



ROSA MARÍA GÓMEZ UGALDE

**Departament de Biologia Animal (Vertebrats)
Facultat de Biologia**

Universitat De Barcelona

Tesis Doctoral

**EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN
POBLACIONES DE PEQUEÑOS ROEDORES SILVESTRES
(*MICROTUS MEXICANUS*, *PEROMYSCUS MELANOTIS* Y
PEROMYSCUS DIFFICILIS) EN MÉXICO, D. F.**



2003



TESIS DOCTORAL

FACULTAT DE BIOLOGIA

Programa de Doctorado en Biología Animal Zoología
Bienni 1994-1996

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN POBLACIONES DE PEQUEÑOS ROEDORES SILVESTRES (*MICROTUS MEXICANUS*, *PEROMYSCUS MELANOTIS* Y *PEROMYSCUS DIFFICILIS*) EN MÉXICO, D.F.

Memoria presentada por **Rosa María Gómez Ugalde** para optar por el grado de Doctor en Biología en el Departamento de Biología Animal, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona bajo la dirección de los Doctores **Jacint Nadal Puigdefàbregas** y **José Ramírez Pulido**.

Rosa María Gómez Ugalde
Barcelona, 3 de octubre de 2003

V. B.
Dr. Jacint Nadal Puigdefàbregas
Catedràtic del Departament de
Biologia Animal (Vertebrats)
Universitat de Barcelona.

V. B.
Dr. José Ramírez Pulido
Investigador de la
Universidad Autónoma
Metropolitana - Unidad Iztapalapa

DEDICATORIA

Con Amor

A mis padres

José Gómez García † y María Ugalde Estrada†
Gracias por darme la más maravillosa de las herencias,
que me ha permitido seguir adelante después de su partida.

A mi esposo:

Emilio Martínez Ramírez
Gracias por todo el amor y apoyo que me has brindado en los momentos difíciles

A nuestras hijas:

Rosa María y Margarita
Por ser la fuente inagotable de nuestra razón de ser

A mis hermanos:

José, Alicia, Beatriz y Francisco
Por su apoyo y confianza

A todos mis profesores
Por sus enseñanzas

A mis amigos
Por los momentos que pasamos

Al pueblo de México

ÍNDICE

ÍNDICE	1
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	7
I INTRODUCCIÓN.	15
1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES Y ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO..	18
1.2 ANTECEDENTES.	22
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA ESTUDIO.	23
1.4 HIPÓTESIS.	27
1.5 OBJETIVOS.	28
1.5.1 Objetivos Particulares.	28
1.6 NIVELES DE CONTAMINANTES REPORTADOS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO (MAYO 1996-ABRIL 1997).	29
1.6.1. Sistema de Monitoreo Atmosférico.	29
1.6.2 Niveles de Contaminación.	32
1.7 CAPTURA DE ORGANISMOS.	40
1.8 BIBLIOGRAFÍA.	43
2. BIOLOGÍA DE LAS POBLACIONES DE PEQUEÑOS ROEDORES ESTUDIADAS.	49
2.1 RESUMEN.	51
2.2 INTRODUCCIÓN.	53
2.3 MATERIAL Y MÉTODOS.	54
2.4 RESULTADOS.	56
2.4.1 Diversidad de Especies.	56
2.4.2 <i>Microtus mexicanus</i>	60
2.4.3 <i>Peromyscus melanotis</i>	63
2.4.4 <i>Peromyscus difficilis</i>	68
2.5 DISCUSIÓN.	72
2.6 CONCLUSIONES.	83
2.7 BIBLIOGRAFÍA.	84

3. ESTUDIO DEL EPITELIO TRAQUEAL.....	89
3.1 RESUMEN.....	91
3.2 INTRODUCCIÓN.....	95
3.3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	97
3.4 RESULTADOS.....	105
3.4.1 <i>Microtus mexicanus</i>	105
3.4.1.1 Características Generales.....	105
3.4.1.2 Análisis Estructural.....	107
3.4.1.3 Análisis Ultraestructural.....	115
3.4.2 <i>Peromyscus melanotis</i>	119
3.4.2.1 Características Generales.....	119
3.4.2.2 Análisis Estructural.....	121
3.4.2.3 Análisis Ultraestructural.....	131
3.4.3 <i>Peromyscus difficilis</i>	143
3.4.3.1 Características generales.....	143
3.4.3.2 Análisis Estructural.....	146
3.4.3.3 Análisis Ultraestructural.....	156
3.5 DISCUSIÓN.....	164
3.6 CONCLUSIONES.....	184
3.7 BIBLIOGRAFÍA.....	186
4. ESTUDIO HISTOPATOLÓGICO.....	197
4.1 RESUMEN.....	199
4.2 INTRODUCCIÓN.....	201
4.3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	203
4.4 NIVELES DE CONTAMINACIÓN.....	204
4.5 RESULTADOS.....	206
4.5.1 <i>Microtus mexicanus</i>	206
4.5.2 <i>Peromyscus melanotis</i>	215
4.5.3 <i>Peromyscus difficilis</i>	228
4.5.4 <i>Neotomodon alstoni</i> y <i>Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis</i>	236
4.6 DISCUSIÓN.....	237
4.7 CONCLUSIONES.....	251
4.8 BIBLIOGRAFIA.....	253

5. NIVELES DE METALES.	263
5.1 RESUMEN.	265
5.2 INTRODUCCIÓN.....	269
5.3 MATERIAL Y MÉTODOS.	271
5.4 RESULTADOS.	274
5.4.1 <i>Microtus mexicanus</i>	274
5.4.1.1 Pulmón.....	274
5.4.1.2 Riñón	277
5.4.1.3 Hígado	280
5.4.1.4 Pelo.	283
5.4.1.5 Hueso.....	286
5.4.1.6 Músculo.....	290
5.4.1.7 Grasa.....	293
5.4.1.8 DISCUSIÓN.....	296
5.4.1.9 CONCLUSIONES.....	312
5.4.2 <i>Peromyscus melanotis</i>	314
5.4.2.1 Pulmón.....	314
5.4.2.2 Riñón.....	318
5.4.2.3 Hígado.....	322
5.4.2.4 Pelo.....	328
5.4.2.5 Hueso.....	335
5.4.2.6 Grasa.....	339
5.4.2.7 DISCUSIÓN.....	343
5.4.2.8 CONCLUSIONES.....	355
5.4.3 <i>Peromyscus difficilis</i>	357
5.4.3.1 Pulmón.....	357
5.4.3.2 Riñón.....	361
5.4.3.3 Hígado.....	365
5.4.3.4 Pelo.....	369
5.4.3.5 Hueso.....	375
5.4.3.6 DISCUSIÓN.....	381
5.4.3.7 CONCLUSIONES.....	389
5.5 BIBLIOGRAFÍA.....	390
6. CONCLUSIONES GENERALES	404

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación es resultado de la participación conjunta de varias personas e instituciones mexicanas y españolas, sin cuya ayuda no hubiese sido posible esta tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por proporcionar una parte del financiamiento de esta investigación (CONACYT- 2002-c01-39619) y otorgarme el apoyo económico con una beca de doctorado (1995-2000).

A mis directores de tesis el Dr. Jacinto Nadal Puigdefàbregas Catedrático del Departamento de Biología Animal (Vertebrados) en la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona (UB) y al Dr. Dr. José Ramírez Pulido Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Iztapalapa (UAMI) de México por su confianza, experiencia científica, apoyo logístico y amistad.

Al maravilloso equipo de trabajo de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAMI) de México formado por la Dra. Alondra Castro Campillo, el M. en C. Arturo Salame Méndez y el Técnico Juan Patiño por su apoyo en el trabajo de campo y de laboratorio.

A los Servicios Científico Técnicos de la Universidad de Barcelona por permitirnos realizar los análisis químicos y de microscopía electrónica.

A la Dra. Núria Cortadellas Ramentol por su apreciable ayuda durante las observaciones al microscopio electrónico de transmisión y sus valiosos comentarios que fueron de gran utilidad en la escritura de esta tesis.

A Ana Rivera Domínguez y Almudena García Soto por sus enseñanzas en las técnicas de microscopía electrónica.

A Ramón Fontarnau Griera por su valioso apoyo en el manejo del microscopio electrónico de barrido (**SEM**) y a Ana Domínguez Ximénez por su ayuda en el proceso final y durante las observaciones de las muestras analizadas por **SEM**.

A las Dras. Gloria Lacort Reverter y Elionor Pelfort Pesarrodonna y Toni Padró Sanllehí por su apoyo y dedicación durante los análisis de metales por espectrometría de emisión de masas por inducción de plasma (ICP-MS) y óptica por inducción de plasma (ICP-OES) en la unidad de Análisis Elemental.

A los técnicos Santi Mata, Silvia Martínez y Yolanda Muela por sus valiosos consejos y ayuda durante la realización del trabajo de laboratorio durante el análisis elemental

Al Dr. Miquel Borràs por el asesoramiento y ayuda en el análisis histopatológico y apreciables consejos y sugerencias en el resto de temas tratados en el presente trabajo.

A la Dra. Mercè Durfort por y sus acertados comentarios y sugerencias en la revisión del escrito que lo enriquecieron significativamente.

Al Dr. Joaquim Gosálbez, por su apoyo durante la realización de este trabajo.

A Alejandro del Giorgio Burrier y Marisol Cuñarro da Costa por su ayuda en el tratamiento y análisis de imágenes.

A la Secretaría de Medio Ambiente del Departamento del Distrito Federal por proporcionarnos gran parte de los estudios de contaminación atmosférica realizados en México.

A la Red de Monitoreo Atmosférico del Área Metropolitana de la Ciudad de México por proporcionarnos las bases de datos de los contaminantes presentes durante el periodo de realización de este estudio.

Al Grupo de Trabajo “Cambios Atmosféricos y Bosques”, COFAN-FAO, que a través de la Dra. Ma. De Lourdes de la I. De Bauer nos proporcionó los niveles de ozono registradas en 1996 en el Parque Nacional Desierto de los Leones.

Al Dr. Víctor Sánchez-Cordero de quien recibí las primeras lecciones para el estudio de pequeños roedores.

Al Dr. Emilio Martínez por sus acertados comentarios y sugerencias en la revisión del escrito.

A mis compañeros y amigos Alejandro Sánchez Chardi y M. Assumpció Sans Fuentes por sus valiosos consejos y con quienes compartí momentos inolvidables durante la realización de esta investigación y por brindarme su amistad.

A mis compañeros y amigos del Departamento de Biología Animal (Vertebrados) de la Universidad de Barcelona por los agradables momentos que pasamos.

A Montse Fresco y Dolores Lázaro, secretarías académicas del programa de Doctorado de la Universidad de Barcelona y la Universidad Autónoma de Barcelona respectivamente por tener la paciencia e interés en orientarme y ayudarme en los problemas administrativo.

A todas las personas que de alguna forma contribuyeron en la elaboración del presente trabajo.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es evaluar la influencia de la contaminación atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México sobre las poblaciones de *Microtus mexicanus*, *Peromyscus melanotis* y *Peromyscus difficilis* en los Parques Nacionales Desierto de los Leones (D) y el Ajusco (A) durante la época de seca y lluvias, para lo cual se plantearon cuatro estudios cuyos fines son: presentar una evaluación inicial de algunos parámetros poblacionales como son la actividad reproductora, proporción de sexos, peso; analizar la estructura del epitelio traqueal mediante técnicas de microscopía óptica y electrónica de transmisión (*TEM*) y barrido (*SEM*); detectar las diferencias patológicas de los principales órganos implicados en la respiración, el metabolismo, la desintoxicación y excreción de los contaminantes (pulmón, hígado, bazo y riñón), utilizando microscopía óptica; determinar la acumulación de metales en diversos órganos y tejidos y su relación con las condiciones ambientales

Para cumplir lo anterior se realizaron 12 capturas mensuales en un ciclo anual de muestreos de mayo de 1996 a abril de 1997 en el Desierto de los Leones (área más importante de recepción de los contaminantes de la ciudad) y el Ajusco (zona que recibe en segunda instancia la contaminación), en donde se empleó un promedio mensual 134 trampas Sherman cebadas con hojuelas de avena por noche de trampeo en el Ajusco y 143 en el Desierto, la mayor diferencia en el esfuerzo de captura ocurrió en junio y diciembre de 1996 con un mayor número de estaciones de trampeo en el Desierto.

Todos los ejemplares utilizados fueron preparados como material de referencia (Ramírez-Pulido *et al.*, 1989), estos se encuentran depositados en la Colección de Mamíferos de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAMI) en la Ciudad de México como cráneo y esqueleto, aunque de algunos también se conservó la piel. Las determinaciones subespecíficas se hicieron de acuerdo con Hall (1981) y para la nomenclatura taxonómica se siguió a Ramírez-Pulido *et al.* (1996).

Los resultados se presentan de forma anual, estacional (lluvias de mayo a octubre de 1996 y seca de noviembre hasta abril de 1997)

Las especies mejor representadas en las capturas a lo largo del estudio fueron en orden de abundancia *Peromyscus melanotis* (A= 191 y D= 175 organismos), *Peromyscus difficilis* (A= 51 D= 117), *Microtus mexicanus mexicanus* (A= 42 y D= 42 individuos). Las especies con menor éxito de capturas fueron *Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis* (A= 19, D= 1),

Sorex saussurei saussurei (A= 9, D= 13), *Cryptotis alticola* (A= 2, D= 3); capturándose exclusivamente en el Ajusco las siguientes especies: *Neotomodon alstoni* (6 individuos), *R. fulvescens toltecus* (1 ejemplar) y *Sorex ventralis* (2 individuos). Algunos organismos de *P. melanotis* y *P. difficilis* se liberaron *in situ* y al azar y otros fueron destinados a un proyecto de reproducción en cautiverio utilizándose solo para el éxito de captura.

En *P. melanotis* y *M. mexicanus* no se encontraron diferencias significativas en el peso de los individuos y en el índice de condición del cuerpo (relación peso-talla), aunque si se obtuvieron en *P. difficilis*. Las tres especies estudiadas presentan signos de actividad reproductora en casi todo el periodo de estudio con pequeñas diferencia entre zonas de estudio.

En el estudio estructural del epitelio traqueal no se detectaron diferencias significativas en el porcentaje de área ocupada por células ciliadas en *M. mexicanus*, *P. melanotis* y *P. difficilis*. No obstante en estas especies se observó la presencia de características relacionadas con estados de hiperplasia de células mucosas (evaginaciones citoplasmáticas, prominentes uniones intercelulares y gránulos de secreción) y de mucus adherido a los cilios así como cierta orientación de los cilios a presentar la menor oposición al flujo respiratorio y un epitelio heterogéneo; estas alteraciones están en mayor proporción en los ejemplares del Desierto detectándose diferencias significativas en el porcentaje de organismos que las exhibían *P. melanotis* y *P. difficilis*.

En el estudio ultraestructural del epitelio traqueal de las poblaciones estudiadas se encontró cierto grado de alteración sin llegar al 2 % necesario para considerar que presentaban una orientación anómala; no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las tres especies.

En las observaciones ultraestructurales (*SEM*) se detectaron dilataciones vesiculares epiteliales y ciliares, cilios duplicados, cilios supernumerarios, dilatación del citoplasma del cilio y desorganización en la estructura del cilio; la última lesión manifestada por la pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulos con aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina y pérdida de contactos entre los brazos de dineína con una matriz electrodensa independiente del grosor del corte del cilio, no encontrándose diferencias significativas entre los dos parques nacionales en la presencia de las alteraciones antes mencionadas.

La incidencia de estas alteraciones sugiere que el epitelio traqueal de las especies analizadas puede presentar deficiencias en la retención de contaminantes atmosféricos.

En el estudio histopatológico la principal patología pulmonar en *P. melanotis*, *P. difficilis* y *M. mexicanus* fue la presencia de neumoconiosis; en donde la mayor parte del material particulado está capturado en el interior de las células del sistema retículo-endotelial (macrófagos), tanto en un número considerable de organismos como en la intensidad. También se encontraron procesos inflamatorios e hiperplasia septal adenomatosa que se presentan principalmente y en grado mayor en las especies procedentes del Desierto, permaneciendo a lo largo del tiempo; en cambio en el Ajusco estas afecciones tienen clara distribución temporal, relacionada con la reducción de contaminantes en la Ciudad de México producto de la lluvia.

En las muestras de hígado de los organismos analizados se detectaron diversas patologías entre las que destacaron los procesos inflamatorios, acompañados por necrosis celular en mayor grado en *P. melanotis* y pigmento en las células de Küpffer en *P. difficilis*; ambos casos son más frecuentes e intensos en los individuos del Desierto. En *M. mexicanus* la única patología a destacar en el hígado son los procesos vinculados con la secreción de glucocorticoides sin que se observara un deterioro orgánico del individuo.

Un hallazgo inesperado en *P. melanotis* fue la presencia de *Toxoplasma gondii*, asociado a los casos más evidentes de necrosis e inflamación en los dos sitios de colecta, pero con una distribución temporal diferente; en el Ajusco de este patógeno se encuentra de diciembre a abril mientras en el Desierto desde septiembre hasta abril. Aunque los roedores son el hospedero principal de este endoparásito, fue una sorpresa por la dificultad que entraña el detectarlo en estudios histopatológicos.

El desarrollo de alteraciones renales es notorio en los individuos de *P. melanotis* del Desierto, con una mayor presencia de lesiones y de individuos que las padecieron.

El grado y nivel de alteración orgánicas en los tejidos analizados de *M. mexicanus*, *P. melanotis* y *P. difficilis* en apariencia no llegan a comprometer las tasas de supervivencia por enfermedades de estas especies.

Se obtuvieron diferencias significativas en al menos uno de los metales detectado en los órganos, tejidos y la grasa subcutánea analizados; pero con excepción del Rb en *M. mexicanus* el resto de elementos detectados no presentaron un patrón de variación común debido a: la afinidad específica de los metales analizados por un tejido en particular, las funciones metabólicas a las que están vinculados los metales, el efecto de la deposición ácida y posiblemente a la respuesta de la vegetación al estrés oxidante provocado por los contaminantes atmosféricos. Siendo de particular interés los niveles detectados de rubidio en las tres especies y de forma particular las concentraciones más elevadas en *M. mexicanus* en el Ajusco, en comparación con *P. melanotis* y *P. difficilis*.

M. mexicanus presentó diferencias significativas en el espacio y tiempo (entre los dos parques nacionales y las épocas de lluvias, seca), de estas diferencias las más sobresalientes entre áreas de estudio fueron: en Pulmón los valores de más elevados de Cr en el Desierto y Rb en el Ajusco; en el riñón en los valores obtenidos de Cr, Cu, Rb, Sn, Zn y Mg durante la temporada de lluvias con concentraciones promedio más elevadas en el Desierto con excepción del rubidio cuyo valor mayor se encuentra en el Ajusco, el cual además presentó diferencias en la temporada seca y comportamiento estacional en el Desierto; en hígado las diferencias se dieron en los valores más elevados de Cd, Mo, Rb y Pb en los ejemplares del Ajusco durante la temporada de lluvias principalmente y observándose un comportamiento estacional en el Desierto en el Rb y Cd; el hueso con el Ba, Sr y Zn Mn, Pb, y Rb, los valores más elevados de los tres primeros metales están en el Desierto y los de los tres últimos en el Ajusco, el comportamiento estacional se observó en el Rb en el Ajusco y el Zn en el Desierto; el tejido muscular con diferencias significativas en los valores de Al, Fe y Cr las concentraciones superiores de los dos primeros metales se tienen en el Ajusco y la del último en el Desierto que además presentó comportamiento estacional en dicha zona; en la grasa subcutánea con el Rb, K y Mg, en los organismos del Ajusco presentándose comportamiento estacional en los valores de Rb obtenidos el Desierto y en el pelo con el Ba, Cu, Fe, Mo, Sn, Zn, Co y Rb, cuyas concentraciones son superiores en los ejemplares del Ajusco con excepción del Ba que tiene un valor mayor en el Desierto y detectándose un comportamiento estacional en las concentraciones de Co y Rb en los ejemplares del Desierto.

En *Peromyscus melanotis* existieron diversas diferencias significativas en el espacio y tiempo, dichas diferencias se detectaron en : el pulmón en el Mo, Ni y K con concentraciones superiores en el Desierto en tanto que las del Rb fueron superiores en el Ajusco mientras que a nivel estacional por zona de captura se detectaron en el Ni en el Desierto; en el riñón los valores de Cd, Cu, Mo, Fe y Rb, las concentraciones más elevadas de de los tres primeros se presentan en el Desierto y los dos últimos en el Ajusco, observándose comportamiento estacional en las dos localidades en el Cd, Cu y Fe y exclusivamente en el Ajusco en el Rb y Si; en hígado el Al, Cd, Cr, Fe, Pb y Rb fueron superiores en el Ajusco, en tanto que las concentraciones de Cu y Mo fueron mayores en el Desierto y comportamiento estacional en el Al, Cd, Cr, y S; en el hueso en el Al, Ba, Mn, Pb y Rb los valores más elevados de los tres primeros metales están en el Desierto y los de los dos últimos en el Ajusco, siendo el Pb el único elemento que presentó comportamiento estacional en el Ajusco; en la grasa subcutánea en Al, Cr, Cu y Mn con concentraciones más elevadas en el Desierto y en el pelo se dieron en; Al, Ba, Cd, Fe, Mn, Mo, Pb, Ti, K, Na, P y S, con concentraciones más levadas en los

ejemplares del Desierto con excepción del Pb, el comportamiento estacional detectado en las dos áreas de estudio correspondió al Rb, K y Mn mientras que en Na y Mn sólo se presentó en el Ajusco en tanto que el Al, Fe, Ti y S ocurrieron en el Desierto.

En *Peromyscus difficilis* las diferencias significativas más sobresalientes fueron: en el pulmón en el Rb con concentraciones mayores en los ejemplares del Desierto; en el riñón en Cd, Cr y Mo superiores en el Ajusco e inferiores de Co, con diferencias a nivel estacional en Cd y Mo (Ajusco) y Ni y Cr (Desierto); en hígado los valores de Cu, Fe, Mo, Zn más elevados los presentan los individuos del Desierto. En el pelo se presenta una mayor acumulación de Al, Ba, Cu, Fe, Mo, Si, Sr, K en los ejemplares del Desierto con variaciones estacionales en el Ba y Mn; en el hueso las diferencias se localizaron en los valores más elevados de Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb, Si y Sr detectados en la temporada seca en el Desierto y las variaciones estacionales del Pb, Si y Cu. Si bien las diferencias significativas obtenidas en la temporada de lluvias muestran en algunos metales la misma tendencia que las obtenidas en la época seca estas se deben tomar con precaución debido a las diferencias en el tamaño y distribución de las muestras obtenidas en el Ajusco.

Las poblaciones presentan patrones de asimilación de Cd renal, cuyos niveles en conjunción con los valores de Pb y Al en hueso pueden estar afectando el estado nutricional y sanitario de las especies estudiadas, en mayor proporción durante la temporada seca que bien pueden haber influido en el desarrollo de un número mayor de patologías inflamatorias en los ejemplares del Desierto.

Si bien en el pulmón de estas tres especies las concentraciones de plomo no son elevadas y se encuentran en consonancia con los reportes de calidad del aire del Valle de México, se debe tomar en consideración que la tasa de deposición del material particulado en los alvéolos pulmonares en roedores puede ser menor que la de los humanos, por lo tanto las concentraciones ambientales aun pueden presentar una marcada influencia en la población humana.

En general se observa una mayor movilidad de metales en los ejemplares del Desierto que posiblemente se vea compensada transitoriamente con un mayor aporte nutricional de algunos elementos, producto de las nuevas condiciones, como puede ser el incremento de la vegetación ruderal de crecimiento rápido; sin embargo a largo plazo, dada una condición específica, como podrían ser los procesos de expulsión, el inicio de la reproducción o de determinado proceso patológico serán benéficos o perjudiciales en las nuevas condiciones imperantes en el ecosistema. Dichos mecanismos son parte de la regulación de una población sin embargo la velocidad e intensidad pueden ser modificadas por la influencia antropogénica.

Las modificaciones en las concentraciones hepáticas de Cu y Mo, renales de Cr y óseas de Mn pueden estar afectando el metabolismo de carbohidratos y lípidos en las poblaciones del Desierto y con ello al desarrollo de los ejemplares capturados en especial a *P. melanotis* y *P. difficilis*.

Tales alteraciones en los valores de los metales contribuirían en el proceso de selección natural de lo ejemplares con un mejor sistema inmunitario y/o un aporte alimenticio más adecuado, lo anterior puede conducir a la modificación de la diversidad de especies de pequeños roedores existentes en cada parque nacional; afectando con ello a las poblaciones de endoparásitos de los que son reservorios y alterando las relaciones parásito-huésped, existiendo el riesgo potencial de que los patógenos pasen la barrera natural entre las especies que no son sus huéspedes naturales.

Pequeñas alteraciones principalmente en los elementos traza pueden ocasionar trastornos bioquímicas y funcionales en los organismos; la acumulación o la falta de micronutrientes parece afectar a las poblaciones estudiadas, por lo que se plantea la implicación que puede tener el rubidio en la respuesta al estrés y por ende en los procesos de dispersión de los roedores, porque de acuerdo a las recientes investigaciones y gracias a los métodos modernos de análisis se sabe que este metal tienen un papel fundamental en cuestiones tan importantes como la actividad neurofisiológica.

El estudio de metales, como el rubidio, con escaso control homeostático y relacionado con elementos tan esenciales para la vida como el potasio y dependiente del pH, podrían ser los mejores indicadores de la movilidad de elementos y por ende de los procesos de acidificación y pérdida de nutrientes que están sufriendo los bosques del Valle de México.

La evaluación de la contaminación atmosférica es difícil de entender y explicar, similar aunque distinta por sus características propias a la influencia de los vertidos tóxicos directos al medio terrestre (agua y suelo), en parte por la gran heterogeneidad tanto en los tipos y las concentraciones de los contaminantes como en los mecanismos de contaminación que actúan sobre un ecosistema en particular, de ahí que la comprensión de la influencia de los contaminantes de la atmósfera sobre cualquier parte del ecosistema se debe hacer en un contexto integral si no se pueden llegar a conclusiones erróneas.

Posiblemente el entendimiento de dichos factores no facilita el trabajo ni reduce los costes económicos al utilizar especies de pequeños mamíferos como indicadores de la contaminación, sin embargo el coste enorme derivado de la pérdida de la biodiversidad lo justifica. Los Bosques del Valle de México han sido el hábitat natural de varias especies vegetales y animales endémicas, por lo que hemos perdido una parte y podríamos terminar

con el resto de este patrimonio biológico, lo cual es irreparable; también son la fuente principal de recarga del manto freático de la Ciudad de México, por lo que no se puede soslayar esta función, ya que la escasez del agua es uno de los problemas principales en México y en gran parte del mundo.

Los costes económicos derivados de la contaminación ambiental no solo se pueden entender en función directa del gasto en sanidad pública, ya que su influencia directa sobre cuestiones tan importantes como el deterioro en el desarrollo mental de la población infantil, que es coadyuvada por el grado de desnutrición y/o malos hábitos de alimentación de los niños mexicanos, es incalculable.

I INTRODUCCIÓN.

Desde que el hombre desarrolló su capacidad para cambiar su entorno ha generado cambios en la naturaleza en mayor o menor medida, siendo la contaminación un producto de su afán por “mejorar” su calidad de vida.

La contaminación atmosférica se ha definido como la acumulación en el aire de sustancias en concentraciones tales que provoquen daños reversibles o permanentes a seres vivos (Caselli, 1995). Hasta hace algunas décadas se pensaba que dicha contaminación era producida solo por las sociedades industrializadas, sin embargo a principios de los 70 adquirió mayor relevancia en los grandes centros urbanizados de los países en desarrollo. Entre las causas de esta forma de impacto ambiental se encuentran la utilización de combustibles impuros, el parque vehicular y la deficiencia en su mantenimiento, la intensidad energética en los procesos industriales y la falta de reglamentos eficaces en materia de calidad del aire, entre otras.

Los contaminantes atmosféricos considerados en las normas de calidad del aire a nivel internacional son: partículas suspendidas (*PS*), plomo (*Pb*), monóxido de carbono (*CO*), óxidos de azufre (*SO₂*), óxidos de nitrógeno (*NO_x*) e hidrocarburos y oxidantes fotoquímicos; los 6 primeros son emitidos en forma directa por la combustión, los procesos industriales, la erosión y los incendios (Bravo, 1987; Quadri de la Torre & Sánchez-Cataño, 1994)

Los oxidantes fotoquímicos, incluido el ozono son de origen secundario; se producen en la atmósfera como resultado de las reacciones fotoquímicas entre los contaminantes primarios, principalmente los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (Bravo, 1987; Quadri de la Torre & Sánchez Cataño, 1994).

Las partículas suspendidas (*PS*) abarcan un amplio intervalo de sólidos y líquidos, sutilmente divididos que pueden estar dispersos en el aire, las partículas menores de 10 μm constituyen la fracción respirable (*PM₁₀*), que por su tamaño pueden llegar a los alvéolos pulmonares (Bravo, 1987; Rivero-Serrano *et al.*, 1993).

El efecto tóxico producido por las partículas respirables en el aparato respiratorio se refiere a dos tipos de acciones; una directa pues bloquean los mecanismos de defensa como la limpieza mucociliar (el hecho que las engloben les disminuye su capacidad de defensa) y una indirecta ya que, las partículas absorben agentes xenobióticos en su superficie y los transportan al pulmón (Stockinger & Coffin & 1976; Rivero-Serrano *et al.*, 1993).

Estudios sobre los contaminantes atmosféricos han demostrado que los metales pesados potencialmente tóxicos como *Pb*, *Cd*, *Cu*, *Co* y *Ni*, predominan en la fracción respirable (menos de 10 μm) de aerosoles urbanos y en las partículas emitidas por fuentes de combustión de altas temperaturas como los automóviles (Natusch *et al.*, 1974). Es importante mencionar que al disminuir el tamaño de la partícula se incrementa su superficie relativa por unidad de masa (Hoffman & Wynder, 1977), de manera que la concentración de metales y elementos xenobióticos es mayor en las partículas más pequeñas (Rivero-Serrano *et al.*, 1993).

Los compuestos de azufre proceden en parte de procesos naturales (emisiones volcánicas, bacterias anaerobias que se encuentran en el suelo, mares, pantanos y terrenos litorales) y por emisiones antropogénicas de azufre, estas últimas se encuentran en el aire en forma de óxidos de azufre, resultado del uso de combustibles fósiles y actividades industriales (Bravo, 1987)

El SO_2 es eliminado en parte por los mecanismos de absorción sobre superficies terrestres, del agua y de la vegetación. El resto experimenta transformaciones químicas generalmente en forma de ácido sulfúrico o sulfatos que son depositados por precipitación seca o pluvial, la segunda mejor conocido como lluvia ácida (Bravo, 1987).

Varias especies animales, incluido el hombre, responden al SO_2 atmosférico sufriendo un efecto broncoconstrictor, que puede ser evaluado en términos de incrementos en resistencia respiratoria y en efectos en el sistema respiratorio. El SO_2 pasa del aparato respiratorio a la corriente sanguínea, difundándose por todo el cuerpo, donde se metaboliza y elimina a través de vías urinarias (Rivero-Serrano *et al.*, 1993)

En la vegetación el SO_2 afecta su crecimiento y producción; observándose lesiones agudas y clorosis crónica. Esto ocurre por mecanismos de absorción y transformación del SO_2 a H_2SO_4 y subsecuentemente a sulfatos en las hojas o tallos, con el posterior ataque a las células vegetales (Bravo, 1987).

El CO se genera de la combustión incompleta de combustibles fósiles y sus efectos en las plantas son casi nulos a concentraciones que resultan tóxicas para los animales; cuando entra al torrente sanguíneo forma carboxihemoglobina (*COHb*), reduciendo la cantidad de oxígeno que se transporta a los tejidos del cuerpo; su impacto sobre la hemoglobina está determinado por la cantidad de aire respirado, la concentración de CO y el tiempo de exposición (Caselli, 1995).

El **CO** debilita las contracciones del corazón, reduciendo la cantidad de sangre bombeada a varias partes del cuerpo, lo que resulta en una reducción de oxígeno disponible para los músculos y distintos órganos (Bravo, 1987)

La utilización de combustibles fósiles en condiciones de temperaturas altas genera **NO** y pequeñas cantidades de **NO₂**, siendo este último el de mayor interés para la salud. El **NO** presenta un proceso lento de oxidación, transformándose en **NO₂**, sin embargo, este proceso se acelera cuando ocurren mecanismos fotoquímicos, en donde participan hidrocarburos reactivos presentes en atmósferas contaminadas (Bravo, 1987).

El efecto del **NO₂** se presenta en primera instancia en el tejido pulmonar, a concentraciones mayores de 100 ppm es letal para la mayoría de las especies animales, ocasionando edema pulmonar, cambios en la función pulmonar, modificaciones estructurales en el colágeno, alteraciones de tipo enfisematoso y ruptura de los septos alveolares (Bravo, 1987). Se ha demostrado que el gas inhalado se retiene casi en su totalidad en los pulmones, reaccionando con el epitelio alveolar, el intersticio y endotelio de los capilares pulmonares (Samet, 1987; Samet *et al.*, 1987); provocando depresión de los mecanismos de defensa y en concentraciones elevadas causa la muerte (E.H.C.4, 1977).

Otra propiedad de los óxidos de nitrógeno es la reducción de la visibilidad en la atmósfera ya que el **NO₂** absorbe energía luminosa del espectro visible, causando en el horizonte que los objetos blancos se aprecien de color amarillo pálido o café-rojizo; en presencia de partículas y aerosoles, la reducción de la visibilidad es mayor, la cual se asocia con el "smog" fotoquímico (Bravo, 1987).

El plomo que se encuentra en la atmósfera proviene en su mayor parte de fuentes antropogénicas, principalmente de la combustión de gasolinas como componente del tetraetilo de plomo que se les añade como antidetonante, asociándose a las partículas respirables; la exposición prolongada a niveles subagudos de plomo se relaciona con alteraciones en el sistema nervioso, que ocasionan un desarrollo mental restringido y alteraciones en el comportamiento (Strauss & Mainwaring, 1995).

Los oxidantes fotoquímicos resultan de una serie compleja de reacciones atmosféricas iniciadas por la luz solar. Cuando los hidrocarburos reactivos y óxidos de nitrógeno se liberan a la atmósfera y son expuestos a radiación ultravioleta (componente de la luz solar), producen compuestos oxidantes, incluyendo el ozono (**O₃**) y peroxiacetilnitratos (**PANs**).

El ozono ha sido identificado como el más abundante de los oxidantes observados. Las concentraciones de oxidantes dependen de la intensidad y duración de la radiación solar, de la temperatura y de reacciones químicas, presentándose más tarde que sus precursores (**NO_x** e

hidrocarburos). Como resultado, la relación entre precursores y oxidantes atmosféricos es menos directa y difícil de evaluar que la de los contaminantes primarios (Bravo, 1987).

En animales de laboratorio se ha reportado que exposiciones breves a concentraciones elevadas de O_3 pueden poner en peligro su salud y la severidad del daño se incrementa con la concentración, afectando principalmente el parénquima pulmonar (Mehlman & Borek, 1987; Witschi, 1988). Harkema *et al.* (1987) encontraron que ambientes con niveles de ozono de 0.15 y 0.30 ppm inducen cambios morfológicos en el epitelio nasal de macacos, Reuzel *et al.* (1990) y Nikula *et al.* (1988) confirman lo anterior en ratas; Wilson *et al.* (1984) en macacos y en ratas encontraron la presencia de cilios uniformemente cortos a concentraciones de 0.96 ppm durante 60 días, en contraste en los animales expuestos a concentraciones agudas se presentó necrosis celular y daño ciliar, sugiriendo que el epitelio de la tráquea tolera exposiciones prolongadas de O_3 , más que las agudas.

En la actualidad se reconoce que los efectos de la contaminación del aire debe de diferenciarse en aquella que sucede en episodios agudos con altos niveles de contaminación durante corto tiempo, que coincide con trastornos meteorológicos los cuales potencian el problema y la que ocurre en forma cotidiana a niveles intermedios (Rivero-Serrano *et al.*, 1993).

1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES Y ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

El Cuenca del Valle de México se ubica entre los $19^{\circ}03'53''$ y $20^{\circ}11'09''$ de latitud norte y los $98^{\circ}11'53''$ y $99^{\circ}30'24''$ de longitud oeste con una superficie de 9 560 Km²; Presenta valles íntermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco. El Valle de México esta integrado por una parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y casi la totalidad del Distrito Federal (figura 1) (S.M.A., 2000).

En la porción centro sur del valle se ubica la Zona Metropolitana del Valle de México (*ZMVM*) con una superficie de 4 925 Km² aproximadamente; compuesta por la casi totalidad del Distrito Federal (1 484 Km²) y 34 municipios del Estado de México (3 441 Km²) (INEGI, 2002) (figuras 1 y 2)

La *ZMVM* está considerada como una de las megalópolis de mayor densidad poblacional en el mundo (18 millones de habitantes), con aproximadamente 30 000 industrias de las cuales el

5 % son consideradas de gran magnitud, el 10% mediana industria y el resto (85%) pequeña y micro industria; con un parque vehicular estimado en 3,1 millones, con un consumo de combustible aproximado para 1994 de 18 millones de litros diarios (D.G.P y C.C., 1995) con una producción de contaminantes estimada para 1996 de NO_x de 121 459 toneladas/año, 579,03 toneladas/año de $VOCs$, y 31 854 toneladas de PM_{10} (I.N.E y CENICA, 1997), dentro de los cuales se incluyen los originados por los incendios forestales (Bravo *et al.*, 2002).

Las características del Valle de México acentúan la problemática de calidad del aire ya que se encuentra rodeado por macizos montañosos al sur por las Sierras del Chichinautzin y Ajusco continuando hacia el oeste con las Sierras de Las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, al noroeste las Sierras de Tepotzotlán y Tezontlalpa, la Sierra de Pachuca cierra el límite norte, la Sierra de Chichicuatla al noreste para continuar al este con las sierras de Tepozán y Calpulalpan continuando esta última con la Sierras de Río Frió y Nevada que finalmente cierra la cuenca que rodea el valle, (Ceballos & Galindo, 1984; Huizar, 1998). Dentro de esta superficie existen numerosas elevaciones volcánicas que provocan de manera natural condiciones que no favorecen la dispersión de contaminantes; su altitud ocasiona que los sistemas de combustión interna operen deficientemente emitiendo una mayor cantidad de contaminantes; aunado a la intensa y constante radiación que recibe durante el año que acelera la formación de ozono (S.M.A., 2000a)

Su ubicación geográfica en el centro de la República Mexicana (figura 1), permite que a lo largo del año se vea afectada por sistemas anticiclónicos tropicales que provocan estabilidad atmosférica (S.M.A., 2000a).

Por otra parte, la época de lluvias, entre mayo y octubre ocasiona un lavado de contaminantes y con ello un descenso de sus niveles, reportándose en los meses de agosto y septiembre la mejor visibilidad en el Valle de México (S.M.A., 1998); sin embargo ocasiona que se presente el fenómeno de deposición ácida principalmente en la zona sur del valle (S.M.A., 1997).

Todas estas condiciones ocasionan la presencia de inversiones térmicas (70 % de los días del año), con mayor incidencia entre los meses de octubre–abril propiciando la acumulación de contaminantes en la superficie terrestre (S.M.A., 2000a).

REPÚBLICA MEXICANA

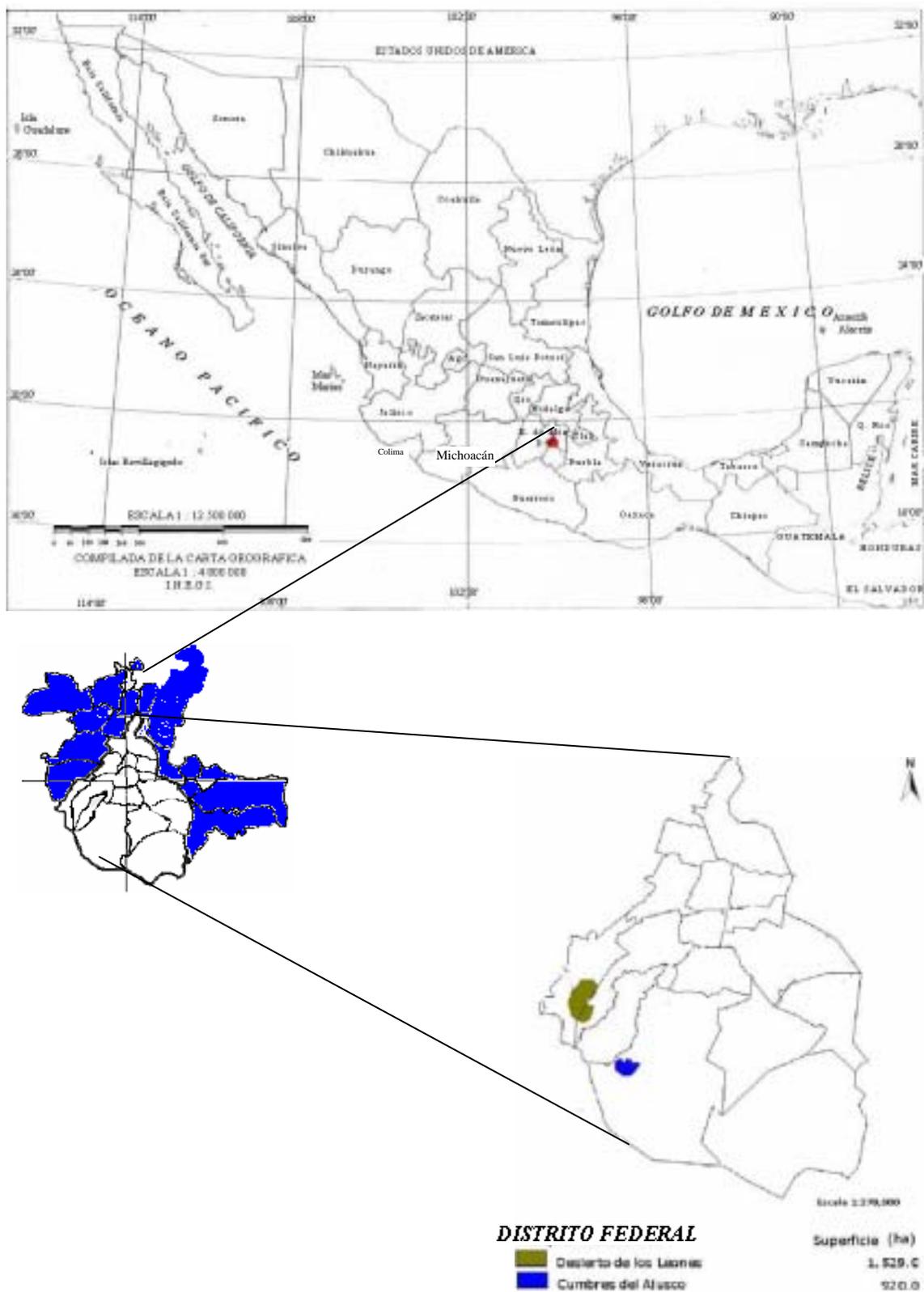


Figura 1. Localización del Distrito Federal en la República Mexicana (compilado de I.N.E.G.I. 1995 y S.M.A. 2000a).

Figura 2. Representación esquemática de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (original tomado de Bravo *et al.*, 1988)

1.2 ANTECEDENTES.

El Área Metropolitana de la Ciudad de México es considerada como una de las más contaminadas del mundo. La meteorología, topografía y la densidad de la población humana interactúan con otros importantes factores en el Valle de México para producir altas concentraciones de contaminantes atmosféricos como el ozono, óxidos de nitrógeno y material particulado entre otros (Bauer & Krupa, 1990) estas altas concentración afectan a la vegetación tanto a la que se encuentra en las zonas verdes de la **ZMVM** (Hernández-Tejeda *et al* 1981; Bauer & Hernández-Tejeda, 1986; Hernández-Tejeda & Nieto de Pascual, 1996) como las zonas boscosas localizado al suroeste de la ciudad (Bauer & Hernández-Tejeda, 1985; Alvarado *et al.*, 1993; Miller *et al.*, 1994; Skelly *et al.*, 1997; Watmough & Hutchinson 1999).

El daño provocado en los bosques de la Ciudad de México por el efecto de los contaminantes se ha documentado desde 1971, donde se reporta la influencia de ozono y el nitrato de peroxiacetilo (Bauer, 1972); Estudios posteriores revelaron que este daño decrecía conforme aumentaba la distancia entre la Ciudad de México y la localización de las especies estudiadas (Hernández-Tejeda & Bauer, 1984).

En 1982 se observó una declina poblacional en *Abies religiosa* en el Parque Nacional Desierto de los Leones; debido a la magnitud del daño observado, la zona afectada recibió el nombre de "CEMENTERIO", siendo uno de los más claros efectos de gases oxidantes sobre la vegetación (Bauer & Krupa, 1990). El daño consistió principalmente en alteraciones en los cloroplastos, seguido de una degradación vacuolar, dando lugar a plasmólisis y necrosis en el parénquima provocando senectud prematura (Álvarez *et al.*, 1998).

Alvarado *et al.* (1993) y Castro *et al.* (1995) en investigaciones realizadas en *A. religiosa* y en suelos respectivamente reportan diferencias en los niveles de metales pesados dentro del mismo Parque Nacional Desierto de los Leones con relación a su exposición hacia la Ciudad de México.

Watmough & Hutchinson (1999) analizaron suelos superficiales cercanos a árboles de *A. religiosa*, encontrando concentraciones más elevadas de Pb, Cd y Zn en comparación con bosques mejor conservados, que se reflejaron en los resultados obtenidos en el análisis dendrológico, con excepción del zinc; sugiriendo la influencia del pH ácido del suelo y la captación por medio de la corteza y follaje y la subsiguiente incorporación al xilema en las concentraciones de metales observadas.

En el Ajusco, Krupa & Bauer (1976) encontraron y describieron lesiones por oxidantes fotoquímicos en dos especies de pinos (*Pinus hartwegii* y *Pinus leiophylla*); estudios posteriores señalaron al ozono como el factor principal de los daños observados en *P. hartwegii* y no la lluvia ácida (Hernández-Tejeda & Bauer, 1984; Jáuregui *et al.*, 1990; Skelly *et al.*, 1997); la influencia del ozono sobre el tejido foliar de *Pinus hartwegii* lo predispone al ataque de hongos fitopatógenos como *Lophodermium sp.* (Alvarado & Bauer 1991).

Morton-Bermea *et al.* (2002), en suelos urbanos de la Ciudad de México encontraron altas concentraciones de plomo (Pb), zinc (Zn) y cobre (Cu) con factores de enriquecimiento entre 193,8 y 6,41 para el Zn y 3,40 para el Cu; relacionados con las condiciones del tráfico y una escasa contribución en las concentraciones del cadmio (Cd), observando en las zonas boscosas un factor de enriquecimiento del Pb de 6,15 producto de años de utilización de gasolina con plomo; estudios efectuados en hongos comestibles colectados a lo largo de 1996 en diversos puntos del Valle de México, revelaron niveles de cesio radioactivo relacionados con el accidente de Chernóbil (Gaso *et al.*, 2000).

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA ESTUDIO.

Con el fin de evaluar los efectos de la contaminación atmosférica que se genera en la Ciudad de México en poblaciones naturales de pequeños roedores, se establecieron dos sitios de muestreo ubicados al suroeste de la **ZMVM**: El Parque Nacional Desierto de los Leones por ser el área más importante de recepción de los contaminantes generados en la zona metropolitana de la Ciudad de México y el Parque Nacional Cumbres del Ajusco que recibe en segunda instancia la contaminación generada en la ciudad (figura 3).

Geológicamente, la Cuenca de México se encuentra dentro del Eje Volcánico Transversal, una formación del Terciario tardío, de 20 a 70 km de ancho, que atraviesa la República Mexicana desde el Pacífico hasta el Atlántico aproximadamente en una dirección este-oeste (Mosser, 1987); la zona de estudios se originó en tres ciclos de efusión ígnea: el primero fue el Eruptivo Las Cruces, el segundo el Eruptivo Ajusco y el tercero el Eruptivo Chichinautzin (Martín del Pozo, 1980).

El clima predominante de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1988), es subhúmedo, semifrío con temperatura media anual entre 5° y 12° C, la temperatura del mes más frío entre -3° y 18° C, el mes más calido menor a 22° C. Presenta un P/T mayor

de 55.0, es isotermal con marcha de temperatura tipo ganges (Cb'(w²)ig con lluvias de mayo a octubre (Torres-Lima & Rodríguez- Sánchez).

El Parque Nacional Desierto de los Leones (Desierto), se localiza en la Sierra de Las Cruces, entre las coordenadas geográficas; 19°15'20" y 19°19'40" latitud norte y 99°17'40" y 99°19'40" longitud oeste (Vargas-Márquez, 1984 y 1997), con altitudes entre 2 800 y 3 800 msnm; con una extensión total estimada de 1 529 ha; se encuentra aproximadamente a unos 25 km del centro de la Ciudad de México, pertenece políticamente a la Delegación de Cuajimalpa, Distrito Federal (D.G.S.P.A.y.F., 1985, S.M.A., 2000a) su acceso es por la carretera Camino al Desierto de los Leones o Avenida Toluca (figura 3).

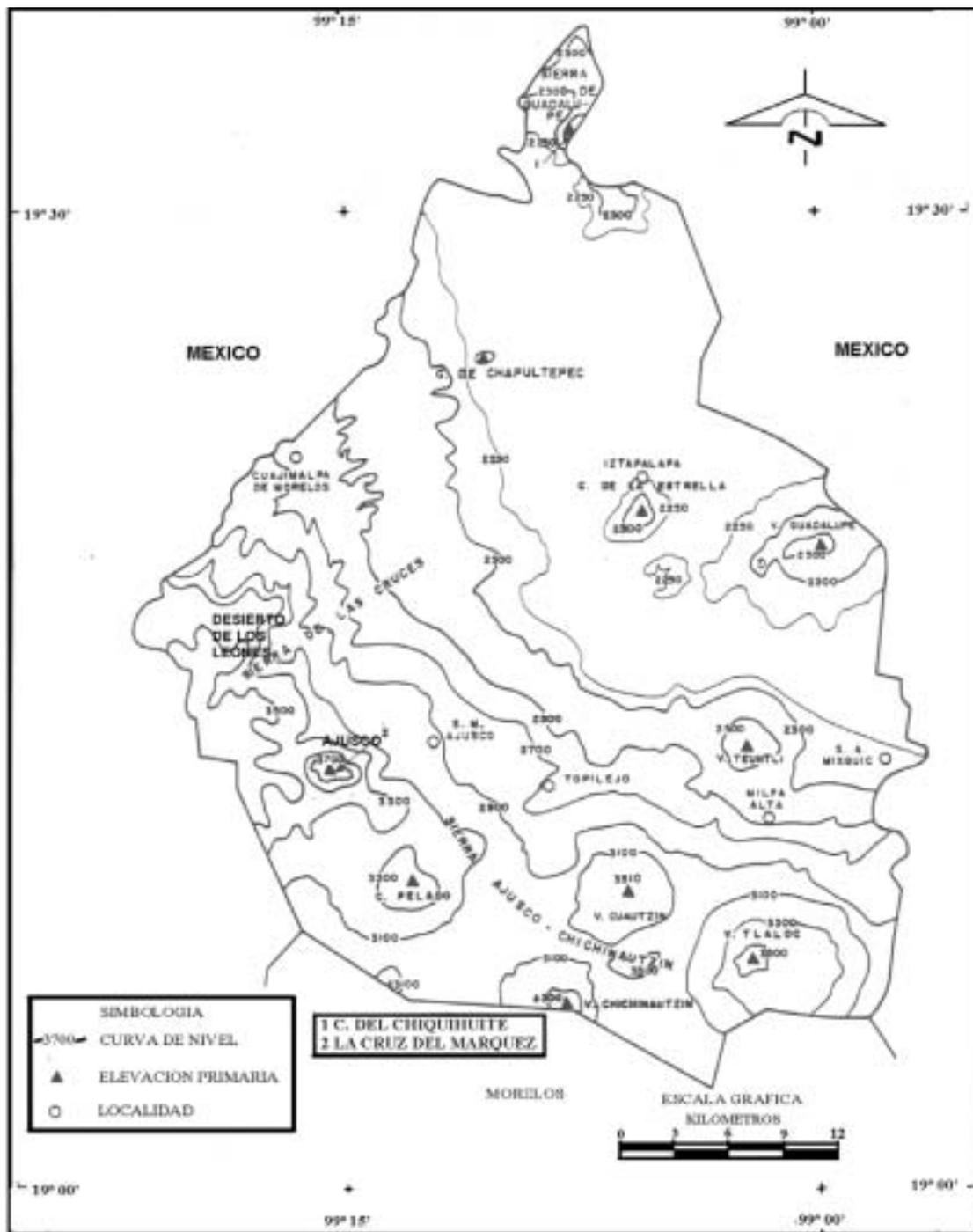
El tipo de vegetación presente corresponde a un bosque de pinos y oyamel; en el estrato arbóreo las especies más comunes son *Pinus hartwegii*, *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae*, *Abies religiosa*, *Prunus serotina*, *Cupressus benthamii* y varias especies de *Quercus*; en el estrato medio se presentan bosques mixtos de *Pinus*, *Abies*, y *Quercus*; y en el estrato arbustivo *Baccharis conferta* (D.G.S.P.A.y.F., 1985; S.E.D.U.E., 1983; S.E.D.E.S.O.L, 1993) presenta suelos de una textura arcillosa-silíceo, con una susceptibilidad extremadamente alta a la erosión. (S.M.A., 2000a)

Las estaciones de colecta se colocaron a los 19°18'12" latitud norte y a los 99°18'24", longitud oeste, a una altitud de 2 870 msnm., considerando la zona catalogada como "CEMENTERIO".

El Parque Nacional Cumbres del Ajusco (Ajusco), se localiza entre las coordenadas 19°12' y 19°15' latitud norte y a los 99°14' y 99°16' longitud oeste (Vargas-Márquez, 1984), con una extensión estimada de 920 ha (Vargas-Márquez, 1997, S.M.A. 2000a) con un intervalo de altitudes 2 800 – 3 937 msnm; forma parte de la Sierra del Chichinautzin que constituye el límite sur de la Cuenca de México, la vía de acceso es por la carretera Picacho-Ajusco (figura 3)

El tipo de vegetación presente corresponde a un bosque de pinos y oyamel; en el estrato arbóreo existen tres especies más comunes *Pinus hartwegii*, *Pinus montezumae* y *Abies religiosa*; gran parte del parque se encuentra cubierto por pastizal alpino antropógeno formado por *Festuca amplissima*, *Muhlenbergia macroura* y *Stipa sp.* (Cervantes-Reza, 1980; Rzendowski, 1983; S.E.D.E.S.O.L, 1993). Los suelos son livianos, algunos derivados de andesitas y otros originados a partir de cenizas volcánicas sobre todo a altitudes por encima de los 3 000 msnm. (Benítez-Badillo 1986); están catalogados con una susceptibilidad alta a la erosión (S.M.A., 2000a)

Dentro del parque el sitio de colecta se ubicó a 19°13'37' latitud norte y 99°15'19 longitud oeste a una altitud de 3 180 msnm abarcando el área boscosa pino-oyamel, que incluye zonas en reforestación.



FUENTE INEGI Carta Topográfica, 1:50 000

Figura 3. Localización de las zonas de estudio (original tomado de I.N.E.G.I., 1995)

1.4 HIPÓTESIS.

Durante años se han reportado daños de diversa índole y gravedad en la vegetación que rodea la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, provocados por la contaminación atmosférica; sin embargo el efecto que pudiera tener en los organismos de los siguiente niveles tróficos de la red alimenticia no ha sido evaluado. En función de la información obtenida en diversas investigaciones realizadas en el Parque Nacional Desierto de Los Leones y el Parque Nacional Cumbres del Ajusco se espera lo siguiente.

Las poblaciones de pequeños roedores presentaran indicios de alteraciones en el aparato respiratorio y en los órganos implicados directamente en el metabolismo y desintoxicación relacionados con la contaminación atmosférica.

De forma particular se espera, que las tres especies estudiadas: *Peromyscus melanotis*, *Peromyscus difficilis* y *Microtus mexicanus* manifiesten diferentes mecanismos de respuesta y grados de afección a la contaminación atmosférica. Se plantea que existe una variación a nivel de especie, en el espacio y en el tiempo.

1.5 OBJETIVOS.

Evaluar la influencia de la contaminación atmosférica, originada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México sobre las poblaciones de *Peromyscus melanotis*, *Peromyscus difficilis* y *Microtus mexicanus*, del Parque Nacional Cumbres del Ajusco y del Parque Nacional Desierto de los Leones.

1.5.1 Objetivos Particulares.

- € Se establecerán las diferencias en las estructuras del epitelio ciliar de la tráquea, mediante técnicas de microscopía óptica y electrónica de transmisión y barrido.
- € Se establecerán las diferencias patológicas de los principales órganos implicados en la respiración, el metabolismo y desintoxicación de contaminantes (pulmón, hígado, bazo y riñón, a través del tiempo entre las dos zonas de estudio.
- € Se analizará la acumulación de metales en diversos órganos y tejidos así como su relación con las condiciones ambientales

1.6 NIVELES DE CONTAMINANTES REPORTADOS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO (MAYO 1996-ABRIL 1997).

1.6.1. Sistema de Monitoreo Atmosférico.

Desde 1986 la **ZMVM** cuenta con un sistema de monitoreo atmosférico, en 1996 y 1997 este sistema se encontraba subdividido en cuatro programas; la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (**RAMA**) integrada por 32 estaciones remotas con equipo automático, de las cuales 10 forman parte de la Red de Meteorología (**REDMET**), la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (**REDMA**) con 19 estaciones remotas equipadas con equipo manual y la Red de Depósito Atmosférico (**REDDA**) que cuenta con 16 estaciones remotas equipadas con colectores de depósito total en 1996 y semiautomáticos (depósito húmedo y seco) en 1997¹. (S.M.A., 1997 y 1998)

Los parámetros que determina el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la **ZMVM** son:

- **RAMA** mide las concentraciones horarias de contaminantes criterio² ozono (O_3), dióxido de nitrógeno. (NO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y partículas menores a $10\ \mu m$ (PM_{10}).
- **REDMET** registra los valores horarios de las variables meteorológicas; velocidad del viento (**WSP**), dirección del viento (**WDR**), humedad relativa (**RH**) y temperatura ambiente (**TMP**).
- **REDMA** mide las concentraciones de partículas suspendidas totales (**PST**), partículas menores a $10\ \mu m$ (PM_{10}) y de metales en los filtros de partículas, como es el caso de plomo (**Pb**).
- **REDDA** colecta muestras de depósito seco y depósito húmedo (principalmente de agua de lluvia), en este último se determina el pH del agua de lluvia, la conductividad electrolítica (**CE**), concentraciones de aniones (nitratos, sulfatos y cloruros) y de cationes (amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio).

La localización de las estaciones remotas del Sistema de Monitoreo Atmosférico en la **ZMVM**. en relación a las zonas de colecta se muestran en la figura 4, los contaminantes que evalúa cada estación de monitoreo se muestran en la tabla 1.

¹ El número de sitios que opera la REDMA y la REDDA puede cambiar debido a las prioridades definidas por los mencionados programas de monitoreos (S.M.A., 2000)

² Se denomina contaminantes criterio del aire a las sustancias presentes en el aire del ambiente que son abundantes, se encuentran en todas partes y para las cuales se han establecido concentraciones máximas permisibles (normas para protección de la salud), arriba de las cuales se tienen efectos nocivos reconocidos en la salud. Los contaminantes criterio actuales son el ozono, el dióxido de azufre, el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, las partículas suspendidas totales, las partículas menores a $10\ \mu m$ y el plomo en filtros de partículas (S.M.A. , 2000)

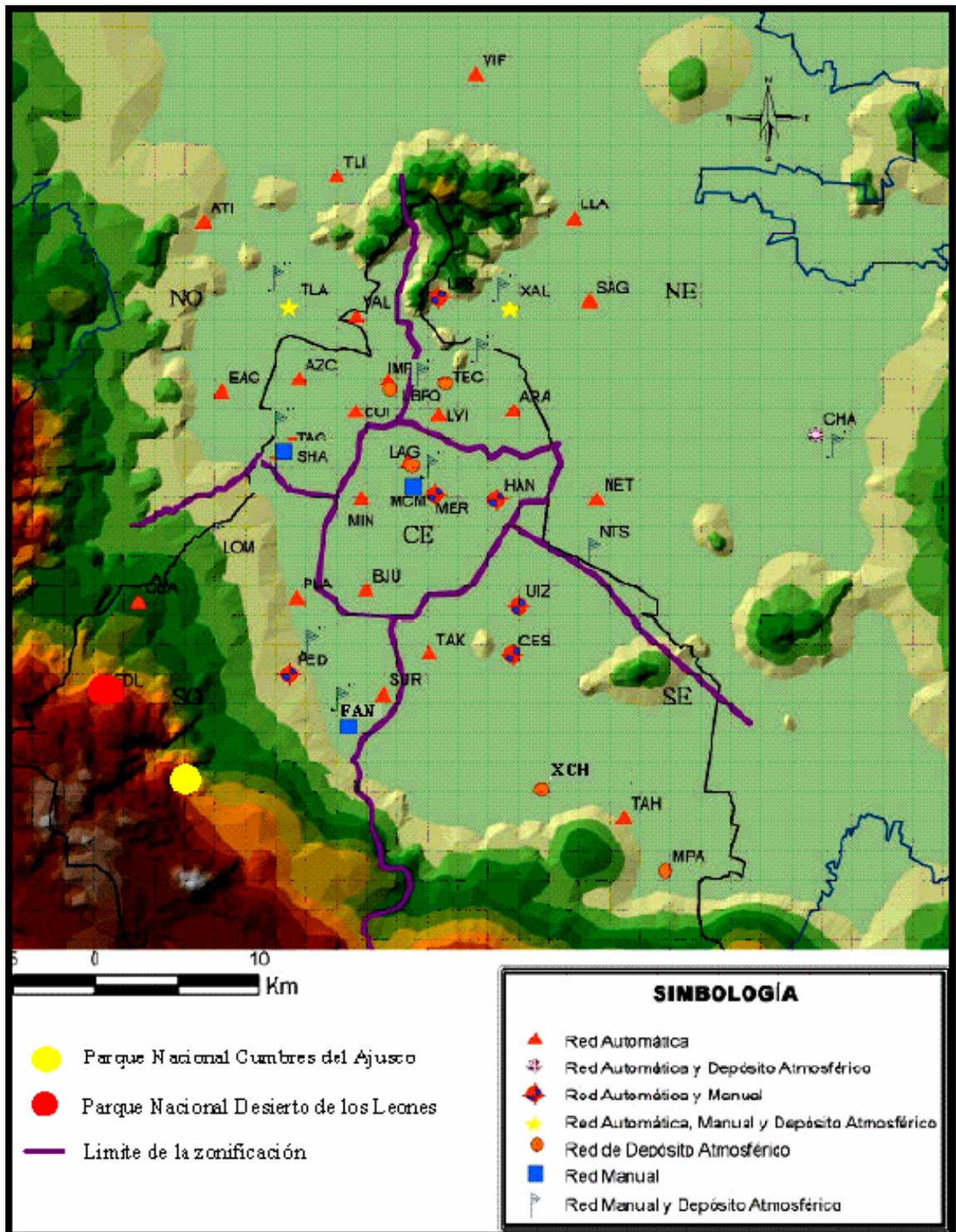


Figura 4. Localización de las estaciones de monitoreo atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en relación con las zonas de estudio (original modificado de S.M.A., 2000).

Tabla 1. Contaminantes determinados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México.*

ZONA	ESTACIÓN	CLAVE	PARÁMETRO												
			RED AUTOMÁTICA							RED MANUAL			DEPÓSITO ATMOSFÉRICO		
			O ₃	CO	SO ₂	H ₂ S	MET	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	PST	PM ₁₀		Pb	
NOROESTE	VALLEJO	VAL	*	*											
	TACUBA	TAC	*	*	*	*	*	*	*						
	ENEP-ACATLÁN	EAC	*	*	*		*	*	*						
	AZCAPOTZALCO	AZC	*	*	*			*	*						
	TLALNEPANTLA	TLA	*	*	*		*	*	*	*				*	
	I.M.P	I.M.P		*											
	CUITLÁHUAC	CUI		*											
	TULTITLÁN	TLI		*	*			*	*	*					
	ATIZAPÁN	ATI		*	*			*	*						
	S. HACIENDA	SHA								*	*	*		*	
	LAB. BACTERIOLOGÍA													*	
NORESTE	LAURELES	LLA			*										
	LA PRESA	LPR			*					*					
	LA VILLA	LVI			*						*				
	SAN AGUSTÍN	SAG	*	*	*		*	*	*						
	XALOSTOC	XAL	*	*	*		*	*	*	*		*	*		*
	ARAGÓN	ARA		*	*										
	NEZAHUALCÓYOTL	NET		*	*					*				*	
	COACALCO	VIF		*	*			*	*	*					
	CHAPINGO	CHA	*	*						*				*	
	CERRO DEL TEPEYAC	TEC								*		*		*	
CENTRO	LAGUNILLA	LAG	*	*	*			*	*						
	MERCED	MER	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
	HANGARES	HAN	*	*	*		*	*	*	*					
	BENITO JUÁREZ	BJU	*	*	*			*	*						
	INSURGENTES	MIN		*											
	MUSEO DE LA C. MÉXICO	MCM								*				*	
	PORTALES	POT								*					
SUROESTE	SANTA ÚRSULA	SUR			*										
	PEDREGAL	PED	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
	PLATEROS	PLA	*	*	*		*	*	*						
	CUAJIMALPA	CUA	*												
	TLALPAN	TPN	*												
	LOMAS	LOM								*				*	
	F. ÁNGELES	FAN								*		*		*	
SURESTE	CERRO DE LA ESTRELLA	CES	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
	UAM IZTAPALAPA	UIZ	*	*	*			*	*			*			
	TAXQUEÑA	TAX	*	*	*			*	*			*			
	TLÁHUAC	TAH	*	*	*			*	*	*					
	XOCHIMILCO	XCH								*				*	

Compilado de S.M.A. (1997, 1998 y 1999)

1.6.2 Niveles de Contaminación.

Los datos de contaminación fueron proporcionados por: la Comisión Atmosférica de la Zona Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México quien tiene a su cargo el Sistema de Monitoreo Atmosférico y por el Grupo de Trabajo “Cambios Atmosféricos y Bosques”, COFAN-FAO quienes realizan evaluaciones del impacto de la contaminación en especies vegetales en el Desierto de los Leones. Otros datos se obtuvieron de diversos estudios realizados en el mismo periodo de colecta de la presente investigación y en algunos casos se presentan valores de años previos y posteriores como marco de referencia.

Los niveles promedio de contaminación observados durante el periodo de estudio (mayo 1996 – abril 1997) se muestran en las tablas (1 y 2); dado que los roedores presentan diferentes patrones de actividad se reportan en algunos contaminantes los promedios diurnos (7a.m. a 6 p.m.) y nocturno (7 p.m. - 6 a.m.).

Mugica *et al.* (2002) reportan en las zonas noroeste (*NO*) y sureste (*SE*) de la Ciudad de México un mayor contenido de metales en las *PST* y *PM₁₀*, con un descenso de 1996 a 1997; sin embargo las variaciones estacionales relacionadas con la lluvias no son tan marcadas en las concentraciones de metales; con excepción del hierro y titanio, debido a que la mayoría de ellos se encuentran en la fracción respirable y estos permanecen en la atmósfera aún en la temporada de lluvias a pesar de lo anterior los valores más bajos se tienen en los meses de julio y agosto.

Análisis microscópicos de las *PS* muestran presencia de partículas de suelo como la arcilla y las producidas por procesos industriales y de combustión con presencia de hierro asociado al manganeso; de aluminio hasta en un 10 % y de pequeñas cantidades de calcio, magnesio, bario, sodio, potasio, estaño y zinc (Mugica *et al.*, 2002).

En 1996 no se realizaron mediciones de depósito seco, sin embargo en los datos obtenidos en el año 1997 se registró una flujo de deposición menor de 480,08 mg/día*m² para la mayoría de las estaciones de monitoreo de la Ciudad de México, reportando la presencia de silicio, calcio, hierro, aluminio, potasio, titanio, bario, zinc, estroncio, cobre, rubidio y plomo (S.M.A., 1999)

Una fuente importante de contaminación del aire son los incendios forestales, la cual varía en función de las condiciones climáticas, el tipo de vegetación, la superficie afectada, etc.

En el Valle de México el periodo de incendios coincide con la temporada seca, aunque los meses más críticos son de marzo a mayo; entre 1996 y 1997 se presentaron cerca de 2 400

incendios en el Distrito Federal con un notable impacto sobre las concentraciones de *PSP* y *PM₁₀* (Bravo *et al.*, 2002).

En el periodo comprendido entre el 2–19 de marzo de 1997 Chow *et al.* (2002) mencionan que el 50% de las *PM₁₀* corresponden a la fracción *PM_{2,5}* siendo los aerosoles carbonáceos los más abundantes (45%), seguido de los aerosoles inorgánicos (29%), mientras que en la fracción gruesa (88%) y en las *PM₁₀* (48%) fueron en su mayoría de origen geológico.

La reducción de la visibilidad es una de las más obvias manifestaciones de la contaminación del aire y depende del tamaño de partícula del aerosol y la dimensión de su distribución, se ha demostrado que la visibilidad varía inversamente con la concentración de las partículas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Eidels-Dubovoi (2002), reporta para el periodo del 28 de febrero al 10 de marzo de 1997 una fuerte variación diaria en las estaciones de monitoreo Pedregal y Merced observándose generalmente el punto máximo de absorción de luz entre las 7 y las 9.30 de la mañana atribuyendo principalmente este hecho al tráfico, existiendo procesos de dispersión entre las 9:30 y 11 a.m., señalando que en aun cuando se observaron diferentes promedios de visibilidad entre las dos estaciones, el impacto real de los aerosoles sobre la visibilidad es similar en zonas urbanas y suburbanas (figura 5).

Gaffney *et al.* (1999) midieron las concentraciones de peroxiacetilnitratos (*PANs*) en la Ciudad de México concluyendo que la limpieza diaria de la cuenca del Valle de México tiene como consecuencia un incremento de los mismos en áreas cercanas.

En la zona suroeste de la Ciudad de México en 1996 la *REDDA* reportó valores de *pH* ácidos en agua de lluvia, con un claro componente de sulfatos y una baja presencia de *Ca*, *K*, *Na* y *Mg*, concretamente en dos de las estaciones de monitoreo más cercanas al Parque Nacional Cumbres del Ajusco y al Parque Nacional Desierto de los Leones; los valores ácidos del agua de lluvia fueron de: 3,85 en la estación Lomas en el mes agosto con promedio ponderado de $4,54 \pm 1,2$; 3,91 en la estación Pedregal en el mes de agosto con un promedio ponderado $4,49 \pm 0,95$; y 3,97 en la estación Felipe Ángeles (*FAN*) promedio ponderado 4,55.

El fenómeno de deposición ácida (depósito total); esta reportado esencialmente para la zona suroeste y sureste de la Ciudad de México desde al menos 1987 con valores de *pH* comprendidos entre 5,7 y 3,5. (S.M.A, 1997), relacionados con el fenómeno de arrastre de contaminantes debido a los vientos predominantes en la Cuenca del Valle de México en dirección sur (S.M.A., 1999).

En lo referente a la presencia de indicadores biológicos, S.M.A. (1997) reporta en las muestras analizadas la presencia de: quistes (huevecillos de parásitos) en un 24 % de las

muestras, hongo y polen en un 60 %, pteridofitas en un 59 %, microsporas en un 51 % y diatomeas en un 95 %, siendo estas últimas las más frecuentes y abundantes.

Las estaciones más cercanas al Desierto de los Leones y Ajusco presentaron una frecuencia mayor de diatomeas (Pedregal), quistes (Pedregal y Lomas), polen (Pedregal y Felipe Ángeles) y pteridofitas (Felipe Ángeles).

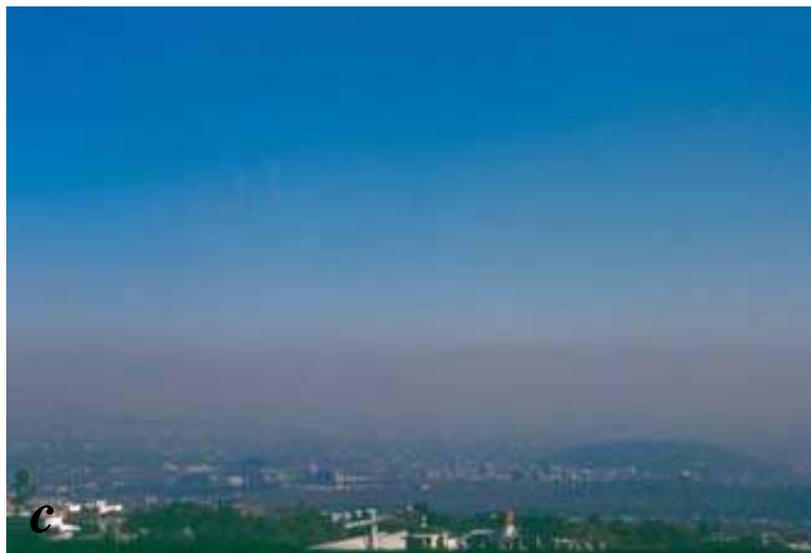
En 1998 se reubicaron algunas estaciones de monitoreo atmosférico quedando una dentro del Desierto de los Leones (estación Ex-convento Desierto de los Leones) y 2 estaciones muy cercanas al sitio de colecta en el Ajusco (Ecoguardas Ajusco-Picacho y San Nicolás Totoloapan), los valores observados en las tres zonas en lo referente a la precipitación ácida, fueron muy semejantes con valores ácidos aunque más altos que los observados durante el periodo de estudio, relacionado más con la dinámica de las lluvias de los años subsecuentes a 1996 que con la localización de las estaciones (S.M.A., 1999).



a



b



c

Figura 5. Vista de la Ciudad de México *a*) época de lluvias poca contaminación; *b*) y *c*) época seca 7 a.m. se aprecia la capa de “smog” 10 a.m. se han iniciado los procesos de dispersión de contaminantes.

Tabla 2. Promedios y valores máximos mensuales de los contaminantes atmosféricos medidos por la Red Automática de Monitoreo ATMOSFERICO (RAMA) * y la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) ** considerando todas las estaciones (abril 1996 - abril 1997)

AÑO	BIÓXIDO DE NITRÓGENO* (ppm)						OZONO* (ppm)						OZONO*** (ppm)			
	MES	24 horas		7AM -6PM		7PM -6AM		24 horas		7AM -6PM		7PM -6AM		MES	24 horas	
		Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX		Media	MAX
1996	A	0,03	0,27	0,03	0,11	0,03	0,27	0,045	0,23	0,025	0,18	0,06	0,23	E	0,051	0,335
	M	0,03	0,23	0,03	0,11	0,04	0,23	0,049	0,27	0,028	0,13	0,06	0,27	F	0,063	0,296
	J	0,03	0,23	0,03	0,23	0,03	0,23	0,036	0,27	0,019	0,13	0,05	0,27	M	0,059	0,189
	J	0,03	0,19	0,03	0,11	0,03	0,19	0,035	0,29	0,015	0,16	0,05	0,29	A		
	A	0,03	0,16	0,03	0,12	0,03	0,16	0,032	0,27	0,017	0,15	0,04	0,27	M		
	S	0,03	0,26	0,03	0,15	0,03	0,26	0,040	0,29	0,017	0,13	0,06	0,29	J		
	O	0,03	0,33	0,03	0,22	0,04	0,33	0,035	0,32	0,015	0,17	0,05	0,32	J		
	N	0,04	0,45	0,03	0,19	0,05	0,45	0,035	0,31	0,011	0,14	0,05	0,31	A	0,035	0,226
	D	0,04	0,37	0,04	0,25	0,05	0,37	0,037	0,28	0,011	0,14	0,06	0,28	S	0,024	0,140
	E	0,04	0,45	0,04	0,18	0,04	0,45	0,036	0,26	0,014	0,14	0,05	0,26	O	0,045	0,325
1997	F	0,07	0,50	0,06	0,47	0,09	0,50	0,040	0,26	0,016	0,13	0,06	0,26	N	0,045	0,348
	M	0,03	0,28	0,03	0,13	0,04	0,28	0,037	0,25	0,015	0,13	0,05	0,25	D	0,048	0,260
	A	0,03	0,26	0,03	0,13	0,04	0,28	0,037	0,31	0,018	0,19	0,05	0,31			
ÓXIDOS DE NITRÓGENO * (ppm)						BIÓXIDO DE AZUFRE * (ppm)						PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES ** (µg/m ³)				
1996	A	0,056	0,48	0,05	0,39	0,07	0,484	0,014	0,23	0,012	0,23	0,02	0,16		205,02	614
	M	0,053	0,46	0,04	0,29	0,06	0,456	0,015	0,19	0,013	0,17	0,02	0,19		175,62	381
	J	0,059	0,46	0,05	0,42	0,07	0,460	0,014	0,19	0,011	0,17	0,02	0,19		108,95	323
	J	0,054	0,42	0,05	0,36	0,06	0,417	0,013	0,17	0,011	0,15	0,01	0,17		119,67	397
	A	0,056	0,43	0,05	0,43	0,06	0,414	0,016	0,19	0,014	0,17	0,02	0,19		81,60	320
	S	0,062	0,49	0,05	0,46	0,07	0,485	0,014	0,30	0,013	0,30	0,01	0,16		112,42	430
	O	0,070	0,50	0,06	0,38	0,08	0,497	0,014	0,21	0,014	0,21	0,01	0,14		180,16	534
	N	0,084	0,50	0,08	0,50	0,09	0,500	0,020	0,35	0,021	0,35	0,02	0,33		193,31	537
	D	0,096	0,50	0,10	0,50	0,10	0,500	0,016	0,31	0,016	0,31	0,02	0,23		222,36	479
	E	0,091	0,50	0,08	0,47	0,10	0,500	0,017	0,20	0,016	0,20	0,02	0,18		194,88	470
1997	F	0,074	0,50	0,06	0,47	0,09	0,499	0,016	0,21	0,015	0,20	0,02	0,21			
	M							0,014	0,25	0,013	0,25	0,01	0,13			
	A							0,014	0,16	0,013	0,25	0,01	0,14			
MONÓXIDO DE CARBÓN * (ppm)						PM ₁₀ * (µg/m ³)						PM ₁₀ ** (µg/m ³)				
1996	A	2,65	20,00	2,26	11,60	2,96	20,00	87,943	914,00	77,135	863,00	96,48	914,00		61,700	142
	M	2,51	18,90	2,17	9,70	2,79	18,90	84,895	689,00	81,153	689,00	88,10	581,00		46,917	47
	J	2,23	11,30	2,07	11,30	2,36	11,30	75,224	709,00	62,762	709,00	85,26	644,00		31,000	52
	J	2,00	13,20	1,84	11,90	2,13	13,20	58,558	593,46	47,693	593,46	66,34	584,00		30,667	44
	A	2,32	41,70	2,07	41,70	2,53	13,30	38,518	325,00	32,815	291,00	42,48	325,00		28,100	37
	S	2,25	15,80	1,93	12,20	2,48	15,80	43,689	278,00	35,757	255,00	49,34	278,00		35,500	71
	O	2,49	15,50	2,06	12,90	2,79	15,50	50,053	707,00	40,774	707,00	56,26	403,00		35,000	57
	N	2,64	19,80	2,39	17,50	2,82	19,80	75,305	612,00	63,581	452,00	83,79	612,00		47,300	109
	D	3,31	24,20	3,14	21,70	3,45	24,20	88,095	737,00	80,292	737,00	93,91	593,00		52,400	78
	E	2,99	19,00	2,69	15,90	3,24	19,00	99,672	694,00	86,763	694,00	108,67	570,00		43,500	98
1997	F	2,49	49,70	2,06	15,30	2,84	49,70	106,626	912,00	94,051	912,00	116,01	848,00			
	M	2,38	21,50	2,11	15,90	2,58	21,50	93,852	1233,00	87,034	1233,00	98,56	1038,00			
	A	2,45	23,10	2,05	16,90	2,70	23,10	66,679	899,00	72,869	1233,00	86,08	1038,00			

* Datos de la RAMA

** Datos de la REDMA

*** Datos de 1996 del grupo de trabajo "Cambios atmosféricos y Bosques" COFAN-FAO, Debido a fallos en la corriente eléctrica la información no es continua a lo largo del año ni en el promedio mensual, obteniéndose el promedio del mes a partir de los datos generados

Tabla 3. Promedios mensuales de los contaminantes atmosféricos medidos por la Red de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México considerando las estaciones más cercanas al área de estudio durante el periodo de abril 1996 - abril 1997

AÑO	MES	CO (ppm)												
		TOTAL		PEDREGAL		PLATEROS		TAXQUEÑA		TACUBA		SUR		
1996	A	2,649	20,000	1,515	6,500	1,600	6,700	2,897	13,200	3,285	13,600			
	M	2,509	18,900	1,577	6,100	1,631	8,500	3,065	13,600	3,289	12,800			
	J	2,231	11,300	1,628	6,300	2,089	9,900	3,476	11,300	2,588	9,400			
	J	2,003	13,200	1,607	6,800	2,433	13,200	3,152	10,000	1,059	11,200			
	A	2,323	41,700	1,539	5,900	2,367	12,400	3,821	13,100	1,654	41,700			
	S	2,249	15,800	1,515	6,300	1,856	7,900	3,263	13,600	2,388	9,100			
	O	2,487	15,500	1,844	10,600	2,081	11,300	2,416	8,400	2,487	11,600			
	N	2,636	19,800	1,955	10,100	1,827	11,000	2,422	12,700	2,656	13,800			
	D	3,311	24,200	2,122	10,600	2,077	12,400	3,474	17,600	1,969	10,100			
	1997	E	2,992	19,000	2,027	12,700	2,184	13,400	3,377	13,800	2,683	12,500		
		F	2,490	49,700	1,830	15,300	2,422	12,400	2,657	18,000	2,321	8,600		
		M	2,377	21,500	1,639	6,700	1,975	13,400	3,298	10,400	1,530	9,100		
A		2,454	23,100	1,977	11,600	1,352	13,400	3,675	18,400	1,959	11,500			
BIOXIDO DE NITROGENO (ppm)														
1996	A	0,031	0,165	0,035	0,123	0,035	0,165	0,035	0,127	0,019	0,110			
	M	0,032	0,197	0,031	0,115	0,034	0,197	0,038	0,140	0,025	0,141			
	J	0,034	0,175	0,033	0,116	0,029	0,107	0,040	0,151	0,032	0,175			
	J	0,030	0,132	0,028	0,101	0,023	0,110	0,041	0,132	0,027	0,103			
	A	0,031	0,154	0,029	0,131	0,022	0,106	0,042	0,154	0,030	0,091			
	S	0,037	0,260	0,032	0,141	0,032	0,160	0,041	0,123	0,042	0,260			
	O	0,038	0,332	0,035	0,133	0,034	0,224	0,043	0,172	0,041	0,332			
	N	0,045	0,362	0,039	0,190	0,039	0,200	0,056	0,217	0,048	0,362			
	D	0,046	0,335	0,043	0,187	0,041	0,237	0,053	0,234	0,048	0,335			
	1997	E	0,044	0,448	0,039	0,146	0,044	0,255	0,048	0,231	0,043	0,448		
		F	0,077	0,499	0,059	0,384	0,086	0,468	0,114	0,499	0,038	0,215		
		M	0,039	0,275	0,041	0,211	0,050	0,275	0,045	0,202	0,021	0,134		
A		0,039	0,259	0,041	0,204	0,053	0,259	0,042	0,185	0,021	0,128			
NO _x (ppm)														
1996	A	0,052	0,375	0,053	0,263	0,056	0,341	0,078	0,375	0,027	0,181			
	M	0,050	0,383	0,047	0,280	0,050	0,264	0,080	0,383	0,029	0,167			
	J	0,060	0,376	0,055	0,263	0,045	0,167	0,102	0,376	0,047	0,261			
	J	0,058	0,339	0,045	0,235	0,036	0,185	0,110	0,339	0,046	0,209			
	A	0,063	0,416	0,044	0,198	0,038	0,150	0,116	0,416	0,050	0,242			
	S	0,061	0,397	0,049	0,233	0,045	0,217	0,110	0,397	0,064	0,378			
	O	0,072	0,445	0,063	0,337	0,060	0,436	0,117	0,418	0,073	0,445			
	N	0,084	0,499	0,061	0,418	0,065	0,324	0,129	0,463	0,081	0,499			
	D	0,089	0,460	0,074	0,383	0,069	0,360	0,126	0,413	0,089	0,460			
	1997	E	0,087	0,500	0,068	0,468	0,078	0,484	0,120	0,467	0,082	0,500		
		F	0,077	0,499	0,059	0,384	0,086	0,468	0,114	0,499	0,038	0,215		
		M												
A														
SO ₂ (ppm)														
1996	A	0,011	0,066	0,011	0,058	0,011	0,049			0,010	0,066	0,011	0,029	
	M	0,013	0,100	0,012	0,100	0,013	0,054			0,011	0,051	0,014	0,070	
	J	0,014	0,130	0,011	0,079	0,012	0,059			0,020	0,130	0,013	0,054	
	J	0,015	0,141	0,009	0,064	0,011	0,070			0,016	0,141	0,022	0,074	
	A	0,011	0,073	0,009	0,067	0,011	0,066			0,013	0,073	0,011	0,050	
	S	0,010	0,072	0,007	0,036	0,009	0,040			0,013	0,072	0,010	0,041	
	O	0,012	0,207	0,013	0,073	0,009	0,065			0,014	0,207	0,013	0,071	
	N	0,015	0,203	0,014	0,133	0,015	0,137			0,020	0,203	0,012	0,067	
	D	0,012	0,219	0,011	0,059	0,010	0,066			0,019	0,219	0,010	0,062	
	1997	E	0,013	0,165	0,010	0,090	0,012	0,072			0,021	0,165	0,009	0,028
		F	0,016	0,206	0,011	0,065	0,015	0,086			0,028	0,206	0,010	0,028
		M	0,014	0,250	0,010	0,074	0,012	0,056			0,024	0,250	0,010	0,046
A		0,015	0,155	0,012	0,064	0,011	0,059			0,019	0,155	0,016	0,064	

Tabla 3 continuación. Promedios mensuales de los contaminantes atmosféricos medidos por la Red de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de México considerando las estaciones más cercanas al área de estudio durante el periodo de abril 1996- abril 1997.

O ₃ (ppm)													
MES	TOTAL		PEDREGAL		PLATEROS		TAXQUEÑA		CUAJIMALPA		TLALPÁN		
	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	
1996	A	0,050	0,233	0,050	0,226	0,048	0,233	0,047	0,203	0,056	0,180	0,060	0,205
	M	0,057	0,269	0,057	0,269	0,053	0,237	0,055	0,242	0,060	0,177	0,073	0,229
	J	0,042	0,268	0,040	0,261	0,041	0,268	0,039	0,173	0,045	0,181	0,053	0,236
	J	0,042	0,285	0,042	0,255	0,044	0,285	0,033	0,195	0,047	0,188	0,052	0,261
	A	0,036	0,270	0,037	0,245	0,039	0,241	0,029	0,205	0,043	0,214	0,036	0,175
	S	0,045	0,291	0,044	0,279	0,044	0,291	0,039	0,217	0,054	0,215	0,048	0,192
	O	0,037	0,323	0,041	0,323	0,025	0,171	0,039	0,227	0,046	0,258	0,041	0,256
	N	0,039	0,254	0,039	0,254	0,036	0,240	0,029	0,203	0,049	0,232	0,055	0,228
	D	0,041	0,270	0,042	0,248	0,037	0,257	0,032	0,197	0,053	0,257	0,052	0,230
	E	0,039	0,234	0,041	0,234	0,036	0,226	0,033	0,156	0,048	0,175	0,049	0,181
1997	F	0,044	0,241	0,044	0,241	0,038	0,239	0,034	0,174	0,052	0,174	0,052	0,167
	M	0,040	0,235	0,044	0,235	0,034	0,230	0,032	0,198	0,047	0,160	0,047	0,165
	M	0,040	0,235	0,044	0,235	0,034	0,230	0,032	0,198	0,047	0,160	0,047	0,165
	A	0,040	0,309	0,047	0,309	0,031	0,177	0,034	0,198	0,039	0,179	0,047	0,214

PM ₁₀ (µg/m ³)													
MES	TOTAL		PEDREGAL		PLATEROS		TAXQUEÑA		CUAJIMALPA		TLALPÁN		
	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	
1996	A	68,425	851,0	51,236	247,0	75,141	519,0	83,256	851,0				
	M	59,177	429,0	54,246	212,0	58,950	346,0	65,504	429,0				
	J	50,540	327,0	59,308	311,0	39,842	244,0	53,357	327,0				
	J	43,812	283,0	49,719	283,0	38,390	141,0	43,264	281,0				
	A	33,074	259,0	28,100	134,0	34,869	179,0	37,664	259,0				
	S	36,872	255,0	29,341	171,0	41,935	255,0	40,542	167,0				
	O	46,285	518,0	37,603	126,0	43,986	267,0	63,145	518,0				
	N	61,202	415,0	46,003	222,0	56,630	310,0	91,862	415,0				
	D	76,213	409,0	70,829	311,0	75,095	278,0	86,455	409,0				
	E	81,548	694,0	88,961	346,0	72,053	512,0	84,921	694,0				
1997	F	89,171	848,0	93,756	445,0	78,159	848,0	99,152	641,0				
	M	119,443	1023,0	127,477	884,0	132,578	1023,0	87,905	657,8				
	M	119,443	1023,0	127,477	884,0	132,578	1023,0	87,905	657,8				
	A	73,962	899,0	78,353	296,0	78,654	899,0	62,353	338,5				

Tabla 4. Promedio por temporada del año de los contaminantes atmosféricos medidos por la Red Automática de Monitoreo de la Zona Metropolitana de México en las estaciones de muestreo cercanas al área de estudio durante el periodo de mayo 1996 - abril 1997.

CONTAMINANTE	EPOCA	TOTAL		TACUBA		PEDREGAL		PLATEROS		TAXQUEÑA			S. URSULA		C. ESTRELLA
		Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	Media	MAX	MIN	Media	MAX	
O ₃ (ppm)	LLUVIAS	0,04	0,32	0,04	0,27	0,04	0,32	0,04	0,29	0,04	0,24	0,00			0
	SECA	0,04	0,31	0,04	0,27	0,04	0,31	0,04	0,26	0,03	0,20	0,00			0
SO ₂ (ppm)	LLUVIAS	0,01	0,21	0,01	0,21	0,01	0,10	0,01	0,07				0,01	0,07	
	SECA	0,01	0,25	0,02	0,25	0,01	0,13	0,01	0,14				0,01	0,07	
CO (ppm)	LLUVIAS	2,27	41,70	2,25	41,70	1,62	10,60	2,08	13,20	3,23	13,60	0,10			
	SECA	2,32	18,40	2,19	13,80	1,93	15,30	1,97	13,40	3,17	18,40	0,10			
NO (ppm)	LLUVIAS	0,03	0,33	0,03	0,33	0,03	0,14	0,03	0,22	0,04	0,17	0,00			
	SECA	0,04	0,50	0,03	0,45	0,03	0,38	0,05	0,47	0,06	0,50	0,00			
NO _x (ppm)	LLUVIAS	0,06	0,45	0,05	0,45	0,05	0,34	0,05	0,44	0,11	0,42	0,01			
	SECA	0,08	0,50	0,08	0,50	0,07	0,47	0,07	0,48	0,12	0,50	0,00			
PM ₁₀ (µg/m ³)		TOTAL				PEDREGAL							C. ESTRELLA		
	LLUVIAS	45,09	518,00			43,02	311,00						42,81	346,00	51
	SECA	83,56	1023,00			83,50	884,00						82,47	1023,00	85

1.7 CAPTURA DE ORGANISMOS.

Se realizaron colectas mensuales de mayo de 1996 a abril de 1997, en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco (Ajusco) y el Parque Nacional Desierto de los Leones (Desierto), con un día de diferencia en la captura de ejemplares entre las dos zonas (tabla 1, figura 1).

Tabla 5. Fechas de colecta en los Parques Nacional Cumbres del Ajusco y Desierto de los Leones

AÑO		1996								1997			
ZONA	MES	MAYO	JUN	JUL	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABRIL
AJUSCO	DIA*	6 - 7	4 - 5	1 - 2	6 - 7	3 - 4	30 - 1	5 - 6	2 - 3	7 - 8	4 - 5	4 - 5	31 - 1
DESIERTO		7 - 8	5 - 6	2 - 3	5 - 6	2 - 3	1 - 2	4 - 5	3 - 4	6 - 7	3 - 4	3 - 4	1 - 2

* día de colocación y de recogida de las trampas

Se utilizaron trampas de aluminio tipo Sherman" (8 x 9 x 23 cm) para organismos vivos las cuales se cebaron con hojuelas de avena. Colocando un promedio de 134 trampas por noche de captura; distribuidas en 4 transectos dispuestos al azar en el sitio seleccionado con una separación de 5 metros entre trampas aproximadamente. Las trampas se colocaron por la tarde y se recogieron por la mañana del día siguiente.

Los individuos vivos fueron transportados al laboratorio de Mastozoología de la Universidad Autónoma Metropolitana de México, Unidad Iztapalapa (UAMI).

Se obtuvieron las medidas anatómicas, sexo, peso, edad, muda y condición reproductora antes de procesarlos de acuerdo a las técnicas de análisis histológicas y de metales pesados así como de otros trabajos de reproducción animal contemplados en la línea de investigación del laboratorio de mastozoología de la UAMI.

La condición reproductora se determinó a través de características externas (condición de la vagina y sínfisis púbica, desarrollo mamario, gestante, lactante y posición de los testículos) y la presencia de embriones en estados incipientes de desarrollo por medio de la exploración del aparato reproductor.



Figura 6. Sitios de colecta: Parque Nacional Cumbres del Ajusco, época de lluvias (a) seca (b); Parque Nacional Desierto de los Leones: época de lluvias (c) seca (d).



Figura 7. Método de colecta de pequeños roedores (trampas de aluminio tipo Sherman)

El número de individuos utilizado estuvo en función de los organismos capturados y de las técnicas de laboratorio empleadas en cada análisis con el fin de generar datos fiables y tomando en consideración la biología de la especie estudiada; esta información se encuentra en los resultados de dichos estudios.

Todos los ejemplares utilizados fueron preparados como material de referencia (Ramírez-Pulido *et al.*, 1989) y se encuentran depositados en la colección de Mamíferos de la UAMI como cráneo y esqueleto, aunque de algunos también se conservó la piel. Las determinaciones subespecíficas se hicieron de acuerdo con Hall (1981) y para la nomenclatura taxonómica se sigue a Ramírez-Pulido *et al.* (1996).

1.8 BIBLIOGRAFÍA.

- Alvarado, D. & L. I. De Bauer. 1991. Ataque de *Lophodermium sp* en poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* de "El Ajusco", México, bajo el efecto de gases oxidantes. *Micología Neotropical Aplicada* 4(1):99 - 109.
- Alvarado, D., L. I. De Bauer & J. Galindo. 1993 Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. *Environmental Pollution* 80, 115-121.
- Álvarez, D., G. Laguna & I. Rosas. 1998. Macroscopic and microscopic symptoms in *Abies religiosa* exposed to ozone in a forest near Mexico City. *Environmental Pollution* 103(1):251-259.
- Bauer, L. I. De. 1972. Uso de plantas indicadoras de aeropolutos en la ciudad de México. *Agrociencia* 9(D):139-141.
- Bauer, L. I. De & T. Hernández-Tejeda. 1985. Ozone causes needle injury and tree decline in *P. hartwegii* at high altitudes in the mountains around México City. *Journal of the Air Pollution Control Association*. 35(8):838.
- Bauer, L. I. De & T. Hernández Tejeda. 1986. Contaminación una amenaza para la vegetación en México. Colegio de Postgraduados. Centro de Fitopatología. México 79 pp.
- Bauer, L. I. De & S. V. Krupa. 1990. The Valley of Mexico: Summary of observational studies of air quality and effects on vegetation. *Environmental Pollution* 65(1):109-118.
- Benítez-Badillo, G. 1986. Árboles y flores del Ajusco. Instituto de Ecología, Museo de Historia Natural de México. México. D. F. 80 pp.
- Bravo, H. 1987. La contaminación del Aire en México. Fundación Universo XXI (Ed). México, D. F., 296 pp.
- Bravo, H., M. I. Saavedra, R. Torres, G. Lomas., D. Nava & D. Tirado. 1988. Particulate carbon, a significant contributor to the visibility reduction of México City. *Geofísica Internacional* 27(2):241-261.
- Bravo, H., E. R. Sosa, A. P. Sánchez, P. M. Jaimes, M. I. Saavedra. 2002. Impact of wildfires on the air quality of Mexico City, 1992–1999. *Environmental Pollution* 117(1):243-253.
- Caselli, M. 1995. La Contaminación Atmosférica. Causas y fuentes. Efectos sobre el clima, la vegetación y los animales. Siglo Veintiuno (Ed.). 3a ed. México, D.F. 192 pp.
- Castro, J. M., V. González & T. Hernández-Tejeda. 1995. Metales pesados en los suelos del Desierto de los Leones, Distrito Federal. *Ciencia Forestal* 20(77):101-112.

