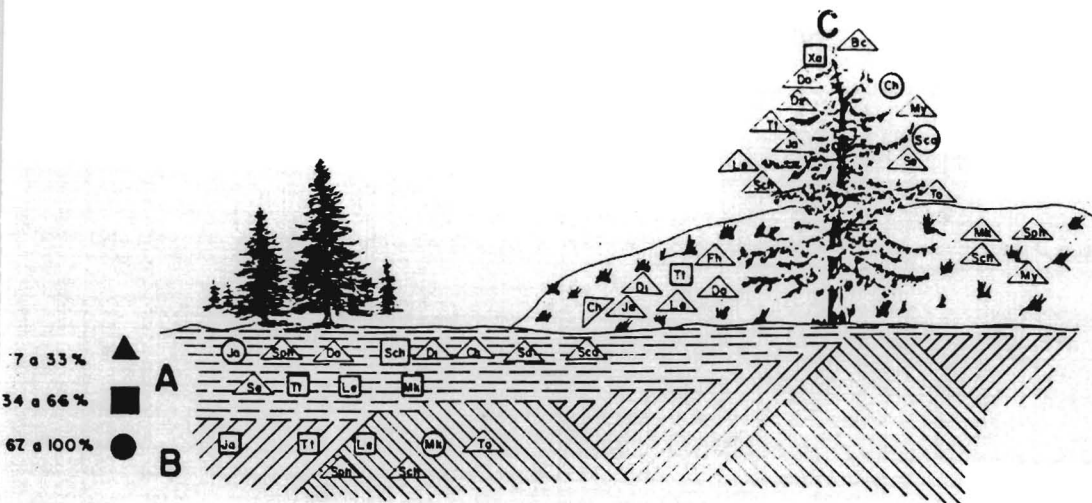


Fig. 24. PORCENTAJES DE ESPECIES CONTENIDAS EN LOS BIOTOPOS. ESTACION I.

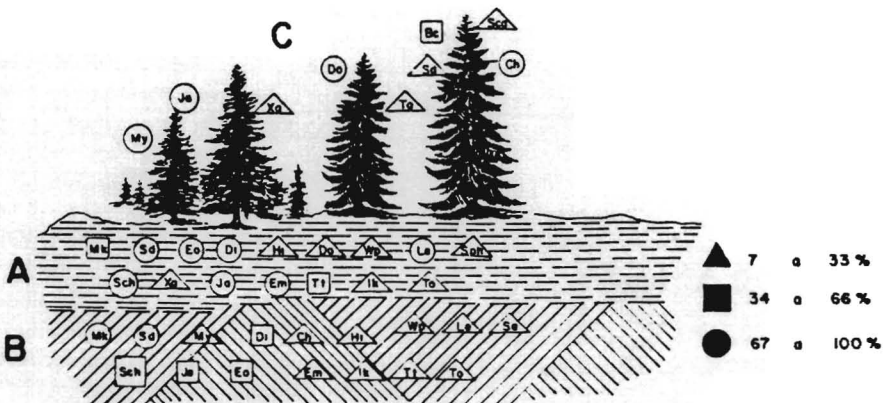


FIG. 25. PORCENTAJES DE ESPECIES CONTENIDAS EN LOS BIOTOPOS. ESTACION II.

Dometorina sp.; To, Trichoribates ocotlicus; Tt, T. tepetlensis; My, Mycobates sp.

Con base en el coeficiente de frecuencia (Fig. 29) y de acuerdo con Moraza et al. (1980) y Karppinen (1972, et al., 1977) quienes llaman especies fundamentales o constantes a las que tienen más de 51% de coeficiente de frecuencia; especies accesorias o frecuentes a las que tienen entre 26 y 50%, accidentales a las que tienen menos de 26%, se han obtenido los siguientes resultados.

Janetschekbrya sp. es la única fundamental en la hojarasca de la primera estación; Trichoribates tepetlensis, Mesaphorura krausbaueri y Lepidocyrtus sp. son frecuentes y las demás accidentales (Fig. 24).

En la hojarasca de la segunda estación hay siete especies constantes: Eobrachychthonius oudemansi, Dyobelba sp., Epidamæus mitlsensillus, Scheloribates sp., Schoettella distincta, Janetschekbrya sp., Lepidocyrtus sp.; como accesoria está I. tepetlensis. En el suelo S. distincta es fundamental y hay dos frecuentes: E. oudemansi y M. Krausbaueri; en los medios epifíticos Dometorina sp., y Mycobates sp. son frecuentes o accesorias, las demás son accidentales (Fig. 25).

Para la estación III, Dyobelba sp. 1, I. tepetlensis y Janetschekbrya sp. son fundamentales en la hojarasca, mientras que Scheloribates sp. y Lepidocyrtus sp. están como accesorias. En el suelo no hay ninguna especie fundamental, pero son frecuentes: Scheloribates sp, I. tepetlensis, M. krausbaueri y Jantschekbrya sp. En los líquenes epifitos de esta estación que

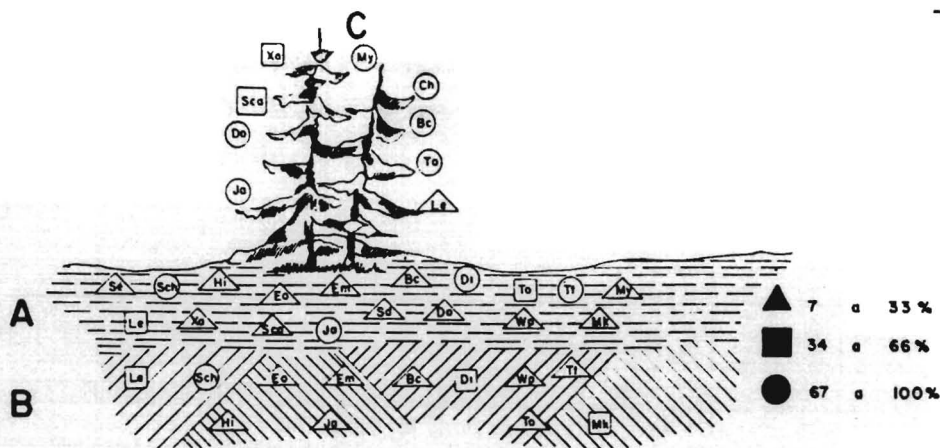


Fig. 26. PORCENTAJES DE ESPECIES CONTENIDAS EN LOS BIOTOP. ESTACION III.

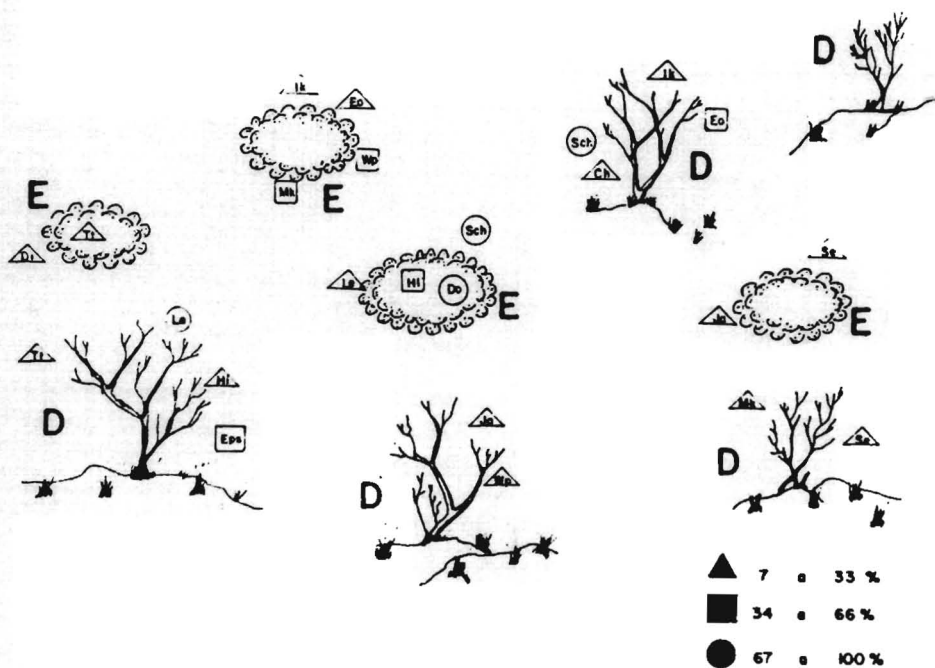


FIG. 27. PORCENTAJES DE ESPECIES CONTENIDAS EN LOS BIOTOPOS. ESTACION IV.

es en el límite de la vegetación arbórea, son fundamentales I. ocotlicus, B. clavasensilla, C. horrida y Dometorina, y accesorias Scapheremaeus sp., Mycobates sp. y Janetschekbrya sp. (Fig. 26).

En la pradera alpina (estación IV), Scheloribates sp. es la especie fundamental de los dos biotopos; Hypogastrura sp. 1 es frecuente en Arenaria bryoides y Lepidocyrtus sp. en musgos, todas las demás especies parecen ser accidentales y con menor porcentaje de permanencia (Fig. 27).

La hojarasca de la segunda estación tiene el mayor número de especies fundamentales y es la más rica en abundancia, lo que da claras indicaciones de la estabilidad de este bosque y de su gran productividad.

Las frecuencias de los microartrópodos en general, obtenidas en este estudio, son comparativamente altas, comparando con lo encontrado por Izarra (1974) en Buenos Aires, Argentina, a pesar de que el año en que se realizaron los muestreos del Popocatepetl fue seco en relación con los precedentes; pero las frecuencias de los colémbolos resultaron menores que las obtenidas por Simón (1974) en la Sierra de Guadarrama, España. Otro aspecto importante es notar que las mismas especies según el biotopo y la estación de muestreo, pueden ser fundamentales, frecuentes o accidentales.

Los porcentajes de permanencia y los coeficientes de frecuencia de las especies seleccionadas se muestran resumidos en las figuras 28 y 29.

FIG. 28. RESUMEN DEL PORCENTAJE DE PERMANENCIA POR ESPECIES

| ESTACION ESPECIE / BIOTOPO | I | | | | II | | | III | | | IV | |
|-------------------------------|----|----|----|----|-----|----|----|-----|----|-----|----|----|
| | A | B | C | D | A | B | C | A | B | C | D | E |
| E. OUDEMANSI | - | - | - | - | 100 | 61 | - | 30 | 15 | - | 41 | 25 |
| C. HORRIDA | 15 | - | 69 | 30 | - | 7 | 84 | - | - | 92 | 8 | - |
| B. CLAVASENSILLA | - | - | 7 | - | - | - | 57 | 15 | 7 | 92 | - | - |
| DYOBELBA SP. 1 | 7 | - | - | 7 | 92 | 46 | - | 84 | 46 | - | - | - |
| DYOBELBA SP. 2 | - | - | 30 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E. MITLSENSILLUS | - | - | - | - | 100 | 7 | - | 23 | 15 | - | - | - |
| EPIDAMAEUS SP. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 33 | - |
| SCAPHEREMAEUS | 7 | - | 92 | - | - | - | 30 | 15 | - | 46 | - | - |
| DOMETORINA SP. | 7 | - | 15 | 23 | 7 | - | 84 | 7 | - | 92 | - | - |
| SCHELORIBATES | 38 | 23 | 7 | 30 | 84 | 38 | - | 84 | 76 | - | 91 | 83 |
| T. OCOTLICUS | - | 7 | 7 | - | 15 | 15 | 30 | 53 | 23 | 100 | - | - |
| T. TEPETLENSIS | 53 | 46 | 7 | 38 | 66 | 23 | - | 100 | 84 | - | 8 | 16 |
| MYCOBATES SP. | - | - | 23 | 7 | - | 7 | 76 | 30 | - | 69 | - | - |
| HYPOGASTRURA SP. | - | - | - | - | 23 | 23 | - | 15 | 38 | - | 25 | 66 |
| S. DISTINCTA | 15 | - | - | - | 92 | 69 | 7 | 7 | - | - | - | - |
| W. PERSIMILIS | - | - | - | - | 46 | 15 | - | 7 | 15 | - | 25 | 16 |
| X. ACAUDA | - | - | 53 | - | 7 | - | 23 | 7 | - | 38 | - | - |
| M. KRAUSBAUERI | 46 | 69 | - | 23 | 38 | 84 | - | 23 | 61 | - | 25 | 41 |
| F. HOFFMANNORUM | - | - | - | 23 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| I. KLOSTERMANI | - | - | - | - | 7 | 15 | - | - | - | - | 25 | 33 |
| JANETSCHEBRYA | 84 | 61 | 30 | 7 | 84 | 53 | 69 | 92 | 76 | 76 | 33 | 25 |
| LEPIDOCYRTUS SP. | 61 | 46 | 7 | 7 | 92 | 23 | - | 61 | 53 | 7 | 91 | 25 |
| SEIRA SP. | 7 | - | 15 | - | - | 15 | - | 7 | - | - | - | - |
| SPHAERIDIA SP. | 30 | 7 | - | 7 | 7 | - | - | - | - | - | - | - |

D. Distribución cliserial y similitud faunística

Solamente se señala la distribución cliserial de las especies seleccionadas como indicadoras (Fig. 30).

Puesto que una especie puede encontrarse en varias altitudes y tener distinta importancia en cada una de ellas, se decidió incluir en dicho cuadro el máximo coeficiente de frecuencia (c.f.) entre paréntesis. Cabe recordar que algunos autores (Moraza, et al, 1980; Karppinen, 1972 & 1977) consideran que las especies que tienen un c.f. mayor de 51% son las constantes o fundamentales.

También se han indicado en dicho cuadro los microhábitats preferentes en orden decreciente, las especies que han sido citadas u observadas, en otras localidades de la Cordillera Neovolcánica (+) o aquellas de las que se desconoce su presencia (?). En un par de casos se proporciona la frecuencia registrada anteriormente en otra localidad de la misma cordillera (Palacios-Vargas, 1981).

Claramente resalta el hecho de que diez de estos microartrópodos son componentes faunísticos de otras localidades de la citada cordillera y es de esperar que en futuras investigaciones en la zona, aumente este número.

En este cuadro se observa que en la estación I se encuentran 18 de las especies analizadas; que al ir ascendiendo se incrementa el número en la segunda (20) y posteriormente disminuye hasta quedar en 12 en la cuarta estación, lo que significa una disminución de un 40% del total de las especies seleccionadas. Es interesante que algunas de ellas se encuentran particularmente en una sola estación como:

FIG. 30. DISTRIBUCION ALTITUDINAL DE LAS ESPECIES SELECCIONADAS.

| ESPECIE/ALTITUD | * | 3,000 | 3,6000 | 3,900 | 4,000 | MICROHABITAT |
|--------------------------|------|-------|--------|-------|-------|--------------|
| E. OUDEMANSI | ? | - | (82) | (12) | (19) | A,B,D. |
| CAMISIA HORRIDA | ? | (35) | (48) | (53) | (2) | C,D. |
| BELBA CLAVASENSILLA | + | (2) | (20) | (61) | - | C |
| DYOBELBA SP. 1 | ? | (7) | (56) | (61) | - | A,B. |
| DYOBELBA SP. 2 | + | (10) | - | - | - | C |
| EPIDAMAEUS SP. | ? | - | - | - | (10) | D |
| E. MITLSENSILLUS | + | - | (74) | (10) | - | A,B. |
| SCAPHEREMAEUS SP. | ? | (46) | (10) | (28) | - | C |
| DOMETORINA SP. | ? | (7) | (53) | (82) | - | C |
| SCHELORIBATES SP. | ? | (15) | (76) | (48) | (50) | A,B,C,D. |
| TRICHORIBATES OCOTLICUS? | ? | (2) | (15) | (97) | - | C |
| T. TEPETLENSIS | + | (33) | (38) | (84) | (8) | A,B,D. |
| MYCOBATES SP. | ? | (10) | (51) | (35) | - | C. |
| HYPOGASTRURA SP. 1 | + | - | (10) | (15) | (44) | D,A,B. |
| SCHOETTELA DISTINCTA | + | (5) | (79) | (2) | - | A,B,D. |
| WILLEMIA PERSIMILIS | + | - | (15) | (5) | (8) | B,A. |
| XENYLLA ACAUDA | ? | (23) | (10) | (12) | - | C, A. |
| MESAPHORURA KRAUSBAUERI | + | (51) | (48) | (33) | (13) | B,A. |
| FRIESEA HOFFMANNORUM | (14) | (15) | - | - | - | C |
| ISOTOMODES KLOSTERMANI | ? | - | (5) | - | (11) | A,C. |
| JANETSCHKEBRYA SP. | (45) | (56) | (64) | (82) | (16) | A,C,B. |
| LEPIDOCYRTUS SP. | ? | (43) | (69) | (28) | (30) | A,B,C. |
| SEIRA SP. | ? | (5) | (5) | (2) | (5) | A,B. |
| SPHAERIDIA SP. | ? | (17) | - | - | - | A,B. |

*De otras localidades de la Cordillera Neovolcánica, (+) presente, (?) se desconoce.

A, Hojarasca; B, suelo; C, medios epífitos; D, musgos edáficos (colocados en orden decreciente de preferencia). La cantidad entre paréntesis es el máximo coeficiente de frecuencia en dicha altitud.

Dyobelba sp. 2, Epidamaeus sp. Friesea hoffmannorum y Sphaeridia sp.

Existe una verdadera e interesante seriación altitudinal (como lo encontrado en el Derrame del Chichinautzin por Palacios Vargas, 1981) de varias especies que se substituyen y muestran cierta afinidad a los biotopos. Por ejemplo de la familia Damaeidae, Dyobelba sp. 2 se encuentra exclusivamente en los musgos epífitos de la primera estación (ocasionalmente comparte el hábitat con B. clavasensilla) y también se ha citado de Tillandsia (Bromeliaceae) del Derrame del Chichinautzin, bajo el nombre de Belba sp. (Palacios-Vargas, 1982a). En la segunda y tercera estaciones, existen dos especies de la misma familia, Dyobelba sp. 1 y Epidamaeus mitlsensillus, que habitan en la hojarasca, y B. clavasensilla, vive en los medios epífitos. En la cuarta estación y asociada a musgos, existe una quinta especie, Epidamaeus sp. Casos similares se presentan en los colémbolos de la familia Neanuridae, por ejemplo en Friesea y Pseudachorutes, de los que existen tres especies de cada uno en dicha localidad.

Otros autores también han encontrado claras evidencias de una distribución cliserial de los ácaros oribátidos (Aoki, 1976; Aoki & Harada, 1979) en varias localidades de Japón, e Izarra (1970) la encontró para colémbolos y otros artrópodos de Argentina.

Por la presencia de otros ácaros oribátidos exclusivamente en la primera estación, como Palaeacarus sp., Hoplophorella sp., Teleioliodes sp., y otros colémbolos como Mesaphorura sp., Megalothorax incertus, Friesea sp., parece que la primera esta-

ción de muestreo es la más rica en cuanto a número de especies, sin embargo, es la más pobre en la densidad de sus poblaciones. Esto solamente se podrá comprobar cuando se conozcan completamente todos los miembros de algún grupo de los microartrópodos que tienen mayor abundancia en el suelo y anexos y se pueda obtener el índice de diversidad. Además, cabe señalar que esta estación parece compartir más grupos de distinto origen zoogeográfico.

Como hemos visto, el Popocatepetl tiene una zonación altitudinal y vegetacional muy grande, que va de menos de 3,000 m (la meseta donde está la Cordillera Neovolcánica tiene 2,000 m de altitud) a más de 4,000 m snm, con varios climas. Por lo mismo, su fauna debe compartirse ampliamente con otras elevaciones del Eje Neovolcánico donde se encuentran tipos de vegetación similares (cf. Villalpando, 1969; Rzedowski, 1978). Algunas especies ahí presentes tanto de oribátidos como de colémbolos, ya han sido citadas para otras localidades (Díaz & Palacios-Vargas, 1983; Palacios-Vargas & Norton, en prensa).

Sería muy interesante comparar la fauna del Popocatepetl (del Pleistoceno, con erupciones recientes), con la de otras grandes elevaciones de la Cordillera Neovolcánica, como el Iztaccíhuatl, que es más antiguo (Oligoceno superior-Mioceno-Plioceno) o con el Citlaltépetl (Pico de Orizaba), que es también del Pleistoceno y alcanza mayor altitud (5,650 m snm). Nos atrevemos a suponer, que es muy posible que además de compartir varias especies con el Popocatepetl, estas montañas tengan una distribución cliserial similar, además de presentar, elementos

faunfsticos diferentes.

Al comparar la similitud faunfstica de las estaciones muestreadas mediante el coeficiente de semejanza de Sörensen (1948)

$$C.S. = \frac{2c}{a+b} \times 100$$

donde a = número de especies en la estación A; b = número de especies en la estación B y c = número de especies comunes en A y B, se encontró:

| | | |
|------------------------------|----------|-----------|
| No. de especies en | I = 18 | |
| No. de especies en | II = 20 | |
| No. de especies en | III = 19 | |
| No. de especies en | IV = 12 | |
| Especies comunes en I y II | = 15 | CS = 78.9 |
| Especies comunes en I y III | = 15 | CS = 81.0 |
| Especies comunes en I y IV | = 7 | CS = 46.6 |
| Especies comunes en II y III | = 19 | CS = 97.4 |
| Especies comunes en II y IV | = 11 | CS = 68.7 |
| Especies comunes en III y IV | = 10 | CS = 64.5 |









Por lo tanto deducimos que existe mayor semejanza entre las estaciones II y III y la menor entre las I y IV, si se utilizan las especies seleccionadas, que por otro lado son las más importantes ya que son las fundamentales en el Popocatépetl.

E. Abundancia

Para los trabajos ecológicos es necesario analizar la abundancia a nivel de las diversas especies que forman las poblaciones de un ecosistema. Más que utilizar cifras exactas, muchos autores prefieren usar clases de abundancia, debido a los posibles errores del conteo de organismos tan pequeños y a la mayor facilidad para el manejo de los datos.

En ecología de microartrópodos se han usado varios sistemas de clases de abundancia entre otros autores por Cassagnau (1961), Travé (1964), e Izarra (1974). En este trabajo se decidió emplear el de Cassagnau por presentar siete clases de abundancia y porque se adapta mejor a nuestros resultados cuantitativos donde sólo ocasionalmente la fauna es muy abundante (más de 1,000 individuos por muestra).

La simbología que hemos adoptado en esta investigación es la siguiente:

| Símbolo | Clase | Individuos |
|---|-------|----------------|
|  | 0 | 0 |
|  | I | 1-5 |
|  | II | 6-10 |
|  | III | 11-20 |
|  | IV | 21-50 |
|  | V | 51-100 |
|  | VI | 101-500 |
|  | VII | 501-1000 o más |

Cabe aclarar que los microartrópodos del suelo tienen una fuerte tendencia a formar poblaciones agregadas o contagiosas,

lo que ha sido comprobado en colémbolos (Verhoff, et al., 1977) y en ácaros oribátidos (Usher, 1975). Astudillo et al. (1966) aclaran que una consecuencia de dicha característica es que en ocasiones un muestreo proporciona una alta cantidad de unidades de muestreo con recuentos muy bajos o nulos y como situación opuesta se tienen pocas unidades de muestra con recuentos elevados.

En las muestras tomadas en el Popocatepetl se encontró este caso, ciertas especies estaban representadas con más de mil individuos en una muestra y en otra, podían estarlo, poco o nada. Por ello se decidió, arbitrariamente, sumar el resultado de las tres muestras de cada biotopo y usarlo como si se tratase de una sola para realizar los análisis de abundancia mensual de las especies y la similitud biocenótica.

La variación de la abundancia mensual, por clases, de las especies seleccionadas se muestra en las figuras 31 a 42, y los promedios de cada especie (de los trece meses muestreados) por biotopo se observan en la figura 46.

Las especies que tienen la máxima abundancia en la estación I, son: Janetschekbrya sp., Lepidocyrtus sp. y Mesaphorura krausbaueri en la hojarasca y suelo (Figs. 31 y 32); M. krausbaueri, Scapheremaeus sp. y Xenylla acauda en los musgos epífitos (Fig. 33); Friesea hoffmannorum en los musgos de talud es la única especie que llega a alcanzar una abundancia de clase III en la época de lluvias.

Es notorio que en los últimos dos biotopos ninguna especie alcanza abundancias elevadas en ninguno de los meses, lo que indica una clara pobreza faunística en ellos (Figs. 33 y 34).

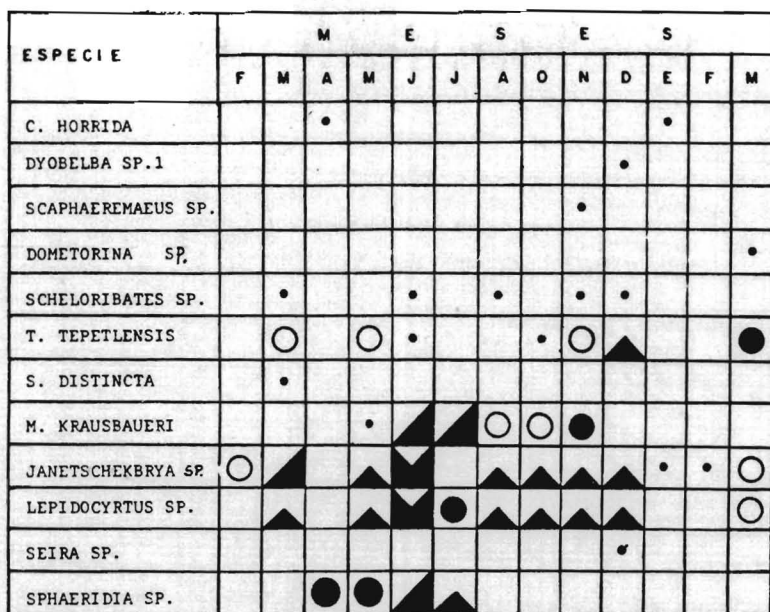


Fig. 31. Abundancia mensual de las especies en el biotopo A (hojarasca) de la estación I, (3,000 m snm).

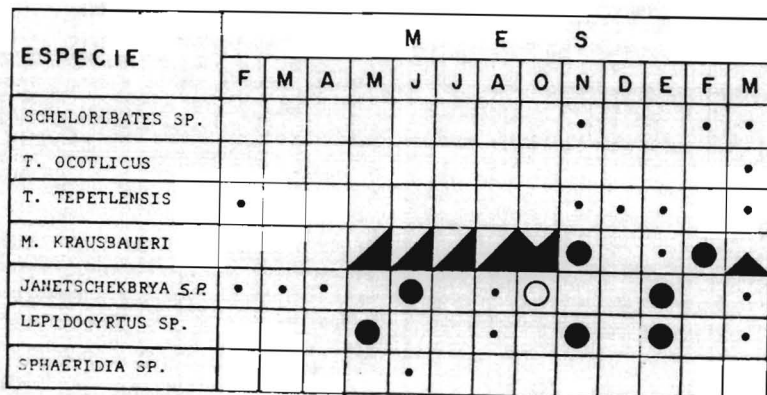


Fig. 32. Abundancia mensual de las especies en el biotopo B (suelo) de la estación I (3,000 m snm).

| ESPECIE | M E S | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F | M | A | M | J | J | A | O | N | D | E | F | M |
| C. HORRIDA | • | | | • | | ● | | • | • | • | • | • | • |
| E. CLAVASENSILLA | | | | • | | | | | | | | | |
| DYOBELBA SP.2 | | | | | | • | | • | | • | • | | |
| SCAPHEREMAEUS SP. | • | • | • | ○ | | ▲ | • | ○ | • | ● | ○ | • | • |
| LOMETOPINA SP. | | • | | | | • | | | | | | | |
| SCHLORIBATES SP. | | | | | | • | | | | | | | |
| T. OCOTLICUS | | • | | | | | | | | | | | |
| T. TEPETLENSIS | | | • | | | | | | | | | | |
| MYCOBATES S.P. | | | | | | | | | | • | | • | • |
| X. AKAUDA | | ▲ | • | | • | • | | | | | ○ | • | • |
| JANESTCHEKERYA S.P. | | | | | | ● | ● | ○ | • | | | | |
| LEPIDOCYRTUS SP. | | | | | | | | • | | | | | |
| SEIPA SP. | | | | | • | | | | • | | | | |

Fig. 33. Abundancia mensual de las especies en el biotopo C (musgos epífitos) de la estación I (3,000 m snm).

| ESPECIE | M E S | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F | M | A | M | J | J | A | O | N | D | E | F | M |
| C. HORRIDA | | | | | | • | • | • | | • | | | |
| DYOBELBA SP.1 | | | | | | | | | | • | | | |
| SCAPHEREMAEUS SP. | | | | | | | • | | | | | | |
| LOMETOPINA SP. | | • | | | | | • | | | • | | | |
| SCHLORIBATES SP. | | | | | ○ | • | • | • | | | | | |
| T. TEPETLENSIS | | | • | | | | • | • | | • | | • | |
| MYCOBATES N.S. | | | | | | | | • | | | | | |
| M. KRAUSBAUEPI | | | | | | • | • | | | | | • | |
| F. HOFFMANNOPUM | | | | | ● | ○ | • | | | | | | |
| JANESTCHEKBRYA SP. | | | | | | | | • | | | | | |
| LEPIDOCYRTUS SP. | | | | | • | | | | | | | | |
| OPHAEPIDIA SP. | | | | | • | | | | | | | | |