- Ceballos, G y C. Galindo. 1984. Mamíferos silvestres de la Cuenca de México. Limusa (Ed) México, D. F. 300 pp.
- Cervantes Reza, F. A. 1980. Principales características biológicas del conejo de los volcanes *Romerolagus diazi*, Ferrari Pérez.1989 (Mamalia: Lagomorpha). Tesis Licenciatura Facultad de Ciencias U.N.A.M. México 137 pp.
- Chow, J. C., J. G. Watson, S. A. Edgerton & E. Vega. 2002. Chemical composition of PM_{2,5} and PM₁₀ in Mexico City during winter 1997. *The Science of the Total Environment* 287(1):177-201.
- D.G.S.P.A.yF. (Dirección General de Sanidad y Protección Agropecuaria y Forestal). 1985. Problemática del Parque Recreativo y Cultural Desierto de los leones. México. México, D. F.:1-11 pp.
- D.G.PyC.C. (Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación). 1995. Inventario de fuentes de área-precursores de ozono y monóxido de carbono para la zona metropolitana de la Ciudad de México. Dirección de la Red Automática de Monitoreo (RAMA). Subdirección de Inventario de Emisiones y Atención a Contingencias. México, D. F. 160 pp.
- EHC4. (Environmental Health Criteria 4). 1977. Oxides of nitrogen. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc004.htm>
- Eidels-Dubovoi, S. 2002. Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City. *The Science of the Total Environment* 287(1):213-220.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México 252 pp.
- Gaso, B. M. I., M. De Nuria Segovia & L. Cervantes. 2000. Algunos hongos comestibles silvestres como indicadores biológicos de contaminación en los bosques de la Sierra del Chichinautzin, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental (CONSERVA). Departamento del Distrito Federal. México 102 pp.
- Gaffney, J. S., N. A. Marley, M. M. Cunningham & P. V. Doskey. 1999. Measurements of peroxyacyl nitrates (PANs) in Mexico City: Implications for megacity air quality impacts on regional scales. *Atmospheric Environment* 33:5003-5012.
- Hall, E.R. 1981. *The Mammals of North America*. 2 vols. John Wiley (Ed), New York, U.S.A. 1181 pp.

- Hernández-Tejeda, T., S. V. Krupa, G. C. Pratt y & L. I. De Bauer .1981. Sensibilidad de plántulas de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) al ozono. *Agrociencia* 43(1):89-95.
- Hernández-Tejeda, T. & L. I. De Bauer. 1984. Evolución del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* var. *Lindleyi* en el Ajusco, DF. *Agrociencia* 56(2):183-194.
- Hernández-Tejeda, T. & C. Nieto De Pascual Pola. 1996. Effects of oxidant air pollution on *Pinus maximartinezii* in the México City region. *Environmental Pollution* 92(1):79-83.
- Hoffman, D. & L.E. Wynder. 1976. Organic particulate pollutants-chemical analysis and bioassays for carcinogenicity. In *Air Pollution Vol II. The effects of air pollution.* (C. A. Stern ed) 3a ed. Academic Press Inc (Ed). Orlando, Florida. U.S.A.:362-445.
- Harkema, J. R., C. G. Ploper, D. M. Hyde, J. A. St George, D. W. Wilson & D. L. Dungworth. 1987. Response of the macaque basal epithelium to ambient levels of ozone. *American Journal of Pathology.* 128(1)29-43.
- Huizar-A., R. 1998. Definición del control de la calidad del agua subterránea extraída en la subcuenca de México. (Delegación Ixtapalapa) en Tomo I “Aire Agua”. Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental (CONSERVA). Secretaria del Medio Ambiente. México, D. F.: 409-550 p.
- I.N.E. (Instituto Nacional de Ecología) y CENICA. (Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental) 1997. Primer Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas 1996. Secretaria del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México, D. F. 172 pp.
- I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1995. Estadísticas del Medio Ambiente de México, 1994. México, D. F. 447 pp.
- I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2000. Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2000. México, D. F. 342 pp.
- Jáuregui, E., L. I. De Bauer, A. Quevedo, P. R. Miller & F. Alvarado. 1990. Ozone characterization in a mountain forest near México City. Abstrac First International Symposium on Urban Climate, Air Pollution and Planning in tropical cities. Guadalajara, Jalisco.
- Krupa, S. V. & L. I. De Bauer. 1976. La ciudad daña los pinos del Ajusco. *Panagfa* 4(31):5-7.

- Martín del Pozo, A. L. Vulcanología de la Sierra de Chichinautzin Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias UNAM, México, D. F. 131 pp.
- Mehlman, A. M. & C. Borek. 1987. Toxicity and biochemical mechanism of ozone. *Environmental Research*. 41(1):36-53.
- Miller, P. R., L. I. De Bauer & T. Hernández-Tejeda. 1994. Comparison of ozone exposure in forested regions near México City and Los Angeles. *Atmospheric Environment*. 28(1):141-148.
- Morton-Bermea, O., E. Hernández-Álvarez, I. Gaso & N. Segovia. 2002. Heavy metal concentrations in surface soils from Mexico City. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 68(3):383-388.
- Mosser, F. 1987. Geología. Garza, G. (comp.), Atlas de la Ciudad de México, Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México. México.:23-29.
- Mugica, M., M. Maubert, M. Torres, J. Muñoz & E. Rico. 2002. Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM10 in Mexico City during 1996–1998. *Aerosol Science* 33(1):91-102.
- Natusch, S. F. D., J. R. Wallace & C. A. Evans. 1974. Toxic trace elements preferential concentration in respirable particles. *Science* 183:202-204.
- Nikula, K. J., D. W. Wilson, S. N. Giri, C. G. Plopper & D. L. Dungworth. 1988. The response of the rat tracheal epithelium to ozone exposure. Injury, adaptation, and repair. *American Journal of Pathology* 131(2):373-384.
- Quadri de la Torre, G. & L. R. Sánchez-Cataño. 1994. La Ciudad de México y la Contaminación Atmosférica. Limusa (Ed). México. 316 pp.
- Ramírez-Pulido, J., I. Lira, S. Gaona, C. Mudespacher & A. Castro. 1989. Manejo y Mantenimiento de Colecciones Mastozoológicas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D. F. 127 p.
- Reuzel, P. G. J., J. W. G. M. Wilmer, R. A. Wountersen & A. Zwart. 1990. Interactive effects of ozone and formaldehyde on the nasal respiratory lining epithelium in rats. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 29(1):279-292.
- Rivero-Serrano, O. G. Ponciano-Rodríguez y T. Fortoul Van Der Goes. 1993. Contaminación Atmosférica y enfermedad respiratoria. Fondo de Cultura Económica (Editores). México 228 pp.
- Rzedowski, J. 1983. Vegetación de México. Limusa (Ed). México D.F. 432 pp.
- Samet, J. M. 1987. Respiratory effects of indoor pollution. *Journal of Allergy Clinical Immunology* 79:685-700.

- Samet, M. C., Marbury & J. D. Spengler. 1987. Health effects and source of indoor pollution. Part1. American Review of Respiratory Disease136:1486-1508.
- S.D.E.S.O.L. (Secretaría de Desarrollo Social). 1993. The protected Natural areas of México. México, D. F. 215 pp.
- S.E.D.U.E. (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) 1983. Proyecto de programa de manejo del Parque Cultural y Recreativo Desierto de los Leones. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología. Subsecretaria de Ecología, Dirección General de Parques y Reservas y Áreas Ecológicas Protegidas. México, D. F.: 1-15.
- Skelly, J.M., J. E. Savage, L. I. De Bauer & D. Alvarado. 1997. Observations of ozone induced foliar injury on black cherry (*Prunus serotina*, var. capuli) within the Desierto de los Leones National Park, Mexico City. Environmental Pollution 95(2):155-158.
- S. M. A. (Secretaría del Medio Ambiente). 1997. Programa "Precipitaciones ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" Informe Anual 1996. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A). México, D. F. 62 pp.
- S. M. A. (Secretaría del Medio Ambiente). 1998. Informe anual de la calidad del aire en el Valle de México 1997. Evaluación del sistema del desempeño ambiental en Aire. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A). México, D. F. 40 pp.
- S. M. A. (Secretaría del Medio Ambiente).1999. Informe anual de la calidad del aire en el Valle de México 1998. Evaluación del sistema del desempeño ambiental en Aire. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A). México, D. F. 40 pp.
- S. M. A. (Secretaría del Medio Ambiente). 2000. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Departamento del Distrito Federal. México, D. F. 360 pp.
- S.M.A. 2000a (Secretaría del Medio Ambiente). Departamento del Distrito Federal .Programa Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal. Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. http://www.sma.df.gob.mx/sma/corenader/areas_naturales

- Strauss, W. & S. J. Mainwaring. 1995. Contaminación del Aire. Causas, efectos y soluciones. Trillas (Ed). México, D. F 177 pp.
- Sctockinger, H. & D. L. Coffin. 1976. Biological effects of air pollutants. In Air Pollution. Vol. II. The Effects of Air Pollution. (A. C. Stern ed). New York Academic Press, Inc(Ed) New York U.S.A.:231-360.
- Torres-Lima, P. A. & L. M. Rodríguez-Sánchez. 1998. Desarrollo agrícola regional e indicadores de sustentabilidad en la ciudad de México. En Tomo III Recursos naturales/Desarrollo sustentable. Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental (CONSERVA). Secretaría del Medio Ambiente. Departamento del Distrito Federal. México, D. F.:1-315.
- Vargas-Márquez, F. 1984. Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. U.N.A.M. México, D. F. 266 pp.
- Vargas-Márquez, F. 1984. 1997. Parques Nacionales de México I. Aspectos físicos, sociales, legales, administrativos, recreativos, biológicos, culturales, situación actual y propuestas en torno a los parques nacionales de México. Instituto Nacional de Ecología (I.N.E.). Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Áreas Protegidas (SEMARNAP) 1a ed. México, D. F. 343 pp.
- Watmough S.A., T. C. Hutchinson.1999. Change in the dendrochemistry of sacred fir close to Mexico City over the past 100 years. *Environmental Pollution* 104(1):79-88.
- Wilson, W. D., Ch. Plopper & L. D. Dungworth. 1984. The response of the macaque tracheobronchial epithelium to acute ozone injury, Adaptation and repair. *American Journal of Pathology* 116(1):193-206.
- Witschi, H. 1988. Ozone, nitrogendioxide and lung cancer: A review of some resents issues and problems. *Toxicology* 48(1):1-20.

2. BIOLOGÍA DE LAS POBLACIONES DE PEQUEÑOS ROEDORES ESTUDIADAS.

2.1 RESUMEN.

Se realizaron muestreos mensuales de mayo de 1996 a abril de 1997, con capturas de un día de duración en el Parque Nacional Desierto de Los Leones y en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco localizados al suroeste de la Ciudad de México. Obteniendo 319 individuos en el Ajusco (A) y 351 en el Desierto (D). Las especies mejor representadas en las capturas a lo largo de todo el estudio fueron en orden de abundancia *Peromyscus melanotis* (A= 191 y D= 175 organismos), *Peromyscus difficilis* (A= 51 D= 117), *Microtus mexicanus mexicanus* (A= 42 y D= 42 individuos). Las especies con menor éxito de capturas fueron *Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis* (A= 19, D= 1), *Sorex saussurei saussurei* (A= 9, D= 13) y *Cryptotis alticola* (A= 2, D= 3); capturándose exclusivamente en el Ajusco las siguientes especies: *Neotomodon alstoni* (6 individuos), *Reithrodontomys fulvescens toltecus* (1 ejemplar) y *Sorex ventralis* (2 individuos). Algunos organismos de *P. melanotis* y *P. difficilis* se liberaron *in situ* y al azar, en su lugar de colecta y otros fueron destinados a un proyecto de reproducción en cautiverio.

Las diferencias en el éxito de capturas de: *P. difficilis* durante la temporada de lluvias especialmente en mayo y julio y de *R. chrysopsis* y la presencia *N. alstoni* en el Ajusco, fueron las principales diferencias encontradas en la composición de las dos zonas de estudios; estas diferencias pudieron ser producto del muestreo, aunque no debe descartarse que las especies encontradas en las dos zonas de estudio presentaran diferentes tamaños poblacionales, las cuales podrían ser producto de su evolución natural o bien mecanismos de respuesta a los cambios estructurales en la vegetación del bosque.

La posible influencia de la remoción de organismos ocasionada por el estudio debe de ser tomada en cuenta, a pesar de lo cual en la temporada seca se observa un mayor éxito de capturas acompañado de cierta actividad reproductora en las poblaciones de *P. melanotis* y *P. difficilis* en la época invernal en los dos áreas de de colecta.

No se encontraron diferencias significativas en el peso de los ejemplares capturados de *M. mexicanus* y *P. melanotis* pero si en *P. difficilis*, con ejemplares de menor peso en el Desierto durante la temporada seca, posiblemente debido a una mayor incorporación de individuos producto de la aparente mayor actividad reproductora en la zona detectada en las capturas.

En dos zonas de captura, los patrones reproductores de las tres especies mejor representadas corresponden en parte a lo reportado para las poblaciones del Ajusco mostrando un pico reproductor durante la temporada de lluvias y otro en el otoño, sin embargo durante la temporada de invierno no se presenta una interrupción clara de los procesos reproductores en *P. melanotis* y *P. difficilis*, obteniéndose actividad reproductora durante los meses de diciembre, enero y marzo en los dos sitios de captura y en el Desierto además de los meses anteriores en el mes de febrero.

Se detectaron un mayor número de hembras gestantes de *P. difficilis* en el Desierto (13 en la temporada de lluvias y 6 en la época seca) durante todo el periodo de estudio en tanto que en el Ajusco fue mayor el número de hembras gestantes de *P. melanotis* (13 en la temporada de lluvias y 4 en la época seca)

El método de captura y la remoción de organismos son limitantes para sacar conclusiones acerca de la dinámica poblacional de las especies estudiadas no siendo el objetivo de este capítulo sino el de explicar y entender patrones de comportamiento que nos ayuden en la interpretación de los resultados obtenidos en el laboratorio.

2.2 INTRODUCCIÓN.

El impacto antropogénico sobre los bosques de la Ciudad de México, puede ocasionar cambios en la diversidad y estructura de la vegetación, alterando la disponibilidad, distribución y calidad del alimento, los caminos por las que especies se distribuyen, aumentando o disminuyendo el grado de interacciones interespecíficas e intraespecíficas, disminuyendo la protección natural contra depredadores e inclemencia del tiempo; llegando a favorecer especies oportunistas, en detrimento de la permanencia de especies menos resistentes a cambios ambientales, modificando con ello el comportamiento y el proceso de sucesión natural de una comunidad de roedores.

En especies como *Microtus mexicanus* el tipo de vegetación, de cubierta vegetal y humedad relativa influyen en su distribución local (Getz, 1985). En cambio en especies como *Peromyscus maniculatus* estas influencias son menores. El abasto de semillas para roedores granívoros y la escasez de cobertura vegetal para los herbívoros son presumiblemente los factores que controlan su distribución (Sullivan, 1980; Price & Waser, 1984;).

Los bosques del suroeste del Valle de México han recibido por años el impacto de la presión demográfica, sufriendo tala inmoderada, incendios forestales y quemas controladas entre otros (Rzendowski, 1978). A pesar que desde 1972 se tenían indicios sobre el efecto de la contaminación en la vegetación, esta no tuvo gran atención por parte de las autoridades hasta 1982, cuando se observó una declina masiva en *Abies religiosa* en el Parque Nacional Desierto de los Leones (Bauer & Hernández-Tejeda, 1985; Bauer & Krupa, 1990). Se han realizado varios estudios tendientes a analizar el tipo y grado de daño que los contaminantes atmosféricos han provocado en la vegetación que rodea la Ciudad de México así como los mecanismos implicados. Sin embargo los efectos de estos contaminantes en la fauna de la zona no han sido evaluados, bien sea por causa directa o indirecta como consecuencia de las modificaciones en la cubierta vegetal.

Alteraciones en la dinámica poblacional de pequeños roedores debidos a los cambios en la cobertura vegetal por "incendios controlados" en el Ajusco han sido estudiadas por Gómez-Ugalde, (1989), quien observó que los herbívoros (*Neotomodon alstoni*, *Microtus mexicanus*) resultaron ser más susceptibles a dichos cambios, disminuyendo su densidad poblacional además de ir acompañadas de un incremento inicial de especies granívoras (*Peromyscus melanotis*). Disminuciones poblacionales debidas a la contaminación atmosférica han sido estudiadas por Kataev *et al.* (1994).

En estudios de laboratorio se ha reportado abatimientos en el consumo de alimento y agua en ratas expuestas a ozono (Umezu *et al.* 1987; Bignami *et al.*, 1994). Barragán- Mejía *et al.* (2002) encontraron cambios en el metabolismo de la serotonina en función del estado nutricional inicial, con consecuencias en la conducta y funcionamiento del sistema nervioso central relacionados con el ozono.

2.3 MATERIAL Y MÉTODOS.

Se utilizó un promedio mensual de 134 trampas Sherman cebadas con avena por noche de trampeo en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco y 143 trampas en el Parque Nacional Desierto de los Leones, la mayor diferencia en el esfuerzo de captura ocurrió en junio y diciembre de 1996 con un mayor número de estaciones de trampeo en el Desierto.

Las trampas se colocaron por la tarde y se recogieron a la mañana siguiente. Las estaciones de captura se dispusieron en transectos lineales distribuidos al azar en el sitio seleccionado, con una separación entre trampas de 5 m cubriendo una distancia lineal de 500 m aproximadamente

Parte de los organismos capturados se liberaron *in situ* y al azar, otros se destinaron a un estudio de reproducción en cautiverio, utilizándose el total de individuos solo para el recuento y la valoración del éxito de captura.

Los individuos capturados se trasladaron al Laboratorio de Mastozoología de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAMI). De cada individuo se registró el sexo, el peso, medidas anatómicas, estado reproductor. Todos los ejemplares utilizados fueron preparados como material de referencia (Ramírez-Pulido *et al.*, 1989) y se encuentran depositados en la colección de Mamíferos de la UAMI como cráneo y esqueleto, aunque de algunos también se conservó la piel. Las determinaciones subespecíficas se hicieron de acuerdo con Hall (1981) y para la nomenclatura taxonómica se sigue a Ramírez-Pulido *et al.* (1996).

El porcentaje de éxito de captura se calculó en función de las trampas colocadas y el número de individuos por especie y total de ejemplares por ocasión de muestreo.

Para cada ejemplar colectado se registró: zona de colecta, especie, número individual, edad, sexo, peso, longitud total, longitud de cola ventral y estado reproductor.

Se consideró a las hembras en estado reproductor (activas) cuando presentaron cualquiera de las siguientes características: sínfisis púbica abierta, vagina perforada, desarrollo mamario y lactantes o con embriones; durante las necropsias se observó el aparato reproductor para corroborar los datos obtenidos mediante las características externas y detectar embriones en gestación incipiente.

Se consideró a los machos estado reproductor (activos) cuando presentaron los testículos en posición escrotal

El cálculo de la actividad reproductora y la proporción de sexos se muestra en porcentajes, debido a los diferentes tamaños de muestra obtenidos en cada zona de estudio.

Con el fin de determinar posibles variaciones en el peso en relación a la tamaño de los organismos colectados y con ello obtener diferencias en el consumo de alimento y/o metabolismo se obtuvo el índice de condición de cuerpo (Lawrence, 1966), mediante la división del peso (g) por el largo del cuerpo (cm). Este índice se calculó para cada

individuo capturado, incluyéndose sólo individuos adultos y excluyéndose las hembras gestantes y lactantes.

Los resultados obtenidos se muestran en forma anual y estacional, considerando la temporada de (mayo - octubre) y seca (noviembre - abril) de acuerdo a lo propuesto por Batzli & Pitelka (1971), y mensual según el tamaño de muestra obtenida.

Análisis Estadístico.- Para evaluar el esfuerzo reproductor y proporción de sexos se empleó la Chi-cuadrado de Pearson (estadística no paramétrica). A los datos de peso e ICC se les aplicó un análisis exploratorio de datos, con el fin de saber su distribución, se utilizaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de la significación de Lilliefors y Shapiro-Wilkins y la prueba homogeneidad de varianzas (Levene). En función de los resultados obtenidos se aplicó la transformación $X' = \text{Log}(X + 1)$, propuesta (Zar, 1984) para estandarizar las variables; un análisis de varianza (ANOVA) y en caso de detectarse diferencias se utilizó la prueba de Tukey o Games-Howel de acuerdo al comportamiento de los datos. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SPSS (Norusis, 1999).

2.4 RESULTADOS.

2.4.1 Diversidad de Especies.

Al utilizar el mismo esfuerzo de captura de organismos en las dos zonas y en casi todos los meses, exceptuando el mes de junio en el Desierto de los Leones donde se empleo el doble de esfuerzo de colecta, se pueden obtener algunos datos preliminares sobre las especies dominantes. Esta información no implica un estudio de dinámica poblacional.

Se colectaron un total de 319 individuos en el Ajusco y 351 en el Desierto, observándose de forma anual similar éxito de captura con ligeras diferencias en cada ocasión de muestreo, obteniéndose en los meses de mayo de 1996 y en febrero, marzo y abril de 1997 un número más elevado de ejemplares en el Desierto (figura 1); y en agosto y en enero el Ajusco; parte de estos organismos fueron soltados al azar o destinados a un estudio de reproducción en cautiverio.

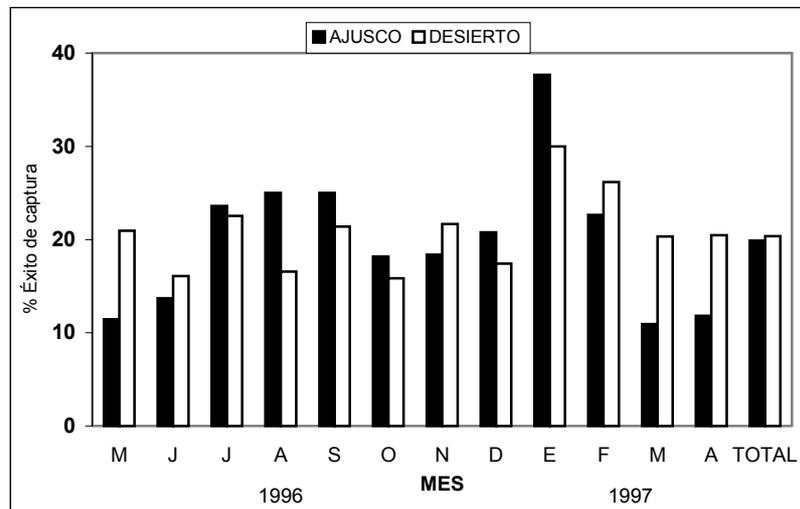


Figura 1. Porcentaje total de éxito de captura por zona y ocasión de colecta, en las dos zonas de estudio.

La diversidad de especies en ambas zonas fue muy similar; encontrándose *Peromyscus melanotis*, *P. difficilis*, *Microtus mexicanus*, *Reithrodontomys chrysopsis*, *Sorex saussurei saussurei*, *Cryptotis alticola*; sin embargo la presencia y éxito de captura de *P. difficilis* y *R. chrysopsis* fue diferente en el Ajusco.

P. difficilis se capturó en el Ajusco a partir de julio de 1996, en tanto que en el Desierto se obtuvo en casi todas las ocasiones de colecta, siendo inclusive más exitosa su captura en la época de lluvias (figuras 2 y 3); en tanto que *R. chrysopsis* presentó una clara presencia en el Ajusco (n = 19) mientras que en el Desierto sólo se capturó un ejemplar durante el ciclo anual.

Las especies que se capturaron sólo en el Ajusco fueron *Neotomodon alstoni* (6 ejemplares) *R. fulvescens toltecus* (1 ejemplar) y *S. ventralis* (2 ejemplares).

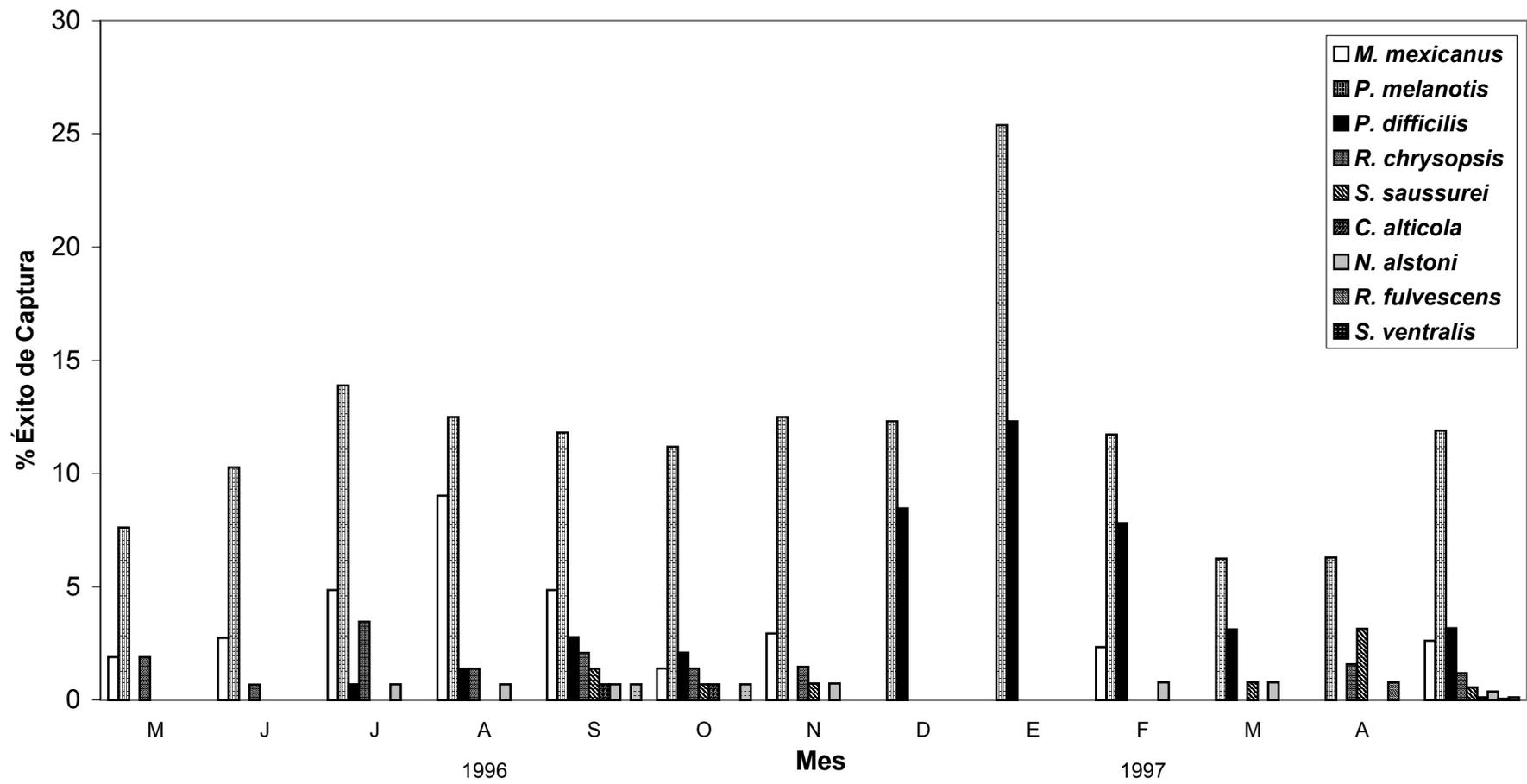


Figura 2. Porcentaje de éxito de captura mensual para cada una de las especies encontradas en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco.

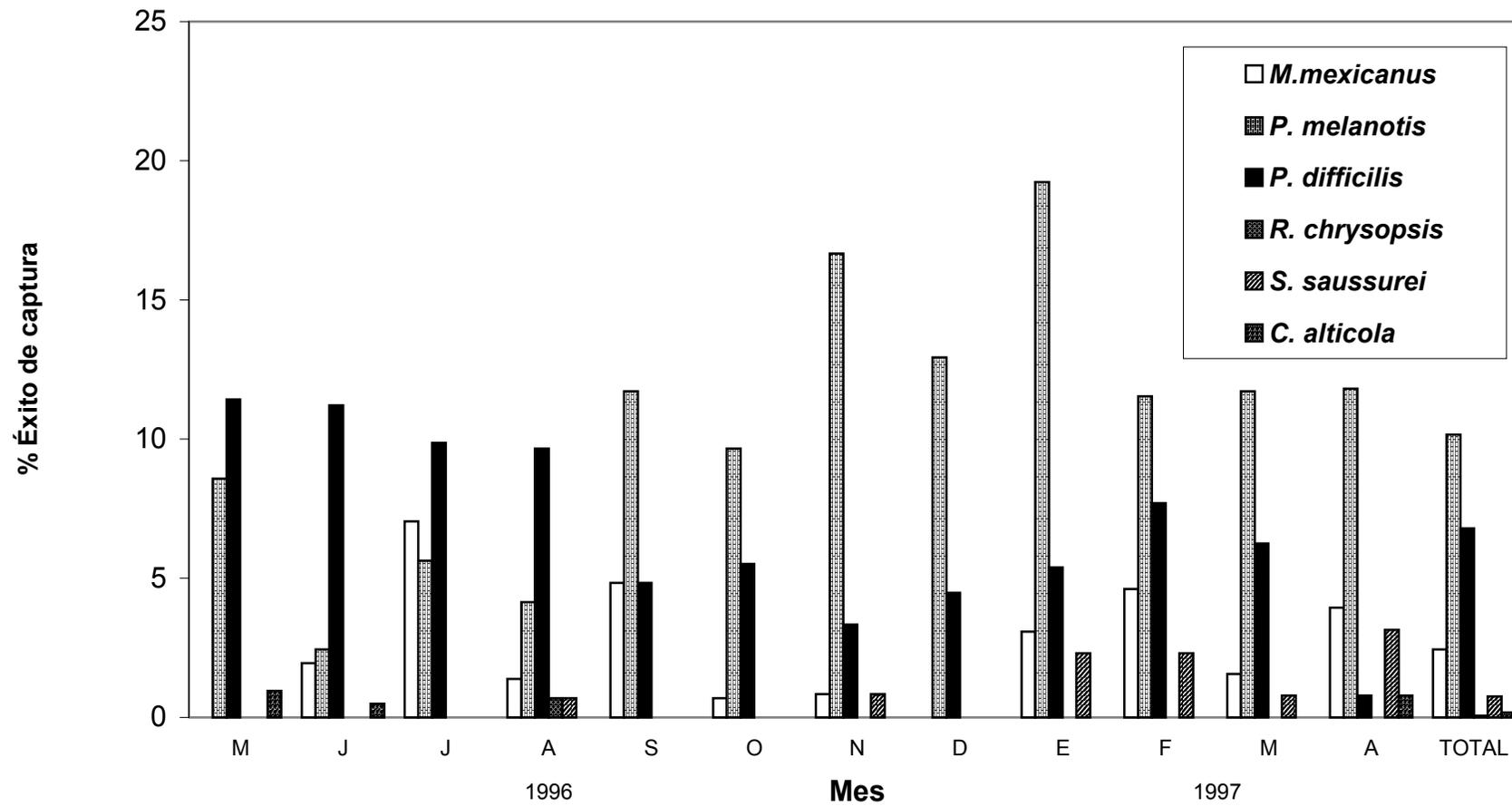


Figura 3. Porcentaje de éxito de captura mensual para cada una de las especies encontradas en el Parque Nacional Desierto de los Leones.

2.4.2 *Microtus mexicanus*.

El número total de individuos capturado de *M. mexicanus* fue muy similar en ambas zonas de estudio (figura 4), apareciendo en las dos localidades de trabajo en junio de 1996 y desapareciendo en las capturas de diciembre del mismo año en ambas zonas de estudio y en el mes marzo y abril de 1997 en el Ajusco.

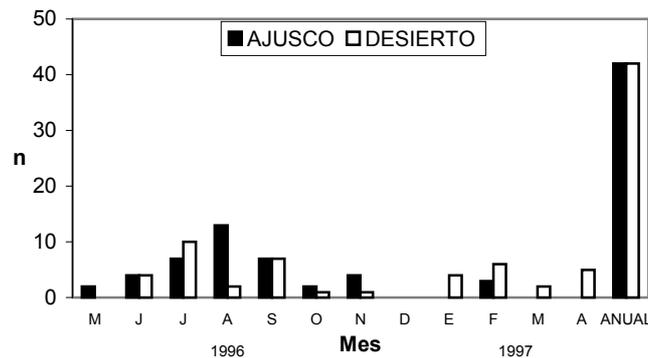


Figura 4. Distribución mensual del número de individuos de *Microtus mexicanus* obtenidos en los dos sitios de colecta.

El mayor éxito de captura para esta especie ocurrió durante la época de lluvias en ambas zonas con dos meses de diferencia, siendo las máximas capturas en julio de 1996 en el Desierto y en agosto en el Ajusco, las más exitosas llegan a estar casi al mismo nivel de captura de *P. melanotis*, superándolo en el mes de agosto de 1996 en el Desierto.

Debido a problemas logísticos sólo se incluyeron en el estudio 39 organismos procedentes del Parque Nacional Cumbres del Ajusco y 35 del Parque Nacional Desierto de los Leones, excluyéndose algunos ejemplares procedentes del Desierto capturados durante la temporada seca, por lo que la proporción de sexos y actividad sexual en este periodo tienen ese factor de error.

No se encontraron diferencias significativas entre la proporción de hembras y machos obtenidas en las dos zonas de estudio ($X^2 = 2,65$; $p = 0,103$).

Aun cuando se obtuvo un mayor número de machos que de hembras en ambas épocas de colecta en el Ajusco (tabla 1), no se encontraron diferencias significativas en las proporciones obtenidas, en este caso el número de organismos excluidos (1) no altero los resultados.

En el Desierto se observó un mayor número de hembras durante la época de lluvias no así en la temporada seca, donde se presentó un número similar de hembras y machos; en este caso se excluyeron 7 organismos por lo que los datos generados en este apartado se deben tomar con las reservas del caso, sin embargo no se encontraron diferencia entre las proporciones de hembras y machos incluidas en el análisis.

Tabla 1. Número de machos y hembras y frecuencias relativa de sexos por zona de colecta y época del año de *Microtus mexicanus*.

ZONA	EPOCA		SEXO		Total
			MACHOS	HEMBRAS	
A ^a	LL ^c	n	18	14	32
		%	56,3%	43,8%	
	S ^d	n	5	2	7
		%	71,4%	28,6%	
	Total	n	23	16	39
		%	59,0%	41,0%	
D ^b	LL ^c	n	9	16	25
		%	36,0%	64,0%	
	S ^d	n	5	5	10
		%	50,0%	50,0%	
	Total	n	14	21	35
		%	40,0%	60,0%	

- a. Parque Nacional Cumbres del Ajusco
b. Parque Nacional Desierto de los Leones
c. Lluvias mayo - octubre 1996
d. secas = noviembre - abril 1997

Se encontraron indicios de actividad reproductora en casi todas las colectas de *M. mexicanus* en el Ajusco con excepción del mes de febrero de 1997; en tanto que en el Desierto se ve un aparente descenso de esta actividad en octubre de 1996 coincidiendo con los meses en que se presentó el menor éxito de captura (1 individuo en cada ocasión de muestreo), sin embargo la presencia de actividad reproductora en el mes de febrero hace suponer que ha iniciado un nuevo ciclo reproductor (figura 5). Se capturaron 3 hembras gestantes en el Ajusco distribuidas en los meses de junio, julio y noviembre de 1996 con una media de $2,33 \pm 0,57$ embriones; en tanto que en el Desierto sólo se detectó 1 hembra gestante con 2 embriones en junio de 1996.

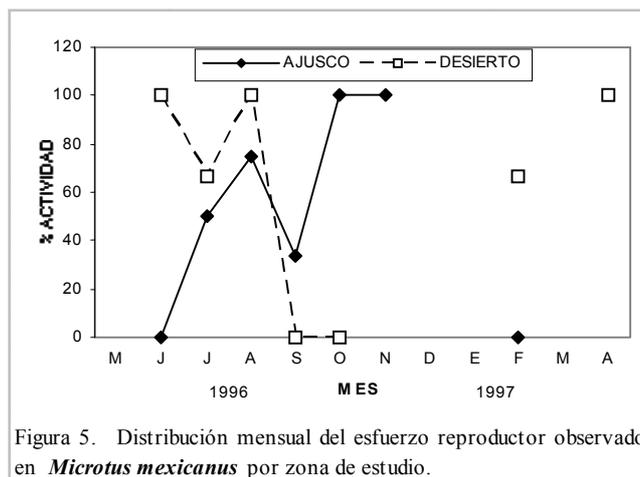


Figura 5. Distribución mensual del esfuerzo reproductor observado en *Microtus mexicanus* por zona de estudio.

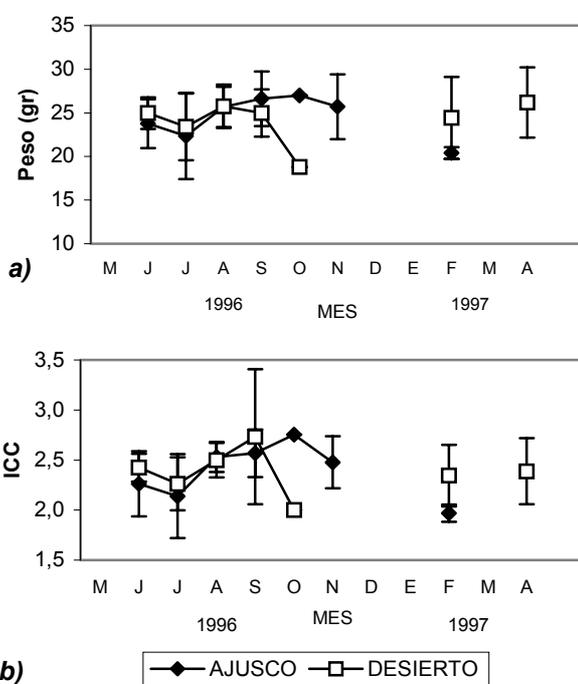


Figura 6. Distribución mensual del peso (a) y del índice de condición del cuerpo (b); media \pm ds en *Microtus mexicanus* por zona de estudio.

A lo largo del estudio las variaciones en el peso y el ICC no mostraron diferencias significativas entre las dos zonas de trabajo, con variaciones muy similares en la época de lluvias y presentando un ligero descenso en el peso e ICC en el mes de julio de 1996 y con un mes de diferencia (octubre en el Ajusco y noviembre el Desierto) al final de la temporada de lluvia del 1996 (figura 6), coincidiendo con la época en que se obtuvo menor éxito de captura.

La presencia de juveniles y subadultos fue mínima encontrándose 2 individuos subadultos en el Ajusco y 1 juvenil en el Desierto.

2.4.3 *Peromyscus melanotis*.

P. melanotis fue la especie que en general presentó un mayor éxito de capturas en las dos zonas de estudio (191 organismos en el Ajusco; 171 en el Desierto), apreciándose un número menor de individuos capturados en el Desierto durante la temporada de lluvias (figura 7).

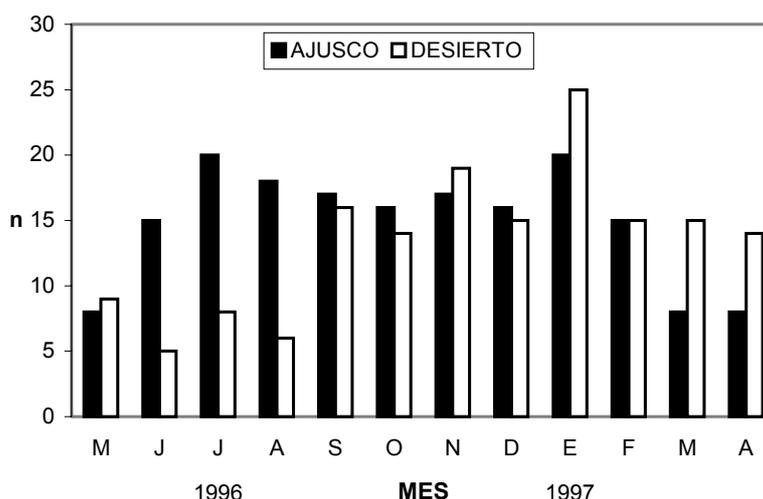


Figura 7. Distribución mensual de capturas de *Peromyscus melanotis* por zona de estudio.

Durante el estudio las frecuencias relativas de machos y hembras (%) en ambas zonas de colecta manifiestan un mayor éxito de captura de machos (tabla 2), especialmente en la temporada seca ($X^2_{SA} = 8,048$, $p = 0,005$; $X^2_{SD} = 11,89$, $p = 0,001$). Analizando el comportamiento anual de estas frecuencias, se tienen proporciones de sexos cercanas a 1:1 en el Ajusco ($X^2_A = 3,798$, $p = ns$); mientras que en el Desierto fue lo contrario ($X^2_D = 6,764$, $p = 0,009$) con un menor número de hembras (tabla 2).

En Ajusco se capturó un reducido número de individuos juveniles y subadultos, detectándose 6 juveniles (4 machos y 2 hembras) y 5 subadultos (3 machos y 2 hembras); mientras que en el Desierto este número fue considerablemente menor colectándose dos organismos (hembra y macho) para cada estado de desarrollo.

De forma anual no se encontraron diferencias en la actividad reproductora detectada en las capturas entre las dos poblaciones de *P. melanotis* ($X^2 = 3,450$, $p = ns$), sin embargo estacionalmente es distinto en el Ajusco, ya que durante la época seca se observó un mayor número de individuos sexualmente activos ($X_s^2 = 9,254$, $p = 0,003$) (tabla 3).

Tabla 2. Número de machos y hembra y frecuencias relativas de sexos por zona de colecta y época del año de *Peromyscus melanotis*.

ZONA		SEXO			
		MACHOS	HEMBRAS	Total	
A ^a	EPOCA	LL ^c	n 47	47	94
			% 50,0%	50,0%	
	S ^d	n 55	29	84	
		% 65,5%	34,5%		
	Total	n 102	76	178	
		% 57,3%	42,7%		
D ^b	EPOCA	LL ^c	n 28	30	58
			% 48,3%	51,7%	
	S ^d	n 69	34	103	
		% 67,0%	33,0%		
	Total	n 97	64	161	
		% 60,2%	39,8%		

a. Parque Nacional Cumbres del Ajusco

b. Parque Nacional Desierto de los Leones

c. mayo - octubre 1996

d. noviembre - abril 1997

Tabla 3. Porcentaje de individuos sexualmente activos en *Peromyscus melanotis*, por época de año en las dos zonas de estudio.

ZONA		A. REPRODUCTIVA			
		INACTIVOS	ACTIVOS	Total	
A ^a	EPOCA	LL ^c	n 51	43	94
			% 54,3%	45,7%	
	S ^d	n 37	47	84	
		% 44,0%	56,0%		
	Total	n 88	90	178	
		% 49,4%	50,6%		
D ^b	EPOCA	LL ^c	n 26	32	58
			% 44,8%	55,2%	
	S ^d	n 68	35	103	
		% 66,0%	34,0%		
	Total	n 94	67	161	
		% 58,4%	41,6%		

a. Parque Nacional Cumbres del Ajusco

b. Parque Nacional Desierto de los Leones

c. mayo - octubre 1996

d. noviembre - abril 1997

Si observamos el comportamiento mensual de la actividad reproductora (figura 8), las fluctuaciones son muy similares entre poblaciones, ya que si bien se observa un comportamiento inverso, en la distribución de individuos activos por época, este es el producto de la distribución de los valores más altos de las actividades reproductoras en el Ajusco, durante el período de junio-agosto, siendo menor en los meses siguientes e iniciando un segundo pico reproductor en el mes de octubre, para continuar un nuevo ciclo reproductor, en marzo de 1997. En tanto que en los ejemplares del Desierto de los Leones la mayor actividad reproductora se presenta en los meses de junio y julio presentando otros dos picos de reproducción en septiembre y enero, iniciando el siguiente ciclo en abril.

El comportamiento reproductor de los machos en las dos zonas explica las variaciones (tabla 3), ya que mientras en el Ajusco sólo se obtienen machos inactivos en septiembre, en el Desierto se produce este comportamiento en noviembre no observándose una completa interrupción de la reproducción hasta marzo en el Desierto y en febrero marzo en el Ajusco.

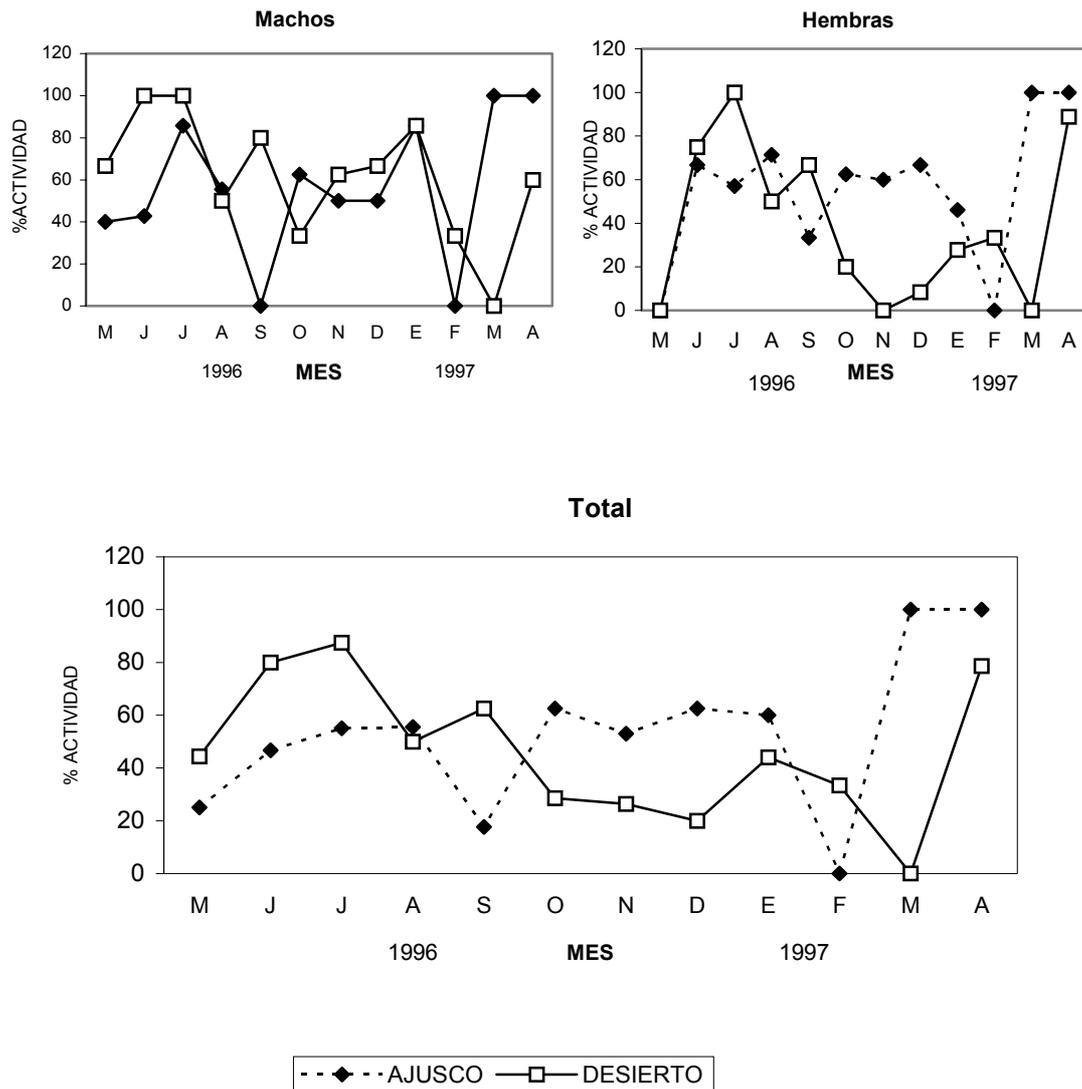


Figura 8. Distribución mensual de la actividad reproductora observada en *Peromyscus melanotis* por sexos y total.

La presencia de hembras gestantes fue mayor a lo largo del año en el Ajusco con un total de 17 hembras gestantes; 13 repartidas en temporada de lluvias con un número medio de embriones de $2,92 \pm 0,49$ y un intervalo 2 - 4; en la temporada seca se observaron 4 hembras gestantes, sin embargo el número de embriones fue mayor con una media de $3,5 \pm 1$. En el Desierto las 8 hembras gestantes se obtuvieron en el transcurso de la temporada de lluvias, con una media en el número de embriones de $2,63 \pm 0,52$.

Los valores promedio obtenidos en el peso y el Índice de Condición del Cuerpo (ICC) de los organismos procedentes del Desierto fueron ligeramente mayores que el de los ejemplares procedentes del Ajusco (figura 9); presentando similares tendencias a lo largo del periodo de estudios como se puede observar en la grafica correspondiente; no

se encontraron diferencias significativas entre zonas, aunque en los machos se observa una notable diferencia entre los valores obtenidos en el mes de mayo y el mes de junio mientras que en las hembras es más tenue esta diferencia, coincidiendo con el periodo en el que se obtuvo menos éxito de capturas (figura 7) y el inicio de la reproducción (figura 8).

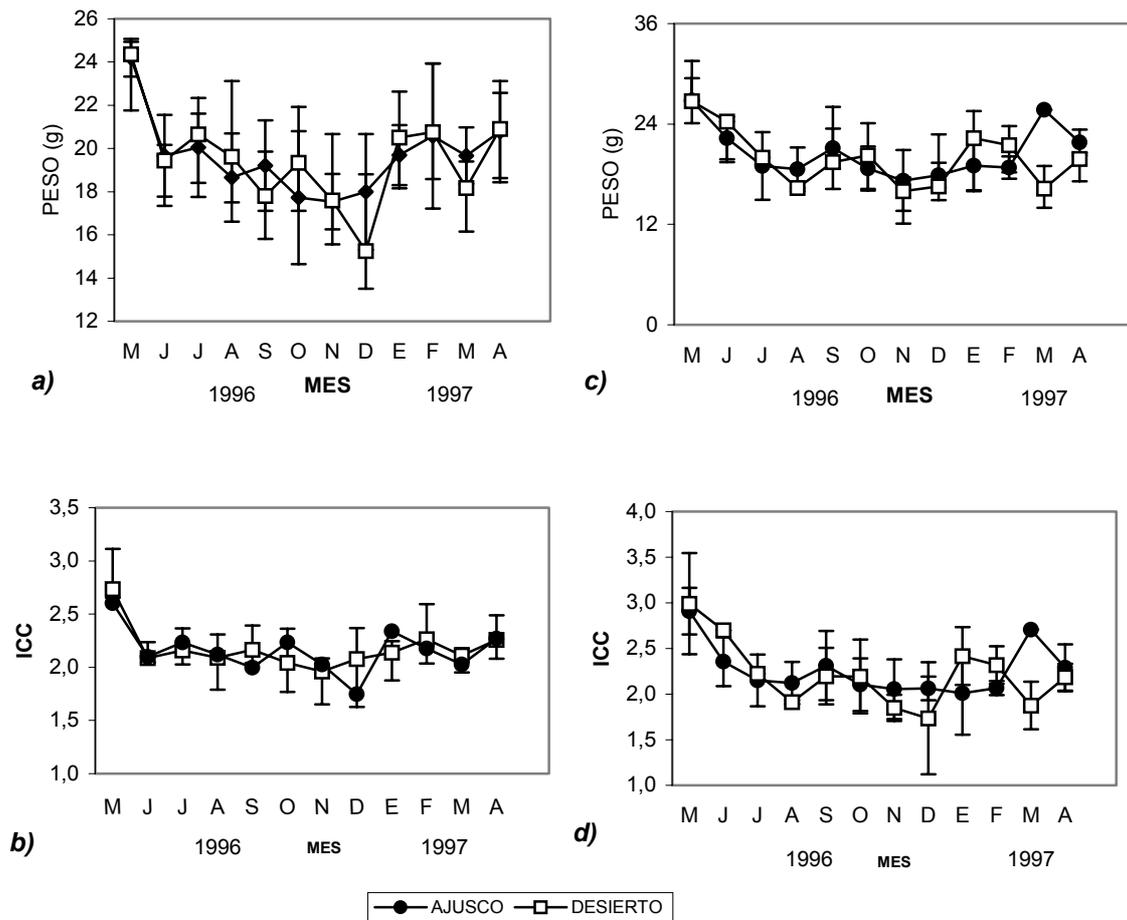


Figura 9. Distribución mensual del peso e índice de condición del cuerpo en *Peromyscus melanotis* en los organismos colectados en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco y el Parque Nacional Desierto de los Leones ; a y b) machos, c y d) hembras.

2.4.4 *Peromyscus difficilis*.

Los datos de captura de *P. difficilis* presentaron el comportamiento más atípico en cuanto al éxito de captura y con ello el número de organismos obtenido en cada zona de estudio. Se colectaron 50 organismos en el Ajusco distribuidos principalmente en la época seca; en tanto que en el Desierto el éxito de captura fue mucho mayor, obteniéndose 117 individuos, distribuidos a lo largo del año del estudio (figuras 10).

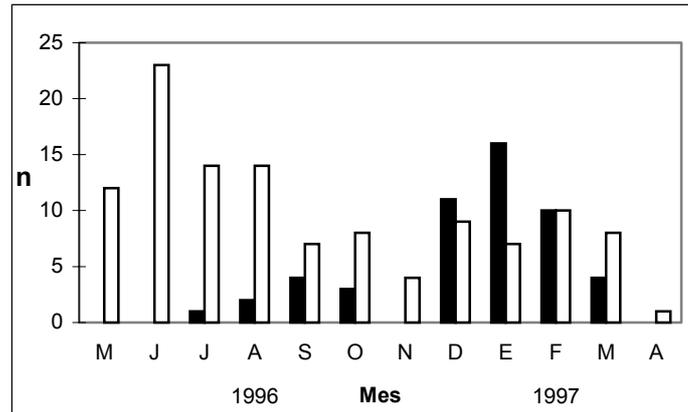


Figura 10. Distribución mensual de las capturas de *Peromyscus difficilis* por zona de estudio

En ambos parques el porcentaje de captura de machos y hembras presenta un comportamiento diferente, en el Ajusco existe un mayor número de machos durante la

Tabla 4. Número de machos y hembras y frecuencia relativas de sexos por zona de colecta y época del año de *Peromyscus difficilis*

ZONA	EPOCA		SEXO		Total
			MACHOS	HEMRAS	
A ^a	LL ^c	n	10	4	14
		%	71,4%	28,6%	
	S ^d	n	14	13	27
		%	51,9%	48,1%	
	ANUAL	n	24	17	41
		%	58,5%	41,5%	
D ^b	LL ^c	n	38	17	55
		%	69,1%	30,9%	
	S ^d	n	27	10	37
		%	73,0%	27,0%	
	ANUAL	n	65	27	92
		%	70,7%	29,3%	

a. Parque Nacional Cumbres del Ajusco
b. Parque Nacional Desierto de los Leones
c. Lluvias mayo - octubre 1996
d. seca noviembre - abril 1997

temporada de lluvias, pero en la época seca esta diferencia disminuye, acercándose a una proporción de capturas 1:1; en contraposición las capturas procedentes del Desierto presentan una tendencia hacia un significativo mayor número de machos, ($X^2 = 15,696$, $p < 0,001$; tabla 4).

La actividad reproductora aumentó en las dos poblaciones en la época seca, en mayor proporción en los individuos del Desierto (tabla 5) aunque estas diferencias no resultaron significativas ($X^2 = 6,264$ y $p = ns$).

Se encontraron indicios de actividad reproductora a lo largo de todo el periodo de estudio en los machos procedentes del Desierto de los Leones, con excepción del mes de noviembre (figura 11).

Los individuos del Ajusco no mostraron indicios de actividad reproductora julio, septiembre y octubre, siendo los meses en los que se obtuvo menor éxito de captura en dicha zona para esta especie (figura 11)

Tabla 5. Porcentaje de actividad reproductora observada en *Peromyscus difficilis*.

ZONA			A.REPRODUCTORA		Total	
			INACTIVOS	ACTIVOS		
A ^a	EPOCA	LL ^c	n	9	5	14
			%	64,3%	35,7%	
	S ^d	n	12	15	27	
		%	44,4%	55,6%		
	ANUAL	n	21	20	41	
		%	51,2%	48,8%		
D ^b	EPOCA	LL ^c	n	22	33	55
			%	40,0%	60,0%	
	S ^d	n	10	27	37	
		%	27,0%	73,0%		
	ANUAL	n	32	60	92	
		%	34,8%	65,2%		

Texto al pie de tabla

- a. Parque Nacional Cumbres del Ajusco
- b. Parque Nacional Desierto de los Leones
- c. Lluvias mayo - octubre de 1996
- d. Seca noviembre - diciembre 1997

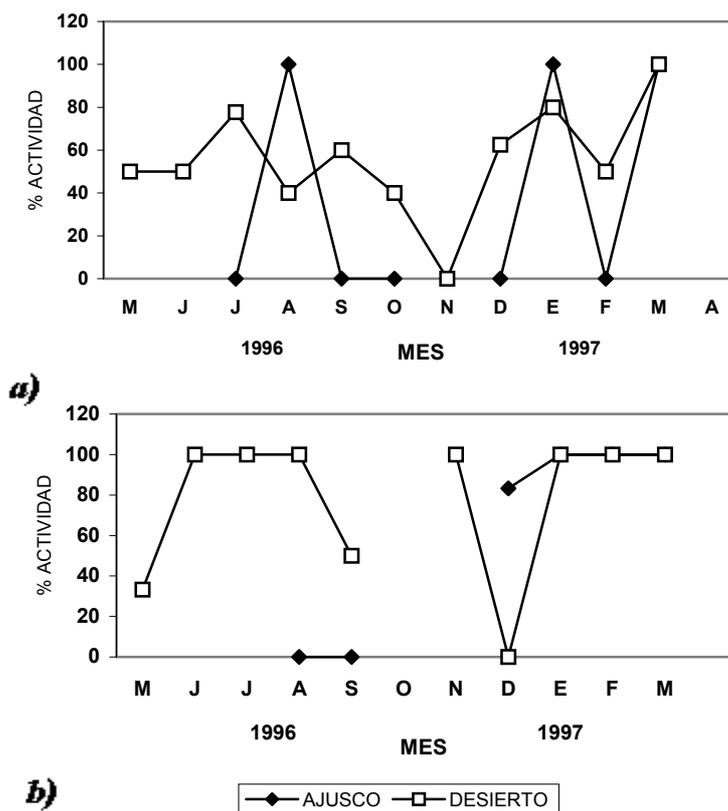


Figura 11. Distribución mensual de la actividad reproductora observada en *Peromyscus difficilis*. a) machos b) hembras.

En el Ajusco se detectó una hembra gestante con dos embriones. En tanto que en el Desierto se obtuvieron 13 hembras gestantes; 7 en la época de lluvias y 6 en la época seca con una media total de $2,77 \pm 0,73$ de embriones, un mínimo de 2 y un máximo de 4 embriones, el máximo número de embriones varió en función de la época siendo de 4 en la temporada de lluvias y 3 en la seca.

En general en casi todos los meses se observó una tendencia muy similar en el peso y el ICC de *P. difficilis* en ambas zonas, sin embargo se aprecia un comportamiento semejante a los datos obtenidos en *P. melanotis* con una reducción significativa en el peso de los ejemplares de diciembre en el Desierto, un aumento en enero para descender ligeramente en los meses siguientes (figura 12)

En el Desierto se aprecia una mayor variación mensual, sin embargo analizando los datos del ICC esta dispersión de datos se explica debido las variaciones en las tallas de los organismos colectados no así el descenso observado en los meses de febrero y marzo, manifestándose diferencias significativas entre las dos épocas del año en el Desierto y entre zonas durante la temporada seca (tabla 6), no observándose diferencias con respecto a los valores obtenidos durante la temporada de lluvias en el Ajusco, sin

embargo esto puede estar influenciado, por el número de muestras obtenido y la ausencia de la especie durante los meses de mayo y junio en el Ajusco.

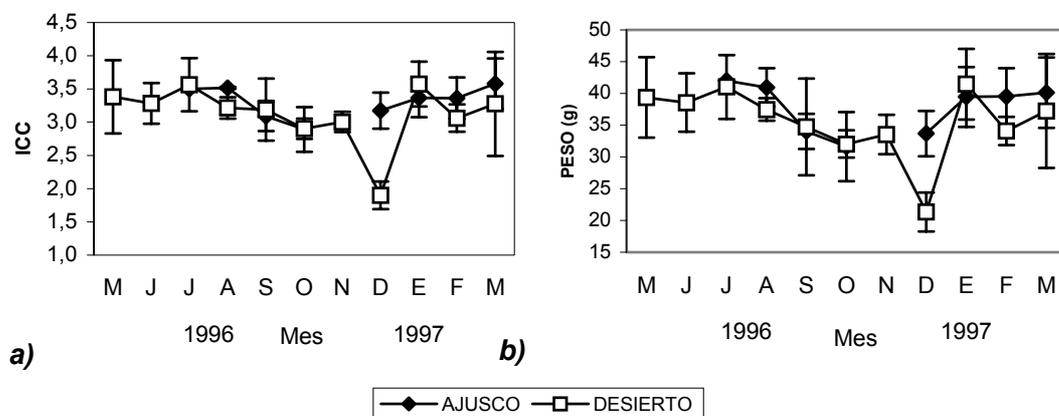


Figura 12. Variación mensual (proemdio ± ds) del Índice de Condición del Cuerpo (a) y el peso (b) en *Peromyscus difficilis* en los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco y Desierto de los Leones.

Tabla 6. Comparación entre las dos zonas de estudio del peso e índice de condición del cuerpo (ICC), en *Peromyscus difficilis*

Variable dependiente ^a	(I) EPOCA	(J) EPOCA	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig. ^b
PESO	SA	SD	0,082	0,022	0,004
	LLD	SD	0,078	0,022	0,005
ICC	SA	SD	0,063	0,016	0,002
	LLD	SD	0,056	0,016	0,006

^a Games-Howell; Datos transformados ($X' = \log(X + 1)$)

^b La diferencia es significativa al nivel del = 0,05

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Epoca de lluvias (mayo - octubre 1996); S = Epoca seca (noviembre 1996 - abril 1997)

2.5 DISCUSIÓN.

El objetivo de este capítulo es obtener información básica preliminar de las especies estudiadas, la cual nos ayudará a comprender tanto las alteraciones patológicas como su influencia en la concentración de metales detectadas en los órganos internos de *Microtus mexicanus*, *Peromyscus melanotis* y *P. difficilis*.

La coexistencia entre especies del genero *Peromyscus* depende de diversos factores siendo la separación del hábitat un importante medio de subdividir los recursos disponibles (Holbrook, 1978).

Resulta interesante notar que a pesar de tratarse de capturas de un día, se observan comportamientos poblacionales reportados por diversos autores para las poblaciones estudiadas especialmente durante la temporada de lluvias, presentándose ciertas diferencias durante la temporada seca.

El elevado éxito de captura en enero de hasta un 37,6 % en el Ajusco y un 30 % en el Desierto; así como con un claro incremento en la actividad poblacional en la época seca, en el Ajusco debida a *P. melanotis* y en el Desierto entre *P. melanotis* y *P. difficilis*, se pueden atribuir tanto al método de captura como a las variaciones en la altitud, considerando al segundo factor en las dos regiones de muestreo (2800 m.s.n.m. en el Desierto y 3180 m.s.n.m. en el Ajusco) y que *P. melanotis* sustituye a *P. maniculatus* en las partes altas de México (Hooper, 1968), se explicaría la clara presencia de *P. melanotis* en el Ajusco y en el Desierto la variación en el porcentaje de captura de las especies registradas asumiendo el sitio de colecta del Desierto como un punto de transición entre *P. melanotis* y *P. difficilis*, aunque realmente es poco conocida la distribución de *P. difficilis* en la zona.

Durante el año de estudio se dio una variabilidad en el éxito de captura, dando como resultado diferencias en el espacio y en el tiempo con respecto a la diversidad biológica y la importancia de la presencia de especies, las cuales son: en el Desierto al inicio del estudio *P. difficilis* es la más frecuente y dominante seguida de las capturas de *P. melanotis* y *M. mexicanus* y *Sorex saussurei* mientras que *Cryptotis alticola* y *R. chrysopsis* aparecen ocasionalmente; en contraste en el Ajusco *P. melanotis* es frecuente y dominante en todas las capturas, *P. difficilis* es esporádica y poco abundante seguida de *M. mexicanus* y *R. chrysopsis* en tanto que *C. alticola* y *Neotomodon alstoni* y *S. ventralis* son raras y escasamente abundante su aparición (captura poco representativa).

Todo lo anterior podrían ser una consecuencia del muestreo y/o producto de mecanismos de respuesta diferentes a los factores contaminantes del ambiente en especial en *P. difficilis* ya que de las tres especies analizadas fue la única que presentó de forma constante patologías relacionadas con el estrés oxidativo, detectándose pigmentación de células de Küpffer mientras que *N. alstoni* y *R. chrysopsis* sólo muestran neumoconiosis y procesos inflamatorios hepáticos (capítulo 4).

Las poblaciones de *Peromyscus* presentan incrementos en los procesos migratorios y reproducción temprana como respuesta a abundancia alimenticia (Taitt, 1981; Galindo-Leal & Krebs, 1998) siendo probable que el éxito de capturas de *P. melanotis* y *P. difficilis* puede verse influido por una necesidad de suplemento alimenticio provocando una respuesta inmediata al alimento artificial proporcionado en las trampas.

Sin embargo aún cuando al inicio del estudio las variaciones en el peso e ICC en *P. melanotis* son de similar magnitud, el éxito de captura no es el mismo, en el Desierto se obtiene un número menor de capturas, por lo que es probable que las diferencias se deban a la abundancia de las especies en los sitios de colecta y a la actividad de los organismos influenciada por las condiciones ambientales.

Galindo-Leal & Krebs (1987) encuentran que las hembras de *P. maniculatus* controlan los movimientos migratorios y de reclutamiento de los individuos en la población señalando que los machos tienen escasa participación en la regulación de la misma, por lo que la remoción de hembras durante el estudio pudo ocasionar variaciones en la actividad poblacional.

Esto ocasionaría que los roedores estuvieran más expuestos a los contaminantes, sin embargo a pesar de que en el Desierto durante la temporada de lluvias se extrajeron menos individuos de *P. melanotis*, el 100 % de los organismos analizados presentaron diversos grados de alteraciones en el pulmón con una mayor presencia de neumoconiosis (capítulo 4), así como un mayor porcentaje de organismos con lesiones hepáticas y alteraciones renales.

La concentración de algún metal en el organismo de estos roedores podría estar alterando su conducta. En las tres poblaciones estudiadas se encontraron niveles elevados de rubidio, especialmente en *M. mexicanus* (capítulo 5), en mayor proporción en los ejemplares del Ajusco durante la temporada de lluvias; tal vez estos valores estén relacionados con el efecto de la lluvia ácida. El Rb es un metal que no se conoce su función exacta, pero que en algunas investigaciones se ha demostrado que altera el

comportamiento exploratorio y reproductor en ratas (Syme & Syme, 1979; Meltzer, 1991).

En los dos parques nacionales la remoción de organismos altera el mecanismo de distribución natural de las poblaciones estudiadas lo que representa una limitante para realizar estimaciones poblacionales de las especies colectadas, así como la metodología que se aplica ya que se debe de utilizar el método de captura recaptura (Krebs, 1966; Hilborn *et al.*, 1976) y las técnicas de enumeración (Martoff, 1953) y de esta manera conocer de forma precisa el impacto antropogénico en la estructura de las comunidades de micromamíferos estudiadas.

Pero estudios poblacionales realizados en la Sierra del Ajusco señalan que las especies que la habitan presentan regularmente dos ciclos de reproducción al año, el primero a finales de la primavera y el segundo de menor intensidad en el otoño producto de hembras que se reprodujeron tempranamente en la primavera y de los nuevos individuos que alcanzaron la madurez, cesando la actividad reproductora en los meses de invierno, producto de diversos factores como la escasez de alimento, competencia, requerimientos energéticos, necesarios para hacer frente a las inclemencias del tiempo, etc. (Canela, 1981; Canela-Rojo & Sánchez-Cordero, 1984).

En los micromamíferos que experimentan condiciones invernales duras, Demas & Nelson (1996) sugieren que suprimen la reproducción durante el invierno a cambio de incrementar su sistema inmunitario vía señales del fotoperíodo (hipótesis de la inmunocompetencia), así como los estresores naturales pueden contrarrestar dicho efecto (Nelson & Demas, 1997), en investigaciones de laboratorio se ha investigado como interactúa la temperatura, el fotoperíodo y la densidad poblacional en *P. maniculatus* detectando que según la severidad de combinación de estresores se suprime o aumenta la función del sistema inmunitario (Nelson *et al.*, 1996)

La actividad reproductora en *P. melanotis* parece no verse afectada de forma general ya que se observa indicios de actividad reproductora en casi todo el año de estudio exceptuando en febrero en el Ajusco y en marzo sin un claro componente estacional, las poblaciones de *P. maniculatus* del Ajusco presentan patrones estacionales (julio-septiembre, en cambio *Neotomodon alstoni* no (enero-diciembre) (Sánchez-Cordero & Canela-Rojo, 1991).

En este estudio *P. melanotis* presenta un aparente desfase en los eventos reproductores en septiembre en el Ajusco y en noviembre en el Desierto, similares observaciones se encontraron en poblaciones de *P. melanotis* afectadas por incendios

controlados en el Ajusco, especialmente en el descenso de la actividad reproductora de machos en noviembre (Gómez-Ugalde, 1989).

En el Desierto las diferencias en la intensidad reproductora a lo largo del tiempo (figura 8a) posiblemente se deben a los mecanismos de respuesta a las condiciones ambientales estresantes, si consideramos que los niveles de material particulado en el pulmón fueron más elevados y que estos no llegaron a descender durante la temporada de lluvia.

Si bien al inicio del estudio se obtuvo un bajo número de capturas a igual esfuerzo de trampeo probablemente debido al inicio de los eventos reproductores (Sánchez-Cordero & Canela-Rojo, 1991), en caso de existir una supresión de la misma como mecanismo de respuesta a las condiciones ambientales podría darse el caso que este continuara especialmente en organismos más afectados, con una mayor influencia en los machos.

La influencia de metales pesados sobre la actividad reproductora se ha reportado especialmente la del cadmio sobre la ovulación y espermatogénesis en ratas (Varga *et al.*, 1991). En el presente estudio si bien no se detectaron concentraciones elevadas de cadmio si se presentó una concentración promedio renal y hepática más elevada en los ejemplares del Desierto durante la temporada seca (capítulo 5).

Variaciones en el carácter estacional de la actividad reproductora se han reportado en *N. alstoni* (Prieto 1988; Gómez-Ugalde, 1989; Sánchez-Cordero & Canela-Rojo, 1991;), mientras que Gómez-Ugalde (1989) menciona variaciones entre poblaciones de *P. melanotis* ocasionadas por la influencia de incendios controlados.

Variaciones en la disponibilidad, adquisición y asimilación del alimento podrían afectar la respuesta reproductora debido a la ausencia o presencia de ciertos componentes en la dieta; en condiciones de laboratorio en *M. californicus*, Batzli (1986) observa que suplementos con cloruro de sodio y cloruro de calcio modifica el tamaño de la camada y la supervivencia de las crías.

Sin embargo dado que la evaluación de la actividad reproductora realizada en este estudio esta basada en características externas seria necesario realizar estudios que contemplen tanto niveles hormonales como mediciones de la función inmunológica acompañadas de estudios de dinámica poblacional para obtener datos precisos ya que las diferencias obtenidas en la actividad reproductora bien pueden ser producto de una cierta plasticidad fenotípica (Sánchez-Cordero & Canela-Rojo, 1991) como respuesta a la evolución del bosque que presentó las condiciones necesarias para disparar los eventos

reproductores aunque ha diferentes tiempos debido a diferencias de altitud o cambios diferenciales ocasionados por los contaminantes en las dos zonas de estudio.

El descenso en la actividad reproductora en el mes de noviembre en los machos de *P. difficilis* y *P. melanotis* coincide con el mes en que se detectó mayor porcentaje de organismos de este último con toxoplasmosis (capítulo 4) y con cambios ambientales evidentes como la presencia de hojarasca seca, organismos con mayor presencia de ectoparásitos (pulgas) y un descenso notable en el éxito de capturas de *M. mexicanus* y *P. difficilis* en el Desierto; apreciándose algunos de estos cambios a menor escala en el Ajusco.

En las dos áreas de trabajo las diferencias en la actividad reproductora en septiembre y en noviembre en *P. melanotis* indicarían el mismo proceso de reclutamiento de organismos, coincidiendo con el mayor número de organismos que presentó alteraciones en el hígado, en ambos sitios sin embargo las variaciones reproductoras observadas son producto de la inactividad reproductora de los machos en el Ajusco en tanto que en el Desierto son debidas a las hembras además de no corresponderse con las variaciones en las tallas las cuales son más acusadas en octubre y en diciembre respectivamente.

Las ausencia de machos reproductores en el Ajusco puede ser ocasionado por el método de colecta ya que en el meses siguientes se observa actividad en más de un 60 % permaneciendo casi constante en los meses siguientes, en cambio en las hembras del Desierto este incremento se da constante pero leve no superando el 40% de actividad reproductora en las muestras analizadas.

La lluvia ácida en el Valle de México al igual que el resto de contaminantes tiene variaciones mensuales e interanuales, estas última reflejaron un porcentaje más elevado de eventos lluviosos ácidos en 1996 que en 1995 pero menores que en 1997 (S.M.A., 1999), lo que probablemente condiciona las respuestas de los organismos, ocasionando variaciones en la influencia recibida en el año de colecta y en los años anteriores, estas situaciones pueden provocar diversas respuestas según la especie afectada.

P. melanotis es la especie que refleja una mayor disminución de mayo a junio en el peso y consecuentemente en el ICC (relación peso –talla), que si bien se da en igual magnitud en las dos zonas, al inicio del estudio se observa el mayor promedio mensual de peso e ICC los cuales no se obtienen nuevamente, esta situación puede se fortuita dada las características del muestreo, aunque llama la atención que en esta especie sean tan

evidentes; en relación a las condiciones ambientales, el comportamiento de los datos se pueden abordar desde los dos puntos de vista que se explican a continuación.

Posiblemente el mayor peso observado al inicio del estudio sea el reflejo de las condiciones estresantes del año anterior, es decir, en los organismos se provocara un incremento en la acumulación de los depósitos grasos, para afrontar el estrés invernal y estos lípidos al no ser utilizados quedasen como reservas. O bien que los factores ambientales les proporcionaron los requerimientos necesarios para aumentar talla y peso.

También puede ser que las condiciones previas al estudio ocasionaran la supresión de la reproducción y que los individuos con una pobre condición inmunológica sucumbieran durante el invierno sobreviviendo los más aptos (ICC más grande); en contrapartida durante el estudio, los ejemplares no lograran un peso e ICC mayor, bien producto de escasez de alimento y/o porque invierten más energía al distribuir su esfuerzo en la actividad reproductora, en los procesos de inmunocompetencia y en colonizar zonas alteradas, abandonadas por el resto de las especies, dada la capacidad de ciertas especies de *Peromyscus* de invadir hábitats alterados (Allen & Otis 1998).

Murie (1963) sugiere que la acumulación de depósitos de grasa varía estacionalmente en algunas especies de *Peromyscus*, posiblemente debido a que incrementos en las reservas de grasa son necesarios para compensar los cambios estacionales en la temperatura (Anderson & Rauch, 1984), sin embargo los datos obtenidos no sugieren una estrategia de este tipo

Sin embargo observando la variabilidad intrapoblacional mostrada en el ICC, podrían indicar mecanismos de respuesta diferentes según la historia de vida de cada organismos; Lawrence (1966) encuentra disminuciones en el ICC en zonas afectadas por incendios atribuyendo la pérdida de peso a la reducción de grasa en el cuerpo, en cambio Gómez-Ugalde (1989) no encuentra diferencias en este indicador en *N. alstoni*, *P. melanotis*, *R. megalotis* y *M. mexicanus* en zonas de pastizal del Ajusco alterados por “incendios controlados”, debido al incremento de gramíneas y producción de semillas ocurrido después del incendio.

De igual forma la influencia de la remoción de individuos, que provocaría incrementos en el reclutamiento de juveniles en la población no puede descartarse.

Durante el estudio se colectaron porcentajes reducidos de juveniles y subadultos (considerando el color del pelo); un mejor indicador nos los da el peso y el ICC, (figura 9) ya que si bien el peso refleja grandes variaciones, estas se deben a las variaciones en las tallas, reflejando en promedio una distribución muy similar en ambas áreas de estudio en

los machos, no así en las hembras en las que se reflejan mayor variación de ICC en los meses de invierno eliminándose estas diferencias en abril.

Las variabilidad mostrada en el ICC durante la época seca pueden ser producto de la estructura de la comunidad ocasionando que en el mes de noviembre se colectaran individuos recién incorporados a la clase adulta, lo cual se pudo confirmar con las valoraciones del aparato reproductor observándose en ambos sexos individuos con gónadas poco desarrolladas y en los machos testículos en posición abdominal, pero en el caso de las hembras con la sínfisis púbica abierta en el Desierto, lo que es consecuente con el aumento de eventos reproductores en meses posteriores.

Allen & Otis (1998) observan en ambientes contaminados por dieldrin que las poblaciones de *P. maniculatus* incrementan inicialmente su densidad poblacional con un mayor número de hembras en estado reproductor, pero en contraparte pueden llegar a sufrir mayores índices de mortalidad en determinado momento. En el Desierto el éxito de captura de *P. melanotis* podría sugerir que existen estas tendencias en sus parámetros poblacionales, aunque para evaluar correctamente lo anterior es necesario realizar estudios de dinámica poblacional que abarque varios años.

Los descensos en las capturas de *M. mexicanus* durante la temporada seca son explicables debido a los hábitos alimenticios de esta especie y a las variaciones en su distribución espacial; Fa *et al.* (1990) reportan en *M. mexicanus* una área de actividad mayor ($718,2 \pm 230,3 \text{ m}^2$) en comparación a *P. melanotis* ($420.8 \pm 390.5 \text{ m}^2$), provocado probablemente en parte por las variaciones en la disponibilidad alimenticia y de la influencia de sus depredadores naturales, dichas presiones ambientales se verían incrementadas por la influencia directa o indirecta de los contaminantes, que en esta especie pueden llegar a ser mayores que en *P. melanotis* y *P. difficilis* debido a que *M. mexicanus* presenta picos de actividad diurnos (Sánchez-Hernández *et al.*, 1981). Kataev & Suomela (1994) reportan disminuciones en la densidad de *Clethrionomys glareolus*, relacionados más con cambios en la calidad y cantidad de alimento que el efecto directo de emisiones de metales pesados y dióxido de azufre.

Las variaciones en el peso de *M. mexicanus* manifiestan similares disminuciones en el peso en las capturas de octubre en el Desierto y en Noviembre en el Ajusco sin embargo el tamaño de muestra y el no contar con datos del mes siguiente no permiten saber la tendencia de este indicador en los meses siguientes, aunque debido a los hábitos alimenticios de esta especie es posible que sea una respuesta a cambios en la vegetación acompañada de un mayor gasto energético en su búsqueda

A este respecto Matamoros-Trejo & Cervantes (1992) reportan una variación estacional en el consumo de pastos y artrópodos a pesar lo cual el pasto es siempre el componente principal de su dieta

El comportamiento reproductor de los machos de *P. difficilis* fue muy similar al de *P. melanotis* (tabla 12), detectándose la ausencia de actividad reproductora en machos en el mes de noviembre aunque las hembras capturadas presentan inactividad en el mes de Diciembre. En general en el Desierto se registraron menos indicios de actividad reproductora en consonancia tanto con el número menor de hembras gestante detectado como con el éxito de captura obtenido durante la temporada de estudio.

P. difficilis presenta un descenso claro en el peso que puede ser debido al gasto energético que supone la reproducción o escasez de alimento, la segunda influenciada por los contaminantes atmosféricos que en este caso puede ser momentánea dado que los organismos colectados en los meses siguientes presentaron valores más altos del ICC, no llegando a descender a los mínimos observados en diciembre.

Las especies de roedores son reservorio de virus, bacterias y parásitos, por lo que generalmente no presentan grandes alteraciones fisiológicas relacionados con los mismos, sin embargo algunos de estos parásitos son capaces de modificar el comportamiento de su hospedero para garantizar su supervivencia sin afectar a la población reservorio (Webster, 1994)

La presencia de un parásito como *Toxoplasma gondii*, capaz de alterar el comportamiento de sus hospederos debido a su afinidad por el sistema nervioso central puede tener influencias en el comportamiento de la especie a la que parasita (Hrdá *et al.*, 2000), modificando sus comportamiento durante la fase inicial de la infestación, haciéndolo menos activo; una vez que se ha pasado la etapa aguda de infección el individuo exhibe un comportamiento hiperactivo (Webster, 1994).

Seria conveniente explorar los mecanismos neurofisiológicos de este parásito especialmente en la transmisión vía parental para conocer su influencia en el comportamiento de las crías de ejemplares enfermos, la permanencia de los mismos dentro del nido y en los procesos de expulsión que se manifiestan y saber su influencia en la escasa presencia de juveniles en las capturas. En este estudio es difícil evaluar lo anterior debido a que son colectas de un día, sin embargo en estudios de dinámica poblacional realizados en pastizal alpino, los juveniles y subadultos de *P. melanotis* tampoco representaron un componente importante en las capturas (Gómez-Ugalde, 1989).

Para asignar la clase de edad a la que pertenece *Peromyscus* en estudios de dinámica poblacional se utilizan las modificaciones que sufre el color del pelaje a lo largo de su vida, talla, peso y estado reproductor, sin embargo las condiciones ambientales pueden alterar estos patrones especialmente en lo que se refiere al pelaje.

Las poblaciones de pequeños roedores no son cerradas, por lo tanto al extraer individuos de un sitio determinado traería como consecuencia un aumento en el flujo migratorio de áreas aledañas o un menor número de expulsiones.

Debido a que son poblaciones abiertas y al método de colecta empleado no podemos saber hasta que punto se están removiendo organismos residentes o visitantes y si la respuesta de *P. difficilis* en el Ajusco fue natural o provocada por la extracción de *P. melanotis* o un defecto en el muestreo no considerándose un microhábitat específico.

La aparición constante de *P. difficilis* de julio a marzo acompañada de un mayor éxito de captura de *P. melanotis* puede indicar que no existe una marcada competencia interespecífica por espacio, recursos alimenticios, etc., y de darse alguno se debería de observar el mismo comportamiento en el Desierto no ocurriendo así.

Los procesos de competencia significativos entre especies pueden estar más relacionados con *M. mexicanus* ya que cuando esta especie no fue colectada, se obtuvo un mayor éxito de captura de *P. melanotis* y *P. difficilis*. Estudios de comportamiento agonístico en *P. melanotis* muestran que no es dominante sobre *M. mexicanus* pero si lo es con respecto a *N. alstoni*, al igual que *M. mexicanus* sobre *N. alstoni*. (Glendinning & Brower, 1990; Fa *et al.*, 1996); lo que por otra parte limitaría la presencia de *N. alstoni* en las zonas de estudio, así como las preferencias de hábitat de esta última especie.

La influencia de la extracción de los ejemplares por especie de forma global fue muy similar en las dos zonas, aunque mensualmente se obtuvo un mayor éxito de capturas constante en el Desierto, ya que el muestreo se realizó al azar el éxito de captura esta afectado por las condiciones ambientales y la actividad de las especies.

A pesar de que se alteren los flujos poblacionales por una situación en particular la respuesta de las especies presentes dependerá tanto del tipo, el grado y duración de alteración, así como de la capacidad de respuesta de los organismos que lo lleven a compensar los cambios provocados o permitirá la utilización de las condiciones que se les presenten.

Los resultados obtenidos en el éxito de captura y actividad reproductora sugieren incrementos poblacionales, durante la temporada secas, lo cual correspondería al periodo

en que las especies estarían más afectadas por la contaminación ambiental, siendo esta mayor en el Desierto (de acuerdo al análisis patológico)

En los niveles de contaminantes del Desierto proporcionados por el grupo de trabajo: “Cambios atmosféricos y Bosques”, COFAN-FAO, se observa que las concentraciones mensuales de septiembre a octubre de ozono pasan de 0,024 ppm a 0,045 ppm de ozono. Lo anterior y el término de la temporada de lluvias explicaría el cambio tan repentino en la fisonomía de la vegetación que se apreció en Noviembre en este parque; presentándose una concentración promedio (24 horas) de 0,064 ppm para el día de la colecta de noviembre, por desgracia los niveles ozono de los días previos no se obtuvieron debido a fallos en el suministro de energía.

Los efectos de la contaminación sobre la cubierta vegetal traen como consecuencia cambios en los microclimas de la zona, ocasionando pérdida elevada de agua por evaporación o filtrado hacia las capas freáticas, erosión del suelo y cambios en la composición florística de la zona, especialmente en el estrato herbáceo.

Los cambios estructurales de la vegetación ocasionados por la senectud temprana del estrato arbóreo (Bauer & Krupa, 1990), provocan un mayor número de claros en el bosque incrementando la presencia y abundancia de las herbáceas durante la temporada de lluvias, en cambio en época seca el estrato herbáceo es el primero en sufrir la escasez del agua y durante todo el año recibe directamente la deposición del material particulado, al no contar con la protección del dosel arbóreo.

En poblaciones de *Microtus mexicanus* y *Peromyscus melanotis* encontraron que la primera es menos resistente a la disminución de la cobertura vegetal (Gómez-Ugalde, 1989), en contraste las poblaciones de *Peromyscus* suelen explotar los espacios que han quedado libres producto de la desaparición o reducción de las poblaciones menos resistentes a los cambios estructurales de la vegetación (Gómez-Ugalde, 1989; Allen & Otis, 1998). Hooper (1968) señala que *P. melanotis* se distribuye preferentemente en hábitats abiertos y con vegetación secundaria, lo cual da una idea de la capacidad de adaptación a las alteraciones del ambiente de sus poblaciones.

En los bosques de Michoacán es conocida la habilidad de *P. melanotis* para consumir mariposas (*Danaus plexippus*) y metabolizar los glicósidos cardiacos y alcaloides pirrolizidínicos que le sirven a estos insectos como defensa contra sus depredadores, desarrollando estrategias para consumir las partes del cuerpo del insecto con menor concentración de alcaloides; consiguiendo en el invierno un alimento rico en lípidos que le permite reproducirse en invierno cuando sus conespecíficos y las especies

con las que cohabita (*P. aztecus*, *R. sumichrasti*, *N. alstoni*, y *M. mexicanus*) rara vez lo hacen (Glendinning *et al.*, 1988; Glendinning & Brower, 1990)

En los dos parques no se puede determinar si se están dando procesos de reducción en la diversidad de especies, debido a las limitantes del método de captura; lo que llevaría consigo incrementos en las interacciones intraespecíficas que ocasionaría aumentos en la transmisión de patógenos asociados a las especies como *Toxoplasma* y el *Hantavirus*. El segundo fue identificado en recientes investigaciones en *P. melanotis* capturados en el estado de Morelos (Mantooth *et al.*, 2001).

La variación en el éxito de captura en el Ajusco parece corresponder con lo reportado para poblaciones de *Peromyscus difficilis* por Galindo-Leal & Krebs (1998); con descensos poblacionales al final de la temporada seca hasta la primera mitad de la temporada de lluvias, llegando a duplicar su tamaño poblacional hacia el final de la temporada de lluvias y manteniéndose hasta la primera mitad de la temporada seca, en cambio en el Desierto se da un incremento constante de mayo hasta agosto y de diciembre a enero obteniéndose el máximo éxito de capturas para dicha especie en enero, este puede ser ocasionado por el tipo de muestreo y que los organismos, presentaron una mejor respuesta hacia las trampas asumiendo el riesgo en la obtención del alimento y como un eficaz medio de protección contra las agresiones ambientales del invierno.

Por otra parte hay que considerar los periodos de floración y fructificación de las especies vegetales a las que se encuentra asociado ya que las bellotas, uno de los alimentos preferidos de *P. difficilis* (Baker, 1968) presentan un periodo de fructificación variable según la especie por ejemplo: en *Quercus rugosa* (Ajusco) es de octubre a febrero (Vázquez-Yanez *et al* 1999), lo que explica la distribución de *P. difficilis* en las capturas del Ajusco, mientras que *Quercus laurina* en el Desierto fructifica de junio a diciembre (SIRE, 2003) estas diferencias podrían afectar la distribución de *P. difficilis* en el tiempo y en el espacio.

2.6 CONCLUSIONES.

En los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco y Desierto de los Leones los cambios en las poblaciones de pequeños roedores parecen estar influenciados tanto por la estación del año como por la zona de colecta, si bien no se realizó un estudio de dinámica poblacional, podemos suponer que dado el elevado éxito de captura en algunas especies en más de una colecta y la abundancia baja de otras, la especie dominante en el Ajusco es *Peromyscus melanotis*, mientras que en el Desierto la dominancia varía a lo largo del Año entre *P. melanotis* y *P. difficilis*.

No se aprecian variaciones en el peso de los organismos que hagan sospechar que los organismos estudiados presenten deficiencias alimenticias ocasionadas por los cambios estructurales de la vegetación. En caso de existir estas carencias, aparentemente son cualitativamente las mismas en los dos sitios de colecta.

En las especies estudiadas el comportamiento reproductor no presenta una marcada estacionalidad relacionada con la temporada de captura, distribuyéndose a lo largo del ciclo anual de capturas sin presentar una clara interrupción de la reproducción.

En los dos parques sería conveniente realizar estudios de dinámica poblacional para determinar el impacto de los cambios estructurales en la vegetación y la posible reducción en la diversidad biológica (número de especies) y variaciones del tamaño poblacional en la comunidad de pequeños roedores que tal vez ocasionaría un aumento de organismos contagiados por patógenos como *Toxoplasma* o *Hantavirus*.

Como mencionamos al principio este capítulo no tiene como fin hacer un análisis de dinámica poblacional de las especies estudiadas, sino el de proporcionar algunos patrones de comportamiento que ayuden a comprender mejor los resultados de los análisis de laboratorio ya que el desarrollo de patologías o concentración de elementos en el organismo es influenciado por las condiciones ambientales, estados fisiológicos de los organismos e historia de vida.

2.7 BIBLIOGRAFÍA.

- Allen, D. L. & D. L. Otis. 1998. Relationship between deer mouse population parameters & dieldrin contamination in the Rocky Mountain Arsenal National Wildlife Refuge. *Canadian Journal of Zoology* 76(2):243-250.
- Anderson, M. J. P. & J. C. Rauch. 1984. Seasonal changes in white and brown adipose tissue in *Clethrionomys gapperi* (red backed vole) and *Microtus pennsylvanicus* (meadow vole). *Comparative Biochemistry and Physiology A. Comparative Physiology* 79(2):305-310.
- Barragán-Mejía, M., G. L. Castilla-Serna, D. Calderón-Guzmán, J. L. Hernández-Islas, N. A. Labra-Ruiz, R. A. Rodríguez-Pérez & D. Santamaría-Del Ángel. 2002. Effect of nutritional status and ozone exposure on rat brain serotonin. *Archives of Medical Research* 33(1):15-19.
- Batzli, G.O. & F. A. Pitelka. 1971. Condition and diet of cycling population on the california vole *Microtus californicus*. *Journal of Mammalogist* 53(2):336-346.
- Bauer, L. I. De & T. Hernández Tejeda. 1985. Ozone causes needle injury & tree decline in *P. hartwegii* at high altitudes in the mountains around México City. *Journal of the Air Pollution Control Association* 35(8):838.
- Bauer, L. I. & S. V. Krupa. 1990. The Valley of Mexico: Summary of observational studies of air quality and effects on vegetation. *Environmental Pollution* 65: 109-118.
- Bignami, G., B. Musi, G. Dell’Omo, G. Laviola & E. Alleva. 1994. Limited effects of ozone exposure during pregnancy on physical and neurobehavioral development of CD-1 mice. *Toxicology and Applied Pharmacology* 129(1):264–271.
- Canela-Rojo, M. 1981. Ámbito Hogareño del ratón de los volcanes *Neotomodon alstoni*: (Rodentia:Cricetinae), en la Sierra del Ajusco. Tesis profesional, Facultad de Ciencias. U.N.A.M., México, D. F. 71 pp.
- Canela-Rojo, M. y V. Sánchez-Cordero. 1984. Patrón del área de actividad de *Neotomodon alstoni*: (Rodentia:Cricetinae), Anales del Instituto de Biología. U.N.A.M., México, D. F. Serie Zoología 55(2):285-306.

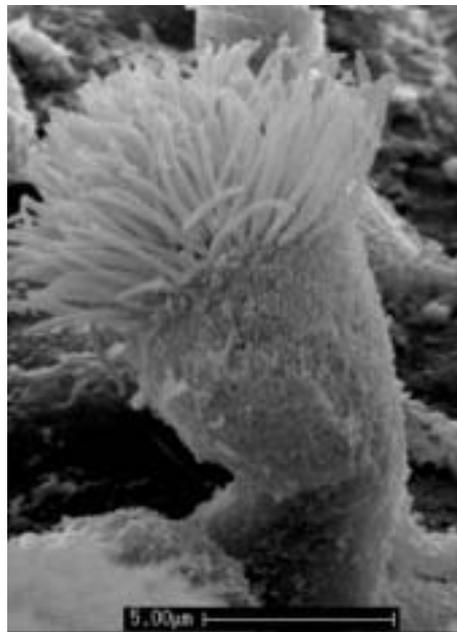
- Demas, G. E. & R. J. Nelson. 1996. Photoperiod and temperature interact to affect immune parameters in adult male deer mice (*Peromyscus maniculatus*) Journal of Biologic Rhythms 11(1):94-102.
- Fa, J. E., J. E. López-Paniagua, J., Romero, F. J., Gómez, J. L. & J.C. López. 1990. Influence of habitat characteristics on small mammals in a Mexican high-altitud grassland. Journal of Zoology London 221(3):275-292.
- Fa, J. E., V. Sánchez-Cordero & A. Mendez. 1996. Interspecific agonistic behaviour in small mammals in a Mexican high elevational grassland. Journal of Zoology London 239(3):396-401.
- Galindo-Leal, C. & C. J. Krebs. 1987. Population regulation in deer mice: The role of females. Journal of Animal Ecology 56(1):11-23.
- Galindo-Leal, C. & C. J. Krebs. 1998. Effects of food abundance on individuals and populations of the rock mouse (*Peromyscus difficilis*). Journal of Mammalogy 79(4):1131-1142.
- Getz, L. 1985. Habitats. In: Biology of new world *Microtus* (ed. R. H. Tamarin). Special Publication of American Society Mammalogist 8, 893 pp.
- Glendinning, J. I. A. M. Alonso & L. P. Brower. 1988. Behavioral and ecological interactions of foraging mice (*Peromyscus melanotis*) with overwintering monarch butterflies (*Danaus plexippus*) in México. Oecologia 75(2):222- 227.
- Glendinning, J. I. & L. P. Brower. 1990. Feeding and Breeding responses of five mice species to overwintering aggregations of the monarch butterfly. Journal of Animal Ecology 59(6):1091-1112.
- Gómez-Ugalde, R. M. 1989. Efectos de fuegos controlados sobre la ecología de las poblaciones de pequeños roedores en un pastizal alpino en la Cima, D.F., México. Tesis Profesional. ENEP-Zaragoza, U.N.A.M. México, D. F. 105 pp.
- Hall, E. R. 1981. The Mammals of North America. 2 vols. John Wiley (Ed), New York, U.S.A. 1181 pp.
- Hilborn, R., J. A. Redfield & C. J. Krebs. 1976. On the reliability of enumeration for mark and recapture census of voles. Canadian Journal of Zoology 54(6):1019-1024.
- Holbrook, Sally. 1978. Habitat relationship and coexistence of four sympatric species of *Peromyscus* in northwestern of New México. Journal of Mammalogy 59(1):18-26.

- Hooper, T. E. 1968. Classification. In Biology of *Peromyscus* (Rodentia), (J. A. King ed). Special Publication of American Society of Mammalogist 2:27-68.
- Hrdá, S., J. Votýpka, P. Kodým & J. Flegr. 2000. Transient nature of *Toxoplasma gondii* induced behavioral changes in mice. Journal of Parasitology 86(4):657-663.
- Kataev, G. D., J. Suomela & P. Palokangas. 1994. Densities of microtine rodents along a pollution gradient from a copper-nickel smelter. Oecologia 97(2):491-498.
- Krebs, C. J. 1966. Demographic changes in fluctuating population of *Microtus californicus*. Ecology Monographs 36(3):239-273.
- Lawrence, G., 1966. Ecology of vertebrate animals in relation to chaparral fire in the Sierra Nevada foot hills. Ecology 47(2):278-291.
- Mantooth, S. J., M. L. Milazzo, R. D. Bradley, C. L. Hice, G. Ceballos, R. B. Tesh & C. F. Fulhorst. 2001. Geographical distribution of rodent-associated hantaviruses in Texas. Journal of Vector Ecology 26(1):7-14.
- Martoff, B. S., 1953. Territoriality in the green frog *Rana clamitans*. Ecology 34(19):165-174.
- Matamoros-Trejo, G. J. & Cervantes-Reza F. A. 1992. Alimento de los roedores *Microtus mexicanus*, *Reithrodontomys megalotis* y *Peromyscus maniculatus* del ex-lago de Texcoco, México. Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología 63(1):135-144.
- Meltzer, H.L. (1991). A pharmacokinetic analysis of long-term administration of rubidium chloride, Journal of Clinical Pharmacology 31:179-184.
- Murie, M. 1963. Homing and orientation of deermice. Journal of Mammalogy 44(2):338-349.
- Nelson, R. J., J. B. Fine, G. E. Demas & C. A. Moffatt. 1996. Photoperiod and population density interact to affect reproductive and immune function in male prairie voles. American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology 270(3):571-577.
- Nelson, R. I. & G. D. Demas. 1997. Role of melatonin in mediating seasonal energetic and immunologic adaptations. Brain Research Bulletin 44(4): 423-430.
- Norusis, M. J. 1999. SPSS professional statistics 10. SPSS Inc. Chicago.
- Prieto, B. M. 1988. Hábitos alimenticios de tres especies de roedores cricétidos. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias U.N.A.M. México, D. F. 73 pp.