Fig. 34. Abundancia mensual de las especies en el biotopo D (musgos del talud) de la estación

En la estación II, la abundancia en orden decreciente es de Schoettella distincta, Schelorbates sp., Janetschekbrya sp. y Lepidocyrtus sp. en la hojarasca (Fig. 35); en el suelo estas mismas especies son las que tienen la máxima abundancia pero son superadas por Mesaphorura krausbaueri (Fig. 36). En los ambientes epífitos de esta misma estación la abundancia máxima corresponde a Domotorina sp., Mycobates sp., y Janetschekbrya sp., pero solamente la primera de ellas llega a tener una alta abundancia, clase VI, en el invierno (Fig. 37); las demás se mantienen relativamente bajas casi todo el año.

| ESPECIE | M E S E S | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F | M | A | M | J | J | A | O | N | D | E | F | M |
| E. OUDEMANSI | ▲ | ● | ▲ | | • | ● | ● | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| DYOPELEA SP.1 | • | ▲ | | • | ○ | ▲ | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| E. MITLSENSILLUS | ▲ | ○ | ● | ○ | • | ● | • | ▲ | ○ | ▲ | ▲ | ● | ▲ |
| DOMETOPINA S.P. | | | | • | | | | | | | | | |
| SCHELORIBATES SP. | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ● | ▲ |
| T. OCTLICUS | | | | • | | | | | | • | | | |
| T. TEPETLENSIS | ○ | ▲ | ○ | | • | • | | | ○ | ○ | | ▲ | |
| HYPOCASTRUPA SP.1 | | • | | | • | | ▲ | | | | | | |
| S. DISTINCTA | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ○ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| W. PERSIMILIS | | | | | ● | • | ● | | • | | • | | • |
| X. ACAUDA | | | | | | | | • | | | | | |
| M. KRAUSBAUEPI | | | | | | | ▲ | | • | • | • | | ○ |
| I. KLOSTEPMANI | | | | | | | | | | | • | | |
| JANETSCHKEBPYA S.P. | ▲ | ● | ● | | ▲ | | ● | ▲ | ● | ● | ▲ | ● | ▲ |
| LEPIDOCYRTUS SP. | ▲ | ● | ● | ▲ | ▲ | | ● | ▲ | ● | ● | ▲ | • | ▲ |

Fig. 35. Abundancia mensual de las especies en el biotopo A (hojarasca) de la estación II (3,600 m snm).

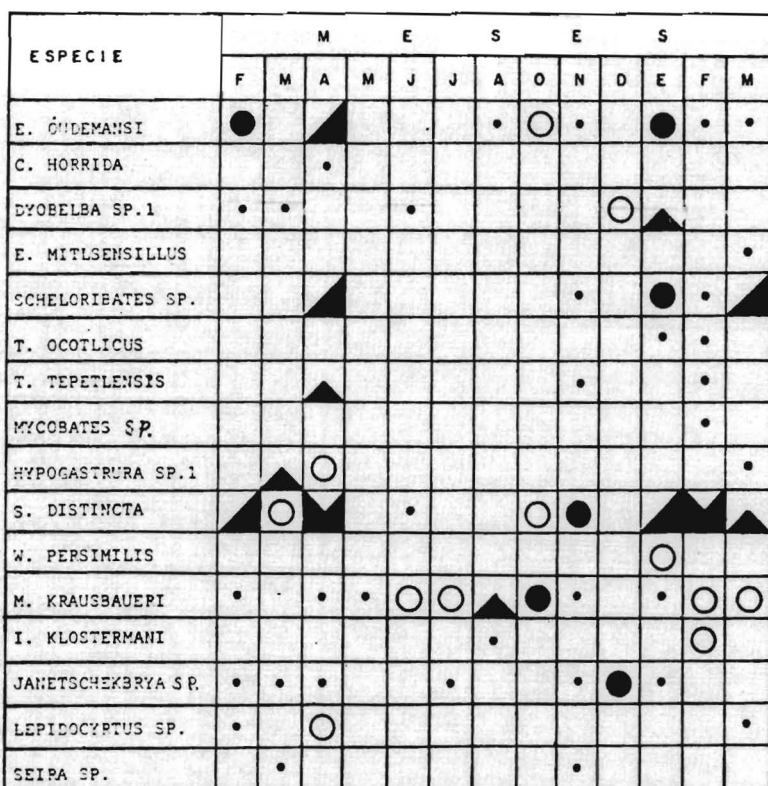


Fig. 36. Abundancia mensual de las especies en el biotopo B (suelo) de la estación II (3,600 m snm).

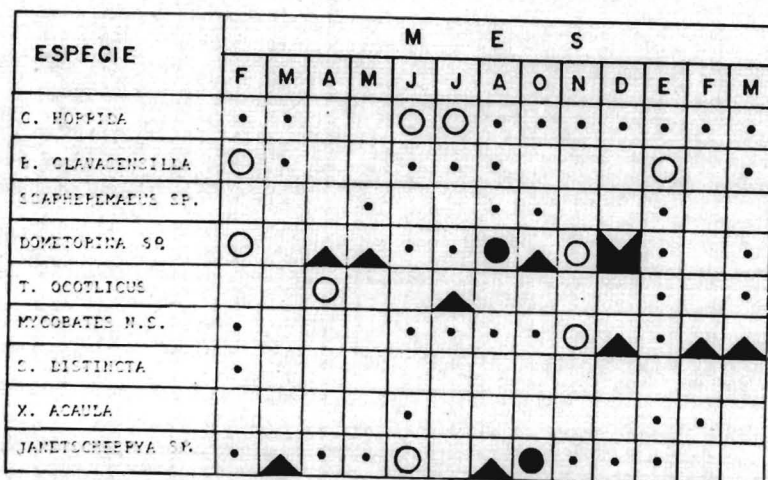


Fig. 37. Abundancia mensual de las especies en el biotopo C (musgos y líquenes epífitos) de la estación II (3,600 m snm).

Para la estación III se encontró que Trichoribates tepetlensis, Janetschekbrya sp., Schelorbates sp. y Dyobelba sp. 1 son las más abundantes en la hojarasca y también lo son en el suelo, aunque en clases menores de abundancia (Figs. 38 y 39); mientras que en los líquenes predominan T. ocotlicus y Domotorina sp. con clases de abundancia elevadas durante todo el año (Fig. 40).

En los musgos arenícolas de la pradera alpina (estación IV) la especie predominante en forma constante es Schelorbates sp.

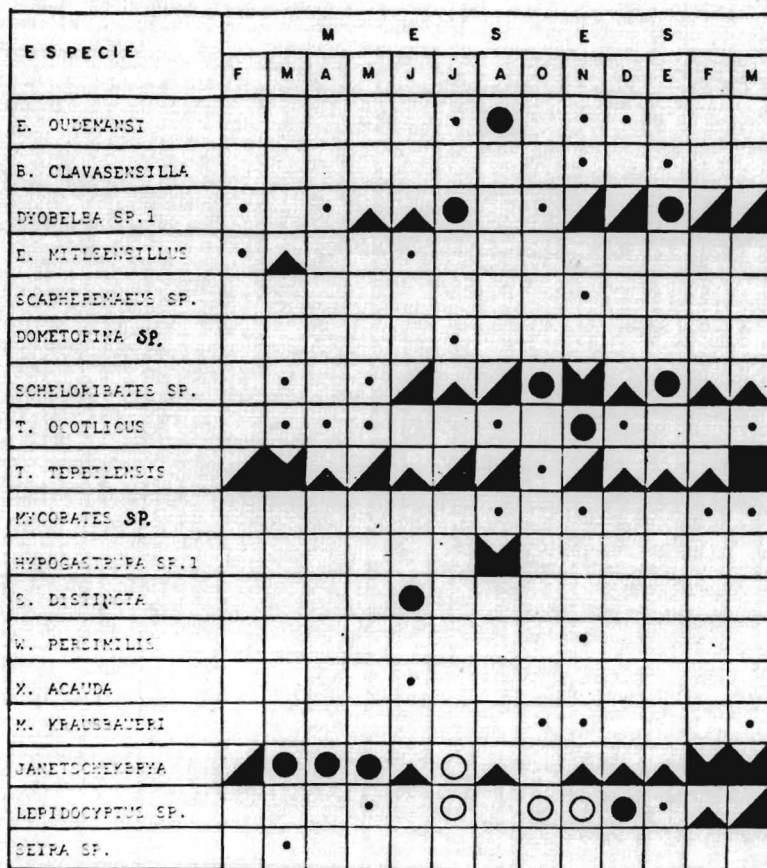


Fig. 38. Abundancia mensual de las especies en el biotopo A (hojarasca) de la estación III (3,900 m snm).

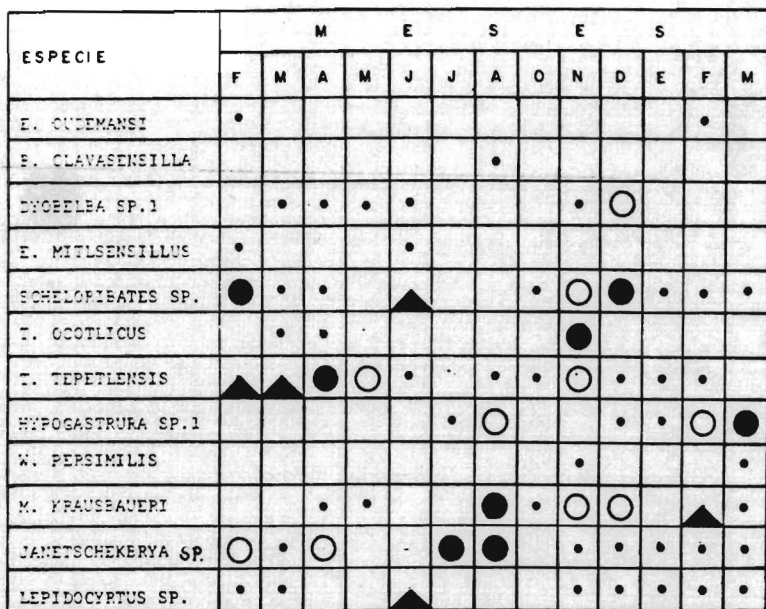


Fig. 39. Abundancia mensual de las especies en el biotopo B (suelo) de la estación III (3,900 m snm).

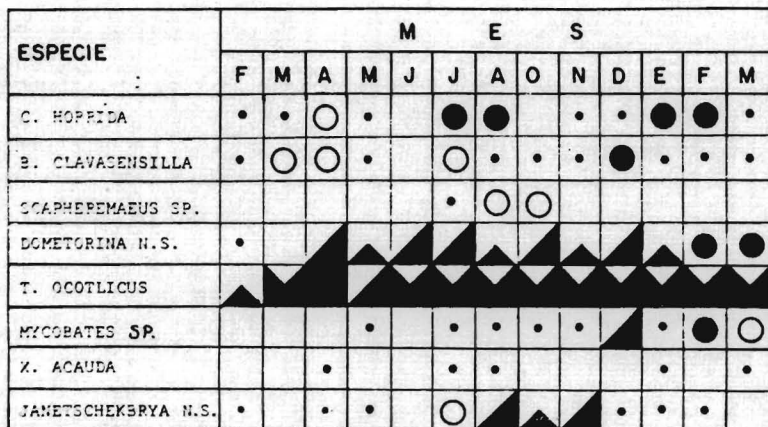


Fig. 40. Abundancia mensual de las especies en el biotopo C (líquenes epífitos) de la estación III (3,900 m snm).

(Fig. 41), al igual que en los cojinetes de Arenaria bryoides, donde también alcanza abundancias considerables Hypogastrura sp. 1 (Fig. 42).

Al comparar las figuras se observa claramente que es en la hojarasca de la segunda estación de muestreo donde más especies mantienen una abundancia considerable a través de todo el año. También es notorio que en los biotopos donde están representadas menos especies, la abundancia es alta y constante, como en los ambientes epífitos de la estación III (Fig. 40).

La poca abundancia y frecuencia de los colémbolos en los ambientes epífitos se debe a que por lo general sólo los invaden ocasionalmente y sobre todo en la época lluviosa, como ha sido demostrado por Bowden et al. (1976), una excepción es Xenylla acauda que tiene un coeficiente de frecuencia mayor en dichos ambientes que en cualquier otro (Fig. 24).

Si bien la mayoría de los colémbolos presentan una migración vertical constante en suelo, hojarasca, musgos y líquenes epífitos, varios oribátidos son más estables en los biotopos epífitos, como lo ha encontrado Aoki (1973) y tienen ciertas adaptaciones morfofisiológicas a dichos biotopos que han sido citadas por Travé (1963) y Norton y Palacios-Vargas (1982).

Parece interesante anotar que pensamos que, las grandes diferencias de abundancia entre las especies que habitan la hojarasca y el suelo se deben a la elevada permeabilidad que tienen los suelos del Popocatepetl y que se acentúan cuando la capa de hojarasca es delgada permitiendo una rápida evaporación de la humedad.

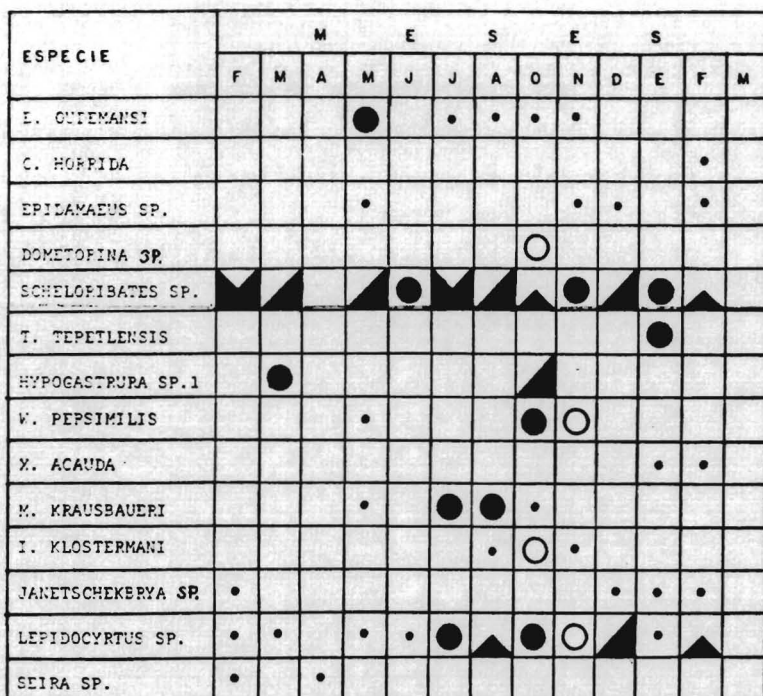


Fig. 41. Abundancia mensual de las especies en el biotopo D (musgos arenícolas) de la estación IV (4,000 m snm).

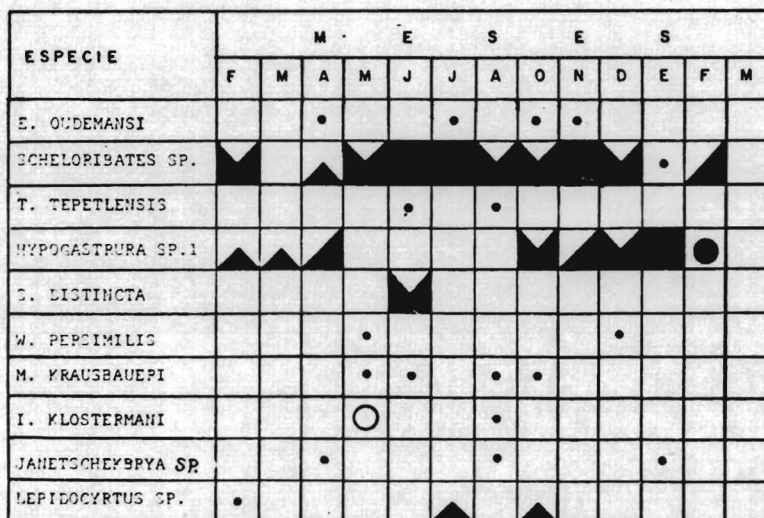


Fig. 42. Abundancia mensual de las especies en el biotopo E (cojinetes de Arenaria bryoides) de la estación IV.

F. Afinidad Biocenótica

El coeficiente cenótico (Ca), a biocenótico, calculado por el método de Sørensen, permite comparar la afinidad ecológica que tienen las especies, dos a dos, para ocupar el mismo biotopo.

$$Ca = \frac{Pab \times 100}{Pa + Pb - Pab}$$

Pab = número de muestras en que cohabitan las especies "a" y "b".

Pa = número de muestras con "a"

Pb = número de muestras con "b"

Se calculó el coeficiente biocenótico entre las especies Trichoribates ocotlicus y I. tepetlensis porque perteneciendo al mismo género parecen tener un biotopo particular cada una, además que tienen una permanencia del 100% en la estación III. Para los colémbolos se usaron las especies Janetschekbrya sp. y Lepidocyrtus sp. porque prácticamente se encuentran en todos los biotopos de las cuatro estaciones de muestreo y porque alcanzan los más altos porcentajes de permanencia en la hojarasca. Estas cuatro especies también son las que alcanzan los más altos coeficientes de frecuencia por lo que son las especies fundamentales y más importantes del Popocatepetl.

| sp. vs. sp. | I | | | | II | | | III | | | IV | |
|---------------------------|------|------|---|---|------|----|---|------|------|-----|------|---|
| | A | B | C | D | A | B | C | A | B | C | D | E |
| <u>Lepidocyrtus</u> sp. | 48.1 | 24.4 | 0 | 0 | 81.2 | 20 | 0 | 26.4 | 23 | 5.5 | 16.6 | 0 |
| <u>Janetschekbrya</u> sp. | | | | | | | | | | | | |
| <u>I. ocotlicus</u> | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.5 | 0 | 0 | 27.2 | 23.5 | 0 | 0 | 0 |
| <u>I. tepetlensis</u> | | | | | | | | | | | | |

Coefficientes biocenóticos de dos especies de colémbolos y dos de ácaros oribátidos.

Como se puede ver a partir de estos resultados, el coeficiente biocenótico es muy alto para las dos especies de colémbolos en la hojarasca y suelo, pero es nulo en los medios epifíticos. Para los oribátidos solamente existe este coeficiente en forma regular para la estación III, pero sólo en la hojarasca y suelo. El mismo coeficiente se aplicó para otros pares de especies, pero el resultado que se obtuvo fue nulo o poco significativo.

En otros casos es muy claro que no existe ninguna afinidad biocenótica, ya que cada biotopo es ocupado preferentemente o sólo por una especie particular y no existen especies cercanas del mismo género (v. gr. Dyobelba sp. 2, F. hoffmannorum, Epidamaeus sp.).

También se determinó la existencia de asociaciones entre especie y especie para ver si están o no distribuidas independientemente, usando los mismos ácaros y colémbolos, por el método empleado por Poole (1974), con la siguiente fórmula:

$$\chi^2 = \frac{(ad - bc)^2 n}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

Se encontró que las dos especies de ácaros Trichoribates no están distribuidas independientemente en la hojarasca de la tercera estación y que los colémbolos Janetschekbrya sp. y Lepidocyrtus sp. en la hojarasca de la segunda estación, parecen tener cierta dependencia. Sin embargo, la misma prueba se realizó para estos y otros pares de especies en todos los demás biotopos, resultando siempre que están distribuidas en forma independiente.

Esto significa que las especies de ácaros oribátidos y los colémbolos están actuando independientemente entre ellos y que por lo general, cuando menos en la zona estudiada, tienen más influencia los factores abióticos que la presencia de especies poco abundantes o raras en determinados biotopos.

G. Similitud Biocenótica

Se elaboró una matriz de similitud con base en la métrica de Manhattan (Fig. 44), usando sólo la presencia de las especies seleccionadas con indicadoras (Fig. 43) y con el método UPGMA (Cristi & López A., 1983) se obtuvo un dendrograma (Fig. 45) en el que los biotopos C (ambientes epífitos) de las estaciones II y III tienen el máximo de similitud y los biotopos IA y ID (hojarasca y musgos edáficos) de la primera estación también son muy cercanos, así como los biotopos A (hojarasca) y B (suelo) de las estaciones de muestreo II y III. La biocenosis de Arenaria bryoides (IV E) es similar a las mencionadas de la III. Se observó que, el biotopo más disímil de todos es el IV D (musgos arenícolas de la cuarta estación).

En dicho dendrograma se forman dos grupos donde la estación I y los biotopos epífitos quedan muy separados de los demás. Esto se debe a la poca diversidad que tienen estos ambientes epífitos y a que los biotopos de la primera estación son los más pobres porque son parte de un bosque reforestado donde la hojarasca no tiene una adecuada integración, debido principalmente a factores abióticos que no proporcionan el medio adecuado para el desarrollo de una fauna rica y diversa.

Considerando que se trata de ver la similitud biocenótica y teniendo en cuenta que la biocenosis es un conjunto de poblaciones de distintas especies en un biotopo determinado, se creyó más conveniente incluir en los datos la abundancia relativa (por clases de abundancia); con estos datos (Fig. 46) se confeccionó otra matriz de similitud (Fig. 47) y otro dendrograma (Fig. 48), que nos parece un mejor reflejo de similitud biocenótica entre los 12 biotopos.

En este nuevo dendrograma se nota que los biotopos IB y ID (suelo y musgos del talud de la primera estación) son los de mayor similitud faunística. Esto es debido a que también son los

| ESPECIE / BIOTOPO | IA | IB | IC | ID | IIA | IIB | IIC | IIIA | IIIB | IIIC | IVD | IVE |
|--------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|
| E. OUDEMANSI | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| C. HORRIDA | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| B. CLAVASENSILLA | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| DYOBELBA SP. 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| DYOBELBA SP. 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EPIDAMAEUS SP. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| E. MITLSENSILLUS | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| SCAPHEREMAEUS SP. | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| DOMETORINA SP. | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| SCHELORIBATES SP. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| T. OCOTLICUS | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| T. TEPETLENSIS | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| MYCOBATES SP. | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| HYPOGASTRURA SP. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| S. DISTINCTA | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| W. PERSIMILIS | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| X. ACAUDA | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| M. KRAUSBAUERI | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| F. HOFFMANNORUM | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I. KLOSTERMANI | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| JANETSCHEKBRYA SP. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| LEPIDOCYRTUS SP. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| SEIRA SP. | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| SPHAERIDIA SP. | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fig. 43. Presencia-ausencia de las especies seleccionadas en los diferentes biotopos.

| | IA | IB | IC | ID | IIA | IIB | IIC | IIIA | IIIB | IIIC | IVD | IVE |
|------|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|
| IA | X | 7 | 7 | 3 | 11 | 10 | 11 | 10 | 11 | 12 | 10 | 10 |
| IB | | X | 10 | 7 | 10 | 11 | 12 | 13 | 7 | 11 | 11 | 7 |
| IC | | | X | 9 | 14 | 13 | 5 | 9 | 13 | 5 | 11 | 15 |
| ID | | | | X | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 10 | 12 | 12 |
| IIA | | | | | X | 5 | 14 | 5 | 5 | 15 | 7 | 5 |
| IIB | | | | | | X | 15 | 6 | 6 | 16 | 8 | 6 |
| IIC | | | | | | | X | 11 | 15 | 1 | 15 | 15 |
| IIIA | | | | | | | | X | 6 | 12 | 10 | 10 |
| IIIB | | | | | | | | | X | 14 | 10 | 6 |
| IIIC | | | | | | | | | | X | 14 | 16 |
| IVD | | | | | | | | | | | X | 6 |
| IVE | | | | | | | | | | | | X |

Fig. 44. Matriz de similitud de los 12 biotopos (tomando en cuenta sólo la presencia - ausencia de las especies seleccionadas).

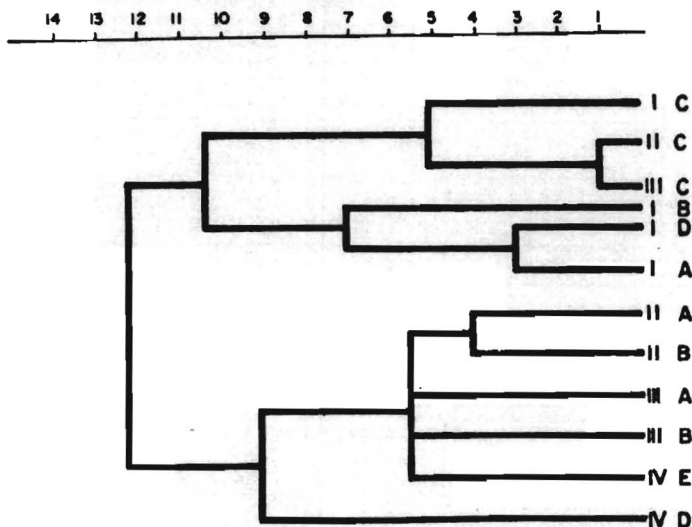


Fig. 45. Dendrograma de similitud entre los 12 biotopos (tomando en cuenta sólo la presencia de las especies).

más pobres en especies y abundancia de las mismas. El biotopo III C (ambientes epífitos de la tercera estación), queda muy distante de los demás ambientes epífitos; ésto puede deberse además a las diferencias entre los musgos y líquenes, a la gran abundancia que tienen las pocas especies que habitan los de la estación III.

Los suelos de las estaciones II y III son muy parecidos en su composición biocenótica y en sus características físico-químicas, pero la hojarasca de la estación II es la que queda más separada puesto que es muy diversa en especies y la más rica en abundancia, como se observa en la figura 35. Se piensa que ésto es debido a factores abióticos particulares, como la humedad, exposición y estructura de la hojarasca. Este último factor ya fue

| ESPECIE / BIOTOPO | IA | IB | IC | ID | IIA | IIB | IIC | IIIA | IIIB | IIIC | IVD | IVE |
|--------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| E. OUDEMANSI | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.76 | 1.3 | 0 | .46 | .15 | 0 | .58 | .33 |
| C. HORRIDA | .15 | 0 | .84 | .30 | 0 | .07 | 1.0 | 0 | 0 | 1.61 | .08 | 0 |
| B. CLAVASENSILLA | 0 | 0 | .07 | 0 | 0 | 0 | .69 | .15 | .15 | 1.3 | 0 | 0 |
| DYOBELBA SP. 1 | .07 | 0 | 0 | .07 | 2.92 | .69 | 0 | 2.84 | .53 | 0 | 0 | 0 |
| DYOBELBA SP. 2 | 0 | 0 | .30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EPIDAMAEUS SP. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | .33 | 0 |
| E. MITLSENSILLUS | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.0 | .07 | 0 | .46 | .15 | 0 | 0 | 0 |
| SCAPHEREMAEUS SP. | .07 | 0 | 1.53 | .07 | 0 | 0 | .30 | .07 | 0 | .38 | 0 | 0 |
| DOMETORINA SP. | .07 | 0 | .15 | .23 | .07 | 0 | 2.23 | .07 | 0 | 3.69 | .16 | 0 |
| SCHELOBATES SP. | .38 | .23 | .07 | .38 | 4.6 | 1.15 | 0 | 3.07 | 1.38 | 0 | 4.5 | 5.16 |
| T. OCOTLICUS | 0 | .07 | .07 | 0 | .15 | .15 | .61 | .69 | .38 | 5.84 | 0 | 0 |
| T. TEPETLANSIS | 1.15 | .38 | .07 | .38 | 1.53 | .46 | 0 | 4.53 | 1.61 | 0 | .25 | .16 |
| MYCOBATES SP. | 0 | 0 | .23 | .07 | 0 | .07 | 1.53 | .30 | 0 | 1.23 | 0 | 0 |
| HYPOGASTRURA SP. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.61 | .53 | 0 | .46 | .76 | 0 | .66 | 3.33 |
| S. DISTINCTA | .15 | 0 | 0 | 0 | 5.23 | 2.61 | .07 | .23 | 0 | 0 | 0 | .5 |
| W. PERSIMILIS | 0 | 0 | 0 | 0 | .76 | .15 | 0 | .07 | .15 | 0 | .50 | .16 |
| X. ACAUDA | 0 | 0 | .92 | 0 | .07 | 0 | .23 | .15 | 0 | .38 | .16 | 0 |
| M. KRAUSBAUERI | 1.38 | 2.84 | 0 | .23 | .69 | 1.53 | 0 | .23 | 1.15 | 0 | .66 | .33 |
| F. HOFFMANNORUM | 0 | 0 | 0 | .46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I. KLOSTERMANI | 0 | 0 | 0 | 0 | .07 | .23 | 0 | 0 | 0 | 0 | .33 | .25 |
| JANETSCHKEBRYA SP. | 2.84 | 1 | .69 | .07 | 3.0 | .69 | 1.46 | 3.69 | 1.23 | 1.69 | .33 | .25 |
| LEPIDOCYRTUS SP. | 2.69 | .84 | .07 | .07 | 3.15 | .30 | 0 | 1.53 | .84 | 0 | 2.16 | .75 |
| SEIRA SP. | .07 | 0 | .15 | 0 | 0 | .15 | 0 | .07 | 0 | 0 | .16 | 0 |
| SPHAERIDIA SP. | 1.15 | .07 | 0 | .07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fig. 46. Abundancia promedio de las especies seleccionadas en cada biotopo muestreado.

| | IA | IB | IC | ID | IIA | IIB | IIC | IIIA | IIIB | IIIC | IVD | IVE |
|------|----|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IA | X | 7.8 | 12.81 | 9.3 | 24.64 | 13.18 | 14.65 | 16.12 | 10.39 | 22.79 | 12.7 | 17.35 |
| IB | | X | 8.65 | 5.73 | 29.62 | 9.18 | 15.23 | 19.0 | 6.57 | 19.33 | 11.67 | 13.26 |
| IC | | | X | 6.35 | 33.47 | 12.79 | 7.12 | 20.97 | 11.56 | 15.66 | 13.83 | 15.46 |
| ID | | | | X | 26.47 | 9.87 | 9.04 | 19.0 | 8.84 | 17.04 | 10.71 | 11.80 |
| IIA | | | | | X | 23.04 | 35.09 | 21.34 | 24.27 | 42.77 | 21.87 | 26.31 |
| IIB | | | | | | X | 16.17 | 19.25 | 6.77 | 24.31 | 10.69 | 13.51 |
| IIC | | | | | | | X | 21.43 | 13.08 | 8.74 | 17.52 | 18.84 |
| IIIA | | | | | | | | X | 13.19 | 28.95 | 16.76 | 19.19 |
| IIIB | | | | | | | | | X | 21.1 | 10.5 | 11.84 |
| IIIC | | | | | | | | | | X | 25.52 | 26.84 |
| IVD | | | | | | | | | | | X | 7.40 |
| IVE | | | | | | | | | | | | X |

Fig. 47. Matriz de similitud de los 12 biotopos tomando en cuenta la abundancia de las especies seleccionadas.