- Prescott, G. J., R. J. Lee, G. R. Cohen, R. A. Elton, A. J. Lee, F. G. Fowkes & R. M. Agius. 2000. Investigation of factors which might indicate susceptibility to particulate air pollution. *Occupational and Environmental Medicine* 57(1):53-57.
- Price, M. V. & N. Waser. 1984. On the relative abundance of species: postfire changes in a coastal sage scrub rodent community. *Ecology* 65(4):1161-1169.
- Ramírez-Pulido, J., I. Lira, S. Gaona, C. Mudespacher & A. Castro. 1989. Manejo y Mantenimiento de Colecciones Mastozoológicas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D. F. 127 p.
- Ramírez-Pulido, J., A. Castro-Campillo, J. Arroyo-Cabrales & F. A. Cervantes. 1996. A taxonomic list of the terrestrial mammals of México. *Occasional Papers, The Museum, Texas Tech University*, 158:1-62.
- Rzendowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa (Ed). D.F., México. 432 pp.
- Sánchez-Cordero, V. & Canela-Rojo M. 1991. Estudio poblacional de roedores en un bosque de pino del eje Neovolcánico Transversal Mexicano. *Anales del Instituto de Biología. U.N.A.M. Serie Zoología* 62(2):319-340.
- Sánchez Hernández, C., C. B. Chávez Tapia & V. Sánchez-Cordero Dávila. 1981. Patrón de actividad diurna del meteorito *Microtus m. mexicanus* Saussure 1961 (Rodentia:microtinae) en condiciones urbanas del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología, México Serie Zoología* 51(1):605-614.
- SIRE (Consejo Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad & Comisión Nacional Forestal). 2003. *Quercus laurina* Humb et Bonpl. 1-6 p. http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare/Fichas%20Técnicas/Quercus%20laurina.pdf
- S.M.A. (Secretaría del Medio Ambiente). 1997. "Precipitaciones ácidas en la zona metropolitana de la Ciudad de México". Informe Anual 1996. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A). México, D. F. 62 pp.
- S.M.A. (Secretaría del Medio Ambiente). 1999. "Precipitaciones ácidas en la zona metropolitana de la Ciudad de México" Informe anual 1997. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A).México, D. F. 59 pp.

- Sullivan, T. 1980. Comparative demography of *Peromyscus maniculatus* and *Microtus oregoni* population of logging and burning of coastal forest habitats. Canadian Journal of Zoology. 52(12):2252-2259.
- Syme, G. J. & L. A. Syme 1979. Inhibition of activity in rats by rubidium chloride, Psychopharmacology 61: 227-229.
- Taitt, M. J. 1981. The effect of extra food on small rodent population: I deermice (*Peromyscus maniculatus*), Journal of Animal Ecology 50(1):111-124.
- Umezu T, N. Shimojo, H. Tsubbone, A. K. Susuki, K. Kubota & A. Shimizu. 1987. Effect of ozone toxicity on the drinking behaviour of rats. Archives of Environments Health 42(1):58-62.
- Varga, B, Paksy K, Naray M. 1991. Distribution of cadmium in ovaries, adrenal and pituitary gland after chronic administration rats. Acta Physiologica Hungarica 78(2):221-226.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO-Instituto de Ecología.
http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/introd-084.html
- Webster, J. P. 1994. The effect of *Toxoplasma gondii* and other parasites on activity levels in wild and hybrid *Rattus norvegicus*. Parasitology 109(2):583-589.
- Zar, J. H. 1984. Biostatistical Analysis. 2ed. Prentice-Hall International (Ed). New Jersey U.S.A. 718 pp.

3. ESTUDIO DEL EPITELIO TRAQUEAL.



3.1 RESUMEN.

Se evaluaron las diferencias en el espacio (entre áreas de estudio por especies) y el tiempo (por temporada del año lluviosa o seca) del epitelio traqueal de tres poblaciones de pequeños roedores (*Microtus mexicanus*, *Peromyscus melanotis* y *Peromyscus difficilis*), procedentes de los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco y Desierto de los Leones ubicados al suroeste del la Zona Metropolitana del Valle de México a partir de muestras obtenidas mensualmente durante un ciclo anual de mayo de 1996 - abril 1997.

Se encontraron diferencias significativas entre los parques nacionales con respecto a la presencia de mucus en la luz traqueal en *M. mexicanus* y *P. melanotis* y una disposición celular desordenada en el epitelio traqueal entre las época del año (lluvias: mayo 1996-octubre 1996 y seca: noviembre 1996-abril 1997) en el Ajusco en las dos especies. Las comparaciones entre zonas en *P. difficilis* no se realizaron debido al reducido número de ejemplares obtenido en el Ajusco, detectándose diferencias significativas por épocas en el Desierto en la disposición celular del epitelio traqueal de esta especie.

El estudio de estructural de la tráquea de *M. mexicanus* (Ajusco $n_t = 34$; Desierto $n_t = 27$), *P. melanotis* (Ajusco $n_t = 140$; Desierto $n_t = 130$) y *P. difficilis* (Ajusco $n_t = 26$; Desierto = 98) mediante microscopía electrónica de barrido y análisis de imagen no reveló diferencias significativas en el porcentaje de área cubierto por células ciliadas. Las hembras de *M. mexicanus* capturadas en el Ajusco durante la temporada seca presentaron un promedio ciliar de 16,14 % sin embargo debido al reducido número de muestras obtenido para esta categoría no se reflejaron diferencias significativas atribuidas al sexo. A lo largo de todo el estudio se observaron individuos con una escasa presencia de cilios tanto en *P. melanotis* como en *P. difficilis*, además de observarse una gran variabilidad intramuestral.

Las tres especies mostraron en diferente grado procesos relacionados con hiperplasia de células mucosas, acumulación de mucosubstancias en apariencia de diferente composición, una distribución ciliar heterogénea, reducción en el número de cilios por célula, necrosis celular, y cilios compuestos así como evaginaciones citoplasmáticas. Se encontraron diferencias significativas entre épocas en *P. melanotis*, en la presencia de características relacionadas con hiperplasia de células mucosa por

zona de estudio y entre épocas en el Desierto en *P. difficilis* en la presencia de evaginaciones citoplasmáticas.

El análisis ultraestructural realizado a una parte de las muestras de tráquea reflejó similares resultados entre las dos áreas de trabajo para las tres especies analizadas, observándose en el Ajusco en *M. mexicanus* en un 28 % ($n_t = 25$), *P. melanotis* un 43,8 % ($n_t = 25$) y *P. difficilis* 44,7 % ($n_t = 16$); en el Desierto *M. mexicanus* en un 24 % ($n_t = 28$), *P. melanotis* un 36,4 % ($n_t = 30$) y *P. difficilis* 53,3 ($n_t = 39$) cierto grado de alteración en la orientación de los cilios, sin llegar al 2 % de cilios con un ángulo de 90° entre el eje ciliar que pasa a través del par de microtúbulos centrales con respecto a otro adyacente en 500 cilios analizados..

En las observaciones ultraestructurales con el microscopio electrónico de transmisión se observó la presencia de dilataciones vesiculares epiteliales y ciliares, cilios duplicados, cilios supernumerarios, dilatación del citoplasma ciliar y desorganización en los microtúbulos manifestada por la pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulos, con aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina y alteraciones en los brazos de dineína, con una matriz electrodensa independientemente del grosor del corte. En la presencia de alteraciones de la tráquea detectadas en las tres especies no se encontraron diferencias significativas en relación a la zona de colecta y época del año.

La localización de las alteraciones ciliares está asociada a epitelios que presentan: procesos de exfoliación celular, evaginaciones de la membrana plasmática, secreciones apocrinas, gran actividad celular, microvillitis con glicocálix laxo, dilatación del citoplasma de los cilios y de células ciliadas, mitocondrias en diversos estadios degenerativos, fragilidad de células basales y gránulos electrodensos de diferente composición distribuidos en el citoplasma de la célula, zona apical y en algunos casos en la lámina basal. Las características anteriores sugieren que la presencia de cilios anómalos no es una característica normal del epitelio en las tres especies estudiadas. La prueba de X^2 no mostró diferencias relacionadas con la zona ni con la época de colecta para ninguna de las características cuantificadas.

Los resultados reflejan la variabilidad existente en las condiciones atmosféricas contaminantes a las que los ejemplares pudieron estar expuestos a lo largo del período de estudio, ya que estas condiciones tienen diferentes sitios de acción debido tanto a las propiedades físico-químicas de los contaminantes y a la concentración de los mismos como a la respuesta de los organismos coadyuvada por las condiciones ambientales.

Las alteraciones estructurales y ultraestructurales en conjunto sugieren que en los individuos existen deficiencias en la retención de los contaminantes atmosféricos.

La escasa diferencia significativa entre las dos zonas de estudio puede ser producto tanto de exposiciones similares a agentes irritantes como a diferencias en las tasas de mortalidad; esta última ocasionada por la misma evolución de los síntomas provocada por los agentes irritantes en los dos sitios de muestreo que requieren una evaluación de la dinámica poblacional de las tres especies.

3.2 INTRODUCCIÓN.

El daño que generan los contaminantes atmosféricos en las vías respiratorias varía en función de la especie, tipos de contaminantes, tiempo de exposición y concentración de los mismos entre otros factores; así mismo las lesiones que provocan en el epitelio respiratorio se deben a diversos mecanismos bioquímicos tales como la liberación de histamina (Schierhorn *et al.*, 1999), la oxidación de grupos sulfhidrilo y lípidos poliinsaturados en las membranas celulares y la formación de radicales libres, llegando a provocar muerte celular y con ello la disminución de la protección natural del organismo contra agentes externos (Fortoul & Barrios, 1989).

La mucosa nasal actúa como primera línea de defensa, aunque las células ciliadas son las más numerosas en el epitelio de la tráquea y juegan un papel importante en la defensa del aparato respiratorio, el movimiento de los cilios funciona como un transporte eficiente del mucus, filtrando la mayoría de las partículas químicas inhaladas y agentes biológicos tales como bacterias. Una ultraestructura ciliar anómala provoca deficiencias en el transporte mucociliar en el tracto respiratorio, lo que da lugar a infecciones respiratorias (Chilvers & O'Callaghan, 2000).

Las anomalías en las células ciliadas del aparato respiratorio se pueden catalogar en dos categorías: defectos congénitos en la ultraestructura ciliar que provocan el "síndrome de inmovilidad ciliar", y anomalías adquiridas no específicas del aparato ciliar que pueden ser ocasionadas por la influencia de agresiones externas sobre el aparato respiratorio (Afzelius, 1981 y 1985; Smallman & Gregory, 1986).

Los defectos de la ultraestructura ciliar se encuentran relacionados con los desordenes en la migración de los centriolos duplicados o en el crecimiento de los cilios durante la ciliogénesis (Hagiwara, 1995; Holzmann *et al.*, 2000), los cuales pueden dar como resultado el desarrollo de axonemas intracitoplasmáticos, quistes ciliados intracelulares, dilatación del citoplasma ciliar, dilataciones vesiculares, con un incremento de la matriz y configuraciones normales de microtúbulos (9+2) pero con algún tipo de desorganización que va desde la migración de algún par de microtúbulos hacia las dilataciones vesiculares hasta un desorden completo y cilios compuestos (Hagiwara *et al.*, 1990). Dichas anomalías tienden a ser reparadas durante la ciliogénesis o son excitadas a la luz traqueal. Por esto son raramente observadas en células maduras en condiciones fisiológicas normales (Hagiwara *et al.*, 2000). La

presencia de cilios compuestos probablemente se debe a la fusión de membranas ciliares por la acción de dióxido de azufre (SO_2) (Carson *et al.*, 1987).

Estudios realizados en diferentes especies expuestas a concentraciones de ozono (O_3) han encontrado: detrimento en el desarrollo y actividad del sistema mucociliar (Mariassy *et al.*, 1990), permeabilidad epitelial (Stutts & Bromberg, 1986; Kehrl *et al.*, 1987) necrosis, pérdida de células ciliadas y variación en el tamaño de los cilios generalmente encaminada hacia un acortamiento en longitud y número de cilios por célula (Boatman *et al.*, 1974; Dungworth *et al.*, 1975; Schwartz *et al.*, 1976; Nikula *et al.*, 1988). Sin embargo la gravedad de las lesiones es diferente entre especies; Sterner-Kock *et al.* (2000) reportan una mayor respuesta irritativa en monos y hurones que en ratas; la exposición a concentraciones elevadas de dióxido de azufre puede ocasionar metaplasia en el epitelio nasal en ratas (Fowlie *et al.* 1990). En estudios *in vitro* se han observado disminuciones en el número de cilios por célula, cilios más cortos y pérdida focal de células ciliadas (Jabbour *et al.*, 1998)

En ejemplares con alguna deficiencia respiratoria el daño provocado por la contaminación atmosférica es factible que sea mucho mayor. En individuos alérgicos se tiene disminuida su capacidad de motilidad ciliar, lo que provoca un estancamiento y una absorción alta de las partículas aspiradas; esta absorción es ayudada a su vez por el incremento de la permeabilidad celular, causando el transporte de irritantes al tejido subepitelial, con lo cual la combinación de gases oxidantes con partículas implica un riesgo doble, porque el primero puede disminuir la primera línea de defensa (la mucosa nasal y la del tracto respiratorio) ocasionando una mayor absorción de las partículas en su camino hacia el pulmón, o bien las deja pasar libremente hasta que finalmente son depositadas en los alvéolos pulmonares.

En investigaciones hechas en habitantes de la ciudad de México se han descrito diversas alteraciones que a continuación se mencionan: desorden celular con aumento en la fragilidad en el epitelio respiratorio (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 1997), alteraciones en el fenotipo hacia la secreción de citoquinas y de factores de crecimiento (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 2000), alteraciones en las concentraciones del gen supresor de tumores (p53) en biopsias nasales de niños (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 2001a).

3.3 MATERIAL Y MÉTODOS.

Se llevaron a cabo colectas mensuales en los Parque Nacional Cumbres del Ajusco y Desierto de los Leones con trampas de aluminio tipo "Sherman" (8 x 9 x 23 cm) para organismos vivos cebadas con hojuelas de avena. Se colocaron aproximadamente 140 trampas por noche de trapeo en 4 transectos lineales dispuestos al azar en el sitio elegido con una separación de 5 metros aproximadamente entre estación de trapeo cubriendo una distancia aproximada de 700 metros. Las trampas se colocaron por la tarde y se recogieron a la mañana siguiente.

Parte de los ejemplares capturados de *Peromyscus melanotis* y *P. difficilis* se liberaron *in situ* y al azar, de igual forma otros se destinaron a un proyecto de reproducción en cautiverio, una vez que se obtuvo el número requerido para el trabajo experimental de laboratorio. El número de ejemplares empleado se especifica por especie y por técnica realizada.

Los individuos capturados se trasladaron al Laboratorio de Mastozoología de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAMI). De cada individuo se registró el sexo, el peso, medidas anatómicas, estado reproductor. Todos los ejemplares fueron sacrificados mediante dislocación cervical y preparados como material de referencia (Ramírez-Pulido *et al.*, 1989) y se depositaron en la Colección de Mamíferos de la UAMI como cráneo y esqueleto, aunque de algunos también se conservó la piel.

Una vez sacrificados inmediatamente se extrajeron dos fragmentos de tráquea, el más cercano a la faringe se destinó a microscopía electrónica de barrido (*SEM*) el cual fue lavado previamente con solución salina para eliminar el exceso de mucus, el segundo segmento más cercano a los bronquios se destinó a microscopía óptica y microscopía electrónica de transmisión (*TEM*).

Los principios de fijación de tejidos orgánicos para microscopía electrónica son similares a los utilizados para microscopía óptica aunque la exactitud y los tiempos son más rigurosos (González-Santander, 1993), por lo que para el presente estudio el tiempo entre el sacrificio del animal y la fijación fue mínimo

La obtención y procesamiento de las muestras fue de acuerdo al protocolo convencional de cada técnica de laboratorio; para lo cual se recibió entrenamiento técnico en el laboratorio de Microscopía Electrónica de los Servicios Científico - Técnicos de la Universidad de Barcelona.

Fijación.

Una vez obtenidos los fragmentos de tráquea se colocaron en una solución de glutaraldehído al 2.5% con paraformaldehído al 2%, a pH 7,4 con fosfato monosódico bisódico 0.2 M para su fijación durante 2 h. (Karnowsky, 1965). La muestra fijada se mantuvo en la misma solución tampón hasta comenzar la postfijación.

Postfijación.

Después de realizar varios lavados con la solución tampón utilizado en la fijación las muestras se colocaron durante 1 h en una solución de tetróxido de osmio al 1 % con tampón fosfato, pasado este tiempo se realizaron diversos lavados con la misma solución tampón para asegurar la eliminación del tetróxido de osmio de la muestra.

Deshidratación.

Antes de realizar la deshidratación los fragmentos de tráquea se lavaron con agua destilada varias veces; procediendo a su deshidratación con una serie ascendente en concentración de acetona y durante 10 minutos cada deshidratación de la forma siguiente:

- 1 deshidratación con acetona al 50 %
- 2 deshidrataciones con acetona al 70 %
- 3 deshidrataciones con acetona al 90 %
- 3 deshidrataciones con acetona al 96 %
- 3 deshidrataciones con acetona al 100 %

A partir de este momento uno de los fragmentos fue procesado de acuerdo a la metodología para microscopía electrónica de barrido (*SEM*) microscopía electrónica de transmisión (*TEM*) que a continuación se describe.

Procesamiento para Microscopía Electrónica de Barrido (*SEM*).

Realización del punto crítico.

Después de ser tratadas con acetona anhidra, las muestras se pasaron por diferentes proporciones de acetona y acetato de amilo, que a continuación se detallan:

1 parte de acetato de amilo y 3 parte de acetona (1h).

2 partes de acetato de amilo y 2 partes de acetona (1 h).

3 partes de acetato de amilo y 1 parte de acetona (1h).

Varios lavados con acetato de amilo.

Una vez que las muestras se encontraron en acetato de amilo (líquido de transferencia), se procedió a lo que se denomina punto crítico, que consiste en la sustitución del acetato de amilo por CO_2 (líquido de transición). El proceso consiste en drenar CO_2 y calentar progresivamente por encima de 35 °C y una vez caliente se ventila a 80 atmósferas para eliminar el CO_2 líquido.

Montaje de la muestra.

Las muestras se adhieren a un disco de soporte y a continuación se les da un baño de oro coloidal en una campana al vacío. Las muestras se observaron al microscopio de barrido (*SEM*) Stereoscan 360 Cambridge Instruments; con un EHT de entre 7 y 12 Kv dependiendo de la carga electrostática de la muestra y a una intensidad 75 pA, equipado con un sistema de adquisición digital de imágenes.

Microscopía Electrónica De Transmisión (TEM).

Inclusión.

El fragmento de tráquea próximo a los bronquios se incluyó en resina de tipo epoxy que tiene una polimerización uniforme, poco cambio de volumen y es estable al haz electrónico (Spurr 1969) de acuerdo a la siguiente composición:

COMPONENTE	FUNCION	CANTIDAD
ERL 4206	RESINA EPOXI	10 g
NSA	ENDURECEDOR	26 g
DER 736	FLEXIBILIDAD	6.0 g
DMAE (S-1)	ACELERADOR	0.4 g
DBP (DIBUTIL FTALATO	FRAGILIDAD	0.8 g

La inclusión de las muestras en la resina no es directa; con el fin de asegurar su total penetración dentro de la muestra, se realizaron tres pasos previos incluyéndose en resina - acetona al 100 % de acuerdo con las siguientes concentraciones y tiempo de procesamiento.

1 parte de resina y 3 de acetona (1 h).

2 partes de resina y 2 de acetona (1 h).

3 partes de resina y 1 de acetona (3 h).

Resina pura (3 h).

Resina pura (toda la noche).

Las muestras se colocaron en moldes adecuados para la obtención del bloque y se mantuvieron durante 48 h en una estufa a 60 °C para la polimerización de la resina.

Las muestras se fijaron e incluyeron en el laboratorio de Mastozoología de la UAMI en la Ciudad de México.

La segunda parte de la técnica de análisis se realizó en la Unidad de Microscopía de los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona, España.

Piramidación del bloque.

Una vez polimerizada la resina y con el fin de obtener cortes semifinos se realiza la piramidación del bloque que contiene la muestra, que consiste en la eliminación del exceso de resina que envuelve la tráquea.

Obtención de cortes semifinos.

Una vez obtenida la pirámide, se obtuvieron cortes semifinos (0,5 μ m), mediante un ultramicrotomo Reichter y cuchillas de vidrio destensado. El colorante apropiado para los cortes semifinos es el azul de metileno, el procedimiento es el siguiente:

1. Deshidratación de los cortes en una platina caliente a 90°C.
2. Tinción con azul de metileno al 0.5 % tamponado con bórax de 15 a 20 segundos.
3. Lavados con agua destilada.
4. Montaje en resina sintética.

La obtención de cortes semifinos permite la observación de las muestras al microscopio óptico (Leica Leitz DM RB), y evaluar algunos parámetros generales y la presencia y ausencia de mucus y seleccionar la zona a observar en el microscopio electrónico de transmisión.

Características Generales del Epitelio Traqueal.

La detección de mucopolisacáridos y glucoproteínas se realizó en cortes semifinos con tinción de *PAS* (ácido periódico de Schiff) previa extracción de la resina con una mezcla disolvente de epoxyresinas propuesta por Mestres (1998) y consiste en la combinación de dos soluciones; solución "A": 1,3 g de 18-crown-6 (Sigma Chemicals), 99 ml DMSO y 1 ml H₂O; solución "B": 30 g de hidróxido potásico en metanol al 100%. La solución de uso se compone de 100 ml de "A" y 3 ml de "B", los cortes se sumergieron durante 10 minutos en la solución resultante y a continuación los cortes se procesaron según la técnica de *PAS*, modificada para las características de la muestra (Górriz, 1995), que a continuación se describe.

- ∄ Baño de la muestra con ácido periódico durante 30 min
- ∄ Lavado con agua corriente durante 5 minutos
- ∄ Lavado rápido con agua destilada.
- ∄ Baño con reactivo de Schiff, durante 18 h en un recipiente cerrado
- ∄ Lavado con agua corriente durante 5 min. Lavado con agua destilada.
- ∄ Se deja secar el aire y finalmente se monta en DPX.

Repiramidación en bloque.

Una vez seleccionada la zona que nos interesó se procedió a repiramidar el bloque eliminando el exceso de muestra.

Obtención de cortes ultrafinos.

El grosor de los cortes ultrafinos fue de 50-70 Å, los cuales se obtienen mediante una cuchilla de diamante DIATOME y se recogieron en rejillas de cobre (Polaron o Taab de 200 mesh).

Contraste.

Para poder ser observadas al microscopio de transmisión, se utilizó el medio de contraste propuesto por Reynolds (1963) y Watson (1958). Este método utiliza acetato de uranilo al 2% en solución acuosa durante 30 minutos y a temperatura ambiente, seguido de citrato de plomo durante 10 minutos a temperatura ambiente y exenta de CO_2 .

La observación se realizó en un microscopio electrónico de transmisión Hitachi 600 AB con un potencial de aceleración de 75 Kv y con un sistema de adquisición de imágenes digital incorporado para la obtención de fotos.

Observación de las Muestras.

Microscopía óptica.

Los parámetros a considerar en un fragmento del epitelio traqueal escogido al azar fueron:

- € La presencia de mucus en la luz traqueal que se evaluó por medio de una calificación semicuantitativa, obteniendo 4 categorías de acuerdo a la extensión y el grosor de la capa de mucus: 0 = ausente, 1 = leve, 2 = moderado y 3 = grave.
- € Presencia o ausencia de mucopolisacáridos y glucoproteínas (*PAS* positivo)
- € Presencia o ausencia de Desorden celular.

Microscopía Electrónica de Barrido (*SEM*).

- € Porcentaje de células ciliadas del epitelio traqueal expresado como la proporción de células ciliadas respecto al total de células del epitelio de la tráquea, obtenido a partir de una serie de 15 fotografías de un fragmento del epitelio traqueal escogida al azar. Cada fotografía se procesó por un analizador de imagen (IMAT) (Sistema UNIX³) que proporciona el porcentaje de células que componen el epitelio en una superficie determinada.
- € Presencia o Ausencia de características relacionadas con hiperplasia de células mucosas.

Microscopía Electrónica de Transmisión (*TEM*)

- € Se analizaron 500 cilios de cada espécimen, a partir de los cuales se analizó la orientación ciliar de acuerdo a lo propuesto por Rutland & Iongh (1990) y Iongh *et al.*, (1992), se consideró orientación anormal cuando en 10 cilios el ángulo que se forma entre el eje que pasa a

³Software de tratamiento de imagen. Programa desarrollado por la Unidad de Tratamiento de Imágenes del Servicio Científico - Técnico de la Universidad de Barcelona. Trabaja en UNIX y en entorno Windows.

través del par de microtúbulos centrales de un cilio respecto a otro es de 90°.

- € Presencia de dilataciones vesiculares, duplicaciones, y asociaciones de cilios.
- € Presencia de gránulos electrodensos dispersos en el citoplasma de las células en un fragmento del epitelio traqueal escogido al azar.

Análisis estadístico.

A los datos de porcentaje de área ocupada por células ciliadas se les aplicó la transformación $p' = \arcsenop$ (Zar, 1984); con el fin de realizar el análisis univariante multifactorial con el programa SPSS versión 10 para Windows, (Norusis, 1999) y para determinar si existían diferencias y en caso de ser significativas si estas eran producto de la zona y época de colecta o si eran atribuidas al sexo y estado reproductor de la especie estudiada. A los datos obtenidos en frecuencia de aparición se aplicó la prueba de X^2 (Zar, 1984).

3.4 RESULTADOS.

3.4.1 *Microtus mexicanus*.

3.4.1.1 Características Generales.

Se analizaron un total de 35 individuos del Ajusco y 32 ejemplares del Desierto.

La mayor parte de los ejemplares analizados se les detectó presencia de mucus en zonas muy localizadas en el lumen de la tráquea de grado leve a moderado. En el Desierto se observa una distribución muy similar en la presencia y cantidad de mucus presente en las dos épocas de estudio, en tanto que en el Ajusco es en su mayoría es de grado leve, no observándose casos en grado moderado durante la época seca; no se detectaron diferencias significativas en la distribución de dichas frecuencias (figura 1, tabla 1).

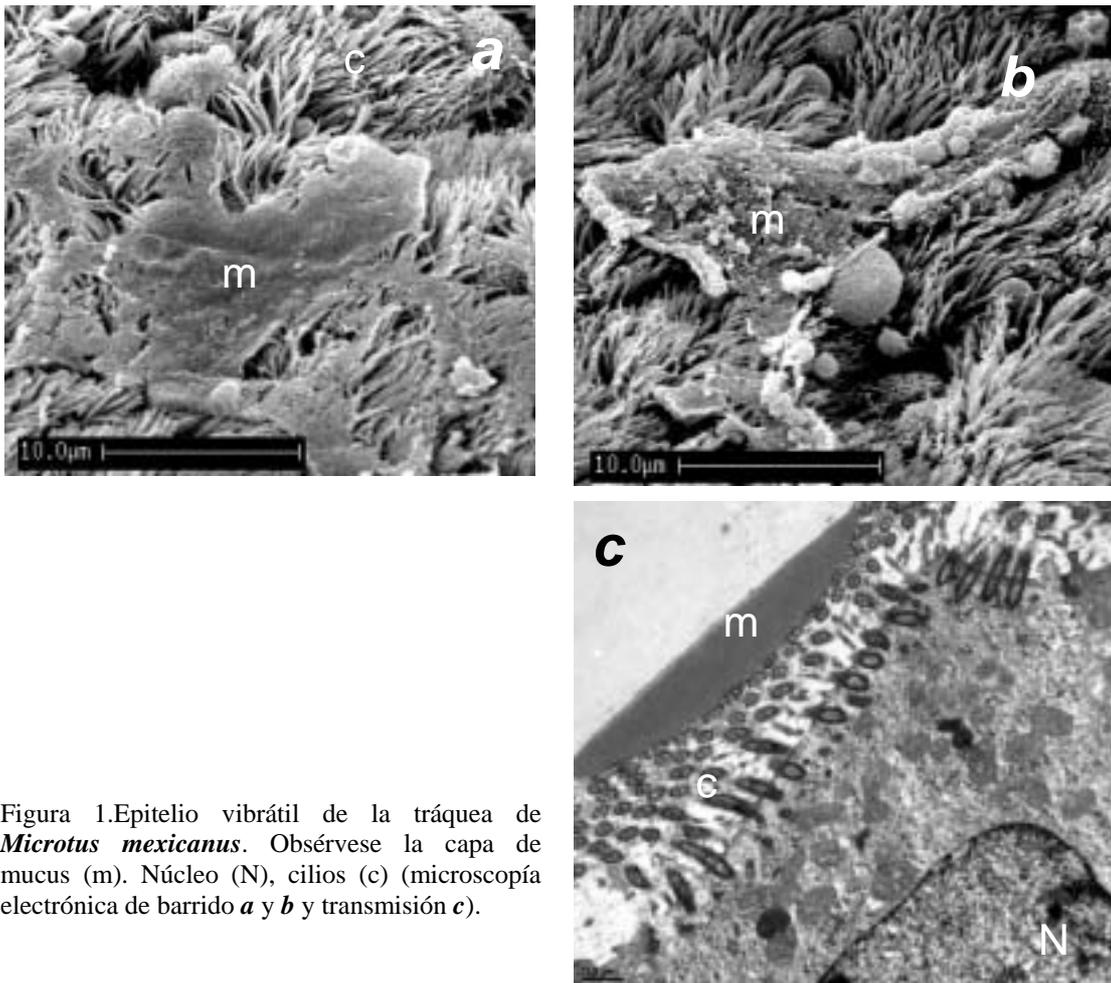


Figura 1. Epitelio vibrátil de la tráquea de *Microtus mexicanus*. Obsérvese la capa de mucus (m). Núcleo (N), cilios (c) (microscopía electrónica de barrido *a* y *b* y transmisión *c*).

Se observó una disposición celular desordenada en mayor porcentaje en los individuos del Desierto obtenidos durante la temporada de lluvias, con diferencias significativas entre zonas (tabla 1).

Tabla 1. Características observadas en el epitelio de la tráquea de *Microtus mexicanus* (microscopía óptica)

ZONA	ÉPOCA	n	MUCUS		DESORDEN CELULAR
			LEVE %	MODERADO %	PRESENTE
AJUSCO	LLUVIAS	29	65,52	27,59	3,45
	SECA	6	100,00	0	0
	TOTAL	35	71,43	22,86	3,22 *
DESIERTO	LLUVIAS	24	62,50	33,33	27,27
	SECA	8	62,50	37,50	0
	TOTAL	32	62,50	34,38	27,27*

* **Diferencias significativas. Estadístico exacto de Fisher $p = 0,02$**

3.4.1.2 Análisis Estructural.

La evaluación de las imágenes realizado con el programa IMAT en las secciones de tráquea de *M. mexicanus* no reveló diferencias significativas (tabla 2), no obstante se obtuvo el menor porcentaje de área de células ciliadas en las hembras procedentes del Ajusco pero no se encontró evidencia que sugiriera la influencia del sexo y/o actividad reproductora, probablemente debido al tamaño de muestra analizado en la temporada seca.

Tabla 2. Porcentaje promedio del área ocupada por células ciliadas en el epitelio traqueal de *M. mexicanus* por zona de estudio, época de captura y sexo.

ZONA	ÉPOCA	SEXO	N	MEDIA %	DESV. TÍP.
AJUSCO	LLUVIAS	MACHOS	16	49,36	14,15
		HEMBRAS	13	52,54	10,07
		TOTAL	29	50,79	12,38
	SECA	MACHOS	3	41,23	6,81
		HEMBRAS	2	16,14	1,81
		TOTAL	5	31,20	14,59
	Total	MACHOS	19	48,08	13,47
		HEMBRAS	15	47,69	15,85
		TOTAL	34	47,90	14,34
DESIERTO	LLUVIAS	MACHOS	8	42,82	14,02
		HEMBRAS	14	63,94	19,31
		TOTAL	22	56,26	20,11
	SECA	MACHOS	3	44,25	11,06
		HEMBRAS	2	50,76	8,88
		TOTAL	5	46,86	9,68
	Total	MACHOS	11	43,21	12,75
		HEMBRAS	16	62,29	18,67
		TOTAL	27	54,52	18,84

A nivel estructural se aprecia actividad de regeneración celular, que se manifiesta en un epitelio heterogéneo (tabla 3; figura 2 y 3), mostrando amplias zonas con escasa presencia de células ciliadas acompañadas de prominentes uniones intercelulares (figura 4), mayor tamaño celular, y otras con una capa densa de cilios o zonas con aparente disminución de número de cilios por célula (figura 3).

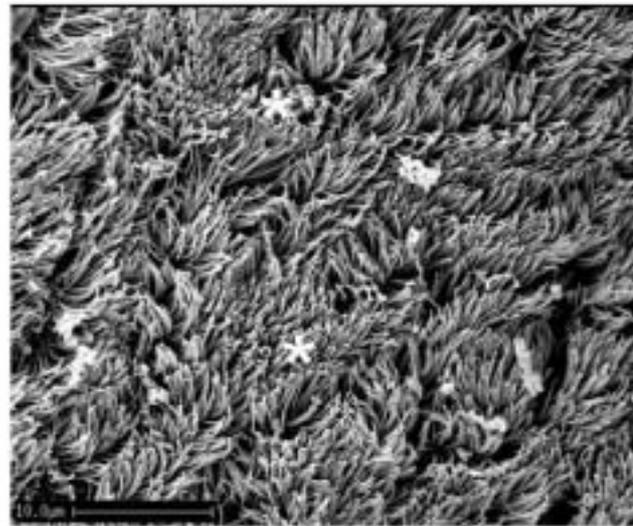
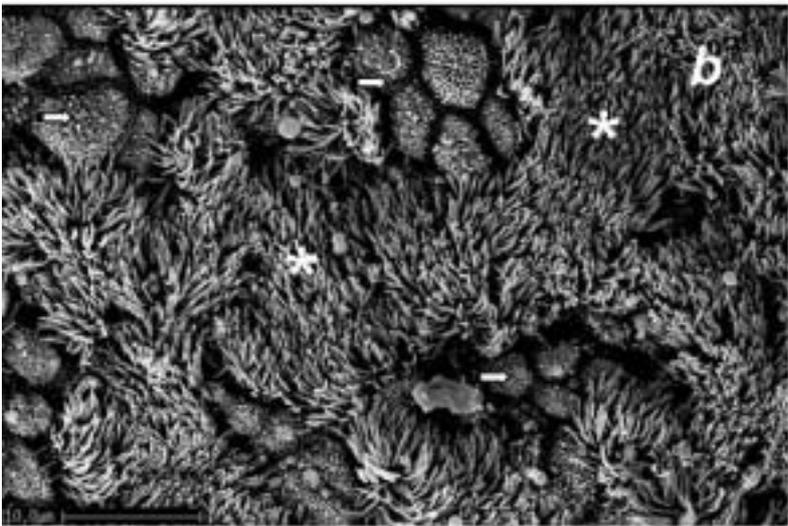
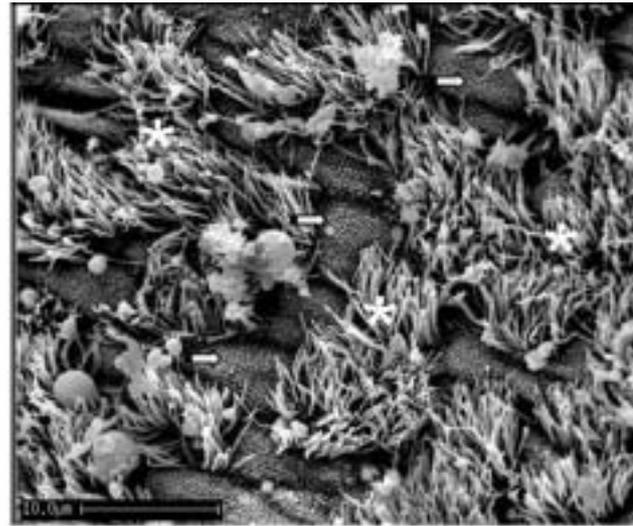
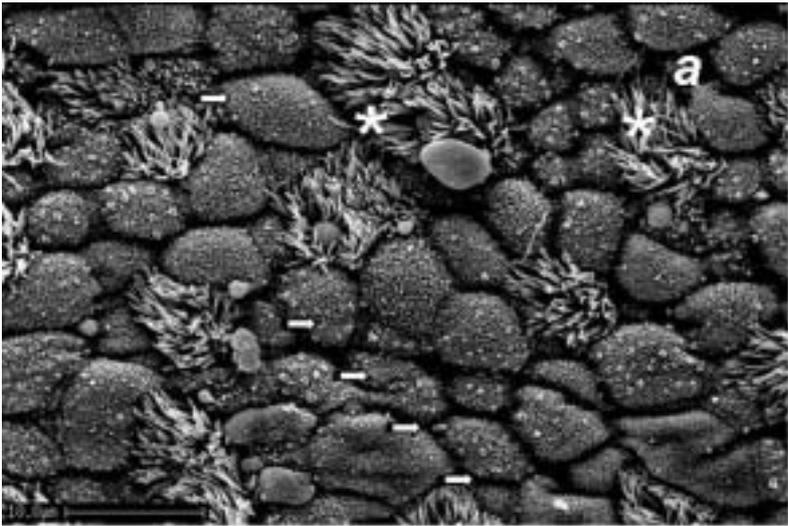
En el epitelio traqueal además se observa la formación de gránulos de secreción, descritas por Wang (1990a) en pulmón y relacionada con las fases de hiperplasia de células mucosas debidas a irritaciones superficiales que pueden llegar a desarrollar metaplasia, displasia e inflamación subepitelial. Estos gránulos localizados en la

superficie del epitelio traqueal se observaron en el 91,4 % de los individuos del Ajusco y en un 85,2 % en los ejemplares del Desierto (tabla 3, figura 5). También se detectaron evaginaciones citoplasmáticas y restos celulares de origen indeterminado (figura 6).

La prueba de χ^2 no reveló diferencias significativas, en ninguna de las características cuantificadas, tal vez debido al tamaño de muestra obtenido y la escasa diferencia existente entre las zonas de trabajo.

Tabla 3. Características estructurales del epitelio traqueal de *Microtus mexicanus* de los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D); datos expresados en porcentaje, por característica observada como su distribución estacional

ÉPOCA	ALTERACIÓN	A			D		
		NT	PRESENCIA		NT	PRESENCIA	
			n	%		n	%
LLUVIAS mayo - octubre	Uniones Intercelulares entre células no ciliadas	30	28	93,33	27	22	81,48
	Gránulos característicos de Hiperplasia de células mucosas		12	40,00		11	40,74
	Evaginaciones Citoplasmáticas		28	93,33		19	70,37
	Epitelio Heterogéneo		22	73,33		15	55,56
	Total		30	100,00		27	100,00
SECA noviembre - abril	Uniones Intercelulares entre células no ciliadas	5	4	80,00	5	5	100,00
	Gránulos característicos de Hiperplasia de células mucosas		1	20,00		1	20,00
	Evaginaciones Citoplasmáticas		4	80,00		4	80,00
	Epitelio Heterogéneo		2	40,00		2	40,00
	Total		5	100,00		5	100,00
ANUAL	Uniones Intercelulares entre células no ciliadas	35	32	91,43	32	27	84,38
	Gránulos característicos de Hiperplasia de células mucosas		13	37,14		12	37,50
	Evaginaciones Citoplasmáticas		32	91,43		23	71,88
	Epitelio Heterogéneo		24	68,57		17	53,13
	Total		35	100,00		32	100,00



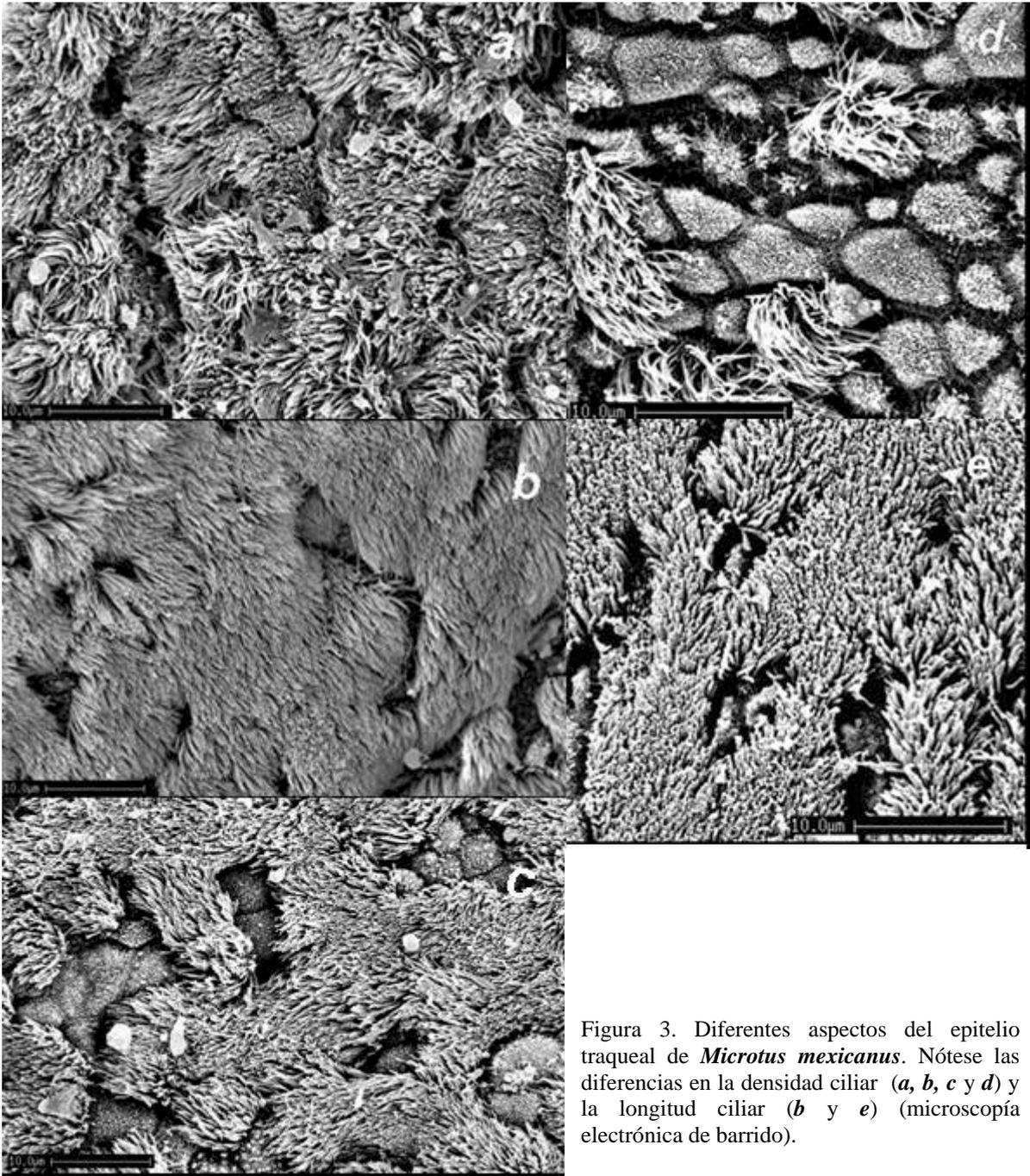


Figura 3. Diferentes aspectos del epitelio traqueal de *Microtus mexicanus*. Nótese las diferencias en la densidad ciliar (*a*, *b*, *c* y *d*) y la longitud ciliar (*b* y *e*) (microscopía electrónica de barrido).

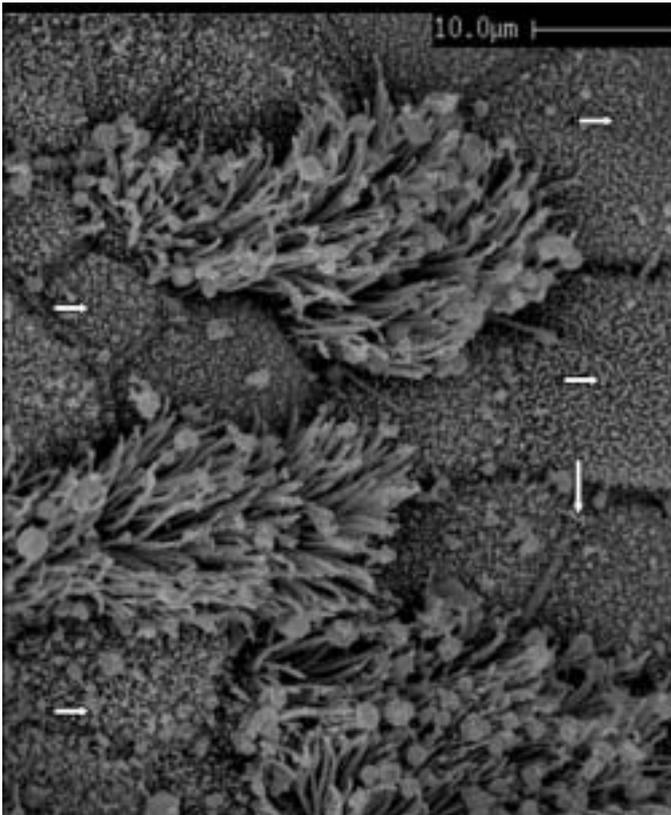


Figura 4. Fragmento de epitelio traqueal de *Microtus mexicanus*: *a*) Ajusco *b*) Desierto, capturados en la temporada de lluvias. Nótese la diferencia en el tamaño de las células no ciliadas (↔) así como la prominencia de las uniones intercelulares (↓), eritrocitos (→) (microscopía electrónica de barrido).

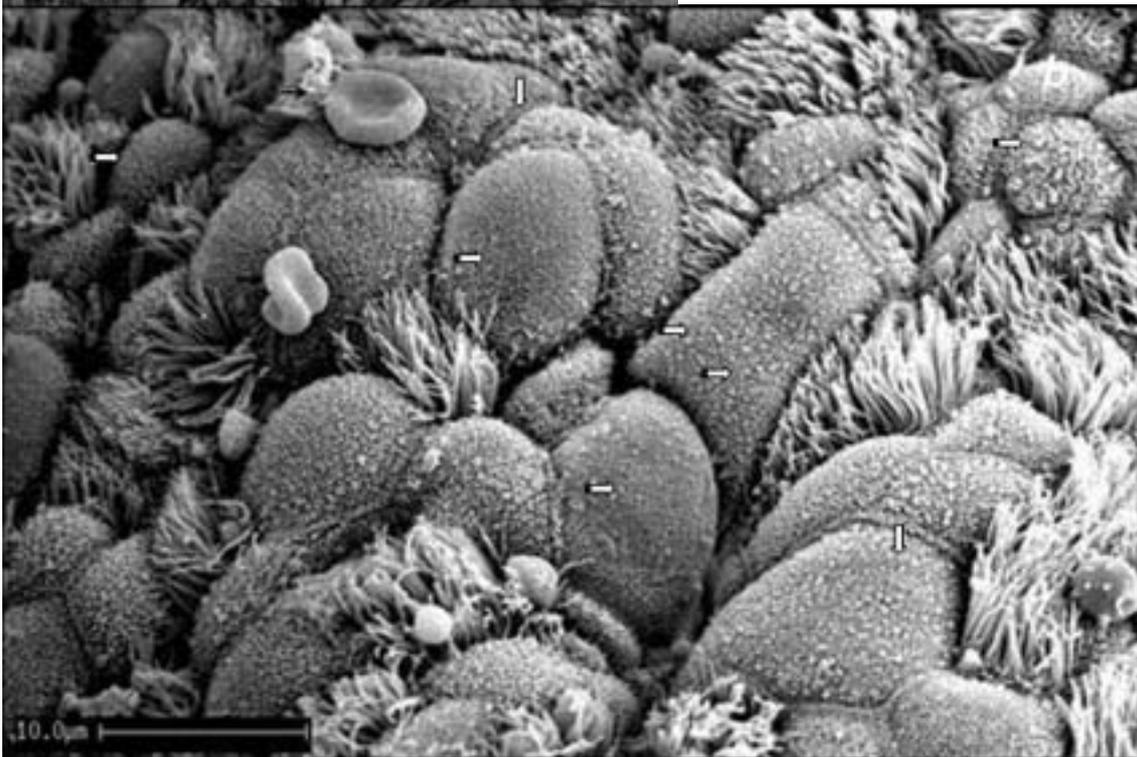




Figura 5a y 5b. Epitelio traqueal de *Microtus mexicanus*, obsérvese la formación de gránulos relacionados con hiperplasia de células mucosas → (microscopía electrónica de barrido).

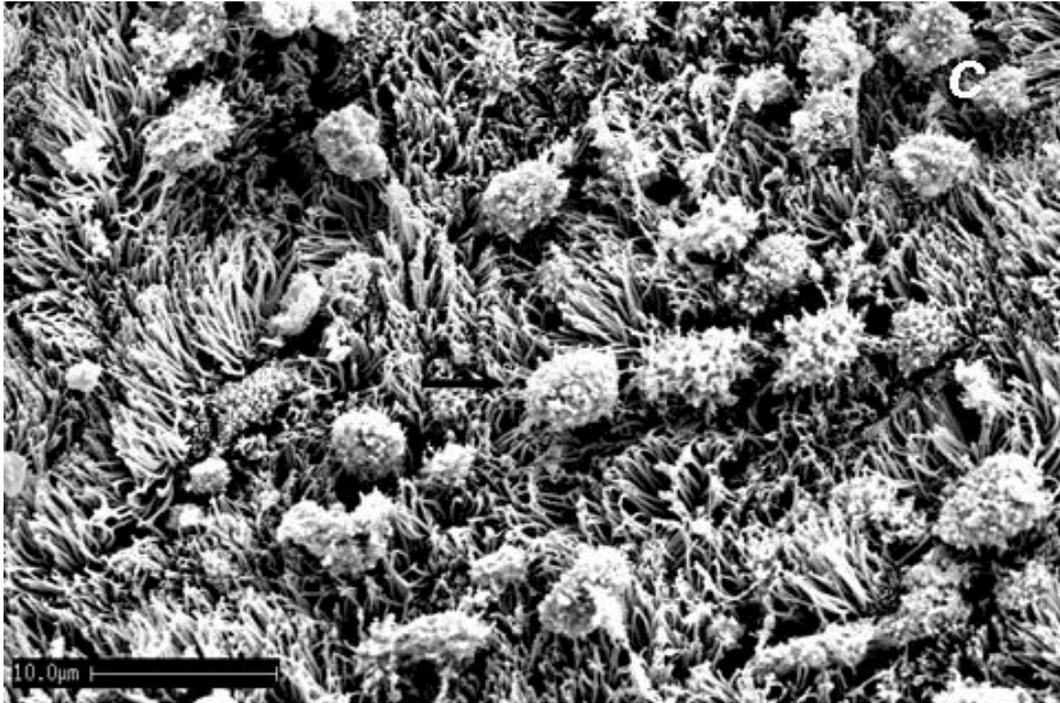


Figura 5c. Epitelio de la tráquea de *Microtus mexicanus* obsérvese la gran cantidad de gránulos de secreción (→), relacionados con hiperplasia de células mucosas (microscopía electrónica de barrido).

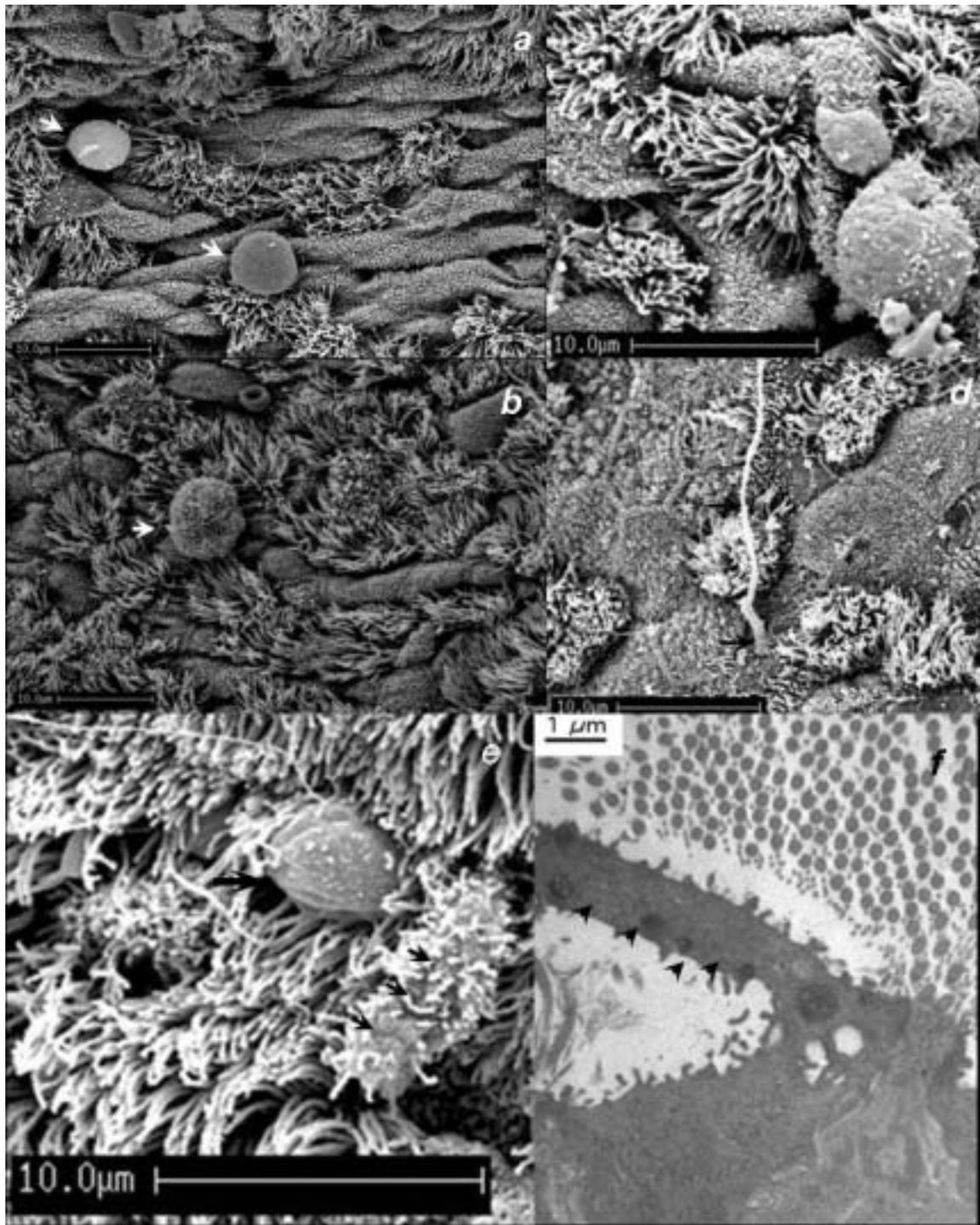


Figura 6. Epitelio de la tráquea de *Microtus mexicanus*; obsérvese la presencia de leucocitos *a*) inactivo *b*) activo; *c*) obsérvese los restos celulares y gránulos de secreción; *d*) secreción glandular; *e* evaginaciones citoplasmáticas (flechas); *e* y *f*) nótese los que parece corresponder a secreciones apocrinas (punta de flecha) (*a* – *e* microscopía electrónica de barrido, *f*) microscopía electrónica de transmisión corte grueso).

3.4.1.3 Análisis Ultraestructural.

Se analizaron 25 muestras procedentes del Ajusco y 28 ejemplares del Desierto. En las observaciones ultraestructurales (*TEM*) se observó la presencia de dilataciones vesiculares epiteliales y ciliares, cilios duplicados, cilios supernumerarios del tipo adhesivo (varios axonemas en una escasa matriz) y cilios formados por unos cuantos axonemas en gran cantidad de material citoplasmático, dilatación del citoplasma de los cilios y desorganización; ésta última expresada por la pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulos, además de la aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina acompañadas por una matriz electrodensa, que alcanza su mayor grado en lo ejemplares del Desierto (figura 7 y 8).

La presencia de al menos una de estas alteraciones se observó en todos los ejemplares analizados, siendo la más representativa la presencia de dilataciones vesiculares en mayor grado en el Ajusco.

Se observa cierto grado de desorientación ciliar en 7 muestras (28 %) procedentes del Ajusco y en 6 (24 %) individuos procedentes del Desierto (figura 8) sin embargo el número de cilios que exhibieron dicho carácter no llegó en ningún caso al 2 % de cilios con orientación anómala. (10 cilios con un ángulo de 90° formado por el eje ciliar que pasa a través del par de microtúbulos centrales de un cilio con respecto otro próximo en 500 cilios analizados).

Tabla 4. Porcentaje de ejemplares de *Microtus mexicanus* que presentaban algún tipo de anomalía ultraestructural en el epitelio traqueal en los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D) por época del año (lluvias o seca). Dat

ÉPOCA	n		DILATACIONES VESICULARES %		CILIOS ANÓMALOS %			DILATACIÓN DEL CITOPLASMA CILIAR %		DESORGANIZACIÓN ** %		TOTAL %		
	A	D	A	D	A	MÁXIMO*	D	MÁXIMO*	A	D	A	D	A	D
LLUVIAS	20	23	96,20	66,00	53,85	> 8	33,30	> 8	7,69	17,39	65,00	52,20	100	100
SECA	5	5	100,00	85,70	52,20	8	85,70	> 8	0,00	0,00	100,00	100,00	100	100
TOTAL	25	28	98,00	80,00	53,10	> 8	70,00	> 8	6,90	13,33	72,00	60,71	100	100

* Número máximo de axonemas observados envueltos en una sola membrana plasmática

** Pérdida, traslocación y/o presencia de un par extra de microtúbulo, con aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina, acompañadas por una matriz electrodensa,

Aun cuando en el Ajusco se tiene un mayor número de individuos con dilataciones vesiculares y cilios envueltos en una misma membrana, el estadístico de

Fisher no reportó diferencias significativas entre zonas, ni entre épocas, para ninguna de las características detectadas.

Aun cuando el objetivo es analizar alteraciones en la orientación ciliar y la detección de cilios anómalos en el epitelio traqueal, la zonas de estudiadas mostraban signos de actividad celular, reflejada en la presencia de células con núcleo lobulado e interdigitaciones plasmáticas características de estados de hiperplasia (aumento controlado de células en un órgano), ciliogénesis en progreso; presencia de microvilli con glicocáliz laxo, gránulos electrodensos distribuidos en el citoplasma de las células no ciliadas y en algunos casos en el borde apical debido probablemente a la formación de endosomas, así como gránulos de secreción, fagosomas y autofagosomas en los que se requieren análisis específico (figura 9), vacuolización citoplasmática de células ciliadas y alteraciones mitocondriales y fragilidad de células basales. La comparación entre zonas de captura y entre las épocas del año con respecto a la frecuencia de presencia de cada una de las características antes mencionadas mediante la prueba de χ^2 y el estadístico de Fisher no reveló diferencias significativas en ninguna de estas características, posiblemente debido al bajo número de muestras analizado en la temporada seca y a la potencia estadística de la prueba utilizada (tabla 5).

Tabla 5. Alteraciones en el epitelio traqueal de *Microtus mexicanus* en los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D) por temporada del año (lluvias y seca) y anual. La frecuencia de cada anomalía está expresada en porcentajes

ÉPOCA	Gránulos electrodensos		ACTIVIDAD CELULAR *		Alteraciones mitocondriales **		GLICOCÁLIZ ***		FRAGILIDAD CELULAR ****		Vacuolas	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
LLUVIAS	100,00	77,78	47,06	50,00	53	25	94,40	57,10	17,65	20,00	29,41	15,00
SECA	100,00	50,00	0,00	100,00	100	100	0,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
TOTAL	100,00	75,00	44,44	55,00	56	35	89,50	62,50	10,34	25,81	33,33	25,00

* Presencia de interdigitaciones en las uniones entre células adyacentes con núcleo lobulado

** Presencia de mitocondrias en diversos estadios degenerativos

*** Presencia de glicocáliz difuso entre los microvilli

**** Separación de células basales

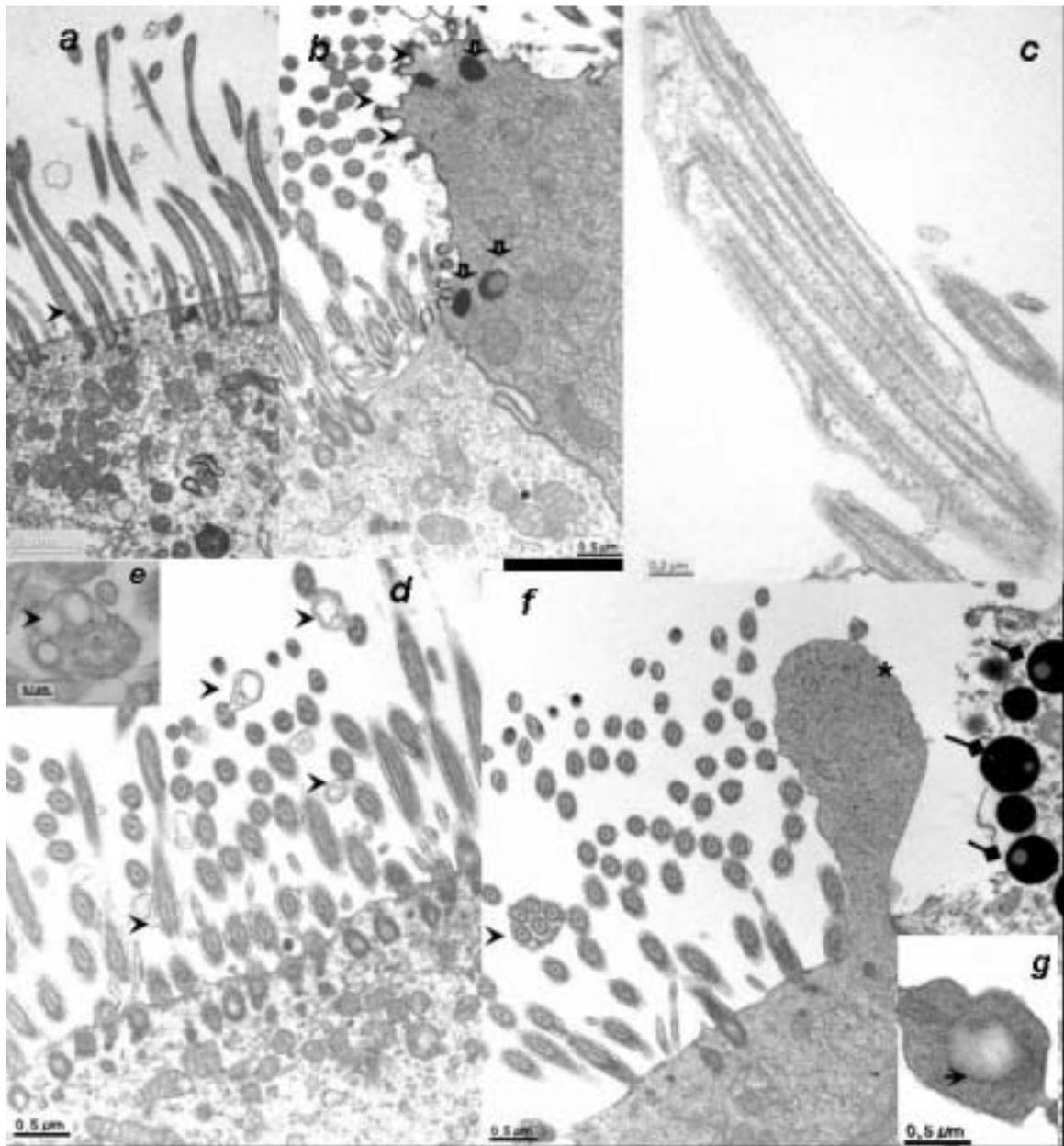


Figura 7. Fotocomposición para ver las diferentes alteraciones observadas en el epitelio traqueal de *Microtus mexicanus*. *a*) Escasa presencia ciliar; *b*) Obsérvese la configuración del glicocáliz laxo y electrodenso (➤), presencia de gránulos electrodenso, (⊓), nótese la interdigitación; *c*) Cilio compuesto; *d*) cilios con dilataciones vesiculares e inclusiones globulosas (➤); *e*) cilio con inclusiones globulosas; *f*) nótese la identificación de un cilio compuesto con cinco axonemas y extrusión citoplasmática conteniendo al menos tres axonemas identificados y material citoplasmático electrodenso (*), y presencia de gránulos electrodenso en la célula adyacente (➤); *g*) cilio con estructura globulosa (➤) (microscopía electrónica de transmisión).

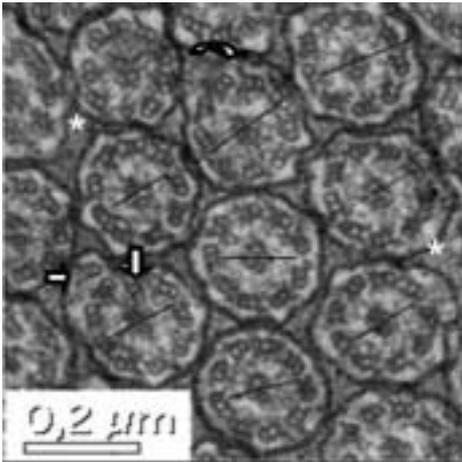


Figura 8. Alteraciones ciliares observadas: orientación anómala, nótese la disposición del par de microtúbulos centrales del cilio; translocación de microtúbulos hacia una dilatación citoplasmática en un cilio 10+2 (\rightarrow); alteraciones en los brazos de dineína \curvearrowright , obsérvese como la mayor parte del cilio es ocupado por una densa matriz y el material electrodensó en el que se encuentran inmersos los cilios (*).

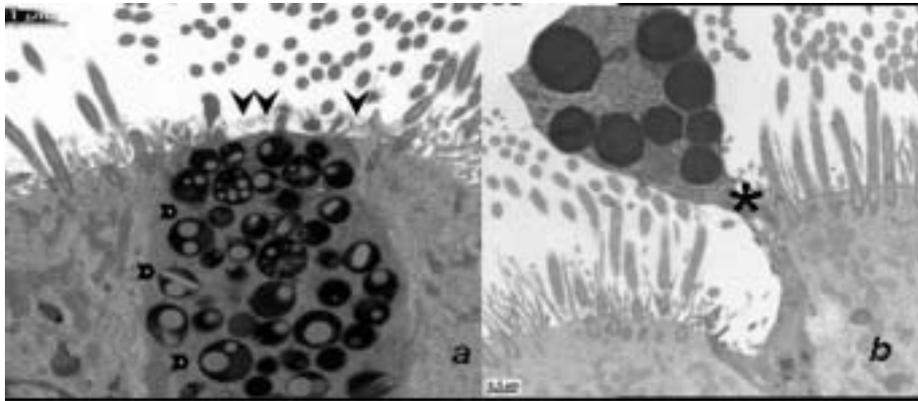


Figura 9. Fragmento del epitelio de la tráquea de *M. mexicanus* *a*) obsérvese la apariencia del glicocálix del microvilli (∇) y la configuración de los gránulos de secreción (Σ); *b*) proceso de expulsión de células mucosas (*) (microscopía electrónica de transmisión).

3.4.2 *Peromyscus melanotis*.

3.4.2.1 Características Generales.

Se estudiaron en total 137 organismos del Ajusco y 140 ejemplares del Desierto, las diferencias existentes entre el número de observaciones a nivel de microscopía óptica y microscopía de barrido se deben a que en el proceso de extracción de la resina para realizar la técnica de *PAS* no se obtienen resultados óptimos, quedando en algunos casos el tejido con escasa definición de contraste los cuales se excluyeron del análisis.

En el 86,76 % (n = 115) de las muestras del Ajusco y el 89,91 % (n = 78) de las muestras procedentes del Desierto se encontró mucus en el lumen de la tráquea de grado leve a abundante. En el Ajusco los casos más evidentes se manifestaron durante la época de lluvias, mientras que en el Desierto se distribuyeron en las dos épocas del año (figura 10). En la distribución de las frecuencias del grado de extensión del epitelio recubierto por mucus se detectaron diferencias significativas entre las zonas de captura ($X^2 = 80,46$ p < 0,001).

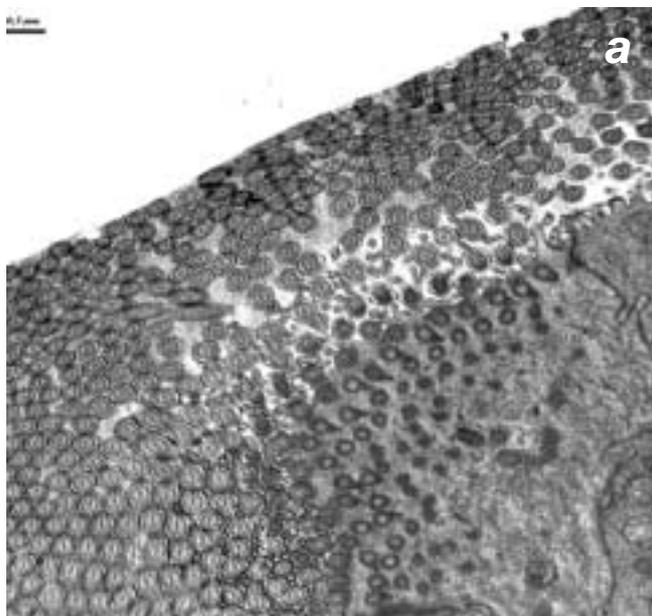


Figura 10. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis*. Obsérvese la presencia de mucus en el cual se encuentran inmersos los cilios; *a*) microscopía electrónica de transmisión; *b*) microscopía electrónica de barrido.

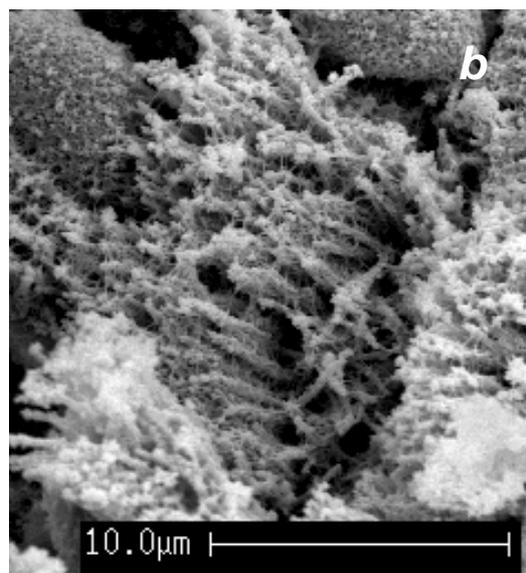


Tabla 6. Algunas características observadas en el epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* por zona de estudio y su variación en el tiempo (lluvias, seca y anual) frecuencias expresadas en porcentajes.

ZONA	ÉPOCA	n	MUCUS (%)			DESORDEN CELULAR (%)	GRÁNULOS DE SECRECIÓN (%)
			LEVE	MODERADO	GRAVE		
AJUSCO	LLUVIAS	78	27,03	22,97	25,68	24,4 ^a	43,5 ^c
	SECA	37	93,55	3,23	3,23	48,6 ^a	89,8 ^c
	ANUAL	115	57,35	13,97	15,44	32,20	69,50
DESIERTO	LLUVIAS	48	44,00	30,00	10,00	33,3 ^b	48,40
	SECA	30	72,88	16,95	5,08	86,7 ^b	63,20
	ANUAL	78	59,63	22,94	7,34	53,80	58,00

^a $\chi^2 = 6,78; p < 0,001$

^b $\chi^2 = 21,13; p < 0,001.$

^c $\chi^2 = 26,21; p < 0,001.$

En el 53,8 % de los individuos del Desierto y el 32,20 % de las muestras del Ajusco se detecta zonas con desorden celular; esta alteración se presenta en mayor grado en la temporada seca en ambas zonas de trabajo; las diferencias significativas en la frecuencia de aparición de esta lesión se obtienen entre las épocas del año por área de estudio (tabla 6), en cambio entre las zonas no se detectan diferencias.

La presencia de gránulos de secreción de mucopolisacáridos y glucoproteínas se distribuyó en porcentajes muy similares en el Desierto con una ligera diferencia no significativa entre épocas de captura, en cambio en el Ajusco se observan en una proporción significativamente más elevada en la temporada seca (tabla 6).

3.4.2.2 Análisis Estructural.

No se encontraron diferencias en los porcentajes del área ocupada por células ciliadas (tabla 7 y 8), observándose variaciones similares en su distribución mensual con un ligero mayor porcentaje de células ciliadas no significativo en el Desierto a lo largo del año de estudio (figura 11), con una marcada diferencia en los meses de julio, agosto, y valores ligeramente más elevados en el Ajusco en los meses de junio y diciembre.

No se encontraron evidencias de que el sexo y la actividad reproductiva influyeran en los resultados obtenidos, observándose un mayor porcentaje de área ocupada por células ciliadas en los individuos que no presentaban indicios de actividad reproductiva (tabla 7).

Tabla 7. Porcentaje del área ocupada por células ciliadas en el epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* por zona de estudio, época del año sexo y actividad reproductora (análisis de imagen IMAT).

ZONA	ÉPOCA	SEXO	ACTIVIDAD REPRODUCTORA	N	MEDIA	DESV. TIP.	MÁXIMO	MÍNIMO
AJUSCO n = 137	LLUVIAS n = 78	MACHOS	ACTIVOS	17	61,63	13,05	85,63	43,78
			INACTIVOS	19	57,59	19,76	91,05	13,99
			TOTAL	36	59,50	16,82	91,05	13,99
		HEMBRAS	ACTIVAS	21	57,02	18,49	81,14	15,35
			INACTIVAS	21	58,72	18,63	80,82	15,99
			TOTAL	42	57,87	18,36	81,14	15,35
	SECA n = 59	MACHOS	ACTIVOS	16	57,41	14,51	77,88	16,17
			INACTIVOS	19	61,86	14,25	84,92	27,71
			TOTAL	35	59,83	14,34	84,92	16,17
		HEMBRAS	ACTIVAS	10	55,48	16,23	82,70	30,94
			INACTIVAS	14	55,75	11,65	70,73	34,05
			TOTAL	24	55,64	13,41	82,70	30,94
DESIERTO n = 130	LLUVIAS n = 50	MACHOS	ACTIVOS	11	55,61	17,27	80,29	22,04
			INACTIVOS	11	75,07	16,00	93,92	38,23
			TOTAL	22	65,34	19,05	93,92	22,04
		HEMBRAS	ACTIVAS	12	59,10	11,66	79,64	42,09
			INACTIVAS	16	64,05	14,76	87,11	36,28
			TOTAL	28	61,93	13,52	87,11	36,28
	SECA n = 80	MACHOS	ACTIVOS	41	62,89	13,61	86,80	30,39
			INACTIVOS	11	60,99	12,76	82,42	41,41
			TOTAL	52	62,49	13,33	86,80	30,39
		HEMBRAS	ACTIVAS	14	62,60	13,41	84,73	44,67
			INACTIVAS	14	56,46	16,68	76,98	27,74
			TOTAL	28	59,53	15,18	84,73	27,74

Tabla 8.. Análisis univariante multifactorial del porcentaje del área ocupada por células ciliadas obtenido mediante el programa de análisis de imagen IMAT en el epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significación
Contraste	447,43	3	149,14	1,67	0,17
Error	22403,27	251	89,26		

El máximo porcentaje del área ocupada por células ciliadas se localizó en el mes de junio en el Ajusco coincidiendo con el mes en que se observó la mayor diferencia entre zonas y en uno de los meses donde el éxito de captura de esta especie en el desierto fue mínimo.

Las diferencias mensuales más grandes entre zonas ocurren durante la temporada de lluvias (junio septiembre), donde el porcentaje de área ciliar es mayor en el Desierto con excepción del mes de junio.

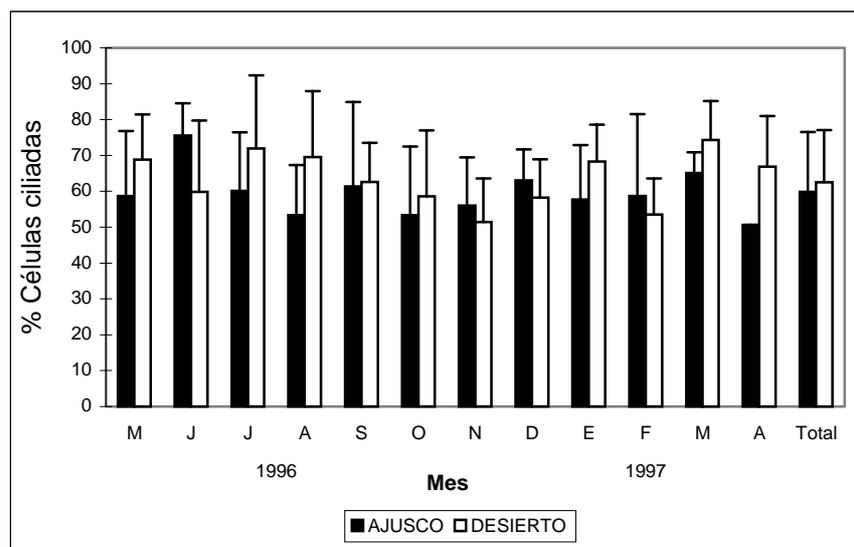


Figura 11. Distribución mensual del porcentaje del área ocupada por células ciliadas en un fragmento del epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* (media \pm ds).

En las observaciones realizadas con el microscopio electrónico de barrido (*SEM*) se detectan áreas de regeneración celular con un epitelio heterogéneo, en el que se aprecian estados iniciales de la misma y áreas con un epitelio ciliar bien desarrollado con escasa presencia de microvilli (figura 12); exfoliación celular (figura 13); restos celulares y secreciones de la mucosa que parecen ser de diferente composición (figuras 14 y 15).

Las secreciones presentes en el fragmento de tráquea destinado a *SEM* son difíciles de evaluar ya que los fragmentos de epitelio se limpiaron con solución fisiológica para una mejor observación de los cilios por lo no se pudo determinar si eran una característica común a todas las muestras.

Se observan además diferentes características que corresponden a varios grados de irritación, expresados por la presencia de gránulos de secreción acompañadas de prominentes uniones intercelulares y evaginaciones citoplasmáticas (figura 16).

Durante la temporada de lluvias se observó en el Ajusco el mayor porcentaje de ejemplares que presentaron prominentes uniones intercelulares, gránulos de secreción y evaginaciones citoplasmáticas en tanto que la presencia de un epitelio heterogéneo fue más elevada en el Desierto; en cambio durante la temporada seca el porcentaje mayor de individuos con prominentes uniones intercelulares y evaginaciones citoplasmáticas se presenta en el Desierto; no se detectaron diferencias estadísticas en el porcentaje total de individuo que exhibió al menos una de las características cuantificadas entre las dos localidades.

En general en el Ajusco se obtienen porcentajes muy similares entre épocas de captura por zonas o disminuyen en tanto que en el Desierto se incrementan su frecuencia de aparición significativamente lluvias a seca (tabla 9). En el Desierto, en conjunto el 88 % de los ejemplares capturados durante la temporada de lluvias y un 100 % en la época seca presentaron alguna de las características descritas, detectándose diferencias significativas en tanto en el Ajusco no se detecta diferencia alguna (tabla 9).

Las diferencias significativas entre localidades por época de captura se debieron al porcentaje de organismos que exhibieron prominentes uniones intercelulares y un epitelio heterogéneo en tanto que durante la temporada seca fueron producto del desarrollo de evaginaciones citoplasmáticas y uniones intercelulares.

El 95 % de individuos del Ajusco y el 96,92 % del Desierto presentaron al menos una de las características cuantificadas, no detectándose diferencias significativas entre zonas de forma anual por característica cuantificada, ni en la presencia de al menos una de dichas características.

Se observó además algunas zonas con una disposición celular en el sentido del flujo aéreo especialmente en los organismos capturados en el Desierto (figura 17) durante la temporada seca, además de observarse zonas de necrosis celular.

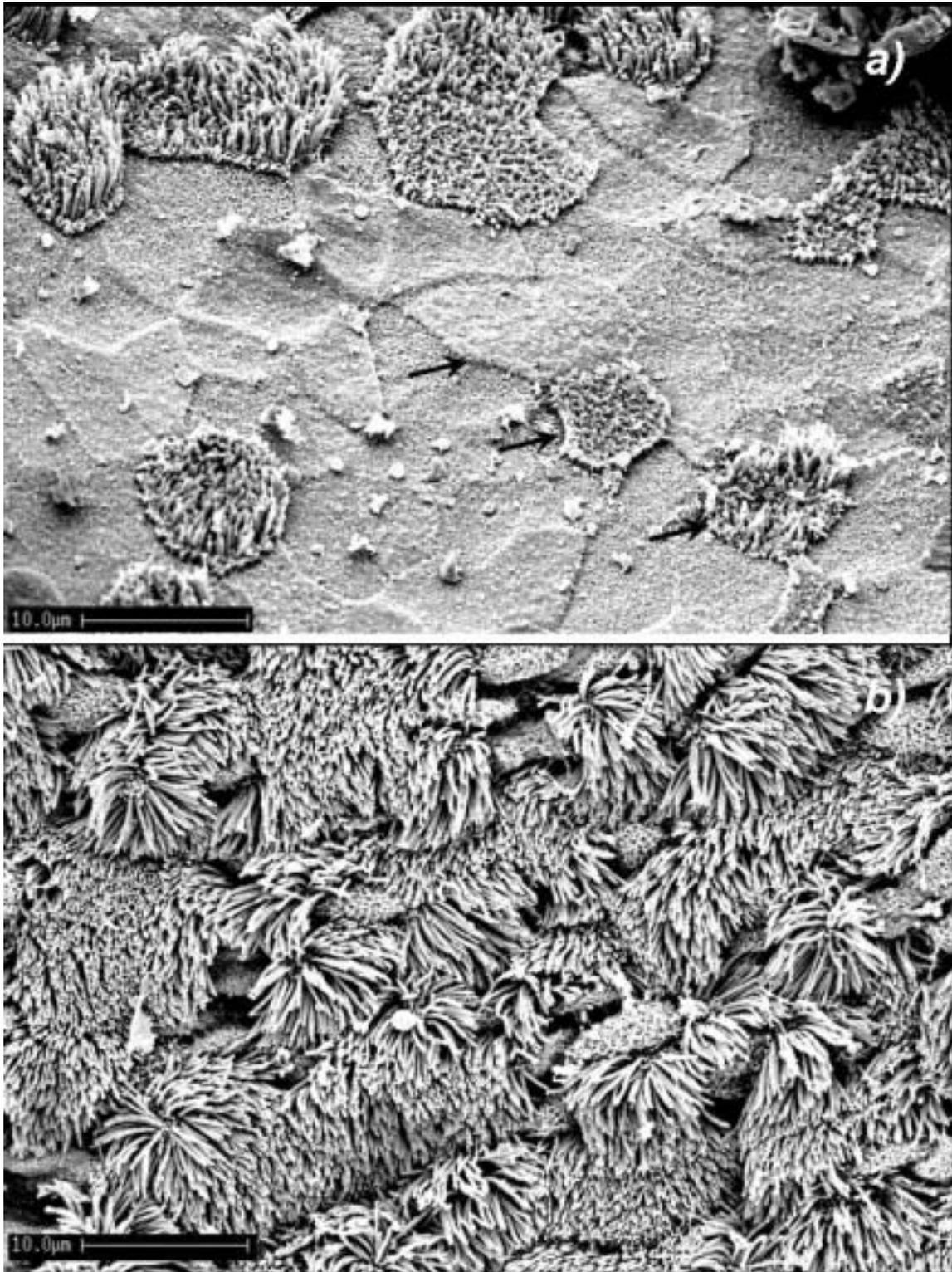


Figura 12. Aspecto del epitelio traqueal *Peromyscus melanotis*, capturado en el Ajusco en el mes de julio, obsérvese las diferencias existentes en un mismo individuo **a)** Nótese las zona con células en desarrollo probablemente después de un proceso de exfoliación y la escasa presencia de células ciliadas; **b)** zona con una gran cantidad de células ciliadas (microscopía electrónica de barrido).

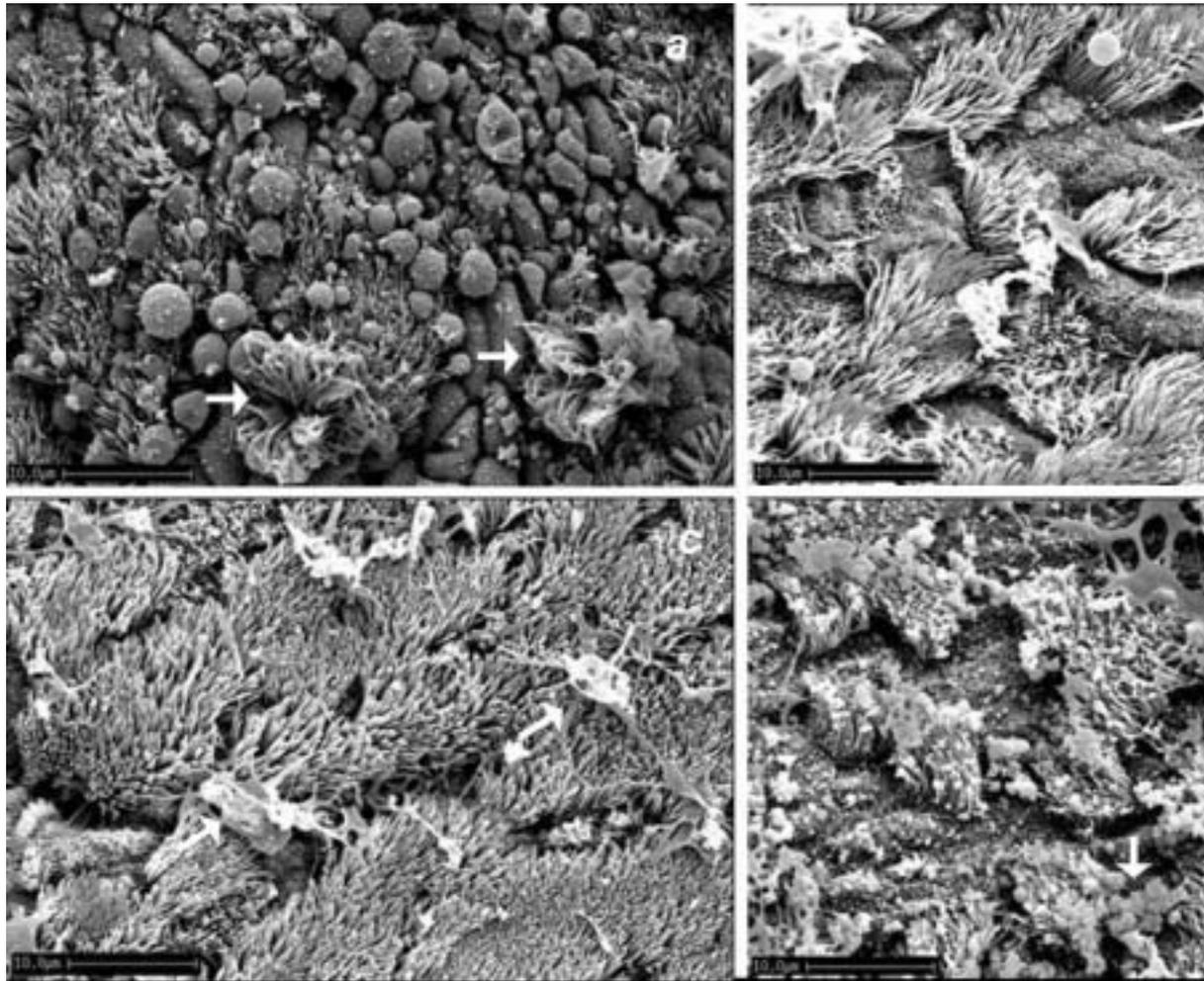


Figura 13. Diferentes aspectos del epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* del Desierto de los Leones *a*) julio y octubre. Obsérvese los restos celulares adheridos a los cilios (flecha) (microscopía electrónica de barrido).

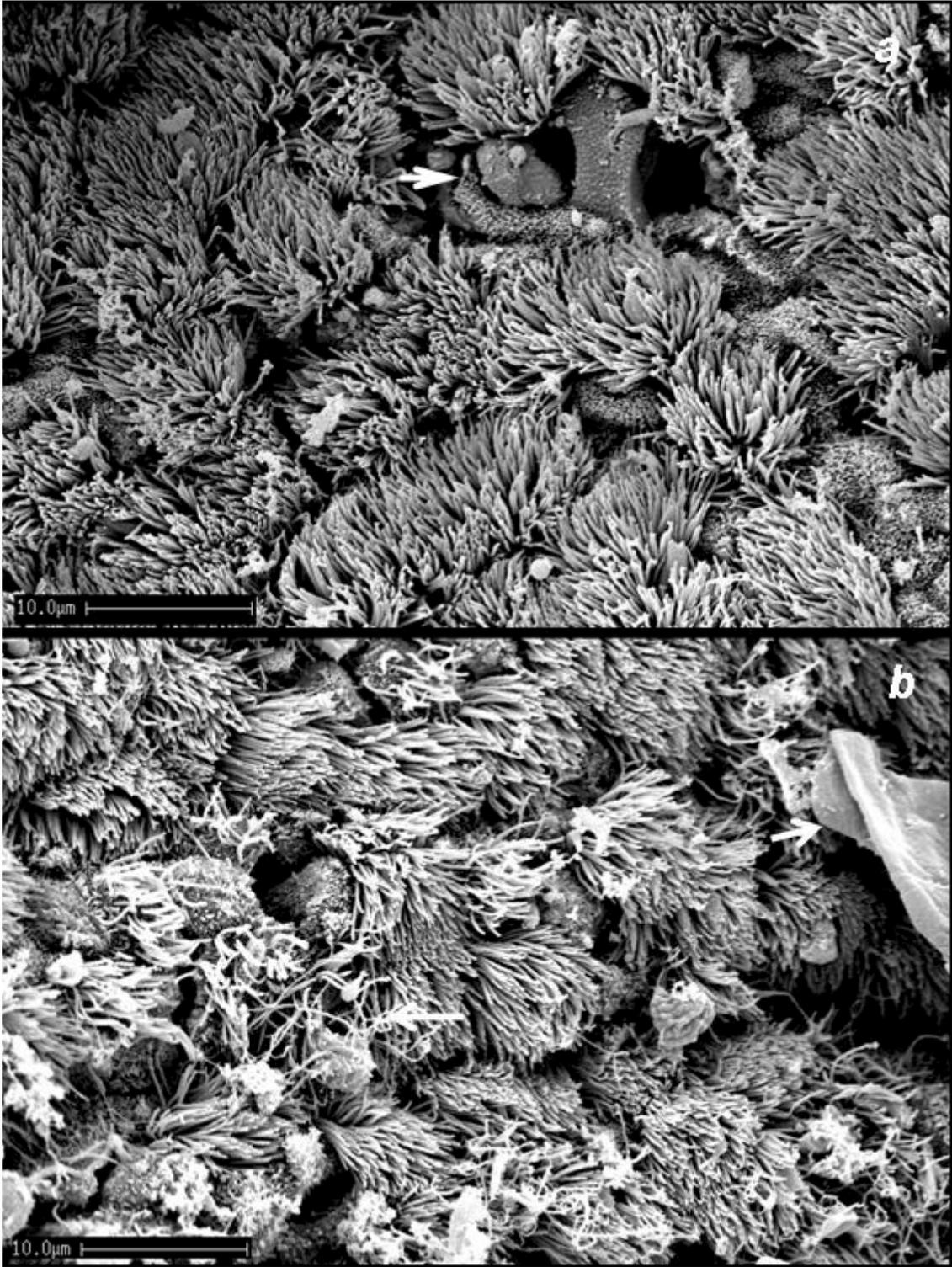


Figura 14. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* capturado en septiembre del Desierto de los Leones; **a)** expulsión de células no ciliadas **b)** obsérvese el aspecto de los microvilli y los restos celulares (microscopía electrónica de barrido).

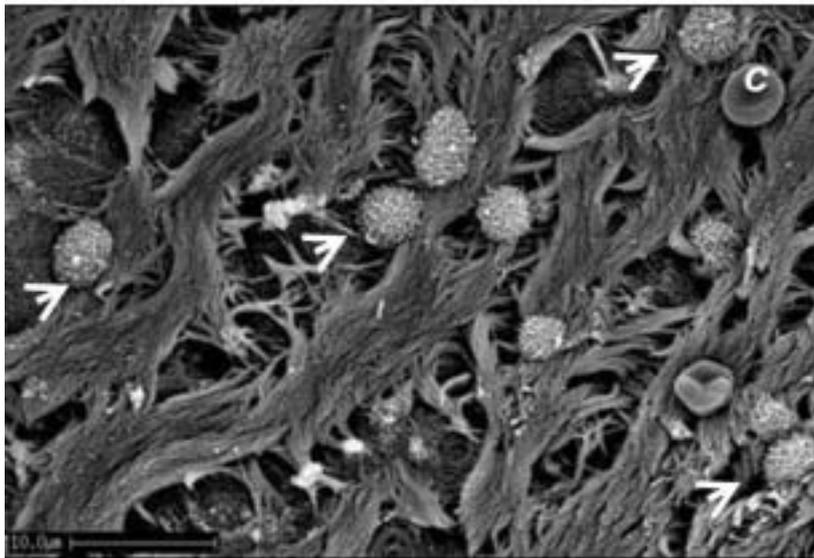
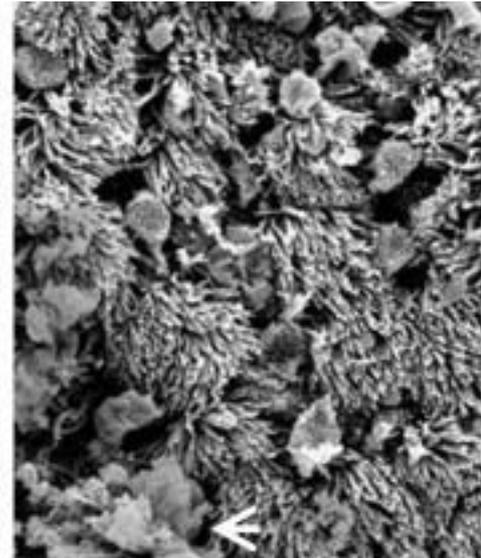


Figura 15. Epitelio traqueal de *Peromyscus* con estructuras semejantes a leucocitos activos en la superficie *a* y *b*) época de lluvias; *c*) época de sequía (micrografía electrónica de barrido).