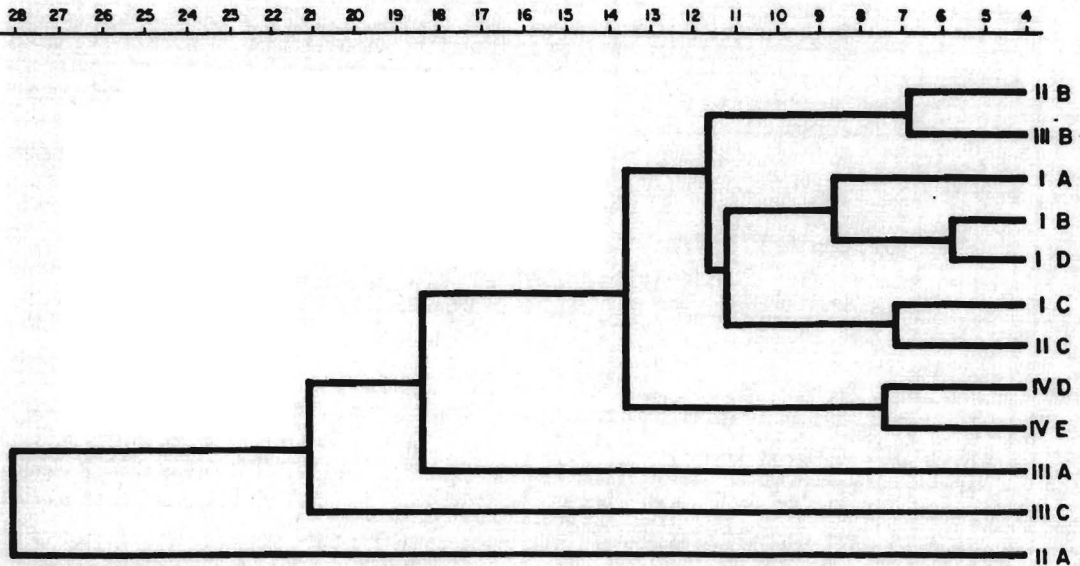


Fig. 48. Dendrograma de similitud entre los 12 biotopos. (tomando en cuenta la abundancia de las especies).

señalado por Stevenson et al. (1982) como de gran importancia para la abundancia de las especies; como se describió en la sección correspondientes que es en la estación II donde la capa de hojarasca tiene el mayor grosor y conserva más la humedad.

Otra diferencia entre ambos dendrogramas y que está a favor de la bondad del segundo, es que los biotopos de la estación IV (pradera alpina) son más pa- recidos entre sí que con cualquier otro, tomando en cuenta la abundancia de las especies que constituyen sus biocenosis. Esto es normal, ya que ambos biotopos están expuestos a las mismas condiciones climáti- cas que son más severas en la pradera alpina por falta de vege- tación arbórea y un suelo verdadero.

H. Consideraciones Biogeográficas.

Comunmente, la Cordillera Neovolcánica se había considerado como frontera entre las dos grandes Regiones Zoogeográficas ame- ricanas: La Neártica y la Neotropical (Tamayo, 1953, Villalpan- do, 1968) y para varios autores era justamente el borde más aus- tral de la Neártica.

Actualmente se sabe que no existe un límite tajante entre ambas regiones y que ellas están unidas por una amplia y comple- ja zona de transición; ya que el cambio de lo neártico a lo neo- tropical es gradual y tiene lugar no sólo en México sino en toda Centroamérica (Barrera, 1968; Halffter, 1964), por lo que ha sido lla- mada "Zona de Transición Mexicana".

Para Reyes-Castillo y Halffter (1976), la fauna del Popocaté- petl corresponde a lo que Halffter (loc. cit.) ha denominado "Patrón de Dispersión Neártico". Se trata de grupos con afinida-

des y origen septentrional que ocupan los sistemas orográficos mexicanos y guatemaltecos. Tanto para los vertebrados como para los insectos, sus afinidades neárticas e incluso holárticas son muy marcadas.

Teóricamente esta cordillera ha sido considerada como un mal corredor biogeográfico (Reyes-Castillo & Halffter, op. cit.) por ser seca, en especial para las formas hidrófilas, lo que hace que el Patrón de Dispersión Neártico sea pobre en líneas filéticas. Al llegar a esta serranía, los escasos inmigrantes neárticos sufren un proceso de diversificación y especiación, al encontrarse con condiciones ecológicas más favorables en las elevaciones inferiores. Según estos autores, algunos elementos neotropicales ascienden desde la Cuenca del Rfo Balsas hasta las montañas del Sistema Volcánico Transversal. De acuerdo con este trabajo, nosotros pensamos que la Cuenca del Balsas (como se menciona en la parte de climatología), es una barrera biogeográfica para la fauna edáfica, debido principalmente a condiciones climatológicas, como es el déficit de lluvias durante siete meses (Fig. 8) y que la poca fauna neotropical que se encuentra debió llegar al Popocatepetl a través de la Sierra Madre Oriental.

Barrera (loc. cit.) al analizar la fauna mastozoológica de esta zona distingue cuatro grupos de diferente filiación faunística: a) géneros de amplia distribución holártica; b) géneros representados sólo en la Región Neártica, pero incluidos en familias con representantes paleárticos y aún sudamericanos; c) géneros incluidos en familias exclusivamente norteamericanas (o

con muy escasos representantes en Sudamérica) y d) géneros de familias de amplia distribución Neotropical, que por cierto es el grupo menos representado, pues lo está sólo por dos especies. Esto indica que la fauna de la Sierra Volcánica Transversal tiene afinidades fundamentalmente boreales en las que el elemento neártico, a nivel de especie predomina sobre el neotropical.

También existen especies relictuales, géneros y especies endémicos de algunos mamíferos como Romerolagus sp. y Neotomodon sp. (Barrera, loc. cit.) y algunos géneros de coleópteros (Bolivar y Pieltain, 1940) relictuales en el Popocatepetl.

Según Halffter (1964), la distribución de los vertebrados contrasta con la de los insectos ya que los primeros invadieron Sudamérica a partir de Norteamérica; en cambio la gran emigración de los insectos fue predominantemente de sur a norte, hasta principios del Cenozoico; sólo a finales del Cenozoico, simultáneamente con la expansión hacia el sur de la Holofauna Holártica, llegaron insectos holárticos y neárticos a México, Centroamérica y la parte norte de Sudamérica.

Dentro del sistema de Smith (1940), el Popocatepetl está incluido dentro de la Provincia Biótica Austro-Occidental de la Región Neártica, colindando al sur con la Provincia del Balsas Inferior, de la Región Neotropical.

Goldman y Moore (1946) ubican el área de estudio dentro de la Provincia Biótica del Eje Neovolcánico Transversal y mencionan que aquí están representadas todas las zonas zoogeográficas de Norteamérica y que el conjunto de fuerzas naturales ha favo-

recido la evolución de un gran número de géneros, especies y razas regionales que encontraron hábitats compatibles.

Smith (loc. cit.) considera que los grupos antiguos y aquellos cuya distribución es consecuencia de fuerzas naturales, como el viento y el agua, no son adecuados para manejarlos dentro de un sistema de provincias bióticas. Barrera (loc. cit.) opina lo mismo, añadiendo que tampoco los parásitos solos pueden ser usados para obtener conclusiones de tipo zoogeográfico.

La delimitación de las regiones biogeográficas se ha basado en los trabajos de distribución de grupos de animales superiores, pasando desapercibidas las evidencias tan útiles que se pueden obtener de pequeños organismos habitantes del suelo como son los colémbolos, ácaros, arañas y opiliones (Salmon, 1949; Rapoport, 1968).

Contrariamente a lo que opinan varios autores, el autor piensa que hay ciertos aspectos de los colémbolos, como su gran aptitud a la especialización, su estenotopía, su condición áptera, su gran dependencia de la humedad y el poco poder de dispersión de las formas endogreas, lo que los hace interesantes y valiosos en trabajos zoogeográficos. Recientemente (Palacios-Vargas & Najt, 1981; Palacios-Vargas, 1982; Cassagnau & Palacios-Vargas, 1983) descubrieron especies mexicanas de la familia Neanuridae con un alto grado de endemismo, lo que confirma la utilidad de este grupo en trabajos de biogeografía.

Por otro lado, el caso de los ácaros y colémbolos es muy complejo ya que ambos son muy antiguos, posiblemente del Devónico y la mayoría de los géneros que se hallan hoy en el mundo.

debieron existir sin cambios por largos períodos geológicos, por lo que se piensa que muchos de ellos antecedieron a la ruptura de la Pangea y a la deriva continental, por lo que ahora son cosmopolitas.

Teóricamente los géneros que tienen una amplia distribución en uno o todos los continentes sureños, pero que no existen en el hemisferio norte, son los que evolucionaron durante la época en que los continentes del sur estaban unidos en la Gondwana

(Jurásico); por otro lado, los que se encuentran ampliamente representados en el Hemisferio Norte, lo estaban en la antigua Laurasia (Triásico). De esta manera, los patrones de distribución más localizados son los de géneros que evolucionaron cuando las grandes masas del mundo ya tenían su posición actual (Wallwork, 1979).

A pesar del poco conocimiento de la fauna de colémbolos de América Central y del Sur, se han hecho tres importantes trabajos sobre su biogeografía, como los de Rapoport (1968 y 1971) y el de Mari Mutt (1982). Este último autor encontró que en Puerto Rico el 72% de los géneros son cosmopolitas y el restante 28% neotropicales, sin existir ninguno endémico; sin embargo a nivel de especie cita como endémicas el 19.4%.

En México se cuenta con un trabajo que trata aspectos biogeográficos de los colémbolos del Derrame del Chichinautzin, Morelos (Palacios-Vargas, 1978 y 1981), donde se observó que el 54% de las especies son holárticas, el 29% neárticas y tan solo el 16.2% neotropicales. Hay que considerar que dicha localidad

se ubica en el mismo eje volcánico que el Popocatepetl y que comparten parcialmente su fauna.

En cuanto a los ácaros oribátidos, Hammer y Wallwork (1979) sentaron las bases del conocimiento de su biogeografía al hacer una revisión mundial a nivel genérico de estos ácaros en relación con la deriva continental. Desafortunadamente los datos de la distribución y relaciones de los oribátidos mexicanos son muy escasos e incipientes. La única información existente es la proporcionada por Ojeda (1983) para el grupo de los pticoides, quien registró un 40% de géneros cosmopolitas, 30% de géneros con afinidad neártica y el otro 30% de afinidad neotropical, principalmente de localidades de la zona central y el sur de México.

De todo esto puede concluirse que siendo tan escasas las investigaciones sobre la fauna edáfica en la República Mexicana (Palacios-Vargas, 1981, 1983; Ojeda, 1983), nuestras observaciones sobre su biogeografía son preliminares y sólo cuando se tenga un mejor conocimiento de estos microartrópodos se podrán obtener conclusiones más acertadas.

Sin embargo, en el Popocatepetl, a nivel genérico se nota que de los colémbolos hay 22 que tienen una amplia distribución (75.8%): Ceratophysella, Hypogastrura, Mesaphorura, Xenylla, Onychiurus, Brachystomella, Friesea, Micranurida, Neanura, Pseudachorutes, Odontella, Folsomides, Isotomurus, Isotomodes, Pseudisotoma, Proisotoma, Lepidocyrtus, Seira, Sphaeridia, Sminthurus, Ptenothrix y Megalothorax; cuatro son holárticos (13.7%): Schoettella, Willemia, Xenyllodes e Isotoma; posiblemente dos, neárticos (6.8%): Americanura y un nuevo género de Isotomidae. Janetschekbrya probablemente es holotropical.

A nivel de especie, de las 36 existentes en la zona de estudio, nueve parecen ser endémicas de la Cordillera Neovolcánica, es decir, el 25% y son Hypogastrura sp. 1; Friesea sp. 1, Friesea sp. 2, F. hoffmannorum, Americanura imitator, A. mexicana, Janetschekbrya sp., Orchesella impavida y Janstachia-Colobourella sp.

Algunos géneros típicamente neotropicales y que hemos visto personalmente al sur de la Cordillera Neovolcánica (Neotropiella, Troglopedetes) no se han encontrado en la zona de trabajo.

Para la distribución de los ácaros oribátidos, nos hemos basado en el trabajo de Hammer y Wallwork (1979), en datos proporcionados por el Dr. Travé (Laboratorio Arago, Francia) y en determinaciones personales. Los géneros cosmopolitas son 22: Hoplophorella, Eobrachychthonius, Camisia, Belba, Eupterotegaeus, Tectocephus, Oppiella, Quadroppia, Suctobelbilla, Suctobelbella, Ceratoppia, Eremella, Scapheremaeus, Oripoda, Domatorina, Schelorbates, Peloribates, Trichoribates, Mycobates, Eupelops, Tegoribates y Anachipteria que representan el 71% de los 31 géneros encontrados. Son holárticos cuatro (13%): Palaeacarus, Epidamaeus, Ghilarovus y Propelops y los únicos neotropicales (16%) son: Dyobelba, Neoeutegaeus, un género cercano a Oppiella, Telecliodes y Oxyoppia; aunque los dos últimos han sido citados de Africa y deberían ser considerados como holotropicales.

Debido al escaso conocimiento de las especies mexicanas, solamente se indica que hay varias que parecen ser endémicas de la Cordillera Neovolcánica: Belba clavasensilla, Dyobelba sp. 1,

Dyobelba sp. 2, Epidamaeus sp., E. mitlsensillus, Neoeutegaeus sp., Scapheremaeus sp., Ghilarovus elegans, Dometorina sp., Trichoribates ocotlicus, T. tepetlensis, Mycobates sp., es decir 11 especies, el 35% de los oribátidos. Varias de estas especies son nuevas y su descripción está en proceso.

Hasta ahora hemos confirmado que 26 especies entre ácaros oribátidos y colémbolos se encuentran en otras localidades de la Cordillera Neovolcánica (Palacios-Vargas, 1982b, 1984; Palacios-Vargas & Norton, en prensa; Palacios-Vargas & Najt, en prensa) lo que apoya la idea de Goldman y Moore (1946) en considerar esta zona como una provincia biótica separada: "Provincia del Eje Neovolcánico Transversal".

Finalmente hay que señalar que en el Volcán Popocatepetl y quizás en toda la Cordillera Neovolcánica deben existir varios pisos o estratos faunísticos que son difíciles de detectar, puesto que varían según el grupo de artrópodos que se analice, la altitud y la vegetación.

Por ejemplo, en el Derrame del Chichinautzin, Morelos (2,000 - 2,650 m snm) viven varias de las especies de colémbolos que ahora registramos para el Popocatepetl (como Friesea hoffmannorum y Janteschekbrya sp.), pero existen además otras especies que no se encuentran en ninguna de las estaciones de muestreo en el volcán como Brachystomella minimicronatus (Palacios-Vargas, 1981; Palacios-Vargas & Najt, 1981). Con los ácaros oribátidos del citado derrame lávico (Palacios-Vargas, 1982a) ocurre algo similar, ya que comparte algunas especies con el Popo-

catépetl como Dyobelba sp., pero existen otras, como una diferente de Trichoribates y una de Cultrobates, género típicamente tropical.

En la zona estudiada se nota que tanto en los ácaros oribátidos como en los colémbolos existe un predominio del elemento cosmopolita o de amplia distribución (cerca del 75% a nivel genérico), sobre el holártico y el neotropical; el número de especies endémicas tanto de filiación neártica, holártica y neotropical es considerable, mayor del 25% de la fauna total.

VII. CONCLUSIONES

Esta investigación representa el primer estudio ecológico en México que incluye tanto ácaros oribátidos como colémbolos de hojarasca, suelo y medios epífitos.

Hasta la fecha se habían registrado menos de 80 especies de artrópodos para el Popocatepetl, principalmente parásitos de vertebrados; ahora se citan cerca de 170 distintos taxa de varios biotopos, aunque se considera que deben existir mucho más especies de microartrópodos de vida libre.

Además de las nuevas especies para la ciencia, que se describirán posteriormente, se encontraron dos nuevos registros de colémbolos para el país: Xenylla acauda e Isotomodes klostermani y 25 de ácaros oribátidos: Palaeacarus sp., Eobrachychthonius oudemansi, Camisia horrida, Teleioliodes sp., Dyobelba sp. 1, Dyobelba sp. 2, Epidamaeus sp., Eupterotegaeus sp., Neoeutegaeus sp., Ceratoppia sp., Tectocephus sp., Opiella sp., Oxyoppia sp., Quadroppia sp., Suctobelbila sp., Suctobelbella sp., Eremella sp., Scapheremaeus sp., Oripoda sp., Domatorina sp., Peloribates sp., Propelops sp., Mycobates sp., Eupelops sp., Tegoribates sp. y Anachipteria sp.

Del total de 61,064 ejemplares recolectados en todo el período de muestreo, los grupos mejor representados son los colémbolos (38 especies) y los oribátidos (34 especies) que tienen la mayor abundancia, 33.2 y 29.3% respectivamente; después están los prostigmados (21.2%) y el resto de la fauna está formado por

homópteros, arácnidos, "miriápodos" e insectos que conjuntamente hacen el 15.2% de la fauna.

El porcentaje de cada grupo para cada biotopo particular, muestra su importancia en dicho hábitat. Así por ejemplo, los colémbolos son los dominantes en la hojarasca (42.7%) y el suelo (53.8%) de la primera estación; pero en los musgos lo son los ácaros prostigmados (50 a 67%).

Para la segunda estación se observa que los colémbolos son el 54% del total de microartrópodos de la hojarasca y el 40% del suelo; los prostigmados son los que tienen el mayor porcentaje (35%) en los líquenes, seguidos por los oribátidos (32%).

En la hojarasca de la tercera estación, los oribátidos están mejor representados (30%); en el suelo lo están los prostigmados (30%) y en los líquenes nuevamente son los oribátidos los dominantes, con 76.9% del total de la fauna. En los musgos de la cuarta estación son los oribátidos los más abundantes, mientras que en los cojinetes de Arenaria bryoides, los colémbolos, ácaros prostigmados y oribátidos están en proporciones similares.

Se obtuvo el porcentaje de permanencia y el coeficiente de frecuencia, detectándose qué especies son fundamentales, cuáles frecuentes y cuáles accidentales.

En la hojarasca son fundamentales Janetschekbrya sp., Eobrachthonius oudemansi, Dyobelba sp. 1, Epidamaeus mitlsensillus, Schelorbates sp., Schoettella distincta, Lepidocyrtus sp. y Trichorbates tepetlensis; en los ambientes epifitos lo son: Trichorbates ocotlicus, Belba clavasensilla, Camisia horrida y

Dometorina sp., mientras que en los musgos de la pradera alpina predomina Scheloribates sp. Resalta el hecho de que las mismas especies pueden ser fundamentales, frecuentes o accidentales dependiendo del biotopo estudiado.

Para obtener los demás índices ecológicos, con base en los datos anteriores se seleccionaron trece especies de ácaros: Eo-brachthonius oudemansi, Camisia horrida, Belba clavasensilla, Dyobelba sp. 1, Dyobelba sp. 2, Epidamaeus sp., E. mitlsensillus, Scapheremaeus sp., Dometorina sp., Scheloribates sp., Trichoribates ocotlicus, T. tepetlensis, Mycobates sp., y once de colémbolos: Hypogastrura sp. 1, Schoettella distincta, Willemia persimilis, Xenylla acauda, Mesaphorura krausbaueri, Friesea hoffmannorum, Isotomodes klostermani, Janetschekbrya sp., Lepidocyrtus sp., Seira sp. y Sphaeridia sp.

Se nota que existe una clara distribución altitudinal para algunas especies, mientras que otras, ampliamente distribuidas en el volcán, tienen una importante diferencia en sus coeficientes de frecuencia según la altitud, lo que indica en que biotopos y altitudes las poblaciones están mejor desarrolladas.

La diferencia entre el número de especies de los biotopos de la estación I y la IV es de un 40%. Aplicando el coeficiente de semejanza de Sørensen se halló que la mayor similitud es entre las estaciones II y III y la menor entre las I y IV. Diez de dichas especies ya han sido citadas de otras localidades de la Cordillera Neovolcánica.

Otro parámetro importante que se analizó es la abundancia,

para la que se usaron clases de abundancia y se observa que la hojarasca de la estación II es la más rica, puesto que las especies se mantienen en clases altas durante casi todos los meses. De los medios epífitos, los de la estación III son los que presentan especies con elevada abundancia y en forma constante durante todos los meses. Por esta razón se piensa que estos son los ambientes más estables, a pesar de que en la época en que se llevó a cabo esta investigación, hubo una precipitación por debajo de lo normal.

Se obtuvo el coeficiente biocenótico para Lepidocyrtus sp. vs Janetschekbrya sp., y Trichoribates ocotlicus vs. T. tepetlensis por ser especies fundamentales en varios biotopos. Este coeficiente solamente es significativo en la hojarasca. Para las mismas especies se encontró que están distribuidas independientemente en todos los biotopos, excepto la hojarasca de la tercera estación, para las dos especies de oribátidos y para los colémbolos en la hojarasca de la segunda.

Se analizó la similitud biocenótica de los doce biotopos muestreados, primero incluyendo solamente la presencia o ausencia de las especies y después incluyendo los datos de la abundancia. Con el segundo método se obtuvo una explicación más lógica de las diferencias entre los diagramas de similitud de los biotopos.

Finalmente se encontró que los colémbolos a nivel de género son cosmopolitas en un 75%, el 13.7% son holotropicales, posiblemente el 6.8% son neotropicales y el resto de distribución

pantropical. Hasta ahora se ha visto que hay un 25% de las especies que parecen ser endémicas del Eje Neovolcánico, pero esto sólo será comprobado cuando se tenga un conocimiento más integrado y completo de los microartrópodos del país. Dichas especies son: Hypogastrura sp. 1; Friesea sp. 1, Friesea sp. 2, F. hoffmannorum, Americanura imitator, A. mexicana, Janetschekbrya sp., Orchesella impavida y Janstachia-Colobourella sp.

De los ácaros oribátidos, 71% son géneros cosmopolitas, el 13% holárticos y un 16% neotropicales. Del total de especies hasta el momento determinadas, el 35% parecen ser endémicas de la cordillera montañosa de la que forma parte el Popocatepetl y son: Dyobelba sp. 1, Dyobelba sp. 2, Epidamaeus sp., E. mitlsensillus, Neoeutegaeus sp., Scapheremaeus sp., Ghilarovus elegans, Dometorina sp., Trichoribates ocotlicus, T. tepetlensis y Mycobates sp.

VIII. RESUMEN

Se proporcionan los resultados de un estudio ecológico de los microartrópodos (principalmente ácaros oribátidos e insectos colémbolos) de los bosques y la pradera alpina del Volcán Popocatepetl.

Se seleccionaron cuatro estaciones de muestreo a diferentes altitudes: 3,000; 3,600; 3,900; 4,000 m. La primera está situada en un bosque de Pinus sp. y Juniperus lindleyi, la segunda y tercera están en el bosque de Pinus hartwegii y la cuarta en la pradera alpina.

El clima de la primera estación es un $C(w_2)$ big y en las otras un $E(T)HC(w_2)(w)g$ (según el sistema de García, 1964); la precipitación pluviométrica durante el período de muestreo (1982) fue baja en comparación con los años precedentes. Los suelos son andosoles con un pH cercano a 7 y una alta permeabilidad.

Se muestreó mensualmente de febrero de 1982 a marzo de 1983 (excepto septiembre). Se procesaron tres réplicas de cada biotopo por medio de embudos Berlese-Tullgren modificados, bajo condiciones de laboratorio, sin ninguna fuente de luz o calor. En la primera estación los biotopos fueron A, hojarasca; B, suelo; C, musgos epífitos y D, musgos de un talud. En las estaciones segunda y tercera se estudiaron A, hojarasca; B, suelo; C, musgos y líquenes epífitos y en la cuarta sólo D, musgos arcnícolas y E, cojinetes de Arenaria bryoides.

Se obtuvieron 462 muestras de las que se extrajeron más de 61,000 individuos. Se han identificado cerca de 170 distintos

taxa, principalmente Collembola (38 especies) y Oribatei (34 especies).

Para las cuatro estaciones de muestreo se indica la abundancia relativa de cada grupo en todos los biotopos analizados. Los oribátidos, colémbolos y prostigmados son los que tienen la máxima abundancia en determinados biotopos, excepto en la pradera alpina, donde los tres grupos tienen porcentajes similares.

Para determinar que especies son las más importantes ecológicamente en el Popocatepetl, se obtuvo el porcentaje de permanencia y el coeficiente de frecuencia. Con estos datos se seleccionaron 13 especies de oribátidos: Eobrachychthonius oudemansi, Camisia horrida, Belba clavasensilla, Dyobelba sp. 1, Dyobelba sp. 2, Epidamaeus sp., E. mitlsensillus, Mycobates sp., Scapheremaeus sp., Dometorina sp., Scheloribates sp, Trichoribates ocotlicus, I. tepetlensis, y once de colémbolos: Hypogastrura sp., Schoettella distincta, Willemia persimilis, Xenylla acauda, Mesaphorura krausbaueri, Friesea hoffmannorum, Isotomodes klostermani, Janetschekbrya sp., Lepidocyrtus sp., Seira sp. y Sphaeridia sp., que se usaron como indicadores de la variación altitudinal, la variación de la abundancia mensual y la similitud biocenótica de todos los biotopos analizados.

Finalmente se hace una discusión biogeográfica preliminar de la fauna de colémbolos y oribátidos del Popocatepetl, encontrándose que el elemento dominante es el cosmopolita (75%) a nivel genérico y que a nivel específico existe un 25% de endemismo con especies que posiblemente sean características de la Cordillera Neovolcánica.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Aitchison, C.W. 1979a. Winter-active subnivean invertebrates in Southern Canada. Pedobiologia, 19: 113-120.
- _____ 1979b. Winter-active subnivean invertebrates in Southern Canada, III Acari. Pedobiologia, 19: 153-160.
- André, H. 1979. Notes on the ecology of corticolous epiphyte dwellers 1. The mite fauna of fructicose lichens. Recent Advances in Acarology, Vol. I Academic Press. New York: 551-557 pp.
- _____ 1983. Notes on the ecology of corticolous epiphyte dwellers 2. Collembola. Pedobiologia, 25: 271-278.
- _____ & Ph. Lebrun. 1982. Effects of air pollution on corticolous microarthropods in the urban district of Charleroi (Belgium). Urban Ecology, 20: 191-200.
- Aoki, J. 1973. Soil mites (Oribatids) climbing trees. Proc. 3rd Int. Congress of Acarology, Prague: 59-65.
- _____ 1976. Vertical distribution of oribatid mites in Yaku Island, South Japan. Rev. Ecol. Biol. Sol., 13(1): 93-102.
- _____ 1979. Difference in sensitivities of oribatid families to environmental change by human impacts. Rev. Ecol. Biol. Sol., 16(3): 415-422.
- _____, H. Harada & A. Miyawaki. 1977. Relation between fauna of soil mites (Oribatei) and human impacts in four main natural forest regions in Kanagawa Prefecture, Central Japan. Bull. Inst. Env. Sci. Tech. Yokohama Nat. Univ., 3(1): 121-133.
- _____ & G. Kuriki. 1978. Cutting open for a forest pass and changes in the soil microarthropod fauna study in the vicinity of Tsuchiyu Spa, Fukushima. Bull. Inst. Enviro. Sci. Tech., 4(1): 165-174.
- _____ & H. Harada. 1979. Vertical distribution of oribatid mites on Mt. Senjo, Central Japan. Mem. Nat. Sci. Mus. Tokio, 12: 139-149.