Tabla 9. Características estructurales del epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* capturados en los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D), distribuidas en el tiempo (lluvias, seca y anual). Datos expresados en porcentaje

ÉPOCA	ALTERACIÓN	A		D		COMPARACIÓN ENTRE ZONAS			
		NT	PRESENCIA		NT	PRESENCIA		χ^2	Sig
			n	%		n	%		
LLUVIAS mayo - octubre	Uniones Intercelulares entre Células No Ciliadas	80	36	45,00	50	10	20,00	9,21	0,002
	Gránulos Característicos de Hiperplasia de Células Mucosas		30	37,50		13	26,00	2,24	0,134
	Evaginaciones Citoplasmáticas		53	66,25		29	58,00	1,47	0,225
	Epitelio Heterogéneo		41	51,25		38	76,00	6,24	0,012
	Total		75	93,75		44	88,00	1,15	0,283
SECA noviembre - abril	Uniones Intercelulares entre Células No Ciliadas	60	37	61,67	80	74	92,50	19,85	< 0,001
	Gránulos Característicos de Hiperplasia de Células Mucosas		39	65,00		43	53,75	1,788	0,181
	Evaginaciones Citoplasmáticas		21	35,00		45	56,25	6,21	0,013
	Epitelio Heterogéneo		37	61,67		53	66,25	0,314	0,575
	Total		58	96,67		80	100,00	2,705	0,1
ANUAL	Uniones Intercelulares entre Células No Ciliadas	140	73	52,14	130	84	64,62	3,678	0,055
	Gránulos Característicos de Hiperplasia de Células Mucosas		69	49,29		56	43,08	1,288	0,256
	Evaginaciones Citoplasmáticas		74	52,86		74	56,92	0,281	0,596
	Epitelio Heterogéneo		78	55,71		91	70,00	5,051	0,25
	Total		133	95,00		124	95,38	0,031	0,861
DIFERENCIAS ENTRE ÉPOCAS POR ZONA DE COLECTA									
Uniones Intercelulares entre Células No Ciliadas	LLA - SA = $\chi^2 = 3,81$; $p = 0,051$ LLD - SD = $\chi^2 = 73,11$; $p < 0,001$								
Gránulos Característicos de Hiperplasia de Células Mucosas	LLA - SA = $\chi^2 = 10,37$; $p = 0,001$ LLD - SD = $\chi^2 = 10,66$; $p = 0,001$								
Evaginaciones Citoplasmáticas	LLA - SA = $\chi^2 = 13,43$; $p < 0,001$ LLD - SD = $\chi^2 = 0,01$; $p = 0,957$								
Epitelio Heterogéneo	LLA - SA = $\chi^2 = 1,50$; $p = 0,219$ LLD - SD = $\chi^2 = 0,68$; $p = 0,408$								
Total de Características	LLA - SA = $\chi^2 = 0,61$; $p = 0,433$ LLD - SD = $\chi^2 = 9,67$; $p = 0,002$								

LLA = Época de Lluvias del Ajusco

LLD = Época de Lluvias del Desierto

SA = Época Seca Ajusco

SD = Época Seca del desierto

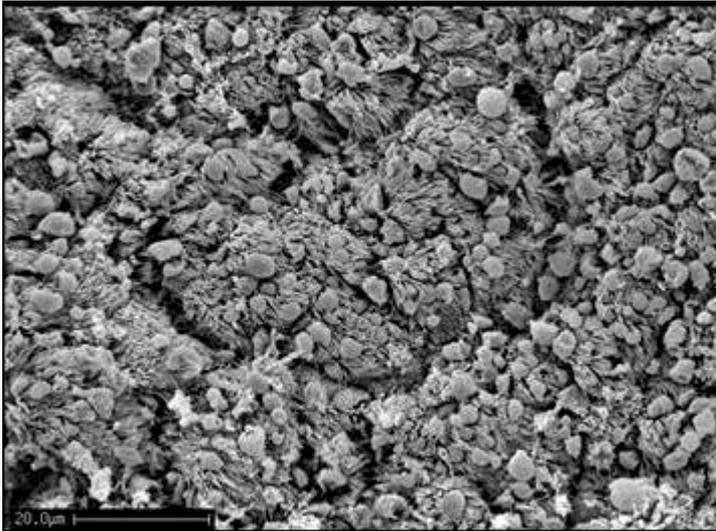
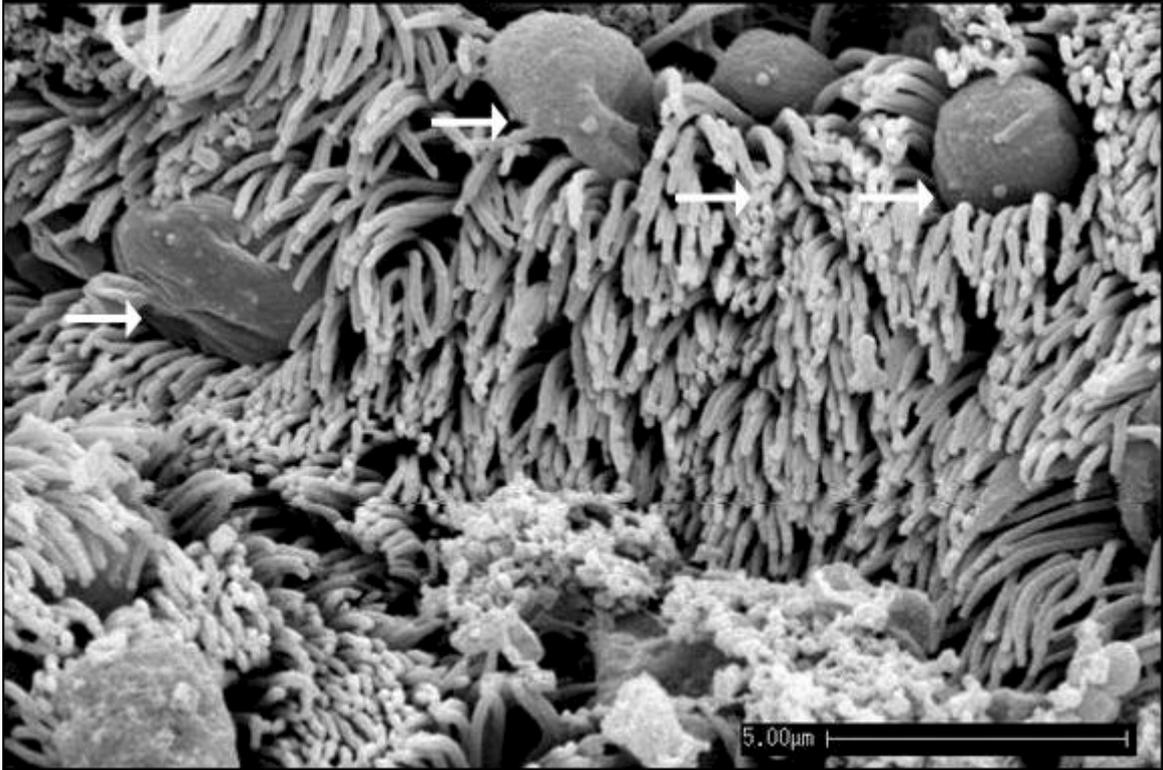


Figura 16. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis*, obsérvese las evaginaciones citoplasmáticas (microscopía electrónica de barrido).



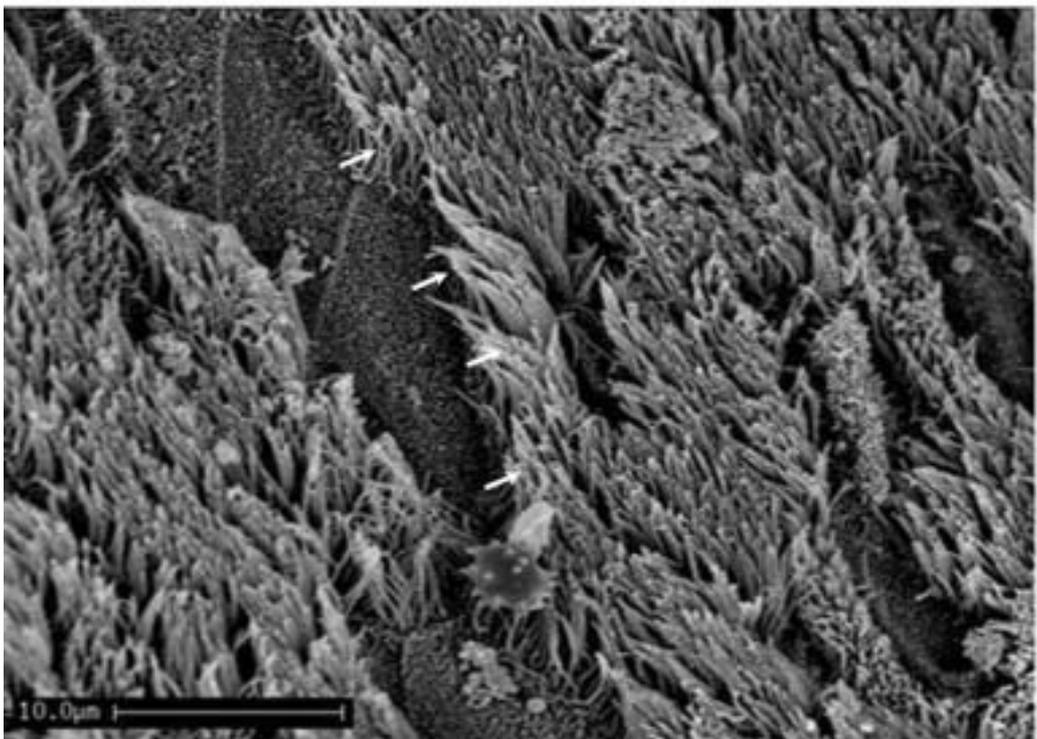
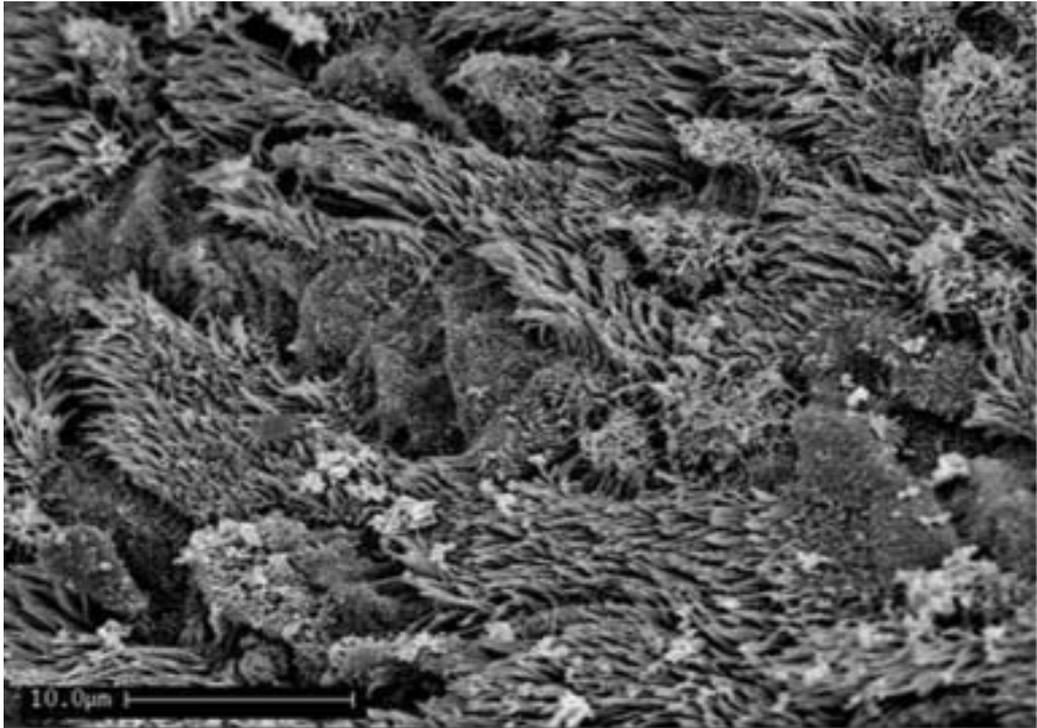


Figura 17. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis*. Obsérvese la disposición celular alargada en el sentido del flujo aéreo (microscopía electrónica de barrido).

3.4.2.3 Análisis Ultraestructural.

Se analizaron 47 ejemplares del Ajusco y 30 del Desierto. El 43,8 % de los ejemplares del Ajusco y el 36,4 % de los del Desierto presentaron cilios con orientación anómala, sin llegar a 10 cilios por 500 cilios cuantificados.

En las observaciones ultraestructurales (microscopía electrónica de transmisión) se detectan dilataciones vesiculares epiteliales y ciliares, cilios duplicados, cilios supernumerarios, dilatación del citoplasma del cilio (tabla 10; figuras 18 y 19); y desorganización en la ultraestructura del cilio, manifestada por la pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulos con aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina y pérdida de contactos entre los brazos de dineína con una matriz electrodensa independiente del grosor del corte. La prueba de χ^2 no reveló diferencias significativas entre las localidades y épocas de captura en ninguna de las alteraciones detectadas.

Tabla 10. Porcentajes de organismos con algún tipo de alteración ciliar en el epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* en los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D) por temporada del año (lluvias, seca y anual)

ÉPOCA	n		DILATAIONES VESICULARES &		CILIOS COMPUESTOS			%	DILATACIÓN DEL CITOPLASMA CILIAR %		DESORG. **		TOTAL %	
	A	D	A	D	A	MÁXIMO*	D	MÁXIMO*	A	D	A	D	A	D
LLUVIAS	26	19	55,32	40,43	73,08	9	63,16	9	23,08	21,05	53,85	73,68	100	100
SECA	21	11	44,68	23,40	66,67	9	54,55	9	14,29	45,45	61,90	54,55	100	100
ANUAL	47	30	100,00	63,83	70,21	9	60,00	9	19,15	30,00	57,45	66,67	100	100

* Número máximo de cilios observados envueltos en una sola membrana plasmática

** Pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulos, que presentan una aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina y la pérdida de contactos entre los brazos de dineína con una matriz electrodensa,

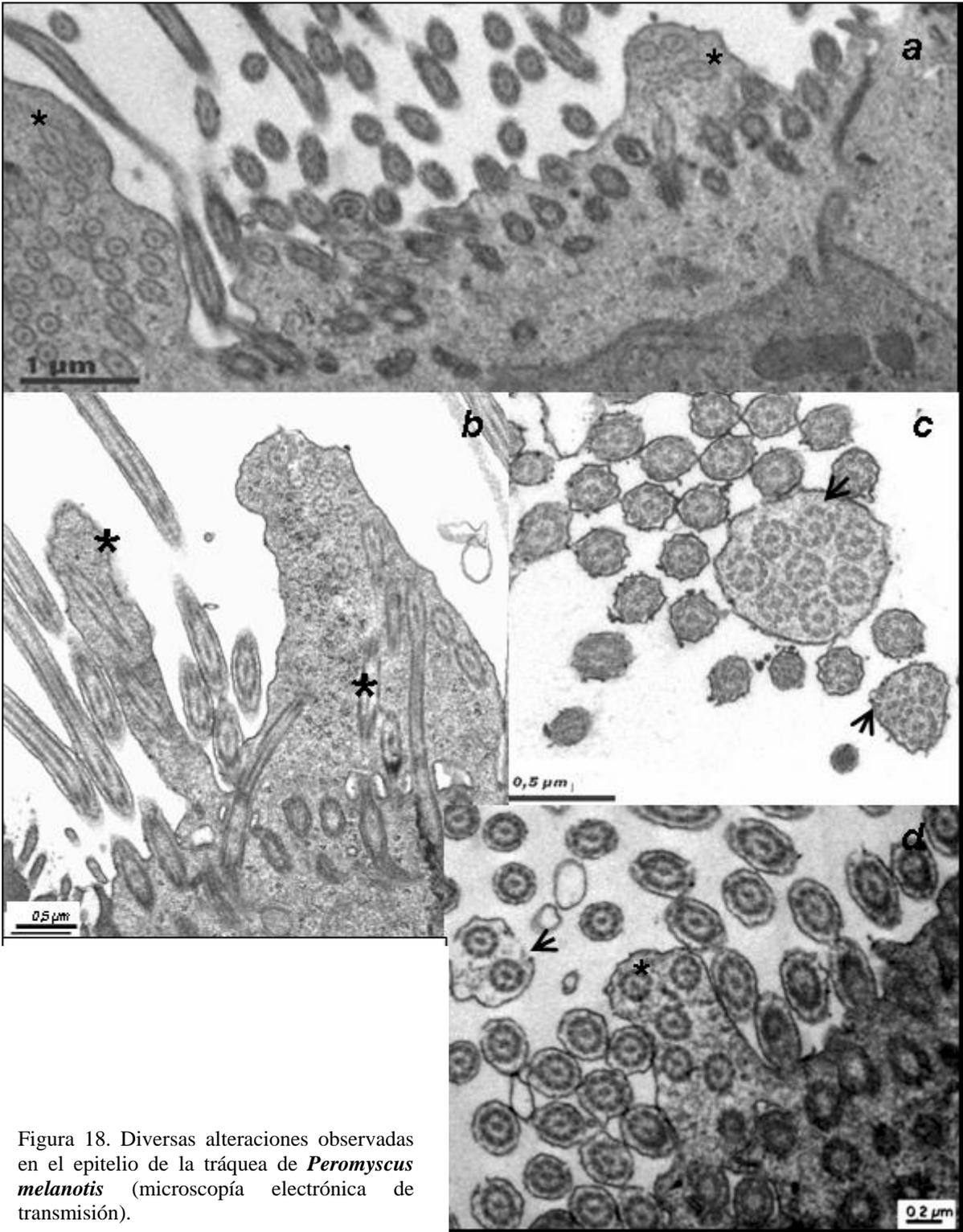


Figura 18. Diversas alteraciones observadas en el epitelio de la tráquea de *Peromyscus melanotis* (microscopía electrónica de transmisión).

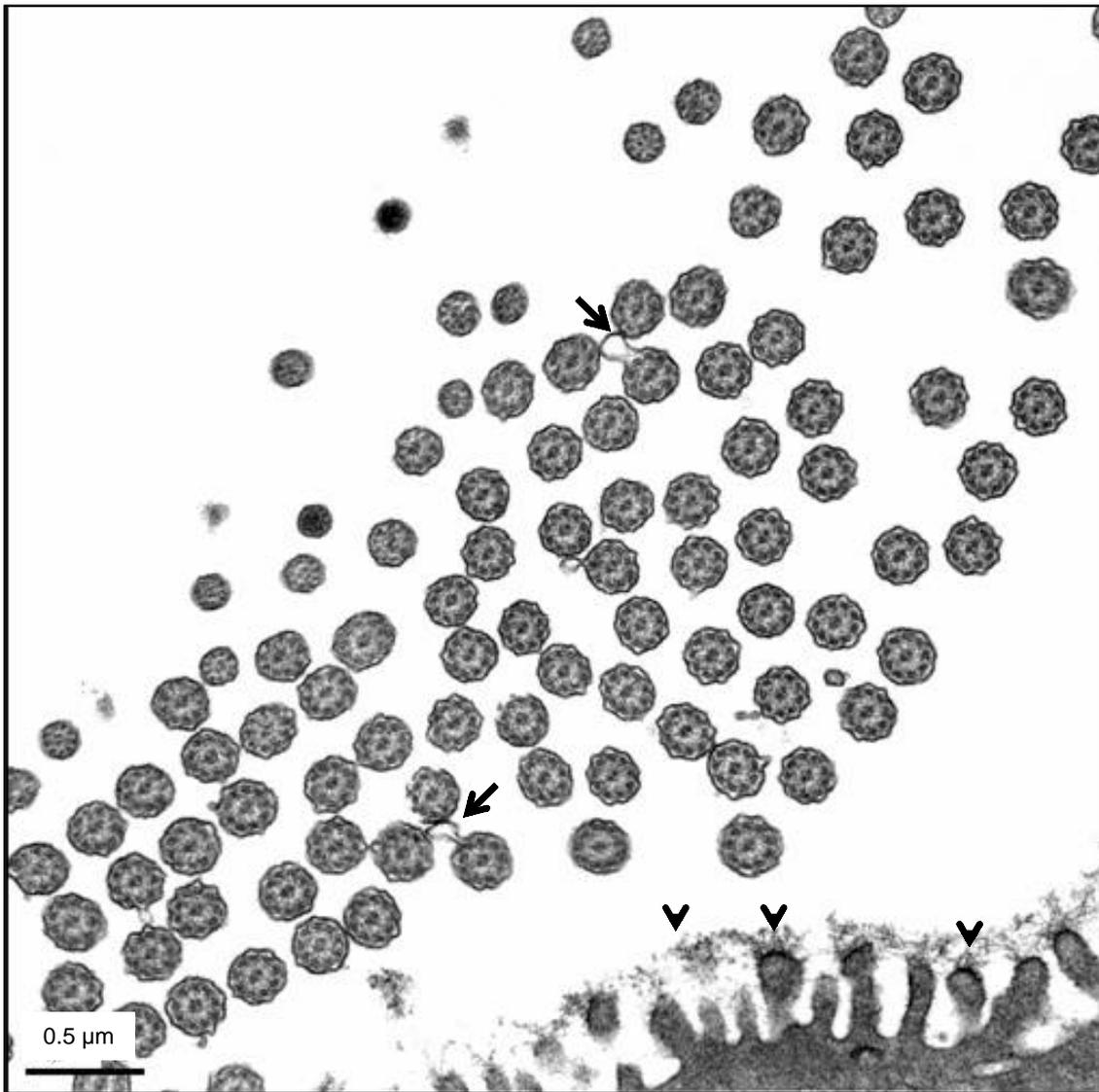


Figura 19. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* obsérvese la orientación normal de los cilios con algunas dilataciones vesiculares (flechas) así como el glicocálix surcado por numerosos microvilli (puntas de flecha) (microscopía electrónico de transmisión).

Entre las alteraciones observadas en los cilios se encontraban zonas del epitelio con procesos de exfoliación celular (figura 20a), dilataciones de la de la membrana plasmática (figura 20b), actividad celular, reflejado en la presencia de células con núcleo lobulado e interdigitaciones plasmáticas, indicios de ciliogénesis en progreso. Además se observan microvilli con glicocáliz laxo, gránulos electrodensos, vacuolización citoplasmática de células ciliadas, alteraciones mitocondriales y fragilidad celular (figuras 21, 22 y 23). La prueba de X^2 no mostró diferencias relacionadas con la zona de colecta y época de estudio (tabla 11).

Tabla 11. Alteraciones observadas en el en el epitelio de la tráquea de *Peromyscus melanotis* . Datos expresados en porcentajes.

ÉPOCA	n		Gránulos electrodensos *		ACTIVIDAD CELULAR **		Alteraciones mitocondriales ***		GLICOCÁLIZ ****		FRAGILIDAD CELULAR *****		Vacuolas %	
			%		%		%		%		%		%	
			A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
LLUVIAS	25	19	56,00	55,56	32,00	52,63	32,00	21,05	60,00	47,37	36,00	26,32	60,00	47,37
SECAS	21	11	28,57	36,36	57,14	36,36	33,33	27,27	71,43	54,55	42,86	36,36	71,43	54,55
TOTAL	46	30	43,48	46,67	43,48	46,67	32,61	23,33	65,22	50,00	39,13	50,00	65,22	50,00

* Presencia de gránulos electrodensos

** Presencia de interdigitaciones entre células adyacentes con núcleo lobulado

*** Presencia de mitocondrias en diversos estadios degenerativos.

**** Presencia de glicocáliz laxo en los microvilli

***** Separación celular de células basales

Observaciones en microscopio electrónico de transmisión

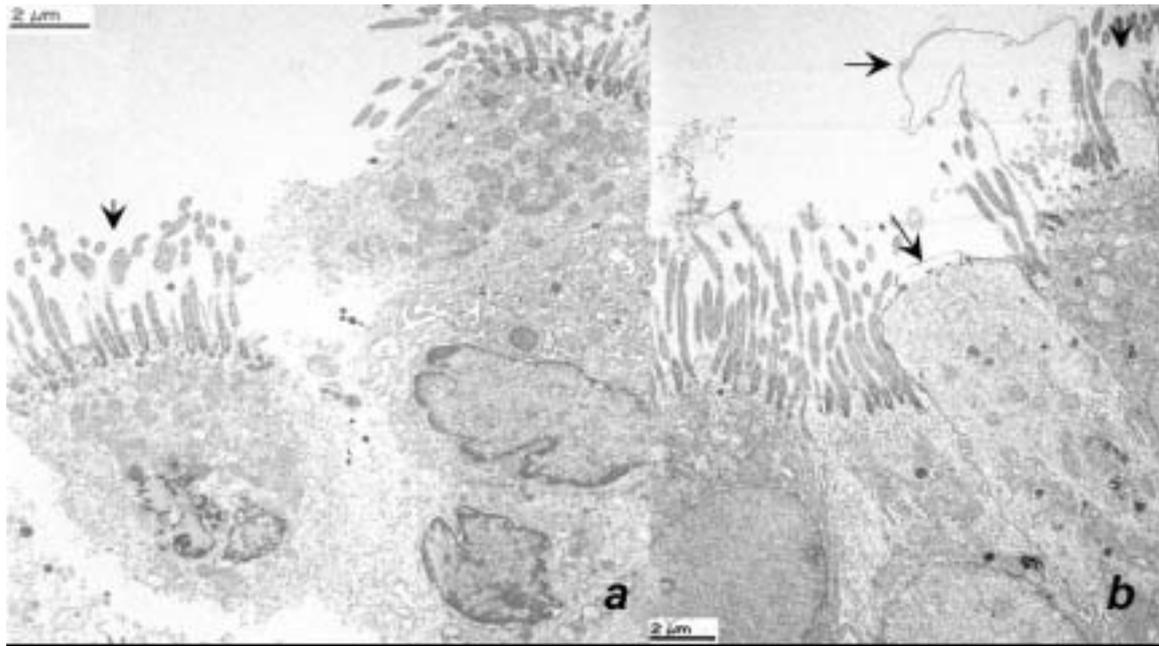
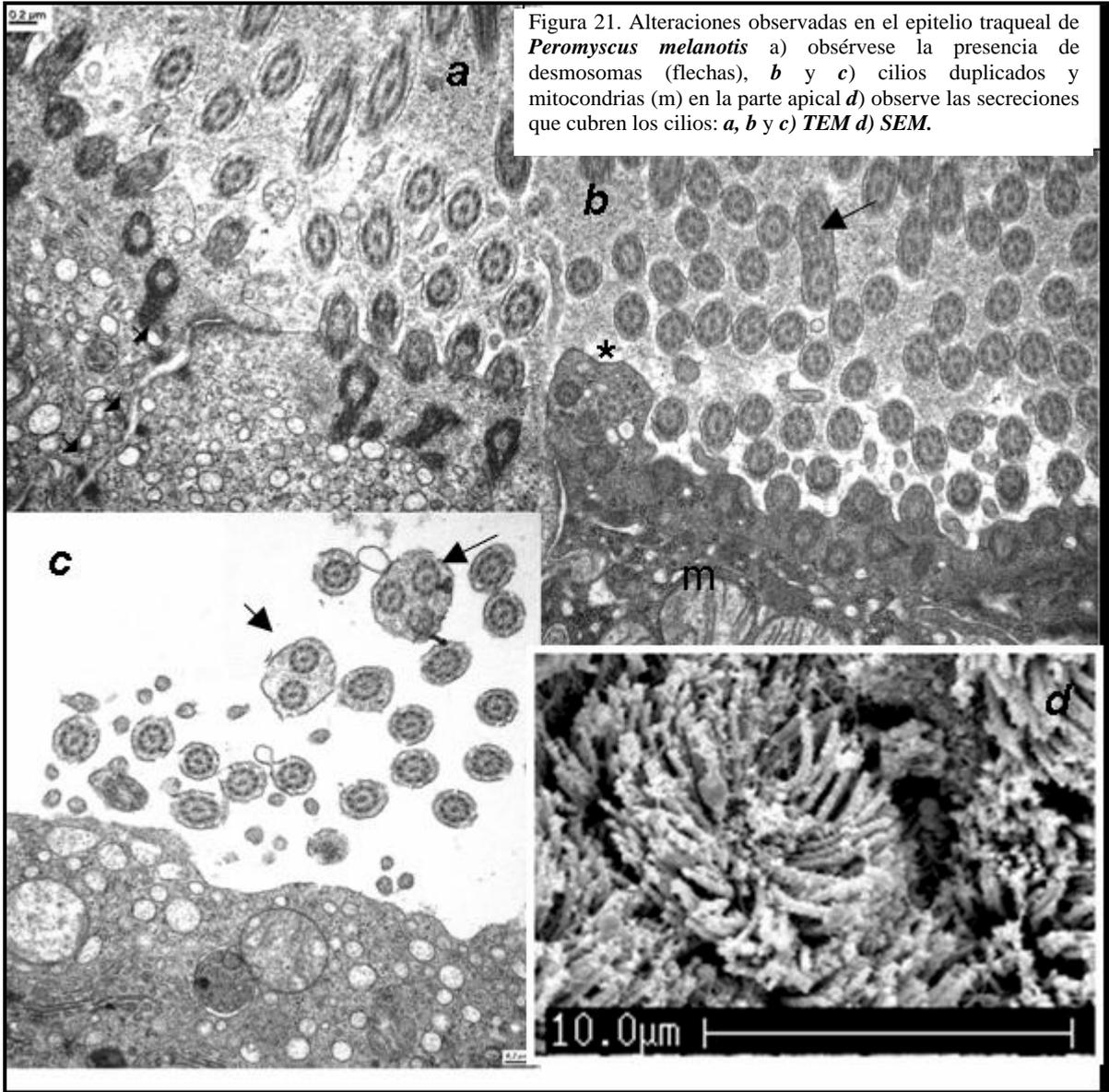


Figura 20. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus melanotis* capturados en el mes de abril en el Ajusco *a*) zona de exfoliación celular; obsérvese la presencia de cilios duplicados *b*) obsérvese las dilataciones de la membrana plasmática (microscopía electrónica de transmisión).



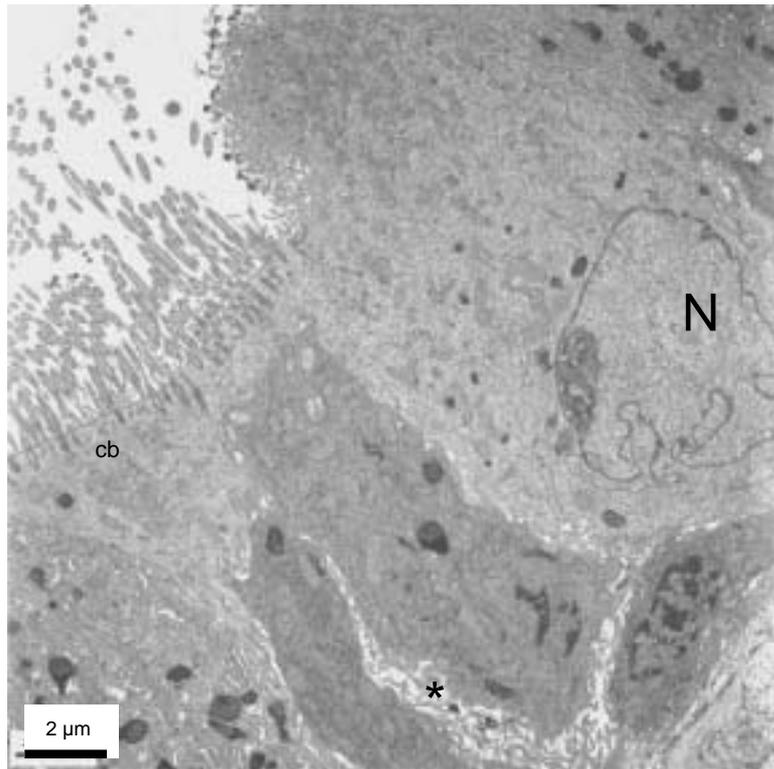


Figura 22. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis*. Nótese la alineación de los cuerpos basales (cb), así como los espacios intercelulares (*), núcleo (N) (microscopía electrónica de transmisión).

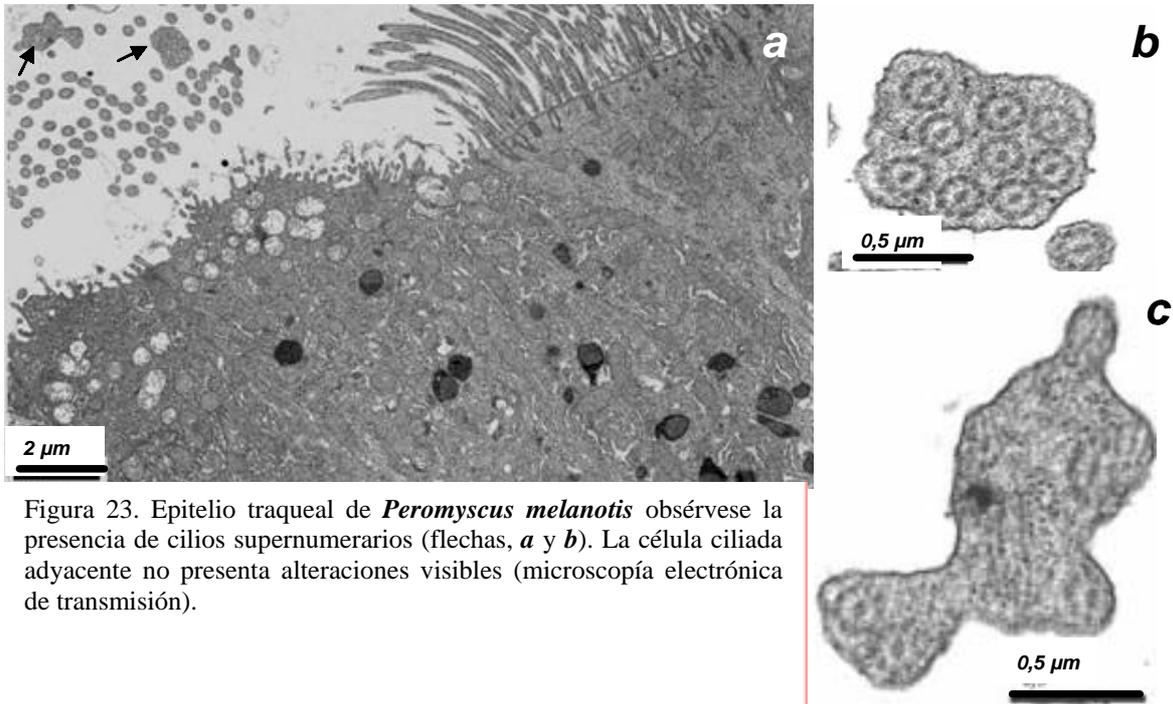


Figura 23. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* obsérvese la presencia de cilios supernumerarios (flechas, *a* y *b*). La célula ciliada adyacente no presenta alteraciones visibles (microscopía electrónica de transmisión).

Además se observa desorganización en la estructura del cilio, manifestada por la pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulo, alteraciones en los brazos de dineina las cuales sugieren trastornos en el proceso de organización de la tubulina (figuras 24, 25 y 26) acompañadas por una matriz electrodensa.

La posible alteración en el proceso de formación de la tubulina se observa, especialmente en las muestras capturadas en el Desierto durante la temporada seca, aunque en este caso es necesario realizar un estudio más detallado para concluir si existen diferencias entre zonas y épocas.

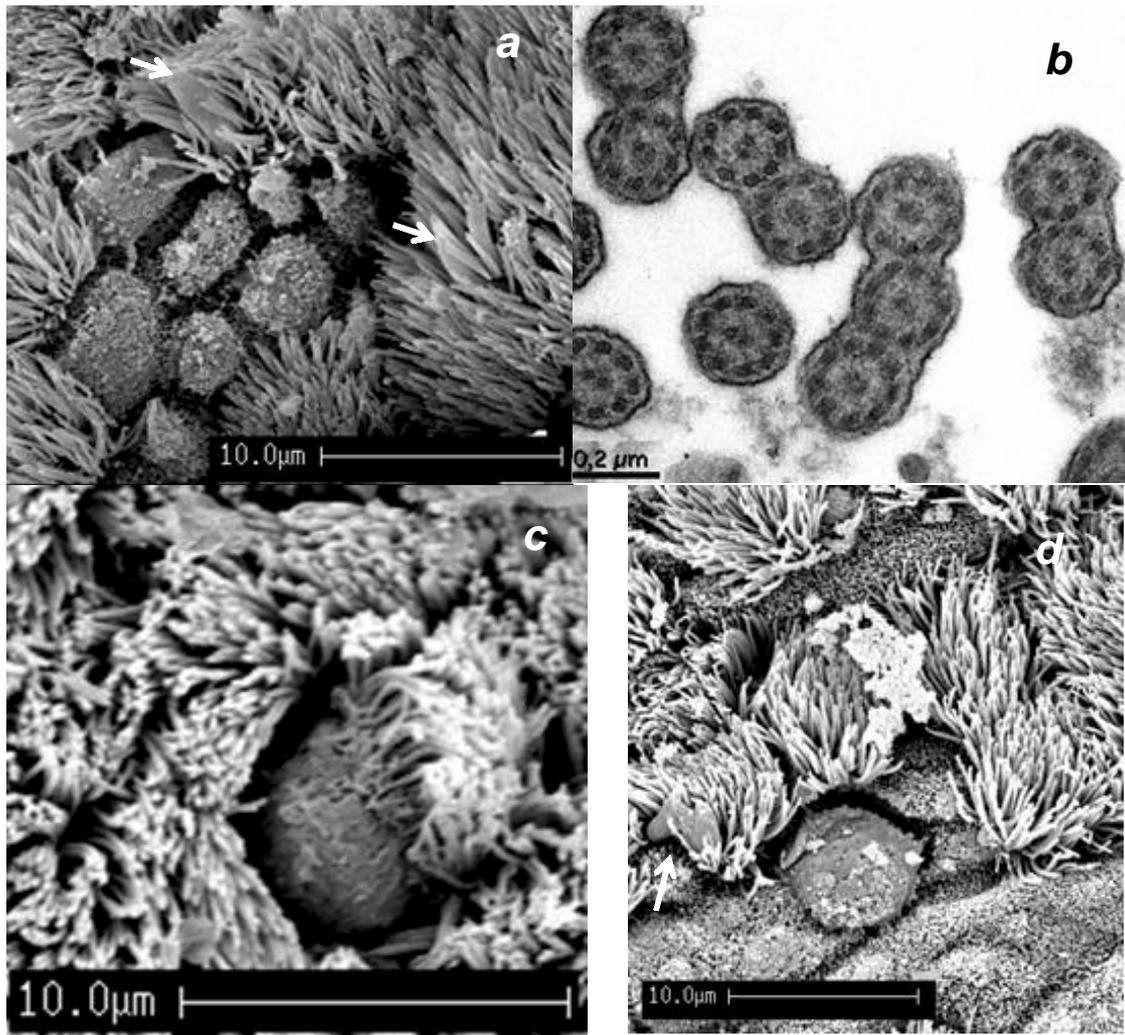


Figura 24. Alteraciones observadas en el epitelio de la tráquea de *P. melanotis*: *a*) cilios compuestos (flechas), obsérvese las uniones intercelulares de las células no ciliadas, *b*) cilios compuestos, *c*) exfoliación de una célula ciliada y *d*) proceso de exfoliación de célula no ciliada y un cilio compuesto (flecha) (*a*, *c* y *d* microscopía electrónica de barrido; *b* microscopía electrónica de transmisión).

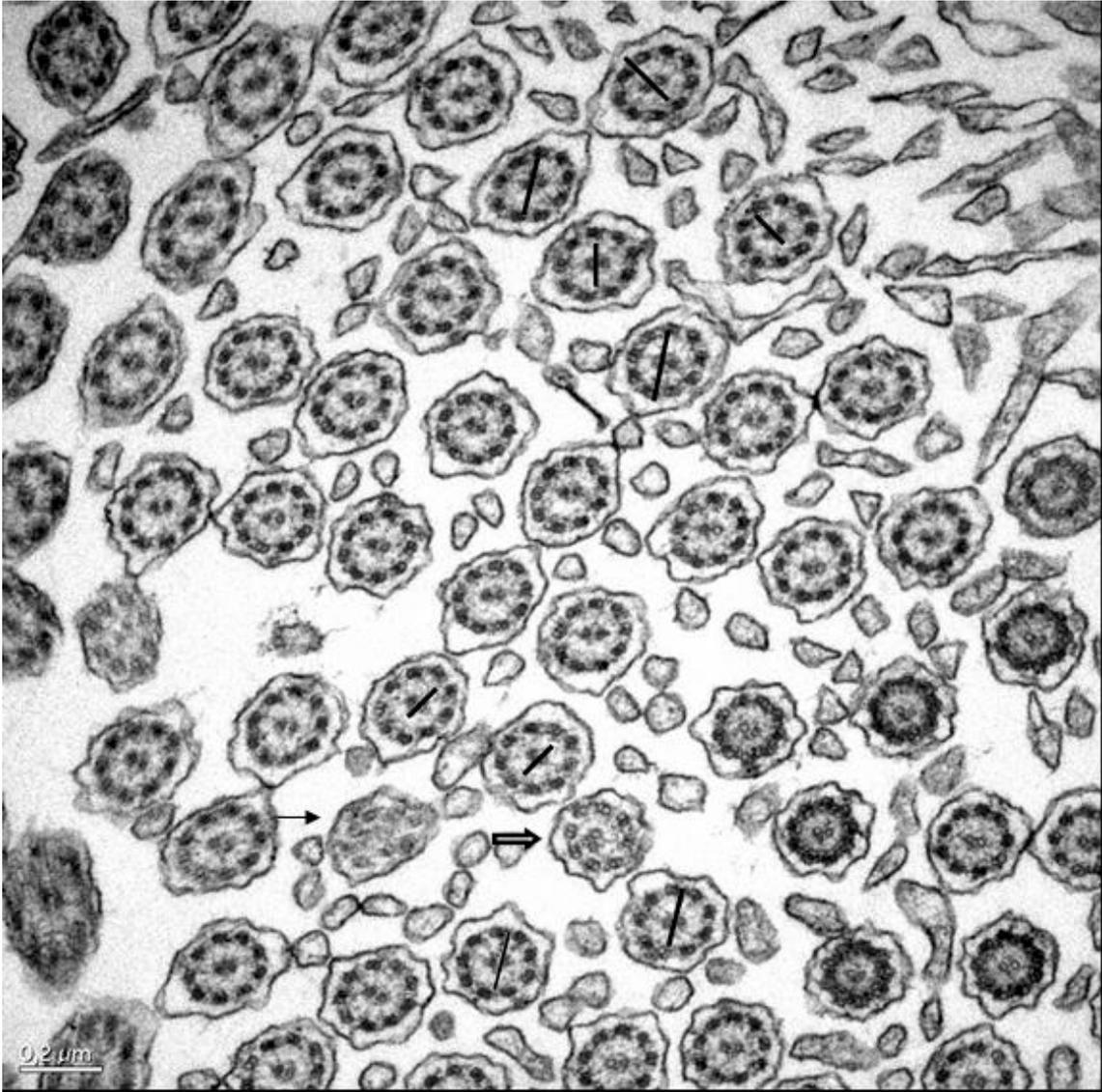


Figura 25. Sección transversal de cilios y microvilli de una célula vibrátil del epitelio traqueal. Obsérvese la presencia material electrodensó en la mayoría de los microtúbulos, un cilio manifestando desorganización (→), ausencia de un par de microtúbulos (⇨) con orientación anómala (microscopía electrónica de transmisión).

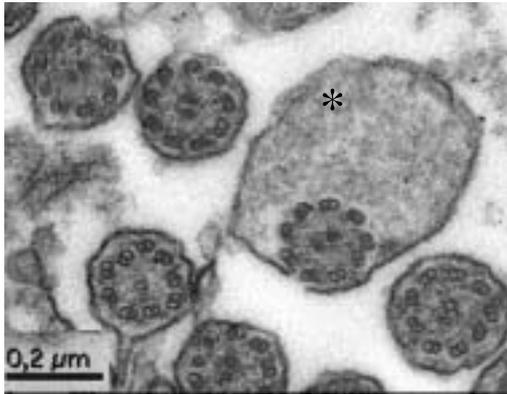


Figura 26. Sección transversal de cilios obsérvese el grado de dilatación del citoplasma ciliar (*) así como la ausencia de los brazos de dineina (microscopio electrónico de transmisión).

En lo que se refiere a los gránulos electrodensos es pertinente hacer una distinción entre los que corresponden a células secretoras bien sea del tipo seroso, mucoso o células clara o intermedias y del tipo que parecen formar parte de procesos de fagocitosis, en este caso aun cuando en ocasiones es posible hacer las distinciones es necesario confirmar mediante tinciones específicas el origen o presencia de material particulado, virus o bacterias (figura 27).

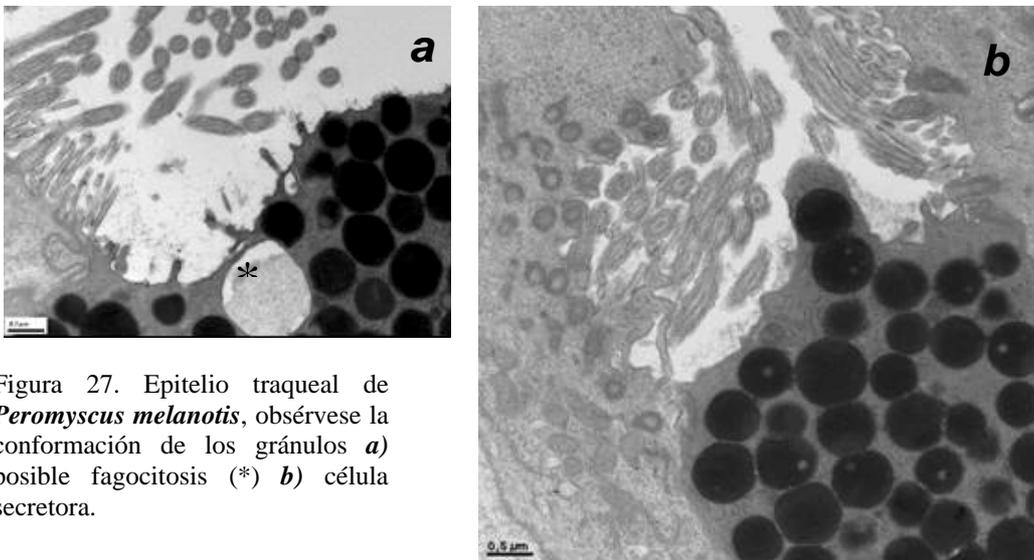


Figura 27. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis*, obsérvese la conformación de los gránulos **a**) posible fagocitosis (*) **b**) célula secretora.

La presencia de material granular en los espacios intercelulares no fue una característica de las muestras analizadas, apreciándose en algunos casos asociado a la fragilidad de células basales (figura 28).

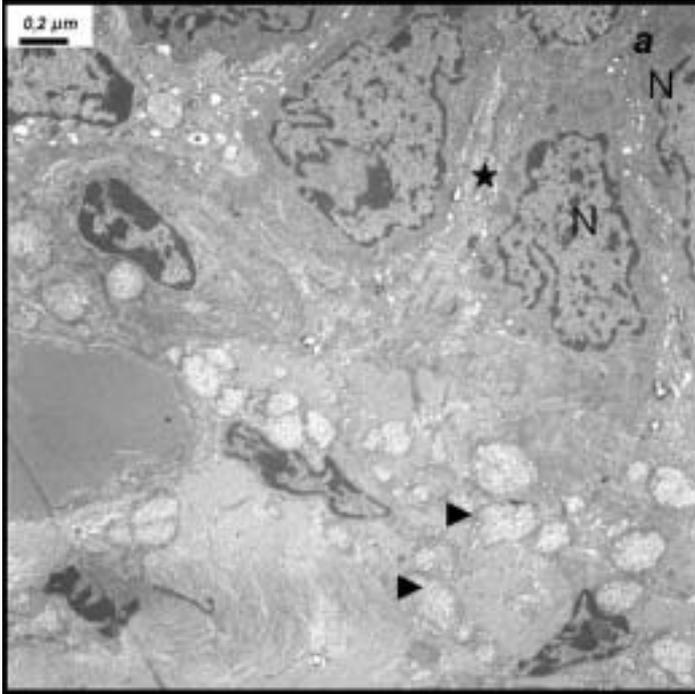


Figura 28. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus melanotis*, obsérvese la presencia de material granular ocupando los espacios intercelulares (*), glisección con material flocular (punta de flecha), núcleo lobulado (N) (microscopía electrónica de transmisión).

3.4.3 *Peromyscus difficilis*.

3.4.3.1 Características generales.

Se analizaron 26 muestras de tráquea de ejemplares procedentes del Ajusco y 68 organismos del Desierto. Al realizar la comparación estadística (X^2) en el espacio (zona de estudio) y el tiempo (época del año) con respecto a las frecuencias observadas de las alteraciones en el epitelio traqueal (presencia de mucus, desorden celular y gránulos de secreción) solamente se encontraron diferencias significativas entre las temporadas del año en el Desierto en relación con la disposición celular desordenada. Pero no se obtuvieron este tipo de diferencias entre los dos parques nacionales durante la época de lluvias y seca y entre las temporadas en el Ajusco, aunque en el Desierto en la época seca se tiene un mayor porcentaje de individuos con mucus en el lumen de la tráquea (figura 29, 30 y 31); esto se debió al bajo éxito de capturas obtenido en el Ajusco en la temporada de lluvias.

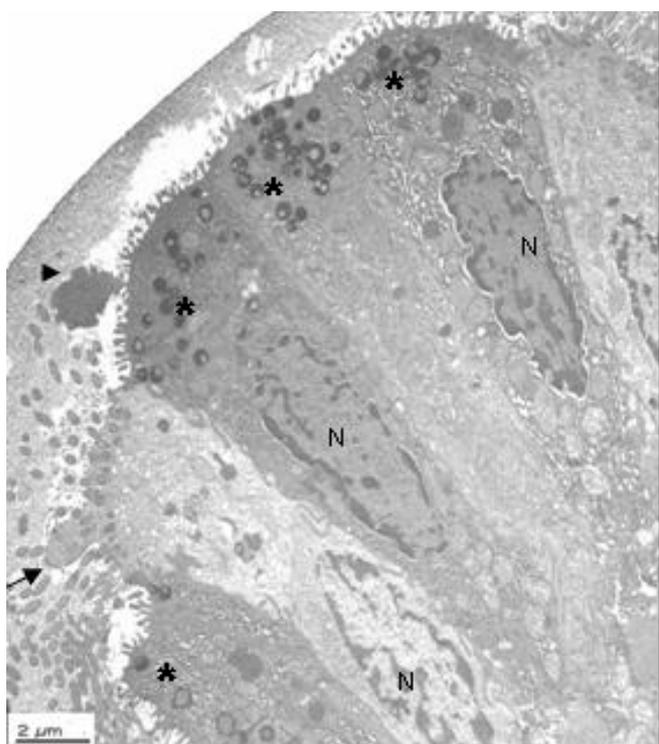


Figura 29. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* obsérvese la capa de mucus que cubre parte de los cilios, nótese la zona de expulsión (punta de flecha) y la presencia de una distensión citoplasmática (flecha), y gránulos electrodenso, de diferente aspecto localizados en la zona apical de las células (*), núcleo (N) (microscopía electrónica de transmisión).

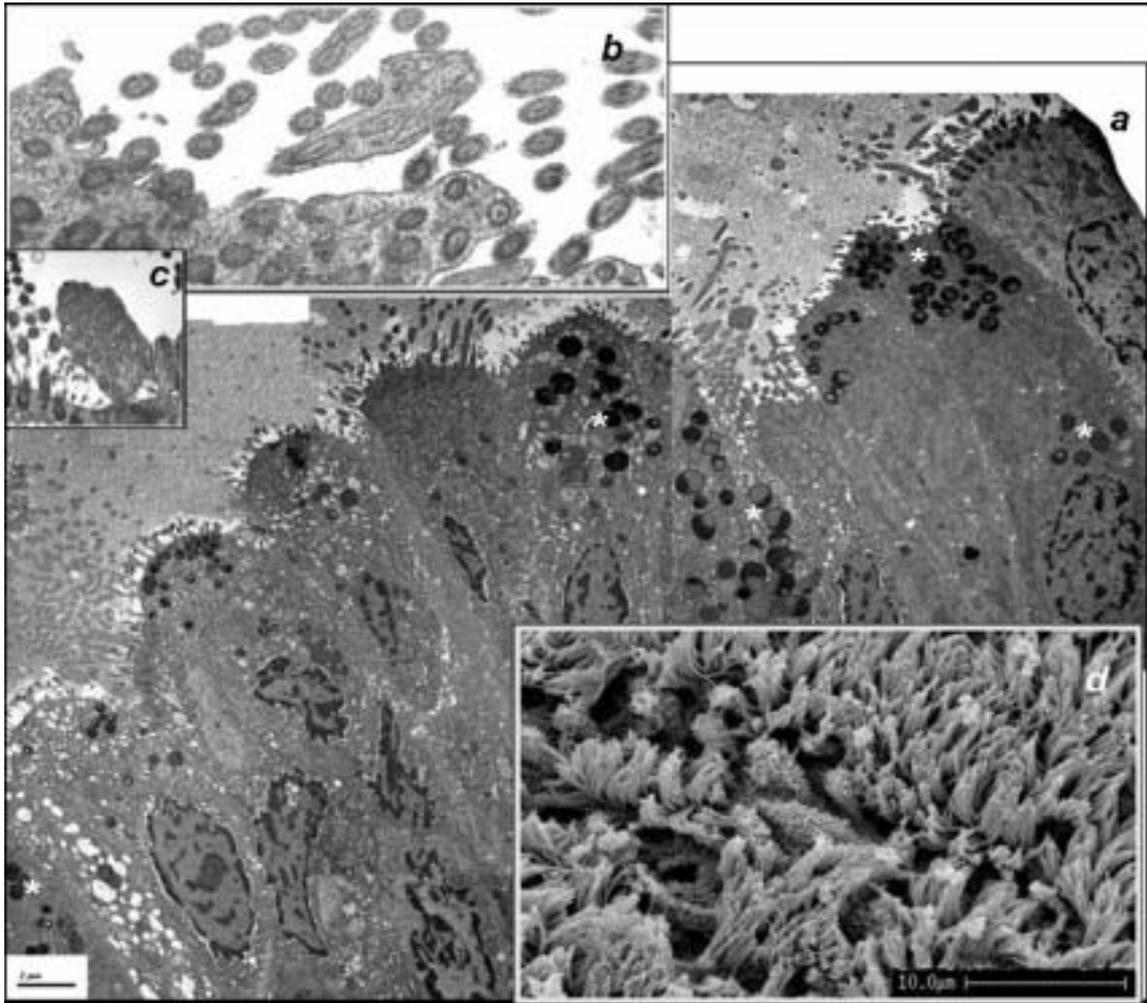


Figura 30. Fotomontaje del epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis*, *a*) obsérvese la capa de mucus que lo recubre, la presencia de gránulos electrodensos con diferente configuración (*), la escasa presencia de cilios; *b* y *c*) alteraciones ciliares observadas en el sitio de acumulación de mucus (microscopía electrónica de transmisión en corte grueso); *d*) nótese los cilios adheridos en las puntas con restos de mucus (flechas) (microscopía electrónica de barrido).

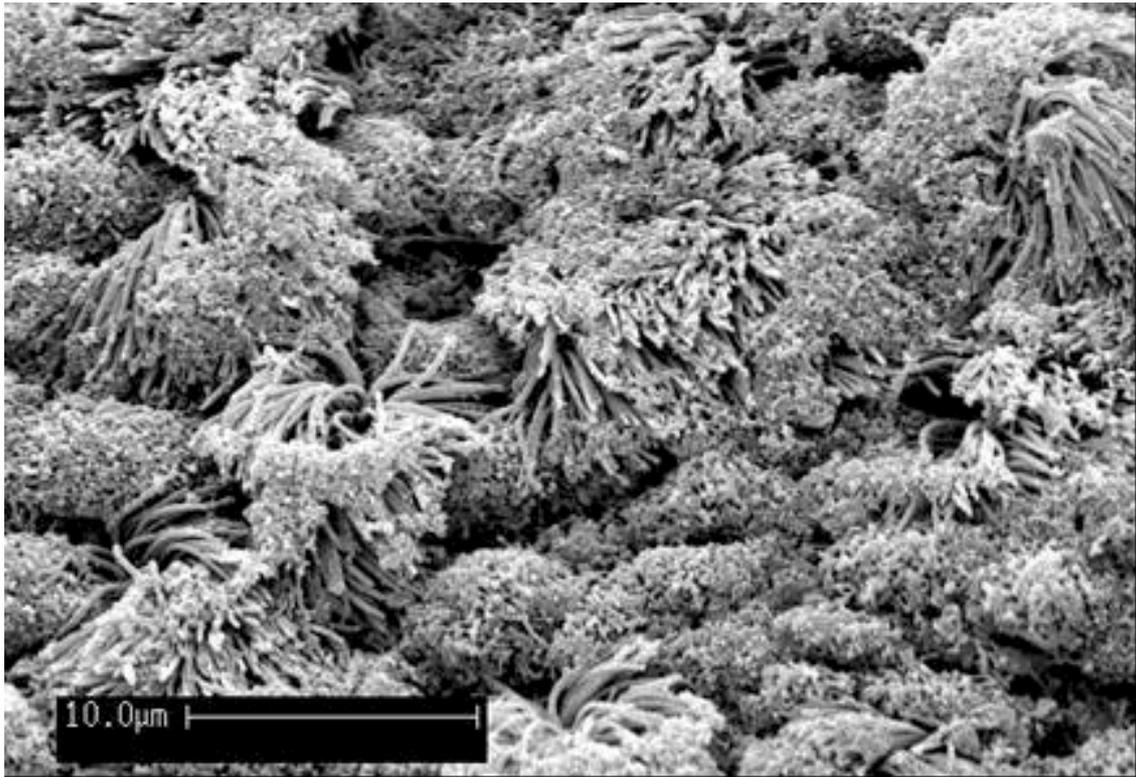


Figura 31. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* capturado en el Desierto en la época seca, obsérvese el aspecto de las secreciones que cubren el epitelio (microscopía electrónica de barrido).

Tabla 12. Frecuencias observadas (%) de las características encontradas el epitelio traqueal de *Peromyscus difficilis* en los dos parques nacionales por época del año y la comparación estadística (prueba de χ^2)

ZONA	ÉPOCA	n	MUCUS		DESORDEN CELULAR	GRÁNULOS DE SECRECIÓN (PAS)
			LEVE	MODERADO		
AJUSCO**	LLUVIAS	10	40,00	0,00	40,00	38,90
	SECA	16	70,00	10,00	0,00	90,50
	ANUAL	26	60,00	6,70	17,70	61,50
DESIERTO	LLUVIAS	47	6,40	83,90	44,70	50,00
	SECA	21	81,00	14,30	19,00	62,90
	ANUAL	68	29,40	63,23	33,82	54,41

*** Datos insuficientes

Desierto Seca **Lluvias - Desorden Celular** $\chi^2 = 4,61$ $p = 0,043$

3.4.3.2 Análisis Estructural.

Se analizaron un total de 26 organismos procedentes del Ajusco y 98 individuos del Desierto, las diferencias existentes en el número de ejemplares analizados con el microscopio óptico y microscopio de barrido se deben a que el proceso de extracción de la resina para realizar la técnica de *PAS* no tiene resultados óptimos, quedando en algunos casos el tejido con escasa definición de contraste y no son válidos para el análisis.

Las dos poblaciones de *P. difficilis* en ambas zonas de estudio exhiben en el tiempo (épocas del año) una variación muy similar entre zonas mostrando una reducción en el porcentaje de área cubierto por células ciliadas en el epitelio de la tráquea. En la temporada de lluvias existe una reducción de este porcentaje, observándose lo siguiente: el valor mínimo en septiembre y octubre, se incrementa en los meses subsiguientes para disminuir nuevamente en febrero y aumentar en abril. En los meses que se observa máximos se obtiene la mayor variación intramuestral (tabla 13; figura 32). En todos los meses que se capturaron organismos con escasa presencia de cilios especialmente en el Desierto; no se observaron diferencias significativas entre zona ni entre épocas (tabla 14).

En las muestras se aprecia actividad celular con un epitelio heterogéneo, el cual presenta; zonas con escasa presencia de células ciliadas acompañadas de uniones intercelulares prominentes, con una capa densa de cilios o zonas con disminución en la longitud del cilio y número de cilios por célula y evaginaciones citoplasmáticas. La presencia de al menos una de estas características fue muy similar entre las dos áreas de trabajo (tabla 15).

Además se observa la formación de gránulos de secreción, semejantes a los mencionados por Wang (1990a) como parte de las fases de hiperplasia de células mucosas, acompañados de gránulos en apariencia de diferente origen.

Se encontraron diferencias significativas entre los dos parques nacionales durante la temporada seca en la presencia de evaginaciones citoplasmáticas y en la distribución heterogénea de las células.

Así mismo se encuentran secreciones mucosas que en apariencia son de diferente origen, restos celulares y cilios compuestos (figuras 33, 34 y 35).

Tabla 13. Porcentaje del área ocupado por células ciliadas en el epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* en los dos parques nacionales por época del año, sexo de los organismos y actividad reproductora (Análisis de Imagen IMAT).

ZONA	ÉPOCA	SEXO	ESTADO REPRODUCTOR	N	MEDIA	DESV. TÍP.	MÍNIMO	MÁXIMO
AJUSCO	LLUVIAS n = 10	MACHOS	ACTIVOS	5	37,06	13,87	18,78	55,08
			INACTIVOS	1	52,60		52,60	52,60
			TOTAL	6	39,65	13,93	18,78	55,08
		HEMBRAS	ACTIVAS	4	42,62	11,08	30,33	56,85
			TOTAL	4	42,62	11,08	30,33	56,85
	SECA n = 16	MACHOS	ACTIVOS	5	50,27	10,41	36,03	63,79
			INACTIVOS	4	48,94	23,37	23,18	78,04
			TOTAL	9	49,68	16,11	23,18	78,04
		HEMBRAS	INACTIVAS	7	52,11	12,97	29,73	63,61
			TOTAL	7	52,11	12,97	29,73	63,61
DESIERTO	LLUVIAS n = 64	MACHOS	ACTIVOS	21	47,54	14,76	23,36	76,38
			INACTIVOS	21	46,46	14,06	10,03	64,99
			TOTAL	42	47,00	14,25	10,03	76,38
		HEMBRAS	ACTIVAS	8	45,26	13,38	23,80	67,72
			TOTAL	22	47,98	14,00	21,93	74,18
	SECA n = 34	MACHOS	ACTIVOS	9	44,14	11,89	25,15	56,83
			INACTIVOS	15	48,02	16,14	23,09	72,10
			TOTAL	24	46,57	14,54	23,09	72,10
		HEMBRAS	ACTIVAS	1	9,96		9,96	9,96
			TOTAL	10	41,28	21,33	9,96	71,00

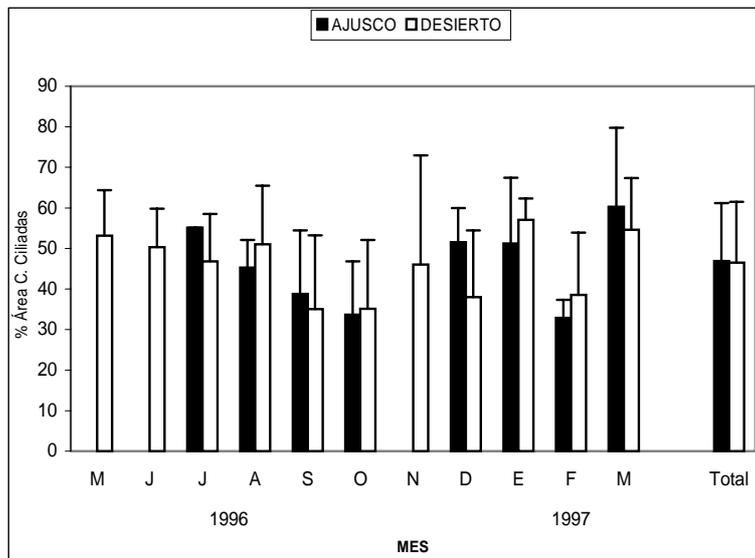


Figura 32. Distribución mensual del porcentaje del área ocupada por células ciliadas en un fragmento del epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* (media \pm ds).

Tabla 14. Análisis univariante del porcentaje del área ocupada por células ciliadas en el epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* en el epitelio de la tráquea obtenido con el programa de análisis de imagen IMAT.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significación
Contraste	2,34	1	2,34	0,03	0,86
Error	9818,19	122	80,48		

Tabla.15. Características estructurales del epitelio de la tráquea (cada alteración en %) de *Peromyscus difficilis* en los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Parque Nacional Desierto de los Leones (D); distribuidos temporalmente (lluvias, secas y

ÉPOCA	ALTERACIÓN	A		D		COMPARACIÓN ENTRE ZONAS			
		Nt	PRESENCIA		Nt	PRESENCIA		x ²	Sig
			n	%		n	%		
LLUVIAS mayo - octubre	Uniones Intercelulares entre Células No Ciliadas	10	7	70,00	64	46	71,88	*	
	Gránulos Característicos de Hiperplasia de Células mucosas		5	50,00		54	84,38		
	Evaginaciones Citoplasmáticas		7	70,00		62	96,88		
	Epitelio Heterogéneo		8	80,00		64	100,00		
	Total		10	100,00		64	100,00		
SECA noviembre - abril	Uniones Intercelulares entre Células No Ciliadas	15	11	73,33	34	25	73,53	0,03	ns
	Gránulos Característicos de Hiperplasia de células mucosas		12	80,00		28	82,35	0,66	ns
	Evaginaciones Citoplasmáticas		1	6,67		6	17,65	64,33	< 0,001
	Epitelio Heterogéneo		10	66,67		12	35,29	53,99	< 0,002
	Total		15	100,00		31	91,18	*	
ANUAL	Uniones Intercelulares entre Células No Ciliadas	25	18	72,00	98	71	72,45	*	
	Gránulos Característicos de Hiperplasia de células mucosas		17	68,00		82	83,67		
	Evaginaciones Citoplasmáticas		8	32,00		68	69,39		
	Epitelio Heterogéneo		18	72,00		76	77,55		
	Total		25	100,00		95	96,94		

DIFERENCIAS ENTRE ÉPOCAS POR ZONA DE COLECTA

* AJUSCO		Datos insuficientes	
Uniones Intercelulares entre células no ciliadas	LLD - SD = $\chi^2 = 0,03$; $p = ns$		
Gránulos Característicos de Hiperplasia de células mucosas	LLD - SD = $\chi^2 = 0,066$; $p = ns$		
Evaginaciones Citoplasmáticas	LLD - SD = $\chi^2 = 64,33$; $p < 0,001$		
Epitelio Heterogéneo	LLD - SD = $\chi^2 = 53,39$; $p < 0,001$		
TOTAL CARAC.	Datos Insuficientes		

LLA = Época de Lluvias del Ajusco

LLD = Época de Lluvias del Desierto

SA = Época Seca Ajusco

SD = Época Seca del desierto

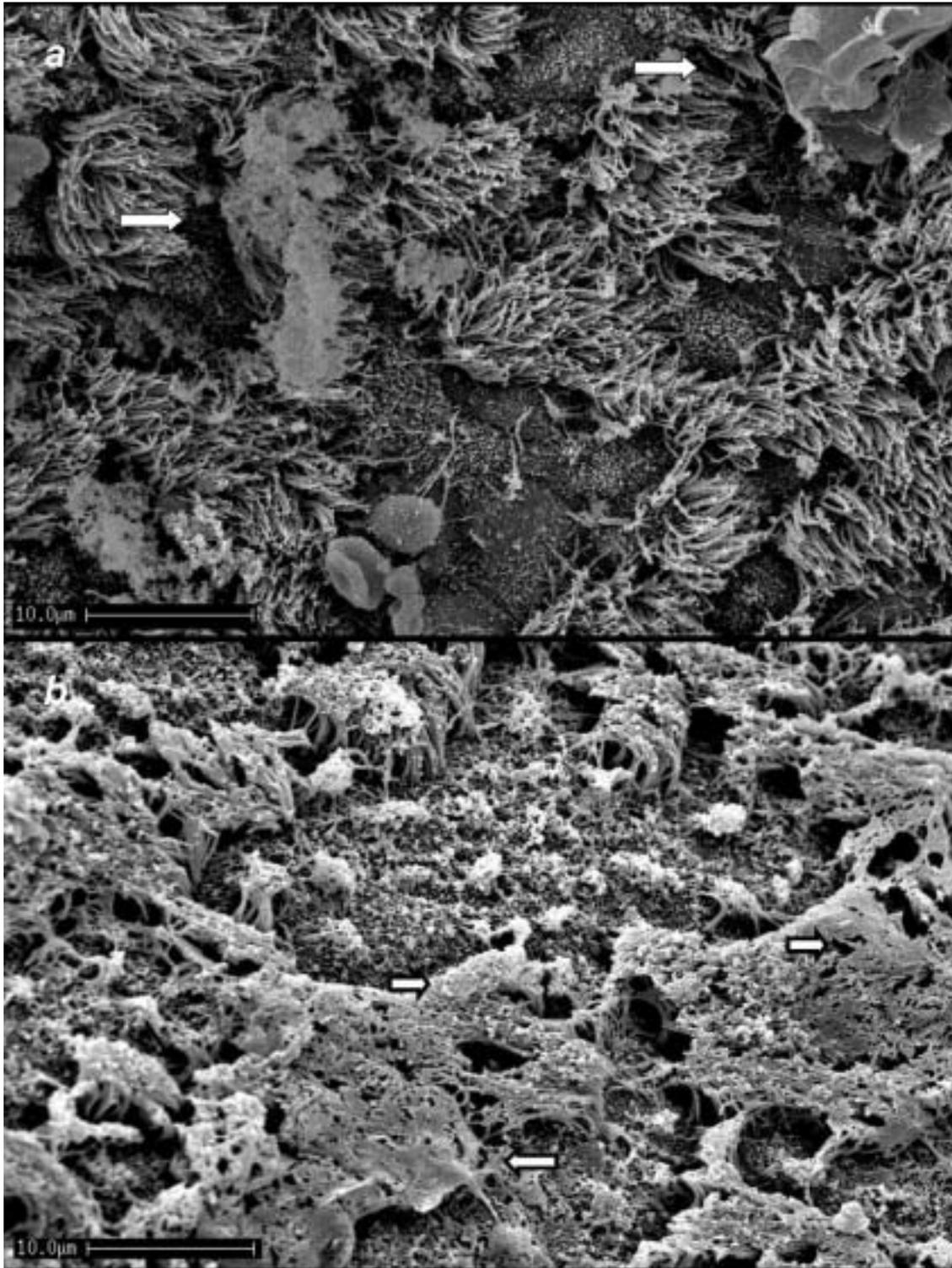


Figura 33. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis*; obsérvese los restos celulares (a) y las secreciones que cubren las células ciliadas (b) (microscopía electrónica de barrido).

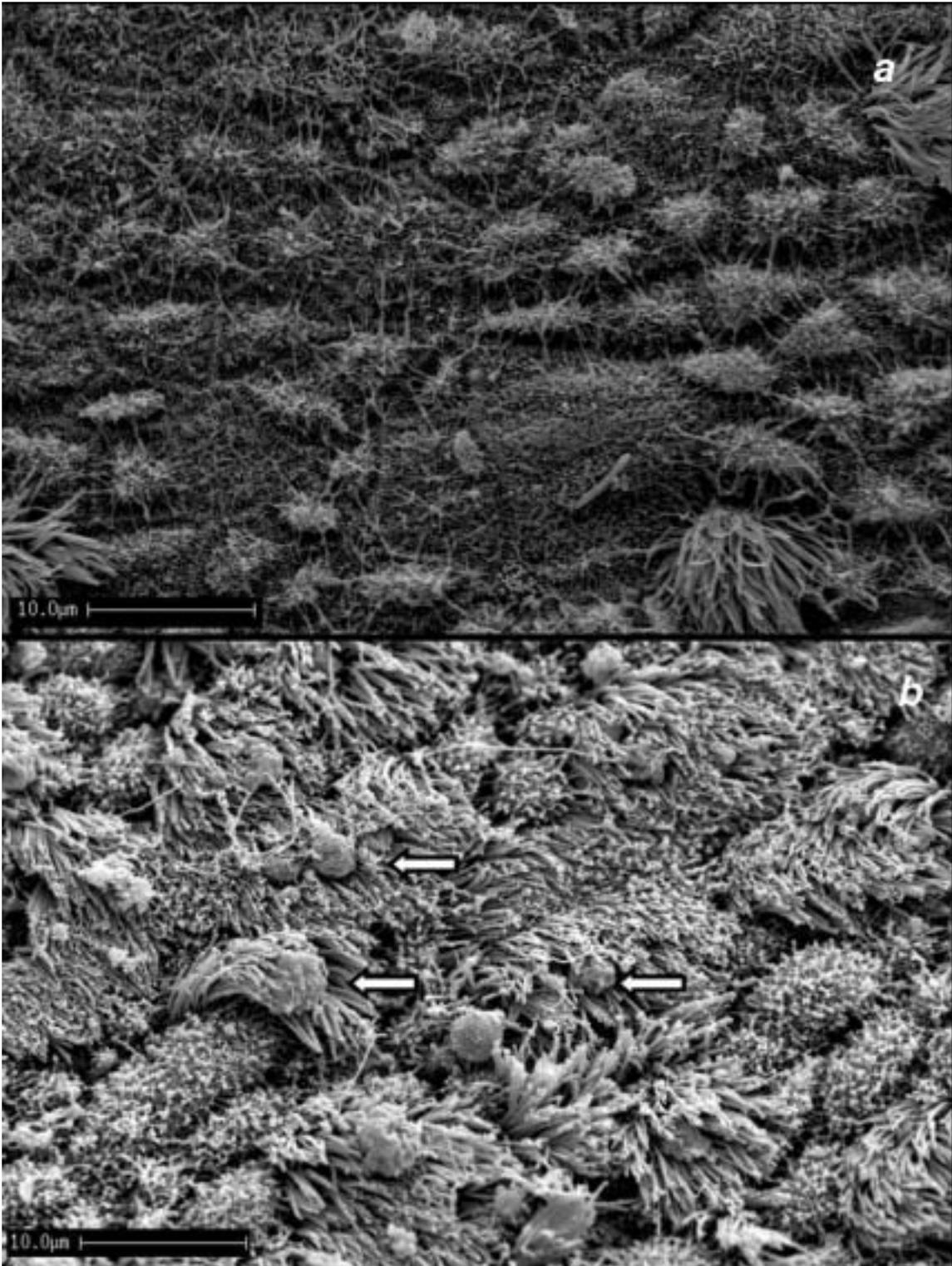


Figura 34. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* *a*) obsérvese la escasa presencia de células ciliadas y el aspecto de las células no ciliadas, *b*) nótese la presencia de gránulos retenidos en los cilios (microscopía electrónica de barrido).

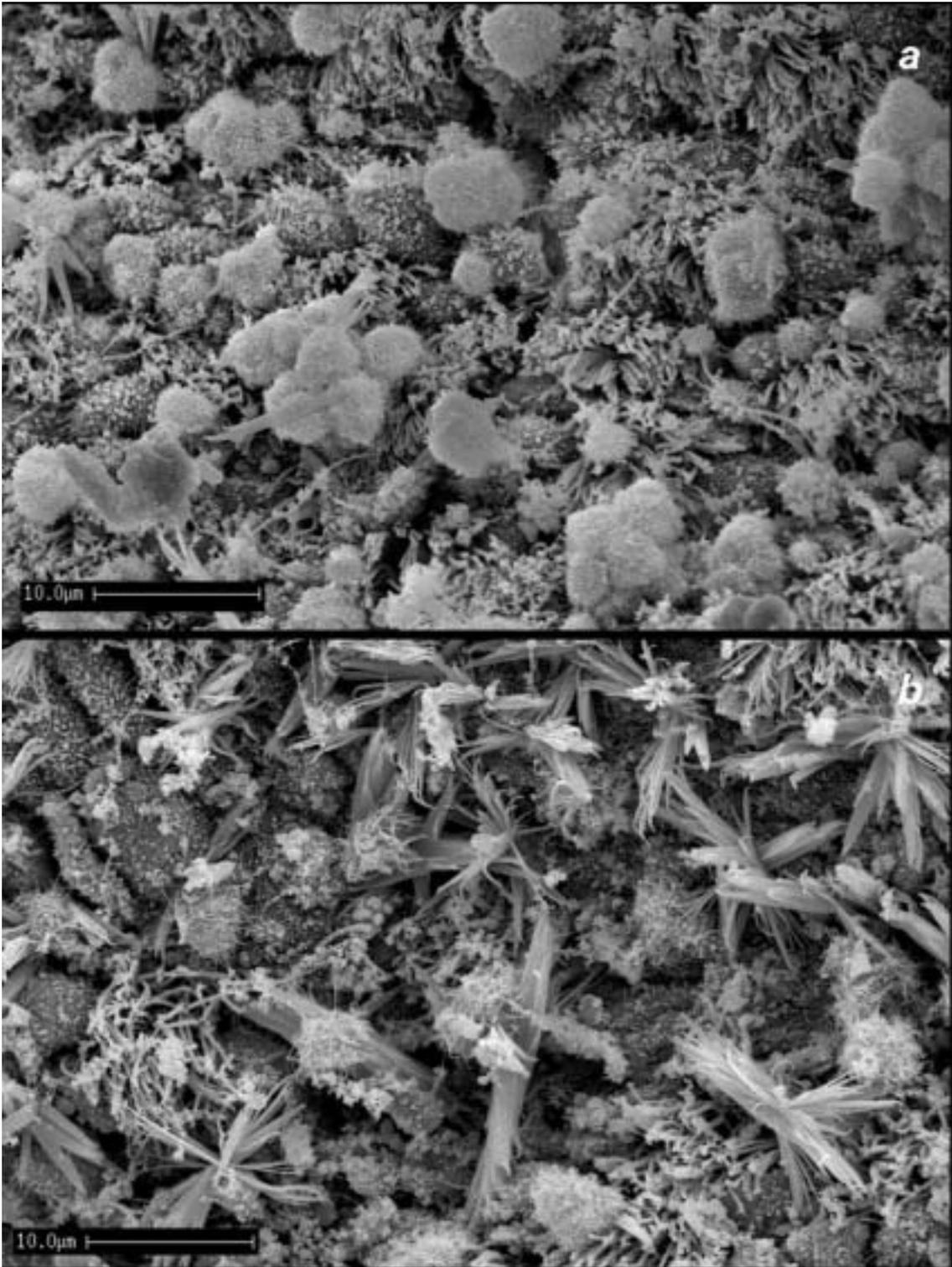


Figura 35. Diversos restos celulares observados en la tráquea de *Peromyscus difficilis* (a – g).

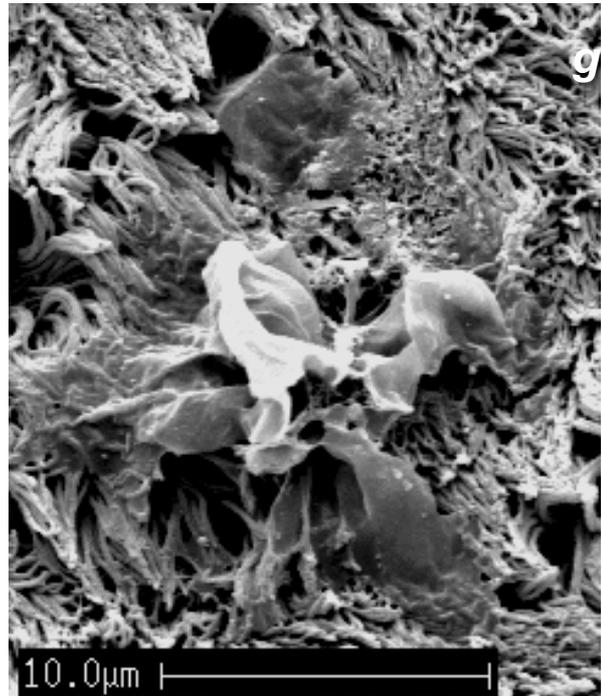
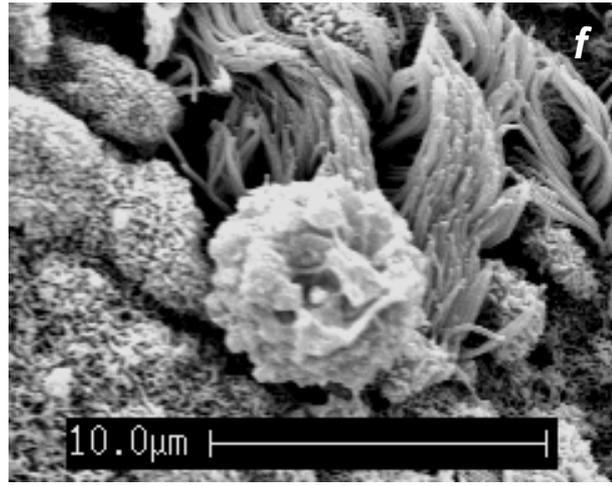
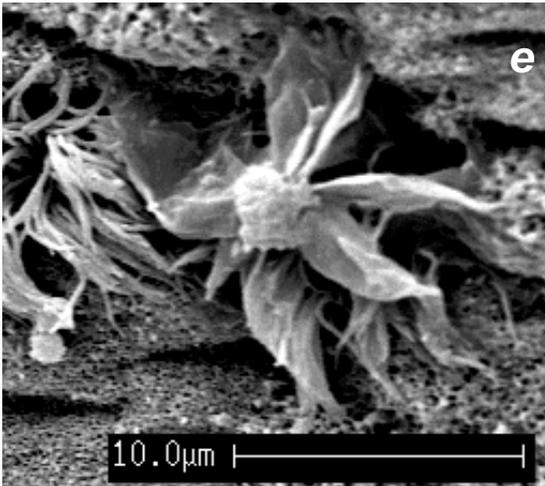
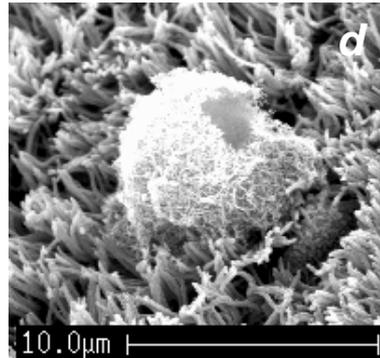
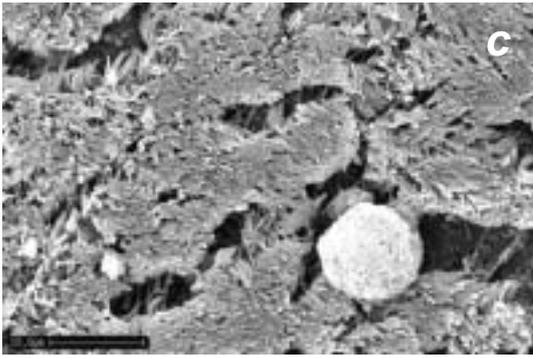


Figura 35cont. Diversos restos celulares observados en la tráquea de *Peromyscus difficilis* (c – g): obsérvese las estructuras en f y g, que parecen corresponder a restos fraccionados de una estructura semejante a la mostrada en e (microscopía electrónica de barrido).

Durante todo el estudio, en el epitelio de la tráquea se observan áreas con diversos grados de alteración y zonas de necrosis celular que al ser analizadas por *TEM* mostraron resultados similares (figura 36 y 37).

En algunos casos se encuentra una alteración total de los cilios especialmente durante la temporada seca (figura 38). Es posible que parte de las alteraciones observadas sean producto del procesamiento de la muestra y al estado inicial del epitelio; la segunda causa está relacionada con una reducción de la humedad ambiental y el incremento de infecciones respiratorias propias de la temporada invernal, este incremento se encuentra coadyuvado por los niveles de contaminación, ocasionando modificaciones en las propiedades reológicas de las secreciones mucosas (figura 39), que ocasionó el apelmazamiento de los cilios observado.

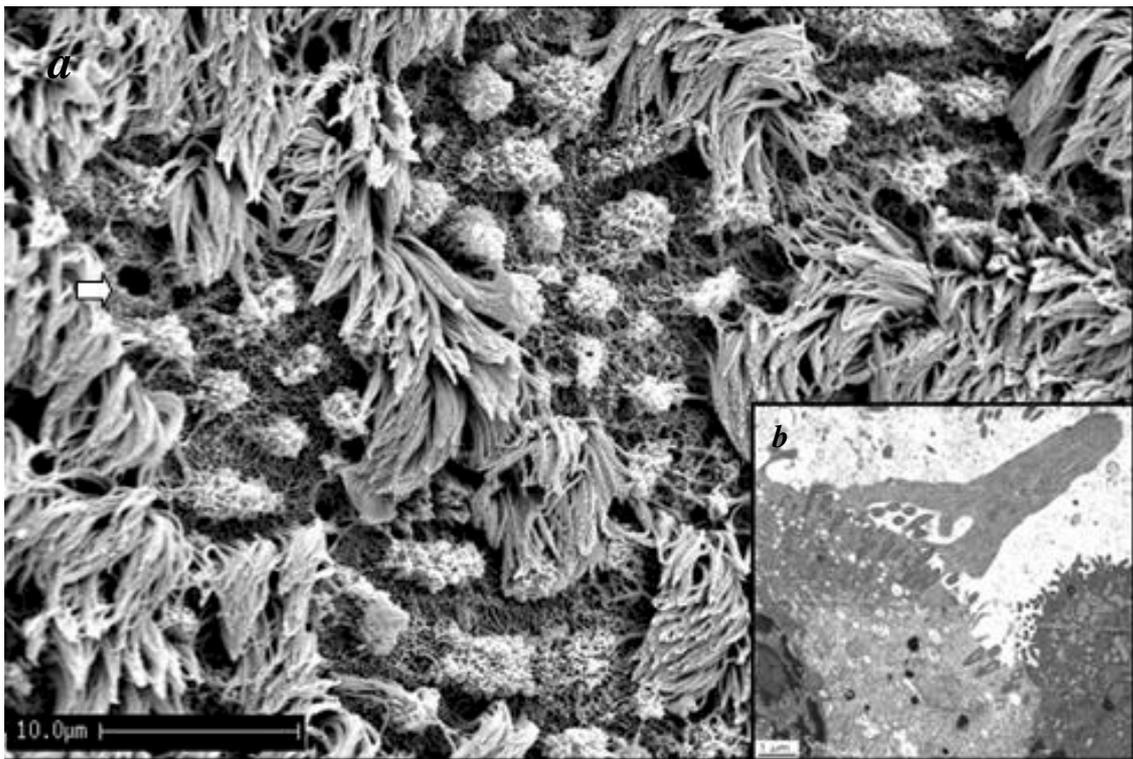


Figura 36. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* del Desierto en el mes de agosto *a*) nótese las secreciones presentes en la células no ciliadas, *b*) agrupamiento ciliar en una zona de necrosis, obsérvese los gránulos electrodensos.

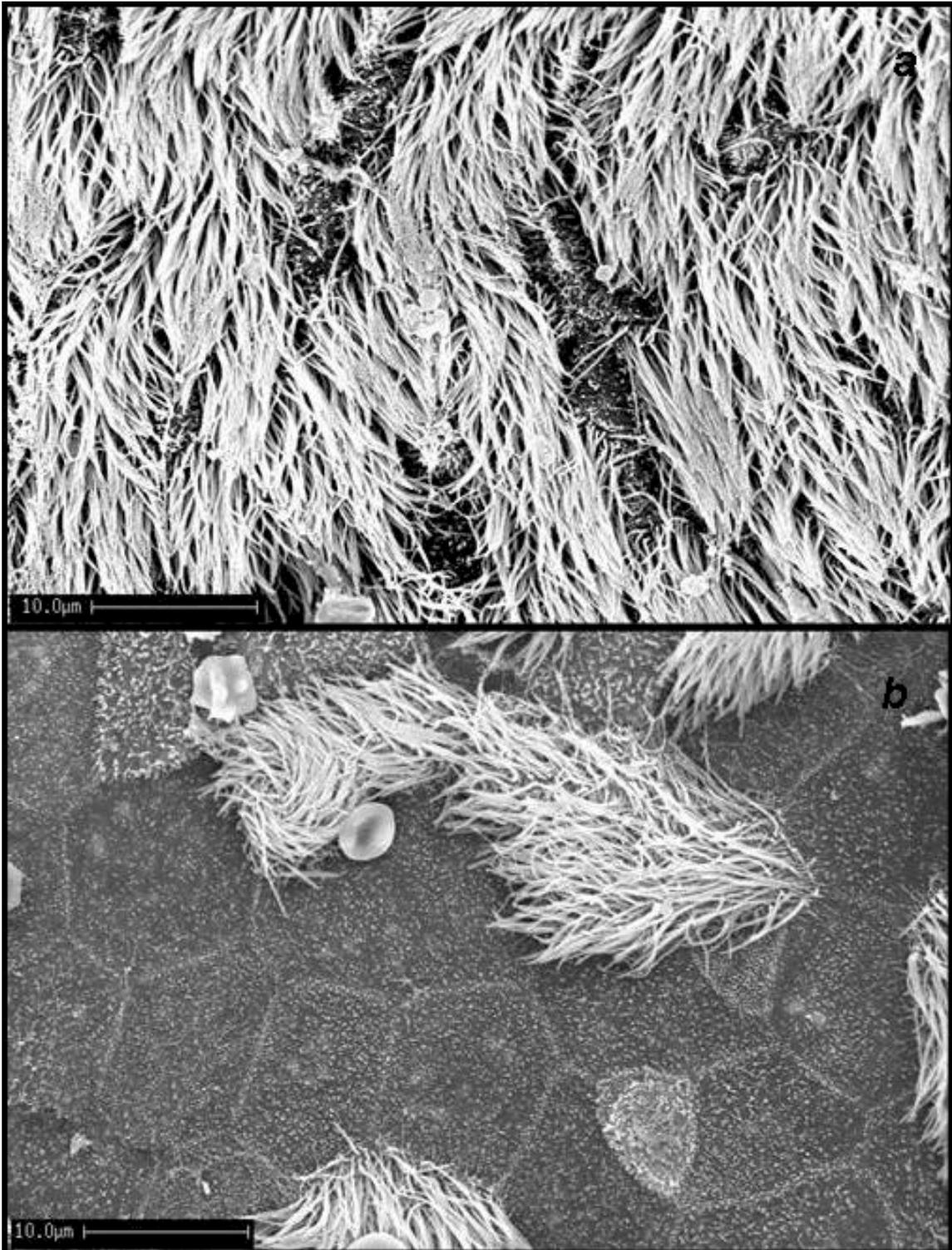


Figura 37. Epitelio ciliado de la tráquea de *Peromyscus difficilis* capturado en la temporada seca, obsérvese el aspecto de las células ciliadas.

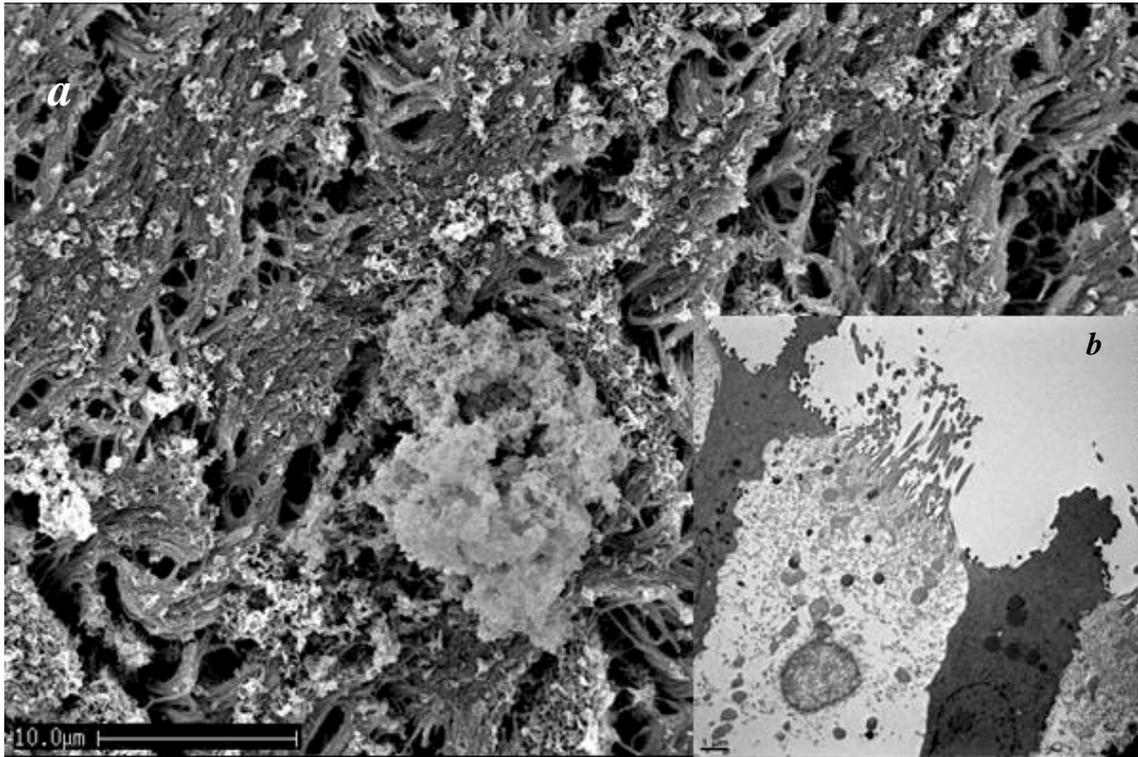


Figura 38. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* capturado en el Desierto en la temporada seca, **a)** nótese el grado de apelmazamiento de los cilios y presencia de mucus (microscopía electrónica de barrido), **b)** necrosis celular (microscopía electrónica de transmisión).

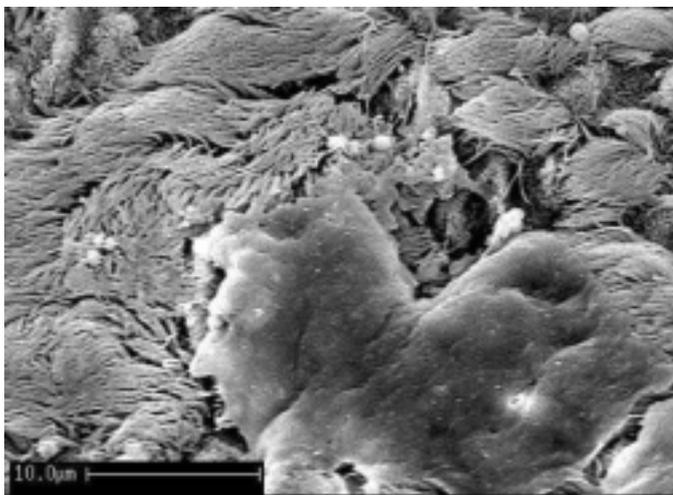


Figura 39. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* capturado en la temporada seca en el Desierto, obsérvese la apariencia del mucus adherido a los cilios (microscopía electrónica de barrido).

3.4.3.3 Análisis Ultraestructural.

Se analizaron 16 ejemplares del Ajusco y 39 individuos del Desierto, encontrando en un 44,7% de las muestras procedentes del Ajusco y un 53,3 % de los organismos analizados del Desierto cierto grado de alteración en la orientación de los cilios (figura 40 y 41), sin llegar a 10 cilios con orientación anómala (ángulo de 90° entre el eje que pasa través del par de microtúbulos centrales de un cilio respecto a otro) en 500 cilios cuantificados.

Se observó la presencia de desorganización ciliar, debido a la pérdida, translocación y/o un par extra de microtúbulos con aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina. Estas alteraciones aparecen en especial en los ejemplares capturados durante la temporada seca, en cuyos cilios se observan algunas zonas localizadas de pérdida de pared celular probablemente producto del procesamiento de la muestra sobre cilios anómalos (tabla 16; figuras 42 y 43).

En el examen ultraestructural (figuras 42, 43, 44 y 45) se observa la presencia de actividad celular con existencia de interdigitaciones plasmáticas, núcleo lobulado y ciliogénesis en progreso; presencia de distensiones vesiculares epiteliales y ciliares, cilios duplicados, cilios supernumerarios, dilataciones del citoplasma de los cilios (tabla 16), las cuales están acompañadas de alteraciones mitocondriales con presencia de glicocáliz laxo en los microvilli y presencia de gránulos electrodensos (tabla 16). La prueba de X^2 no reveló diferencias significativas entre las zonas y épocas de colecta en relación a ninguna de las alteraciones cuantificadas.

Tabla 16. Porcentaje de organismos de *Peromyscus difficilis* que presentaban algún tipo de alteración ciliar en el epitelio traqueal en los Parques Nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D) durante las dos épocas del año (lluvias y seca)

ÉPOCA	n		DILATACIONES VESICULARES %		CILIOS ANÓMALOS %			VACUOLIZACIÓN %		DESORG. ** %		TOTAL *** %		
	A	D	A	D	A	MÁXIMO*	D	MÁXIMO*	A	D	A	D	A	D
LLUVIAS	6	28	83,33	89,29	50,00	9,00	71,43	17	33,33	35,71	16,67	46,43	83,33	100,00
SECA	10	11	70,00	81,82	50,00	9,00	54,55	9	0,00	27,27	40,00	36,36	80,00	100,00
TOTAL	16	39	75,00	87,18	50,00	9,00	66,67	9	12,50	33,33	31,25	43,59	81,25	97,44

* Número máximo de axonemas observados envueltos en una sola membrana plasmática

** Pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulos, con aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina, acompañadas por una matriz electrodensa,

*** Porcentaje de ejemplares que presentaron al menos una característica cuantificada

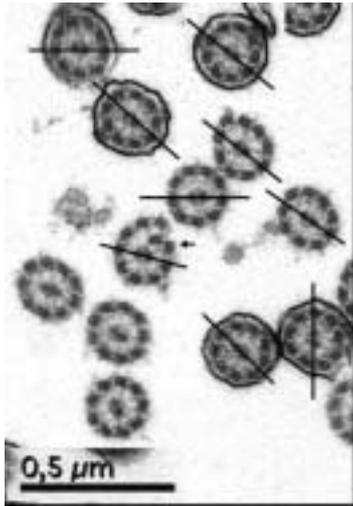


Figura 40. Corte transversal de cilios con orientación anómala, translocación de un par de microtúbulos, en un cilio 11+2 (flecha) y pérdida de la membrana celular en algunos cilios (microscopía electrónica de transmisión)

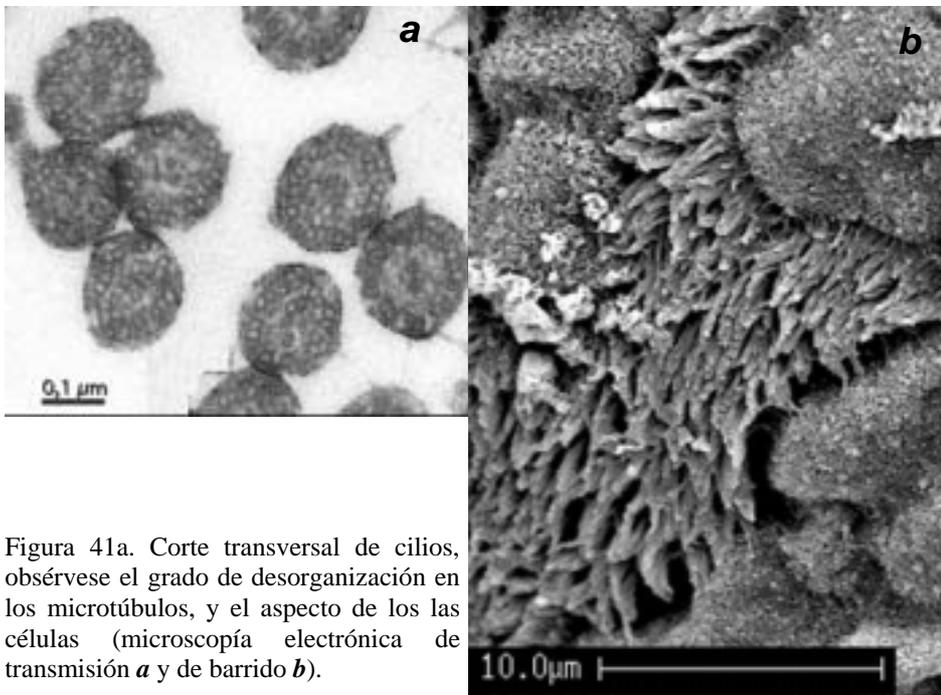


Figura 41a. Corte transversal de cilios, obsérvese el grado de desorganización en los microtúbulos, y el aspecto de los las células (microscopía electrónica de transmisión *a* y de barrido *b*).

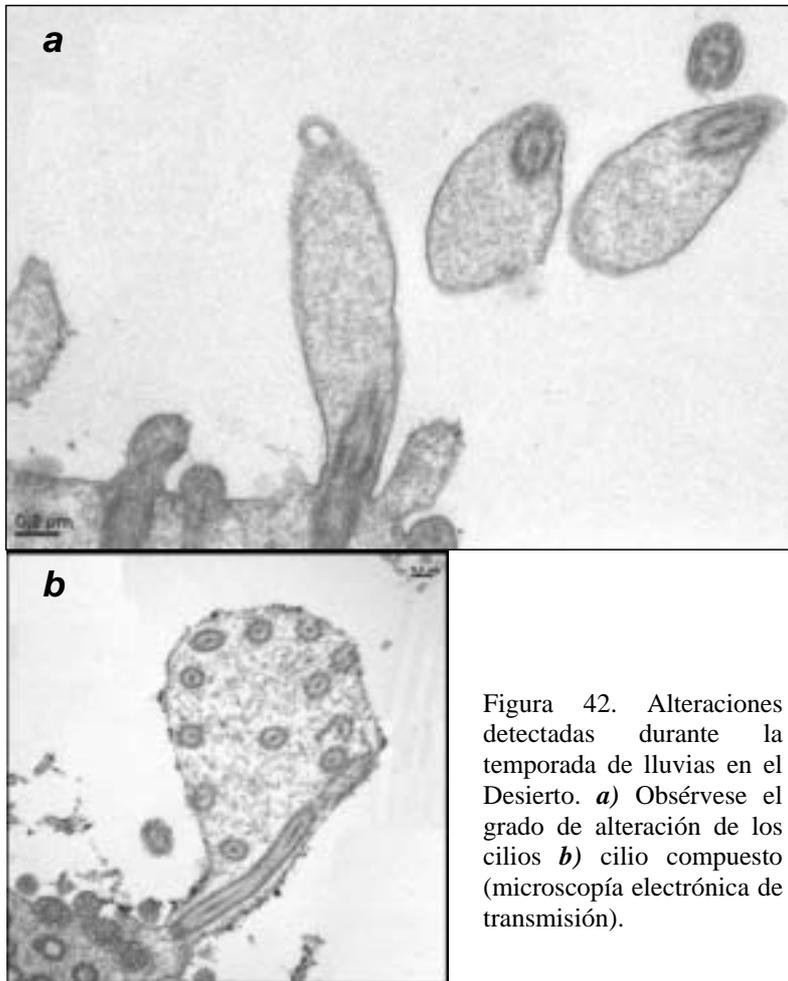


Figura 42. Alteraciones detectadas durante la temporada de lluvias en el Desierto. *a*) Obsérvese el grado de alteración de los cilios *b*) cilio compuesto (microscopía electrónica de transmisión).

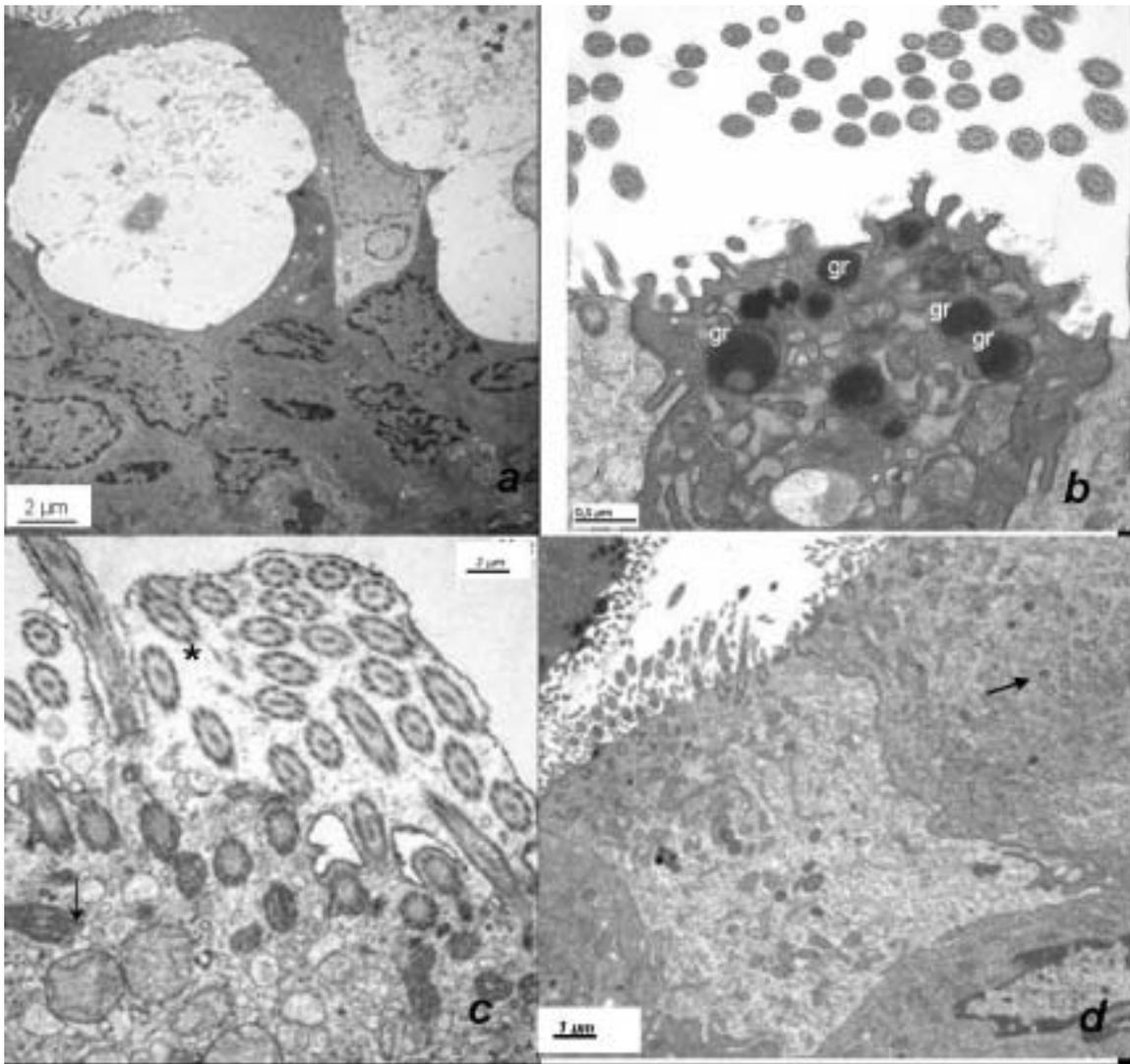


Figura 43. Observaciones en el epitelio de la tráquea en *Peromyscus difficilis* **a**) vacuolización de células ciliadas obsérvese como las células basales permanecen intactas **b**) porción apical de una célula secretora con gránulos electrodensos (gr) **c**) alteraciones de mitocondrias de grado irreversible (flecha) en presencia de cilios compuestos (*); **d**) ciliogénesis en progreso (flecha).

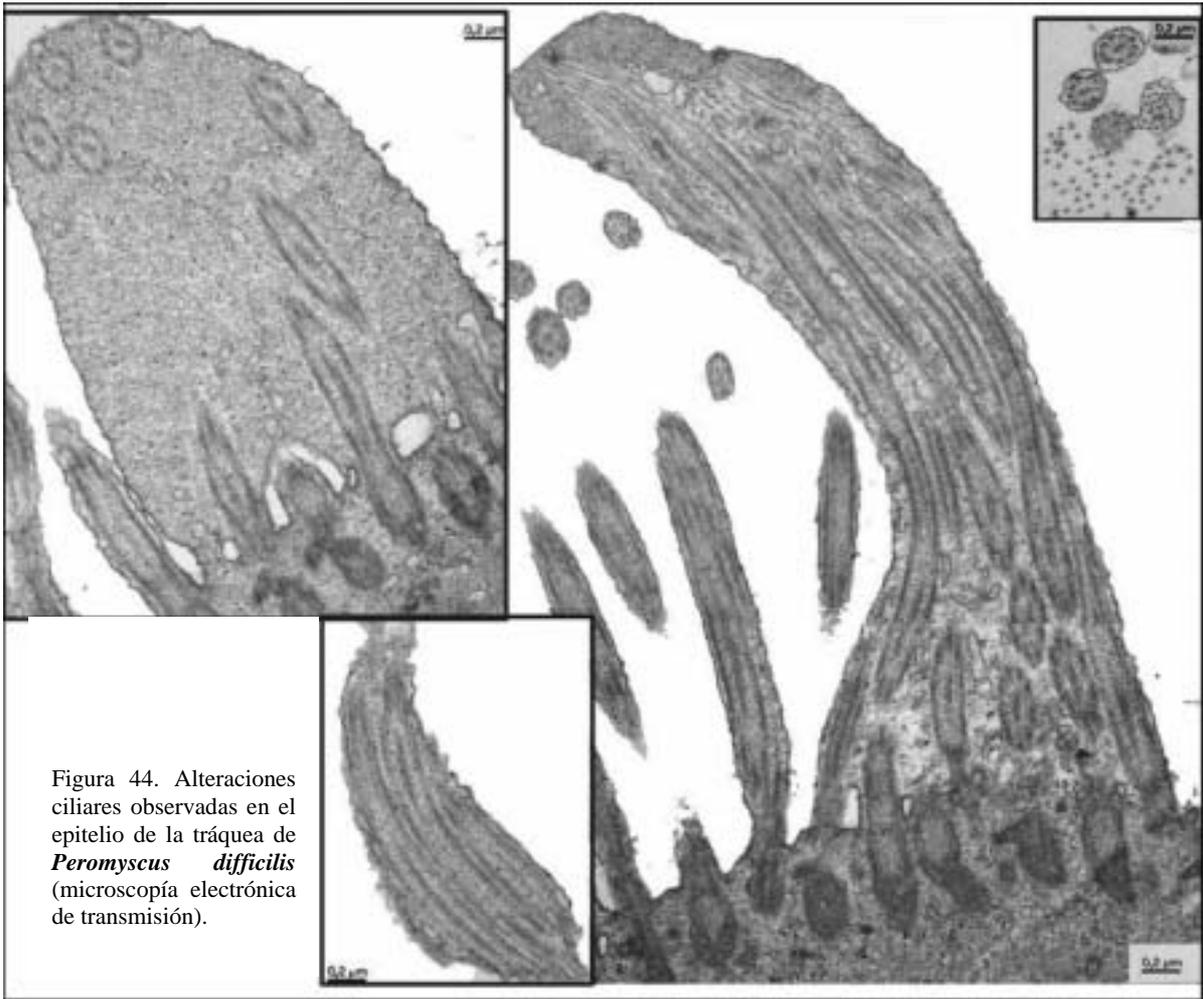
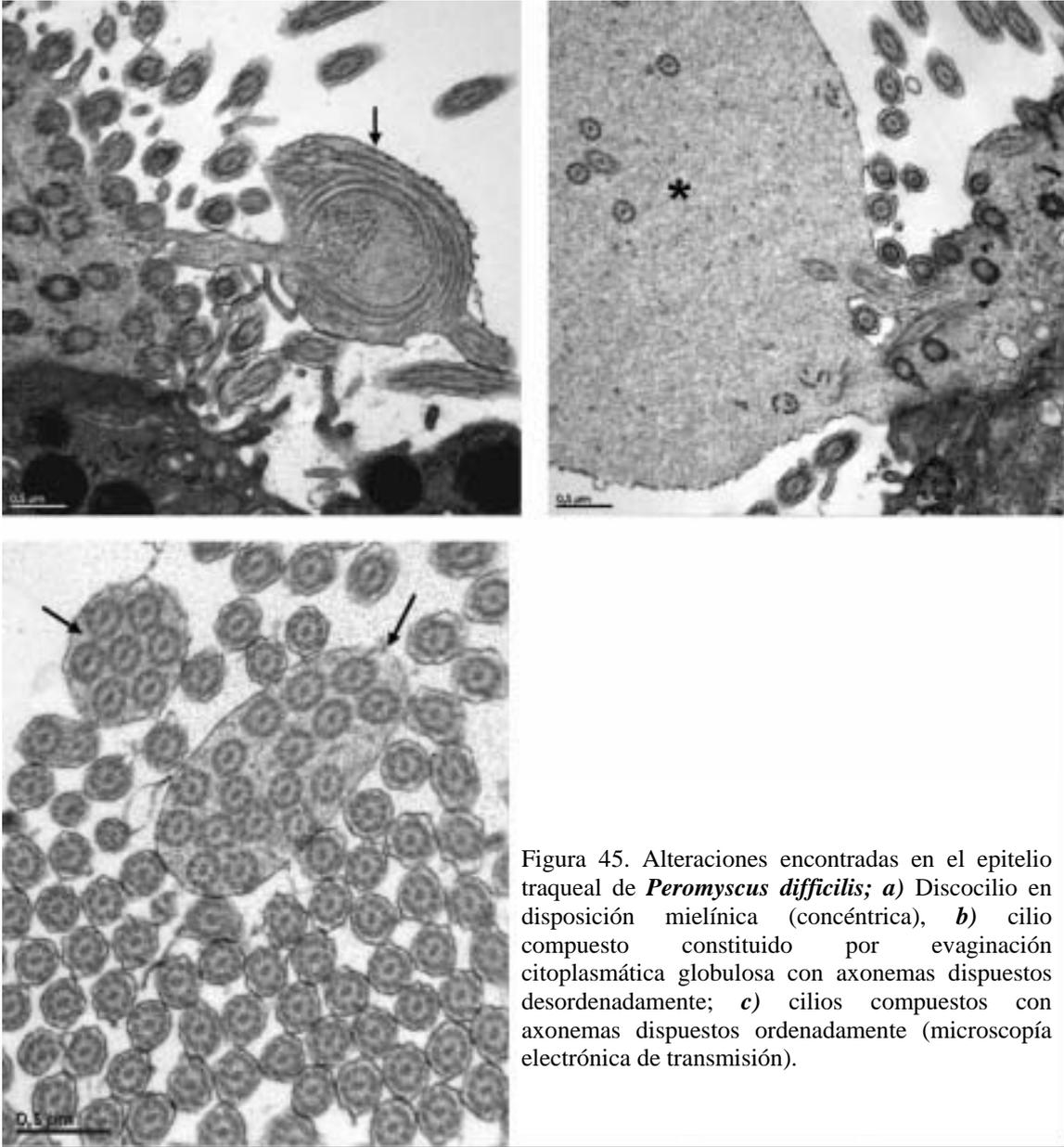


Figura 44. Alteraciones ciliares observadas en el epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* (microscopía electrónica de transmisión).



La presencia de gránulos electrodensos en algunos casos se encuentran relacionados con secreciones apocrinas y procesos de exocitosis (figura 46); además de observarse en algunos casos presencia de gránulos electrodensos en la lamina basal aunque su morfología no parece indicar que sean del tipo neuroendocrino es necesario realizar tinciones específicas.

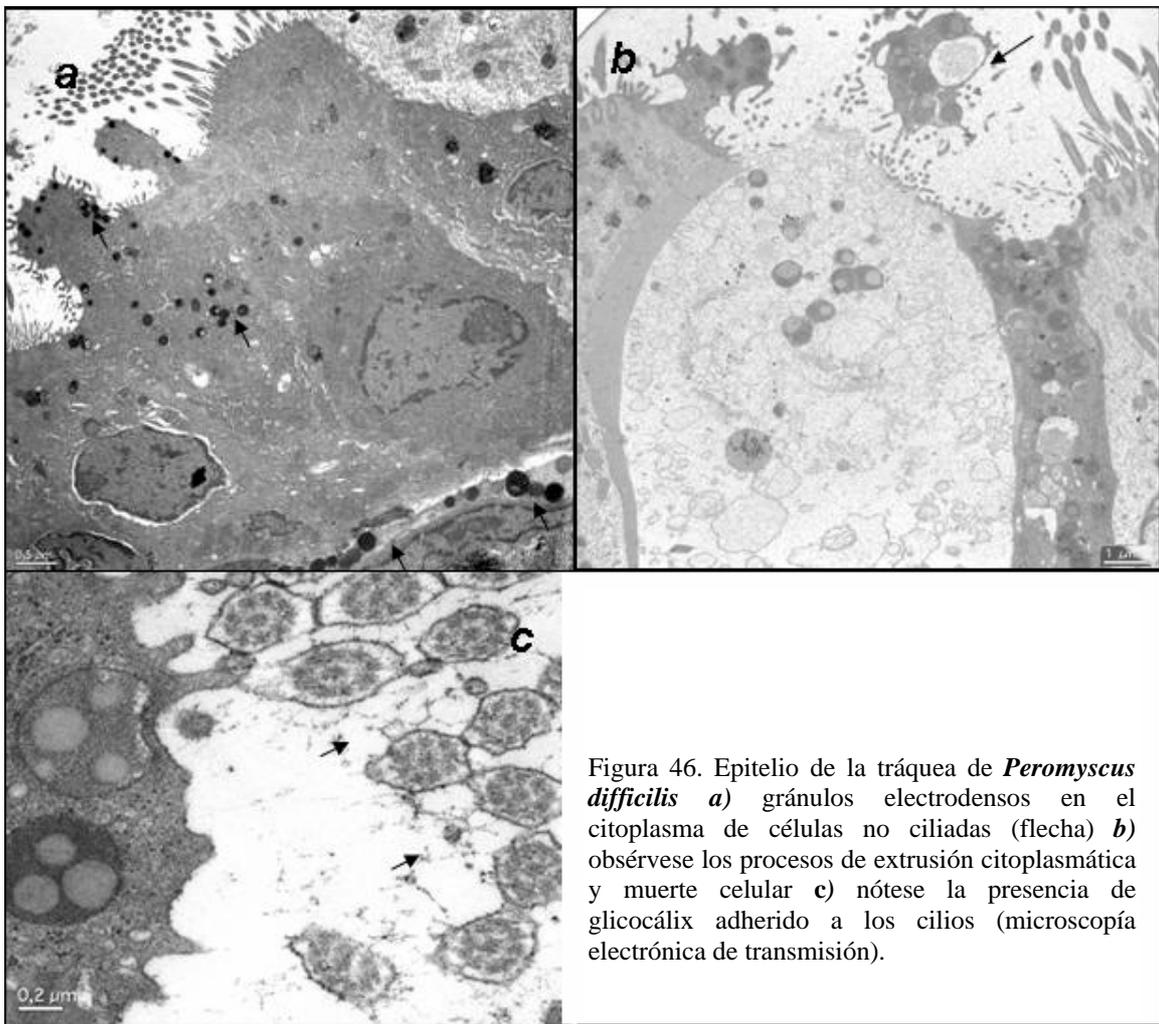


Figura 46. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis* *a*) gránulos electrodensos en el citoplasma de células no ciliadas (flecha) *b*) obsérvese los procesos de extrusión citoplasmática y muerte celular *c*) nótese la presencia de glicocáliz adherido a los cilios (microscopía electrónica de transmisión).

La presencia de material granular no fue una característica de las muestras analizadas, apreciándose en algunos casos asociado a la fragilidad de células basales (figura 47).

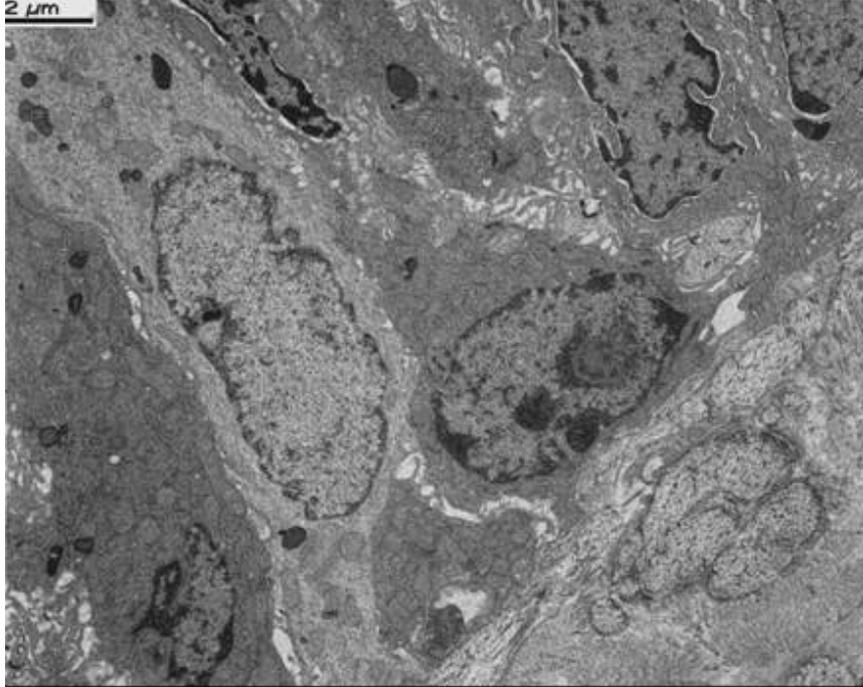


Figura 47. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus difficilis*, obsérvese la presencia de material granular ocupando los espacios intercelulares (microscopía electrónica de transmisión).

3.5 DISCUSIÓN.

La presencia de alteraciones morfológicas y ultraestructurales puede alterar la coordinación en el transporte de las mucosidades del tracto respiratorio, predisponiendo o potenciando las diversas enfermedades respiratorias (Carson *et al.*, 1987)

Las alteraciones observadas en el epitelio traqueal de *M. mexicanus*, *P. melanotis* y *P. difficilis*, capturados en el Desierto de los Leones y el Ajusco, no sugieren grandes diferencias entre las dos áreas de estudio escogidas ni una fuerte relación con la época de captura, de ahí que los resultados obtenidos se pueden interpretar en dos sentidos a) las características observadas son propias de las especies estudiadas, b) la influencia de los agentes irritantes es de magnitud semejante en las poblaciones de pequeños roedores de ambos sitios de captura.

Sin embargo el porcentaje elevado de mucosa cubierto por células no ciliadas de algunos ejemplares de las tres especies a lo largo de todo el estudio, así como un epitelio heterogéneo podría indicar deficiencias en la retención de gases oxidantes y material particulado, ocasionando las alteraciones ciliares detectadas.

La presencia de cilios compuestos en la mayor parte de los organismos, tanto del tipo adhesivo atribuido a la acción de irritantes químicos como el SO_2 que provocan la fusión de la membrana celular, mencionado por Carson *et al.* (1987); como del tipo bulboso (Roperto *et al.*, 1998) relacionado con la insuficiencia de la membrana plasmática (Hagiwara *et al.*, 2000) en las tres especies estudiadas; con cilios supernumerarios de hasta 17 axonemas claramente identificados, sugirieron en conjunto alteraciones en el procesos de ciliogénesis originada por agentes irritantes,

Afzelius (1981) menciona que los cilios compuestos son una respuesta a la gran variedad de estímulos irritantes; Górriz *et al.* (1994) encuentran orientación ciliar anómala y reportan la presencia cilios duplicados en epitelio traqueal de *Apodemus sylvaticus* y *Emberiza cia* relacionados con el efecto de los gases oxidantes.

Otros autores señalan que los cilios atípicos son una consecuencia de la ciliogénesis, seguida de una desciliación y continua renovación celular (Roperto *et al.*, 1991; Hagiwara *et al.*, 2000); cierta literatura médica reporta alteraciones ciliares en tejidos normales y anómalos (Roperto *et al.*, 1995); en caballos, cerdos y búfalos aparentemente sanos se han reportado alteraciones ciliares (Galati *et al.*, 1991; Roperto *et al.*, 1996 y 1998; Bruno *et al.*, 1999), proponiendo que la presencia de anomalías ciliares pueden ser comunes.

En la presente investigación la presencia de las alteraciones ciliares observadas no indica que se deba a una característica intrínseca de las especies estudiadas, especialmente si observamos los procesos de exfoliación, vacuolización, tumefacciones mitocondriales, extrusiones citoplasmáticas y secreciones apocrinas de las células no ciliadas asociadas a los sitios de localización de dichas alteraciones.

La mayor parte de las patologías observadas están relacionadas con el citoplasma de las células, siendo la presencia de las alteraciones mitocondriales una prueba del daño producido en la función de la membrana plasmática; aun cuando las preparaciones de los ejemplares obtenidas en la temporada seca tienen alteraciones asociadas con la estructura del axonema.

En *M. mexicanus*, *P. melanotis* y *P. difficilis* las alteraciones en los microtúbulos y brazos de dineina pueden reflejar la severidad y el estado del epitelio (Roperto *et al.*, 1996), lo que sugiere un daño mayor en los organismos capturados durante la temporada seca.

Debido al deterioro que presenta la matriz citoplasmática, en la mayoría de las muestras analizadas se identifica claramente la estructura 9+2 de los cilios. Aunque en todos los cilios no se logran apreciar correctamente los brazos de dineina, independientemente del grosor y orientación del corte, por lo que en futuros estudios de la mucosa respiratoria se recomienda realizar un tratamiento con ácido tánico, el cual proporcionara un mejor contraste de las estructuras del axonema (Iongh & Rutland, 1995).

En las tres especies estudiadas la presencia de dilataciones del citoplasma de los cilios, podría ser una manifestación de la influencia de diversos agentes contaminantes, entre los cuales pueden estar agentes carcinogénicos y mutagénicos como el peroxiacetilnitrato, responsable en parte del daño a la cubierta vegetal (Bauer, 1972). También este tipo de alteración pueden deberse a la influencia de otros componentes del “smog” fotoquímico, de los cuales ha sido detectado el formaldehído (Baez *et al.*, 1995), cuyos efectos en el aparato respiratorio han sido estudiados en pollos debido a su uso como desinfectante durante la incubación, observando dilataciones en la pared celular de los cilios, exfoliación, agrupamientos ciliares, desciliación e incremento en la secreción de mucus (Fauziah *et al.*, 1996; Zulkifli *et al.*, 1999). De igual forma la influencia del componente genotóxico de las *PM₁₀*, demostrado por Delgado-Rodríguez *et al.* (1999) en *Drosophila melanogaster* y por Villalobos-Petrini *et al.* (1995) en cultivos celulares.

Dustin (1978) menciona que la presencia de cilios con dilataciones citoplasmáticas en hámster se debe a diversos compuestos carcinógenos; la presencia de este tipo de alteraciones en las muestras analizadas en algunos casos se encuentra asociada con cilios fracturados y sin membrana celular, lo que podría ser producto del procesado de la muestra sobre cilios ya lesionados por la acción de los contaminantes atmosféricos. Tarkington *et al.* (1994) observan fragmentación de la membrana celular en cultivos celulares de epitelio traqueobronquial de rata expuestos a 0,5 ppm de ozono durante 50 minutos.

En el aparato respiratorio humano la reactividad de los aerosoles esta condicionada por la composición bioquímica de las partículas y su velocidad de penetración en el aparato respiratorio; pudiendo llegar a ocasionar irritaciones en la mucosa nasal y faringe acompañadas de sequedad superficial (Gorny *et al.*, 1999). Las imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido (*SEM*) con estados de hiperplasia de células mucosas y zonas de estancamiento de mucus no sugieren este tipo de respuesta, ya que a pesar de que se eliminó el exceso de mucus con solución fisiológica para una mejor observación de las células, aun se logra apreciar áreas con abundantes secreciones.

La utilización de solución fisiológica en la limpieza de la tráquea es ampliamente utilizada, bien sea para: una observación mejor de los tipos celulares en estudios en *SEM*, estudios de frecuencia del movimiento ciliar y como parte del tratamiento de enfermedades respiratorias crónicas. Pero trabajos recientes han demostrado que la utilización de soluciones salinas al 0,9 % tienen un efecto negativo en el movimiento ciliar (Boek *et al.*, 1999) En las muestras obtenidas en la época seca se aprecian zonas con cilios aparentemente inmóviles, en algunas de éstas no existe ninguna otra alteración visible (figura 48), mientras que en otros casos se aprecia un epitelio deteriorado. En las muestras destinadas a *SEM* es posible que el suero fisiológico ocasionara un daño estructural, no obstante si consideramos que a todas las muestras se les aplicó el mismo tratamiento, las diferencias en cuanto a la aparente inmovilidad de los cilios estarían en función del grado de alteración propio de cada organismo; por otra parte el tiempo mínimo entre la limpieza del mucus de la tráquea y la fijación inicial con glutaraldehído es mínimo.

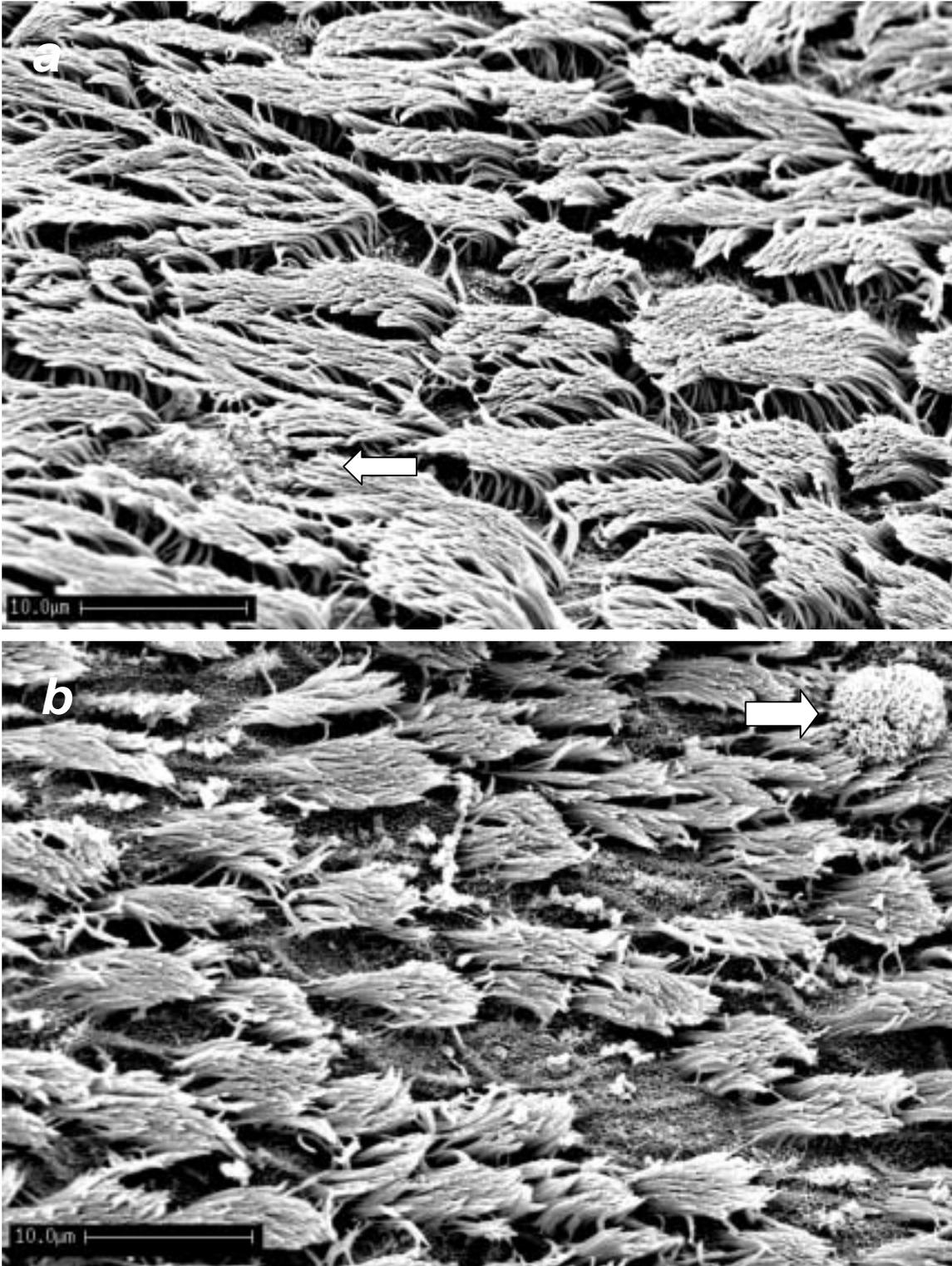


Figura 48 Epitelio de la tráquea de *Peromyscus melanotis* de la temporada seca en el Desierto (*a*) y Ajusco (*b*). Obsérvese el aspecto aparentemente inmóvil de los cilios, así como la presencia de secreciones en *a* y un linfocito activo en *b*.

En el epitelio traqueal la posibilidad de que existan alteraciones debidas a la utilización de la solución salina no modifica los resultados obtenidos en cuanto el porcentaje de área ocupado por células ciliadas; en cambio si pueden afectar el aspecto de los cilios. Estas consideraciones se deben de tomar en cuenta para futuros estudios.

Aun cuando se observó mucus en la mayoría de las muestras analizadas, los resultados no indican de forma global un excesivo incremento de secreciones, lo que está de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio histopatológico del pulmón (en las cuales no se detecta acumulación de secreciones pulmonares: capítulo 4), lo que sugiere un eficaz transporte mucociliar o es resultado de los estados de hiperplasia de células secretoras, que provocan una producción baja de mucus semejante a las observadas por Sih (1999) debido a la influencia de contaminantes urbanos.

Harkema *et al.* (1987) observan la acumulación de mucosubstancias en el epitelio respiratorio de monos expuestos a 0,15 ppm de ozono durante 6 días, la cual infiere un incremento en el número de células secretoras y mucus como una respuesta adaptativa a los niveles dañinos de O_3 . Lo anterior podría aplicarse en el análisis de los fragmentos de tráquea con *SEM*; si consideramos que las muestras destinadas a *TEM* son más próximas a los bronquios y las destinadas a *SEM* son las más cercanas a la faringe, las alteraciones observadas pudieran ser debidas a la acción de diferentes agentes irritantes sobre la zona de localización de la muestra del epitelio respiratorio analizado. Los efectos de estos agentes estarían en función del tiempo de exposición y la concentración de los contaminantes (Hotchkiss *et al.*, 1989; Chitano *et al.*, 1995); con áreas de acción diferentes a lo largo del aparato respiratorio, por lo que los gases más solubles como el SO_2 afectarían la parte más externa, en cambio los gases menos solubles (por ejemplo el O_3) y partículas menores de 2,5 μm llegarán hasta las áreas más próximas al pulmón, ayudados por el daño epitelial ocasionado a nivel de nasofaringe; experimentalmente se ha demostrado que la solubilidad de los gases es determinante en el tipo de patología observada (Man & Hulbert (1988).

La influencia de los contaminantes a nivel nasal, reduciría la primera línea de defensa lo que ocasionaría una resistencia menor a la circulación de los contaminantes y se incrementarían las alteraciones. Calderón-Garcidueñas *et al.* (2001a y 2001b) encontraron una incidencia alta de patologías en biopsias nasales de niños relacionada con los niveles de contaminación en la Ciudad de México.

Hotchkiss *et al.* (1989) señalan que según el sitio y el grado de alteración en el aparato respiratorio se pueden observar respuestas diferentes en la parte nasal y el

pulmón; cuando el daño es mayor en el pulmón, la respuesta en las vías altas del aparato respiratorio es reducida. Durante el análisis histopatológico de algunas muestras de mucosa nasal no se encontraron alteraciones graves a nivel de microscopía óptica (datos no mostrados). Monticello *et al.* (1991) en ratas expuestas a 6 ppm de formaldehído no detectaron ningún daño en el epitelio nasal, a pesar de haber observado proliferación celular ya que la muerte celular y necrosis no son prerequisites para inducirlo (Hotchkiss & Harkema, (1992); similar respuesta la obtuvieron Henderson *et al.* (1993) en exposiciones acumulativas a ozono, encontrando inducción de la síntesis de ADN.

Si bien el epitelio nasal requiere un estudio histopatológico más profundo, de acuerdo a las alteraciones detectadas en la tráquea (especialmente con los procesos de hiperplasia celular observados por *SEM*) y la evidencia de desorden celular a nivel de microscopía óptica, es posible inferir que de existir alguna patología en la nariz está a nivel ultraestructural; Hotchkiss & Harkema (1992) encuentran que exposiciones a 0,8 ppb de ozono durante 6 horas produce únicamente un incremento en la vacuolización citoplasmática, localizado en la porción apical en las células del epitelio nasal de transición.

La atmósfera contaminada de la Ciudad de México no sólo se compone de ozono y material particulado, por lo tanto debido a la mezcla de contaminantes y aun dentro de niveles tolerables es posible que algunos de ellos ocasionen cualquiera de las alteraciones observadas. Estudios en el epitelio nasal de la población humana residente en la zona suroeste de la Ciudad de México han mostrado diversas patologías que incluyen hiperplasia de células mucosas, metaplasia escamosa, cilios anómalos tanto a nivel estructural como ultraestructural y alteraciones mitocondriales, así como la presencia del gen supresor de tumores (p53) (Calderón-Garcidueñas *et al.*, 1997,1999 2000, 2001a y 2001b).

Es posible que los niveles de ozono y dióxido de nitrógeno existentes en las zonas de estudio alteraran la respuesta inmunológica, reduciendo las defensas contra infecciones (Chitano *et al.*, 1995), aumentando el número de procesos infecciosos en la faringe y laringe, los cuales podrían extenderse a la tráquea en su porción inicial. Esto explicaría las alteraciones estructurales en las muestras analizadas por *SEM*, especialmente en los organismos capturados durante la temporada seca; así como la desorganización de los microtúbulos semejante a la encontrada en conejos infectados con *Pasteurella multocida* por Al-Haddawi *et al.* (1999).

Las observaciones estructurales además de revelar zonas en regeneración, un epitelio heterogéneo y la reducción en la densidad ciliar por célula, mostraron una disposición celular similar a la reportada por Blanquart *et al.* (1995), teniendo zonas con una disposición ciliar agregada y cilios aplastados (figuras 49, 50 y 51), especialmente en la temporada seca, cuya orientación ciliar presenta la menor resistencia al paso del aire, lo cual favorecería el paso de agentes contaminantes al pulmón.

Es difícil atribuir a un contaminante en particular las alteraciones en la tráquea de las tres especies estudiadas, porque aún cuando los niveles de contaminación reportados por la Red de Monitoreo Atmosférico del Valle de México señalen al ozono como el principal componente, este reacciona, al igual que todos los gases oxidantes, en primera instancia con la cubierta vegetal, reduciendo los niveles que podrían estar respirando los pequeños roedores, siendo la única evidencia física de la influencia de la contaminación la presencia del material particulado observado en el pulmón (capítulo 4).

Las alteraciones detectadas tanto en *SEM* como en *TEM* sugieren la existencia de modificaciones en el aclaramiento ciliar que si bien no llega a manifestarse en una orientación anómala en al menos 10 cilios por 500 cilios cuantificados con un ángulo de 90° entre el eje que pasa través del par de microtúbulos centrales de un cilio respecto a otro, es posible que existan diferencias en el grado del mismo, Iongh & Rutland (1995) mencionan variaciones en la orientación de los cilios con ángulos entre un 14,4° % y 49,9° % en sujetos con síndrome de inmovilidad ciliar primaria.

En vista de que en las alteraciones ciliares observadas es posible una reducción en la frecuencia del movimiento de los cilios, lo cual producirá un lento transporte mucociliar debido a las propiedades viscoelásticas de las secreciones y a la disminución del número de cilios por célula, esto favorecerá el contacto con las partículas contaminantes antes de ser expulsadas del aparato respiratorio (figura 51), sin llegar a provocar orientación anormal: Por otra parte la presencia de una orientación anómala es característica de alteraciones genéticas, que en algunos casos llega a manifestarse con la edad del individuo (Ho *et al.*, 2001); también pueden ser el resultado de procesos infecciosos que se corrigen al desaparecer la infección (Iongh & Rutland, 1995; Torckkeli *et al.*, 1998).

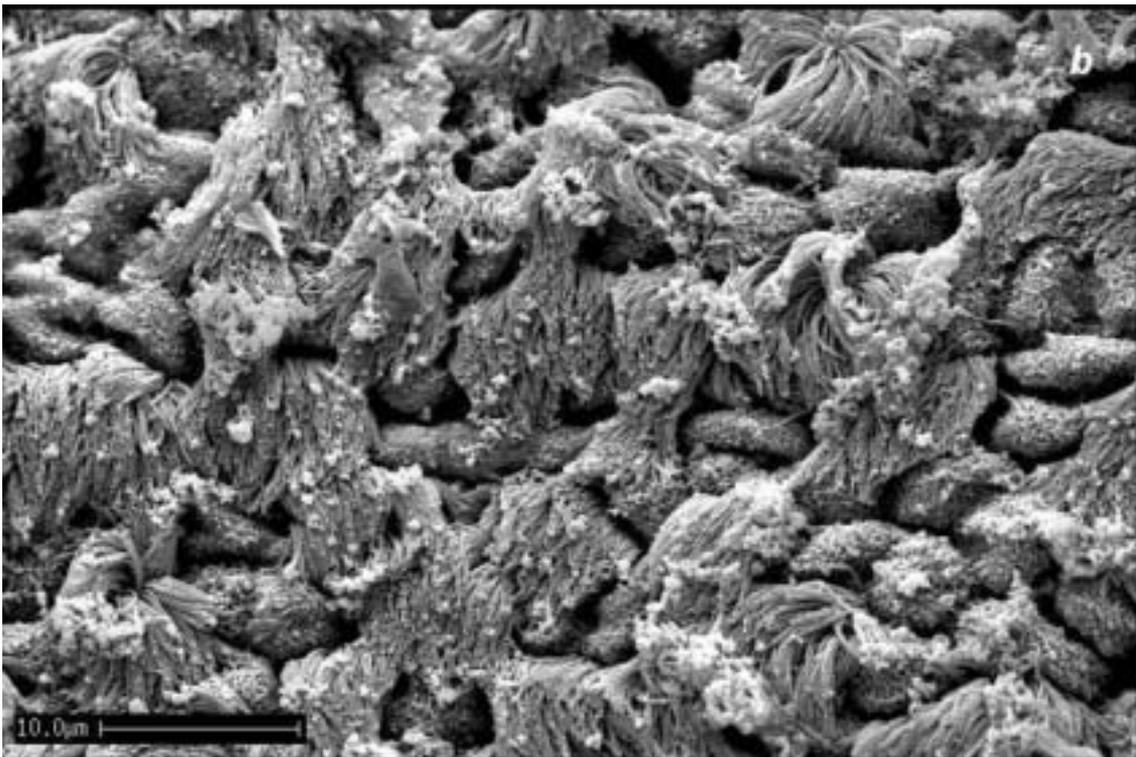
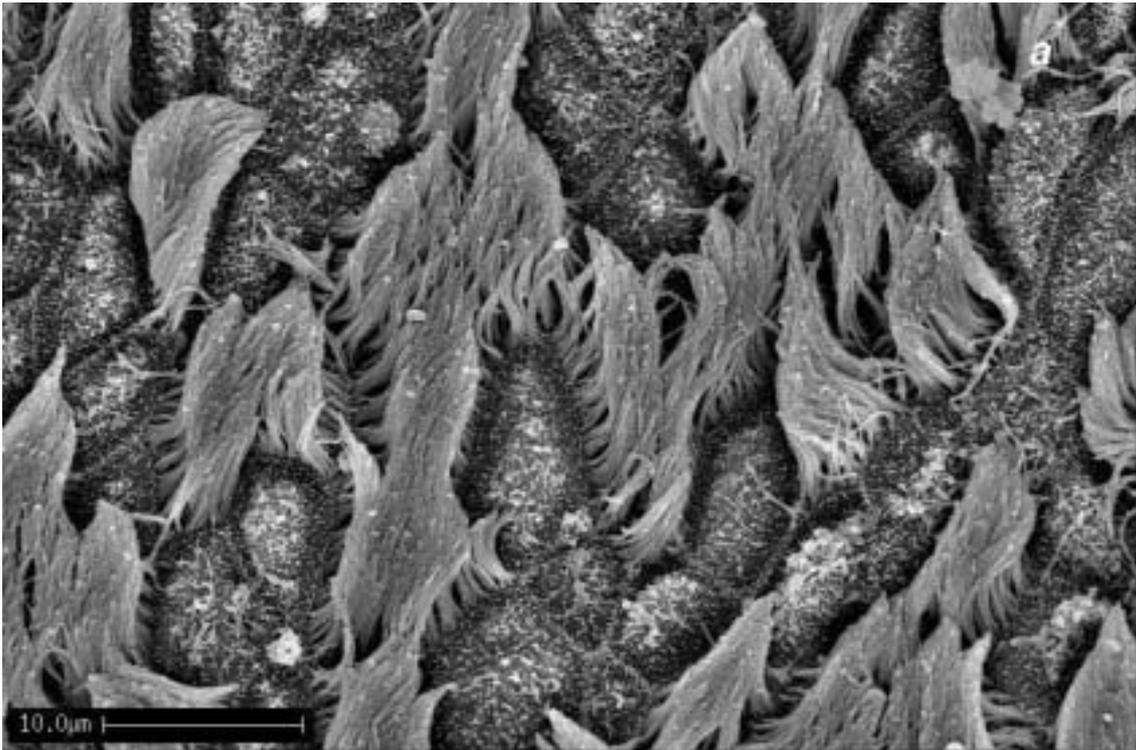


Figura 49. Fragmento del epitelio de la tráquea, *a*) obsérvese el aspecto agregado de los cilios y *b*) apelmazado (microscopía electrónica de barrido).

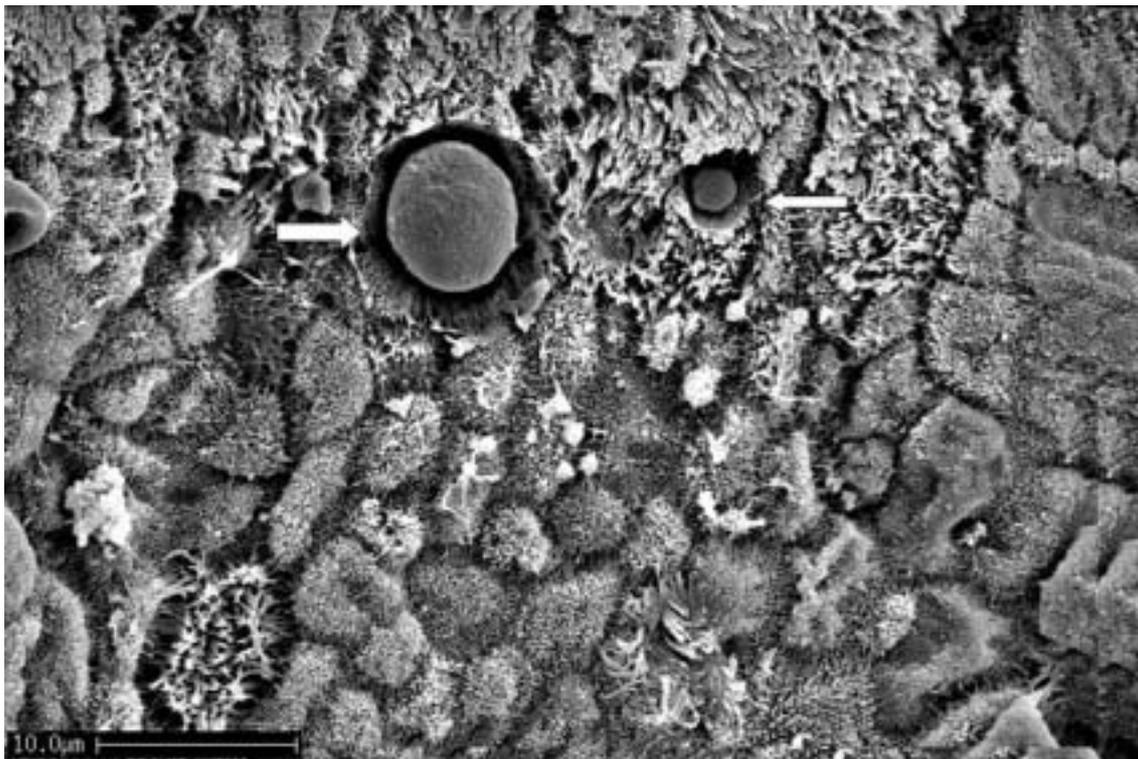
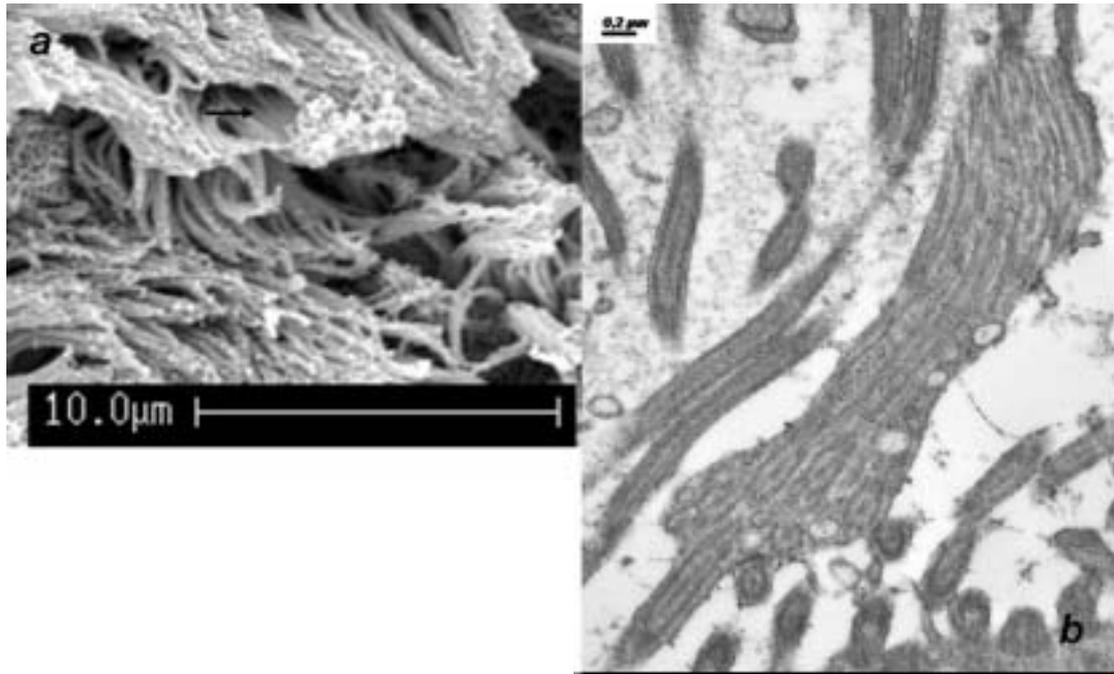


Figura 51. Epitelio de la tráquea de *Peromyscus melanotis* capturado en la temporada seca, obsérvese las partículas retenidas en los cilios, y la escasa presencia de células ciliadas.

Dado que a lo largo de su ciclo de vida los organismos estudiados han soportado diversos grados de contaminación, es probable que en las primeras semanas de vida extrauterina la influencia de los contaminantes afecte el desarrollo normal del sistema mucociliar (Mariassy *et al.*, 1990).

Otro factor que ocasiona daño epitelial en el aparato respiratorio es la presencia de enfermedades preexistentes, las cuales pueden interactuar con los contaminantes atmosféricos, bien sea favoreciendo el paso de los mismos y/o aumentando su potencial infeccioso.

Blanquart *et al.* (1995) en cultivos celulares de tráquea de conejos mencionan que exposiciones a 10 o 30 ppm de SO_2 durante 1 hora desarrollan agregaciones ciliares con mitocondrias vacuolizadas y un decremento de un 25 % en la frecuencia del movimiento ciliar observando una recuperación en las siguientes 24 horas; aunque no detectaron un incremento en las secreciones, es posible que parte de los efectos de los diferentes contaminantes no sean visualizados, debido al tiempo transcurrido entre la exposición y la realización del análisis.

Las diferencias y similitudes entre los estudios de campo y laboratorio pueden reflejar la forma de en que los diferentes contaminantes entran al organismo en las dos situaciones como el tiempo y las concentraciones que se exponen los individuos objeto de estudio. En investigaciones de laboratorio los ejemplares presentan escasa actividad, en la naturaleza los pequeños roedores realizan una serie de actividades que van desde unos cuantos metros hasta varios cientos, según la especie, época del año y necesidades fisiológica de los organismos. Lo anterior provocaría una mayor o menor exposición a los contaminantes, dependiendo del esfuerzo físico que tuvieran que realizar y de las concentraciones de los diferentes agentes irritantes.

Es importante considerar el efecto acumulativo de estos contaminantes y el adaptativo de cada especie. Las poblaciones de pequeños roedores estudiadas han estado sometidas a ambientes contaminados por generaciones, lo que puede ocasionar diferentes respuestas dependiendo tanto de tipo y cantidad de contaminantes a las que fueron expuestos como de los factores genéticos específicos de cada organismo. Diferentes respuestas a agentes irritantes han sido estudiadas especialmente en infecciones víricas; Biozzi *et al.* (1984) en dos cepas de roedores a lo largo de consecutivas generaciones analizaron sus respuestas inmunes a bacterias patógenas, observando que una cepa producía niveles altos de anticuerpos específicos, en cambio la otra manifestaba niveles inferiores pero con una actividad fagocítica más eficiente;

señalando que este tipo de respuesta producía una mayor resistencia a infecciones por patógenos intracelulares.

El tolerar niveles altos de contaminación no indica que los seres vivos no paguen un costo biológico (energético, evolutivo, etc) para poder soportar las nuevas condiciones creadas en su entorno, que les permitan contrarrestar los efectos de cualquier agresión externa, teniendo el menor daño posible; siendo diferente la capacidad de respuesta según la especie afectada, el grado, tipo y origen de la alteración y el tiempo que los individuos han soportado las agresiones ambientales.

Si consideramos que durante la temporada seca la disposición del epitelio es hacia una menor oposición a la entrada de agentes externos, esto ocasiona una mayor presencia de material particulado en el pulmón, donde la fagocitosis por macrófagos constituyó un eficaz medio de defensa (capítulo 4); esto explicaría que los agentes irritantes actúan en diferentes zonas del aparato respiratorio tanto por sus propiedades químicas y físicas como por la respuesta del organismo con el que están interactuando. En infecciones virales se ha demostrado que en el receptor las variaciones genéticas los hacen más o menos resistente a la colonización por patógenos específicos (Adams & Templeton, 1998).

El material particulado sirve como un medio de transporte excelente para las partículas orgánicas, la efectividad de este proceso depende en parte de ciertos factores fisicoquímicos y tiene interdependencia con el tamaño y tipo de partícula transportadora. Las partículas con diámetros pequeños pueden transportar endotoxinas bacterianas, las cuales pueden interactuar en todo el sistema respiratorio (Górny & Dutkiewicz, 1998).

Los restos celulares en el epitelio de las muestras destinadas a *SEM* son resultado de las actividades celulares que se llevan a cabo en el proceso natural de limpieza mucociliar, no obstante se obtuvieron imágenes con la presencia de neutrófilos activos, algunas de estas son similares a las observadas por Kumazawa *et al.* (2002) en fagocitosis de partículas de *Ni* y *Ti* en cultivos celulares. Como un leucocito puede tomar diferente aspecto en función del agente que esta fagocitando, no se puede afirmar con seguridad el origen de dicha estructura, en cambio si es claro que pueden llegar a afectar el buen funcionamiento de la actividad ciliar debido a que algunos de ellas se encuentran adheridos a los cilios con una aparente alteración de los mismos (figura 52).

En desordenes ciliares hereditarios todas las células pueden estar afectadas (Ehouman *et al.*, 1985), mientras que las alteraciones adquiridas se observan en lesiones focales del tracto respiratorio con más cilios anómalos en las áreas más infectadas

(Rossman *et al.*, 1984). Las alteraciones ciliares observadas sugieren la existencia de zonas localizadas de lesiones epiteliales, por otra parte la confluencia de varios contaminantes que ejercen acciones en conjunto y por separado en presencia de la flora bacteriana de las especies estudiadas, pueden actuar en diferente grado ocasionando que ciertos efectos no sean apreciados.

El tipo y la concentración de los contaminantes ocasionan alteraciones en la orientación de los cilios, presencia de cilios anómalos e incrementan los procesos de desciliación, necrosis y apoptosis que actúan en conjunto con los mecanismos de respuesta a infecciones bacterianas y víricas. Entonces la respuesta del epitelio traqueal a los agentes oxidantes estará más en función de la capacidad de los organismos de resistir la influencia de los contaminantes, manteniendo una configuración del epitelio que le permita contrarrestar todos y cada uno de los agentes irritantes, bien sea a través de los procesos de regeneración o modificando los porcentajes de cada tipo celular, dependiendo del sitio y la extensión de la lesión

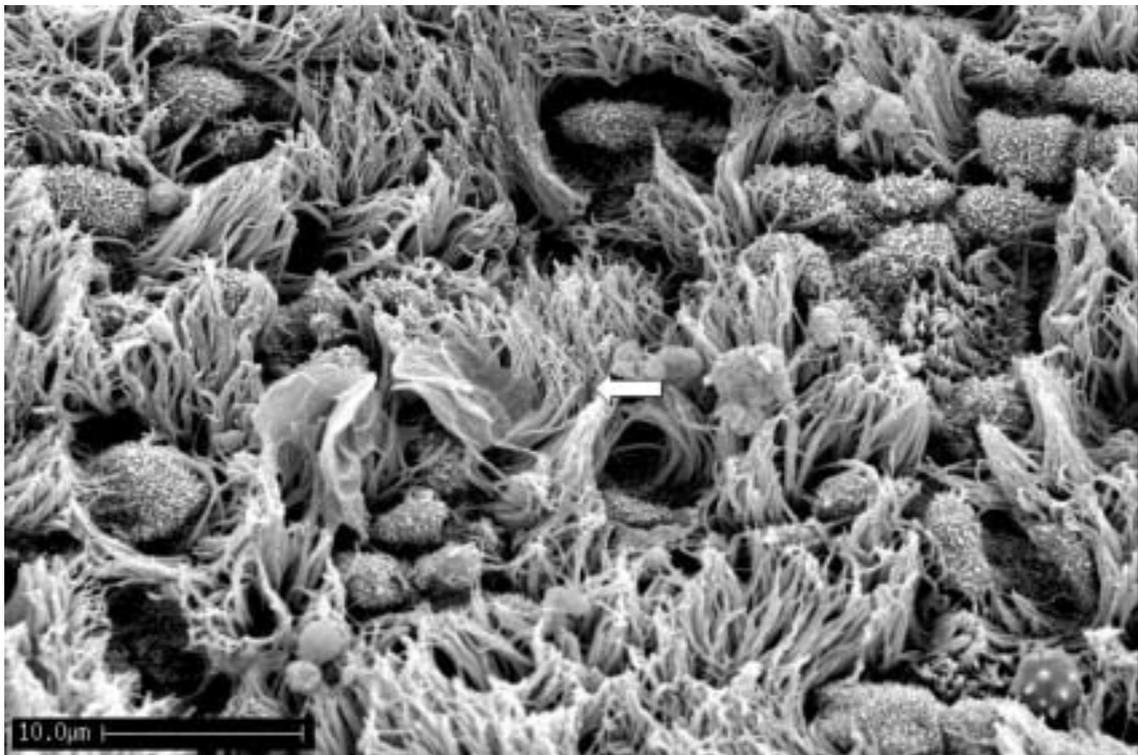


Figura 52. Epitelio traqueal de *Peromyscus melanotis* capturado en noviembre en el Ajusco, obsérvese como los restos celulares de origen indeterminado se adhieren a los cilios, impidiéndoles el movimiento normal.

La concentración de los gases oxidantes y el tiempo de exposición son factores importantes, también lo son otras variables como la temperatura, la humedad, el flujo del aire y la presencia de patógenos (Man & Hulbert, 1988). La exposición a lipopolisacáridos (LPS), componentes de la pared celular de bacterias gram–negativas, causan inflamación celular y activa la secreción de citoquinas que promueve la transformación hacia células mucosas (O’Grady *et al.*, 2001); cuando la de los agentes irritantes y la inflamación desaparecen, el número de células mucosas se reduce por apoptosis (Tesfaisgi *et al.*, 2000; Shi *et al.*, 2002). En ratas inoculadas con 1000 µg de LPS se presenta un aumento de neutrófilos y macrófagos en el fluido bronquialveolar a las 48 horas siguientes, decreciendo a los 7 días (Foster *et al.*, 2003).

Bonner *et al.* (1998) encuentran la presencia de endotoxinas en el material particulado suspendido en la atmósfera del Valle de México con concentraciones promedio de LPS entre 10,8 y 17,8 ng/mg de PM_{10} , observando los valores más altos en las partículas colectadas en la Zona Sur de la Ciudad de México, las cuales en primera instancia pueden interactuar con el epitelio nasal o al estar depositadas en la cubierta vegetal son ingeridas; en cuyo caso Hotchkiss & Harkema (1992) en pretratamientos vía intraperitoneal con niveles subletales de endotoxina, factor de necrosis tumoral alfa e interleuquina 1 (IL 1) obtuvieron que atenúan el efecto del ozono en el epitelio nasal, sugiriendo que puede ser debido a que los tres incrementan los niveles de metalotionina, además de influir en la actividad de citocromo P450 y ocasionar una reducción en la producción radicales libres; es posible que la entrada de endotoxinas a través de los aparatos digestivo y respiratorio tuviera algún efecto en la respuesta a los agentes contaminantes, aunque dicha influencia puede darse en ambos sentidos (benéficos o perjudiciales) dependiendo de los niveles de ingeridos.

Gereda *et al.* (2000) en infantes con riesgo alto de asma encontraron que la exposición crónica a endotoxinas bacterianas presentes en el polvo de las casas puede proteger de la sensibilización alérgica, al potenciar la inmunidad celular frente a la inmunidad humoral (específica), igualmente McKinney *et al.* (1998) informan que una preexposición a 0,5 ppm de O_3 tiene un efecto protector a exposiciones subsecuentes.

La respuesta celular a las agresiones externa bien sea ocasionada por contaminantes o patógenos conlleva daño celular; exposiciones a $PM_{2,5}$ incrementan la presencia de eosinófilos y ácido siálico en los bronquios (Hashimoto *et al.*, 2001). Se ha señalado que los neutrófilos presentan aumento de adhesión a las vías respiratorias infectadas por virus de parainfluenza, liberando en el proceso una serie de metabolitos

de oxígeno tóxico que dañan los tejidos de las vías respiratorias; los eosinófilos descargan proteínas ciliostáticas y citotóxicas para el epitelio respiratorio (Carrada-Bravo, 2002); la infección por virus de macrófagos alveolares conduce al incremento de secreciones del factor de necrosis tumoral alfa así como de interleuquinas (Panuska *et al.*, 1990).

La secreción de leucotrieno, un componente de los leucocitos y conocido mediador de las reacciones alérgicas e inflamación, estimula la actividad ciliar sin embargo altera la orientación de los cilios (Joki *et al.*, 1996).

Los resultados de la presente investigación sugieren reacciones irritativas que bien pueden corresponder a infecciones por patógenos del tipo *Bordetella* y *Mycoplasma*; similares resultados han sido reportados en el epitelio nasal de pavos con infecciones víricas experimentales (Majo *et al.*, 1996). Las especies silvestres son un reservorio natural de diversos agentes infecciosos, entre los cuales se encuentra el hantavirus.

La influencia de los contaminantes puede incrementar el número de individuos infectados en una población o aumentar la virulencia de la infección; la detección de virus y bacterias se hace con técnicas inmunológicas específicas. Pero en algunos organismos (especialmente en *M. mexicanus*) se observaron imágenes en *SEM* y *TEM* que sugieren la presencia de microorganismos (figuras 53 y 54).

Los virus y bacterias podrían ser responsables en parte de las alteraciones observadas en el epitelio traqueal analizado, sin embargo para una correcta evaluación de éstos es necesario conocer el tipo de patógeno y su mecanismo de acción. Young *et al.* (2000) estudiaron el efecto de cepas de *Mycoplasma hyopneumoniae* y *Mycoplasma flocculare* en el epitelio respiratorio ciliado de cerdos, en donde observaron diferentes procesos de adherencia a los cilios y daño ciliar en función de si son patógenas o no dichas cepas.

El origen exacto de las dilataciones vesiculares ciliares no está muy claro, ya que diversos autores las señalan como producto del efecto de SO_2 , mientras que otras las relacionan con infecciones de origen bacteriano, Kenneth *et al.* (2000) en el epitelio nasal de pacientes con bronquiectasias observan dichas dilataciones que contienen inclusiones globulosas con orientación y ultraestructura normal de los cilios, sugiriendo que se deben a un defecto primario, señalando que la presencia de dichas estructuras (localizadas principalmente en la base de los cilios) pueden afectar el movimiento ciliar. La mayor parte de las dilataciones de la membrana ciliar observadas son muy pequeñas

y más semejantes a las reportadas por Konrádová *et al.* (2001a) después de administrar inhalaciones de agua mineral en conejos; aunque también se encontraron estructuras globulosas de diferente tamaño.

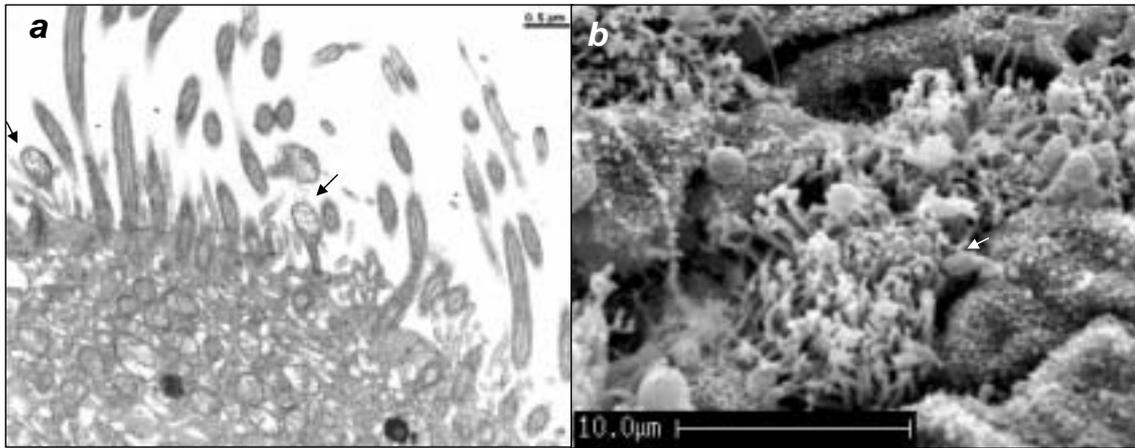


Figura 53. Epitelio de la tráquea de *Microtus mexicanus*, posible presencia de patógenos (flecha) (microscopía electrónica de transmisión *a* y de barrido *b*).

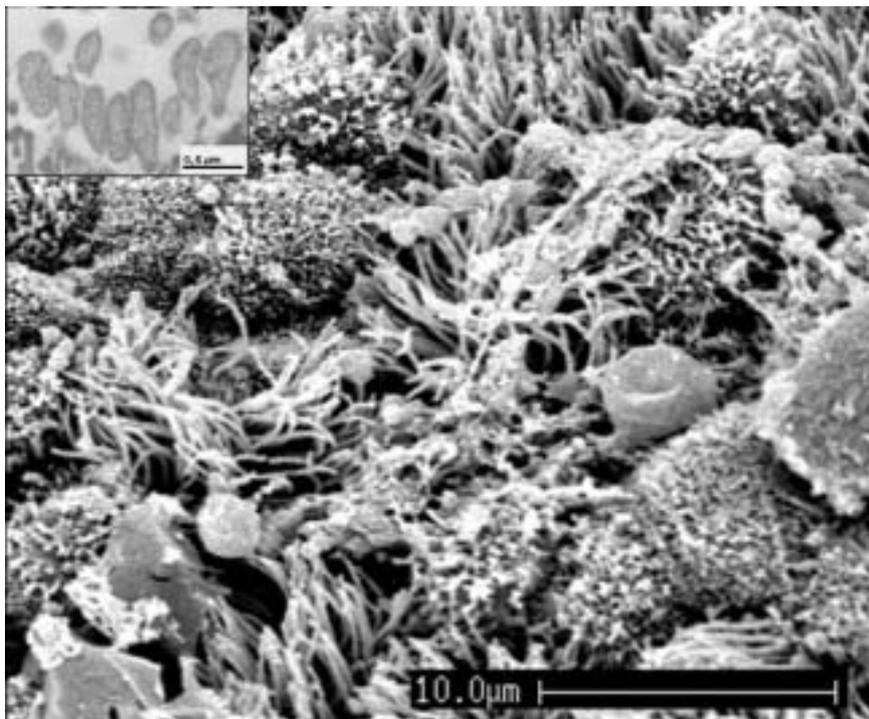


Figura 54. Epitelio de la tráquea de *Microtus mexicanus*, posible presencia de patógenos: microscopía electrónica de barrido y de transmisión (recuadro superior).

Sander & Steffens (1997) observan dilataciones vesiculares en cilios de la tráquea de pollos expuestos a concentraciones de formaldehído; Morganroth (1980)

relaciona estas dilataciones con exposiciones de dióxido de azufre, mientras que Chang *et al.* (1988) dicen que son provocadas por NO_2 y O_3 .

Las alteraciones patológicas del citoplasma de células secretoras semejantes a secreciones apocrinas y procesos de exocitosis observadas y que en algunos organismos se encuentran acompañadas de vacuolización, pueden haber sido ocasionados por el efecto de los aerosoles carbonáceos que constituyeron la fracción más importante de las $PM_{2,5}$ en el invierno de 1997 en la Ciudad de México (Chow, 2002). Similares respuestas se han obtenido: en conejos sometidos a: inhalaciones de aerosoles de agua mineral (Konrádová *et al.* 2001a y 2001b), por hipoxia durante 96 horas en 100 % de humedad y a una temperaturas de 23 °C (Konrádová *et al.*, 2002); y en bronquios tras la administración de acetilcolina que es un potente neurotransmisor (Uhlík *et al.*, 1999).

Es probable que la presencia de aerosoles con cierto contenido de sales minerales y SO_2 pudiera afectar las vías respiratorias altas, debido a una solubilidad mayor de sus componentes; en cambio sustancias menos solubles como el ozono o de menor tamaño (por ejemplo $PM_{2,5}$) llegaran a las partes más distales de la tráquea y pulmón con presencia de ozono, de ahí que se observe una respuesta más general (aunque leve) en la presencia de mucus; en las muestras analizadas durante la temporada de lluvias, de igual forma las interacciones entre los diferentes agentes contaminantes y entre estos con el epitelio respiratorio provocaría alteraciones patológicas, las cuales dependerán tanto del sitio de acción y del tamaño de “gota” en el caso concreto de los bioaerosoles (Kimmel *et al.*, 1997).

En la altitud (Desierto 2870 m y 3180 m) que viven los organismos de ambos parques nacionales se tiene una menor concentración de oxígeno en la atmósfera, aunque las especies estudiadas no deberían manifestar alteraciones por este factor, ya que están adaptadas a este ambiente natural. Sin embargo en futuros estudios esta variable deberá tomarse en cuenta, ya que de ocurrir algún tipo de alteraciones debido a las variaciones de altitud podría conducir a interpretaciones erróneas, especialmente si consideramos la existencia de la migración local de las poblaciones a lo largo de un gradiente altitudinal, la cual sería una respuesta adaptativa (forma de escape) de éstas ante las agresiones ambientales.

Las células secretoras con abundante retículo endoplasmático agranular están relacionadas con procesos de detoxificación de los compuestos xenobióticos (Man & Hulbert, 1988); algunos autores mencionan la presencia de células clara como sustento de gránulos de secreción del tipo neuroendocrino en el tracto respiratorio en respuesta a

una acción continuada de gases irritantes. En el análisis realizado en **SEM** no se puede concluir si este tipo de células existen o no, ya que al ser expulsadas, son difíciles de identificar aun cuando se detecta la clara presencia de gránulos y secreciones de diferente morfología.

Sin embargo en el análisis ultraestructural se observan células con abundante retículo endoplasmático, acompañadas de una gran cantidad de mitocondrias en diversos estados degenerativos; es posible que la presencia de dilataciones citoplasmáticas sean un mecanismo de eliminación del retículo endoplasmático liso dañado (SER) y a su vez estados iniciales de vacuolización sean indicios de permeabilidad plasmática (Van Winkle *et al.*, 1999).

Los gránulos electrodensos de diferente morfología distribuidos en el citoplasma por un lado son propios de las actividades secretoras de la célula; aunque su disposición en la lámina basal podría corresponder tanto a procesos de estimulación neural como a heterolisosomas. De igual forma la presencia de inclusiones lipídicas y gránulos de secreción en la zona apical de las células (figura 55 y 56) sugieren diferencias en las condiciones ambientales (Nadel *et al.*, 1979).

Es indispensable un análisis específico para confirmar tales suposiciones. No obstante Calderón-Garcidueñas *et al.* (2001b) en el epitelio nasal de los niños residentes en la zona suroeste de la Ciudad de México reportan la presencia de heterolisosomas y lo atribuyen a la influencia del material particulado.

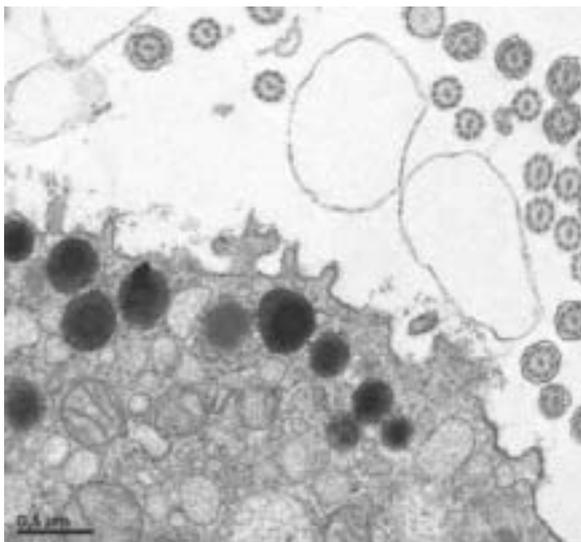


Figura 55. Obsérvese la presencia de gránulos electrodensos dispuestos en la zona apical.

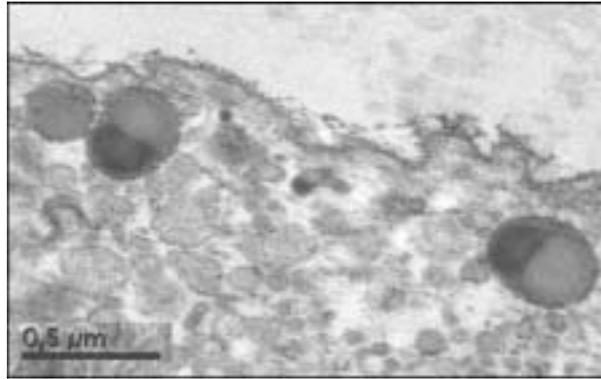


Figura 56. Obsérvese la presencia de gránulos formados por dos fracciones de distinta electrodensidad y posiblemente de glucolípidos.

Los gránulos de secreción electrodensos cuyo aspecto variable es apenas perceptible en el microscopio electrónico sugiere diferencias en la naturaleza de los productos de secreción de los diferentes tipos celulares (serosas o mucosas) con diferentes grados de maduración y contenido a base de sialomucinas y sulfomucinas, que pueden ser interpretados como una respuesta a las diferentes agresiones ambientales. Se ha observado que exposiciones a SO_2 cambian la naturaleza de las glucoproteínas secretadas (Reid & Jones, 1980); inoculaciones de LPS producen un alto contenido de sulfomucinas y bajo contenido de de glucoproteínas neutras (Shimizu *et al.* 2001) en tanto que Llacuna *et al.* (1993) detectan un aumento de gránulos de secreción en *Apodemus sylvaticus* expuestos a contaminantes generados por una central térmica.

La posibilidad de que lo mencionado anteriormente sea una característica de las especies estudiadas no debe descartarse. Diversos estudios han demostrado que la naturaleza de las mucinas es variable entre especies (Man & Hulbert, 1988). La ausencia de estructuras secretoras puede considerarse como una alteración degenerativa y no como la manifestación de la actividad secretora de la célula (Morganroth 1980); en algunas zonas de las muestras analizadas se observan células necróticas, lo que reflejaría estados más avanzados de alteración celular.

Los microvillis con un glicocálix laxo, indicios de gran actividad celular, cuerpos multivesiculares y desmosomas son en parte características iniciales de lesiones neoplásicas y no neoplásicas reportadas generalmente en pulmón (Hammar, 1990; Wang, 1990b). Sin embargo dado el tipo de análisis realizado, así como la escasa presencia de desmosomas en las muestras analizadas en relación a la que se debe de

manifestar en lesiones cancerosas, se requiere de una evaluación continuada con análisis histoquímicos.

La mayor parte de las investigaciones sobre el efecto de los contaminantes han sido realizados en especies libres de patógenos y en condiciones controladas de estabulación, por lo tanto se desconoce su efecto en especies que albergan de forma natural una serie de microorganismos, con los cuales probablemente han desarrollado relaciones adaptativas parásito-huésped que conlleva al desarrollo de mecanismos naturales de protección contra infecciones bacterianas y víricas.

Experimentos en cultivos celulares muestran que durante los procesos inflamatorios o las infecciones bacterianas se observan alteraciones ciliares (Tsang *et al.*, 1993 y 1994). Los estudios experimentales en humanos sugieren que la exposición a dióxido de nitrógeno y aerosoles ácidos puede alterar los mecanismos de defensa específicos del huésped, afectando en mayor grado a organismos con enfermedades preexistentes en el aparato respiratorio y en el circulatorio (Forastiere *et al.*, 1992); en humanos deficiencias en los niveles de inmunoglobulina pueden ocasionar disminuciones en la limpieza mucociliar (Mossberg *et al.*, 1982).

Es posible que el efecto de gases oxidantes afecte la respuesta inmunitaria y ocasione un incremento de las infecciones bacterianas a nivel de nasofaringe, extendiéndose los procesos infecciosos en las zonas más externas de la tráquea, ocasionando hiperplasia de células mucosas y reducción de cilios en zonas localizadas; favoreciendo la entrada de contaminantes que den como resultado las alteraciones observadas.

La ausencia de brazos de dineina y presencia de trasposiciones de los microtúbulos son más comunes en cilios mutantes (Afzelius, 1981); Torkkeli *et al.* (1998) señalan que acortamientos en los brazos de dineina no son frecuentes en enfermedades del tracto respiratorio; aunque cuando esto ocurre, está asociado con un pobre transporte mucociliar y orientación ciliar anómala que igualmente se puede dar como un comportamiento secundario y no como la causa primaria de las infecciones. Iongh & Rutland (1995) proponen que para una correcta evaluación de tales alteraciones se deben incluir análisis funcionales y ultraestructurales que incluyan la caracterización de enfermedades preexistentes

Gulisano *et al.* (1997) reportan en corderos expuestos a contaminación atmosférica una mayor cantidad de células secretoras activas, hipersecreción de mucus y daño morfológico en las células ciliadas que se incrementan en función del tiempo de

exposición y de los niveles de contaminación, aun cuando estos dos parámetros se encuentren dentro de los límites permisibles; y concluyen que muy probablemente los efectos de la contaminación aérea son subestimados y se incrementan las infecciones bacteriales.

Bruno *et al.* (1999) señalan que la presencia de un 5 % de cilios compuestos y de un 7% de alteraciones en la configuración del axonema no parecen interferir con la actividad ciliar normal, pero es posible que las alteraciones en conjunto lleguen a ocasionar variaciones en la frecuencia del movimiento ciliar y una continua renovación celular, originando un mayor gasto de energía en los procesos de reparación lo que por otra parte explicaría las alteraciones mitocondriales observadas en los organismos semejantes a estados de ayuno.

La capacidad de respuesta del organismo a las alteraciones provocadas por los diferentes contaminantes de la atmósfera del Valle de México impedirá conocer los efectos reales de éstos ya que en parte dependen del estado inmunológico del individuo analizado como del tiempo transcurrido entre la exposición y el análisis.

Si bien todas las poblaciones estudiadas son susceptibles de ser afectadas por los contaminantes cada individuo tiene la capacidad de desarrollar mecanismos de adaptación para reducir sus efectos, bien sea por modificaciones en su actividad o sus hábitos alimenticios; son conocidas ampliamente las propiedades antioxidantes de diversas especies vegetales, por lo tanto los cambios en la cobertura vegetal podrían afectar el tipo y la calidad de alimento, reduciendo o aumentando el aporte necesario de oligoelementos imprescindible para un buen funcionamiento inmunológico.

3.6 CONCLUSIONES.

No se obtuvieron diferencias significativas en el porcentaje del área ocupada por células ciliadas en *M. mexicanus*, *P. melanotis* y *P. difficilis*.

En las tres especies se encontró:

- El desarrollo de estados de hiperplasia de células mucosas en el espacio (parques nacionales) y tiempo (épocas del año).
- La presencia de cilios compuestos durante todo el muestreo, cuyas frecuencias relativas son muy similares en el espacio y a lo largo del tiempo.
- Una gran variedad de alteraciones ciliares y epiteliales con independencia de la zona de captura y temporada del año.

Los resultados reflejan que los individuos fueron expuestos a diferentes condiciones ambientales desfavorables, las cuales a su vez tienen una gran variabilidad espacio-temporal durante el período de estudio; los efectos de las mismas se dan en varios sitios de acción, debido tanto a las propiedades físico-químicas y concentraciones de los contaminantes como a la respuesta de los organismos que es ayudada por las circunstancias prevalecientes en el medio.

La incidencia de las alteraciones observadas del epitelio traqueal sugiere que se pueden presentar deficiencias en la retención de los contaminantes atmosféricos.

La escasa diferencia entre las dos zonas de estudio puede ser producto de exposiciones similares a agentes irritantes. Sin embargo posiblemente existieron diferencias en las tasas de mortalidad de las poblaciones de los dos parques, de modo que los individuos más afectados no sobreviven debido las estresores naturales (pérdida de cubierta vegetal, escasez o mala calidad del alimento obtenido, etc); y que el efecto de dichos agentes fuera más elevado en una zona que en otra enmascarando las posibles diferencias.

Cualquiera de las alteraciones ultraestructurales observadas pueden ser producidas por diversos contaminantes a los que potencialmente están expuestos los pequeños roedores estudiados, entonces los resultados obtenidos a este nivel no son concluyentes para determinar la sustancia contaminante específica de la mezcla de agentes que provoca las alteraciones del epitelio traqueal de cada especie.

La gran diversidad de alteraciones en el epitelio traqueal de las tres especies estudiadas probablemente es consecuencia de la influencia de diversos agentes irritantes. Las diferencias estadísticas son escasas entre las temporadas del año y áreas de trabajo con respecto a la frecuencia de incidencia de las lesiones entre época y zona de estudio que requieren una evaluación detallada con análisis histoquímico e inmunológico en especial debido a la imposibilidad de conocer la concentración y tipo de contaminante que están respirando, así como la existencia de enfermedades preexistentes y su posible incremento y si son la causa inicial o consecuencia de la exposición a contaminantes y con ello favorecer la entrada de material particulado al pulmón.

3.7 BIBLIOGRAFÍA.

- Adams, L. G. & J. W. Templeton. 1998. Genetic resistance to bacterial diseases of animals. *Revue scientifique et technique, International Office of Epizootics* 17(1):200-219.
- Afzelius, B. A. 1981. Immotile cilia syndrome and ciliary abnormalities induced by infection and injury. *American Review of Respiratory Disease* 124(1):107-109.
- Afzelius, B. A. 1985. The immotile-cilia syndrome: a microtubule-associated defect *CRC Critical Reviews in Biochemistry* 19(1):63-87.
- Al-Haddawi, M. H., S. Jasni, M. Zamri-Saad, A.R. Mutalib, A.R. Sheikh-Omar. 1999. Ultrastructural pathology of the upper respiratory tract of rabbits experimentally infected with *Pasteurella multocida* **A:3**. *Research in Veterinary Science* 67(2):161-168
- Baez, A. P., R. Belmont & H. Padilla. 1995. Measurements of formaldehyde and acetaldehyde in the atmosphere of Mexico City. *Environmental Pollution* 89(2):163-167.
- Bauer, L. I. De. 1972. Uso de plantas indicadoras de aeropolutos en la ciudad de México. *Agrociencia* 9(D):139-141.
- Biozzi, G., D. Mouton, C. Stiffel & Y. Bouthillier. 1984. A major role of the macrophage in quantitative genetic regulation of immunoresponsiveness and anti-infectious immunity. *Advances in immunology* 36(1):189-234.
- Blanquart, C., I. Giuliani, O. Houcine, C. Guennou, C. Jeulin & F. Marano. 1995. In vitro exposure of Rabbit tracheal epithelium to SO₂: Effects on morphology and ciliary beating. *Toxicology in Vitro* 9(2):123-132.
- Boatman, E. S., S. Sato & R. Frank. 1974. Acute effects of ozone on cat lungs. *American Review of Respiratory Disease* 116(4):705-777.
- Boek, W. M., N. Keles, K. Graamans & E. H. Huizing. 1999. Physiologic and hypertonic saline solutions impair ciliary activity in Vitro. *Laryngoscope* 109(3):396-399.
- Bonner, J. C., A. B. Rice, P. M. Lindroos, P. O. O'Brien, K. L. Dreher, I. Rosas, E. Alfaro-Moreno & A. R. Osornio-Vargas. 1998. Induction of the lung myofibroblast PDGF receptor system by urban ambient particles from México

- City. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology* 19(4):672-680.
- Bruno, F., R. R. Dallai, P. Galato, L. Pazzanese & F. Roperto. 1999. Atypical cilia in the tracheal epithelium of healthy water buffaloes (*Bubalus bubalis*) *Journal of Comparative Pathology* 121(1):65-70.
- Calderón-Garcidueñas, L., N. Osnaya, A. Rodríguez-Alcaraz & A. Villarreal-Calderón A. 1997. DNA damage in nasal respiratory epithelium from children exposed to urban pollution. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. 30(1):11-20.
- Calderón-Garcidueñas, L., A. Rodríguez-Alcaraz, R. García, G. Barragán, A. Villarreal-Calderón & M. C. Madden. 1999. Cell proliferation in nasal respiratory epithelium of people exposed to urban pollution. *Carcinogenesis* 20(3):383-389.
- Calderón-Garcidueñas, L., R. B. Devlin & F. J. Miller. 2000. Respiratory tract pathology and cytokine imbalance in clinically healthy children chronically and sequentially exposed to air pollutants. *Medical Hypotheses* 55(5):373-378.
- Calderón-Garcidueñas, L., A. Rodríguez-Alcaraz, G. Valencia-Salazar, A. Mora-Tascareño, R. García, N. Osnaya, A. Villarreal-Calderón, R. B. Deblin & T. Van Dyke. 2001a. Nasal Biopsies of children exposed to air pollutants. *Toxicologic Pathology*. 29(5):558-564.
- Calderón-Garcidueñas, L., G. Valencia-Salazar, A. Rodríguez-Alcaraz, T. M. Gambling, R. García, N. Osnaya, A. Villarreal-Calderón, R. B. Devlin & J. L. Carson. 2001b. Ultrastructural nasal pathology in children chronically and sequentially exposed to air pollutants. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology* 24(2):132-138.
- Carrada-Bravo, T. 2002. Patofisiología y patogenia de la bronquiolitis viral. Avances recientes y perspectivas. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias México* 15(3):172-191.
- Carson, J.L., A. M. Collier, S.H. Hu, C.A. Smith & P. Stewart. 1987. The appearance of compound cilia in the nasal mucosa of normal human subjects following acute, in vivo exposure to sulphur dioxide. *Environmental Research* 42(1):155-165.
- Chilvers, M. A. & C. O'Callaghan. 2000. Local mucociliary defence mechanisms. *Paediatric Respiratory Reviews* 1(1):27-34.
- Chitano, P., J. J. Hosselet, C. E. Mapp, L. M. Fabbri. 1995. Effect of oxidant air pollutants on the respiratory system: insights from experimental animal

- research. European Respiratory Journal Series “Respiratory Effects of air Pollution” Edited by P. Paoletti and U. Costabel. 8(6):1357-1371.
- Chow, J.C., J. G. Watson, S. A. Edgerton, E. Vega. 2002. Chemical composition of PM_{2,5} and PM₁₀ in Mexico City during winter 1997. *The Science of the Total Environment* 287(1):177-201.
- Chang, L. Y, R. R. Mercer, B. L. Stockstill, F. J. Miller, J. A. Graham, J. J. Ospital & J. D. Crapo. 1988. Effects of low levels of *NO*₂ on terminal bronchiolar cells and its relative toxicity compared to *O*₃. *Toxicology and Applied Pharmacology* 96(3):451-464.
- Delgado-Rodríguez, A., R. Ortiz-Marttelo, R. Villalobos-Pietrini, S. Gómez-Arrollo & U. Graf. 1999. Genotoxicity of organic extracts of airborne particles in somatic cells of *Drosophilla melanogaster*. *Chemosphere* 39(1):33 – 43.
- Dustin, P. 1978. *Microtubules* with a foreword by K. R. Porter. Springer-Verlang (Ed) New York. 482 pp.
- Dungworth, D. L., W. L. Castleman, C. K. Chow, P.W., Mellick, M. G. Mustafa, B. Tarkington & W.S., Tyler. 1975. Effects of ambient levels of ozone on monkeys. *Federation Proceeding* 34:1670-1674.
- Ehouman A, M. C. Pinchon, E. Escudier & J. F. Bernaudin. 1985. Ultrastructural abnormalities of respiratory cilia. Descriptive and quantitative study of respiratory mucosa in a series of 33 patients. *Virchows Arch B: Cell Pathology* 48(1):87-95.
- Fauziah, O., M. D. Purton & S. E. Solomon. 1996. Scanning electron microscopy of the respiratory epithelium of chicks fumigated with formaldehyde. *British Poultry Science* 37: 563-570
- Foster, J. E., K. Gott, M. R. Schuyler, W. Kozak & Y. Tesfaigzi. 2003. LPS-Induced neutrophilic inflammation and Bcl-2 expression in metaplastic mucous cells. *American Journal of Physiology Lung Cellular and Physiology* 285(2):L405-414.
- Forastiere, F., G. M., Corbo, P. Michelozzi, R. Pistelli, N. Agabiti, G. Brancato, G Ciappi & C.A. Peruccil. 1992. Effects of environment and passive smoking on the respiratory health of children. *International Journal of Epidemiology* 21(1):66-73.

- Fortoul, V. G. & Barrios R. P. 1989. Efectos de los oxidantes sobre vías respiratorias. En: Reunión sobre Salud y Ambiente en la Ciudad de México. México. Secretaría de la Defensa Nacional y Departamento del Distrito Federal 71-79 p
- Fowlie AJ, Grasso P, Benford DJ. 1990. The short-term effects of carcinogens and sulphur dioxide on the nuclear size of rat nasal epithelial cells. *Journal and Applied Toxicology* 10:29-38.
- Galati, P., F. Roperto, G. De Vico, B. Restucci & F. D'Andrea. 1991. Atypical cilia in the tracheal epithelium of healthy horses. *Journal of Comparative Pathology* 105(1):185-190.
- Gereda, J. E., D. Y. M. Leung, A. Thatayatikom, E. Streib, M. R. Price, M. D. Klinnert & A. H. Liu. 2000. Relation between house-dust endotoxin exposure, type 1 T-cell development, and allergen sensitisation in infants at high risk of asthma. *The Lancet* 355(5):1680-1683.
- González-Santander, R. 1968. Técnicas de Microscopia Electrónica en Biología. Aguilar (Ed). Madrid, 666 pp.
- Górny, R. L & J. Dutkiewicz. 1998. Evaluation of microorganisms and endotoxin levels of indoor air in living rooms occupied by cigarette smokers and non-smokers, Sosnowiec, Upper Silesia, Poland. *Aerobiologia* 14(1):235-239.
- Górny, R. L., J. Dutkiewicz & E. Krysi ska-Traczyk. 1999. Size Distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 6(1):105-113.
- Górriz, A. S. Llacuna, M. Durfort J. Nadal. 1994. A study of the ciliar tracheal epithelium on passerine birds and small mammals subjected to air Pollution; Ultrastructural study. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 27(1):137-142.
- Górriz, F. M. A. 1995. Efectes de la Contaminació atmosfèrica a *Apodemus sylvaticus* i *Mus musculus*. Universitat de Barcelona Tesis Doctoral. 228 pp.
- Gulisano M., S. Marceddu, A. Barbaro, A. Pacini, E. Buiatti, A. Martini & P. Pacini. 1997. Damage to the nasopharyngeal mucosa induced by current levels of urban air pollution: a field study in Iams. *European Respiratory Journal* 10(2):567-572.
- Hagiwara H., S. Shibasaki & N. Ohwada. 1990. Ultrastructural study of ciliated cyst in the human uterine tube epithelium. *ACTA Anatomica (Basel)* 139:272-277.

- Hagiwara H. 1995. Electron microscopic studies of ciliogenesis and ciliary abnormalities in human oviduct epithelium. *Journal of Anatomy Embryology* 100(2):451-459.
- Hagiwara, H., N. Ohwada, T. Aoki & K. Takata. 2000. Ciliogenesis and ciliary abnormalities. *Medical Electron Microscopy* 33(1):109-114.
- Hammar, S. P. 1990. Diagnostic Pathology in Electron microscopy of the lung. (D. E. Schraufnagel ed). *Lung biology in health and disease* 48:344-427.
- Harkema, J. R., J. A. Hotchkiss, A. G. Harmsen & R.F. Henderson. 1987. In vivo effects of transient neutrophil influx on nasal respiratory epithelial mucosubstances: Quantitative histochemistry. *American Journal of Pathology* 130(3):605-615.
- Hashimoto, K., Y. Ishii, Y. Uchida, T. Kimura, K. Masuyama, Y. Morishima, K. Hirano, A. Nomura, T. Sakamoto, H. Takano, M. Sagai & K. Sekizawa. 2001. Exposure to Diesel Exhaust Exacerbates Allergen-induced Airway Responses in Guinea Pigs. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 164(10):1957-1963.
- Henderson, R.F. , A. Hotchkiss, I. Y. Chang, B. R. Scott & J. R. Harkema. 1993. Effect of Cumulative Exposure on Nasal Response to Ozone. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 119(1):59- 65.
- Hext, P.M., K.O. Rogers & G. M. Paddle. 1999. The health effects of PM2.5 (including ultrafine particles). Central Toxicology Laboratory, CONCAWE, Brussels 105 pp.
- Ho, J. C., K. N. Chan, W. H. Hu, W. K. Lam, L. Zheng, G. L. Tipoe, J. Sun, R. Leung & K. W. Tsang. 2001. The effect of aging on nasal mucociliary clearance, beat frequency, and ultrastructure of respiratory cilia. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*. 163(4):983-988.
- Holzmann, D., M. Ott & H. Felix. 2000. Diagnostic approach to primary ciliary dyskinesia review. *European Journal of Pediatrics* 159(1):95-98.
- Hotchkiss, J.A., J. R. Harkema, J. D. Sun & R. F. Henderson. 1989. Comparison of acute ozone-induced nasal and pulmonary inflammatory responses in rats. *Toxicology and applied pharmacology* 98(2):289-302.
- Hotchkiss, J. A. & J. R. Harkema. 1992. Endotoxin or cytokines attenuate ozone-induced DNA synthesis in rat nasal transitional epithelium. *Toxicology and Applied Pharmacology* 114(2):182-187.

- Iongh, R., A. Ing & J. Rutland. 1992. Mucociliary function, ciliary ultrastructure, and ciliary orientation in Young's syndrome. *Thorax* 47(1):184-187.
- Iongh, R. & J. Rutland. 1995. Ciliary Defects in healthy Subjects, Bronchiectasis and Primary Ciliary Dyskinesia. *American Journal of respiratory and Critical Care of Medicine* 151():1559-1567.
- Jabbour, A.J., L.C. Altman, T. N. Wight & D.L. Luchtel. 1998. Ozone alters the Distribution of η_1 integrins in cultured primate Bronchial epithelial cells. *American Journal Respiratory of Cell Molecular Biology*. 19:357-365.
- Joki, S., S. Veijo, T. Koskela, E. Toskala, M. A. Bray & J. Nuutinen. 1996. Effect of leukotriene D4 on ciliary activity in human, guinea-pig and rat respiratory mucosa. *Pulmonary Pharmacology* 9(4):231-238.
- Karnowsky, M.J. 1965. A formaldehyd-glutaraldehydfixative of high osmolality for use in electron microscopy. *Journal of Cell biology*. 27(1):213-236.
- Kehrl, H. R., L. M. Vincent, R. J. Kowalsky, D. H. Horstman, J. J. O'Neil, W. H. McCartney & P. A. Bromberg. 1987. Ozone exposure increases respiratory epithelial permeability in humans. *American Review of Respiratory Disease*. 135:1124-1128.
- Kenneth, W., T. Tsang, G. Tipoe, J. Sun, J. C. M. Ho, B. Lam, L. Zheng, G. C. Ooi, M. Ip & W. Lam. 2000. Severe bronchiectasis in patients with "cystlike" structures within the ciliary shafts. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 161(2):1300-1305.
- Kimmel, T. A., L. Chi Chen, M. C. Bosland & C. Nadziejko. 1997. Influence of acid aerosol droplet size on structural changes in the rat lung caused by acute exposure to sulphuric acid and ozone. *Toxicology and Applied Pharmacology* 144(2):348-355.
- Konrádová, V., L. Vajner, J. Uhlík & J. Zocová. 2001a. Changes in the tracheal epithelium during 24 hours after inhalation of mineral water. *Acta Veterinaria Brno* 70(1):167-172.
- Konrádová, V., L. Vajner, J. Uhlík & J. Zocová. 2001b. Tracheal epithelium of rabbits after repeated inhalations of mineral water aerosol. *Acta Veterinaria Brno* 70(2):391-396.
- Konrádová, V., J. Uhlík, L. Vajner, J. Herget & J. Adášková. 2002. Exposure to hypoxia injures tracheal epithelium (ultrastructural study) *Veterinární Medicine Czech* 47(9):270-276.