- _____ & H. Harada. 1982. Environmental change and soil fauna in East Kalimantan (Borneo). Bull. Inst. Enviro. Sci. Tech., 8(2): 341-378.
- Astudillo, V.M., M.A. Morales & R. Loyola. 1966. Problemas en el análisis estadístico de poblaciones con distribución contagiosa. Progresos en Biología del Suelo. Actas del primer Coloquio Latinoamericano de Biología del Suelo. Monografías I, UNESCO. Montevideo: 359-369 pp.
- Athias, F. 1974. Les Microarthropodes du sol de la savane de Lamto. Bull. Liaison des Chercheurs de Lamto, 5: 55-89.
- _____, G. Josens, P. Lavelle & R. Schaefer. 1974. Les organismes endogés. in: Analyse d'un écosystème tropical humide: La Savane de Lamto (Cote d'Ivoire). Bull. Liais. Cher. Lamto, 5: 1-187.
- _____, G. Josens & P. Lavelle. 1975. Traits généraux du peuplement endogé de la Savane de Lamto (Côte d'Ivoire) 1973. in: Progress in Soil Zoology, Academia. V°. CIZC, Prague, 389-397 pp.
- Atyeo, W.T. 1960. A revision of the mite family Bdellidae in North and Central America (Acarina, Prostigmata). Science Bull. Univ. Kansas, 40(8): 345-499.
- Bagnouls, F. & H. Gaussen, 1953. Saison sèche et indice xerothermique. Documents pour les cartes de productions vegetales. Serie Generalités, Tome III, Vol. I.
- Baker, E.W. 1946. New species of North and Central American mites of the family Penthaleidae (Acarina). J. Wash. Acad. Sci., 36(12): 421-425.
- Baker, W.W. & A. Hoffmann. 1948. Acaros de la familia Cunaxidae. An. Esc. nac. Cienc. biol. (México), 5 (3-4): 229-273.
- Barrera, A. 1968. Distribución cliserial de los Siphonaptera del Volcán Popocatepetl, su interpretación biogeográfica. An. Inst. Biol. Ser. Zool., 39(1): 35-100.
- Bayo, A. 1948. La primera ascensión al Popocatepetl. Monografía Histórica. Ed. Chimalhuacán. Guadalajara, Jal. México. 29 pp.

- Beaman, H.J. 1962. The timberlines of Iztaccihuatl and Popocatepetl, Mexico. Ecology, 43(3): 377-385.
- _____, 1965. A preliminary ecological study of the alpine flora of Popocatepetl and Iztaccihuatl. Bol. Soc. Bot. Mex., 29: 63-75.
- Bigot, L. & N. Poisot-Balaguer. 1978. Influence du paturage d'une manad de chevaux de race Camargue sur les communautés des invertébrés d'une sansouire. Rev. Ecol. Biol. Sol, 15 (4): 517-528.
- Block, W., S.R. Young, E.M. Conradi-Larsen & L. Somene. 1978. Cold tolerance of two Antarctic terrestrial arthropods. Experientia, 34: 1166.
- Bolivar y Pieltain, C. 1940. Sobre algunos insectos alpinos de los volcanes de México. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 1(3): 175-177.
- _____. 1941. Estudio de un Trechus alpino nuevo del Nevado de Toluca, México, Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 2: 39.
- Bonet, F. 1945. Nuevos géneros y especies de Hipogastrúridos de México (Collembola). Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 6: 13-45.
- Bonet, F. 1947. Monografía de la familia Neelidae. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 8: 133-192.
- Bowden, J., I.H. Haines & D. Mercer. 1976. Climbing Collembola. Pedobiologia, 16(4): 298-312.
- Brennan, J.M. 1960. Eight new species of Pseudochoengastia from Mexico and Panama with a revised key to species (Acarina: Trombiculidae). Acarologia, 2(4): 480-492.
- Buckman, H.O & N.C. Brady. 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. 1ra. Ed. Montañer y Simon, S.A. Barcelona, España. 590 pp.
- Butcher, J.W., R. Snider & R. Snider 1971. Bioecology of edaphic Collembola and Acarina. Department of Entomology, Michigan State University, East Lansing, Michigan: 249-288.
- Cassagnau, P. 1961. Ecologie du sol dans les Pyrénées centrales. Les biocénoses de Collemboles. Actualité scientifiques et industrielles. Hermann Ed. Paris. 235 pp.

- _____ & J.G. Palacios-Vargas. 1983. Contribution a l'étude des Collemboles Neanurinae d'Amérique Latine. Travaux Lab. Ecobiologie des Arthropodes edaphiques. Toulouse, 4(1): 1-16 + 7 pl.
- Castri, F. di & V. Astudillo. 1966. Análisis de algunas causas abióticas de la variación en la densidad de la fauna del suelo. Actas del primer Coloquio Latinoamericano de Biología del Suelo. Monografías I. UNESCO. Montevideo. 371-377.
- Christiansen, K. 1964. Bionomics of Collembola. Ann. Rev. Entomol. 9: 147-178.
- Crisci, J.V. & M.F. López A. 1983. Introducción a la taxonomía numérica. Sec. Gra. O.E.A. Prog. Reg. Des. Cient. y Tec. Washington, D.C. 132 pp.
- Cruz C., R. 1969. Contribución al conocimiento de la ecología de los pastizales en el Valle de México. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, D.F. 235 pp.
- Curran, C.H. 1947. New and little known American Tachinidae. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., 89(2): 41-122. 134 Figs.
- Deharveng, L. & J. Travé. 1983. Ecologie des oribates (Acariens) et des collemboles (Insectes) de Kerguelen. Comité National Français de Recherches Antarctiques (CNFRA), 48: 109-140.
- Delamare-Deboutteville, C. 1951. Microfaune du sol. Des pays tempérés et tropicaux. Hermann et Cie Editeurs. 360 pp.
- Delgadillo M., C. 1971. Phytogeographic studies on alpine mosses of México. Bryologist, 74(3): 331-346.
- _____ 1979. Notes on Alpine Mosses of Mexico. Bryologist, 82(4): 629-631.
- Díaz, A. & J.G. Palacios-Vargas. 1983. Contribución a la taxonomía del género Schoettella (Collembola: Hypogastruridae) con descripción de una nueva especie de Venezuela. Caribb. J. Sci., 19(3-4): 81-91.
- Domínguez, V.I. 1975. Estudios ecológicos del Volcán Popocatepetl, Edo. de México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. 124 pp.

- Ewing, H.W. 1946. Taxonomical notes on American chiggers (larvae of the mite Family Trombiculidae), including the redescription of a genus and the description of two new species. Proc. Biol. Soc. Wash., 59: 21-28.
- Gadea, E. 1964. La zoocenosis muscícola de los biotopos altimontanos. P. Inst. Biol. Apl., 36: 113-120.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. U.N.A.M. Instituto de Geografía. México, D.F. 246 pp.
- _____, M.E. Hernández & M.D. Cardoso. 1983. Las gráficas ombrotérmicas y los regímenes pluviométricos en la República Mexicana. IX Congr. Nacional de Geografía. Soc. Mex. Geografía y Estadística, 1: 140-149.
- Gerson, U. 1969. Moss-arthropod association. Bryologist, 72: 495-500.
- Gispert G., M.C. 1983. Acarofauna asociada a Ips bonanseai Hopkins (Coleoptera: Scolytidae) Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 108 pp.
- Goldman, E.A. & R.T. Moore. 1946. The biotic provinces of Mexico. Jour. Mammal., 26: 347-360.
- Guzmán, G. 1977. Identificación de los hongos. 1ra. Ed. Limusa. México, D.F. 236 pp. + 219 láms.
- Halffter, G. 1964. La entomofauna americana, ideas acerca de su origen y distribución. Fol. Entomol. Mex., 6: 1-106.
- Hammer, M. & J.A. Wallwork. 1979. A revision of world distribution of oribatid mites in relation to continental drift. Biologische Skripten, 22: 1-31.
- Hermosilla, W. 1978. Evolución mesofaunística de una sucesión ecológica secundaria antrópica. Brenesia, 14-15: 267-277.
- _____, & I. Rubio. 1976. Structure des populations de Collemboles Poduromorphes dans une colline de la Cordillère de la Côte Chilienne. Rev. Ecol. Biol. Sol., 13(3): 477-489.
- _____, & I. Rubio. 1977. Vertikalverbreitung von Collembola Poduromorpha im Bergmassiv "El Roble" (Kustenkordillere, Chile). Pedobiologia, 17: 226-232.

- Hoffmann, A. 1960. Contribuciones al conocimiento de los trombicúlidos mexicanos (Acarina, Trombiculidae) (8a. parte) Ciencia, 20 (3-4): 99-105.
- _____ 1965. Contribuciones al conocimiento de los trombicúlidos mexicanos (Acarina, Trombiculidae) 11a. parte. Folia Entomol. Mexicana, 9: 1-18 + 4 lám.
- Izarra de, D.C. 1970. Distribución altitudinal de la microfauna edáfica en el Cerro de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Acta Zoológica Lilloana, 27: 5-24.
- _____ 1974. Algunos aspectos biológicos sobre la colembolofauna de Isla Victoria (Provincia Neuquén). Asociación Argentina de Ecología, 2(1); 55-63.
- Joose, E.N.G. 1983. New development in the ecology of Apterygota. Pedobiología, 25(4): 217-234.
- Karppinen, E. 1972. Studies on the oribatid fauna of spruce hardwood peatlands in southern Finland I. Ann. Ent. Fenn., 38 (2): 96-99.
- _____ 1977. Studies on the oribatid fauna of spruce hardwood peatlands in southern Finland. II. Ann. Ent. Fenn., 43(3): 81-86.
- Klee, G.E., J.W. Butcher & M. Zabik. 1973. DDT movement and metabolism in forest litter microarthropods. Pedobiología, 13: 169-185.
- Kuriki, G. & J. Aoki. 1982. Soil microarthropod fauna under roadside tress in Sendai with special reference to Oribatid mites. Zool. Magazine, 91(2): 165-178.
- Lavèlle, P., M.E. Maury & V. Serrano. 1981. Estudio cuantitativo de la fauna del suelo en la Región de Laguna Verde, Veracruz. Epoca de lluvias. in Estudios Ecológicos en el Trópico Mexicano. P. Reyes-Castillo Ed. Publ. Inst. Ecol., 6: 71-105.
- Lorenzo, J.L. 1957. Los Glaciares de México. Mem. Inst. Geofísica. UNAM. 1: 1-123.
- Mahoney, C.L. 1976. Soil insects as indicators of size patterns recreation areas. Jour. Forestry, 74(1): 35-38.

- Mahunka, S. 1983. Neue und interessante milben aus dem Genfer Museum XLV. *Oribatida Americana* 6: Mexico II (Acari). Revue suisse Zool., 90: 269-298.
- Mani, M.S. 1968. Ecology and Biogeography of high altitude insects. *Series Entomologica*. Vol. IV. Dr. E. Jurk N.V. Publishers. The Hague. 525 pp.
- Mari Mutt, J.A. 1982. Observaciones preliminares sobre la distribución geográfica de los colémbolos de Puerto Rico (*Insecta*). Caribb. J. Sci., 18(1-4): 29-34.
- _____ 1984. Five new species of Orchesellini from Central Mexico (Collembola: Entomobryidae: Orchesellinae). Proc. Entomol. Soc. Wash., 86(4): 808-820.
- Massoud, Z. 1971. Un élément caractéristique de la pedofaune: Les colémbos. in Pesson, P. 1971. La vie dans les sols. Aspects nouveaux études expérimentales. Gouthiers-Villars Ed. 337-388 pp.
- _____ 1979. Essai de synthese relatif a l'action des insecticides sur les collembos et les acariens du sol. Rev. Ecol. Biol. Sol, 13(1): 35-42.
- Miranda, F. 1947. Estudios sobre la vegetación de México. 5. Rasgos de la vegetación en la Cuenca del Río Balsas. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 8(1-4): 95-114. 15 láms.
- Moraza, M.L., L. Herrera & C. Pérez-Iñigo. 1980. Estudio faunístico del macizo de Quinto Real I. Acaros oribátidos (Acari, Oribatei). Ediciones Universidad de Navarra. Pamplona. 1-24.
- Moreno M., J.A., I. Bassols & A. Patiño. 1984. Contribución al conocimiento de los ácaros mesostigmados del Volcán Popocatepetl, México. XIX Congr. Nat. Entomol. Resúmenes Guanajuato, México: 11-12.
- Najt, J. 1973. Algunos conceptos sobre la biología de los suelos como ciencia de nuestro tiempo. IDIA. Suplemento No. 29: 97-105.
- Norton, R.A. & J.G. Palacios-Vargas. 1982. Nueva Belba (Oribatei: Damaeidae) de musgos epífitos de México. Fol. Entomol. Mex., 52: 61-73.

- Ojeda C., M. 1983. Contribución al conocimiento de los Ptyctimina (Acarida: Oribatei) Neotropicales. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 142 pp.
- Palacios-Vargas, J.G. 1978. Collembola (Ins.: Apter.) asociados a Tillandsia (Monoc. Brom.) en el Derrame del Chichinautzin, Mor. Su variación estacional y su seriación altitudinal. Tesis Profesional. Fac. Ciencias. UNAM. México. 170 pp.
- _____ 1981. Collembola asociados a Tillandsia en el Derrame Lávico del Chichinautzin, Morelos, México. South. Entomologist, 6(2): 87-98.
- _____ 1982a. Microartrópodos asociados a Bromeliáceas. in Salinas P.J. Ed. Zoología Neotropical. Actas del VIII Congr. Latinoamericano de Zool. Tomo I: 535-545.
- _____ 1982b. On Friesea (Collembola: Neanuridae) from Mexico and description of a new species in the genus. J. Kansas Ent. Soc., 55(1): 46-51.
- _____ 1983. Catálogo de los colémbolos mexicanos. An. Esc. nac. Cienc. biol. (México), 27: 61-76.
- _____ 1984. A new mexican Epidamaeus (Oribatei: Damaeidae). Ent. News, 95(1): 23-26.
- _____ & J. Najt. 1981. Tres nuevas Brachystomella (Collembola: Neanuridae) de México. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 117 (1-4): 263-271.
- _____ & J. Najt. Trois nouveaux Odontellidae (Collembola) du Mexique. Rev. fr. Ent. (N.S.), 7 (en prensa).
- _____ & R. A. Norton. Dos especies de Trichoribates (Oribatei: Ceratozetidae) del Volcán Popocatepetl, México. Fol. Entomol. Mex., 62 (en prensa).
- Péfaur, J.E. 1981. Composition and phenology of epigeic animal communities in the Lomas of Southern Peru. J. Arid. Environments, 4: 31-42.
- Ponge, J.F. 1980. Les biocénoses des collemboles de la forêt de Sénart. in: P. Pesson Ed. Actualités d'écologie forestier. Gauthier-Villars. Paris: 151-176.