- Kumazawa, R., F. Watari, N. Takashi, Y. Tanimura, M. Uo & Y. Totsuka. 2002. Effects of Ti ions and particles on neutrophil function and morphology. *Biomaterials* 23(17):3757-3764.
- Llacuna, S., A. Górriz, M. Durford & J. Nadal. 1993. Effects of air passerine birds and small mammals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 24(1):59-66.
- Majó, N., M. Martí, C. J. O'Loan, G. M. Allan, A. Pagès. 1996. Ultrastructural study of turkey rinotracheitis virus infection in turbinates of experimentally infected chickens. *Veterinary Microbiology* 52(1):37- 48.
- Man, S. F. P. & W. C. Hulbert. 1988. Airway repair and adaptation to inhalation injury in pathophysiology and treatment of inhalation injuries. (J. Loke ed). *Lung Biology in Health and Disease Series*. 34:1-47.
- McKinney, W. J., R. H. Jaskot, J. H. Richards, D. L. Costa & K. L. Dreher. 1998. Cytokine mediation of ozone-induced pulmonary adaptation. *American Journal of respiratory Cell Molecular Biology* 18(2):696-705.
- Mariassy, A. T., W. M. Abraham, R. J. Phipps, M. W. Sielczak & A. Wanner. 1990. Effect of ozone on the postnatal development of lamb mucociliary apparatus. *Journal of Applied Physiology* 68(6):2504-2510.
- Mestres, P. 1998 Técnicas de microscopia correlativa en biología. Conferencia impartida en: Curso Práctico de Técnicas Avanzadas de Inmunolocalización para Microscopia Electrónica, Sociedad Española de Microscopia Electrónica (SEME) con la colaboración de los servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona y Leica.
- Monticello, T. M., F. J. Miller & K. T., Morgan. 1991. Regional increases in rat nasal epithelial cell proliferation following acute and subchronic inhalation of formaldehyde. *Toxicology and Applied pharmacology* 111(2):409-421.
- Morganroth, K. 1980. Morphological alterations to the bronchial mucosa in high - dosage long term exposure to sulfur dioxide. *Respiration* 39(1):39-48.
- Mossberg B., J. Björkander, B. A. Afzelius & P. Camner. 1982. Mucociliary clearance in patients with immunoglobulin deficiency. *European Journal of Respiratory Disease* 63(1):570- 578.
- Nadel, J. A., B. Davis, R. J. Phipps. 1979. Control of Mucus secretion and Ion transport in airways. *American Reviews and Physiology* 41(1):369-381.

- Nikula, K. J., D. W. Wilson, S. Giri, C. G. Plopper & D. L. Dungworth. 1988. The response of rat tracheal epithelium exposure. *American Journal of Pathology* 131(2):373-384.
- Norusis, M. J. 1999. SPSS professional statistic 10.0 SPSS Inc. Chicago.
- O'Grady, N. P., H. L. Preas, J. Pugin C. Fiuza, M. Tropea, D. Reda, S. M. Banks & A. F. Suffredini. 2001. Local inflammatory responses following bronchial endotoxin instillation in humans. *American Journal Respiratory of Critical Care and Medicine* 163(7):1591-1598.
- Panuska, J. R., F. Midulla & N. M. Cirino. 1990. Virus-induced alterations in macrophage production of tumor necrosis factor and prostaglandin E2. *American Journal of Physiology. Lung Cell Molecular Physiology* 259(3):L396-402.
- Ramírez-Pulido, J., I. Lira, S. Gaona, C. Mudespacher & A. Castro. 1989. Manejo y Mantenimiento de Colecciones Mastozoológicas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D. F. 127 p.
- Reid, L. & Jones. 1980. Mucous membrane of respiratory epithelium. *Environments Health Prospect* 35(1):113-120.
- Reynolds, E. S. 1963. The use of the lead citrate at high pH as an electron opaque stain in electron microscopy. *Journal of Cell Biology*. 17(1):208-212.
- Roperto, F., P. Galati, S. Papparella, M. Campofreda & P. Rossacco. 1991. Atypical cilia in the oviductal epithelium of healthy prepubertal gilts. *American Journal Veterinary Research* 52(1):101-103.
- Roperto, F., G. de Vico, P. Maiolino, F. P., Marotta, B. Restucci & A. Tranquillo. 1995. Atypical cilia in the oviductal epithelium of healthy cats. *Journal of Submicroscopy Citology and Pathology* 27(2):267-270.
- Roperto, F., F. P., Marotta, G. de Vico, S. Damiano & P. Maiolino. 1996. Pathological cilia in the tracheal mucosa of apparently healthy pigs. *Journal of Submicroscopy Citology and Pathology* 28(4):597 – 599.
- Roperto, F. M. Langella, G. Oliva, B. Restucci, R. E. Varricchio & R. Dallai. 1998. Ultrastructural and freeze fracture cilia morphology of trachea epithelium in apparently healthy small ruminants. *Journal of Submicroscopy Cytology Pathology* 30(1):65–69.
- Rutland, J. & R. Iongh. 1990. Random ciliary orientation. A cause of respiratory disease. *New England Journal of Medicine* 323:1681-1684.

- Rossmann, C. M., R. M. Lee, J.B. Forrest & M. T. Newhouse. 1984. Nasal ciliary ultrastructure and function in patients with primary ciliary dyskinesia compared with that in normal subjects with various respiratory diseases. *American Review Respiratory Disease* 129(1):161–167.
- Sander, J. E. & W. L. Steffens. 1997. Transmission electron microscopic demonstration of abnormalities on the tracheal cilia of chicks exposed to formaldehyde during hatching. *Avian Disease* 41(4):977-980.
- Schierhorn, K., M. Zhang, C. Matthias & G. Kunkel. 1999. Influence of ozone and nitrogen dioxide on histamine and interleukin formation in a human nasal mucosa culture system. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology* 20:1013-1019.
- Schwartz, L. W., D. L. Dungworth, M. G. Mustafa, B. K. Tarkington & W. S. Tyler. 1976. Pulmonary responses of rats to ambient levels of ozone (Abstract). *Laboratory Investigation* 34:565.
- Shi, Z. Q, M. J. Fischer, G. T. De Sanctis, M. Schuyler & Y. Tesfaigzi. 2002. IFN γ but not Fas mediates reduction of allergen-induced mucous cell metaplasia by inducing apoptosis. *Journal of immunology* 168(9):4764- 4771.
- Sih, T. 1999. Correlation between respiratory alterations and respiratory diseases due to urban Pollution. *International Journal of Paediatric Otorhinolaryngology* 49 (Suppl. 1):S261–S267.
- Shimizu, T., H. Hirano, S. Shimizu, C. Kishioka, Y. Sakakura & Y. Majima 2001. Differential properties of mucous glycoproteins in rat nasal epithelium. A comparison between allergic inflammation and lipopolysaccharide stimulation. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine* 164(10):1077-1082.
- Smallman L. A. & J. Gregory. 1986. Ultrastructural abnormalities of cilia in the human respiratory tract. *Human Pathology* 17:848-855.
- Spurr, A. R. 1969. A low viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *Journal of Ultrastructure Research* 26(1)36-43.
- Sterner-Kock, A., M. Kock, R. Braun & D. M. Hyde. 2000. Ozone-induced epithelial injury in the ferret is similar to nonhuman primates. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 162(3):1152-1156.
- Stutts, M. J. & P.A. Bromberg. 1986. Effects of ozone on airway epithelial permeability and ion transport. *Toxicological letter* 35(2):315-319.

- Tarkington, B. K., R. Wu, W. Sun, K. J. Nikula, D. W. Wilson, J. A. Last. 1994. In vitro exposure of tracheobronchial epithelial cells and of tracheal explants to ozone. *Toxicology* 88(1):51-68.
- Tesfaigzi, Y, M.J. Fischer, A.J. Martin & J. Seagrave. 2000. Bcl-2 in LPS- and allergen induced hyperplastic mucous cells in airway epithelia of Brown Norway rats. *American Journal of Physiology* 279:L1210-L1217
- Torkkeli, T., M. Rautiainen, J. Nuutinen. 1998. Long-term follow-up of the clinical relevance of short outer dynein arms in human nasal cilia. *European Archives of Otorhinolaryngology* 255(10):495-498.
- Tsang, K. W., A. Rutman, K. Kanthakumar, J. Belcher, V. Lund, D. E. Roberts, P. J. Cole. & R. Wilson. 1993. *Haemophilus influenzae* infection of human respiratory mucosa in low concentrations of antibiotics. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 48(1):201-207.
- Tsang, K. W., A. Rutman, A. Dewar, E. Tanaka, V. Lund, P. J. Cole & R. Wilson. 1994. *Pseudomonas aeruginosa* infection of human respiratory mucosa in vitro. *European Respiratory Journal* 7(6):1746-1753.
- Uhlík, J., V. Konrádová, L. Vajner, J. Zocová. 1999. Ultrastructure of the epithelium of terminal bronchioles in rabbits after the administration of acetylcholine. *Acta Veterinaria. Brno* 68(1):179–184.
- Van Winkle, L. S., Z. A. Johnson, S. J. Nishio, C. D. Brown & C. G. Plopper. 1999. Early Events in Naphthalene-Induced Acute Clara Cell Toxicity Comparison of Membrane Permeability and Ultrastructure. *American Journal of Respiratory Cell And Molecular Biology* 21(1):44–53.
- Villalobos-Pietrini, R., S. Blanco & S. Gómez-Arrollo. 1995. Mutagenicity Assessment of airborne particles in México City. *Atmospheric Environment*. 29(4):517-524.
- Wang, N. S. 1990a. Scanning electron Microscopy of the lung. In *Electron microscopy of the lung*. (D. E. Schraufnagel ed.). Lung biology in health and disease. Lung biology in health and disease collection. 48:429-489
- Wang, N. S. 1990b. Diagnostic pathology in electron microscopy of the lung. (D. E. Schraufnagel ed.) *Lung biology in health and disease* 48:344-427.
- Watson, M. L. 1958. Staining of tissue sections for electron microscopy with heavy metals. *Journal of Biophysical and Biochemical Cytology* 9(4):475-478.

- Young, T. F., E. L. Thacker, B. Z. Erickson, R. F. Ross. 2000. A tissue culture system to study respiratory ciliary epithelial adherence of selected swine mycoplasmas. *Veterinary Microbiology* 71(1):269-279.
- Zulkifli, I., O. Fauziah, A.R. Omar, S. Shaipullizan & A. H. Siti Selina. 1999. Respiratory epithelium, production performance and behaviour of formaldehyde-exposed broiler chicks. *Veterinary Research Communications* 23(1):91-99
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical analysis*. 2ed. Prentice Hall International (Ed). U.S.A. 718 pp.

4. ESTUDIO HISTOPATOLÓGICO.

4.1 RESUMEN.

Se evaluaron las alteraciones morfológicas en órganos implicados en la respiración, el metabolismo y desintoxicación y excreción de contaminantes (pulmón, hígado, bazo y riñón) a través del tiempo en organismos de los parques nacionales Desierto de los Leones y Cumbres del Ajusco.

La principal patología pulmonar encontrada en *Peromyscus melanotis*, *Peromyscus difficilis* y *Microtus mexicanus* fue la presencia de neumoconiosis; en donde la mayor parte del material se encontró capturado en el interior de las células del sistema retículo-endotelial (macrófagos), tanto en un número considerable de organismos como en la intensidad. También se encontraron procesos inflamatorios e hiperplasia septal adenomatosa que se presentan principalmente y en grado mayor en las especies procedentes del Desierto, permaneciendo a lo largo del tiempo; en cambio en el Ajusco estas afecciones presentan una clara distribución temporal relacionada con la reducción de contaminantes en la Ciudad de México producto de la lluvia.

En las muestras de hígado de los organismos analizados se detectaron diversas patologías entre las que destacaron los procesos inflamatorios, acompañados por necrosis celular en mayor grado en *P. melanotis*, observándose en *P. difficilis* pigmento en las células de Küpffer, en ambos casos más frecuente e intenso en los individuos del Desierto.

Un hallazgo inesperado en *P. melanotis* fue la presencia de *Toxoplasma gondii* asociado a los casos más evidentes de necrosis e inflamación en los dos sitios de colecta pero con una distribución temporal diferente; en el Ajusco se encuentra de Diciembre a abril mientras en el Desierto se observó de septiembre a abril. Aunque los roedores son el hospedero principal de este endoparásito, fue una sorpresa por la dificultad que entraña el detectarlo en estudios histopatológicos.

Las diferencias significativas en los porcentajes de ocurrencia anual de las patologías observadas en *P. melanotis* se centran en la época seca con excepción de la presencia de nódulos, estas diferencias se presentan en el porcentaje de organismos afectados por *Toxoplasma* y en la presencia de procesos inflamatorios.

El desarrollo de alteraciones renales es notorio en los individuos de *P. melanotis* del Desierto, con una mayor presencia de lesiones y de individuos que las padecieron.

En *M. mexicanus* la única patología a destacar en el hígado son los procesos vinculados con la secreción de glucocorticoides sin que se observara un deterioro orgánico del individuo.

A pesar de la importante carga de material particulado en los pulmones de los animales del Desierto de los Leones, en términos generales y comparativamente la afectación del órgano parece ser mínima, demostrando en este caso que la fagocitosis por macrófagos constituye un eficaz medio de defensa.

A pesar de que los órganos de *P. melanotis* presentan un deterioro, los resultados sugieren que esta especie posee los mecanismos de supervivencia para ser exitosa en los parques nacionales, resistiendo las presiones ambientales y el aparente mayor grado de parasitismo, aunque para confirmar esta conclusión sería necesario realizar estudios de dinámica poblacional en las zonas de trabajo.

4.2 INTRODUCCIÓN.

El sistema respiratorio es el primero en presentar alteraciones provocadas por la contaminación atmosférica, de ahí que la mayoría de las investigaciones se enfocan en los efectos ocasionados en la mucosa nasal y el pulmón de mamíferos, donde se han reportado: aumento de neutrófilos y elevada presencia de macrófagos como respuesta inicial a exposiciones de gases oxidantes (Bassett *et al.*, 1988), y lesiones de tipo necrótico (Stephens *et al.*, 1974a & 1974b; Pino *et al.*, 1992; Sterner-Kock *et al.*, 2000;).

Sin embargo a pesar de la gran cantidad de trabajos que evalúan la relación entre contaminantes atmosféricos y los efectos nocivos en mamíferos, se tienen resultados contradictorios ya que algunas investigaciones encuentran esta relación de causa-efecto y otras no descubren una clara relación. Victorin (1992) después de llevar a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica para evaluar la genotoxicidad del ozono, concluye que la inhalación de ozono puede entrañar un riesgo de cáncer, aunque los estudios a los que se refiere reportan posiciones contrarias.

Schins *et al.* (2002) comparan los efectos del material particulado fino ($< 2,5 \mu\text{m}$) y grueso ($10 - 2,5 \mu\text{m}$) en cultivos celulares de macrófagos y células epiteliales, e informan que a igual masa los efectos inflamatorios y citotóxicos de la parte gruesa del material particulado fueron significativamente mayores que los de la parte fina. Sin embargo en el ambiente los contaminantes rara vez actúan por separado por lo que al determinar el daño de las partículas contaminantes se debe considerar su origen y la mezcla en la cual se encuentran inmersas

El origen de los contaminantes influye en el grado y sitio de alteración. Ghio *et al.* (2000) encontró una ligera respuesta inflamatoria en el pulmón de individuos sanos expuestos a partículas ambientales (CAPS); Hashimoto *et al.* (2001) analizaron los efectos de las partículas producto de la combustión de diesel (DEP) y detectaron: acumulación de mucus, incremento tanto en el número de neutrófilos como en las concentraciones de ácido siálico y permeabilidad en las vías aéreas, con un mayor efecto toxico en presencia de ozono (Madden *et al.*, 2000; Oberdörster, 2000). El componente genético y el grado de adaptación, relacionados con el incremento de proteínas antioxidantes como la metalotionina pueden explicar las diferentes respuestas de los organismos de una misma población sometidos a similar estrés oxidante (Hart *et al.*, 1989; Van Bree *et al.*, 1993; Dodge *et al.*, 1994; Oberdörster, 2000; Ohtsuka *et al.*, 2000; Wesselkamper *et al.*, 2000).

Uno de los objetivos al estudiar los efectos de los contaminantes atmosféricos en vertebrados (ratas, ratones, conejos, etc.), es poder llegar a conclusiones que se puedan extrapolar al hombre, sin embargo esto no es tan simple, Oberdörster (2000) compara en humanos y ratas la eficiencia de deposición de partículas en el aparato respiratorio, utilizando los modelos matemáticos de Yeh and Schum (1980) y ICRP (1994), y obtiene que a igual tamaño de partículas inhaladas, la tasa de deposición es el doble en el hombre con respecto a las ratas, señalando que aun cuando son modelos teóricos es necesario realizar estudios al respecto.

En estudios del efecto de la contaminación atmosférica en los habitantes de la de la Ciudad de México se tienen los siguientes resultados: en adultos existen cambios histopatológicos en la mucosa nasal con predominancia de metaplasia escamosa (Viveros-Añorbe & Rivera-Cruz, 1999); en niños la exposición al ozono y en general a los contaminantes atmosféricos está relacionada con el riesgo de contraer enfermedades respiratorias, incrementándose la probabilidad en los asmáticos, llegando a ocasionar disminuciones en la función pulmonar (Castillejos *et al.*, 1992; Romieu *et al.*, 1992, 1995 y 1996; Rico-Méndez *et al.*, 1997); y contradictoriamente Bross-Soriano *et al.* (2001) concluyen que no existe una relación directa entre la presencia de metaplasia escamosa en la mucosa nasal y el habitar en esta ciudad durante 5 años.

En lo que se refiere al aumento en la tasa de morbilidad respiratoria en la Ciudad de México, Rico-Méndez *et al.* (1997) consideran que el ozono no es el responsable del incremento de las enfermedades lo cual difiere totalmente de lo propuesto por la mayoría de los estudios que si estiman al ozono como el responsable de las mismas señalando a las *PST* (partículas suspendidas totales). Rosales-Castillo *et al.* (2001) realizan una revisión de estudios epidemiológicos y concluyen que la contaminación ocasiona las enfermedades respiratorias, sin embargo aun existe el debate de ¿Cuál es el contaminante responsable de los efectos?.

El contenido de metales en las partículas contaminantes sirve como catalizador del estrés oxidativo, pero los mecanismos de defensa pueden disminuir el daño, como ocurre con el hierro que al entrar en el pulmón los macrófagos lo secuestran restringiendo el potencial de este metal de generar radicales libres.

Bonner *et al.* (1998) reportan que las partículas menores de 10 μ (*PM₁₀*) colectadas en la Ciudad de México contienen metales de transición y endotoxinas, por lo que proponen que la exposición a las *PM₁₀* en la Ciudad de México remodelan los espacios (intersticio) de las vías altas de los pulmones aumentando la replicación de miofibroblastos.

Alarie (1989) analizando el pulmón de cerdos de Guinea expuestos a las cenizas de incineradores detectó neumoconiosis, engrosamientos de los septos alveolares y presencia de macrófagos.

En el hígado también se producen daños ocasionados por los contaminantes atmosféricos, en donde se puede observar hipoxia, toxicidad química y estrés oxidativo (Lemasters *et al.*, 1981; Nieminen *et al.*, 1990).

4.3 MATERIAL Y MÉTODOS.

Se realizaron muestreos mensuales de mayo de 1996 a abril de 1997, con capturas de un día de duración en el Parque Nacional Desierto y en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco localizados al suroeste de la Ciudad de México utilizando trampas Sherman cebadas con avena.

Las trampas se colocaron por la tarde y se recogieron a la mañana siguiente. Las estaciones de captura se dispusieron en transectos lineales distribuidos al azar en el sitio seleccionado, con una separación entre trampas de 5 m cubriendo una distancia de 500 m aproximadamente.

Los ejemplares capturados se trasladaron al Laboratorio de Mastozoología de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAMI) en la Ciudad de México, donde se distribuyeron al azar para su análisis patológico y determinación de metales pesados y a un estudio de reproducción en cautiverio. Para cada ejemplar colectado se registró en vivo: zona de colecta, especie, número individual, edad, sexo, peso, estado reproductor y medidas anatómicas.

Los animales capturados se sacrificaron por dislocación cervical. De cada ejemplar se obtuvieron de inmediato muestras de pulmón, hígado, bazo y riñón; se fijaron con formol al 10 % durante un lapso 12 a 24 h. para su posterior deshidratación en una serie ascendente en concentraciones de etanol e inclusión en parafina Paraplast (LANCER).

Una vez obtenidos los bloques de parafina, en el Laboratorio del Departamento de Biología Animal (Vertebrados) de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona, se procedió a la obtención de cortes de 5 μ m de grosor con un micrótomo NIPPON KOKI WORKS, Co Ltd. Los cortes se colocaron en un baño para histología con agua destilada y algunos mg de gelatina disuelta, a 45°C - 50°C recogién dose posteriormente con un portaobjeto, dejándolo secar sobre la plataforma periférica del baño y se les aplico la tinción

con hematoxilina y eosina. La observación de las secciones se realizó con un microscopio óptico LEICA LEITZ DM RB.

La severidad y/o extensión de las lesiones presentes en cada tejido se cuantificaron mediante una escala arbitraria con orden ascendente (variable discreta), cuyos valores son 0, 1, 2 y 3, donde el primer valor significa sin lesión y el último es el estado más severo y/o extenso de la lesión; y se calculó la frecuencia mensual por lesión observada y total. Para determinar el estado general del órgano evaluado por individuo se obtuvo un índice de gravedad por cada lesión detectada y estado general del órgano evaluado, a partir del promedio obtenido en la escala arbitraria del total de organismos estudiados por lesión y el total de lesiones observado multiplicado por 100 por periodo de tiempo (mensual, estacional y anual).

La variación en el tiempo de los datos registrados se determinó en forma mensual, considerando el periodo de lluvias (mayo–octubre) y seco (noviembre-abril) (Batzli & Pitelka, 1971) y de forma anual.

Para definir las diferencias significativas entre épocas del año y sitios de captura se utilizaron las pruebas de X^2 , U de Mann-Whitney según los datos analizados, el nivel de significación utilizado fue de 0,05. (Zar, 1984) con el paquete estadístico SPSS 10.0 (Norusis, 1999).

4.4 NIVELES DE CONTAMINACIÓN.

La información de los niveles de contaminación de la Ciudad de México fueron proporcionados por: la Comisión Atmosférica de la Zona Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México quien tiene a su cargo La Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (**RAMA**) y la Red Manual de Monitoreo Atmosférico y por el grupo de trabajo: “**Cambios atmosféricos y Bosques**”, **COFAN-FAO**, quienes realizan evaluaciones del impacto de la contaminación en especies vegetales del Desierto de los Leones.

Los datos globales de contaminación se encuentran en el capítulo 1 (tablas 2 y 3); los datos presentado en este capítulo (tabla 1) son un promedio obtenido de los 8 días anteriores a la colecta de los ejemplares; los promedios se calcularon considerando el día de diferencia entre las capturas mensuales, como no se tuvieron diferencias significativas entre los datos de los dos parques, se selecciona un solo valor para ambos sitios; debido a que *Microtus*

mexicanus presenta picos de actividad durante el día (Sánchez-Hernández *et al*, 1981) se muestran las medias diurnas y nocturnas de las estaciones de monitoreo Pedregal, Plateros, Tasqueña, Tacuba, Sur, Cuajimalpa y Tlalpán.

Los datos del Desierto proporcionados por “*Cambios atmosféricos y Bosques*”, COFAN-FAO, “*Cambios atmosféricos y Bosques*”, COFAN-FAO, se obtuvieron a partir de los promedios diarios mensuales, desafortunadamente debido a fallos en la corriente eléctrica que originaron valores falsos el número de días considerado por mes es variable.

Tabla 1. Promedio de los niveles de contaminación observados los 8 días previos al día de colecta , considerando las estaciones pertenecientes a la REDMA y RAMA cercanas a la zona de estudio y el promedio mensual de la estación del Desierto por COFAN-FAO.

AÑO	MES	OZONO (ppm)			CO (ppm)		NO ₂ (ppm)		NO _x (ppp)		SO ₂ (ppm)		PM ₁₀ (µg/m ³)	
		DIA	NOCHE	DESIERTO**	DIA	NOCHE	DIA	NOCHE	DIA	NOCHE	DIA	NOCHE	A DIA	A NOCHE
1996	M	0,08	0,03	0,05	2,92	2,28	0,04	0,03	0,07	0,04	0,02	0,01	83,82	79,81
	J	0,06	0,02	0,06	2,36	2,03	0,04	0,03	0,07	0,04	0,02	0,01	77,41	65,96
	J	0,03	0,01	0,05	2,36	1,96	0,03	0,02	0,07	0,05	0,02	0,01	50,53	35,14
	A	0,06	0,01	0,02	3,17	2,17	0,04	0,03	0,07	0,05	0,02	0,01	56,31	35,01
	S	0,07	0,02	0,02	3,13	2,17	0,04	0,03	0,07	0,04	0,01	0,01	49,32	34,91
	O	0,05	0,02	0,05	2,46	1,57	0,03	0,03	0,06	0,04	0,01	0,01	39,53	25,05
	N	0,07	0,01	0,04	2,66	1,81	0,05	0,04	0,09	0,06	0,01	0,01	59,76	40,62
	D	0,05	0,01	0,05	3,40	2,07	0,05	0,03	0,10	0,06	0,02	0,02	82,44	50,32
1997	E	0,06	0,01		3,17	2,28	0,04	0,03	0,08	0,06	0,01	0,01	90,03	75,76
	F	0,06	0,02		2,65	1,80	0,07	0,05	0,10	0,05	0,02	0,02	103,28	82,18
	M	0,06	0,02		2,83	1,91	0,07	0,05	0,09	0,06	0,01	0,01	140,39	100,79
	A				1,89	1,55	0,03	0,03						

CO, NO₂ y NO_x = Estaciones Pedregal, Plateros, Tasqueña y Tacuba

SO₂ = Estaciones Pedregal, Plateros, Tacuba y Sur

O₃ = Estaciones Pedregal Plateros, Tasqueña Cuajimalpa y Tlalpan Tacuba

** Datos porporcionados por grupo de trabajo: “*Cambios atmosféricos y Bosques*”, COFAN-FAO”; correspondientes a 1996. Promedio obtenido a partir de los datos generados durante el mes.

4.5 RESULTADOS

4.5.1 *Microtus mexicanus*.

Se utilizaron 20 organismos del Parque Nacional Cumbres del Ajusco (A) y 24 individuos del Parque Nacional Desierto (D).

El objetivo central del estudio fue detectar lesiones existentes en el pulmón, hígado, riñón y bazo, pero también se realizaron algunas observaciones al azar en las muestras de corazón ($n_A = 4$; $n_D = 5$) y páncreas ($n_A = 9$; $n_D = 5$) no encontrándose patologías a destacar en ninguno de los dos órganos.

En el bazo se encontró un cuadro compatible con el denominado "*starry-sky macrophages*", (figura 1a y 1b) que corresponde a un aspecto "agujereado" de los folículos de Malpighi a pequeño aumento; los cuales a mayor magnificación se observan células relativamente grandes de núcleo similar al de un hepatocito y citoplasma ópticamente vacío o bien conteniendo cuerpos esféricos, basófilos densos, similares a cuerpos apoptóticos, interpretándose como consecuencia de linfocitosis por macrófagos. Esta patología se observó en un 82,4 % de las muestras del Ajusco ($n_t = 17$), en tanto que en el Desierto se encontró en un 47,8 % ($n_t = 23$), aun cuando no se encontraron diferencias significativas entre las dos zonas, el número de casos detectados fue mayor en el Ajusco y se tiene un incremento especial durante la temporada de lluvias en los dos sitios ($A_{LL} = 100\%$ y $n_{LL} = 10$; $A_S = 57,1\%$ y $n_S = 7$; $D_{LL} = 47,8\%$ y $n_{LL} = 23$; $D_S = 27,3\%$ y $n_S = 11$).

En el riñón se observó un caso de desorganización y necrosis tubular en cuña (figura 1c), restos celulares en los túbulos de Bellini, espacios de Bowman cerrados con posible edema y algunos restos celulares en túbulos y luces tubulares. El 26,7 % de los organismos del Ajusco ($n = 4$) y el 34,8 % de los del Desierto ($n = 8$) presentaron al menos uno de estos rasgos patológicos, no manifestando diferencias entre los dos sitios de colecta ($X^2 = 0,299$ y $p = 0,0866$).

En el riñón es interesante poner de manifiesto el considerable desarrollo del aparato yuxtglomerular (figura 1d y 1e), así como la presencia de células más altas y las luces dilatadas en las porciones rectas y en los túbulos colectores, en comparación con los ratones de laboratorio (*Mus musculus*).

En el pulmón la característica más destacable es la neumoconiosis (figura 2c) es decir presencia de material particulado, en gran parte capturado en el interior de las células del sistema retículo-endotelial (macrófagos) de forma leve en un 20 % de las muestras del

Ajusco y afecciones de diverso grado en el 54 % en los organismos del Desierto; con una porcentaje mayor de organismos afectados en la época de lluvias en el Desierto y en la seca en el Ajusco (tabla2).

Tabla 2. Patologías observadas en el pulmón de *Microtus mexicanus*, de los parques nacionales Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D); expresados en número total y porcentaje de organismos que exhiben alguna alteración.

ÉPOCA	PATOLOGÍA	A		D		COMPARACION ENTRE ZONAS POR ÉPOCA Y ANUAL			
		Nt	AFECTADOS		Nt	AFECTADOS		Chi-cuadrado de Pearson	
			n	Porcentaje		n	Porcentaje	X ²	Sig
LLUVIAS mayo - octubre	Neumoconiosis	13	1	7,69	16	11	68,75	@	
	Hiperplasia septal adenomatosa		2	15,38		6	37,50		
	Inflamación		1	7,69		4	25,00		
	Otros		3	23,08		6	37,50		
	Total		4	30,77		13	81,25		
SECAS noviembre - abril	Neumoconiosis	7	3	42,86	8	6	75,00		
	Hiperplasia septal adenomatosa		6	85,71		4	50,00		
	Inflamación		1	14,29		1	12,50		
	Otros		4	57,14		2	25,00		
	Total		6	85,71		4	50,00		
ANUAL	Neumoconiosis	20	4	20,00	24	13	54,17	5,37	0,02
	Hiperplasia septal adenomatosa		8	40,00		10	41,67	0,13	0,911
	Inflamación		2	10,00		5	20,83	@	
	Otros		7	35,00		8	33,33	0,13	0,908
	Total		10	50,00		17	70,83	1,99	0,158
COMPARACIÓN ENTRE ÉPOCAS POR ZONA DE COLECTA									
Total = LLA - SA = X ² = 7,53; p = 0,006 LLD - SD = <i>Datos insuficiente.</i>									
Neumoconiosis = LLA - SA = X ² = 11,02; p = 0,001 LLD - SD = <i>Datos insuficientes</i>									
@ Datos insuficientes									

Además de la presencia de material particulado se encontró hiperplasia septal adenomatosa (engrosamiento de los septos alveolares), nódulos adenomatosos y procesos inflamatorios principalmente, los cuales se contabilizaron para considerar si el pulmón se encontraba afectado o no; además de encontrarse patologías diversas (células gigantes polinucleadas, acúmulos linfocitarios, granuloma de cuerpos extraños y atelectasia cuyas frecuencias fueron escasas, agrupándose en una sola categoría para determinar el grado lesión pulmonar (figura 3), no encontrándose diferencias significativas (tabla 2).

Comparando los porcentajes de organismos con hiperplasia septal adenomatosa de las épocas de lluvias y seca, en la segunda temporada se tiene un aumento considerable de este porcentaje, especialmente en las muestras del Ajusco (tabla 2).

La severidad de las lesiones observadas en el pulmón de *M. mexicanus* fue mayor en los organismos provenientes del Desierto (U de Mann Whitney $p = 0,02$), las diferencias se deben al grado de lesión provocado por la presencia de material particulado ($p = 0,02$), principalmente durante la temporada de lluvias ($p = 0,004$), no observándose diferencias entre las calificaciones obtenidas durante la temporada seca, ni entre el resto de las patologías evaluadas (figura 3).

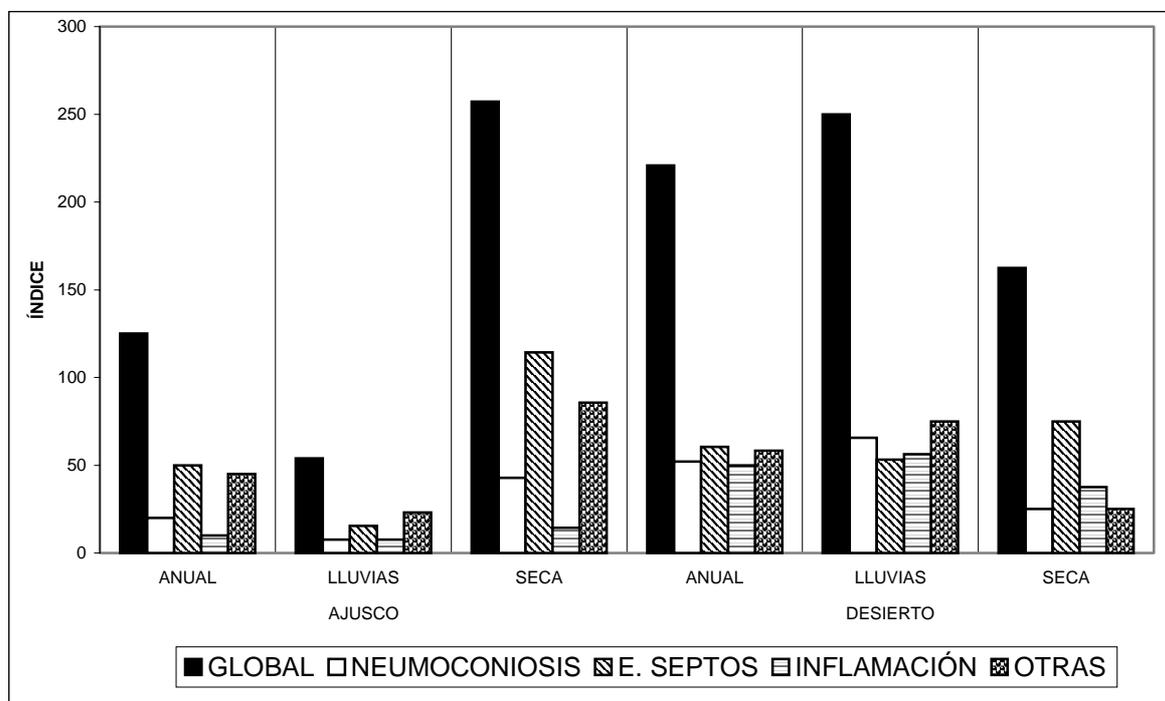
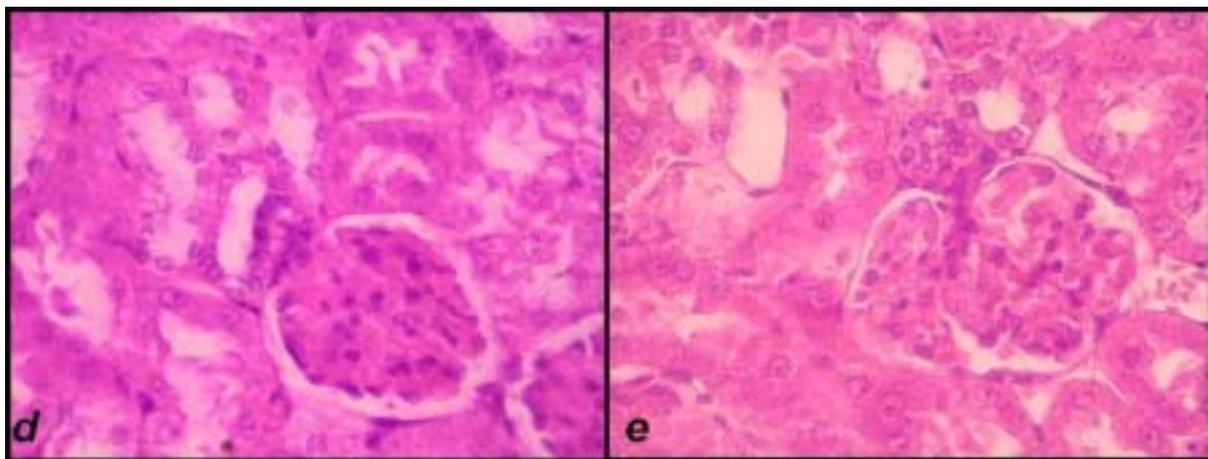
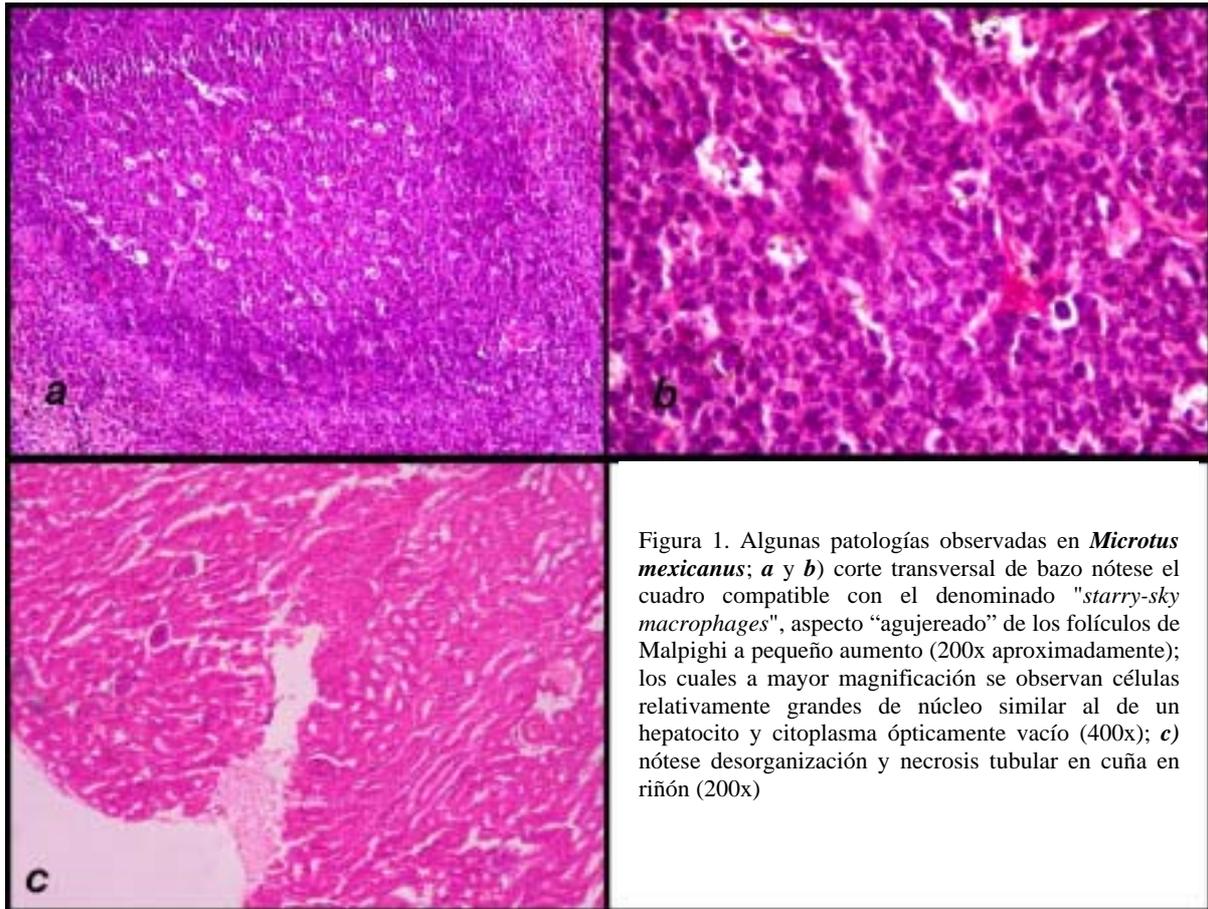


Figura 3. Grado de lesión pulmonar global y por lesión en el pulmón de *Microtus mexicanus*, datos por zona y época de captura (lluvias: mayo-octubre 1996; seca: noviembre 1996 - abril 1997)



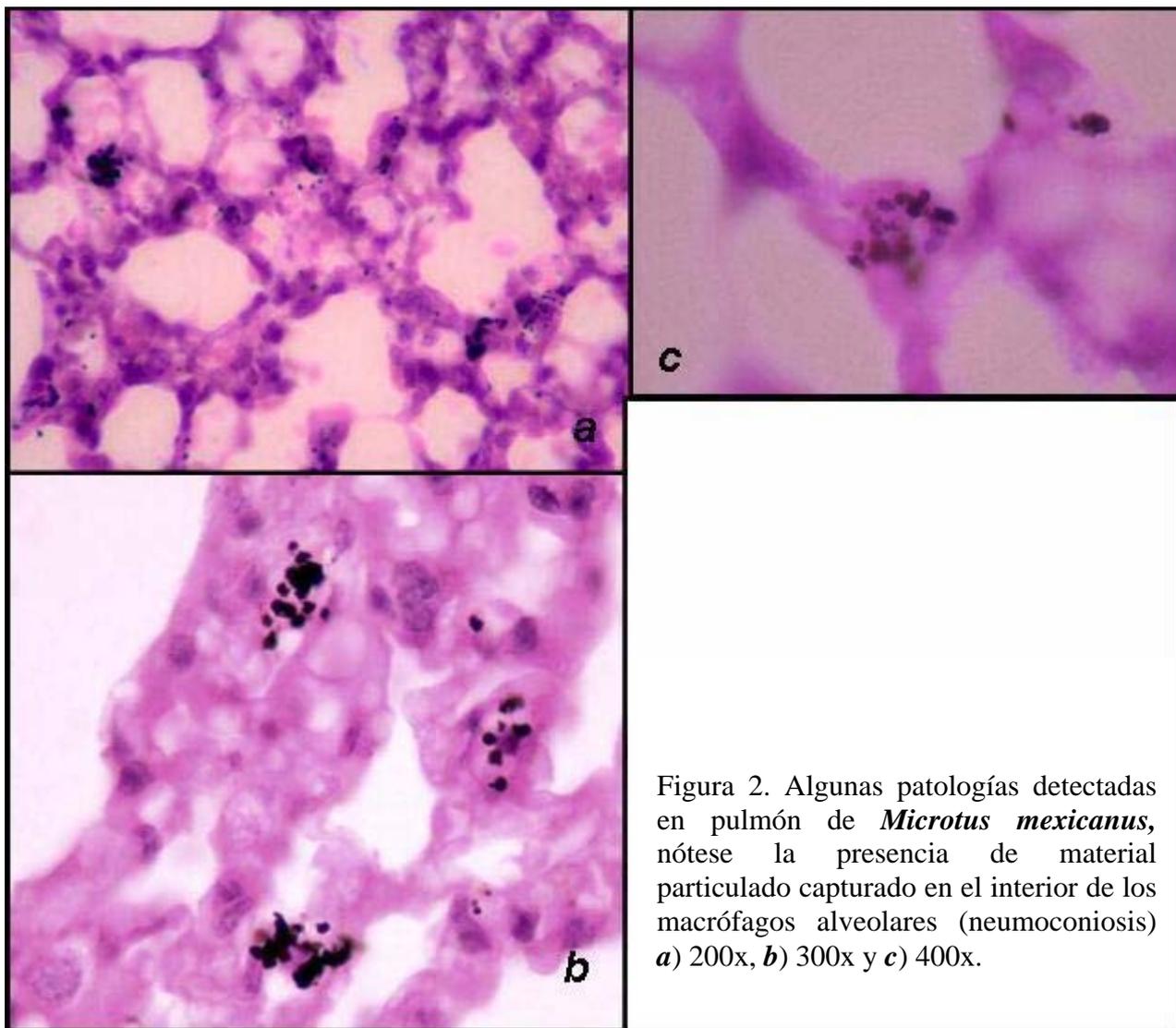


Figura 2. Algunas patologías detectadas en pulmón de *Microtus mexicanus*, nótese la presencia de material particulado capturado en el interior de los macrófagos alveolares (neumoconiosis) *a)* 200x, *b)* 300x y *c)* 400x.

Aun cuando se observa un alto porcentaje de hembras afectadas en el Desierto (tabla 3), no se encontraron indicios significativos de que fueran más susceptibles de sufrir alguna lesión pulmonar, mismos resultados se obtuvieron en relación al peso y el de presentar o no afecciones pulmonares.

Tabla 3. Porcentaje de organismos de *Microtus mexicanus* con alguna lesión pulmonar en relación con el sexo en las dos áreas de trabajo.

ZONA	SEXO	SANOS %	AFECTADOS %
AJUSCO	MACHOS n = 13	53,85	46,15
	HEMBRAS n = 7	42,86	57,14
DESIERTO	MACHOS n = 11	27,27	72,73
	HEMBRAS n = 13	30,77	69,23

En el hígado se identifican características compatibles con la acumulación de glucógeno (figura 4a) observándose retracción del citoplasma, apareciendo este prácticamente vacío dejando el núcleo en posición central; en algunos casos de distribución general y homogéneo en todo el parénquima, mientras que más frecuentemente se presentó en la zona periportal y media, resultando escasamente afectada la región más próxima a las venas centrales, su origen es característico de la secreción de glucocorticoides como respuesta al estrés (Moberg, 1985)

Además de la sobrecarga de glucógeno se encontraron nódulos necróticos con mayor presencia en la zona periportal, acompañados de reacción inflamatoria, infiltración periportal y necrosis acidófila de células dispersas y acúmulos linfáticos, estas características se asemejan a lo que se conoce como hepatitis tóxica⁴ (figura 4) y estructura quística de aproximadamente 3 x 2 mm. Estos daños están presentes en un 66,67 % de los organismos procedentes del Ajusco, y en un 47,83 % en los organismos del Desierto, no se manifestaron diferencias significativas entre zonas para ninguna de las patologías observadas, a nivel tanto de organismos afectados como en el grado de lesión (tabla 4, figura 5).

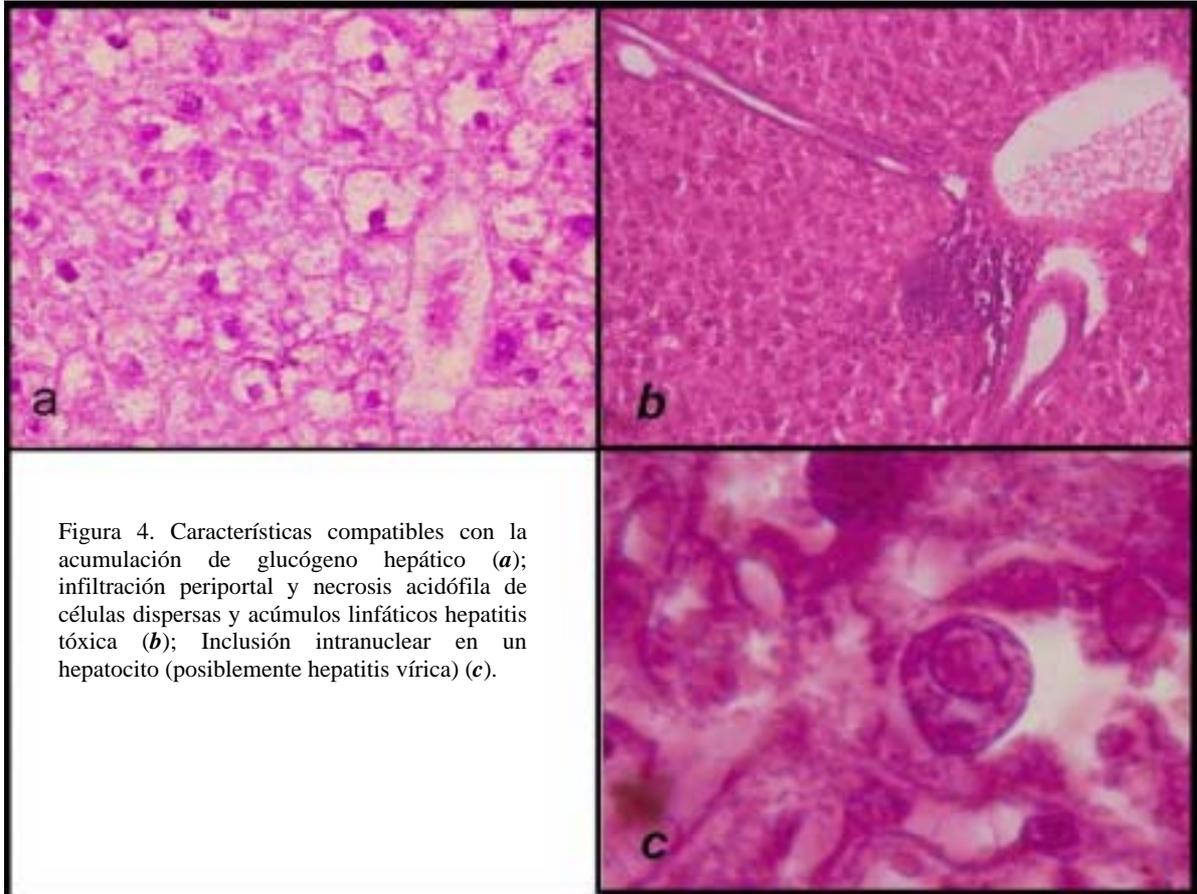
⁴ El cuadro caracterizado de reacción inflamatoria crónica periportal y necrosis acidófila de células dispersas corresponde al síndrome denominado "hepatitis" que en caso de no aparecer signos reveladores de infección vírica (cuerpos intranucleares), esta se supone derivada de la acción de xenobióticos (hepatitis tóxica).

Aunque el número de hembras que exhibieron alguna de estas patologías fue un 10 % mayor que en machos en el Ajusco no se encontraron evidencias que el sexo influyera significativamente en el estado orgánico de *M. mexicanus*, mostrando porcentajes muy semejantes entre sexos en el Desierto (tabla 5).

Las lesiones más graves que se presentaron fueron: en el Ajusco un caso de desorganización de los cordones de hepatocitos y células basófilas de tamaño pequeño, posiblemente formando parte de o siendo un precursor de un carcinoma celular, observándose en el Desierto dos casos con presencia de nódulos con aparente carácter neoplásico o preneoplásico.

Tabla 4. Patologías observadas en el hígado de *Microtus mexicanus*, de los parques nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones; expresadas en número total y porcentaje de organismos que exhiben alguna alteración.

ÉPOCA	PATOLOGÍA	A		D	
		Nt	AFFECTADOS n Porcentaje	Nt	AFFECTADOS n Porcentaje
LLUVIAS mayo octubre	SOBRECARGA DE GLUCÓGENO		10 58,82		6 37,50
	HEPATITIS TÓXICA	17	7 41,18	16	6 37,50
	TOTAL**		13 76,47		12 75,00
SECA noviembre - abril	SOBRECARGA DE GLUCÓGENO		3 42,86		5 71,43
	HEPATITIS TÓXICA	7	1 14,29	7	4 57,14
	TOTAL		4 57,14		7 100,00
ANUAL	SOBRECARGA DE GLUCÓGENO		13 54,17		11 47,83
	HEPATITIS TÓXICA	24	16 66,67	23	10 43,48
	TOTAL		17 70,83		19 82,61



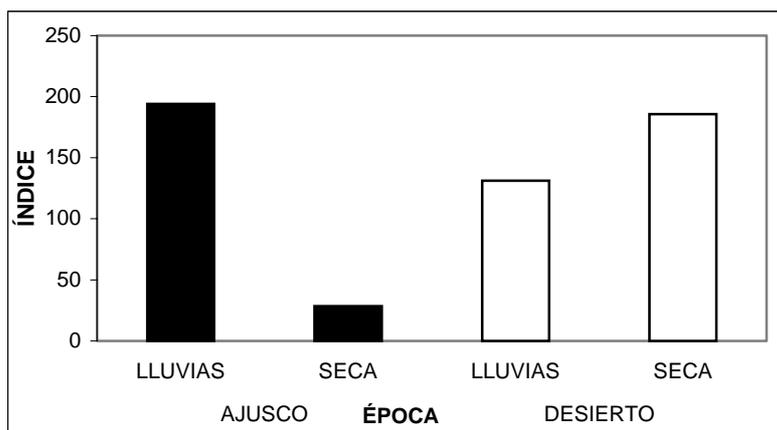


Figura 5. Grado de lesión hepática observado en *Microtus mexicanus* por zona y época de colecta (lluvias: mayo -octubre 1996; seca: noviembre 1996 - abril 1997).

No se encontraron diferencias significativas entre el número de machos y hembras que presentaban alguna manifestación patológica en el hígado (tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de organismos de *Microtus mexicanus* con alguna lesión hepática en relación con el sexo en las dos áreas de trabajo.

ZONA		SANOS %	AFECTADOS %
AJUSCO	MACHOS n = 15	33,33	66,67
	HEMBRAS n = 9	22,22	77,78
DESIERTO	MACHOS n = 11	18,18	81,82
	HEMBRAS n = 12	16,67	83,33

4.5.2 *Peromyscus melanotis*

Se analizaron muestras de corazón ($n_A = 26$, $n_D = 16$), no observándose patologías significativas.

En las muestras de bazo (Ajusco= 107, Desierto= 94) se presentaron algunas patologías con poca incidencia en las dos poblaciones de *P. melanotis*. En el Ajusco cabe señalar un caso de esplenomegalia moderada, al parecer relacionada con la pulpa roja y dos casos leves de autofagocitosis linfocitaria e igual número de hemosiderosis (depósitos de hierro). En las muestras procedentes del Desierto se detectaron tres casos de autofagocitosis linfocitaria y otros cuatro de hemosiderosis, a los largo de todo el estudio.

En el riñón existieron dos casos de infiltración linfocitaria perivascular y otros dos de descamación celular en las luces tubulares, siendo estas lesiones siempre muy leves en los organismos del Ajusco (4,94 %, $n_t = 81$).

Sin embargo los ejemplares del Desierto ($n_t = 79$) manifestaron el número más grande de patologías renales (tabla 6, figura 6) que en conjunto afectan al 18,99 % de los individuos analizados ($n = 15$), encontrando diferencias significativas entre las dos zonas (tabla 6).

Tabla 6. Frecuencia observadas (%) de las patologías del riñón de *Peromyscus melanotis* de los parques nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D)

PATOLOGÍA	A		D	
	n	%	n	%
Infiltración linfocitaria perivascular e intersticial de leve a moderada	2	2,47	5	6,33
Dilatación tubular subcapsular leve	0	0,00	3	3,80
Dilataciones quísticas severas	0	0,00	1	1,27
Cilindros hialinos en las luces tubulares	0	0,00	3	3,80
Cilindros celulares	0	0,00	1	1,27
Material albuminoideo en gran parte de los espacios de Bowman	0	0,00	1	1,27
Congestión	0	0,00	1	1,27
Descamación celular en las luces tubulares	2	2,47	0	0,00
Total	4	4,94	15	18,99
Chi-cuadrado de Pearson	9,070		$p = 0,003$	

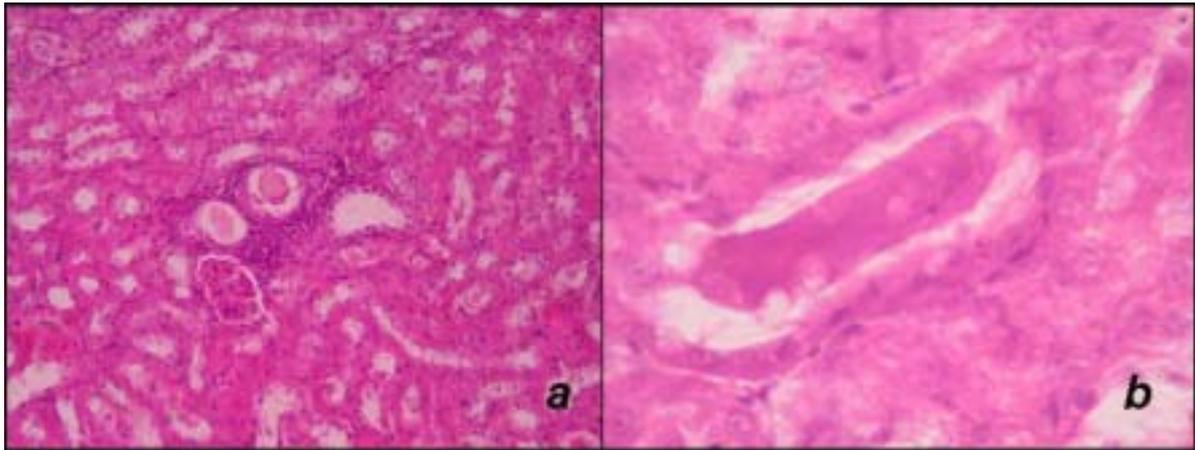


Figura 6. Algunas patologías renales observadas; **a**) nefritis intersticial **b**) cilindros hialinos en las luces tubulares (tinción hematoxilina y eosina).

Dentro de los ejemplares del Desierto que presentaban alguna alteración, uno en concreto mostró los riñones severamente dañados, con nefritis intersticial severa, necrosis tubular, dilataciones tubulares quísticas de considerable tamaño y cilindros celulares e hialinos en las luces tubulares.

En pulmón se encontró neumoconiosis en ambas zonas, en mayor grado en las muestras del Desierto tanto en severidad como en el número de organismos afectados observándose un 86,6% de esta población con grado severo ($n = 71$); mientras que en el Ajusco se encontró un 36,63 % de la población siempre con carácter leve ($n = 37$), excepto en tres de las muestras en donde la acumulación de material particulado fue abundante.

La distribución mensual y cuantitativa de neumoconiosis se muestra en la figura 7, observándose en el Ajusco un claro descenso en el porcentaje de organismos afectado, conforme descienden los niveles de PM_{10} reportadas por la *Red de Monitoreo Atmosférico* durante la temporada de lluvias, mientras que en el Desierto se observa una pequeña reducción en el mes de septiembre y octubre de 1996.

En la temporada seca se aprecia en el Desierto un incremento en noviembre con un 100 por ciento de organismos con neumoconiosis presentando en los meses siguientes una tendencia muy parecida a la fracción respirable del material particulado reportado por la Red de Monitoreo Atmosférico para la zona, en tanto que en el Ajusco no se detectan individuos con neumoconiosis al inicio de la temporada seca y manifestando una distribución variable con niveles máximos en febrero y marzo y mínimos en enero y abril.

Además de la presencia de material particulado en el pulmón se observó hiperplasia septal adenomatosa (engrosamiento de los septos alveolares) en ambas zonas, siendo mayor esta afección en los individuos del Desierto con el 28,05 % de afectados ($n = 23$); este

carácter dañino, en algunos de los casos más conspicuos alcanza el grado de hepatización en determinadas zonas (4 casos) mientras que en el Ajusco se detectó en grado leve, observándose diferencias significativas entre épocas en ambas localidades de captura (tabla 7).

Los procesos inflamatorios presentes en el pulmón de *P. melanotis* fueron de grado leve o moderado pero manifestándose de forma inversa en los dos sitios de captura en cuanto a frecuencia de aparición en los animales capturados aunque la distribución tanto anual como estacional de las frecuencias observadas no fue significativa.

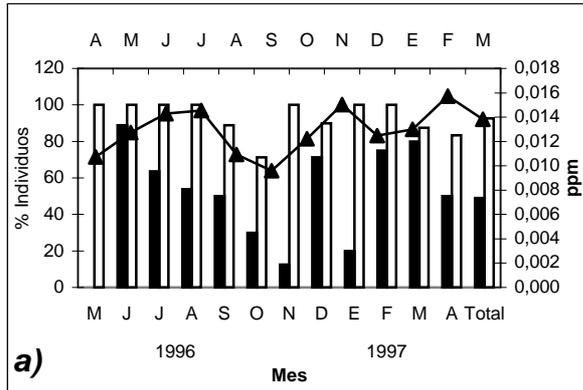
Otras patologías esporádicas detectadas fueron parásitos helmintos, quistes, atelectasia, hemorragias, congestión moderada y tumefacción de las células septales, que en conjunto afectaron al 10,78 % de los organismos procedentes del Ajusco y al 23 % de los del Desierto, encontrándose diferencias significativas en dichos porcentajes ($\chi^2 = 5,11$ y $p = 0,02$, tabla 7).

El nivel de lesión pulmonar manifestó diferencias significativas entre las dos zonas de trabajo, debido principalmente al grado de neumoconiosis observado a lo largo del estudio y al conjunto de patologías, estas últimas tienen una mayor presencia durante las lluvias. El desarrollo de hiperplasia adenomatosa fue diferente en ambas zonas, especialmente durante la temporada seca en el Ajusco, ocasionando diferencias significativas entre épocas del año en el Ajusco no ocurriendo así en el Desierto (tablas 8 y 9).

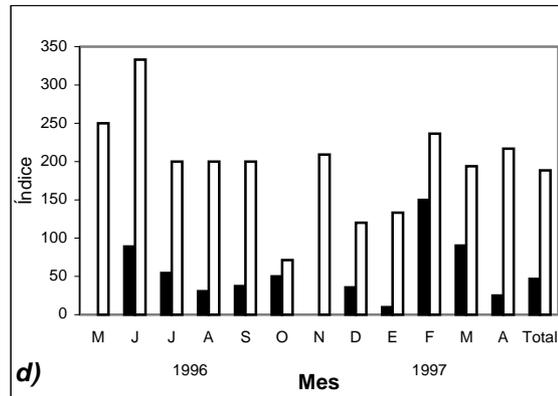
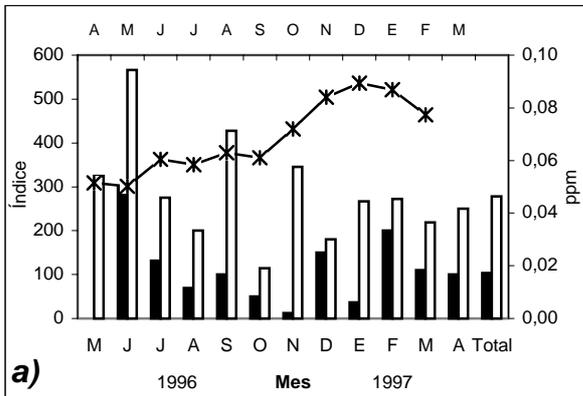
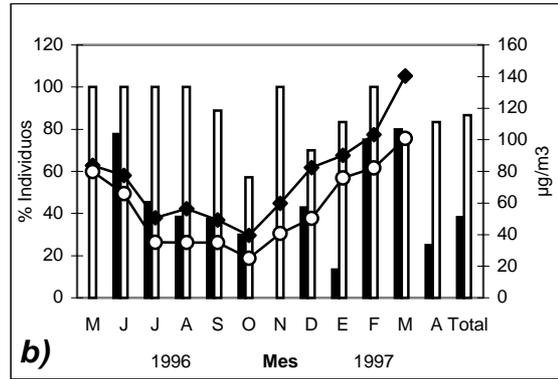
Tabla 7. Resultados histopatológicos en el pulmón de *Peromyscus melanotis* de los parques nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D) expresados en porcentaje, por lesión detectada, número de individuos afectados por cualquier alteración

ÉPOCA	PATOLOGÍA	A			D			COMPARACIÓN ENTRE ZONAS	
		Nt	AFECTADOS		Nt	AFECTADOS		Chi-cuadrada de Pearson	
			n	%		n	%	χ^2	Sig
LLUVIAS mayo - octubre	Neumoconiosis	55	23	41,82	30	26	86,67	15,99	< 0,001
	Hiperplasia septal adenomatosa*		17	30,91		13	43,33	1,31	0,252
	Inflamación		5	9,09		1	3,33	@	
	Otros		7	12,73		6	20,00	@	
	Total		29	52,73		27	90,00	11,99	0,001
SECA noviembre - abril	Neumoconiosis	47	16	34,04	52	45	86,54	28,766	< 0,001
	Hiperplasia septal adenomatosa*		2	4,26		10	19,23	5,19	0,023
	Inflamación		7	14,89		3	5,77	@	
	Otros		4	8,51		13	25,00	4,71	0,035
	Total		21	44,68		49	94,23	29,26	< 0,001
ANUAL	Neumoconiosis	102	39	38,24	82	71	86,59	44,19	< 0,001
	Hiperplasia septal adenomatosa		19	18,63		23	28,05	2,29	0,13
	Inflamación		12	11,76		4	4,88	2,71	0,99
	Otros		11	10,78		19	23,17	5,11	0,024
	Total		50	49,02		76	92,68	40,14	< 0,001
Diferencias entre épocas de estudio por sitio de colecta									
Hiperplasia septal adenomatosa	LLA - SA	$\chi^2 = 11,87; p = 0,001$							
	LLD - SD	$\chi^2 = 5,47; p = 0,037$							
@ DATOS INSUFICIENTES									

TOTAL DE PATOLOGÍAS OBSERVADAS



NEUMOCONIOSIS



■ AJUSCO

□ DESIERTO

○ PM_{10}

● DIA

○ NOCHE

▲ SO_x

✱ NOX

Número de mensual de organismos analizados por zona de estudio													
ZONA	1996										1997		
	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	ANUAL
AJUSCO	4	9	11	13	8	10	8	7	15	8	5	4	102
DESIERTO	4	3	4	3	9	7	11	10	6	11	8	6	82

Figura 7. Distribución mensual del porcentaje de organismos de *Peromyscus melanotis* que presentaban al menos una lesión pulmonar y los que manifestaron pneumoconiosis a y b) porcentaje de individuos afectados, c y d) gravedad de las lesiones observadas. Concentración diurna y nocturna de las PM_{10} y concentración promedio 24 horas mensual de NO_x y SO_2 , considerando las estaciones más cercanas a la zona de estudio.

Tabla 8. Comparación anual y por temporada del año del grado de lesión pulmonar en *Peromyscus melanotis*. entre los dos parques nacionales.

	ESTADÍSTICOS DE CONTRASTE	GRADO DE LESIÓN GLOBAL	NEUMOCONIOSIS	HIPERPLASIA SEPTAL	OTRAS PATOLOGÍAS
ANUAL	U de Mann-Whitney	1772,5	1422	3699,5	3669
	W de Wilcoxon	7025,5	6675	8952,5	8922
	Z	-6,862	-8,046	-1,832	-2,226
	Sig.	< 0,001	< 0,001	0,067	0,026
LLUVIAS	U de Mann-Whitney	381	278,5	666	765,5
	W de Wilcoxon	1921	1818,5	2206	2305,5
	Z	-4,189	-5,319	-1,723	-0,875
	Sig.	< 0,001	< 0,001	0,085	0,382
SECA	U de Mann-Whitney	456	417	1038,5	1016,5
	W de Wilcoxon	1584	1545	2166,5	2144,5
	Z	-5,478	-5,865	-2,269	-2,200
	Sig.	< 0,001	< 0,001	0,023	0,028

Tabla 9. Comparación del grado de lesión pulmonar en *Peromyscus melanotis* entre épocas de captura por área de estudios.

ZONA	ESTADÍSTICOS DE CONTRASTE	GRADO DE LESIÓN GLOBAL	NEUMOCONIOSIS	HIPERPLASIA SEPTAL	OTRAS PATOLOGÍAS
AJUSCO	U de Mann-Whitney	1164	1195,5	953	1232
	W de Wilcoxon	2292	2323,5	2081	2360
	Z	-0,929	-0,753	-3,364	-0,755
	Sig.	0,353	0,451	0,001	0,450
DESIERTO	U de Mann-Whitney	701,5	752	573,5	749
	W de Wilcoxon	2079,5	2130	1951,5	1214
	Z	-0,767	-0,277	-2,515	-0,406
	Sig.	0,443	0,782	0,012	0,685

En lo referente a la relación del sexo con el presentar alguna lesión pulmonar, no se encontraron indicios de que existieran diferencias, observándose en las dos zonas de captura porcentajes muy similares de organismos de ambos sexos que exhibían alguna patología (tabla 10).

Tabla 10. Porcentaje de organismos por sexo que presentan alguna lesión pulmonar en *Peromyscus melanotis* en los dos parques nacionales.

ZONA	SEXO	SANOS %	AFECTADOS %
AJUSCO	MACHOS n = 59	47,46	52,54
	HEMBRAS n = 43	55,81	44,19
DESIERTO	MACHOS n = 49	4,08	95,92
	HEMBRAS n = 33	12,12	87,88

En las muestras analizadas de hígado de los organismos procedentes del Ajusco ($n_A = 107$) el 34,58 % presentan diversas patologías entre las que destacan procesos inflamatorios en los espacios periportales, siempre de grado leve, acompañados por necrosis celular, en algunos casos incluida la presencia de *Toxoplasma gondii*. Lesiones similares se observaron en el Desierto pero en un porcentaje más alto de individuos afectados (63,83 %, $n_D = 94$).

En la estación de seca y anualmente se detectaron diferencias significativas entre los dos parques nacionales en los porcentajes de ocurrencia de las diferentes patologías detectadas en el hígado, con excepción de la presencia de nódulos. Las diferencias más evidentes corresponden a los porcentajes de organismos afectados por *Toxoplasma* y procesos inflamatorios (tabla 11).

La presencia de quistes de *Toxoplasma gondii* (probablemente bradizoítos) en las dos zonas de estudio en el Ajusco en 8,41 % ($n = 9$) y en el Desierto un 32,98 % ($n = 31$) van asociados a los casos más evidentes de necrosis e inflamación.

No se encontraron indicios de que la presencia de este endoparásito estuviera relacionada con el sexo y la actividad reproductiva, si bien en el periodo de septiembre a febrero se tiene el mayor porcentaje de ejemplares infestados que coincide con el menor porcentaje de individuos reproductivos detectado en el Ajusco. No se observa el mismo comportamiento de mayo a abril en ambas zonas (figura 10).

Es más probable que las variaciones en el grado de infestación parasitaria sean producto de varios factores como aumento en la densidad de la población (en este estudio expresado como el éxito de capturas) (figura 11), la época de captura y la zona de estudio (tabla 11), observándose con ello diferencias entre épocas.

Sin embargo el bajo porcentaje de incidencia del parásito durante el transcurso de la temporada de lluvias en el Ajusco y la potencia de la prueba estadística sólo nos permite encontrar diferencias significativas entre zonas durante la época seca (tabla 11). No existieron diferencias significativas entre organismos que manifestaron la presencia del parásito y los que no se les detectó con respecto al peso y el ICC del cuerpo.

Esporádicamente se observan otras patologías (figura 8) como nódulos de diversos tipos en los individuos del Desierto (preneoplásicos, $n = 1$; células claras, $n = 6$; células ovales, $n = 2$ y de células acidófilas $n = 3$), distribuidas en un total de 11,28 % organismos afectados; en contraste en el Ajusco la incidencia fue mucho menor (1,85%), observándose únicamente nódulos de células claras ($n = 1$) y nódulo de células basófilas ($n = 1$).

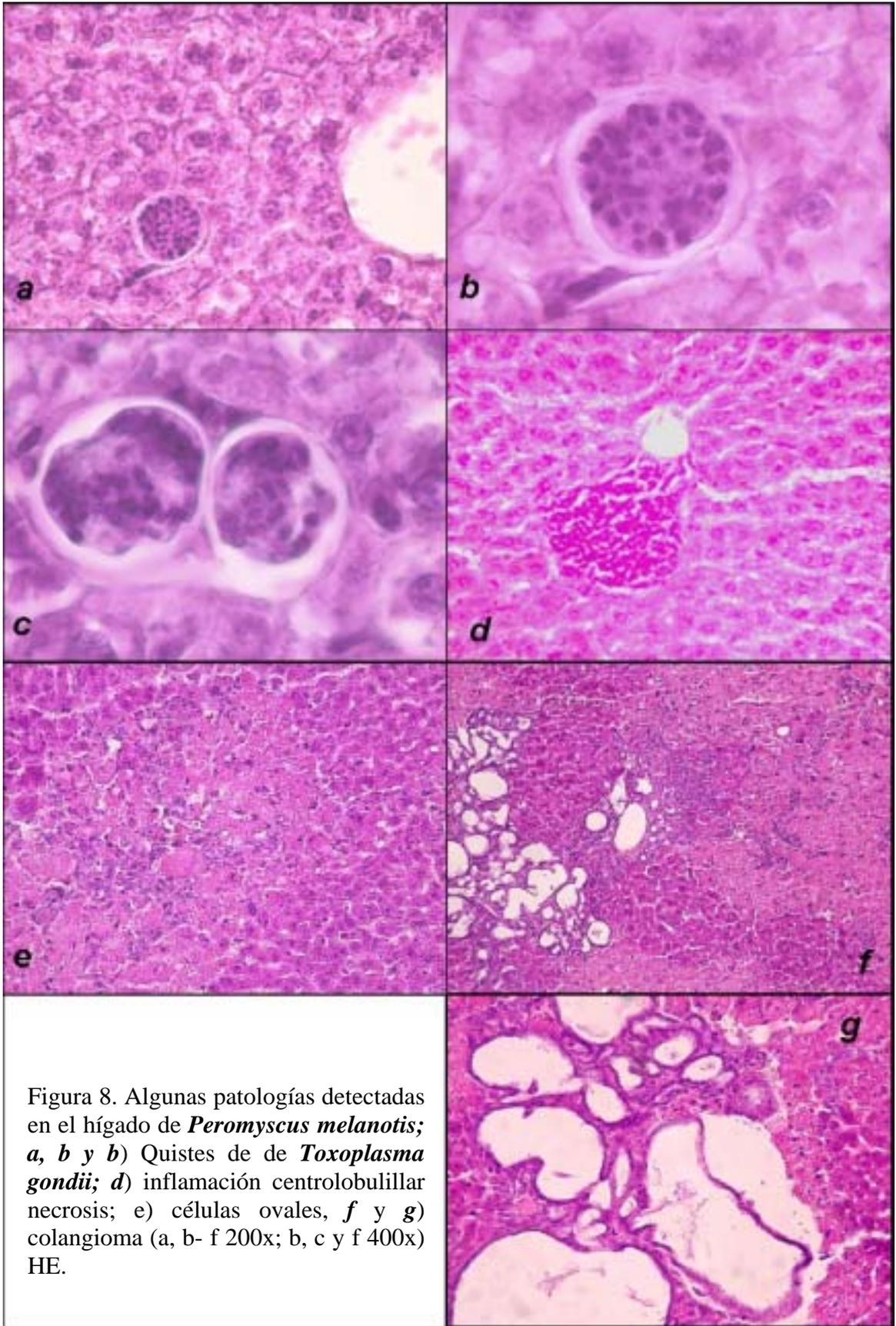
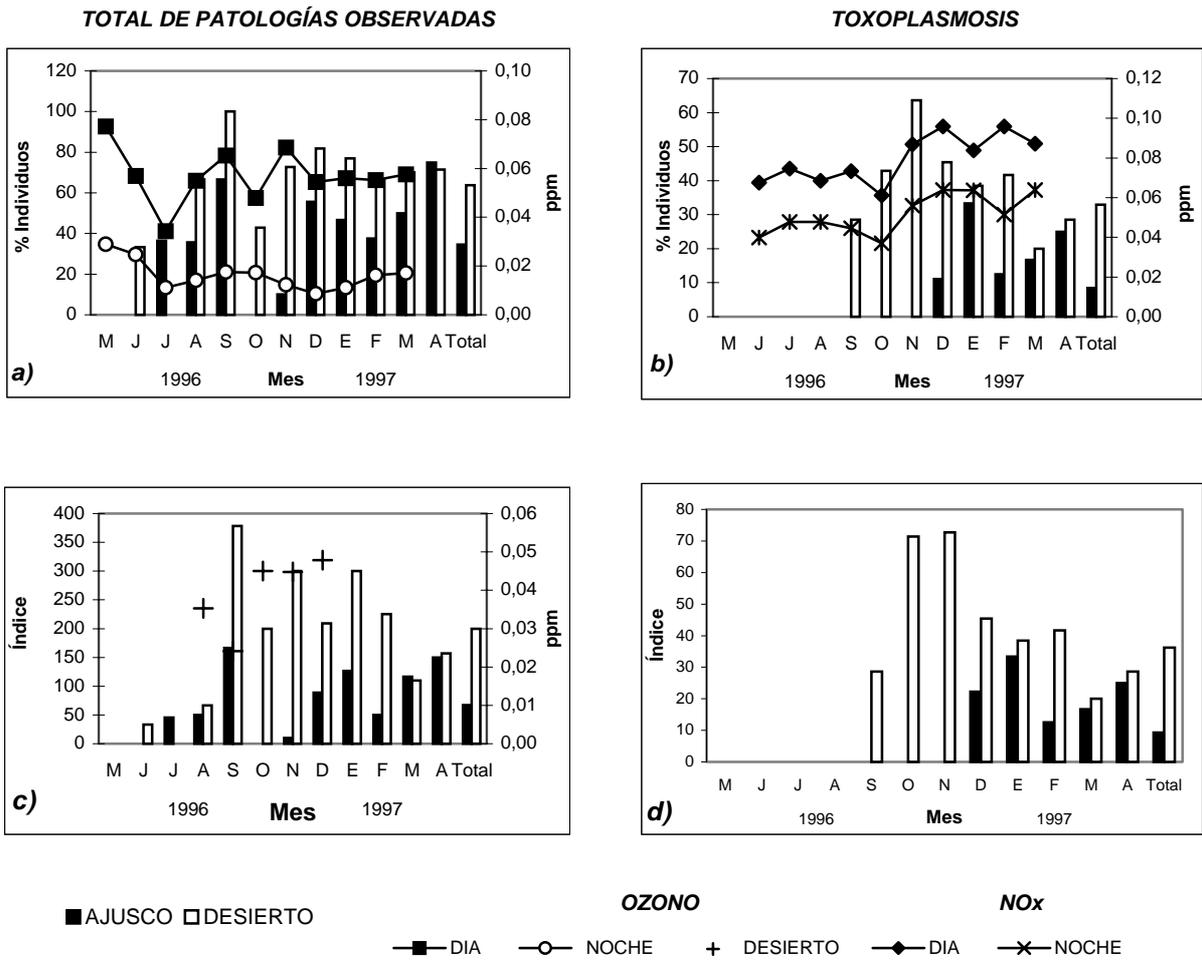


Figura 8. Algunas patologías detectadas en el hígado de *Peromyscus melanotis*; *a, b y b*) Quistes de de *Toxoplasma gondii*; *d*) inflamación centrolobulillar necrosis; *e*) células ovals, *f y g*) colangioma (*a, b- f* 200x; *b, c y f* 400x) HE.



Número mensual de organismos analizados por zona de estudio													
ZONA	1996								1997				
	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	TOTAL
AJUSCO	4	9	11	14	9	8	10	9	15	8	6	4	107
DESIERTO	5	3	5	3	7	7	11	11	13	12	10	7	94

Figura 9. Distribución mensual del porcentaje de organismos de *Peromyscus melanotis* que presentaban al menos una lesión hepática y los que manifestaron toxoplasmosis. a y b) porcentaje de individuos afectados, c y d) gravedad de las lesiones observadas. La concentración promedio de los 8 días anteriores al día de colecta de O_3 y NO_x considerando las estaciones más cercanas al sitio de colecta (promedio diurno y nocturno).

Tabla 11. Frecuencia de aparición estacional y anual de las patologías encontradas en el hígado de *Peromyscus melanotis* en los parques nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D).

ÉPOCA	PATOLOGÍA	A		D		COMPARACIÓN ENTRE ZONAS			
		Nt	AFECTADOS		Nt	AFECTADOS		Chi-cuadrado de Pearson	
			n	%		n	%	χ^2	Sig
LLUVIAS mayo - octubre	Toxoplasma	55	0	0,00	30	5	16,67	@	
	Necrosis		6	10,91		4	13,33	@	
	Inflamación		13	23,64		8	26,67	0,096	0,757
	Nódulos @		1	1,82		3	10,00	@	
	Otras		3	5,45		5	16,67	@	
	Total		15	27,27		13	43,33	2,26	0,132
SECA noviembre - abril	Toxoplasma	52	9	17,31	64	26	40,63	7,40	0,007
	Necrosis		5	9,62		20	31,25	7,94	0,005
	Inflamación		12	23,08		35	54,69	11,89	0,001
	Nódulos		1	1,92		8	12,50	@	
	Otras		10	19,23		13	20,31	0,167	0,681
	Total		22	42,31		47	73,44	11,53	0,001
ANUAL	Toxoplasma	107	9	8,41	94	31	32,98	18,94	<0,001
	Necrosis		11	10,28		24	25,53	8,094	0,004
	Inflamación		25	23,36		43	45,74	11,19	0,001
	Nódulos		2	1,87		11	11,70	7,99	0,005
	Otras		13	12,15		18	19,15	2,48	0,115
	Total		37	34,58		60	63,83	17,14	<0,001
DIFERENCIAS ENTRE ÉPOCAS POR ZONA DE COLECTA									
Toxoplasma	LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 7,40$; $p = 0,007$								
Necrosis	LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 7,943$; $p = 0,005$								
Inflamación	LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 11,89$; $p = 0,001$								
Otras	LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 0,169$; $p = 0,681$								
Total	LLA - SA = $\chi^2 = 2,26$; $p = 0,132$ LLD - SD = $\chi^2 = 11,53$; $p = 0,001$								
@ = Datos insuficientes									

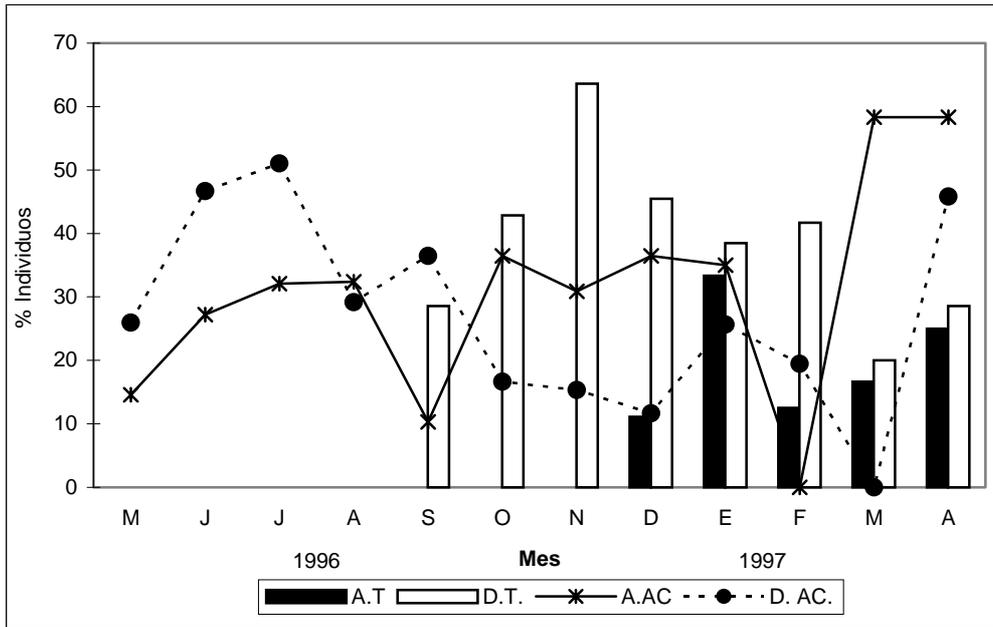


Figura 10. Porcentaje mensual de individuos de *Peromyscus melanotis* que presentaron toxoplasmosis en relación con la actividad reproductiva (AC) por zona de estudio: A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones.

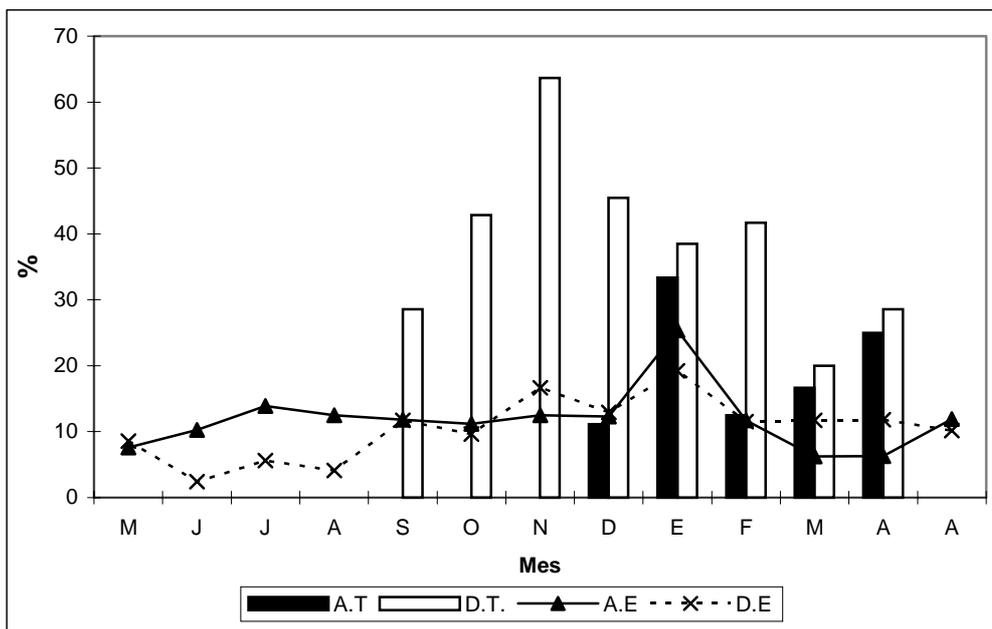


Figura 11. Porcentaje mensual de individuos de *Peromyscus melanotis* que presentaron toxoplasmosis (T) en relación con el éxito de captura (E) por zona de estudio: A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones.

Aunque no dejan de ser importantes las patologías de menor incidencia, especialmente por estar relacionadas con el estrés oxidativo resalta la presencia de pigmento en las células de Kupffer⁵ en el 4,67 % de las muestras procedentes del Ajusco y en un 6,54 % de los organismos analizados del Desierto de los Leones; los ejemplares afectados se distribuyeron en el tiempo de la siguiente forma: octubre y febrero en ambas zonas, agosto y marzo en el Ajusco y en septiembre y noviembre en el Desierto.

Otras patologías observadas en diferente grado y número de *P. melanotis* afectados fueron anisocariosis, (núcleos de tamaños diferentes), hipertrofia zona II acompañada de acidofilia, vacuolización, células polinucleadas e inclusiones intranucleares, células gigantes características, proliferación de conductos biliares y formación poliquística de origen biliar, además de encontrarse en dos organismos procedentes del Ajusco parásitos helmintos de considerable medida; incluyendo los ejemplares que presentaban pigmentos en las células de Küpffer de forma general se encontraron diferencias entre los porcentajes de ocurrencia de organismos que presentaban al menos una de las patologías descritas (tabla 11).

El grado de lesión hepática reflejó diferencias significativas entre las dos zonas de forma anual para la calificación global del órgano y el resto de patologías cuantificadas, con excepción de las debidas a las lesiones observadas esporádicamente, este comportamiento fue más evidente durante la temporada seca (figura 9, tabla 11).

Entre épocas de estudio existieron diferencias significativas con respecto a la calificación global del órgano, debidas principalmente al grado de toxoplasmosis, en mayor escala en el Desierto; además de las diferencias significativas en relación al desarrollo de los procesos inflamatorios (tablas 12 y 13).

No se encontró evidencia que sugiriera que las diferencias observadas se vieran influenciadas por el sexo de los organismos estudiados.

⁵ Acumulación de un pigmento marrón-dorado en las células de Küpffer que según experiencias anteriores (no fue comprobado con la tinción histoquímica específica) se trata probablemente de lipofuscina (pigmento mixto formado por diversos productos de degradación correspondientes al estadio final de la peroxidación lipídica).

Tabla 12. Comparación estadística anual y estacional de las diferentes lesiones hepáticas (grado de lesión global, *Toxoplasma* nódulos, procesos inflamatorios y otras) en *Peromyscus melanotis*.

TEMPORADA	ESTADÍSTICOS DE CONTRASTE	GRADO DE LESIÓN GLOBAL	TOXOPLASMA	NÓDULOS	PROCESOS INFLAMATORIOS	NECROSIS	OTRAS
ANUAL	U de Mann-Whitney	3266,5	3795,5	4533,5	3798,5	4234,5	4627
	W de Wilcoxon	9044,5	9573,5	10311,5	9576,5	10012,5	10405
	Z	-4,637	-4,325	-2,826	-3,578	-2,926	-1,557
	Sig.	0,000	0,000	0,005	0,000	0,003	0,119
LLUVIAS	U de Mann-Whitney	666,5	687,5	757	788,5	802	731
	W de Wilcoxon	2206,5	2227,5	2297	2328,5	2342	2271
	Z	-1,749	-3,101	-1,704	-0,446	-0,378	-1,708
	Sig.	0,080	0,002	0,088	0,656	0,705	0,088
SECA	U de Mann-Whitney	1023	1284,5	1488	1112	1293	1612
	W de Wilcoxon	2401	2662,5	2866	2490	2671	2990
	Z	-3,709	-2,641	-2,109	-3,486	-2,870	-0,416
	Sig.	0,000	0,008	0,035	0,000	0,004	0,678

Tabla 13. Comparación estadística entre las dos áreas de estudio con respecto a las diferentes lesiones hepáticas (grado de lesión global, *Toxoplasma*, procesos inflamatorios y otras) en *Peromyscus melanotis*.

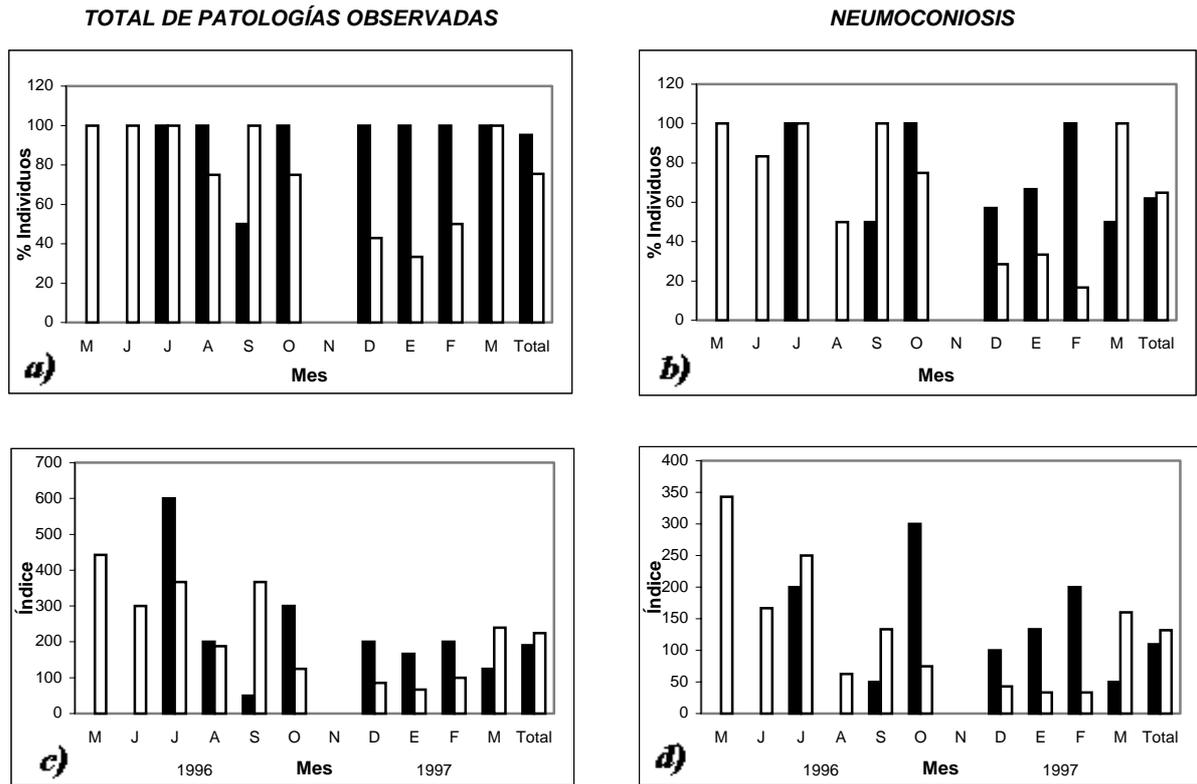
ZONA	ESTADÍSTICOS DE CONTRASTE	GRADO DE LESIÓN GLOBAL	TOXOPLASMA	PROCESOS INFLAMATORIOS	OTRAS
AJUSCO	U de Mann-Whitney	1190,5	1182,5	1424	1231,50
	W de Wilcoxon	2730,5	2722,5	2964	2771,50
	Z	-1,765	-3,208	-0,051	-2,19
	Sig.	0,077	0,001	0,960	0,03
DESIERTO	U de Mann-Whitney	662,5	753,5	679	911,00
	W de Wilcoxon	1127,5	1218,5	1144	1376,00
	Z	-2,491	-2,042	-2,521	-0,58
	Sig.	0,013	0,041	0,012	0,56

4.5.3 *Peromyscus difficilis*.

Se analizaron 25 organismos del Parque Nacional Cumbres del Ajusco y 59 individuos del Desierto de los Leones, la diferencia tan marcada en el número de muestras es producto del comportamiento de las poblaciones en cada sitio de captura debido a que *Peromyscus difficilis* estuvo presente a partir de julio en el Ajusco, mientras que en el Desierto se capturó a lo largo de todo ciclo anual de muestreos y con una aparente mayor abundancia, por lo que se debe tener en consideración al analizar los resultados.

El único rasgo destacable en el pulmón es la presencia de neumoconiosis, con un aparente carácter estacional opuesto en las dos zonas de trabajo; en el Ajusco, el porcentaje de organismos afectados es más alto durante la temporada de lluvias, sin embargo estos datos se ven en parte desvirtuados por la distribución del tamaño de muestra obtenido de mayo a noviembre en dicha área; y en los datos del Desierto se tiene un aparente descenso en porcentaje de individuos afectados así como en la gravedad de las lesiones observadas (figura 12). Estas diferencias no resultaron significativas para la comparación entre los dos parques bien debido a los datos obtenidos durante la época seca y/o por tener datos insuficientes para realizar el análisis con los valores obtenidos de esta temporada (tabla 14).

En la variación estacional por área de estudio, en el Desierto se presentaron diferencias significativas entre la temporadas con respecto al porcentaje total de ejemplares afectados por alguna patología y al tipo de lesión (excepto con los procesos inflamatorios). Las diferencias observadas en el Ajusco no aportaron datos suficientes para realizar comparación alguna entre épocas de captura (tabla 14).



■ AJUSCO □ DESIERTO

Número mensual de organismos analizados por zona de estudio												
ZONA	1996							1997				
	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Total
AJUSCO	0	0	1	1	2	1		7	3	2	4	21
DESIERTO	7	6	6	8	3	4	2	7	3	6	5	57

Figura 12. Distribución mensual del porcentaje de organismos con al menos una lesión pulmonar y los que manifestaron pneumoconiosis en *Peromyscus difficilis* en los dos parques nacionales: a y b) individuos afectados, c y d) gravedad de las lesiones observadas

El grado de lesión pulmonar en la temporada seca mostró diferencias significativas, debidas, fundamentalmente a la existencia pneumoconiosis y a la presencia de hiperplasia septal adenomatosa (tabla 15).

Tabla 14. Variación en el tiempo (anual y por estación del año) de las patologías del pulmón en *Peromyscus difficilis* de los parques nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Desierto de los Leones (D); las cuales se expresan en número y porcentaje de organismos tanto de los que exhiben alguna de las alteraciones como el total.

ÉPOCA	PATOLOGÍA	A		D		COMPARACIÓN ENTRE ZONAS POR ÉPOCA Y ANUAL			
		Nt	AFECTADOS		Nt	AFECTADOS		Chi-cuadrado de Pearson	
			n	Porcentaje		n	Porcentaje	χ^2	Sig
LLUVIAS mayo - octubre	Neumoconiosis	5	3	60,00	34	28	82,35	@	
	Hiperplasia septal adenomatosa		0	0,00		14	41,18	@	
	Inflamación		1	20,00		4	11,76	@	
	Otros		2	40,00		14	41,18	@	
	Tota		4	80,00		31	91,18	@	
SECA noviembre - abril	Neumoconiosis	16	10	62,50	23	9	39,13	1,33	0,248
	Hiperplasia septal adenomatosa		6	37,50		2	8,70	@	
	Inflamación		3	18,75		2	8,70	@	
	Otros		1	6,25		6	26,09	@	
	Total		16	100,00		12	52,17	@	
ANUAL	Neumoconiosis	21	13	61,90	57	37	64,91	0,6	0,86
	Hiperplasia septal adenomatosa		6	28,57		16	28,07	0,002	0,965
	Inflamación		4	19,05		6	10,53	@	
	Otros		3	14,29		20	35,09	3,194	0,074
	Total		20	95,24		43	75,44	3,87	0,049
DIFERENCIAS ENTRE ÉPOCAS POR ZONA DE COLECTA									
Neumoconiosis		LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 11,25$; $p = 0,001$							
Hiperplasia septal adenomatosa		LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 7,169$; $p = 0,007$							
Inflamación		LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = Datos insuficientes							
Otras		LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 1,37$; $p = 0,242$							
Total		LLA - SA = Datos insuficientes LLD - SD = $\chi^2 = 11,26$; $p = 0,001$							
@ = Datos insuficientes									

Tabla 16. Comparación entre las dos zonas de trabajo en relación al grado de lesión pulmonar observado en *Peromyscus difficilis* en la época seca.

ESTADÍSTICO DE CONTRASTE	GRADO DE LESIÓN GLOBAL	NEUMOCONIOSIS	HIPERPLASIA SEPTAL
U de Mann-Whitney	165	186	259
W de Wilcoxon	441	462	535
Z	-3,74	-3,46	-2,73
Sig. asintót. (bilateral)	0,000	0,001	0,006

En las muestras de hígado analizadas (Ajusco = 28, Desierto = 64), se observaron en general dos rasgos patológicos importantes. Por una lado en las dos zonas de estudio aparecen focos de inflamación periportal de tipo crónico que van de grado leve a moderado, con una disminución poco notable en la frecuencia de aparición de esta afección durante la temporada seca (tabla 16, figura 13); en el Ajusco en la temporada de lluvias la apreciación de esta lesión debe tomarse con cautela por el bajo número de muestras analizadas. No se encontraron diferencias significativas entre las dos áreas de trabajo durante la época seca y tampoco entre las temporadas en el Desierto (tabla 16).

Por otro lado se detecta la acumulación de un pigmento marrón-dorado en las células de Küpffer (figura 14a), que como mencionamos con anterioridad se trata probablemente de lipofuscina; este rasgo histopatológico aparece en mayo, junio y julio, especialmente los dos primeros meses, no podemos concluir nada en lo que se refiere a su distribución por zonas y época de captura, por el bajo número de muestras obtenido en el Ajusco.

Una característica importante aunque no representativa es la presencia de algunos casos de células apoptóticas en zonas localizadas del hígado (figura 14b), debido al papel que juegan en la eliminación de células enfermas (Matzuyama *et al.*, 2001).

Otras patologías presentes fueron la presencia de: un quiste de gran tamaño (3x2 mm), vacuolización centrolobulillar, células gigantes y anisocariosis, excesivamente heterogéneas además de presentarse en conjunto similares porcentajes de individuos afectados en ambas zonas; dentro de estas patologías se detectaron parásitos o signos de los mismos en cinco individuos procedentes del Desierto y un organismo en concreto sospechoso de tener toxoplasmosis (tabla 16).

Tabla 16. Variación en el tiempo (estación del año y anual) de las patologías hepáticas en *Peromyscus difficilis* en los parques nacionales Cumbres del Ajusco (A) y Parque Nacional Desierto de los Leones (D).

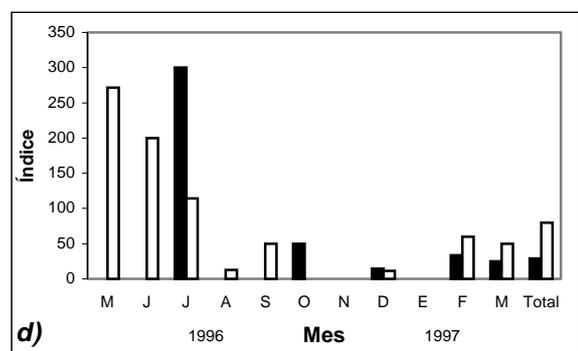
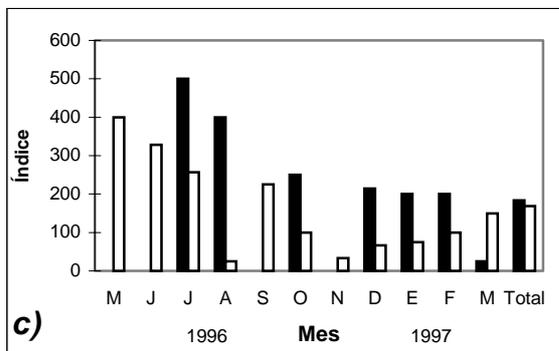
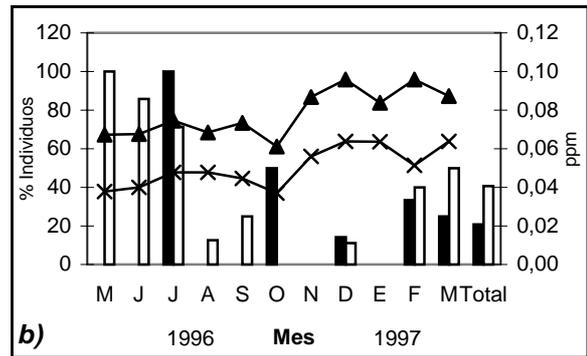
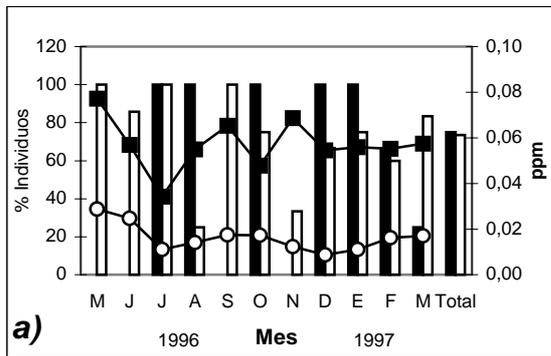
ÉPOCA	PATOLOGÍA	A		D		COMPARACIÓN ENTRE ZONAS			
		Nt	AFECTADOS		Nt	AFECTADOS		Chi-cuadrado de Pearson	
			n	%		n	%	X ²	Sig
LLUVIAS mayo - octubre	Pigmento en Células en Kupffer	6	2	33,33	37	20	54,05	@	
	Necrosis		1	16,67		0	0,00		
	Inflamación		4	66,67		19	51,35		
	Apoptosis		1	16,67		3	8,11		
	Otros		1	16,67		8	21,62		
	Total		4	66,67		29	78,38		
SECA noviembre - abril	Pigmento en Células en Kupffer*	18	3	16,67	27	6	22,22	@	1,201 0,273
	Necrosis		1	5,56		0	0,00	@	
	Inflamación		11	61,11		12	44,44	@	
	Apoptosis		2	11,11		2	7,41	@	
	Otros		5	27,78		3	11,11	@	
	Total		14	77,78		18	66,67	0,649	
ANUAL	Pigmento en Células de Kuffer*	24	5	20,83	64	26	40,63	@	
	Necrosis		2	8,33		0	0,00		
	Inflamación		15	62,50		31	48,44		
	Apoptosis		3	12,50		5	7,81		
	Otros		6	25,00		11	17,19		
	Total		18	75,00		47	73,44		

* Diferencia entre épocas LLD - SD = X² = 6,55; p = 0,01

@ = Datos insuficientes

TOTAL DE PATOLOGÍAS OBSERVADAS

PIGMENTO EN LAS CÉLULAS DE KÜPFER



OZONO ■ DIA □ NOCHE

■ AJUSCO □ DESIERTO

NO_x ◆ DIA * NOCHE

Número de mensual de organismos analizados por zona de estudio												
ZONA	1996								1997			Total
	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	
AJUSCO			1	1	2	2		7	4	3	4	24
DESIERTO	7	7	7	8	4	4	3	9	4	5	6	64

Figura 13. Distribución mensual en los dos parques nacionales del porcentaje de individuos que tienen al menos una lesión hepática o presentan pigmento en las células de Kupffer en *Peromyscus difficilis* a) y b) individuos afectados y relacionados con la concentración promedio de O₃ y NO_x de los 8 días anteriores a la colecta (considerando las estaciones de monitoreo más cercanas a las dos áreas de colecta, c) y d) grado de las lesiones.

El grado de lesión fue mayor en el Desierto a lo largo de todo el estudio exceptuando en julio, si bien los resultados obtenidos durante la temporada de lluvias no son comparables debido al tamaño de muestra obtenido, si se encontraron diferencias significativas en el grado de lesión total y en el provocado por la acumulación de pigmento en las células de Küpffer entre sitios de captura durante la temporada seca (tabla 17).

Tabla 17. Comparación del grado de lesión hepática observado en *Peromyscus difficilis* entre los dos parques nacionales durante la época seca.

ESTADÍSTICO DE CONTRASTE	GRADO DE LESIÓN GLOBAL	PIGMENTO CÉLULAS DE KÜPFER
U de Mann-Whitney	292	301,5
W de Wilcoxon	698	679,5
Z	-3,083	-3,040
Sig. asintót. (bilateral)	0,002	0,002

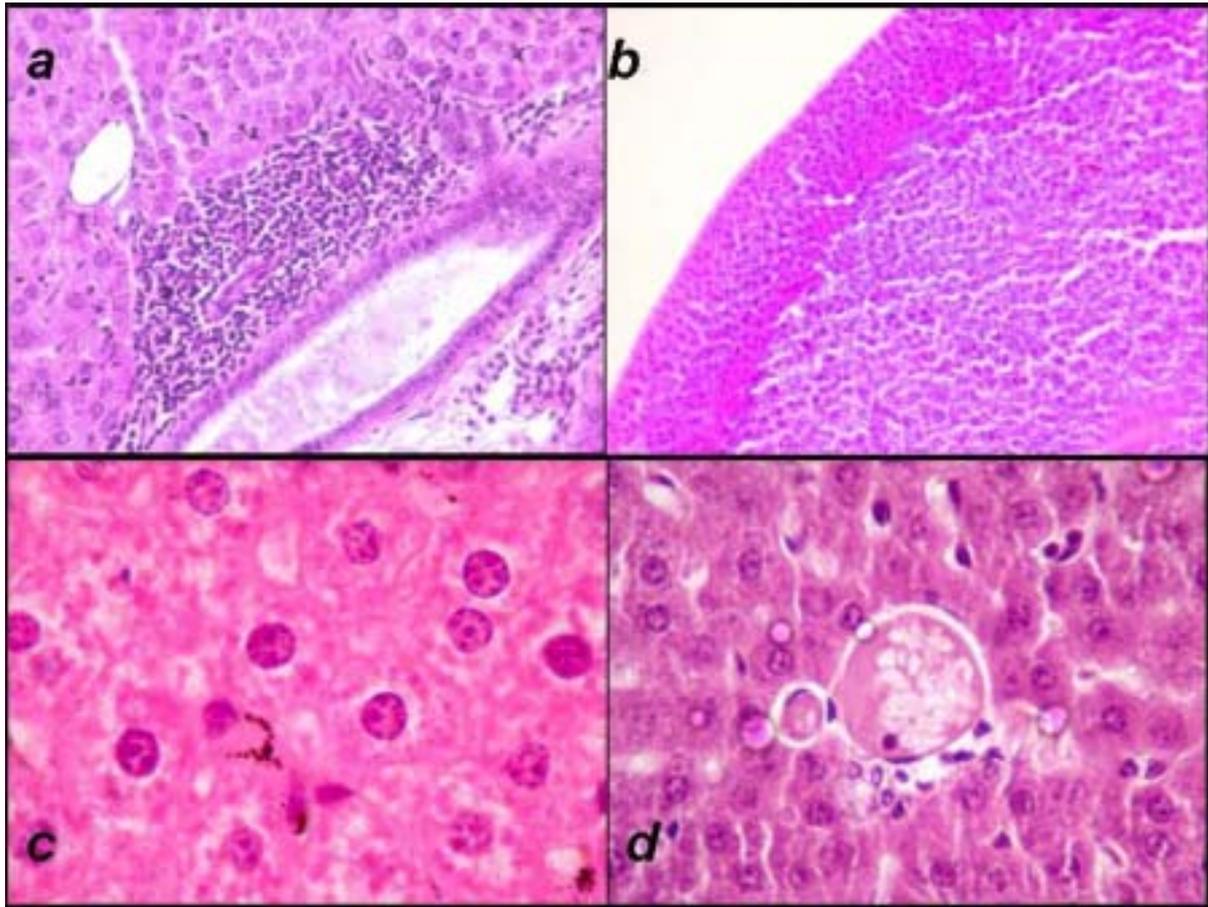


Figura 14. Patologías hepáticas observadas en *Peromyscus difficilis*: *a*) inflamación periportal (200x aprox); *b*) apoptosis en la zona subcapsular (100x aprox); *c*) nótese la pigmentación de la célula de Küpfer (lipofucsina) 300x; *d*) célula gigante (200x aprox) (HE).

4.5.4 *Neotomodon alstoni* y *Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis*.

Se realizaron algunos análisis histopatológicos en el pulmón e hígado de *Neotomodon alstoni* y *R. chrysopsis* procedentes del Ajusco; observándose neumoconiosis en 2 de los 4 organismos estudiados de *N. alstoni* y en 5 ejemplares de *R. chrysopsis*. No se observó otra patología asociada.

En el hígado de 4 individuos de *N. alstoni* se detectaron procesos inflamatorios, uno de los cuales presentó además desarrollo nodular y células apoptóticas; en 4 de 5 organismos de *R. chrysopsis* únicamente se encontraron procesos inflamatorios.

4.6 DISCUSIÓN.

Las poblaciones silvestres se encuentran expuestas a estresores naturales intrínsecos y extrínsecos, incluyendo restricciones nutricionales, climas extremos, enfermedades, reproducción y defensa de su territorio siendo la contaminación atmosférica una influencia estresante adicional.

El material particulado en *P. melanotis* y *M. mexicanus* en mayor grado en los organismos del Desierto, refleja una variación espacial de este contaminante; mientras en este parque las alteraciones pulmonares permanecen constantes y en mayor grado, en el Ajusco se observa un decremento de las mismas conforme avanza la época de lluvia que coincide con el descenso de las concentraciones de PM_{10} reportadas por la **RAMA**, excepto en los meses de noviembre y enero.

La distribución espacial y temporal de los procesos respiratorios obtenida puede ser debido a que la lluvia no produce el efecto de lavado inmediato de los contaminantes (Mugica *et al* 2002) y a las variaciones en la dispersión de contaminantes. Lo anterior ocasiona la disminución cualitativa y cuantitativamente de los contaminantes en la atmósfera del área urbana del Valle de México y el incremento en zonas aledañas (Gaffney *et al.*, 1999), por lo que se tiene la mayor presencia de estos contaminantes en el Desierto debido tanto por las diferencias locales de los vientos y eventos lluviosos como por los gases oxidantes.

El material particulado presente en los macrófagos de los alvéolos pulmonares, que en algunos casos llega a formar granulomas de cuerpos extraños, es más evidentemente en los animales procedentes del Desierto, como se observa en *P. melanotis*, sin embargo cabe la posibilidad de que las diferencias significativas encontradas durante los meses de junio, julio y agosto estén influenciadas por el tamaño de muestra obtenido en dicha área de trabajo, no obstante estas diferencias se mantienen en los meses subsecuentes de septiembre y octubre con un tamaño de muestra mayor.

Si bien la detección de neumoconiosis se da a lo largo de todo el estudio, en el Ajusco (excepto en marzo) el índice de gravedad es inferior con respecto al Desierto que presenta un índice máximo en febrero, lo cual posiblemente es resultado de la contaminación del mes anterior y/o de los organismos afectados en los meses anteriores que llegaron al siguiente ciclo poblacional. Esto sucede si asumimos que la presión de los contaminantes es mayor sobre las poblaciones del Desierto, lo cual podría incrementar su mortalidad; en cambio en las poblaciones del Ajusco al no ser tan

acusada esta presión, la supervivencia aumenta provocando a su vez un aumento del grado de afecciones en los pequeños roedores en comparación con los organismos del Desierto. Lo anterior se puede apoyar por la existencia de alteraciones patológicas incluida la presencia de hiperplasia septal adenomatosa en ausencia de material particulado, especialmente en *Microtus mexicanus*.

En ambos parques no se deben descartar las fuentes locales contaminantes de la atmósfera, como los incendios forestales que pueden incrementar los niveles de las *PM₁₀*, aunque en la zona del Ajusco son más probables los incendios de origen antropocéntrico, ya que en la agricultura local se practica comúnmente la roza, tumba y quema. Alarie (1989), Roperto *et al.* (1994) en cerdos y Roperto *et al.* (2000) en gallinas reportan lesiones similares con diferente grado de gravedad relacionados con el origen y composición de las partículas.

La presencia de material particulado en la mayoría de las muestras analizadas sin el desarrollo de patologías graves puede ser debido a la existencia o no de deterioro pulmonar previo a la exposición al material particulado, Adamson & Frieditis (1995) menciona que la influencia constante de partículas de carbón en ratones no incrementa los daños epiteliales preexistente (fibrosis), sin embargo la existencia del deterioro pulmonar si altera los patrones de deposición y retención de las partículas

A pesar de la importante carga de material particulado en el pulmón de los pequeños roedores del Desierto de los Leones, en términos generales la afectación del órgano parece ser comparativamente escasa, demostrando que en este caso la fagocitosis por macrófagos constituye un eficaz medio de defensa, provocada tanto por la respuesta natural del organismo como por el potencial tóxico de las *PM₁₀*.

Villalobos-Pietrini *et al.* (1995) analizan la actividad mutagénica de los compuestos químicos asociados a las partículas suspendidas de la Ciudad de México, determinando que la variación de este material está en función de la zona de procedencia y relaciona esta actividad con el origen de dicho material, encontrando una menor mutagenicidad en los sitios de las zonas más cercanas a las dos áreas de estudio.

Rosas-Pérez *et al.* (2000) reportan similares resultados en cultivos celulares; señalando que las concentraciones de metales y endotoxinas en la zona sur de la Ciudad de México eran más bajas que las de la zona norte, con un efecto mayor sobre las células de origen monocítico que en las epiteliales; de ahí la respuesta de los macrófagos alveolares en las especies estudiadas en el presente estudio. Bouthiller *et al.* (1998) reportan similares resultados en pulmón de ratones de laboratorio expuestos a

partículas urbanas, obteniendo incrementos en la actividad de macrófagos y descensos en la producción de ácido nítrico, sin grandes diferencias histológicas entre animales expuestos y no expuestos; indicando que las alteraciones estructurales en el pulmón no son prerequisite de toxicidad ya que los mecanismos de acción del material particulado están más relacionados con el sistema inmunitario del pulmón, afectando los mecanismos paracrino-endocrino, actuando en mayor grado en individuos con desordenes pulmonares y cardiovasculares previos.

La influencia de los gases oxidantes a nivel pulmonar es difícil de evaluar, ya que lo que se respira es una mezcla de contaminantes; no obstante diversos estudios señalan que los mecanismos de acción de estos contaminantes son más directos en las vías altas del aparato respiratorio, las mucosas nasales y el tracto respiratorio, además del hecho que al igual que las *PM₁₀*, los gases oxidantes incrementan la producción de células epiteliales del tipo II y de macrófagos alveolares (Hotchkiss *et al* 1989).

La presencia de pigmento en las células de Küpffer de algunos ejemplares de *P. melanotis* y *P. difficilis*, da indicio de que sus poblaciones están sufriendo en cierto grado estrés oxidativo, sin embargo en el desarrollo de esta patología en las dos especies antes mencionadas no hay una clara diferenciación entre zonas; en *P. melanotis* por presentar similares porcentajes de pigmentación de células Küpffer, sin una distribución clara a lo largo del estudio y en *P. difficilis* debido al tamaño de muestra obtenido en el Ajusco.

Si observamos el comportamiento del promedio tanto de los *NO_x*, como del *O₃*, éste no muestra grandes variaciones con respecto a la época del año, en los días previos al estudio pudiendo darse dos circunstancias; que la influencia de los gases oxidantes se realizó en las mucosas nasales y tráquea y la cubierta vegetal a pesar de las alteraciones a las que ha sido sometida, aún les proporcione un eficaz medio de protección contra estos contaminantes.

Por otro lado hay que considerar el efecto acumulativo de los contaminantes en la red alimenticia (bioacumulación), la capacidad de resistencia del organismo para soportar exposiciones crónicas y agudas durante largo tiempo y el efecto de la mezcla de los contaminantes en la atmósfera en el Valle de México.

Si relacionamos el número de patologías en el pulmón con el promedio mensual de cada contaminante del mes anterior al día de captura (figura 7), podemos observar que a pesar del descenso gradual en el nivel de las *PM₁₀*, los niveles de *SO₂* y *NO_x* se mantienen relativamente constantes o incrementan, con un descenso en las

concentraciones de SO_2 en octubre para después aumentar en los meses siguientes a la par que las PM_{10} , siendo probable que la zona del Desierto se encuentre más afectada por la contaminación fotoquímica que la del Ajusco y de acuerdo a indicios de estrés oxidativo en *P. difficilis* predisponiéndola a tener una mayor respuesta hacia las trampas (índice de captura alto) en comparación con *P. melanotis*, y le ocasionara un descenso en el peso en diciembre (capítulo 2), esto último producto de factores como el reclutamiento poblacional, diferentes grados de exposición ambiental, calidad del alimento consumido así como por otro lado durante el proceso de aclimatación a las nuevas condiciones estuvieran menos activos y con ello sufrieron escasez alimenticia.

Por otra parte es posible que la actividad fagocítica de los macrófagos alveolares se vea disminuida por efecto de los gases oxidantes, Oosting *et al.* (1990, 1991 y 1991a) estudiando los efectos del O_3 en macrófagos alveolares de ratas y ratones “*in vivo*” e “*in vitro*”, encuentran que la actividad de los fagocítica se altera por la formación de radicales libres, con mecanismos diferentes en las dos especies.

Aunque no sabemos los niveles de O_3 que están respirando los organismo es posible que las poblaciones de roedores estudiada puedan ver afectados sus mecanismos de defensa y presentar respuestas diferentes: en el Ajusco se presenta una marcada reducción en número e índice de afección de neumoconiosis que pudo ser ocasionada bien por un índice de mortalidad mayor o una menor influencia de contaminantes; siendo más probable la segunda causa debido a la relación que se observa con respecto a la temporada de lluvias mientras que en el Desierto estos dos indicadores permanecen constantes por lo que podemos suponer por un lado una mayor influencia de contaminantes con una reducción de actividad fagocítica, que puede o no ir acompañada de un mayor índice de mortalidad, ocasionado tanto por la influencia directa de los contaminantes como por un mayor efecto de los procesos infecciosos.

En estas dos especies otra consideración importante es la posible presencia del hantavirus “Sin Nombre”, en estudios sobre su distribución, realizadas en poblaciones de *P. melanotis* del estado de Morelos (cerca de la zona del Ajusco) han dado positivo a anticuerpos de este virus (Mantooth *et al.*, 2001), la presencia de este endoparásito en estos micromamíferos podría incrementar o reducir su resistencia a las inclemencia del ambiente.

Las tres especies poseen diversos grados de endoparasitismo pero la afección más evidente son los quistes de *Toxoplasma gondii* en *P. melanotis* tanto por su constancia de aparición en las capturas mensuales como por el porcentaje de individuos

infectados. Está demostrado que los cambios ambientales y disturbios ecológicos, ambos provocados por fenómenos naturales y la intervención humana, han influido en la proliferación y el surgimiento de las enfermedades parasitarias (Patz *et al.*, 2000).

Las alteraciones en la cobertura vegetal ocasionadas por el efecto de los contaminantes atmosféricos, ocasionan cambios en la estructura de las poblaciones, En el Ajusco; en la zonas de pastizal alpino afectada por “incendios controlados” algunas especies de pequeños roedores responde con incrementos poblacionales mientras que otras decrecen (Gómez-Ugalde, 1988); varios estudios han encontrado que especies del género *Microtus* y *Clethrionomys* son menos resistentes que *Peromyscus maniculatus* a cambios ocasionados por el uso de herbicidas e incluso estos últimos incrementan su abundancia remplazando a las especies que han sido afectadas (Sullivan & Sullivan, 1982; Santillo *et al.*, 1989; Sullivan, 1990; Allen & Otis, 1998; Sullivan *et al.*, 1998); si bien no estamos trabajando la misma especie, Hooper (1968) menciona que *P. melanotis* se encuentra estrechamente relacionada con *P. maniculatus*, sustituyéndola en las partes altas de México, sugiriendo comportamientos similares entre estas dos especies.

De igual forma sería importante estudiar la relación entre la presencia de *Toxoplasma gondii*, y la influencia reciproca en la población y en animales domésticos; en estudios recientes se encontró un 14,3 % de infestación en gatos procedentes de la Delegación Tlalpán a la cual pertenece el Ajusco, con un 9,89 % considerando el total de muestra analizado ($n_t = 571$) procedente de diversos puntos del Área Metropolitana de la Ciudad de México (Martínez-Barbabosa *et al.*, 1996), y su relación con la presencia de quistes en el agua de lluvia, reportados durante el año de estudio, siendo uno de los indicadores biológicos con mayor presencia en la estación de monitoreo “Pedregal”. (S.M.A, 1997); (aunque no hacen referencia a el tipo de parásito al que pertenecen) y la influencia en la distribución espacial y temporal de este parásito, relacionado con los procesos de erosión del suelo en las dos zonas de estudio, y los mecanismos de dispersión del material particulado.

A pesar del grado de deterioro orgánico observado en *P. melanotis*, los resultados sugieren que esta especie posee los mecanismos biológicos necesarios para continuar siendo exitosa en los sitios de captura y a pesar de las alteraciones en su microhábitat puede resistir las presiones ambientales y el aparente mayor grado de parasitismo, aunque para confirmar esta suposición es necesario realizar estudios de dinámica poblacional en los dos parques nacionales.

La infestación por *Toxoplasma gondii* en *P. melanotis* es claramente mayor en los ejemplares del Desierto tanto por lo que se refiere al número de individuos como a su distribución en el tiempo. En el Ajusco los animales parasitados aparecen exclusivamente de diciembre a abril, mientras que en el Desierto estos organismos se encuentran desde septiembre hasta abril

Cabe sospechar un efecto inmunodepresor debido al *stress* ocasionado por la contaminación, pero no es posible descartar las diferencias en la presencia y grado de parasitismo debidas a características microgeográficas o microclimáticas. Aunque estas diferencias bien pueden ser causadas por alteraciones ajenas al proceso natural de sucesión que a su vez son consecuencia de la contaminación o de de las actividades colaterales como la reforestación, la tala de árboles enfermos, etc.

Se han observado diferencias en el grado de parasitismo entre hembras y machos en los que la actividad reproductora altera la susceptibilidad y resistencia a la infección a través de los cambios en las hormonas esteroides que reducen la capacidad de respuesta inmunológica del organismo, ante la influencia de los ciclos reproductores. Galindo-Leal (1997) no encuentra resultados que sustenten diferentes patrones de infestación relacionados con el sexo en *P. difficilis* parasitados por larvas de moscas del género *Cuterebra*, sin embargo si obtiene patrones estacionales de infestación en ambos sexos observando la presencia del parásito de septiembre-febrero incrementándose dichos procesos cuando a los organismos se les administraba alimento suplementario.

No se encontró suficiente evidencia para sospechar que el sexo y actividad sexual ocasionara una infestación baja o alta ya que esta especie presentó signos de actividad sexual en casi todo el periodo de estudio, además se tienen que tomar en cuenta las restricciones del método en la detección de *Toxoplasma gondii*.

En poblaciones de pequeños roedores de los Estados Unidos se han reportado porcentajes menores de la presencia de anticuerpos de *Toxoplasma* (*Peromyscus sp* = 4.1%, 3 casos; *Mus musculus* = 2,1%, 26 casos) (Dubey *et al.*, 1995); pero se debe considerar este parásito es preferentemente de climas tropicales, por lo tanto en las zonas más calidas los procesos infecciosos serán mayores.

Los resultados del hígado en grado mayor asociados a la existencia de *Toxoplasma* en *P. melanotis*, pueden corresponder a infecciones víricas, muy comunes en roedores silvestres; el virus de la hepatitis de ratones (MHV miembro de los coronavirus) causa varios tipos de enfermedades en ratones y ratas tales como la

hepatitis, encefalomiелitis y enteritis, no obstante el grado de patogenicidad del virus depende de la especie, edad y estado inmunitario del huésped (Spaan *et al.*, 1988)

Las diferencias significativas observadas en el número y grado de lesión bien pueden ser influenciadas por los contaminantes atmosféricos. En estudios con ratones de laboratorio expuestos a sitios contaminados han demostrado el decremento en la resistencia a bacterias, virus y parásitos (Bradley & Morahan, 1982; Hatch *et al.*, 1985).

La evaluación del impacto ambiental en poblaciones naturales de pequeños roedores, tiene varios inconvenientes, principalmente porque los organismos con lesiones graves reducirían su movilidad, por lo que son potencialmente más fácilmente atrapados por sus depredadores naturales o en un muestreo al azar la probabilidad de ser capturado es mucho menor en comparación con los individuos sanos.

La presencia de *T. gondii* en *P. melanotis* refuerza lo anteriormente mencionado. Diversos estudios en ratas de laboratorio han señalado que este endoparásito modifica el comportamiento innato de sus hospederos, señalando que su presencia aumenta la probabilidad de ser capturados (Webster *et al.*, 1994) afectando la capacidad de percibir a sus depredadores naturales (Berdoy *et al.*, 2000), haciéndolos más susceptibles a la depredación por parte de los felinos (Webster, 2001).

Hrdá *et al.* (2000) mencionan la relación entre las fases más agudas de la enfermedad producida por *T. gondii* con la reducción de la actividad de los roedores afectados. Esto explicaría tres situaciones posibles con respecto a los organismos con mayor índice de gravedad que afectarían al estudio realizado en esta tesis, estas son: al ser presas fáciles, la depredación natural disminuiría el número de estos organismos; y/o los ejemplares enfermos permanecieran más tiempo en sus guaridas. Influyendo en la obtención de muestras, ya que al tratarse de capturas de un día, la probabilidad de obtener individuos más afectados es menor; en cambio un depredador tiene una mayor posibilidad de éxito en la caza de dichos organismos, es decir, la eficiencia de captura de un depredador sería mayor que la de un muestreo científico para obtener organismos enfermos.

Por otra parte si la presencia de un parásito altera los movimientos de la especie que parasita reduciendo su actividad, la acción y exposición directa a los contaminantes sería menor; se menciona esto debido a que los casos de infestación hepática se circunscriben a la temporada seca, también podría suceder que la presencia del parásito redujera los efectos directos de la contaminación en los organismos infestados, ya que estos disminuyen la actividad durante la fase inicial de la infección. Górriz (1995)

encontró en ejemplares de *Mus musculus* que disminuían su actividad y el consumo de alimento y agua, al estar expuestos a gases oxidantes y partículas emitidas por una central térmica.

La identificación de la toxoplasmosis en los roedores analizados en este estudio no es la más adecuada, ya que es necesario llevar a cabo análisis de anticuerpos y análisis de masa encefálica, lo que lleva suponer que la incidencia de *T. gondii* en las poblaciones de *P. melanotis* puede ser mayor. Trabajos realizados en palomas silvestres inoculadas con este endoparásito han reportado la presencia de anticuerpos con ausencia de parásitos y viceversa (Jacobs *et al.*, 1952).

Aunque el método de detección del mencionado parásito no permite saber si se trata de la infestación inicial o de procesos de reinfección y no da los porcentajes reales de parasitismo en las especies estudiadas, sí permite observar diferencias en el grado de infestación del hígado en *P. melanotis*, así como posibilita establecer la ausencia del parásito en este órgano en *M. mexicanus* y *P. difficilis*, esto llevaría a suponer diferentes grados de respuesta hepática en dichas especies. Pero como se señaló antes no se realizaron estudios de anticuerpos ni histológicos de masa encefálica con los cuales se obtendrían estas diferencias estadísticas en los mecanismos inmunológicos de las tres especies o concluir que las dos especies sin parásito no se encuentran afectadas, especialmente en *M. mexicanus* ya que en *P. difficilis* se observó un organismo sospechoso de estar infectado.

La presencia de quistes en las dos zonas de trabajo en distintos tiempos podría indicar que existen diferencias en el inicio de la infección a nivel del hígado y/o en la respuesta inmunitaria del hospedero, las cuales posiblemente están influenciadas en diferente proporción y época por los contaminantes atmosféricos.

En cualquier animal homeotérmico después de la ingestión del oocito se lleva a cabo la fase de reproducción asexual del parásito de forma extraintestinal, dando lugar a las formas de multiplicación rápida – taquizoítos– responsables de la difusión inicial de la infección y de la destrucción tisular, mientras que los bradizoítos de desarrollo más lento forman quistes característicos de infecciones crónicas, formándose quizás como consecuencia del incremento en la inmunidad del hospedero (Markell, 1990).

El incremento en el porcentaje de organismos de *P. melanotis* con *T. gondii* puede ser producto del aumento en el tamaño poblacional, la actividad reproductora y el comportamiento agonístico de las poblaciones de esta especie, es decir, al incrementarse los factores estresantes. El hecho de que este endoparásito afecte por igual a individuos

en estado reproductor activo y a los que no lo están, puede indicar la existencia de casos de transmisión vía parental, que son normales dentro del proceso de desarrollo de la enfermedad y/o casos extremos de canibalismo interespecíficos o intraespecíficos, al respecto se observaron un par de casos de canibalismo en los ejemplares de *M. mexicanus* y *P. difficilis* que se habían destinado a otra fase del proyecto.

Recientemente se ha reportado en humanos con inmunodeficiencias, rupturas de las formas quísticas y la transformación de bradizoítos a taquizoítos, dando como resultado una reactivación de la enfermedad, observando que dentro de los factores que pueden activar los procesos infecciosos uno de los más notables es el estrés oxidativo (Lyons *et al.*, 2002). Si esto es aplicable a las dos áreas de estudio el incremento en las lesiones tisulares debidas a *Toxoplasma* podría ser ocasionado este fenómeno de reactivación del parásito, producto de la influencia de gases oxidantes como el O_3 , NO_x y SO_4 generados en el Valle de México, con mayor influencia en el Desierto, si tomamos en cuenta la presencia de pigmentos de lipofucsina en el hígado de *P. difficilis* detectados en mayor proporción en los ejemplares del Desierto y que el grupo de trabajo “*Cambios atmosféricos y Bosques*”, COFAN-FAO registró concentraciones máximas de O_3 superiores a las detectadas por la Red de Monitorio Atmosférico en las estaciones cercanas a la zona de estudio.

En poblaciones de *P. melanotis* del Ajusco se han observado aumentos poblacionales en la primavera y en otoño (Gómez-Ugalde, 1989) no obstante la escasa detección del parásito durante la temporada de lluvias en el Ajusco y el aumento en la frecuencia de aparición del mismo en los organismos del Desierto indicaría diferentes respuestas inmunitarias probablemente relacionadas con la exposición continua a contaminantes atmosféricos, McMurry *et al.* (1999) mencionan que los contaminantes petroquímicos con diferentes mecanismos de acción sobre el sistema inmunitario de *Sigmodon hispidus* pueden modificar los porcentajes de infección por helmintos, ocasionando también diferencias en la abundancia y la riqueza de especies que la parasitan (Faulkner & Lochmiller, 2000).

Noble y Noble (1982) informan que cuando un mamífero presenta manifestaciones de la enfermedad, por lo general pasa por la fase aguda, subaguda y crónica, no existiendo en otro órgano signos visibles afección del *Toxoplasma*, aunque no se hicieron análisis en el cerebro ni en tejido muscular, siendo posible que otras partes anatómicas se encontraran afectadas por este parásito. Investigaciones en ecosistemas acuáticos han demostrado el potencial de los contaminantes ambientales

para romper las relaciones parásito-huésped (Khan & Kiceniuk, 1988; Khan, 1990), alterando el grado de parasitismo, debido a que las dichas relaciones dependen tanto del ciclo de vida del parásito como de la respuesta inmune del huésped (Bagge & Valtonen, 1996).

La función inmunitaria puede ser relativamente resistente a la exposición de contaminantes durante periodos de bajo estrés natural, pero al aumentar este último puede aumentar los efectos inmunotóxicos (McMurry *et al.*, 1999). Porter *et al.* (1984) trabajaron en estudios de laboratorio con *P. maniculatus* considerando diferentes condiciones de alimento, agua, patógenos y tratamientos inmunosupresores; observando en individuos con restricciones alimentarias que su crecimiento y su tasa de supervivencia son más sensitivas a la exposición de inmunosupresores y patógenos que los que recibieron alimentación ilimitada. Este tipo de relaciones son más difíciles de establecer en las dos zonas de captura, ya que por un lado tenemos incrementos en el éxito de captura al final de la temporada de lluvias coincidiendo con el incremento en disponibilidad del alimento para las especies granívoras y poco alimento para las especies herbívoras; en el Desierto se tiene el máximo porcentaje de organismos con presencia de quistes en el mes de noviembre para descender en los meses siguientes esto podría ser debido a una disminución en los mecanismos inmunitarios, provocada por una conjunción de estresores ambientales y sociales producto de la dinámica poblacional de las especies evaluadas y la influencia de los contaminantes atmosféricos.

Cambios estacionales en la respuesta inmunitaria han sido reportados en mamíferos, este efecto es considerado una adaptación como respuesta a una mayor demanda energética durante el invierno producto de las condiciones adversas, la escasez de alimento y los descensos en la temperatura o incrementos en el grado de estrés (Mann *et al.*, 2000).

En los organismos estudiados se observan diferentes grados de respuesta inmunitaria, esta variación puede ser explicada por dos razones: por la respuesta intrínseca de la especie a los ambientes adversos que le ayuda a soportar las condiciones producidas por la contaminación, o porque que la contaminación ambiental ha provocado esa respuesta, en la segunda causa se debe tomar en cuenta el impacto de la contaminación atmosférica en los dos parques nacionales en mayor o menor escala durante más de 30 años. Allen & Otis (1998) sugieren el desarrollo de una resistencia genética a exposiciones crónicas de contaminantes químicos en poblaciones naturales de *P. maniculatus*.

Se sabe que diferentes especies responden al fotoperíodo con cambios en la reproducción, este hecho se da en forma natural en poblaciones no tropicales. En el Valle de México la contaminación atmosférica ha provocado cambios notables como los producidos por la capa de smog en los niveles de visibilidad. La capa de smog pueden alcanzar en algunos casos un grosor de 500 m y según la época del año o condiciones climáticas se forman procesos de dispersión entre las 9 y 11 de la mañana (Eidels-Dubovoi, 2002). Esta situación bien podría afectar la respuesta inmunitaria de una especie, si es que ésta es sensible a este tipo de estímulos. Estudios con hembras de *P. maniculatus* originarias de Estados Unidos han encontrado que los días cortos producen un efecto amortiguador contra el estrés metabólico con aparente independencia de las concentraciones de esteroides (Demas *et al.*, 1997; Demas & Nelson 1998 y 1998a); en cambio en organismos de *P. aztecus* criados en cautiverio y obtenidos a partir de ejemplares procedentes del sureste de México (Estado de Michoacán), no se observa el mismo efecto anterior, lo cual sugiere que los procesos reproductivos de esta especie son flexibles, y responden más a factores sociales que ambientales (Demas & Nelson 1998a y, 2003).

Es importante la capacidad de dispersión de los animales, ya que ante las agresiones del medio se consideraría como una vía de escape de su sitio de distribución normal a otro nuevo. Los datos de las tres especies estudiadas tienen diversos patrones de comportamiento especialmente con respecto al material particulado y a la presencia de parásitos, la variación del primer parámetro se explica tanto por el comportamiento de los contaminantes en el Valle de México como por las características de cada especie.

Cada especie desarrolla mecanismos de comportamiento que le permiten convivir con el resto de las especies, llegando incluso a no coincidir o tener escasos encuentros en el espacio y en el tiempo en función del comportamiento que desarrollan.

Microtus mexicanus es herbívora y utiliza cierta cobertura vegetal proporcionada por el sotobosque, no necesitando del estrato arbóreo que en el caso que nos ocupa se encuentra más afectado por los contaminantes, si necesita cierta cobertura vegetal proporcionada por el estrato herbáceo, lo cual se refleja en los patrones de comportamientos en las capturas relacionados con las temporadas de lluvias y seca además de presentar áreas de actividad mucho mayores *P. melanotis*, con picos de actividad diurnos (Sánchez-Hernández *et al.*, 1981) y áreas de actividad en zonas de pastizal alpino de $718.2 \pm 230.3 \text{ m}^2$ (Fa *et al.*, 1990), mientras que *P. melanotis*

consumidor de semillas e insectos prefiere hábitats abiertos con áreas de actividad de $420.8 \pm 390.5 \text{ m}^2$ (Fa et al, 1996), mientras que *P. difficilis* se encuentra estrechamente relacionados con la vegetación y el substrato rocoso, siendo su alimento favorito la bellotas (Baker, 1968). Las diferentes variaciones en el área de actividad proporcionan la gran variedad de respuestas y tanto intraespecíficas como interespecíficas, lo que explicaría la amplia diversidad de patologías del hígado en las tres especies estudiadas

Los estresores naturales pueden incrementar la respuesta la secreción de corticosteroides (Moberg, 1985), en algunas especies llegan a ocasionar efectos inmunosupresores (Khansari *et al.*, 1990, Klein *et al.*, 1996). Los niveles de contaminación funcionan como estresores ambientales que pueden llegar a incrementar los niveles de corticoides en las poblaciones de roedores estudiadas y con ello disminuir el sistema inmunitario del organismo.

En este estudio no se realizaron mediciones de esteroides sin embargo en observaciones realizadas en el hígado de *M. mexicanus* se encontraron imágenes que al parecer denotan la presencia de glucocorticoides sin daño hepático en las dos zonas; este tipo de respuesta bien pueden ser ocasionada por el comportamiento normal del organismo. En poblaciones de *M. orchogaster* se han reportado variaciones en los niveles de esteroides relacionados con la densidad poblacional (Nelson *et al.*, 1996), sin que estos lleguen a comprometer su inmunidad celular, esto sugiere que las interacciones entre el eje hipotalámico–hipofisario-renal y el sistema inmune en especies de *Microtus* difieren al de *Mus musculus* confiriéndoles una relativa resistencia (Klein *et al.*, 1996; Nelson *et al.*, 1996), lo que haría a estas especies más resistentes a las condiciones adversas ocasionadas por la contaminación en las zonas de trabajo.

La capacidad de *M. mexicanus* a niveles más altos de corticoides de lo normal sin comprometer su resistencia inmunitaria y el desarrollo del aparato yuxtglomerular observado, le permitiría una mejor regulación de la presión sanguínea y resistir condiciones adversas y los procesos infecciosos en ambientes contaminados, confiriéndole mayor grado de agresividad que a sus conespecíficos y con ello tener el potencial para desplazar a otras especies.

Es difícil evaluar si *M. mexicanus* es capaz de desplazar a otra(s) especies presentes en las dos áreas naturales a través del comportamiento agonístico, sin embargo a pesar de que no se realizaron estudios de dinámica poblacional se percibe un mayor tamaño poblacional en las dos áreas de estudio que el observado en zonas de

pastizal del Ajusco (Gómez-Ugalde, 1988), sería interesante determinar los mecanismos tanto los que rigen a estas poblaciones como los probables que las pudieran hacer más resistente a los contaminantes.

Los efectos, grado y sitio de alteración de la contaminación atmosférica varían en función del tipo de contaminante y tiempo de exposición, en el caso específico del material particulado es más importante el tamaño de la partícula y su origen no siendo necesario grandes concentraciones para provocar efectos tóxicos (Natush *et al.*, 1974; Hatch *et al.*, 1985; Bouthillier *et al.*, 1998)

En ambos parques nacionales no se obtuvieron organismos con patologías extremadamente graves pero existen diferencias tanto entre las épocas del año y las zonas de trabajo que sugiere un fenómeno de inmunosupresión relacionado con el área de captura y las épocas de año, si se observan los niveles de las alteraciones del riñón, lo anterior es más evidente en las poblaciones de *P. melanotis* que en las de *P. difficilis* y *M. mexicanus*, además las alteraciones son más abundantes en los ejemplares del Desierto.

Las alteraciones renales observadas bien pueden ser debidas a la respuesta inmune a procesos infecciosos debidos al parasitismo o infecciones de garganta, que aparentemente suceden en mayor grado en los individuos del Desierto; dichos padecimientos pueden llegar a ocasionar diversos tipos de glomerulonefritis o necrosis tubular aguda (muerte del tejido). Aunque las lesiones en el riñón son difíciles de evaluar ya que por un lado estos daños posiblemente están presentes de forma asintomática, sin que este órgano tenga grandes cambios histológicos (M. Borrás comunicación personal); y por el otro son capaces de provocar una insuficiencia renal crónica

Las funciones del riñón son de eliminar los productos de desecho, regular balance de líquidos y los niveles de sal y mantener el equilibrio ácido-base en la sangre. Los resultados observados en este órgano pueden ser producto del esfuerzo metabólico que están desarrollando los roedores para compensar las agresiones ambientales que alteran el equilibrio de los metales en su organismo (capítulo 5).

La influencia del hombre sobre los ecosistemas está ocasionando la transformación de éstos. En los bosques del sur de la Ciudad de México ha provocado la fragmentación o división en manchas pequeñas de lo que era un ecosistema continuo de vegetación, por lo que los mecanismos de autorregulación de los bosques no fragmentados son totalmente diferentes a los de las parcelas supervivientes, cambiando

el proceso natural de sucesión. El impacto ambiental también afecta a las poblaciones de animales que habitan dicha zona, ya que directamente se pierden gradualmente su hábitat, recursos alimenticios y refugios, e indirectamente se altera el equilibrio de las poblaciones de depredadores, parásitos y competidores (Saunders *et al.*, 1991).

4.7 CONCLUSIONES.

Existe la influencia del material particulado sobre el pulmón de las tres poblaciones estudiadas, siendo ésta en mayor grado en las poblaciones del Parque Nacional Desierto de los Leones.

Se tienen patrones estacionales de variación en el número y grado de las alteraciones patológicas observadas en las tres poblaciones, siendo más notables en *Peromyscus melanotis* probablemente relacionadas con la capacidad de la especie para soportar los cambios ambientales y el deterioro en el organismo de los individuos.

El grado y nivel de alteración orgánicas detectado en los tejidos analizados de *M. mexicanus*, *P. melanotis* y *P. difficilis* no llegan a comprometer en apariencia las tasas de supervivencia por enfermedad.

Peromyscus melanotis podría ser un buen indicador de la influencia del material particulado sobre los ecosistemas estudiados.

Se observa parasitismo por *Toxoplasma gondii* en *Peromyscus melanotis*, con diferencias significativas en el porcentaje de infestación entre las dos poblaciones estudiadas y variaciones en su distribución temporal.

Los parámetros histopatológicos reportados en este capítulo pueden formar parte de la base científica para apoyar investigaciones de impacto ambiental en ecosistemas terrestres que incluyan otro tipo de estudios (inmunológicos, de dinámica poblacional, etc), y de esta manera realizar una evaluación más holística.

Es necesario llevar cabo investigaciones sobre dinámica poblacional e infestación parasitaria, encaminada a conocer el grado y sentido de las relaciones parásito-huésped, especialmente en los mecanismos inmunitarios de las tres especies estudiadas y si estos ocasionan que parásitos como *Toxoplasma*, manifiestan mayor resistencia al sistema inmune de la especie que parasitan. Esto tendría como consecuencia en los humanos susceptibles que las infecciones parasitarias fueran más graves.

4.8 BIBLIOGRAFIA.

- Adamson, I. Y. R. & H. L. Frieditis. 1995. Response of mouse lung to carbon deposition during injury and repair. *Environmental Health Perspectives* 103(1):72-76.
- Alarie, Y. 1989. Effects of inhaled municipal refuse incinerator fly ash in the guinea pig. *Journal of toxicology and Environmental Health* 28(1):13-25.
- Allen, D. L. & D. L. Otis. 1998. Relationship between deer mouse population parameters and dieldrin contamination in the Rocky Mountain Arsenal National Wildlife Refuge. *Canadian Journal of Zoology* 76(2):243-250.
- Bagge, A. M. & E. T. Valtonen. 1996. Experimental study of the influence of paper and pulp mill effluent on the gill parasite communities of roach (*Rutilus rutilus*). *Parasitology* 112(3) 499-508.
- Baker, R. H. 1968. Habitats and distributions. In *Biology of Peromyscus* (Rodentia). (J. King ed). Special publications 2:98-126.
- Bassett, D. J., P. E. Bowen-Kelly, C. L. Elbon & S. S. Reichenbaugh. 1988. Rat lung recovery from 3 days of continuous exposure to 0,75 ppm ozone. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 25(2):329-347.
- Batzli, G. O. & F. A. Pitelka. 1971. Condition and diet of cycling population on the california vole *Microtus californicus*. *Journal of Mammalogist* 53(2):336-346.
- Berdoy, M., J. P. Webster & D. W. Macdonald. 2000. Fatal attraction in *Toxoplasma*-infected rats: a case of parasite manipulation of its mammalian host. *Proceeding of The Royal Society London Biological Science* 267(1452):1591-1594.
- Bonner, J. C., A. B. Rice, P. M. Lindroos, P. O. O'Brien, K. L. Dreher, I. Rosas, E. Alfaro-Moreno & A. R. Osornio-Vargas. 1998. Induction of the lung myofibroblast PDGF receptor system by urban ambient particles from Mexico City. *American Journal of Respiratory Cell Molecular Biology* 19(4):672-680.
- Bouthillier, L., R. Vincent, P. Goegan, I. Y. R. Adamson, S. Bjarnason, M. Stewart. J. Guénette, M. Potvin & P. Kumarathasan. 1998. Acute effects of inhaled urban particles and ozone. Lung morphology, macrophage activity and plasma endothelin-1. *American Journal of Pathology* 153(6):1873-1884.
- Bradley, S. G. & P. S. Morahan. 1982. Approaches to assessing host resistance *Environment Health Perspectives* 43(1):61-69.

- Bross-Soriano, D., R. Astorga del Toro, J. R. Arrieta-Gómez, S. Parraaguirre-Martínez, A. G. González-Valero, R. E. Guzmán-Urrutia & J. Schimelmitz-Idi. 2001. Cambios histológicos de la mucosa nasal en habitantes de la Ciudad de México en comparación con quienes no habitan en áreas metropolitanas. *Anales Médicos, Asociación Medicina Hospital A.B.C.* 40(1):26-30.
- Castillejos, M, D. R. Gold, D. Dockery, T. Tosteson, T. Baum, F. E. Speizer. 1992. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in school children in Mexico City. *American Review of Respiratory Disease* 145(2 Pt 1):276-282.
- Demas, G. E., A. C. DeVries & R. J. Nelson. 1997. Effects of photoperiod and 2-deoxy-D-glucose-induced metabolic stress on immune function in female deer mice. *American Journal of Comparative Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology* 272(6):1762-1767.
- Demas, G. E. & R. J. Nelson. 1998. Short-day enhancement of immune function is independent of steroid hormones in deer mice (*Peromyscus maniculatus*). *Journal of Comparative Physiology B*.168:419-426.
- Demas, G. E. & R. J. Nelson. 1998a. Social, but not photoperiodic, influences on reproductive function in male *Peromyscus aztecus*. *Biology of Reproduction* 58(2):385-389.
- Demas, G. E. & R. J. Nelson. 2003. Lack of immunological responsiveness to photoperiod in a tropical rodent, *Peromyscus aztecus hylocetes*. *Journal of Comparative Physiology, Biochemical, Systemic and Environmental Physiology* 173(2):171-176.
- Dodge, D. E., R. B Rucker, K. E. Pinkerton, C. J. Haselton & C. G. Plopper. 1994. Dose dependent tolerance to ozone. III. Elevation of intracellular clara cell 10-k protein in central acini of rats exposed for 20 months. *Toxicology and Applied Pharmacology* 127(1):109-123.
- Dubey, J. P., R. M. Weigel, A. M. Siegel, P. Thulliez, U. D. Kitron, M. A. Mitchel, A. Manelli, N. E. Mateus-Pinilla, S. K. Shen & O. C. Kwoc. 1995. Source and reservoirs of *Toxoplasma gondii* infection on 47 swine farm in Illinois. *Journal of Parasitology* 81(5):723-729.
- Eidels-Dubovoi, S. 2002. Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City. *The Science of the Total Environment* 287(1): 213-220.

- Fa, J. E., J. E. López-Paniagua, J., Romero, F. J., Gómez, J. L. & J. C. López. 1990. Influence of habitat characteristics on small mammals in a Mexican high-altitud grassland. *Journal of Zoology*, London 221(3):275-292.
- Fa, J. E., V. Sánchez-Cordero & A. Mendez. 1996. Interspecific agonistic behaviour in small mammals in a Mexican high elevational grassland. *Journal of Zoology* London 239(3):396-401.
- Faulkner, B. C. & R. L. Lochmiller. 2000. Ecotoxicity revealed in parasite communities of *Sigmodon hispidus* in terrestrial environments contaminated with petrochemicals. *Environmental Pollution* 110(1):135-145.
- Gaffney, J. S., N. A. Marley, M. M. Cunningham & P. V. Doskey. 1999. Measurements of peroxyacyl nitrates (PANs) in Mexico City: Implications for megacity air quality impacts on regional scales. *Atmospheric Environment* 37(33):5003-5012.
- Galindo-Leal, C. 1997. Infestacion of rock mice (*Peromyscus difficilis*) by botflies: Ecological consequences of differences between sexes. *Journal of Mammalogy* 78(3):900-907.
- Galindo-Leal, C. & C. J. Krebs. 1997. Habitat structure and demographic variability of a habitat specialist: the rock mouse (*Peromyscus difficilis*). *Revista Mexicana de Mastozoología* 2:72-89.
- Ghio, A. J., C. Kim & R. Devlin. 2000. Concentrated Ambient Air Particles Induce Mild Pulmonary Inflammation in Healthy Human Volunteers. *American Journal of Respiratory of Critical Care Medical* 162(6):981-988.
- Gómez-Ugalde, R. M. 1988. Efectos de fuegos controlados sobre la ecología de las poblaciones de pequeños roedores en un pastizal alpino en la Cima, D.F., México. Tesis Profesional. ENEP-Zaragoza, U.N.A.M. 105 pp.
- Górriz, F. M. A. 1995. Efectes de la contaminació atmosfèrica a *Apodemus sylvaticus* I *Mus musculus*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 228 pp.
- Hart, B. A., Voss, G. W. & Willean, C. L. 1989. Pulmonary tolerance to cadmium following cadmium aerosol pretreatment. *Toxicology of Applied Pharmacology* 101(2) 447-460.
- Hashimoto, K, Y. Ishii, Y. Uchida, T. Kimura, K. Masuyama, Y. Morishima, K. Hirano A. Nomura, T. Sakamoto, H. Takano, M. Sagai, K. & Sekizawa. 2001. Exposure to diesel exhaust exacerbates allergen-induced airway responses in

- guinea pigs. American Journal of Respiratory and Critical Care of Medicine 164(10 Pt 1):1957–1963.
- Hatch, G. E., E. Boykin, J. A. Graham, J. Lewtas, F. Pott, J. L. Mumford & K. Loud. 1985. Inhalable particles and pulmonary host defense: in vivo and in vitro effects of ambient air and combustion particles. Environment Research 36(1):67-80.
- Hrdá, S., J. Votýpka, P. Kodým & J. Flegr. 2000. Transient nature of *Toxoplasma gondii* induced behavioral changes in mice. Journal of Parasitology 86(4):657-663.
- Hooper, T. E. 1968. Classification. In Biology of *Peromyscus* (Rodentia), (J. A. King ed). Special Publication of American Society of Mammalogist 2:27-68.
- Hotchkis, J. A., J. Harkema, J. D. Sun. & R. G. Henderson. 1989. Comparison of Acute ozone-induced nasal and pulmonary inflammatory responses in rats. Toxicology and applied pharmacology 98(2):289-302.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection) 1994. Human respiratory tract model for radiological protection in International Commission on Radiological Protection, 63. Annals of the ICRP Oxford Pergamon. 40 pp
- Jacobs, L., M. L. Melton & F. E. 1952. The prevalence of *Toxoplasma* in wild pigeons. Journal of Parasitology 38(5):457-461.
- Khan, R. A. & J. Kiceniuk. 1988. Effects of petroleum aromatic hydrocarbons on monogeneids parasitizing Atlantic cod, *Gadus morhua* L. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 41(1):94-100.
- Khan, R. A. 1990. Parasitism in marine fish after chronic exposure to petroleum hydrocarbons in the laboratory and to the Exxon Valdez oil spill. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 44: 759-763.
- Khansari, D. R., A. J. Murgó & R. E. Faith. 1990. Effects of stress on the immune system. Immunology Today 11(1):170-175.
- Klein, S. L. 1996. Cellular immunity is not compromised by high serum corticosterone concentrations in prairie voles. American Journal Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 271(6):608-1613.
- Lemasters, J. J., S. Ji & R. G. Thurman. 1981. Centrilobular injury following hypoxia in isolated, perfused rat liver. Science 213:661-663.
- Lyons, R. E., R. McLeod & C. W. Roberts. 2002. *Toxoplasma gondii* tachyzoite–bradyzoite interconversion. Trends in Parasitology 18(5):198-201.

- Mann, D. R., A. M. Akinbami, K. G. Gould & A. A. Ansari. 2000. Seasonal variations in cytokine expression and cell-mediated immunity in male rhesus monkeys. *Cellular Immunology* 200(1):105-115.
- Madden, M. C., J. H. Richards, L. A. Dailey, G. E. Hatch & A. J. Ghio. 2000. Effect of ozone on diesel exhaust particle toxicity in rat lung. *Toxicology and Applied Pharmacology* 168(1):140-148.
- Mantooth, S. J., M. L. Milazzo, R. D. Bradley, C. L. Hice, G. Ceballos, R. B. Tesh & C. F. Fulhorst. 2001. Geographical distribution of rodent-associated hantaviruses in Texas. *Journal of Vector Ecology* 26(1):7-14.
- Markell, E. K. 1990. *Parasitología Médica. Interamericana – McGraw-Hill* (Ed). 395 pp.
- Martínez-Barbabosa, I., L. A. Ruiz González, M. Gutiérrez Quiroz, A. M. Fernández Presas, y O. Vázquez Tsuji. 1996. Frecuencia de ooquistes de *Toxoplasma gondii* en gatos domésticos de la Ciudad de México y Área Metropolitana. *Revista Mexicana de Patología Clínica* 43(3):121-127.
- Matsuyama, S., R. Watanabe & F. Taguchi. 2001. Neurovirulence in mice of soluble receptor-resistant (srr) mutants of mouse hepatitis virus: intensive apoptosis caused by less virulent srr mutant. *Archives of Virology* 146(9):1643-1654.
- McMurry, S. T., R. L. Lochmiller, K. McBee & C. W. Qualls Jr. 1999. Indicators of immunotoxicity in populations of cotton rats (*Sigmodon hispidus*) inhabiting an abandoned oil refinery. *Ecotoxicology and Environmental Safety, Environmental Research B* 42(3):223-235.
- Moberg, G. P. 1985. Biological response to stress: key to assessment of animal well-being. In *Animal stress*. G. P. Moberg (ed). American Physiological Society, Bethesda, Maryland, U.S.A.: 27-49 p.
- Mugica, V., M. Maubert, M. Torres, J. Muñoz & E. Rico. 2002. Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM10 in Mexico City during 1996–1998. *Aerosol Science* 33(1):91-102.
- Natusch, S. F. D., J. R. Wallace & C. A. Evans. 1974. Toxic trace elements preferential concentration in respirable particles. *Science* 183:202-204.
- Nelson, R. J., J. B. Fine, G. E. Demas & C. A. Moffatt. 1996. Photoperiod and population density interact to affect reproductive and immune function in male

- prairie voles. *American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 270(3):571-577.
- Nieminen, A. L., G. J. Gores, T. L. Dawson, B. Herman & J. J. Lemasters. 1990. Toxic injury from mercuric chloride in rat hepatocytes. *Journal of Biology and Chemistry* 265:2399-2408.
- Noble, E. R. & Noble, G. A. 1982. *Parasitology. The Biology of Animal Parasites*. 5th. Edition. (Lea & Febiger ed). Philadelphia. 522 pp.
- Norusis, M. J. 1999. *SPSS professional statistics 10.0*. SPSS Inc. Chicago
- Oberdöster, G., 2000. Toxicology of ultrafine particles: *in vivo* studies. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. The Royal Society 358(1775):2719-2740.
- Ohtsuka, Y., R. W. Clarke, W. Mitzner, K. Brunson, G. J. Jakab & S. R. Kleeberger. 2000. Interstrain variation in murine susceptibility to inhaled acid-coated particles. *American Journal of Physiology of Lung Cellular Molecular Physiology* 278(3):469-476.
- Patz, J. A., T. K. Graczyk, N. Geller & Y. Vittor. 2000. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology* 30(12-13):1395-1405.
- Pino, M. V., J. R. Levin, M.Y. Stovall & D.M. Hyde. 1992. *Toxicology and Applied Pharmacology* 112(1):64-72.
- Porter, W. P., R. Hinsdill, A. Fairbrother, L. J. Olson, J. Jaeger, T. Yuill, S. Bisgaard, W. G. Hunter & K. Nolan. 1984. Toxicant–disease–environment interactions associated with suppression of immune system, growth and reproduction. *Science* 224:1014–1017.
- Rico-Méndez, F. G., J. J. Múgica-Hernández, y X. García-Jiménez. 1997. La Crisis asmática y su correlación con la contaminación atmosférica en la Ciudad de México. *Revista del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México*. 10(4):239-244.
- Romieu, I., M. Cortes Lugo, S. Ruiz Velasco, S. Sánchez, F. Meneses & M. Hernández. 1992. Air pollution and school absenteeism among children in Mexico, city. *American Journal of Epidemiology* 136(12):1524-1531.
- Romieu, I., F. Meneses, J. J. L Sierra-Monge, J. Huerta, S. Ruiz Velasco, S. Sánchez, M. C. White, R. A. Etzel & M. Hernández-Ávila. 1995 Effects of urban air

- pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *American Journal of Epidemiology* 141(6):1546-553.
- Romieu, I., F. Meneses, J. J. L Sierra-Monge, J. Huerta, & M. C. White. 1996. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *American Journal of Respiratory and Critical Care* 154(2):300-307.
- Rosales-Castillo, J. A., V. M. Torres-Meza, G. Olaiz -Fernández & V. H. Borja-Aburto. 2001. Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud Pública de México* 43(6):544-555.
- Rosas-Pérez, I. E., C. Alfaro-Moreno, L. García Cuellar, V. Martínez-Romero, V. Torres-Flores, E. Pérez-Cárdenas & V. J. Gutiérrez-Avedoy. 2000. Potencial tóxico proinflamatorio de las partículas contaminantes. Un estudio experimental comparativo entre las *PM₁₀* y las *PM_{2.5}* de dos zonas de la Ciudad de México. Proyecto Conserva. Secretaría del Medio Ambiente, Departamento del Distrito Federal y Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (Cenica, Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa) México, D.F. 20 pp.
<http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/otros/conserva2000/2000/aire/aire01.htm>.
- Roperto, F., S. Damiano, G. De Vico & D. Galato. 1994. Silicate pneumoconiosis in pigs: optical scanning microscopical investigations with X-ray microanalysis. *Journal of Comparative Pathology*. 110(2):227-236.
- Roperto, F., G. Borzacchiello, R. Ungaro & P. Galato. 2000. Silicate pneumoconiosis in hens. *Journal of Comparative Pathology*. 122(2): 249–254.
- Sánchez-Hernández, C., C. B. Chávez-Tapia & V. Sánchez-Cordero Dávila. 1981. Patrón de actividad diurna del Meteorito *Microtus m. mexicanus* Saussure 1961 (Rodentia:microtinae) en condiciones urbanas del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología, México Serie Zoología* 51(1):605 – 614
- Santillo, D. J., D. M. Jr. Leslie, & P. W. Brown. 1989. Response of small mammals and habitat to glyphosate application on clear- cuts. *Journal of Wildlife Managment* 53(1):164-172.
- Saunders, D.A., R. J. Hobbs & C. R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5(1):18-32.

- Schins, R. P. F., A. D. M. Knaapen, C. Weishaupt, A. Winzer & P. A. J. A. Borm. . 2002. Cytotoxic and inflammatory effects of coarse and fine particulate matter in macrophages and epithelial cells. *Annales of Occupational Hygiene* 46(Supplement 1):203-206.
- Spaan, W, D. Cavanagh & M. C. Horzinek .1988. Coronaviruses: structure and genome expression. *Journal of General Virology* 69:2939-2952.
- Stephens, R. J., M. F. Sloan, M. J. Evans & G. Freeman. 1974a. Alveolar type 1 cell response to exposure to 0,5 ppm O₃ for short periods. *Experimental Molecular Pathology* 74(1):31-58.
- Stephens, R. J., M. F. Sloan, M. J. Evans & G. Freeman. 1974b. Early response of lung to low levels of ozone. *American Journal of Pathology* 74(1):31-54.
- Sterner-Kock, A., M. Kock, R. Braun & D. M. Hyde. 2000. Ozone-induced endothelial injury in the ferret is similar to nonhuman primates. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* (3):1152-1156.
- Sullivan, T. P. & D. S. Sullivan. 1982. Responses of small mammal populations to a forest herbicide application in a 20-year-old conifer plantation. *Journal of Applied Ecology* 19(1):95-106.
- Sullivan, T. P. 1990. Demographic responses of small mammal populations to a herbicide application in coastal coniferous forest: population density and resiliency. *Canadian Journal of Zoology* 68:874-883.
- Sullivan T. P., D. S. Sullivan, E. J. Hogue, R. A. Lautenschlager & R. G. Wagner. 1998. Population dynamics of small mammals in relation to vegetation management in orchard agroecosystems: compensatory responses in abundance and biomass. *Crop Protection* 17(1):1-11.
- Oosting, R. S., L. Van Bree, J. F. Van Iwaarden. L. M. G. Van Golde & J. Verhoef. 1990. Impairment of phagocytic functions of alveolar macrophages by hydrogen peroxide. *American Journal of Physiology Lung Cellular and Molecular Physiology* 259(2):87-94.
- Oosting, R. S., L. M. G. Van Golde, J. Verhoef & L. Van Bree. 1991. Species differences in impairment and recovery of alveolar macrophage functions following single and repeated in vivo ozone exposure. *Toxicology and Applied Pharmacology* 110(1):170.

- Oosting, R. S., M. Van Rees-Verhoef, L. M. G. Vand Golde & L. Van Bree. 1991a. Effects of ozone on cellular ATP level in rat and mouse alveolar macrophages. *Toxicology* 70(2):195-202.
- Van Bree, L., H. S. Koren, R. B. Devlin, & P. J. A. Rombout. 1993. Recovery from attenuated inflammation in lower airways of rats following repeated exposure to ozone. *American Review of Respiratory Disease* 147:A633.
- Victorin, K. 1992. Review of the genotoxicity of ozone. *Mutation Research* 277(1):221-238.
- Villalobos-Pietrini, R., S. Blanco & S. Gómez-Arrollo. 1995. Mutagenicity assessment of airborne particles in México City. *Atmospheric Environment* 29(4):517-524.
- Viveros-Añorbe L. M. & J. M. Rivera-Cruz. 1999. Cambios histopatológicos en mucosa nasal de individuos expuestos a la contaminación ambiental en el Distrito Federal. Informe de 33 casos. *Anales Médicos Asociación Medica Hospital ABC* 44(3):127-131.
- Webster, J. P., C. F. A. Brunton & D. W., Macdonald. 1994. Effect of *Toxoplasma gondii* on neophobic behaviour in wild brown rats, *Rattus norvegicus*. *Parasitology* 109(1):37-43.
- Webster, J. P. 2001. Rats, cats, people and parasites: the impact of latent toxoplasmosis on behaviour. *Review of Microbes and Infection*, 3:1037-1045.
- Wege, H., S. G., Siddell & V. Meulen. 1982. The biology and pathogenesis of coronaviruses. *Currents Topics in Microbiology and Immunology* 99(1):165-200.
- Wesselkamper, S. C., D. R. Prows, P. Biswas, K. Willeke, E. Bingham & G. D. Leikauf. 2000. Genetic susceptibility to irritant-induced acute lung injury in mice. *American Journal of Physiology of Lung Cellular Molecular Physiology*. 279(3):L575-L582.
- Yeh, H. C. & M. Schum. 1980 Theoretical evaluation of aerosol deposition in anatomical models of mammalian lung airways. *Bulletin of Mathematics Biology* 42:(1):1-15.

5. NIVELES DE METALES.

5.1 RESUMEN.

Los Bosques del sur del Valle de México han recibido el impacto de la contaminación atmosférica durante décadas por lo que se planteó la necesidad de determinar su influencia en la poblaciones de roedores silvestres analizando las concentraciones de As, Al, Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sn y V, mediante espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y de Ba, Ca, K, Mg, Na, P, S, Sr, Ti, Zn, Fe por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Estos análisis químicos se realizaron en pulmón, riñón, hígado, pelo y hueso de *Microtus mexicanus*, *Peromyscus melanotis* y *Peromyscus difficilis*; el músculo de *M. mexicanus*, y en la grasa subcutánea de *M. mexicanus*, *P. melanotis*.

Los ejemplares de estas especies se capturaron en los Parques Nacionales Desierto de los Leones y Cumbres del Ajusco, localizados al suroeste de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Se obtuvieron diferencias significativas en al menos uno de los metales detectado en los órganos, tejidos y la grasa subcutánea analizados; con excepción del Rb en *M. mexicanus* el resto de elementos detectados no presentaron un patrón de variación común debido a: la afinidad específica de los metales analizados por un tejido en particular, las funciones metabólicas a las que están vinculados los metales, el efecto de la deposición ácida y posiblemente a la respuesta de la vegetación al estrés oxidante provocado por los contaminantes atmosféricos. Siendo de particular interés los niveles detectados de rubidio en las tres especies y de forma particular las concentraciones más elevadas en *M. mexicanus* en el Ajusco, en comparación con *P. melanotis* y *P. difficilis*.

M. mexicanus presentó diferencias significativas en el espacio y tiempo (entre los dos parques nacionales y las épocas de lluvias, seca), de estas diferencias las más sobresalientes entre áreas de estudio fueron: en Pulmón los valores de más elevados de Cr en el Desierto y Rb en el Ajusco; en el riñón en los valores obtenidos de Cr, Cu, Rb, Sn, Zn y Mg durante la temporada de lluvias con concentraciones promedio más elevadas en el Desierto con excepción del rubidio cuyo valor mayor se encuentra en el Ajusco, el cual además presentó diferencias en la temporada seca y comportamiento estacional en el Desierto; en hígado las diferencias se dieron en los valores más elevados de Cd, Mo, Rb y Pb en los ejemplares del Ajusco durante la temporada de

lluvias principalmente y observándose un comportamiento estacional en el Desierto en el Rb y Cd; el hueso con el Ba, Sr, Zn Mn, Pb, y Rb, los valores más elevados de los tres primeros metales están en el Desierto y los de los tres últimos en el Ajusco, el comportamiento estacional se observó en el Rb en el Ajusco y el Zn en el Desierto; el tejido muscular con diferencias significativas en los valores de Al, Fe y Cr, las concentraciones superiores de los dos primeros metales se tienen en el Ajusco y la del último en el Desierto que además presentó comportamiento estacional en dicha zona; en la grasa subcutánea con el Rb, K y Mg, en los organismos del Ajusco presentándose comportamiento estacional en los valores de Rb obtenidos el Desierto y en el pelo con el Ba, Cu, Fe, Mo, Sn, Zn, Co y Rb, cuyas concentraciones son superiores en los ejemplares del Ajusco con excepción del Ba y detectándose un comportamiento estacional en las concentraciones de Co y Rb en los ejemplares del Desierto.

En *Peromyscus melanotis* existieron diversas diferencias significativas en el espacio y tiempo, dichas diferencias se detectaron en : el pulmón en el Mo, Ni y K con concentraciones superiores en el Desierto en tanto que las del Rb fueron superiores en el Ajusco mientras que a nivel estacional por zona de captura se detectaron en el Ni en el Desierto; en el riñón en los valores de Cd, Cu, Mo, Fe y Rb, las concentraciones más elevadas de de los tres primeros se presentan en el Desierto y los dos últimos en el Ajusco, observándose comportamiento estacional en las dos localidades en el Cd, Cu y Fe y exclusivamente en el Ajusco en el Rb y Si; en hígado el Al, Cd, Cr, Fe, Pb y Rb fueron superiores en el Ajusco, en tanto que las concentraciones de Cu y Mo fueron mayores en el Desierto y comportamiento estacional en el Al, Cd, Cr, y S; en el hueso en el Al, Ba, Mn, Pb y Rb los valores más elevados de los tres primeros metales están en el Desierto y los de los dos últimos en el Ajusco, siendo el Pb el único elemento que presentó comportamiento estacional en el Ajusco; en la grasa subcutánea en Al, Cr, Cu y Mn con concentraciones más elevadas en el Desierto y en el pelo se dieron en; Al, Ba, Cd, Fe, Mn, Mo, Pb, Ti, K, Na, P y S, con concentraciones más levadas en los ejemplares del Desierto con excepción del Pb, el comportamiento estacional detectado en las dos áreas de estudio correspondió al Rb, K y Mn mientras que en Na sólo se presentó en el Ajusco en tanto que el Al, Fe, Ti y S ocurrieron en el Desierto.

En *Peromyscus difficilis* las diferencias significativas más sobresalientes fueron: en el pulmón en el Rb con concentraciones mayores en los ejemplares del Desierto; en el riñón en Cd, Cr y Mo superiores en el Ajusco e inferiores de Co, con diferencias a nivel estacional en Cd y Mo (Ajusco) y Ni y Cr (Desierto); en hígado los valores de Cu,

Fe, Mo, Zn más elevados los presentan los individuos del Desierto. En el pelo se presenta una mayor acumulación de Al, Ba, Cu, Fe, Mo, Si, Sr, K en los ejemplares del Desierto con variaciones estacionales en el Ba y Mn; en el hueso las diferencias se localizaron en los valores más elevados de Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb, Si y Sr detectados en la temporada seca en el Desierto y las variaciones estacionales del Pb, Si y Cu. Si bien las diferencias significativas obtenidas en la temporada de lluvias muestran en algunos metales la misma tendencia que las obtenidas en la época seca estas se deben tomar con precaución debido a las diferencias en el tamaño y distribución de las muestras obtenidas en el Ajusco.

Los resultados mostraron que las tres especies presentan una acumulación importante de cadmio renal con concentraciones más elevadas en el Desierto y plomo en el hueso con concentraciones que tienden a ser más superiores en el Ajusco.

Si bien en el pulmón de las tres especies las concentraciones de plomo no son elevadas y se encuentran en consonancia con los reportes de la calidad del aire del Valle de México, se debe considerar que la tasa de asimilación en los alvéolos pulmonares de los roedores puede ser más reducida que la de los humanos, por lo tanto los niveles ambientales de este metal pesado aun pueden presentar una marcada influencia en las población humana.

Pequeñas alteraciones en los micronutrientes principalmente de elementos traza pueden ocasionar alteraciones bioquímicas y funcionales. Las diferencias detectadas en los valores de Cu y Mo en el hígado y Cr en el riñón pueden indicar alteraciones en el metabolismo de los carbohidratos que en conjunto con las concentraciones de Cd renal y aluminio y plomo óseo así como los niveles en apariencia reducidos de zinc en los dos sitios de captura pueden estar influyendo en la condición sanitaria de las poblaciones de roedores estudiadas.

Los estudios de metales como el Rb relacionado con elementos tan esenciales para la vida como el potasio y dependiente del pH, podrían ser mejores indicadores de la movilidad de elementos, los procesos de acidificación y la pérdida de nutrientes que están sufriendo los bosques del Valle de México.

De igual forma se plantea la implicación que puede tener el rubidio en la respuesta al estrés y por ende en los procesos de dispersión de roedores, ya que de acuerdo a las recientes investigaciones y gracias a los métodos modernos de análisis, se sabe que tienen un papel fundamental en cuestiones tan importantes como la actividad neurofisiológica.

5.2 INTRODUCCIÓN

Durante décadas los bosques de la Ciudad de México han recibido el impacto de la contaminación atmosférica generada en la Zona Metropolitana del Valle de México; en 1996 se estimó que tan sólo el parque industrial con un total de 4 623 industrias emitió 5 701 toneladas /año de partículas menores de 10 μm (PM_{10}), 15 632 ton/año de dióxido de azufre (SO_2) y 28 667 de dióxidos de nitrógeno (NO_x) (S.M.A., 1999).

Así mismo debido a la circulación general de los vientos, la contaminación atmosférica influye en zonas contiguas y distantes como fue el caso del accidente de Chernobil en Ucrania (abril de 1986), un claro ejemplo de dispersión de contaminantes a gran escala, sus efectos en México se apreciaron en mayo de 1986, observándose un incremento en las concentraciones del isótopo ^{137}Cs en hongos que se colectaron durante ese año en los bosques del Valle de México (Gaso *et al.*, 2000).

Debido a las condiciones climáticas el comportamiento de los contaminantes en el Valle de México presenta un ciclo diurno y otro estacional; en el primero la calidad del aire mejora por la tarde cuando la dilución de los contaminantes es máxima y en el segundo, debido a la turbulencia de los vientos y al efecto de “lavado” de gases y humos por la lluvia, mejorando la calidad del aire en la Ciudad de México en la temporada (Rivero-Serrano *et al.*, 1993), pero ocasiona el fenómeno de la lluvia ácida especialmente en la zona sur (S.M.A., 1997, 1998).

Mediante reacciones químicas los contaminantes atmosféricos son transformados total o parcialmente en ácidos, ocasionando la disminución del pH del agua de lluvia y depositados en la superficie terrestre en forma de depósito seco o depósito húmedo, los cuales pueden ocasionar daño directo a la vegetación y/o modificar los elementos biodisponibles, tanto por la adición directa al ser parte constitutiva del material depositado como por su influencia en el proceso natural de movilización de los elementos que conforman los suelos.

Sin embargo la capacidad de asimilación de metales es diferente entre especies así como las concentraciones que pueden tolerar, especialmente de metales pesados; existen investigaciones sobre la capacidad de algunas plantas de acumular contaminantes atmosféricos (Gaso, 2000) observándose en musgos que la acumulación de algunos elementos varía de acuerdo con la tasa de deposición del aire (Galsomiès *et al.*, 2003).

El equilibrio de los metales "esenciales y no esenciales " en los herbívoros al igual que en las plantas se altera por efecto de los contaminantes, en parte por ser los siguientes en la cadena trófica, reflejándose en ellos los efectos ya ocasionados en la vegetación o por efecto directo al entrar en su organismo a través del tracto respiratorio principalmente.

La concentración de metales en los organismos es el resultado de complejas interacciones entre diversos factores tales como: especie, tipo de alimentación, elemento alterado y sentido de la alteración.

Los mecanismos mediante los cuales los elementos entran al organismo influyen en la forma y cantidad de metales asimilados o excretados (Oishi, 2000); de igual forma que la complejidad de las relaciones entre ellos ocasiona que los efectos tóxicos de algunos metales sean contrarrestados o incrementados por las concentraciones de otro metal o influyan en el metabolismo del organismo provocando deficiencias que de manera natural no se manifestarían (Claverie *et al.*, 2000 y Frank *et al.*, 2000a).

Entre los efectos que pueden ocasionar la ingesta de metales pesados como plomo y cadmio, es la reducción de la fertilidad provocada por la incorporación de estos a la cromatina del esperma manifestando una competencia o reemplazo con el zinc (Johansson, 1968), aunque Bench *et al.* (1999) no encontraron datos concluyentes de este mecanismo.

El estado fisiológico general de los organismos influye en los mecanismos de utilización, distribución y eliminación de los elementos necesarios o dañinos; el plomo es uno de los metales más estudiados principalmente por su acumulación en el hueso y en el caso específico de hembras gestantes, su consiguiente movilización junto con otros metales hacia el feto a través de la placenta (Enomoto and Hirunuma, 2001); en fallos renales, elementos como el arsénico, cobalto, cesio, cromo, mercurio, molibdeno, silicio, y estroncio tienden a incrementarse, mientras que otros como el bromo, rubidio, selenio y zinc tienden a disminuir; sin embargo los resultados no son del todo concluyentes (Vanholder *et al.*, 2002).

Se han descrito alteraciones de tipo conductual por cambios en los niveles de metales, presentándose variaciones en las concentraciones de elementos traza en el cerebro de las ratas y ratones relacionadas con la edad y el crecimiento; se han señalado señalando disminuciones en las concentraciones de rubidio y potasio e incrementos en los niveles de hierro, cobre, estroncio, y cobalto en función del crecimiento y la edad sugiriendo cierta relación con las enfermedades cerebrales degenerativas (Takahashi *et*

al., 2001) y alteraciones en los niveles de rubidio, zinc, cobalto y selenio en el cerebro de ratones epilépticos (Hirate *et al.*, 2002).

Existe una gran cantidad de estudios analizando los efectos de los cambios en la disponibilidad de elementos esenciales, no esenciales y los considerados tóxicos, sin embargo algunos son poco estudiados, entre ellos el rubidio, del cual no se tiene clara su función en el organismo, ni demostrado su toxicidad (Bárány *et al.*, 2002), a pesar de lo cual desde 1984 se encuentra en la lista de posibles elementos esenciales (Nielsen, 1998).

5.3 MATERIAL Y MÉTODOS.

Se realizaron capturas mensuales de mayo 1996 - abril 1997 en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco (A) y en el Parque Nacional Desierto de los Leones (D) con un día de diferencia entre las dos zonas de estudio. Se colocaron trampas de aluminio de tipo Sherman, cebadas con avena con una separación de 5 metros entre trampas. Las trampas se colocaron por la tarde y se recogieron a la mañana siguiente. Los ejemplares capturados se trasladaron al Departamento de Mastozoología de la Universidad Autónoma Metropolitana de México Unidad Iztapalapa, donde para cada ejemplar capturado se registró la especie, la condición reproductora, edad, sexo, y medidas anatómicas.

Los individuos capturados fueron sacrificados por dislocación cervical; de cada ejemplar se obtuvieron muestras de pulmón, riñón, hígado, pelo, hueso (fémur), músculo y grasa (grasa subcutánea localizada en los pliegues escapular, central del lomo y dorsal de las patas traseras). Las muestras se guardaron en recipientes libres metales a -20°C hasta su análisis en la Unidad de Servicios Científico Técnicos de la Universidad de Barcelona.

Todas las muestras procesadas se secaron a 60°C a peso constante; las muestras de pelo se lavaron enérgicamente con agua desionizada, según la metodología descrita por Pilastro *et al.* (1993), con el fin de eliminar la deposición de metales externos.

. Las muestras se digirieron, con ácido nítrico y ácido perclórico en recipientes PYREX, conectados a tubos condensadores para evitar la fuga de metales. Se realizó una predigestión durante 12 horas a 60°C en ácido nítrico, acto seguido se procedió a aumentar la temperatura hasta 120°C durante 1 hora. La solución se evaporó a 170°C .

Cuando el volumen quedó reducido aproximadamente a 1 ml se le adicionó ácido perclórico y se digirió a 210 °C durante 2 horas, después de lo cual la muestra se llevó a sequedad a una temperatura de 240 °C (Thomson y Walsh, 1989); la cantidad de reactivos utilizados estuvo en relación con el órgano a digerir y el peso del mismo conservando una proporción de 5:1 de nítrico-perclórico, utilizándose similar cantidad de reactivo por órgano; una vez realizada la digestión, las muestras se llevaron a sequedad y se resuspendieron en ácido nítrico calidad “instra” al 10 %.

Debido a problemas con la calidad de los reactivos y a fin de eliminar impurezas, las muestras de pulmón de *P. melanotis* y *P. difficilis* se procesaron en bombas de teflón con una predigestión a 100°C durante 8 horas en 2 ml de ácido nítrico calidad “instra”, acto seguido se adicionó 1 ml de H₂O₂ con una digestión a 100°C durante 2 horas, la solución resultante se llevó a un volumen final de 10 ml con agua desionizada.

Los elementos se detectaron en: un espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS Perkin Elmer, modelo Elan-600) y en un espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES Termo Jarrell Ash 61 E). Los elementos detectados mediante ICP-MS fueron: vanadio (V), cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), arsénico (As), selenio (Se), molibdeno (Mo), plomo (Pb), cadmio (Cd), rubidio (Rb), aluminio (Al), cobre (Cu), manganeso (Mn) y estaño (Sn), y los analizados por (ICP-OES) fueron: sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), estroncio (Sr), bario (Ba), titanio (Ti), fósforo (P), azufre (S) potasio (K) y hierro (Fe), los límites de cuantificación para cada elemento se muestran en la tabla 1. Las concentraciones se expresan en partes por millón (µg/g) sobre peso seco (p.s.).

Tabla 1. Límite de cuantificación según las condiciones del análisis (matriz, dilución y tipo de muestra) en ppb de los elementos analizados.

ICP-MS		ELEMENTO	Al	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Se	Si	Sn	V
	LIMITE		10	50	1	1	1	1	1	1	1	1	10	100	1	10
ICP-OES		ELEMENTO	Ba	Ca	K	Mg	Na	P	S	Sr	Ti	Zn	Fe			
	LIMITE		5	50	1000	50	100	100	100	5	20	25	25			

Análisis estadístico

Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SPSS, (Norusis, 1998), según el comportamiento de los datos, se transformaron utilizando la fórmula propuesta por Zar (1984), $X' = \log(X + 1)$, se efectuó un análisis univariante, prueba de Tukey (Diferencia honestamente significativa de Tukey no equilibrado) y Games-Howell. Con el fin de evitar errores del tipo I debido al gran número de pruebas realizadas se aplicó la corrección de Bonferroni secuencial (Rice, 1989).

Los resultados obtenidos se muestran en forma anual, y estacional: (**LL** = mayo-octubre y seca (**S** = noviembre-abril), de acuerdo a lo propuesto por Batzli y Pitelka (1971).

5.4 RESULTADOS.

La naturaleza de las muestras y la técnica utilizada ocasionaron que según el órgano analizado ciertos metales no se detectaran bien por interferencias debidas al nivel de cloruros, calcio y hierro o bien por el límite de cuantificación del equipo; no obteniéndose concentraciones de Ti, Sr, Sn, Ba, Ni, Cd, Se y Co en todas las muestras. El V y el As se encontraron por debajo del límite de cuantificación.

Debido a problemas de contaminación en alguna parte del proceso el número de muestras analizado varía según el órgano. Las muestras de hueso, pelo y grasa provienen en parte de ejemplares cuyos órganos se destinaron al análisis patológico por lo que en las tres especies analizadas presentan un tamaño mayor de muestra.

Debido a problemas logísticos sólo se realizó el análisis de músculo a los individuos de *M. mexicanus*; la escasa presencia de grasa subcutánea en el cuerpo de *P. difficilis* imposibilitó su análisis.

5.4.1 *Microtus mexicanus*

Se analizaron 39 organismos capturados en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco y 35 obtenidos en el Parque Nacional Desierto de los Leones.

Para su análisis estadístico, los datos de riñón, hígado, hueso, músculo y grasa se transformaron de acuerdo a lo propuesto por Zar (1984)

$$X' = \log(X+1).$$

5.4.1.1 Pulmón

Se analizaron 29 muestras de pulmón de la población del Ajusco (19 machos y 10 hembras) y 22 muestras de ejemplares del Desierto (9 machos y 13 hembras). En términos generales las concentraciones promedio anuales de los elementos detectados en el pulmón fueron superiores en los individuos provenientes del Desierto exceptuando los niveles obtenidos de Mn, Fe, Mo y Rb (tabla 2).

Las diferencias entre las poblaciones estudiadas a este nivel se debieron a los valores presentes de Cr y de Rb (tabla 3).

Tabla 2. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el pulmón de *M. mexicanus* los datos se muestran en µg/g peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S	
A	LLUVIAS n = 22	Media	27,58	0,23	4,02	7,42	507,69	2,54	0,41	0,61	60,15	57,57	1144,54	11478,11	596,89	4226,25	7132,12	860,40	
		Desv. típ.	20,34	0,16	1,90	1,78	203,62	2,38	0,13	0,85	12,26	19,67	567,15	3234,66	210,43	1524,29	2337,88	463,41	
	SECA n = 7	Media	61,13	0,19	7,36	7,19	474,00	4,06	0,43	1,42	57,44	62,41	911,21	11331,64	602,62	3808,66	7257,08	617,37	
		Desv. típ.	23,70	0,11	1,88	1,04	140,03	2,29	0,11	2,04	13,88	4,85	171,50	527,89	56,49	383,07	1158,28	180,93	
	ANUAL	Media	35,68	0,22	4,83	7,36	499,55	2,91	0,41	0,80	59,49	58,74	1088,22	11442,75	598,27	4125,46	7162,29	801,74	
		Desv. típ.	25,38	0,15	2,37	1,62	188,45	2,41	0,13	1,25	12,47	17,32	507,81	2812,66	184,12	1344,29	2095,16	423,41	
	D	LLUVIAS n = 14	Media	37,61	0,26	7,13	8,35	374,17	1,61	0,35	1,19	44,51	68,40	1113,41	11169,31	660,33	4199,25	7064,56	927,51
			Desv. típ.	20,17	0,14	2,33	1,83	114,91	0,49	0,18	1,39	6,44	13,88	412,89	1194,90	120,42	986,79	1896,45	361,67
SECA n = 8		Media	41,24	0,20	5,64	7,54	534,10	2,10	0,33	0,65	31,56	64,21	1470,19	11982,09	641,65	4816,34	7788,56	1055,00	
		Desv. típ.	21,79	0,09	1,74	1,12	116,32	1,11	0,08	1,10	4,46	12,54	800,38	3473,65	131,73	1180,43	1086,19	601,05	
ANUAL		Media	38,93	0,24	6,59	8,06	432,33	1,79	0,34	0,99	39,80	66,88	1243,15	11464,86	653,54	4423,65	7327,83	973,87	
		Desv. típ.	20,33	0,12	2,21	1,63	137,42	0,78	0,15	1,29	8,54	13,27	591,55	2250,80	121,84	1076,84	1657,34	453,14	

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 3. Contrastes univariados de los elementos detectados en el pulmón de *Microtus mexicanus* considerando el sitio y época de captura (comparaciones significativas, $p < 0,05$)

Elemento		Suma de cuadrados	gl	F	Sig
Cr	Contraste	109,67	3	9,10	0,0001
	Error	188,79	47		
Rb	Contraste	5742,79	3	18,03	0,0000
	Error	4990,76	47		

Tabla 4. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el pulmón de *Microtus mexicanus* considerando la época de captura (comparaciones significativas; DHS de Tukey).

ELEMENTO	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I-J)	Error ttp.	Sig. ^a
	(I)	(J)			
Cr	LLD	LLA	3,11	0,69	0,000
	LLA	SA	-3,35	0,87	0,002
Rb	LLA	LLD	15,63	3,52	0,000
	LLA	SD	28,59	4,25	0,000
	SA	SD	25,88	5,33	0,000

^a La diferencia es significativa al nivel 0,05

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996); S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

Se observó un comportamiento inverso en los niveles de Cr entre épocas de captura, disminuyendo ligeramente en el Desierto de lluvias a seca en tanto que en el Ajusco se incrementan significativamente ($X_{LLA} = 4,01 \mu\text{g/g}$), $X_{SA} = 7,36 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 7,13 \mu\text{g/g}$, $X_{SD} = 5,64$), debido a que las concentraciones menores de este elemento se observaron en el Ajusco en la época de lluvia pero cercanos a los niveles obtenidos en la temporada seca del Desierto; sólo se detectan diferencias entre poblaciones en la temporada de lluvias (tabla 4).

En lo que se refiere al Rb el comportamiento global y estacional es el mismo; observándose niveles más elevados en los pulmones de los organismos procedentes del Ajusco ($X_A = 59,49 \mu\text{g/g}$; $X_D = 39,80 \mu\text{g/g}$); con diferencias significativas entre poblaciones en ambas épocas de captura. Se observa un gradiente de concentraciones de menos a más, **SD-LLD-SA-LLA**; provocando diferencias entre la época de lluvias del Ajusco y la temporada seca del Desierto (tabla 4).

5.4.1.2 Riñón

Se analizaron 34 ejemplares de la población de *M. mexicanus* del Ajusco (21 machos y 13 hembras) y 30 individuos capturados en el Desierto (13 machos y 17 hembras).

Los promedios anuales de los elementos detectados en el riñón fueron más elevados en los ejemplares de la población del Desierto con excepción del Cd, Pb, Rb y K (tabla 5).

Se encontraron diferencias significativas entre las dos poblaciones estudiadas en las dos épocas de captura, producto de los niveles detectados de Cr ($X_A = 2,8 \mu\text{g/g}$; $X_D = 4,12 \mu\text{g/g}$), Cu ($X_A = 13,99 \mu\text{g/g}$; $X_D = 18,10 \mu\text{g/g}$), Sn ($X_A = 0,27 \mu\text{g/g}$; $X_D = 0,673 \mu\text{g/g}$), Zn ($X_A = 65,60 \mu\text{g/g}$; $X_D = 88,16 \mu\text{g/g}$) y Mg ($X_A = 520,98 \mu\text{g/g}$; $X_D = 692,19 \mu\text{g/g}$), durante la temporada de lluvias (tablas 6 y 7).

De los elementos que presentaron una concentración mayor en el riñón de los individuos originarios del Ajusco sólo el Rb ($X_A = 61,31 \mu\text{g/g}$; $X_D = 39,98 \mu\text{g/g}$) exhibió diferencias significativas, con un gradiente de concentraciones de menos a más (***SD-LLD-SA-LLA***); dicho comportamiento fue muy semejante al del pulmón.

Aún cuando no se encontraron diferencias significativas en los niveles de Cadmio detectados estos fueron más elevados en el Ajusco ($X_A = 7,03 \mu\text{g/g}$; $X_D = 5,94 \mu\text{g/g}$).

Tabla 5. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el riñón de *M. mexicanus* los datos se muestran en µg/g peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Sn	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 27	Media	20,38	6,67	0,29	2,39	13,20	157,75	3,60	1,32	0,60	60,73	0,24	63,15	402,25	9945,37	510,99	3283,83	6387,44	302,42
		Desv. típ.	18,02	5,30	0,12	1,38	4,16	61,56	1,19	0,59	0,78	12,40	0,18	23,57	162,74	3035,20	248,35	1433,33	2975,67	144,77
	SECA n = 7	Media	37,32	8,42	0,25	4,38	17,03	155,01	4,23	1,47	1,12	63,55	0,44	75,06	370,33	10101,95	559,52	3315,57	6195,09	247,80
		Desv. típ.	23,75	5,18	0,11	2,26	2,60	32,10	1,03	0,44	1,28	10,15	0,44	17,13	52,12	1256,36	140,80	520,84	1708,80	96,51
	ANUAL	Media	23,87	7,03	0,28	2,80	13,99	157,18	3,73	1,35	0,71	61,31	0,28	65,60	395,68	9977,61	520,98	3290,37	6347,84	291,17
		Desv. típ.	20,17	5,25	0,11	1,76	4,16	56,34	1,17	0,56	0,91	11,89	0,26	22,69	146,74	2747,61	229,34	1291,56	2741,07	136,78
D	LLUVIAS n = 20	Media	32,63	6,18	0,34	4,50	18,83	213,16	4,67	1,80	0,60	43,11	0,74	89,41	507,60	9925,46	719,46	3699,12	8213,63	363,57
		Desv. típ.	22,39	5,46	0,16	3,51	5,21	70,99	1,87	0,81	0,80	7,82	0,69	27,78	172,06	581,41	220,12	924,78	2199,90	121,06
	SECA n = 10	Media	28,04	5,48	0,25	3,37	16,62	223,24	4,36	1,80	0,33	33,73	0,53	85,65	391,43	8944,94	637,68	3571,96	7167,95	426,10
		Desv. típ.	15,17	3,70	0,08	2,13	4,55	84,97	1,49	0,71	0,66	6,44	0,43	42,92	249,95	2180,21	290,08	1280,23	3174,39	217,25
	ANUAL	Media	31,10	5,94	0,31	4,12	18,10	216,52	4,57	1,80	0,51	39,98	0,67	88,16	468,88	9598,62	692,20	3656,74	7865,07	384,41
		Desv. típ.	20,12	4,89	0,14	3,13	5,03	74,61	1,73	0,77	0,75	8,55	0,62	32,87	204,66	1384,79	243,71	1035,70	2559,18	158,58

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 6. Contrastes univariados de los elementos detectados en el riñón de *Microtus mexicanus* considerando el sitio y época de captura (comparaciones significativas, $p < 0,05$)

Elemento ^a	Suma de cuadrados	gl	F	Sig.	
Cr	Contraste	0,47	3	3,96	0,0121
	Error	2,31	59		
Cu	Contraste	0,30	3	5,82	0,0015
	Error	1,00	59		
Rb	Contraste	0,62	3	29,98	0,0000
	Error	0,41	59		
Sn	Contraste	0,19	3	5,18	0,0030
	Error	0,73	59		
Zn	Contraste	0,29	3	2,98	0,0385
	Error	1,89	59		
Mg	Contraste	0,31	3	3,03	0,0363
	Error	2,02	59		

^aDatos transformados: $X' = \log(X + 1)$

Tabla 7. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el riñón de *Microtus mexicanus* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

Elemento ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig ^d
	(I)	(J)			
Cr ^b	LLA	LLD	-0,180	0,058	0,016
Cu ^b	LLA	LLD	-0,152	0,038	0,001
	LLA	LLD	0,144	0,024	0,000
Rb ^b	LLA	SD	0,259	0,032	0,000
	LLD	SD	0,116	0,033	0,005
	SA	SD	0,283	0,042	0,000
Sn ^c	LLA	LLD	-0,127	0,033	0,008
Zn ^c	LLA	LLD	-0,157	0,053	0,022
Mg ^c	LLA	LLD	-0,164	0,055	0,008

^aDatos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^bDHS de Tukey; ^cGames - Howell

^dLa diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.1.3 Hígado

Se analizaron 32 muestras de hígado de ejemplares de *M. mexicanus* procedentes del Ajusco (19 machos y 13 hembras) y 24 muestras de individuos capturados en el Desierto (11 machos y 13 hembras). Las concentraciones promedio anual y estacional se muestran en la tabla 8.

Las concentraciones anuales de los elementos detectados en el hígado de *M. mexicanus* fueron superiores en las muestras originarias del Ajusco (tabla 8), con diferencias significativas en los niveles de Cd, Mo, Pb y Rb (tablas 9 y 10).

Los niveles de Cd observados en el hígado de *M. mexicanus* no fueron elevados aunque comparativamente los valores entre épocas del Desierto, manifiestan un comportamiento estacional significativo descendiendo casi el 50 %, ocurriendo lo contrario en el Ajusco donde los valores se incrementan cerca de un 27 % ($X_{LLA} = 1,11 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 1,52 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 0,98 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 0,43 \mu\text{g/g}$); comportamiento muy semejante al mostrado por este metal en el riñón, localizándose diferencias significativas entre zonas durante la temporada seca y entre *LLA* y *SD*

Los valores de Mo obtenidos exhiben una ligera disminución inversa; disminuyendo en el Ajusco de lluvias a seca en tanto que en los ejemplares del Desierto los niveles aumentan ligeramente en la temporada seca ($X_{LLA} = 3,06 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 2,85 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 2,02 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 2,36 \mu\text{g/g}$), con diferencias significativas entre poblaciones en la temporada de lluvias y entre *LLD* y *SA*.