- _____ 1983. Les collemboles, indicateurs du type d'humus en milieu forestier. Resultats obtenus au Sud de Paris. Acta Oecologica. Oecol. Gener., 4(4): 359-374.
- Poole, R.W. 1974. An introduction to quantitative ecology. MacGraw-Hill Ed. Tokyo, Japan. 532 pp.
- Ramírez V., S., I. Bassols & S. Santillán A. 1980. Hirstionyssus (Acarina: Mesostigmata) del Volcán Iztaccíhuatl, México, con descripción de una nueva especie. Fol. Entomol. Mex., 44: 157-167.
- _____, I. Bassols, A. Martínez & S. Santillán. 1983. Acaros Mesostigmata ectoparásitos de roedores en la vertiente oriental del Iztaccíhuatl. XVIII Congr. Nal. Entomol. Resúmenes. Tapachula, Chis. México: 17-20.
- Rapoport, E.H. 1968. Algunos problemas biogeográficos del nuevo mundo con especial referencia a la Región Neotropical. in Delamare-Deboutville & E.H. Rapoport. Biologie de l'Amérique Australe. CNRS & CONICIT., 4: 55-109.
- _____ 1971. The geographical distribution of Neotropical and Antarctic Collembola. Pac. Insects Mon., 25: 99-118.
- _____ & J. Najt. 1966. Ecología de los microartrópodos en suelos gley y solonchak de Bahía Blanca, Argentina. Actas Primer Coloq. Latinoamer. Biol. Suelo. UNESCO. Montevideo.: 522-546.
- Reyes-Castillo, P. & G. Halffter. 1976. Fauna de la Cuenca del Valle de México. Mem. del Sist. Drenaje Profundo del D.F. Departamento del Distrito Federal, 1: 135-180.
- Rivas de la Barrera, B.I. 1985. Contribución al estudio de los Rhagidiidae (Acarida: Prostigmata) de México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 143 pp.
- Rzedowski, J. 1975. An ecological and phytogeographical analysis of the grasslands of Mexico. Taxon, 24: 67-80.
- _____ 1978. Vegetación de México. 1ra. Ed. Limusa. Mexico. D.F. 432 pp.
- Sainz y Olvera, J.L. 1980. Los otros rostros del Popocatepetl. México Desconocido, 38: 24-26.

- Salmon, J.T. 1949. The zoogeography of the Collembola. British Science News, 2(19): 196-198.
- SEDUE. 1983. Parque Nacional "Izta-Popo". Programa integral de desarrollo. 1ra. etapa. Subsecretaría de Ecología. Dir. Gral. de Parques, Reservas y Areas Ecológicas Protegidas. México, D.F. 150 pp.
- Selga, D., J.C. Simon & M. Acon. 1977. Variations et caractéristiques de la faune des microartropodes terrestres de Sierra Nevada (Espagne). Ecol. Bull. (Stockholm), 25: 109-121.
- Shaddy, J.H. & J.W. Butcher. 1977. The distribution of some soil arthropods in a manipulated ecosystem. The Great Lakes Entomologist, : 131-144.
- Simón, J.C. 1974. Estudio de los colémbolos muscícolas de un roquedo de la Sierra de Guadarrama. Graellsia, 27: 103-132.
- Smith, H.M. 1940. Las provincias bióticas de México, según la distribución geográfica de las lagartijas del género Sceloporus. An. Esc. nal. Cienc. biol. (México), 2(1): 103-110.
- Sörensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Biol. Skar., 5: 1-34.
- Stevenson, G.B. & D.L. Dindal. 1982. Effect of leaf shape on forest litter Collembola: Community organization and microhabitat selection of two species. J. Georgia Entomol. Soc., 17 (3): 370-375.
- Tamayo, J.L. 1953. Geografía moderna de México. Librería Patria, México, D.F. 1ra. Ed. 431 pp.
- Travé, J. 1963. Ecologie et biologie des oribates (Acariens) saxicoles et arboricoles. Supplém. 14 Vie et Milieu. Hermann Ed. Paris. 267 pp.
- Usher, M.B. 1975. Some properties of the aggregations of soil arthropods: Cryptostigmata. Pedobiologia, 15: 355-363.
- Verhoef, H.A., C.J. Nagelkerke & E.N.G. Joosse. 1977. Aggregation pheromones in Collembola (Apterygota); a biotic cause of aggregation. Rev. Ecol. Biol. Sol, 14(1): 21-25.

- Villalpando, O.K. 1968. Algunos aspectos ecológicos del volcán Nevado de Toluca. México. Tesis Profesional. UNAM. México. 36 pp.
- Wallwork, J.A. 1979. Relict distribution of oribatid mites. in Recent Advances in Acarology, Vol. II. (J.G. Rodríguez Ed.) Academic Press, Inc., N.Y. USA: 63-70.
- Wilson, E.C. 1977. Climbing Popocatepetl. Mexico's famous volcano: Here's how. Terra, 15: 16-19.

X. A P E N D I C E

A. F O T O G R A F I A S

B. A N E X O.



Foto 1. Vista del Popocatépetl, camino Amecameca-Tlamacas.

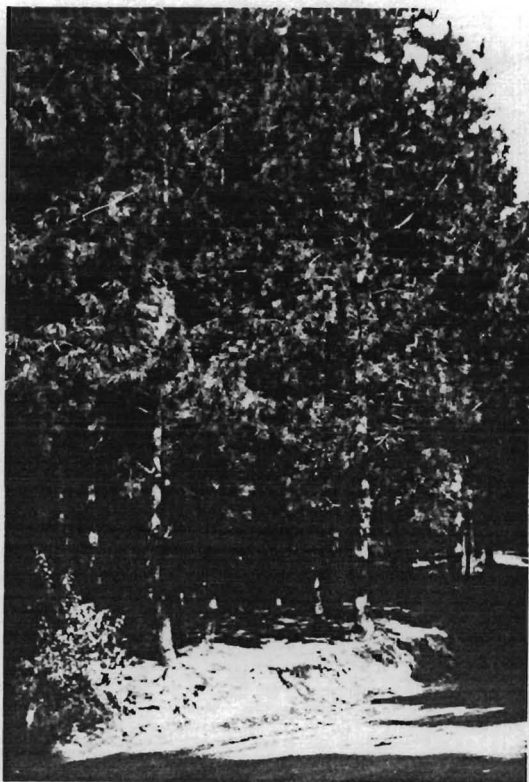


Foto 2, estación I (3,000 m snm), bosque reforestado con Pinus sp.; 3, Idem. Biotopo A, hojarasca.



Foto 4, bosque de Cupressus lindleyi, estación I; 5, idem.,
biotopo D, musgos sobre talud.



Foto 6, estación II (3,500 m snm). Bosque de Pinus hartwegii;
7, idem., zacatonal

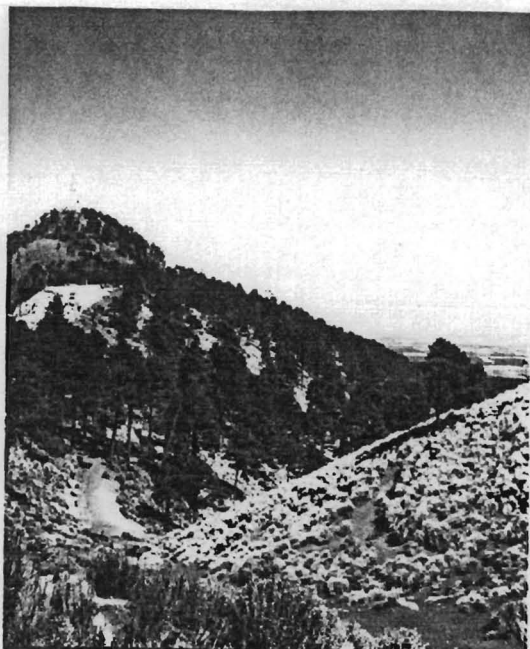


Foto 8, estación III (3,800 m snm). Bosque de Pinus hartwegii;
9, idem., Biotopo C, líquenes epífitos.

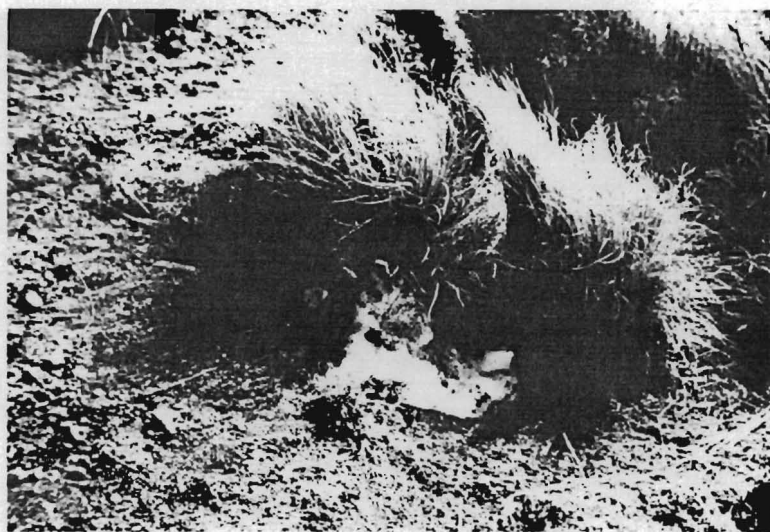


Foto 10, estación IV (4,000 m snm). Zacatonal de Festuca y Calamagrostis; 11, idem., con nieve.



Foto 12, estación IV (4,000 m snm). Biotopo D, musgos creciendo entre zacatonales; 13, idem., Biotopo E, cojinetes de Arenaria bryoides.

ANEXO 1. Lista de artrópodos del Popocatepetl.
(Oribatei y Collembola excluidos).

- CHELICERATA
 - ARACHNIDA
 - PSEUDOSCORPIONIDA
 - OLPIIDAE
 - Serianus sp.
 - FAM. NO DET.
 - ARANEAE
 - THERIDIDAE
 - LINYPHIIDAE
 - MICRYPHANTIDAE
 - ANYPHAENIDAE
 - Anyphaena rita
 - ZORIDAE
 - GNAPHOSIDAE
 - CLUBIONIDAE
 - SALTICIDAE
 - OPILIONIDA
 - FAM. NO DET.
- ACARIDA
 - MESOSTIGMATA
 - PARASITIDAE
 - Gen. sp. 1
 - Gen. sp. 2
 - ZERCONIDAE
 - PHYTOSEIIDAE
 - LAELAPIDAE
 - Hypoaspis sp.
 - UROPODIDAE
 - AMEROSEIIDAE
 - Epicriopsis sp.
 - Cheiroseius sp.
 - PROSTIGMATA
 - NANORCHESTIDAE
 - Speleorchestes sp.
 - EUPODIDAE
 - Eupodes sp.
 - Linopodes sp.
 - Cocceupodes sp.
 - RHAGIDIIDAE
 - Foveacheles rupestris
 - Poecilophysis pratensis
 - Robustocheles mucronata
 - Thoria sp.
 - PENTHALODIDAE
 - Penthaleus sp.
 - Penthalodes sp.
 - Stereotydeus mexicanus
 - PARATYDEIDAE
 - Neotydeus sp.

- TYDEIDAE
 - Tydeus sp.
 - Paratriophthyeus sp.
- BDELLIDAE
 - Bdella longicornis
 - Bdellodes sp.
 - Biscirus sp.
 - Cyta sp.
 - Odontoscirus sp.
 - Octobdellodes sp.
 - Spinibdella sp.
- CUNAXIDAE
 - Cunaxa capreolus
 - Pulaens sp.
- PYGMEPHORIDAE
 - Siteroptes sp.
- SCUTACARIDAE
 - Scutacarus sp.
- TARSONEMIDAE
 - Tarsonemus sp.
- STIGMAEIDAE
 - Stigmaeus sp.
 - Eustigmaeus sp.
- CAMEROBIIDAE
 - Camerobia sp.
- TETRANYCHIDAE
 - Bryobia (Allobia) sp.
- ANYSTIDAE
 - Tarsotomus sp.
- TROMBIDIIDAE
 - Camerorhombium sp.
- SMARIDIDAE
 - Fessonnia sp.
- ASTIGMATA
- ACARIDAE
 - Thyreophagus sp.
- MANDIBULATA
- DIPLOPODA
- CHILOPODA
- GEOPHILOMORPHA
- PAUROPODA
- SYMPLYLA
- INSECTA
- PROTURA
 - Eosentomidae
 - Eosentomon mexicanum
- THYSANURA
 - G. y sp. 1.
- PSOCOPTERA
 - EIPSOCETAE
 - G. sp. 1
 - LIPOSCOLIDAE
 - Liposcelis sp. A.
 - Liposcelis deltachi

- LACHESILLIDAE
 - Lachesilla fuscipalpis
- PSOCIDAE
 - Amphigerontia sp.
- PSYLLIPSOCIDAE
 - Psyllipsocus sp.
- CAECILIONIIDAE
 - Caecilius sp.
- THYSANOPTERA
 - THRIPIDAE
 - Frankliniella minuta
 - Frankliniella annulipes
- HOMOPTERA
 - CICADELLIDAE
 - G. sp. 1
 - APHIDIDAE
 - G. sp. 1
 - PSEUDOCOCCIDAE
 - Pseudococcus sp.
- HEMIPTERA
 - CYDNIDAE
 - G. sp. 1
 - ANTHOCORIDAE
 - G. sp. 1
 - LYGAEIDAE
 - G. sp. 1
- COLEOPTERA
 - CARABIDAE
 - 4 especies
 - PTILIIDAE
 - Smicrus sp.
 - STAPHYLINIDAE
 - 5 especies
 - EROTYLIDAE
 - G. sp. 1
 - ORTHOPEDIDAE
 - G. sp. 1
 - CUCUJIDAE
 - G. sp. 1
 - CHRYSOMELLIDAE
 - 2 especies
 - CURCULIONIDAE
 - 2 especies
 - SCOLYTIDAE
 - G. sp. 1
- DIPTERA
 - PSYCODIDAE
 - CERATOPOGONIDAE
 - CHIRONOMIDAE
 - SCIARIDAE
 - SCATOPSIDAE
- HYMENOPTERA
 - Formicidae
 - Chalcidoidea