Aún cuando los niveles de Pb no resultaron elevados en el hígado de *M. mexicanus* si presentaron diferencias significativas entre zonas en la época de lluvias ($X_{LLA} = 0,30 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = .06 \mu\text{g/g}$; tablas 9 y 10).

El Rb presentó diferencias significativas entre sitios de captura en ambas épocas de estudio, manifestando niveles considerablemente más bajos y un carácter estacional en los organismos provenientes del Desierto ($X_A = 74,07 \mu\text{g/g}$; $X_D = 47,94 \mu\text{g/g}$). Las diferencias entre las dos localidades se restringen a la temporada de lluvias y entre *LLD* y *SA* (tabla 9).

Tabla 8. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el hígado de *M. mexicanus* los datos se muestran en µg/g peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 25	Media	20,32	1,11	0,23	1,54	13,01	243,82	6,56	3,07	0,31	74,06	78,76	388,02	10598,45	560,86	2954,72	8042,76	751,71
		Desv. típ.	20,16	0,75	0,11	1,31	3,03	100,02	2,02	0,50	0,18	16,64	29,04	269,59	1020,79	172,15	902,83	1891,96	468,99
	SECA n = 7	Media	18,88	1,53	0,24	3,75	13,35	309,08	7,22	2,85	0,30	74,14	79,78	474,46	10380,10	586,83	2669,32	7829,46	502,88
		Desv. típ.	9,83	0,63	0,06	4,80	1,62	94,28	1,33	0,40	0,24	10,13	11,55	361,52	971,27	111,19	638,09	1003,75	291,14
	ANUAL	Media	20,01	1,20	0,23	2,02	13,08	258,10	6,70	3,02	0,31	74,08	78,98	406,93	10550,68	566,54	2892,29	7996,10	697,28
		Desv. típ.	18,27	0,73	0,10	2,58	2,77	101,08	1,89	0,49	0,19	15,30	26,05	287,89	998,86	159,55	851,01	1724,61	444,53
D	LLUVIAS n = 15	Media	10,25	0,99	0,18	1,07	10,73	205,43	5,49	2,02	0,06	52,73	67,03	375,31	9447,57	449,36	2735,64	7761,25	671,16
		Desv. típ.	8,64	0,51	0,06	0,46	2,74	70,92	2,83	1,00	0,07	7,72	21,24	207,62	1628,55	148,28	542,25	2223,73	470,43
	SECA n = 9	Media	28,56	0,44	0,19	1,61	12,22	289,33	5,12	2,37	0,16	39,95	72,72	223,29	8698,44	548,18	2764,27	8064,15	328,69
		Desv. típ.	12,63	0,15	0,03	0,72	2,37	162,96	1,44	0,68	0,13	8,27	13,94	131,76	1969,13	81,75	682,84	1642,83	191,33
	ANUAL	Media	17,12	0,78	0,18	1,27	11,29	236,89	5,35	2,15	0,10	47,94	69,16	318,30	9166,64	486,41	2746,37	7874,84	542,73
		Desv. típ.	13,53	0,49	0,05	0,62	2,66	118,41	2,37	0,89	0,11	10,00	18,71	194,75	1760,77	134,52	584,26	1992,78	419,67

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 9. Contrastes univariados de los elementos detectados en el hígado de *Microtus mexicanus* considerando el sitio y época de captura (comparaciones significativas, $p < 0,05$)

Elemento ^a	Suma de cuadrados	gl	F	Sig.	
Cd	Contraste	0,240	3	5,334	0,0028
	Error	0,766	51		
Mo	Contraste	0,217	3	8,464	0,0001
	Error	0,437	51		
Pb	Contraste	0,080	3	9,954	0,0000
	Error	0,137	51		
Rb	Contraste	0,538	3	25,388	0,0000
	Error	0,360	51		

^a Datos transformados: $X' = \log(X + 1)$ Zar 1984

Tabla 10. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el hígado de *Microtus mexicanus* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

Elemento ^a	(I) ÉPOCA	(J) ÉPOCA	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig ^d
Rb ^b	LLA	LLD	0,139	0,027	0,000
	LLA	SD	0,265	0,034	0,000
	LLD	SA	-0,146	0,038	0,002
	LLD	SD	0,126	0,037	0,007
	SA	SD	0,272	0,044	0,000
Cd ^c	LLA	SD	0,155	0,032	0,000
	SA	SD	0,245	0,043	0,003
	LLD	SD	0,141	0,031	0,001
Mo ^c	LLA	LLD	0,150	0,041	0,010
	SA	LLD	0,127	0,043	0,038
Pb ^c	LLA	LLD	0,087	0,013	0,000

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b DHS de Tukey; ^c Games - Howell

^d La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.1.4 Pelo.

Se analizaron 38 muestras de pelo de organismos capturados en el Ajusco (23 machos y 15 hembras) y 33 muestras de individuos procedentes del Desierto (14 machos y 19 hembras).

Las concentraciones promedio anuales de la mayoría de los elementos detectados en el pelo de *M. mexicanus* fueron superiores en los organismos originarios del Ajusco exceptuando en los niveles presentes de Ba, Sr y S (tabla 11), observándose diferencias significativas entre las poblaciones estudiadas en los siguientes elementos: Ba, Co, Cu, Fe, Mo, Rb, Sn y Zn (tabla 11 y 12).

De forma particular el Co fue el único elemento que presentó diferencias significativas entre poblaciones en ambas épocas de captura, acompañadas de un comportamiento estacional en sentido opuesto según la zona de estudio.

Los niveles de Cu ($X_A = 7,55 \mu\text{g/g}$; $X_D = 6,33 \mu\text{g/g}$), Fe ($X_A = 41,62 \mu\text{g/g}$; $X_D = 22,04 \mu\text{g/g}$), Mo ($X_A = 0,30 \mu\text{g/g}$; $X_D = 0,13 \mu\text{g/g}$), Sn ($X_A = 0,40 \mu\text{g/g}$; $X_D = 0,22 \mu\text{g/g}$) y Zn ($X_A = 210,16 \mu\text{g/g}$; $X_D = 176,57 \mu\text{g/g}$) presentaron niveles promedio superiores en el Ajusco, con diferencias significativas entre zonas en la temporada de lluvias en el Cu, el Fe, el Mo y el Sn, mientras que en el Zn ocurrieron durante la temporada seca además de presentar al igual que el Mo diferencias entre la temporada seca del Desierto y la época de lluvias del Ajusco (tabla 11, 12 y 13).

Se presentaron variaciones en sentido inverso a nivel estacional por sitio de captura en el Rb, resultando significativo el comportamiento descendente de lluvias a seca en el Desierto. Entre poblaciones las diferencias ocurrieron entre la temporada de lluvias del Ajusco y la época seca del Desierto (tabla 13).

Tabla 11. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el pelo de *M. mexicanus* los datos se muestran en µg/g peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Sn	Sr	Ti	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 31	Media	19,89	2,98	0,04	0,04	5,58	7,77	44,25	2,90	0,32	0,92	17,13	0,41	4,90	2,38	209,61	2401,52	3977,74	892,96	930,19	685,09	4013,88
		Desv. tip.	15,84	1,32	0,03	0,02	1,73	1,07	18,05	1,10	0,13	0,73	6,24	0,22	1,38	1,28	34,39	517,92	1432,12	194,48	564,86	362,55	1013,80
	SECA n = 7	Media	10,47	2,36	0,03	0,02	6,14	6,63	30,00	2,17	0,26	0,51	20,54	0,39	4,43	1,16	212,62	2530,69	3768,96	908,28	869,78	764,16	4643,66
		Desv. tip.	4,20	0,51	0,01	0,01	1,04	0,91	6,93	0,25	0,16	0,22	11,21	0,12	1,55	0,29	20,12	1088,65	1689,21	134,55	339,64	559,08	763,34
	ANUAL	Media	18,16	2,87	0,04	0,04	5,68	7,56	41,62	2,77	0,31	0,84	17,76	0,41	4,82	2,16	210,16	2425,31	3939,28	895,78	919,06	699,66	4129,89
		Desv. tip.	14,83	1,23	0,03	0,02	1,62	1,12	17,41	1,04	0,14	0,69	7,33	0,20	1,40	1,25	32,03	642,07	1460,27	183,41	527,23	397,78	994,51
D	LLUVIAS n = 23	Media	15,70	5,01	0,03	0,02	5,66	5,98	17,91	2,52	0,11	0,44	12,91	0,21	5,82	1,49	187,81	2350,11	4068,85	946,85	746,29	482,41	4552,32
		Desv. tip.	10,42	1,60	0,03	0,02	1,08	0,74	10,73	1,05	0,07	0,23	3,91	0,12	1,80	0,89	33,49	549,86	1404,64	210,16	235,65	139,95	1135,04
	SECA n = 10	Media	20,01	4,04	0,04	0,05	5,59	7,15	31,54	1,98	0,17	0,49	8,28	0,27	5,02	1,57	150,72	2021,44	2662,45	733,27	744,50	467,87	3605,10
		Desv. tip.	10,53	1,70	0,05	0,01	1,00	1,23	13,88	0,46	0,05	0,25	1,24	0,12	1,85	0,57	46,41	749,50	981,35	263,68	462,81	190,72	1111,92
	ANUAL	Media	17,01	4,71	0,03	0,03	5,64	6,34	22,04	2,36	0,13	0,45	11,51	0,22	5,58	1,51	176,57	2250,51	3642,66	882,12	745,74	478,00	4265,28
		Desv. tip.	10,48	1,66	0,04	0,02	1,04	1,05	13,18	0,94	0,07	0,23	3,95	0,12	1,83	0,80	40,95	624,01	1434,61	244,65	313,72	154,08	1195,35

Parque Nacional Cumbres del Ajusco

Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 12. Contrastes univariados de los elementos detectados en el pelo de *Microtus mexicanus* considerando el sitio y época de captura (comparaciones significativas, $p < 0,05$)

Elemento		Suma de cuadrados	gl	F	Sig.
Ba	Contraste	68,88	3	11,29	0,0000
	Error	136,25	67		
Co	Contraste	0,01	3	8,82	0,0001
	Error	0,02	67		
Cu	Contraste	43,28	3	14,91	0,0000
	Error	64,84	67		
Fe	Contraste	9224,49	3	14,38	0,0000
	Error	14327,24	67		
Mo	Contraste	0,60	3	16,25	0,0000
	Error	0,83	67		
Rb	Contraste	905,35	3	8,90	0,0000
	Error	2271,78	67		
Sn	Contraste	0,61	3	6,97	0,0004
	Error	1,97	67		
Zn	Contraste	29571,30	3	8,06	0,0001
	Error	81986,09	67		

Tabla 13. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el pelo de *Microtus mexicanus* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

Elemento	(I) ÉPOCA	(J) ÉPOCA	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig ^c
Ba ^a	LLA	LLD	-2,02	0,39	0,0000
	LLD	SA	2,65	0,62	0,0003
Cu ^a	LLA	LLD	1,79	0,27	0,0000
	LLA	LLD	26,33	4,02	0,0000
Mo ^a	LLA	LLD	0,21	0,03	0,0000
	LLA	SD	0,15	0,04	0,0025
Sn ^a	LLA	LLD	0,20	0,05	0,0003
	LLA	SD	58,89	12,72	0,0001
Zn	SA	SD	61,90	17,24	0,0034
	LLA	SA	0,02	0,00	0,0002
Co ^a	LLA	LLD	0,02	0,01	0,0048
	SA	SD	-0,03	0,00	0,0000
	LLD	SD	-0,03	0,00	0,0000
Rb ^b	LLA	SD	8,84	1,19	0,0000
	LLD	SD	4,63	0,90	0,0001

^a DHS de Tukey; ^b Games - Howell

^c La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.1.5 Hueso.

Se analizaron 38 muestras de individuos capturados en el Ajusco (23 machos y 15 hembras) y 34 muestras obtenidas de la población del Desierto (14 machos y 15 hembras), los promedios anuales y estacionales de los elementos detectados en el hueso se muestran en la tabla 14. Los niveles de Al, Cu, Mg y S, fueron ligeramente inferiores en los ejemplares del Desierto.

El Pb ($X_A = 7,25 \mu\text{g/g}$; $X_D = 2,16 \mu\text{g/g}$), el Rb ($X_A = 37,97 \mu\text{g/g}$; $X_D = 24,09 \mu\text{g/g}$) y el Mn ($X_A = 1,87 \mu\text{g/g}$; $X_D = 1,54 \mu\text{g/g}$), presentaron diferencias significativas entre localidades en las dos épocas de captura así como en las comparaciones entre **LLA** y **SD** y entre **LLD** y **SA**, con un claro comportamiento estacional en el desierto en los niveles de Rb (tablas 15 y 16).

Se presentaron concentraciones más elevadas de Ba ($X_A = 76,48 \mu\text{g/g}$; $X_D = 130,75 \mu\text{g/g}$) y de Sr ($X_A = 148,32 \mu\text{g/g}$; $X_D = 189,87 \mu\text{g/g}$) en las dos épocas de estudio en los ejemplares de la población del Desierto, siendo significativas las ocurridas en la temporada de lluvias y entre **LLA-SD** para los dos elementos y en el caso del Ba para las comparaciones entre **LLD-SA** (tabla 15, 16 y 17).

El Zn presentó diferencias significativas entre zonas durante la temporada seca ($X_{SA} = 132,49$; $X_{SD} = 96,34$), apreciándose un descenso a nivel estacional en el Desierto (tabla 16).

Tabla 14. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el hueso de *M. mexicanus* los datos se muestran en µg/g peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 31	Media	12,15	75,90	1,15	5,29	9,92	1,86	0,12	3,95	7,26	38,62	2,71	147,19	107,45	124094,90	7185,63	2743,98	3020,10	66969,57	4781,85
		Desv. típ.	7,39	26,37	0,33	1,59	3,91	0,47	0,06	0,98	2,75	10,87	2,46	34,05	21,35	19077,71	1049,37	294,87	550,41	8916,19	726,33
	SECA n = 7	Media	13,51	79,07	1,29	4,96	11,89	1,89	0,12	4,17	7,22	35,09	4,14	153,32	132,49	128719,40	7447,14	2943,65	2907,40	68404,05	4670,76
		Desv. típ.	5,92	17,94	0,28	0,72	3,05	0,22	0,01	0,56	2,99	7,22	2,61	27,63	13,42	15990,93	968,32	281,06	198,48	7233,25	427,08
	ANUAL	Media	12,40	76,48	1,17	5,23	10,28	1,87	0,12	3,99	7,25	37,97	2,98	148,32	112,06	124946,78	7233,81	2780,76	2999,34	67233,82	4761,38
		Desv. típ.	7,09	24,85	0,32	1,47	3,81	0,43	0,05	0,91	2,75	10,30	2,52	32,70	22,27	18435,54	1027,35	299,10	503,97	8559,21	677,67
D	LLUVIAS n = 23	Media	11,37	136,83	1,41	4,93	9,92	1,57	0,10	3,79	1,86	26,51	2,37	184,49	121,62	124568,64	7549,78	2745,72	3029,29	67629,45	4908,13
		Desv. típ.	5,31	53,45	1,12	1,13	3,74	0,19	0,04	0,67	0,93	6,68	1,65	37,32	23,96	21911,51	1015,55	354,46	604,12	10710,06	754,11
	SECAS n = 11	Media	10,23	118,06	1,14	5,08	7,85	1,48	0,11	4,57	2,79	19,03	2,85	201,11	96,35	134044,36	6725,04	2623,45	3306,74	69666,51	4339,20
		Desv. típ.	3,41	42,67	0,26	1,42	3,61	0,27	0,02	0,25	1,08	4,29	0,82	55,30	31,90	18343,74	1290,60	444,47	798,55	11179,72	775,33
	ANUAL	Media	11,00	130,76	1,33	4,98	9,25	1,54	0,10	4,04	2,16	24,09	2,53	189,87	113,44	127634,31	7282,95	2706,17	3119,05	68288,50	4724,07
		Desv. típ.	4,76	50,36	0,93	1,21	3,78	0,22	0,04	0,68	1,06	6,93	1,44	43,79	28,90	21030,70	1160,03	383,41	673,72	10736,88	796,41

Parque Nacional Cumbres del Ajusco

Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 15. Contrastes univariados de los elementos detectados en el hueso de *Microtus mexicanus* considerando el sitio época y de captura (comparaciones significativas, $p < 0,05$)

Elemento ^a	Suma de cuadrados	gl	F	Sig.	
Ba	Contraste	0,88	3	15,31	0,0000
	Error	1,29	67		
Mn	Contraste	0,05	3	6,34	0,0008
	Error	0,19	67		
Pb	Contraste	3,13	3	50,00	0,0000
	Error	1,40	67		
Rb	Contraste	0,86	3	27,38	0,0000
	Error	0,70	67		
Sr	Contraste	0,17	3	6,16	0,0009
	Error	0,62	67		
Zn	Contraste	0,19	3	8,04	0,0001
	Error	0,53	67		

^a Datos transformados: $X' = \log(X + 1)$

Tabla 16. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el hueso de *Microtus mexicanus* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

Elemento ^a	(I) ÉPOCA	(J) ÉPOCA	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig ^d
Ba ^b	LLA	LLD	-0,248	0,038	0,0000
	LLA	SD	-0,162	0,050	0,0103
	LLD	SA	0,216	0,060	0,0032
Pb ^b	LLA	LLD	0,457	0,040	0,0000
	LLA	SD	0,300	0,052	0,0000
	SA	SD	0,296	0,071	0,0005
	LLD	SA	-0,453	0,062	0,0000
Rb ^b	LLA	LLD	0,158	0,028	0,0000
	LLA	SD	0,311	0,037	0,0000
	SA	SD	0,277	0,050	0,0000
	LLD	SA	-0,124	0,044	0,0321
Sr ^b	LLD	SD	0,153	0,039	0,0011
	LLA	LLD	-0,099	0,027	0,0022
	LLA	SD	-0,108	0,035	0,0151
Zn ^b	SA	SD	0,182	0,044	0,0005
	LLD	SD	0,139	0,034	0,0006
Mn ^c	LLA	LLD	0,043	0,014	0,0204
	LLA	SD	0,068	0,017	0,0026
	SA	SD	0,077	0,017	0,0026
	LLD	SA	-0,052	0,014	0,0193

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b DHS de Tukey; ^c Games - Howell

^d La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.1.6 Músculo.

Se analizaron 37 individuos del Ajusco (23 machos y 14 hembras) y 32 ejemplares capturados del Desierto (14 machos y 18 hembras). Los niveles promedio anuales y estacionales de los elementos detectados se muestran en la tabla 17.

Las concentraciones del Ba y Sr fueron ligeramente superiores en el Ajusco. Las diferencias entre sitios de captura se debieron a los niveles de Al ($X_A = 25,64 \mu\text{g/g}$; $X_D = 17,81 \mu\text{g/g}$), Fe ($X_A = 112,17 \mu\text{g/g}$; $X_D = 86,91 \mu\text{g/g}$), Cr ($X_A = 1,79 \mu\text{g/g}$; $X_D = 5,13 \mu\text{g/g}$) y Rb ($X_A = 57,47 \mu\text{g/g}$; $X_D = 32,85 \mu\text{g/g}$) (tabla 18).

A nivel de zona el Cr fue el único elemento que presentó un claro comportamiento estacional en el Desierto con diferencias entre poblaciones durante la temporada seca y entre **LLA** y **SD** ($X_{LLA} = 1,72$; $X_{SA} = 2,07$; $X_{LLD} = 3,37$; $X_{SD} = 8,49$).

Las diferencias observadas en la temporada de lluvias correspondieron a los niveles de Al ($X_{LLA} = 26,15 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 16,16 \mu\text{g/g}$) y a los del Rb ($X_{LLA} = 58,08 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 33,92 \mu\text{g/g}$), este último presentó además diferencias entre **LLA** y **SD** (tabla 19).

A pesar de que no se llegó a detectar una reducción significativa en las concentraciones de Rb entre temporadas, se da un gradiente de concentraciones **LLD-LLA-SD-SA**, con diferencias significativas entre las concentraciones extremas (tabla 19).

Tabla 17. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el músculo de *M. mexicanus* los datos se muestran en µg/g peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 30	Media	26,50	3,07	1,72	8,94	106,33	1,54	0,19	1,02	58,08	48,02	4808,92	10934,39	774,56	3126,77	9285,42	4039,25
		Desv. típ.	10,86	1,48	0,81	1,60	21,51	0,44	0,16	0,43	11,90	14,59	1970,89	1256,35	114,52	600,73	1379,88	1550,53
	SECA n = 7	Media	21,95	5,30	2,08	8,93	137,22	1,36	0,15	0,76	54,88	62,90	5910,92	10103,66	792,09	3030,69	9969,96	4806,84
		Desv. típ.	14,24	4,44	0,79	1,53	31,48	0,40	0,07	0,49	17,08	14,49	3517,16	1355,13	132,62	369,87	2331,20	2638,78
	ANUAL	Media	25,64	3,49	1,79	8,94	112,18	1,51	0,19	0,97	57,47	50,91	5017,40	10777,22	777,87	3108,59	9414,93	4184,47
		Desv. típ.	11,49	2,41	0,81	1,57	26,23	0,43	0,15	0,45	12,82	15,55	2319,98	1298,61	116,38	561,22	1585,39	1786,08
D	LLUVIAS n = 21	Media	16,17	3,31	3,37	7,88	73,76	1,16	0,10	0,62	33,92	34,63	3558,54	6448,73	488,98	1960,83	5591,51	2835,30
		Desv. típ.	11,13	4,15	3,80	3,22	41,71	0,68	0,05	0,45	10,81	28,70	3835,83	5091,84	393,17	1621,09	4518,13	2937,50
	SECA n = 11	Media	20,95	4,87	8,49	10,45	112,02	1,56	0,18	0,62	30,81	55,17	3476,01	8485,21	653,24	2914,52	5576,87	2909,83
		Desv. típ.	10,71	3,54	3,04	3,00	45,48	0,47	0,09	0,57	5,48	27,49	2721,38	4267,27	311,95	1522,34	2700,70	2178,74
	ANUAL	Media	17,81	3,85	5,13	8,77	86,92	1,30	0,13	0,62	32,85	41,69	3530,17	7148,77	545,44	2288,66	5586,48	2860,92
		Desv. típ.	11,05	3,96	4,29	3,33	46,16	0,64	0,08	0,49	9,34	29,56	3447,21	4854,56	370,68	1629,36	3939,91	2664,51

Parque Nacional Cumbres del Ajusco

Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias= mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 18. Contrastes univariados de los elementos detectados en el músculo de *Microtus mexicanus* considerando el sitio y época y de captura (comparaciones significativas, $p < 0,05$)

Elemento ^a	Suma de cuadrados	gl	F	Sig.	
Al	Inter-grupos	0,797	3	5,564	0,00186
	Intra-grupos	3,054	64		
Cr	Inter-grupos	2,666	3	19,451	0,00000
	Intra-grupos	2,924	64		
Fe	Inter-grupos	0,928	3	9,688	0,00002
	Intra-grupos	2,043	64		
Rb	Inter-grupos	0,944	3	26,338	0,00000
	Intra-grupos	0,764	64		

^aDatos transformados: $X' = \log(X + 1)$

Tabla 19. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el músculo de *Microtus mexicanus* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

Elemento ^a	(I) ÉPOCA	(J) ÉPOCA	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig ^d
Al ^b	LLA	LLD	0,252	0,062	0,0008
	LLA	SD	-0,584	0,078	0,0000
Cr ^b	LLD	SD	-0,513	0,082	0,0000
	SA	SD	-0,531	0,105	0,0000
Fe ^b	LLD	SA	-0,330	0,078	0,0003
Rb ^c	LLA	LLD	0,240	0,031	0,0000
	LLA	SD	0,247	0,040	0,0000

^aDatos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^bDHS de Tukey; ^cGames - Howell

^dLa diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.1.7 Grasa.

Se analizaron 32 muestras de grasa subcutánea (19 machos y 13 hembras) de individuos capturados en el Ajusco y 31 muestras (14 machos y 17 hembras) de ejemplares obtenidos en el Desierto.

Los niveles promedio de los elementos detectados en la grasa de *M. mexicanus* se muestran en la tabla 20, se observan concentraciones superiores de Al, Cr, Cu, Pb, Sn, Sr, Ti, Ca, y S en las individuos del Desierto, sin embargo las diferencias significativas ocurrieron en el Rb, K, y Mg cuyas concentraciones fueron más elevadas en la población del Ajusco.

El comportamiento estacional en los niveles de Rb en los ejemplares del Desierto se acompañó de diferencias a nivel poblaciones en ambas épocas de captura ($X_{LLA} = 32,46 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 21,20 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 28,53 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 12,79 \mu\text{g/g}$) y al igual que el Mg ($X_{LLA} = 562,29$; $X_{SD} = 306,23$) y el K ($X_{LLA} = 6\ 476$; $X_{SD} = 4\ 198$) entre *LLA* y *SD* (tablas 21 y 22).

Tabla 20. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en la grasa de *M. mexicanus* los datos se muestran en $\mu\text{g/g}$ peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Sn	Sr	Ti	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 25	Media	33,06	2,49	8,99	101,05	2,06	0,31	0,66	32,46	0,40	1,12	1,11	40,92	893,11	6476,74	562,29	2736,32	4955,49	827,75
		Desv. típ.	24,23	1,79	2,91	46,73	1,42	0,15	0,64	12,57	0,34	1,14	0,85	19,01	932,01	1817,16	226,97	1193,08	2711,23	697,74
	SECA n = 7	Media	15,00	3,86	6,71	103,84	1,44	0,27	0,21	28,54	0,31	0,89	0,68	42,86	613,54	5445,75	438,76	2692,13	4075,31	526,66
		Desv. típ.	13,83	2,57	1,85	41,75	0,50	0,11	0,13	7,47	0,15	0,40	0,17	10,36	234,01	771,82	125,80	664,24	836,68	244,02
	ANUAL	Media	29,11	2,79	8,49	101,66	1,92	0,30	0,56	31,60	0,38	1,07	1,01	41,34	831,95	6251,21	535,27	2726,65	4762,95	761,89
		Desv. típ.	23,44	2,02	2,85	45,05	1,29	0,14	0,59	11,66	0,31	1,02	0,77	17,36	834,79	1690,93	213,63	1089,85	2441,95	635,95
D	LLUVIAS n = 21	Media	26,89	4,41	9,06	75,01	1,42	0,19	0,65	21,20	0,62	1,21	1,35	42,56	867,43	5936,40	462,08	2330,81	4179,51	761,09
		Desv. típ.	28,59	2,49	4,27	50,93	1,19	0,17	0,56	6,53	0,72	0,81	1,25	23,70	535,69	1463,13	237,31	1081,51	2505,25	508,46
	SECA n = 10	Media	16,89	2,86	9,02	76,40	0,82	0,13	0,52	12,80	0,57	1,07	0,93	37,39	823,26	4198,24	306,23	2250,72	3073,51	812,73
		Desv. típ.	9,16	1,31	4,13	27,64	0,40	0,07	0,27	2,92	0,41	0,83	0,40	18,72	767,91	719,54	73,21	750,30	841,19	637,08
	ANUAL	Media	23,66	3,91	9,05	75,46	1,23	0,17	0,61	18,49	0,60	1,17	1,21	40,90	853,18	5375,71	411,81	2304,98	3822,73	777,75
		Desv. típ.	24,34	2,28	4,16	44,26	1,04	0,15	0,49	6,85	0,63	0,81	1,06	22,04	607,17	1504,89	211,28	974,74	2161,64	542,88

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias= mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 21. Contrastes univariados de los elementos detectados en la grasa de *Microtus mexicanus* considerando el sitio y época de captura (comparaciones significativas, $p < 0,05$)

Elemento ^a		Suma de cuadrados	gl	F	Sig.
Rb	Contraste	1,003	3	14,538	0,000
	Error	1,357	59		
K	Contraste	0,224	3	5,655	0,002
	Error	0,780	59		
Mg	Contraste	0,396	3	3,580	0,019
	Error	2,174	59		

^aDatos transformados: $X' = \log(X + 1)$

Tabla 22. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en la grasa subcutánea de *Microtus mexicanus* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

Elemento ^a	(I) ÉPOCA	(J) ÉPOCA	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig ^d
K ^b	LLA	SD	0,175	0,043	0,001
	LLA	LLD	0,159	0,045	0,009
Rb ^c	LLA	SD	0,356	0,057	0,000
	LLD	SD	0,197	0,058	0,000
	SA	SD	0,328	0,075	0,000
Mg ^c	LLA	SD	0,232	0,072	0,001

^aDatos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^bDHS de Tukey; ^cGames - Howell

^dLa diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.1.8 DISCUSIÓN.

Aún cuando las concentraciones de Pb obtenidas a nivel pulmonar no mostraron diferencias significativas entre poblaciones, sugieren variaciones en los procesos de dispersión de los contaminantes que favorecen la movilidad de este metal en el Desierto en la temporada de lluvia, mientras que en el Ajusco ocurre en la temporada seca, que no es posible confirmar debido a la gran variabilidad mostrada en las dos localidades estudiadas y al tamaño de muestra obtenido en la estación seca.

La influencia local de los incendios forestales y del tránsito vehicular en una zona más que otra son variables a considerar además del impacto de la dispersión de contaminantes, Getz *et al.* (1977), detecta variaciones en los niveles de Pb existentes en los órganos de varias especies de micromamíferos en relación al la intensidad del tráfico automovilístico.

A pesar del grado de contaminación existente en la Ciudad de México no se observan valores elevados de Pb en el pulmón de las dos poblaciones; estudios en diferentes especies de pequeños mamíferos mencionan concentraciones de Pb muy similares o por encima de los valores encontrados en este estudio (Johnson *et al.*, 1978; Scanlon *et al.*, 1983; Ma *et al.*, 1991; Talmage & Walton, 1991; Górriz, 1995; Shore, 1995; Stansley & Roscoe, 1996; Ieradi *et al.*, 2003;), tanto en áreas contaminadas como en sitios tomados de referencia, quedando los valores obtenidos en el rango inferior de lo reportado en otros trabajos.

Las concentraciones existentes de Pb en el suelo bien sea de origen natural, como producto de la deposición atmosférica en años previos a este estudio y el mayor o menor grado de movilidad del mismo, dependiente a su vez de las propiedades de los suelos y el grado de alteración de la cubierta vegetal son factores que influyen en los valores obtenidos en los muestras analizadas de *M. mexicanus*.

El comportamiento de la lluvia ácida, durante la temporada afecta la disponibilidad de ciertos micronutrientes y metales pesados; los reportes de las estaciones de monitoreo más cercanas a la zona de estudio (estación lomas –Desierto- y estación Pedregal –Ajusco-) en promedio fueron muy similares durante la temporada de estudio, si bien la estación Pedregal no registró los valores de pH más ácidos si fue la estación que registró el mayor número de eventos ácidos durante 1996 (S.M.A. 1997).

Los niveles de Pb hallados en el pulmón así como en el resto de órganos, tejido muscular y pelo de las dos poblaciones de *M. mexicanus*, hace suponer que el

comportamiento de este metal en el Ajusco y en el Desierto coincide con lo propuesto por diversos autores que señalan su reducción en la atmósfera contaminada del Valle de México (Rosas *et al.*, 1995; Watmough & Hutchinson, 1999; SMA 2002); es posible que la cubierta vegetal les brinde una adecuada protección, a pesar de la cual se observó material particulado en los pulmones de las dos poblaciones, con un mayor porcentaje anual de organismos afectados en el Desierto, pero de forma particular en la temporada seca se observan más casos de neumoconiosis en el Ajusco (capítulo 4), en concordancia con los valores promedio más elevados de Pb obtenidos en la zona.

Diversos estudios indican correlaciones positivas entre los niveles de metales del suelo y los detectados en los órganos de micromamíferos terrestres (Talmage & Walton, 1991; Shore, 1995;), sin embargo, la gran variedad de concentraciones existentes en diversos puntos del Desierto y del Ajusco reportados por diversos autores (Castro, 1995; Watmough & Hutchinson, 1999; Quiroz & Ilangovan 1999; Gaso *et al.*, 2000) en años previos, durante y posteriores a este trabajo, no hacen factible una correlación, ya que las concentraciones de elementos existentes en el suelo no son buenos predictores cuando la biodisponibilidad o la ruta de exposición varía marcadamente entre áreas (Shore, 1995).

Los mecanismos de incorporación de metales pesados a la cadena trófica, dependen en parte de las concentraciones existentes y del grado de biodisponibilidad, Quiroz & Ilangovan (1999) encuentran una mayor concentración de Pb en el bosque de *Quercus* en comparación con las áreas ocupadas por *Muhlenbergia macroura* en el Ajusco debido a una mayor movilidad hacia capas profundas.

Si consideramos que ambas zonas han sido afectadas por la adición del Pb, pero en presencia de mecanismos diferentes de lixiviación, se explicaría su menor presencia en los organismos capturados en el Desierto, debido a una mayor filtración de este elemento en años previos o bien que la tasa de deposición atmosférica de este metal fuera mayor en el Ajusco producto de las condiciones atmosféricas, grados diferentes de erosión y alteraciones en la cubierta vegetal; Quiroz & Ilangovan (1999) señalan que la acumulación y movilización del Pb y Zn en el Ajusco están controlados principalmente por el tipo de cubierta vegetal.

La influencia del ozono en el estrato arbóreo ocasionan la declina masiva de *Abies religiosa* descrito por Bauer & Krupa (1990), en el Desierto y el efecto de la lluvia ácida se traducirían con el paso del tiempo en un mayor grado de erosión y pérdida de nutrientes y movilización de metales pesados; S.M.A. (2000) califica los

suelos del Desierto y el Ajusco con una susceptibilidad extremadamente alta y alta a la erosión respectivamente

Los suelos del Desierto son profundos y ricos en materia orgánica (M.O.) (Castro, 1995) y con valores de pH entre 4,4 y 6,4 (Castro, 1995; Fenn *et al.*, 1999; Watmough & Hutchinson, 1999), es factible pensar que su composición debida a la senectud temprana del estrato arbóreo, ocasione un efecto amortiguador similar al reportado por Quiroz *et al.* (2002) atribuido a la presencia de *Quercus rugosa* en el Ajusco; movilizándose cantidades inferiores de metales pesados debido a las concentraciones de fenoles y polisacáridos hidrosolubles dependientes de la especie presente, así como a la invasión de vegetación ruderal característica de ambientes perturbados y de nutrientes orgánicos, favoreciendo el flujo de ciertos elementos y limitando otros.

Otro aspecto a considerar es el impacto de la tala clandestina así como las actividades de reforestación en los dos ecosistemas, y que su influencia fuera mayor en el Ajusco, afectando con ello la composición y cantidad de la M.O.

Un factor a tomar en cuenta sería la edad de los ejemplares especialmente en los valores óseos ya que el Pb tiende a acumularse con la edad, sin embargo esta relación no es tan directa ya que depende del aporte de Pb que se recibe tanto durante la lactancia como en su desarrollo en el útero, en función del estado nutricional de la progenitora durante la preñez como en el posparto y con ello de los fenómenos de resorción/absorción de componentes y elementos acumulados en el hueso.

La separación en edades en juvenil, subadulto y adulto no proporcionó ninguna relación en parte por el número de reducido de ejemplares capturado de las categorías de menor edad, sin embargo los niveles de Pb óseo detectados en dichos organismos no fueron los más reducidos, especialmente en los subadultos con valores muy cercanos o por encima de la media en el Ajusco ($Pb_{oseo} X = 7,25$; $Pb_{oseo} subadultos = 5,11 \mu\text{g/g p.s.}$ y $8,11 \mu\text{g/g p.s.}$).

Con independencia de los procesos que ocasionan la acumulación de Pb en el hueso de *M. mexicanus* los valores promedio obtenidos fueron más elevados durante todo el periodo de estudio en más del doble de los obtenidos en el Desierto.

Las variaciones en las concentraciones de metales en los ejemplares analizados pueden verse influidas por la variación estacional del alimento base de cada especie y las concentraciones existentes en el substrato dependientes de la evolución natural del

bosque y grado de influencia antropogénica, siendo de particular interés los niveles de Rb encontrados en esta especie.

El Rb es uno de los metales menos estudiados en la Naturaleza, conociéndose poco su función en el organismo, los resultados obtenidos apuntan a una mayor asimilación de este elemento que las reportadas en diferentes órganos de mamíferos a nivel experimental y en condiciones naturales y patológicas (Yokoy *et al.*, 1996; Ščančar *et al.*, 2000; Nyholm & Tyler, 2001; Sánchez-Chardi & Nadal, 2003) y las encontradas en *P. melanotis* y *P. difficilis* en este estudio; en cambio en hongos se han detectado niveles superiores (Gaso *et al.*, 2000).

La concentraciones más elevadas de Rb durante la temporada de lluvias indica una posible relación por una parte con la abundancia de la vegetación herbácea característica de la temporada como una mayor movilidad de este elemento debido al efecto de la lluvia ácida; influyendo sus hábitos alimenticios; particularmente la ingesta de hongos (Gómez-Ugalde, 1989) y su preferencia por hábitats dominados por gramíneas (Getz, 1985), que a su vez explicaría las diferencias entre las tres especies estudiadas.

Así mismo la presencia del Rb en cantidades más elevada en la población del Ajusco, indican una mayor biodisponibilidad de este elemento y posiblemente una mayor concentración en los suelos, a este respecto es pertinente considerar el origen marino de la cuenca de México (Gaso *et al.*, 2000), así como el origen volcánico más reciente del Ajusco en relación con la formación de la Sierra de las Cruces (Martín del Pozo, 1980) donde se ubica el Desierto y la constante deposición ambiental; Gaso *et al.* (2000) reportan concentraciones de Rb ligeramente superiores en el Desierto (14,21 mg/Kg p.s.) que en el Ajusco (13,04 mg/Kg p.s.), con niveles más elevados en algunos localidades aledañas.

Si tomamos los dos sitios de captura de acuerdo a los eventos geológicos que los conformaron, tenemos que el Desierto es la formación más antigua (Martín del Pozo, 1980), por lo que es posible que las concentraciones observadas estén condicionadas en primera instancia por el origen más reciente del Ajusco y por tanto serían debidas a las concentraciones de cenizas volcánicas características de los suelos de la zona (Gaso *et al.*, 2000).

Sin embargo Tyler, (1997) y Nyholm & Tyler (2000), cuestionan la influencia de la concentración del Rb, debido a que las plantas discriminan entre este y el K optando por el segundo, señalando la acidez del suelo y el estatus del K como

determinantes en los procesos de captación de estos elementos, mencionando que en ecosistemas con suelos ácidos, los niveles bajos de K se agravan debido a la pérdida por lixiviación que a su vez es compensada por la entrada de Rb.

Nyholm & Tyler (2000) postulan que, los mecanismos principales que controlan el incremento en el flujo del Rb en la cadena trófica son dos: 1) la entrada en las plantas vasculares esta directamente influida por la acidez del suelo y relacionada con la pérdida del K y 2) el transporte del Rb a través de la cadena trófica es aparentemente pasivo y esta controlado por la concentración o cantidad en el alimento con poco o ningún control homeostático; de ser así; las concentraciones observadas sugieren por un lado una mayor acidificación de los suelos en el Ajusco y/o una mayor ingesta alimenticia.

Diferencias en la cantidad de alimento consumida producto de las condiciones ambientales, debidas a los requerimientos fisiológicos en un sitio determinado y a variaciones en la calidad y disponibilidad del mismo, influirían en las variaciones tanto a nivel estacional como poblacional.

La existencia de especies vegetales exclusivas de una zona o de otra que acumulen en mayor o menor medida ciertos elementos y que *Microtus mexicanus* las incorpore regularmente a su dieta, es una posibilidad que no debe descartarse como causante de las diferencias observadas; ya que se han detectado variaciones en las concentraciones de Rb en especies de hongos entre 40,23 mg/Kg p.s. en *Cantharellus cibarius* y 243,90 mg/Kg p.s. en *Gomphus floccosus* (Gasó *et al.*, 2000) en bosques cercanos a las localidades de estudio

Es posible que la mayor concentración de Rb en los organismos del Ajusco no sea más que un reflejo del ambiente al que a estado expuesto en la Cuenca de México utilizando el Rb a la par que el K.

Nielsen (2000a) sugiere que la eficacia de los mecanismos homeostáticos para hacer frente a la entrada de un elemento específico es reflejo de la exposición más elevada del mismo durante su evolución, lo que nos remite nuevamente a la disponibilidad real de estos dos elementos a través del tiempo durante el periodo de estudio y el desarrollo del bosque.

La mayoría de las plantas que consumen algunas especies de *Microtus* son bajas en sodio y altas en K especialmente durante la primavera (Hasting *et al.*, 1991). En *Microtus pennsylvanicus* en cautiverio se han detectado que concentraciones de 0,001 % en sodio y ≥ 3 % en K en la dieta inducen hipertrofia de la zona glomerulosa de la

glándula adrenal (Christian, 1989), si se presenta este tipo de alteración en *M. mexicanus* una reducción de los niveles de K en la vegetación que consumen podría modificar su respuesta.

La posible influencia de la deposición atmosférica como una fuente externa de este metal es una alternativa a tenerse en cuenta. Torres & Bolongaro-Crevenna (2000) analizando la precipitación pluvial de la Ciudad de México durante el año 2000, detectaron concentraciones elevadas de elementos traza, señalando como posibles fuentes, a los polvos derivados de rocas volcánicas y calizas, con fuertes variaciones en las concentraciones de silicio, Sn, Rb y Sr conectadas con polvos derivados de rocas volcánicas y calizas relacionadas con las tolvaneras de la zonas orientales de la ciudad, formaciones calcáreas y depósitos alcalinos que dominan los suelos del norte y noreste de la ciudad y fuentes de vulcanismo procedentes quizás del Volcán Popocatepetl, (en actividad creciente desde 1993, CENAPRED, 2003), así como un cierto origen antropogénico.

Debido a la escasez de trabajos que contemplen el Rb, para determinar si las concentraciones de este metal en *M. mexicanus* dependen en última instancia de las existentes en el substrato y está sufriendo una reducción en este elemento bien sea por el proceso natural de sucesión como por el efecto de lixiviación es necesario realizar estudios en animales, plantas y suelo a través del tiempo.

El Rb se considera tóxico cuando este reemplaza en un 40% al K intracelular, en cuyo caso provoca arritmias, convulsiones generalizadas y muerte (Meltzer, 1991). Los datos obtenidos no revelan una intoxicación por este metal, siendo posible que las alteraciones ocurran a otro nivel; en investigaciones realizadas le asignan una función neurofisiológica (Nielsen, 1998); con efectos en la conducta de macacos, produciendo hiperactividad e incrementando la agresividad (Meltzer *et al.*, 1969), en tanto que Gambarana (1999) encuentra efectos contrarios en función de la duración del tratamiento, produciendo un efecto hiporeactivo a largo plazo en ratas tratadas con *RbCl* acompañado de un descenso en la producción de dopamina y reducción en la concentración de Rb en el cerebro, debido a los procesos degenerativos de la edad (Takahashi *et al.*, 2001).

Es posible que las variaciones en la ingesta de este metal tenga un papel importante en el grado de agresividad de esta especie y estado de alerta de acuerdo a lo propuesto por Meltzer, (1969) e influya en los procesos de dispersión de roedores afectando en un sentido o en otro la dinámica poblacional, siendo necesario realizar

estudios de comportamiento y análisis de masa encefálica, donde se han encontrado variaciones significativas en las concentraciones de Rb entre regiones funcionales definidas (Nielsen, 1998).

El Mo es un micronutriente esencial en plantas, bacterias y animales, su deficiencia ocasiona un déficit en el crecimiento y bajo contenido de clorofila y ácido ascórbico en plantas (Stallmeyer *et al.*, 1999). El incremento de NO_3^- producto de la deposición atmosférica (Fenn *et al.*, 1999), aumentaría los requerimientos de Mo como constituyente de la nitrato reductasa (Mengel & Kirkby, 1987).

La disponibilidad del Mo depende principalmente de su concentración en el substrato y del pH (Goldberg & Foster, 1998); en suelos ácidos es común encontrar deficiencia de Mo en las vegetación (Hale *et al.*, 2001), las concentraciones obtenidas con excepción de las detectadas en el riñón de *M. mexicanus* sugieren una mayor disponibilidad de este elemento en Ajusco, en desacuerdo con la posibilidad de una mayor acidez en los suelos de dicha zona, considerando las concentraciones que se obtuvieron del Rb y/o una mayor concentración en los suelos del Desierto, donde Gaso *et al.* (2000) reporta valores de 1,16 mg Mo/Kg p.s. en tanto que en la zona del Ajusco encuentra 1,06 mg Mo/Kg p.s.

La ingesta de sulfatos puede tener efecto protector sobre el efecto nocivo que pudiera tener el exceso de Mo en el aporte nutricional ya que incrementa su excreción vías urinarias (Underwood & Suttle, 1999), o inhibidor dependiendo de las concentraciones de los dos elementos, no encontrándose diferencias entre las concentraciones de azufre detectadas en los diferentes órganos analizados.

La mayor incorporación a los órganos de *M. mexicanus* puede ser producto tanto de la diversificación de la dieta como de la respuesta de la vegetación al estrés debido a la influencia de los gases oxidantes, ya que en plantas el Mo juega un papel importante en la detoxificación del azufre (Marschner, 1995) así mismo los procesos de lixiviación que ocasionaran una mayor o menor pérdida de nutrientes, en función del pH, el flujo hídrico, la capacidad de intercambio catiónico, la composición de la materia orgánica, los procesos de humificación y mineralización entre otros.

El Mo se encuentra principalmente en el hígado riñón y hueso en animales de laboratorio (Vyskoči & Viau, 1999), no observándose en esta especie una concentración elevada a nivel óseo.

El origen de elementos como el Ba y el Sr en el hueso se han analizado ampliamente en estudios de paleodieta, utilizándose para la determinación de patrones

alimenticios e indicadores de ingesta de vegetales en restos fósiles (Tracho & Robledo 1999). La presencia de menores concentraciones de Ba y Sr en los individuos procedentes del Ajusco, sugieren variaciones en la cantidad, calidad y tipo de alimentación en las dos poblaciones estudiadas.

Concentraciones más elevadas de Sr y Ba y cierto comportamiento estacional en el Desierto pueden ser producto de la presencia de individuos más viejos o bien una tasa metabólica mayor que les hiciera ingerir más alimento y/o concentraciones más elevadas de estos metales en su entorno.

Es posible que las condiciones atmosféricas adversas les hiciera consumir una mayor proporción de vegetales, no reflejada en el peso ya que no se observan diferencias significativas en su distribución mensual así como del indicador peso-talla (Índice de condición del cuerpo) de los individuos capturados (capítulo 2), lo que supondría en cambio un mayor gasto energético a igual masa corporal en los individuos del Desierto.

Si consideramos lo postulado por Nyholm & Tyler (2000); un mayor consumo de alimento a igual pH del suelo en los dos parques naturales, supondría una mayor concentración de Rb, sucediendo lo contrario, lo que supone que la acidez del suelo y/o la incorporación de este metal es mayor en el Ajusco posiblemente debido a la pérdida de K así como de otros nutrientes, lo que explicaría por otra parte las concentraciones significativas más elevadas de Pb y Mn en el hueso y en el hígado de la población del Ajusco pero no explica las concentraciones más elevadas de Mo ya que este elemento es menos disponible a un pH ácido.

La variación en el peso por si misma, cuando existe la posibilidad de alteraciones en el balance de elementos traza en el organismo, no es un buen indicador, si tenemos en cuenta que algunos de ellos regulan diversas funciones metabólicas y del comportamiento alterando con ello patrones de consumo alimenticio. El Cr, por ejemplo es un componente activo del “factor de tolerancia a la glucosa” (Nielsen, 1998), en humanos un inadecuado consumo puede afectar la salud (Nielsen, 2000b); en cabras sometidas a dietas deficientes en Cu y Cr, manifiestan una ganancia en peso debido a un metabolismo anormal de lípidos y carbohidratos (Frank *et al.* 2000b).

Los niveles de Cr encontrados en el músculo de los ejemplares procedentes del Desierto fueron considerablemente más elevados que los obtenidos en el resto muestras analizadas en especial en la temporada seca, lo que sugiere por un lado una ingesta más elevada tanto a nivel respiratorio como alimenticio, si consideramos la tasa de

asimilación vía tracto digestivo del Cr (III) entre 0,5% y 3% y en el caso del Cr (VI) de un máximo de 6%, (EHC61, 1988).

La concentración más elevada de Cr en el pulmón de los ejemplares del Desierto durante la temporada seca en relación a lo detectado en época de lluvias puede reflejar una mayor exposición respiratoria bien sea producto de la edad y/o la concentración de Cr en el material particulado, y/o la respuesta de los macrófagos, acompañada de una incorporación al torrente sanguíneo; en exposiciones crónicas de Cr su eliminación parece depender de la función renal (O'Flaherty, 2001), observándose en el análisis patológico de *M. mexicanus* (capítulo 4) un número mayor no significativas de lesiones renales en los ejemplares del Desierto, dichas alteraciones podrían favorecer la acumulación o la pérdida de un nutriente en particular.

Alteraciones en la asimilación de Cr han sido reportadas en humanos, de acuerdo con diversos trabajos revisados por Mutuma *et al.* (1999) este investigador concluye que humanos insulino dependientes absorben niveles anormales de Cr,

Los niveles más elevados de Cr obtenidos en las muestras analizadas del Desierto confirman una mayor asimilación de este metal, por otra parte las concentraciones encontradas en el pelo en las dos poblaciones de *M. mexicanus*, como un medio de excreción (EHC61, 1988), son muy similares además de presentar concentraciones más elevadas que las encontradas en *P. melanotis* y *P. difficilis*, con escasa diferencia estacional lo que hace sospechar una mayor concentración de este metal en el alimento base de esta especie (gramíneas); en cultivos experimentales de pasto (*Dactylis glomerata*) y alfalfa (*Medicago sativa*), tratadas con diferentes concentraciones de Pb y Cr se ha observado una incorporación mayor de Cr que de Pb en el pasto dependiendo de la concentración existente en el suelo; se da una mayor acumulación en raíces que en la parte aérea (Flores-Tena *et al.*, 1999).

Los mecanismos de respuesta de la vegetación del área pueden explicar la acumulación de Pb y Cr en los órganos de las poblaciones estudiadas en comparación con las concentraciones existentes en el suelo, así como el consumo de raíces (Gómez-Ugalde, 1989; Villa, 1953) y las variaciones en la ingesta de artrópodos (Matamoros-Trejo & Cervantes, 1992) podrían afectar también los resultados obtenidos.

La incorporación de valores promedio más elevadas de Cr al músculo en los ejemplares del Desierto, durante la temporada seca puede ser producto de: modificaciones en la dieta ya que concentraciones más elevadas pueden tener un efecto benéfico sobre el metabolismo de la glucosa en situaciones de estrés alimenticio

(Anderson, 1998 y 2000) y las actividades realizado en el microhábitat que se desarrolla ya que ejercicio físico altera los niveles de Cr en mamíferos (Mutuma *et al.* 1999), Por otra parte las concentraciones elevadas de Fe en músculo pueden ser el resultado de los depósitos de Cr, Miller (1996) en humanos sugiere que dicho elemento puede ser almacenado con el Fe.

Durante el estrés los niveles de azúcar se elevan acompañados de un incremento en la síntesis de cortisol. En cabras se ha visto que suplementos de Cr disminuyen los niveles de cortisol en plasma e incrementa las inmunoglobulina-M y las inmunoglobulinas totales en animales estresados, sin efecto alguno en animales no estresados (Anderson, 1998), como ya comentamos en el capítulo 4, *M. mexicanus* presenta imágenes compatibles con descarga de glucocorticoides en el hígado, sin daño aparente, la presencia de concentraciones elevadas de Cr podría contrarrestar los efectos adversos ocasionados.

Exceptuando las concentraciones a nivel pulmonar del Cr, en promedio se obtuvieron valores más elevados en los dos parques naturales que los detectados en *A. sylvaticus* por Górriz (1995) mientras que en el hígado de *Crocidura russula* capturadas en un vertedero Sánchez-Chardi & Nadal (2003) detectan valores ligeramente inferiores a los observados en este estudio en el Ajusco en cambio a nivel renal encuentran valores más elevados pero en cambio no lo detectan en ejemplares capturados en zonas no contaminadas.

Si bien las concentraciones hepáticas de Mn no presentan diferencias significativas entre las dos poblaciones y son más elevadas que las obtenidas a nivel óseo en el cual si se detectan diferencias con una mayor presencia en los ejemplares del Ajusco hace suponer una mayor asimilación, no mostrando en el resto de órganos diferencias, aunque hay que destacar la mayor acumulación no significativa de este metal en el pulmón de los ejemplares del Ajusco en la temporada seca y su posible relación con el consumo de gasolina en la ciudad.

El compuesto orgánico de Mn, metilciclopentadienilo-manganeso tricarbonilo (MMT) es un aditivo de las gasolinas (CICAD12, 1999); Fortoul *et al.*, (2001) analizando las concentraciones en muestras de pulmón de autopsias de residentes de la ciudad de México entre 1960 y 1990 concluye que la exposición respiratoria a este metal no representó un peligro para la salud de los residentes de la Ciudad de México durante el periodo de su estudio; a pesar de lo cual es posible que debido a la introducción de las nuevas formulaciones de gasolina al reducir las concentraciones de

Pb, los niveles de Mn en la atmósfera del Valle de México se hayan incrementado en la actualidad.

El Manganeseo es utilizado en pequeñas cantidades en el organismo como activador enzimático participando en el metabolismo energético y proteico, almacenándose principalmente en hueso e hígado, siendo necesario para el crecimiento, la reproducción y las funciones del sistema inmune (CICAD12, 1999); observándose una mayor concentración en el hígado de las dos poblaciones que en el resto órganos analizados.

Es difícil afirmar si los niveles de Mn corresponden a una dieta adecuada o a una deficiencia dado que se desconocen valores de referencia para esta especie en condiciones óptimas, los valores encontrados en el Ajusco en la época seca a nivel pulmonar y muscular están por encima de los reportados por Górriz (1995) en *A. sylvaticus* en zonas con bajo nivel de contaminación y contaminadas, sin embargo a nivel hepático son menores.

Considerando los resultados de Alvarado *et al.* (1993), en cuanto a las deficiencias de Mn y Zn en las agujas de árboles enfermos de *Abies religiosa*, la disminución de este micronutriente en el hueso indica una menor disponibilidad de este nutriente en los recursos obtenidos, la escasa diferencia detectada en el resto de órganos entre poblaciones indica que probablemente en los dos sitios se presenten procesos similares de asimilación de este elemento.

Una posible diversificación de la dieta con consumos variables de artrópodos y moluscos terrestres presentes en la materia orgánica explicaría la concentración más elevada de algunos elementos como el Zn, y el Sr en la población del Desierto.

Una de las causas de la pérdida del estrato arbóreo es el ataque de los escarabajos de la corteza del pino (*Dendroctonus mexicanus*, *D. valens* y *Ips bonansea*), cuyos registros datan desde 1920 (Perry, 1951); Matamoros-Trejo & Cervantes (1992) reportan una considerable diferencia entre el consumo de artrópodos entre el verano y el otoño no siendo así entre el invierno y la primavera en esta especie. Por otra parte Watmough & Hutchinson (1999) encuentra que a pesar de las concentraciones más elevadas de Zn en el suelo, el análisis dendrológico de *A. religiosa*, sugiere deficiencias de este metal en comparación con bosques menos conservados, señalándolo como una causa probable de la declina de esta especie, si bien los mecanismos de incorporación y requerimientos de nutrientes pueden ser diferentes a las especies que regularmente consume *M. mexicanus*, es posible que exista algún

factor que limite su incorporación de este elemento a la vegetación y una retención menor en animales.

La incorporación del Zn al organismo de *M. mexicanus* puede ser producto del grado de homeostasis que se tiene sobre este micronutriente, ya que los organismos son capaces de regular las concentraciones internas y mantenerse dentro de ciertos rangos a pesar de las concentraciones existentes en el ambiente (EHC221, 2001), así como el efecto que pueda tener sobre la biodisponibilidad la elevada deposición atmosférica NO_3 , los procesos de lixiviación, el contenido de materia orgánica y el pH del suelo.

Los valores de Zn observados en las dos poblaciones están dentro de los valores reportados en sitios de referencia en la compilación de estudios realizada por Talmage & Walton (1991) en tanto que las concentraciones en el pelo son mayores que las detectadas en *P. melanotis* y *P. difficilis*, lo que por otra parte puede ser característico de la especie y tenga que ver con el color del pelaje de las tres especies y con el proceso acumulativo en la vida del animal.

Los niveles de Fe encontrados no mostraron diferencias en el pulmón, siendo el órgano que presentó las concentraciones más elevadas en las dos poblaciones, en tanto que si mostraron diferencias a nivel muscular y en el pelo; existen pocas referencias del comportamiento de este metal en los órganos de pequeños mamíferos silvestres sin embargo, Górriz, (1995) reporta en *Apodemus sylvaticus* concentraciones promedio considerablemente más bajas tanto en sitios de referencia como en zona contaminada en tejido muscular (3,98 $\mu\text{g/g}$ p.s. y 4,07 $\mu\text{g/g}$ p.s.), y más elevados en hígado (458,55 $\mu\text{g/g}$ p.s. y 450,22 $\mu\text{g/g}$ p.s), en zona no contaminada y contaminada respectivamente que las detectadas en *M. mexicanus*

Los niveles más elevados de Fe y de Cr en el pulmón en comparación con los observados en el resto de órganos pero menores que el obtenido en músculo, pueden ser en parte producto de una asimilación vía tracto respiratorio, como constituyentes del material particulado encontrado en el análisis patológico (capítulo 4) y/o en el caso específico del Fe debido a la respuesta del mecanismo inmunitario de esta especie. Özen *et al.* (2003), reportan modificaciones en las concentraciones de Zn y Fe en pulmón de ratas como respuesta a inhalaciones subagudas y subcrónicas de formaldehído en ratas de laboratorio.

Es posible que las concentraciones de Fe, observadas en *M. mexicanus* sean una característica de la especie, o bien que formen parte del mecanismo de respuesta al estrés oxidativo. Como parte de la defensa no específica a procesos infecciosos, el

cuerpo modifica el metabolismo del Fe haciéndolo menos disponible a los microorganismos (Marx, 2002), sin embargo, los niveles de Fe en el hígado de *M. mexicanus* fueron menores que los observados en el pulmón, no observándose casos importantes de hemosiderosis, ni esplenomegalia, siendo necesaria la determinación de lactoferrina en plasma ya que una liberación en exceso se debe al elevado recambio de granulocitos inducido por procesos inflamatorios y neoplásicos.

Si bien no existieron diferencias en la distribución estacional del Cd en el riñón, (en el que se aprecian las concentraciones más elevadas), si se observaron diferencias en las concentraciones encontradas en el hígado.

Las diferencias entre los valores obtenidos de Cd en el riñón y en el hígado en ambas poblaciones bien pueden ser producto de la vía de administración y del metabolismo. Diversos autores mencionan que la vía principal de absorción del Cd es la respiratoria; una vez que pasa al torrente circulatorio se fija a la hemoglobina y a la metalotionina (una proteína de bajo peso molecular rica en grupos SH), depositándose en el hígado y en los riñones (Świergosz-Kowalewska, 2001), el Cd-Metalotioneína pasa directamente al riñón en tanto que las sales inorgánicas de Cd son transportadas al hígado en el complejo Cd-albúmina (Dorian *et al.*, 1992)

Tomando en cuenta la menor concentración observada en el hígado en relación con la detectada en el riñón, es factible pensar es de origen orgánico, lo que sugiere que la mayor parte del Cd asimilado puede que no sea digerido por las enzimas proteolíticas y parcialmente sea absorbido intacto en el riñón (Świergosz-Kowalewska, 2001).

De igual forma las concentraciones obtenidas de Cd inducen a pensar en un proceso lento de asimilación con niveles muy cercanos de exposición entre zonas de estudio, para roedores se estima una asimilación de entre 0,5 y 3 % del Cd ingerido excretándose la mayor parte de él a través de las heces (Groten & Bladern, 1994); en las dos poblaciones no se logró detectar en hueso, grasa subcutánea y músculo debido a los elevados niveles de calcio y el límite de cuantificación del equipo utilizado, que por otra parte sería señal de su escasa presencia, ya que la asimilación de Cd se incrementa en dietas con bajo contenido en calcio (Swiergosz-Kowalewska, 2001) no obstante hay que tomar en cuenta que aún a concentraciones de 100 ng/g en peso seco Ogoshi *et al.* (1989) encuentran alteraciones en la potencia mecánica del hueso.

Swiergosz-Kowalewska (2001), después de una exhaustiva revisión sobre la toxicidad y distribución del Cd en el organismo concluye que la efectividad de los mecanismos de detoxificación de la metalotioneína pueden no ser suficientes inclusive

cuando un organismo es expuesto a concentraciones crónicas de Cd ya que existen otros factores que pueden incrementar su toxicidad.

La exploración patológica no reveló alteraciones importantes en el riñón con porcentajes de individuos con algún tipo de afección renal ligeramente más elevados en el Desierto (capítulo 4), los órganos reproductores son más sensibles a dosis bajas, con efectos sobre la espermatogénesis y la ovulación (Varga *et al.*, 1991).

Para el Cd, Castro (1995) reporta un valor máximo de 0,3 µg/g p.s. en los suelos del Desierto en años previos al estudio; en cambio Watmough & Hutchinson (1999) encuentran un máximo de 1,34 µg/g p.s en febrero de 1997 en el bosque de *Abies*; si observamos el comportamiento estacional descendente no significativo de este elemento en el hígado hace sospechar un incremento en la disponibilidad de este metal en la zona, durante la temporada de lluvias producto de la deposición ambiental, potenciada por el grado de acidez de los suelos y el tipo de vegetación consumida, especialmente si consideramos el incremento de este metal en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* a partir de 1970 reportado por Watmough & Hutchinson (1999) en el Desierto y aún cuando encuentra un descenso entre 1992-1997, las concentraciones que reporta son superiores a las observadas en bosques mejor conservados.

Por otra parte el ligero incremento del Cd en el Ajusco en la temporada seca, indica pequeñas diferencias en el proceso de movilización, que puede ser ocasionado por la presencia de lluvias locales como un ambiente más húmedo durante la temporada seca, un mayor número de eventos de lluvia ácida en la zona y/o una tasa de supervivencia más elevada.

En *Clethrionomys glareolus* se ha visto que dietas baja en calcio incrementa las tasa de asimilación del Cd a nivel gastrointestinal (Šwiergosz-Kowalewska, 2001) y su acumulación es proporcional a la cantidad ingerida, las concentraciones de calcio detectadas en los diferentes muestras de tejido y órganos analizados no revelaron diferencias, en parte debido a la variabilidad obtenida, ya que en promedio se obtuvieron niveles más elevados de calcio en pulmón, riñón y hueso, en los ejemplares procedentes del Desierto.

Los mecanismos que controlan la acidificación del suelo incluyen las sales carbonatadas, los silicatos, hidróxido de aluminio y el intercambio catiónico de bases, el decremento de estos mecanismos disminuye el pH, incrementando la concentración del Al (Mohren & Ilvesniemi, 1995). Concentraciones elevadas de aluminio frenan el crecimiento radicular y con ello la captación de nutrientes aunque se ha demostrado que

la vegetación presenta cierta tolerancia a éste metal, tanto en condiciones de laboratorio como en su ambiente natural (EHC194, 1997).

Las concentraciones de Al detectadas presentaron una gran variabilidad siendo en general más elevadas en los organismos del Ajusco, exceptuando en el riñón las concentraciones más elevadas en la temporada de lluvias sugieren su mayor incorporación a través de las fuentes alimenticias, mientras tanto a nivel respiratorio se da una influencia mayor durante la temporada seca, posiblemente debido a los procesos de desintegración de la vegetación y a la deposición atmosférica.

La toxicidad del Al es mayor en situaciones patológicas o con deficiencias alimenticias (EHC194, 1997), con un efecto en el crecimiento postnatal en ratas (Golub *et al.*, 2003), ya que se observaron en conjunto una menor presencia de procesos infecciosos a nivel respiratorio en la población del Ajusco (capítulo 4) es probable que a igual consumo de Al este afecte en mayor proporción a los ejemplares del Desierto.

Sin embargo la determinación de Al en esta especie como en *P. melanotis* y *P. difficilis*, se tiene que tomar con precaución ya que es el elemento con el que más problemas se tiene por contaminación durante su procesamiento (EHC194, 1997), lo que repercute de alguna forma en el comportamiento de los datos a pesar de lo cual la mayor concentración promedio obtenida en el Ajusco esta de acuerdo con la posible mayor acidificación de sus suelos. Así mismo Watmough & Hutchinson (1999), reportan una reducción de este elemento en los anillos de crecimiento de *A. religiosa* a partir de 1980 en el Desierto.

Ellis *et al.* (1979) sugieren que la acumulación de Al interfiere con los procesos de mineralización ósea, las concentraciones detectadas en el hueso no son elevadas en comparación con los órganos analizados, ni con los detectados en *A. sylvaticus* por Górriz (1995); Castro (1995), detecta concentraciones de Al mayores en las zonas conservadas del bosque de oyamel que en las zonas de reforestación (CEMENTERIO), en tanto que Gaso *et al.* (2000) mencionan que el contenido de dicho metal en los suelos de localidades próximas a los sitios de captura del Ajusco y Desierto son similares al promedio mundial, presentando concentraciones relativamente altas de calcio que bien puede jugar un papel importante en los procesos de reducción de toxicidad por Al.

Chinoy & Patel (2001) encuentran que la administración de $AlCl_3$ a ratones hembra de laboratorio disminuye los niveles de proteínas en los órganos reproductivos alterando la esteroidogenesis del ovario, el metabolismo de los carbohidratos en útero y causa hipercolesterolemia, los cuales pueden ser reversibles con suplementos de ácido

ascórbico, calcio y vitamina E; en *Microtus* se ha detectado gran actividad hepática de l-galanoctona (Jenness *et al.*, 1980), lo que puede darle una ventaja “adaptativa” en la respuesta al estrés; en condiciones de laboratorio se ha demostrado que varias especies de *Microtus* no requieren una fuente dietética de ácido ascórbico (ILAR, 1995).

Las variaciones estacionales en el consumo de determinado alimento de las especies estudiadas pueden funcionar como mecanismos de respuesta a las influencias ambientales compensando las carencias o efectos tóxicos ocasionados en determinado momento o época, además de su respuesta natural a la disponibilidad del recurso y necesidades fisiológicas ante la influencia antropogénica, lo que puede ser un mero hecho casuístico o “adaptativo” a las nuevas condiciones del ambiente si consideramos que de acuerdo al análisis dendrológico realizados por Watmough & Hutchinson (1999) el Pb presenta un incremento casi constante desde 1960 en el Desierto y un menor incorporación de Zn.

A la fecha no existe una metodología estándar que permita eliminar la contaminación externa sin alterar la composición del pelo (Morton *et al.*, 2002; Ródenas de la Rocha *et al.*, 2003), especialmente en el análisis multielemental, ya que propiedades de los diferentes elementos dificultan encontrar un procedimiento de limpieza adecuado (Chyla & Żywnicki, 2000).

La presencia del Ti y Cr en el pelo puede estar relacionada con la deposición externa, no obstante los niveles detectados en grasa del primero son más elevados, siendo posible que sea parte del mecanismo de eliminación, sin embargo debido a los límites de cuantificación del equipo y la técnica utilizada no fue posible establecer su estatus real en el resto de órganos analizados; en perros Chyla & Żywnicki (2000) y en humanos Nowak (1998), reportan cantidades más elevadas de Ti que las encontradas en *M. mexicanus*, señalando que la composición elemental del pelo esta correlacionada con el color del mismo.

La utilización del pelo como una medida no invasiva del comportamiento de los elementos en los organismos es utilizada en humanos, sin embargo para una correcta interpretación de los datos es necesario la existencia de valores de referencia, por lo que se hace necesario considerar su análisis dentro de los estudios de dinámica poblacional encaminada a obtener una base de datos fiable que posibilite su correcta interpretación en zonas contaminadas y reducir el impacto que se tiene en la sucesión natural del ecosistema debido a la remoción de organismos y que posibilite el trabajar al mismo tiempo parámetros ecológicos y químicos en una población.

5.4.1.9 CONCLUSIONES.

Se detectaron diferencias significativas en las concentraciones de metales detectados en pulmón, riñón, hígado, pelo, hueso, músculo y grasa subcutánea analizados; sin un patrón constante de acumulación significativa debido a la afinidad por tejido y/o órgano en particular de los elementos detectados, a las funciones metabólicas a las que están vinculados y variación en la dispersión de contaminantes con excepción del Rb cuyas concentraciones fueron significativamente más elevadas en los ejemplares del Ajusco.

M. mexicanus presentó diferencias significativas en el espacio y tiempo (entre los dos parques nacionales y las épocas de lluvias, seca), de estas diferencias las más sobresalientes entre áreas de estudio fueron: en Pulmón los valores de más elevados de Cr en el Desierto y Rb en el Ajusco; en el riñón en los valores obtenidos de Cr, Cu, Rb, Sn, Zn y Mg durante la temporada de lluvias con concentraciones promedio más elevadas en el Desierto con excepción del rubidio cuyo valor mayor se encuentra en el Ajusco, el cual además presentó diferencias en la temporada seca y comportamiento estacional en el Desierto; en hígado las diferencias se dieron en los valores más elevados de Cd, Mo, Rb y Pb en los ejemplares del Ajusco durante la temporada de lluvias principalmente y observándose un comportamiento estacional en el Desierto en el Rb y Cd; el hueso con el Ba, Sr, Zn Mn, Pb, y Rb, los valores más elevados de los tres primeros metales están en el Desierto y los de los tres últimos en el Ajusco, el comportamiento estacional se observó en el Rb en el Ajusco y el Zn en el Desierto; el tejido muscular con diferencias significativas en los valores de Al, Fe y Cr, las concentraciones superiores de los dos primeros metales se tienen en el Ajusco y la del último en el Desierto que además presentó comportamiento estacional en dicha zona; en la grasa subcutánea con el Rb, K y Mg, en los organismos del Ajusco presentándose comportamiento estacional en los valores de Rb obtenidos el Desierto y en el pelo con el Ba, Cu, Fe, Mo, Sn, Zn, Co y Rb, cuyas concentraciones son superiores en los ejemplares del Ajusco con excepción del Ba y detectándose un comportamiento estacional en las concentraciones de Co y Rb en los ejemplares del Desierto.

Las concentraciones de Cr y Mn pueden estar vinculadas con las concentraciones existentes en el material particulado generado en la Ciudad de México

Se observa una ingesta crónica acumulativa de Cd, detectándose valores muy próximos en el riñón y diferencias significativas a nivel hepático entre poblaciones.

Se observa una ingesta crónica acumulativa de Cr, detectándose valores más elevados en el desierto, cuya presencia merece atención por la posible implicación en la respuesta al estrés alimenticio y desarrollo muscular.

Las concentraciones de Pb en hígado y hueso reflejan una ingesta crónica acumulativa con escasa diferencia estacional cuyo origen puede ser tanto respiratorio como alimenticio con una mayor influencia en los ejemplares del Ajusco.

Los niveles más elevados de Zn, Sr y Ba en hueso en los ejemplares del desierto pueden estar relacionados tanto con las concentraciones existentes en el ambiente de la zona como con la calidad del alimento consumido con una mayor biodisponibilidad en los ejemplares del Desierto en la temporada de lluvias, pero en el caso particular del Zn inferiores en la época seca, requiriéndose un análisis especial en los niveles de Ba y Sr debido a que no se pudo establecer su concentración en los órganos analizados, detectándose únicamente en pelo el Ba.

Las concentraciones de Mn pueden tener un origen alimenticio como respiratorio con una mayor influencia en el Ajusco durante la temporada seca, sin embargo dada su posible implicación en el metabolismo es posible influya tanto la disponibilidad en el ambiente como una respuesta al estrés,

Las concentraciones detectadas en el pelo, en parte se deben a la acumulación exógena especialmente en los valores obtenidos de Ti y Cr, presentando valores muy cercanos a los observados en el pulmón y con tendencias muy similares a los órganos analizados en los niveles de Fe, Mo y Rb.

El Zn detectado en el pelo mostró las concentraciones más elevadas en comparación con el resto de órganos analizados y una variación muy similar a lo observado en el hígado y músculo.

Una cuestión que debería ser planteada es el efecto que pueden tener elementos como el Rb, de los cuales se desconoce su función, que sin embargo las recientes investigaciones y gracias a los métodos modernos de análisis, se sabe que tienen un papel fundamental en cuestiones tan importantes como la actividad neurofisiológica y por ende pueden influir en la respuesta al estrés.

5.4.2 *Peromyscus melanotis*.

Se analizaron un total de 151 ejemplares procedentes del Parque nacional Cumbres del Ajusco (84 machos y 67 hembras) y 161 individuos capturados en el Parque Nacional Desierto de los Leones (86 machos y 75 hembras). Debido a problemas de contaminación inherentes del método utilizado, el tamaño de muestra varía por tipo de muestra analizada.

Las muestras de hígado, pelo, hueso y grasa, presentan un mayor tamaño de muestra ya que en parte proceden de individuos destinados al análisis histopatológico.

Los datos de hueso y grasa se transformaron de acuerdo a lo propuesto por Zar (1984), con la fórmula $X' = \log(X+1)$, para su análisis estadístico.

5.4.2.1 Pulmón.

Se analizaron 84 muestras de pulmón procedentes del Ajusco (50 machos y 34 hembras) y 104 procedentes del Desierto (69 machos y 35 hembras) los niveles promedio de los elementos detectados se muestran en la tabla 23. Se obtuvieron promedios anuales superiores en las muestras procedentes del Desierto para casi todos los elementos detectados en el pulmón de *P. melanotis* exceptuando en las concentraciones del Fe, Rb, Si y Mg: la distribución mensual de algunos de los elementos detectados se muestran en la figura 1.

El único elemento que presentó cierto comportamiento estacional significativo fue el Ni en la población del Desierto ($X_{LLD} = 0,139 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 0,54 \mu\text{g/g}$), cuyos valores durante la temporada de lluvias mostraron diferencias entre poblaciones al igual que los niveles de Mo.

El Mo presentó además diferencias entre los valores obtenidos el período de lluvias del Desierto y los de la época seca del Ajusco, en tanto que el K presentó diferencias significativas durante la temporada seca (tabla 24 y 25).

Los niveles de Rb mostraron una tendencia inversa conforme avanzó el estudio sin un claro comportamiento estacional, con diferencias entre poblaciones durante la temporada seca ($X_{SA} = 50,79 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 41,97 \mu\text{g/g}$).

Tabla 23. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el pulmón de *Peromyscus melanotis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Si	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S	
A	LLUVIAS n = 40	Media	7,91	1,69	11,18	541,06	1,44	0,48	0,39	0,28	43,22	55,49	68,15	1217,59	11926,04	806,69	4043,33	13639,74	8964,71	
		Desv. típ.	10,67	0,50	3,77	251,61	0,52	0,17	0,35	0,18	13,84	18,99	16,50	444,19	2444,26	197,27	1231,02	3343,75	1828,23	
	SECA = 44	Media	15,67	1,55	11,72	665,10	1,48	0,49	0,31	0,21	50,80	58,35	74,30	1138,54	12263,61	773,04	4129,09	13555,18	9579,59	
		Desv. típ.	24,71	0,31	2,76	206,31	0,51	0,13	0,32	0,16	12,02	14,11	10,08	341,70	1225,59	96,22	619,74	1724,21	885,29	
	ANUAL	Media	11,98	1,62	11,46	606,04	1,46	0,48	0,35	0,24	47,19	56,98	71,37	1176,19	12102,86	789,07	4088,25	13595,45	9286,79	
		Desv. típ.	19,62	0,41	3,27	235,97	0,51	0,15	0,34	0,17	13,39	16,57	13,79	393,42	1901,10	152,86	955,46	2606,83	1439,45	
	D	LLUVIAS n = 26	Media	25,42	1,80	12,97	579,17	1,62	0,68	0,14	0,31	45,37	53,23	72,69	1267,27	11943,87	833,35	3923,73	14133,28	9659,83
			Desv. típ.	28,62	0,70	3,63	140,18	0,60	0,20	0,21	0,33	12,19	14,08	11,18	245,14	1932,57	97,48	619,30	2172,88	1130,01
SECA = 78		Media	21,78	1,62	12,33	598,59	1,44	0,56	0,54	0,40	41,98	55,35	74,55	1133,14	13389,24	851,68	4088,42	14201,44	9723,80	
		Desv. típ.	27,83	0,79	3,63	152,95	0,72	0,17	0,55	0,42	12,82	21,74	16,62	380,58	2619,61	136,44	1161,30	2659,75	1812,61	
ANUAL		Media	22,69	1,67	12,49	593,74	1,49	0,59	0,44	0,38	42,82	54,82	74,09	1166,67	13027,90	847,10	4047,25	14184,40	9707,81	
		Desv. típ.	27,94	0,77	3,62	149,43	0,70	0,19	0,51	0,40	12,69	20,06	15,41	355,35	2536,16	127,62	1051,86	2536,81	1663,40	

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; seca = noviembre 1996 - abril 1997

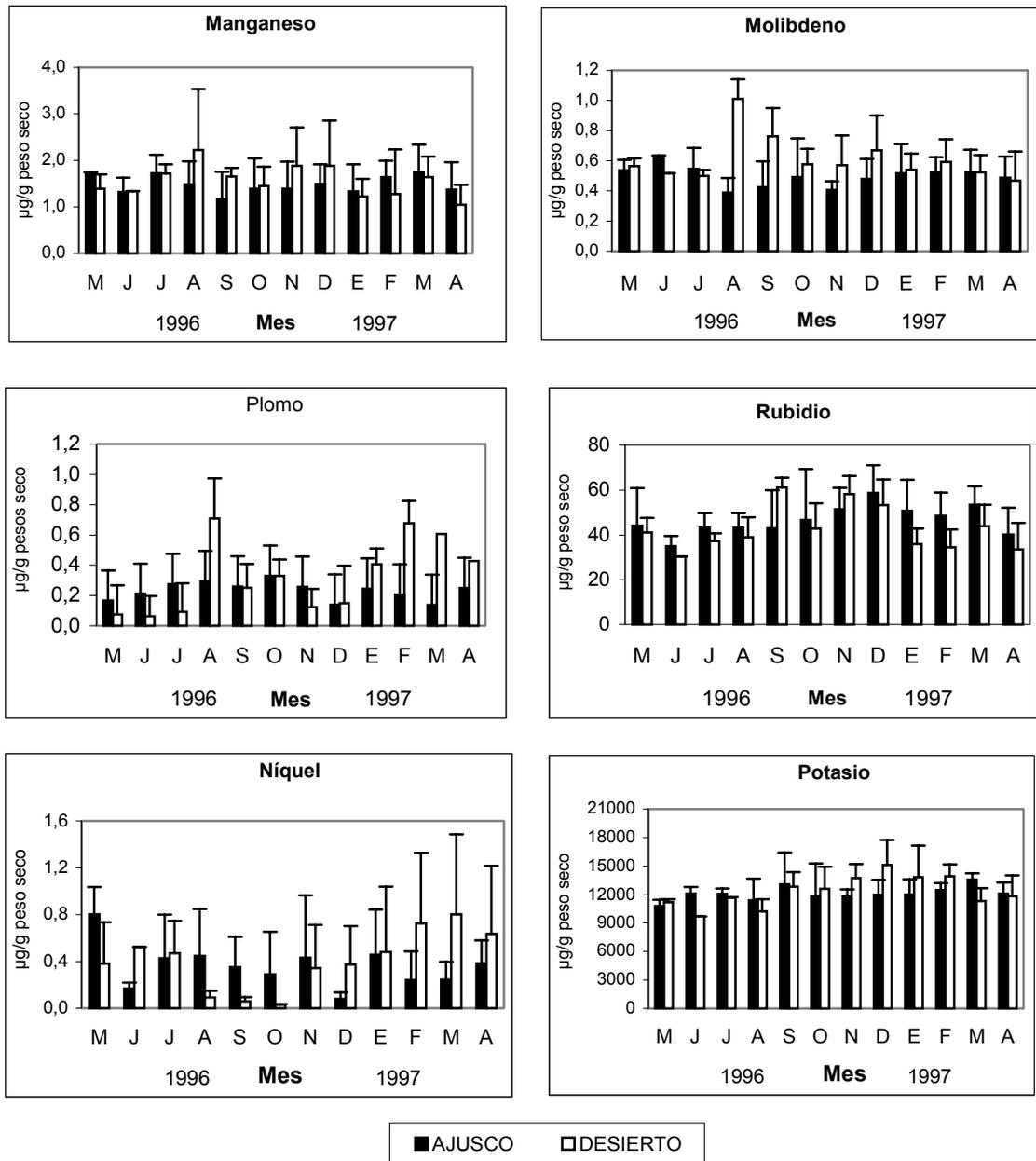


Figura 1. Distribución mensual de algomos de los elementos detectados en el pulmón de *Peromyscus melanotis*.

Tabla 24. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el pulmón de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0,05$)

Elemento	Suma de cuadrados	gl	F	Sig	
Mo	Contraste	0,78	3	9,27	0,0000
	Error	5,15	184		
Rb	Contraste	2313,10	3	4,72	0,0034
	Error	30044,16	184		
K	Contraste	82887080	3	5,53	0,0012
	Error	919362718	184		
Ni	Contraste	3,80	3	7,03	0,0002
	Error	33,19	184		

Tabla 25. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el pulmón de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas).

ELEMENTO	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a
	(I)	(J)			
Mo ^b	LLA	LLD	-0,200	0,04	0,0000
	LLD	SA	0,186	0,04	0,0000
Rb ^b	SA	SD	8,822	2,41	0,0014
Ni ^c	LLA	LLD	0,251	0,11	0,0026
	LLD	SD	-0,406	0,10	0,0000
K ^c	SA	SD	-1125,6332	349,4521	0,0089

^a La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^b DHS de Tukey ; ^c Games-Howell

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.2.2 Riñón.

Se analizaron 79 muestras de riñón de ejemplares capturados en el Ajusco (46 machos y 33 hembras) y 68 del Desierto (41 machos y 27 hembras).

Los niveles promedio anuales de los elementos detectados fueron similares entre poblaciones con ligeros incrementos o descensos entre temporadas de escasa importancia en la mayoría de los elementos observados (tabla 26), con excepción de los niveles de Cd ($X_A = 2,26 \mu\text{g/g}$; $X_D = 2,63 \mu\text{g/g}$), Cu ($X_A = 11,10 \mu\text{g/g}$; $X_D = 11,41 \mu\text{g/g}$), Fe ($X_A = 112,96 \mu\text{g/g}$; $X_D = 107,05 \mu\text{g/g}$), Mo ($X_A = 0,88 \mu\text{g/g}$; $X_D = 1,04 \mu\text{g/g}$), Rb ($X_A = 19,25 \mu\text{g/g}$; $X_D = 18,87 \mu\text{g/g}$) y Si ($X_A = 110,13 \mu\text{g/g}$; $X_D = 115,05 \mu\text{g/g}$) (tablas 27 y 28); las variaciones mensuales de algunos de los elementos detectados se presentan en la figura 2.

El comportamiento estacional descendente observado en el Cu y Fe y el incremento ocurrido en el Cd de época lluvias a época seca resultaron significativos en los dos sitios de captura. El Rb y el Si presentaron niveles más elevados en la temporada seca del Desierto sin embargo sólo fue significativo en el Ajusco en los dos elementos (tablas 27 y 28), a pesar de lo cual el Si no mostró diferencias entre poblaciones.

Las diferencias observadas en el Mo y el Fe ocurrieron en las dos épocas de captura, presentando al igual que el Cu diferencias entre *LLD* y *SA* y así como entre la temporada de lluvias del Ajusco y la época seca del Desierto; en el Cd las diferencias fueron significativas entre *LLA* y *SD* (tabla 28).

Tabla 26. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el riñón de *Peromyscus melanotis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	EPOCA		Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Si	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 44	Media	3,84	1,92	0,07	0,21	11,43	116,89	1,64	0,86	0,09	0,56	16,80	93,40	39,95	294,05	4676,68	386,79	1509,18	6212,57	945,56
		Desv. típ.	4,51	0,93	0,02	0,13	1,05	8,97	0,31	0,12	0,07	0,55	2,03	37,05	2,64	67,47	307,86	28,54	194,45	419,25	388,80
	SECA n = 35	Media	4,89	2,69	0,08	0,30	10,68	108,02	1,61	0,91	0,11	0,33	22,33	131,18	38,62	261,41	4740,73	377,65	1405,57	6191,53	854,72
		Desv. típ.	3,83	1,42	0,02	0,33	0,65	11,51	0,30	0,11	0,09	0,24	4,09	43,98	2,26	102,11	208,61	19,30	150,06	450,07	318,38
	ANUAL	Media	4,31	2,26	0,07	0,25	11,10	112,97	1,63	0,88	0,10	0,46	19,25	110,14	39,36	279,59	4705,06	382,74	1463,28	6203,25	905,31
		Desv. típ.	4,23	1,22	0,02	0,24	0,96	11,03	0,30	0,12	0,08	0,46	4,15	44,23	2,55	85,56	268,78	25,15	182,60	430,47	359,98
D	LLUVIAS n = 24	Media	3,64	1,76	0,06	0,34	12,47	119,38	1,67	1,03	0,16	0,18	19,49	123,97	40,27	341,23	4693,90	384,73	1535,27	5904,23	827,13
		Desv. típ.	5,14	1,29	0,03	0,22	2,81	15,32	0,51	0,24	0,09	0,11	5,75	54,66	8,54	71,66	346,65	40,36	282,06	608,05	390,41
	SECA n = 44	Media	3,94	3,11	0,06	0,32	10,83	100,33	1,64	1,05	0,11	0,29	18,54	110,19	39,19	278,22	4724,39	371,72	1424,59	6185,19	880,00
		Desv. típ.	3,84	1,79	0,02	0,22	0,89	6,96	0,33	0,10	0,11	0,79	4,34	35,35	2,75	72,89	214,32	24,44	271,60	376,99	304,66
	ANUAL	Media	3,83	2,64	0,06	0,33	11,41	107,06	1,65	1,04	0,13	0,25	18,87	115,05	39,57	300,46	4713,63	376,31	1463,65	6086,03	861,34
		Desv. típ.	4,31	1,75	0,02	0,22	1,96	13,99	0,40	0,16	0,11	0,64	4,86	43,26	5,49	78,06	266,35	31,33	278,38	486,24	335,47

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; seca = noviembre 1996 - abril 1997

Tabla 27. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el riñón de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0.05$)

Elemento		Suma de cuadrados	gl	F	Sig ^a
Cd	Contraste	44,96	3	7,62	0,0001
	Error	281,29	143		
Cu	Contraste	56,07	3	9,62	0,0000
	Error	277,69	143		
Fe	Contraste	8445,24	3	26,06	0,0000
	Error	15448,78	143		
Mo	Contraste	1,00	3	17,98	0,0000
	Error	2,65	143		
Rb	Contraste	615,30	3	12,66	0,0000
	Error	2316,19	143		
Si	Contraste	31656,89	3	6,10	0,0006
	Error	247243,17	143		

Tabla 28. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el riñón de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO	ÉPOCA		Diferencia		Sig. ^a
	(I)	(J)	entre medias (I-J)	Error típ.	
Mo ^b	LLA	LLD	-0,18	0,03	0,0000
	LLA	SD	-0,19	0,03	0,0000
	SA	SD	-0,13	0,03	0,0002
	LLD	SA	0,12	0,04	0,0057
Cd ^c	LLA	SA	-0,77	0,28	0,0382
	LLA	SD	-1,19	0,30	0,0012
	LLD	SD	-1,35	0,38	0,0036
Cu ^c	LLA	SA	0,75	0,19	0,0012
	LLA	SD	0,60	0,21	0,0232
	LLD	SA	1,78	0,59	0,0259
	LLD	SD	1,64	0,59	0,0469
Fe ^c	LLA	SA	8,87	2,37	0,0022
	LLA	SD	16,56	1,71	0,0000
	SA	SD	7,69	2,21	0,0054
	LLD	SA	11,36	3,68	0,0186
Rb ^c	LLD	SD	19,05	3,30	0,0000
	LLA	SA	-5,53	0,76	0,0000
	SA	SD	3,79	0,95	0,0009
Si ^c	LLA	SA	-37,78	9,30	0,0007

^a La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^b DHS de Tukey ; ^c Games-Howell

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

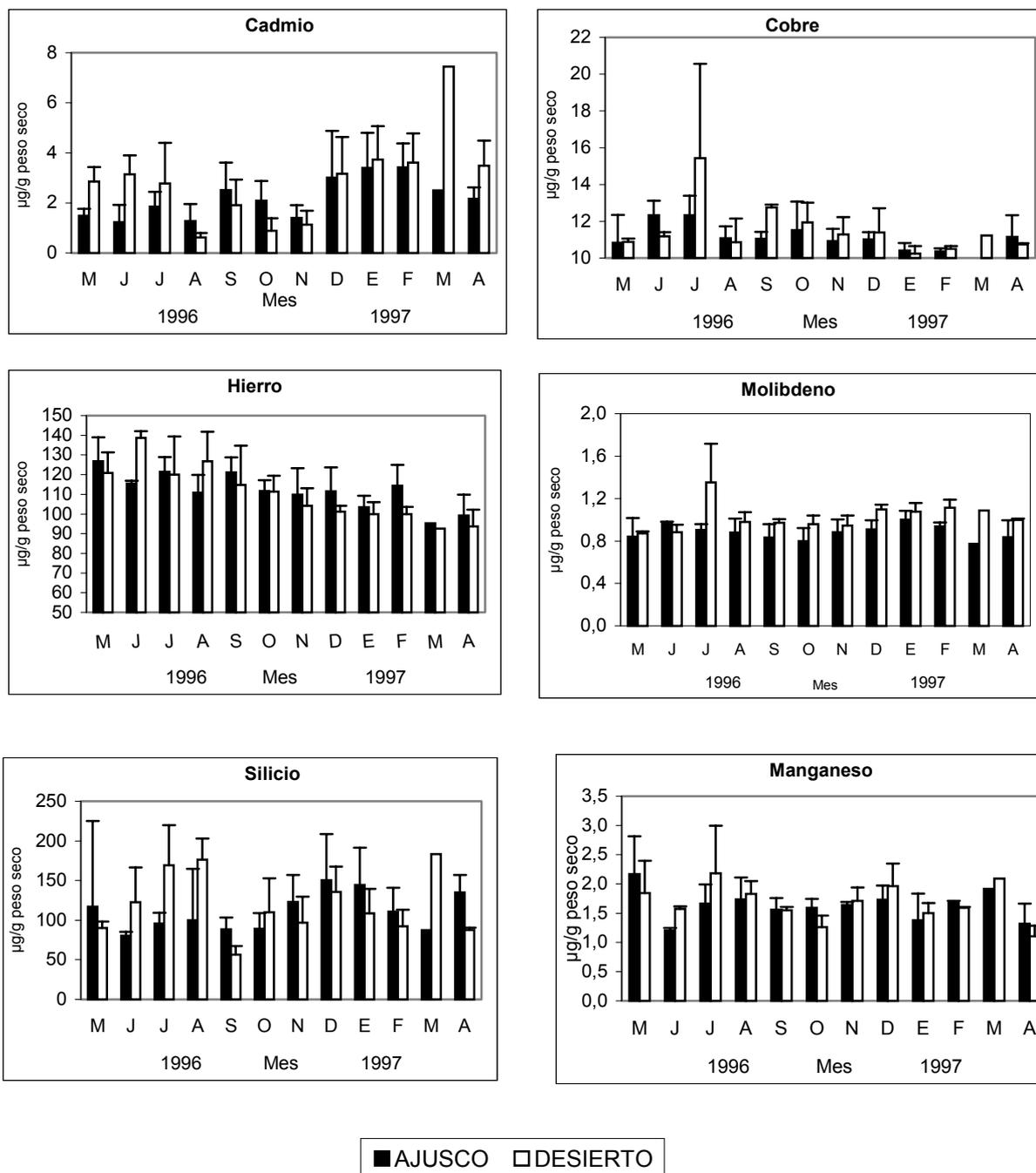


Figura 2. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el riñón de *Peromyscus melanotis* (X±DS).

5.4.2.3 Hígado.

Se analizaron 123 muestras procedentes del Ajusco (71 machos y 52 hembras) y 126 muestras originarias del Desierto (77 machos y 49 hembras).

Los niveles promedio de la mayoría de los elementos detectados en el hígado de *P. melanotis* fueron más elevados en las muestras del Ajusco (tabla 29 y figuras 3 y 4). Se detectaron diferencias significativas en los niveles de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mo, Pb, Rb y S (tablas 30 y 31).

Las diferencias significativas obtenidas en el Mo ($X_A = 2,82 \mu\text{g/g}$; $X_D = 3,8 \mu\text{g/g}$) y en el del Cu ($X_A = 16,66 \mu\text{g/g}$; $X_D = 51,02 \mu\text{g/g}$) ocurrieron en las dos épocas de colectas. Las concentraciones de Cu en el hígado son de particular interés ya que si bien presentan la misma tendencia en ambas zonas, disminuyendo de lluvias a seca sin llegar a manifestar un componente estacional, estas fueron considerablemente mayores en el Desierto (tabla 31, figura 3)

El Al ($X_{LLA} = 19,56 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 6,72 \mu\text{g/g}$), el Cd ($X_{LLA} = 0,878 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 0,480 \mu\text{g/g}$), el Cr ($X_{LLA} = 1,21 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 0,41 \mu\text{g/g}$) y en el S ($X_{LLA} = 3583,66 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 6582,87 \mu\text{g/g}$), presentaron diferencias significativas durante el período de lluvias en tanto que en la temporada seca las diferencias correspondieron a los niveles observados del Fe ($X_{SA} = 222,36 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 195,06 \mu\text{g/g}$), Pb ($X_{SA} = 0,61 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 0,31 \mu\text{g/g}$) y Rb ($X_{SA} = 47,59 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 40,64 \mu\text{g/g}$) (figuras 3 y 4).

En el hígado de los ejemplares de *P. melanotis* obtenidos en el Desierto se observaron comportamientos estacionales en el Al, el Cd, el Cr, y el S mientras que en el Ajusco el único elemento que mostró cierto comportamiento estacional fue el Rb ($X_{LLA} = 35,44 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 47,59 \mu\text{g/g}$) (tabla 31).

El comportamiento estacional en el Desierto y la ausencia del mismo en los ejemplares del Ajusco, así como las ligeras variaciones entre épocas por zona dio como consecuencia que se encontraran diferencias significativas entre la época de lluvias en el Desierto y la época seca del Ajusco en: Al, Cr, Cd, Mo, Cu y S. Si observamos el patrón de concentraciones en las dos zonas de estudio (tabla 29, figura 3 y 4); de estos elementos con excepción del S, tenemos que los valores más bajos se encuentran en la época de lluvias del Desierto y los más elevados en la época seca del Ajusco, mientras que en el S ocurre lo contrario.

Tabla 29. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el hígado de *Peromyscus melanotis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 52	Media	19,56	0,88	0,15	1,21	19,54	222,84	4,03	2,61	0,55	35,45	71,59	864,23	9507,20	699,07	2946,73	9772,87	3583,66
		Desv. típ.	15,30	0,57	0,04	0,92	9,28	63,77	1,19	0,68	0,56	8,37	13,75	500,14	1234,05	68,78	631,58	1371,08	3092,99
	SECA n = 71	Media	13,54	0,95	0,16	1,30	14,56	222,36	3,79	2,98	0,61	47,60	65,75	803,04	9152,05	662,64	2573,49	9747,17	4355,81
		Desv. típ.	11,83	0,48	0,04	1,15	2,31	53,35	0,94	0,56	0,70	13,17	12,23	1160,74	1037,37	94,82	543,57	1761,19	3098,81
	ANUAL	Media	16,08	0,92	0,15	1,26	16,67	222,57	3,90	2,82	0,58	42,46	68,22	828,91	9302,19	678,04	2731,29	9758,03	4029,37
		Desv. típ.	13,68	0,52	0,04	1,06	6,72	57,73	1,05	0,64	0,64	12,85	13,16	937,30	1133,62	86,39	608,74	1601,78	3107,34
D	LLUVIAS n = 34	Media	6,73	0,48	0,13	0,42	62,76	189,84	3,95	3,58	0,70	40,21	66,35	737,65	9689,89	681,38	2845,68	10410,47	6582,88
		Desv. típ.	5,93	0,36	0,04	0,53	54,04	36,90	1,15	0,80	0,89	11,53	9,91	443,37	1239,65	74,31	411,99	852,24	2644,08
	SECA n = 92	Media	12,49	0,87	0,17	1,13	46,69	195,07	4,07	3,94	0,31	40,05	64,53	746,02	9700,51	651,51	2717,92	10207,35	4080,59
		Desv. típ.	10,24	0,60	0,05	1,14	52,57	42,11	1,38	0,78	0,35	12,31	10,91	888,17	1051,53	78,76	609,28	1571,92	2931,84
	ANUAL	Media	10,94	0,76	0,16	0,93	51,03	193,66	4,04	3,84	0,41	40,09	65,02	743,76	9697,64	659,57	2752,39	10262,16	4755,81
		Desv. típ.	9,60	0,57	0,05	1,05	53,24	40,69	1,32	0,80	0,57	12,06	10,64	791,33	1100,31	78,43	564,19	1413,78	3057,26

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; seca = noviembre 1996 - abril 1997

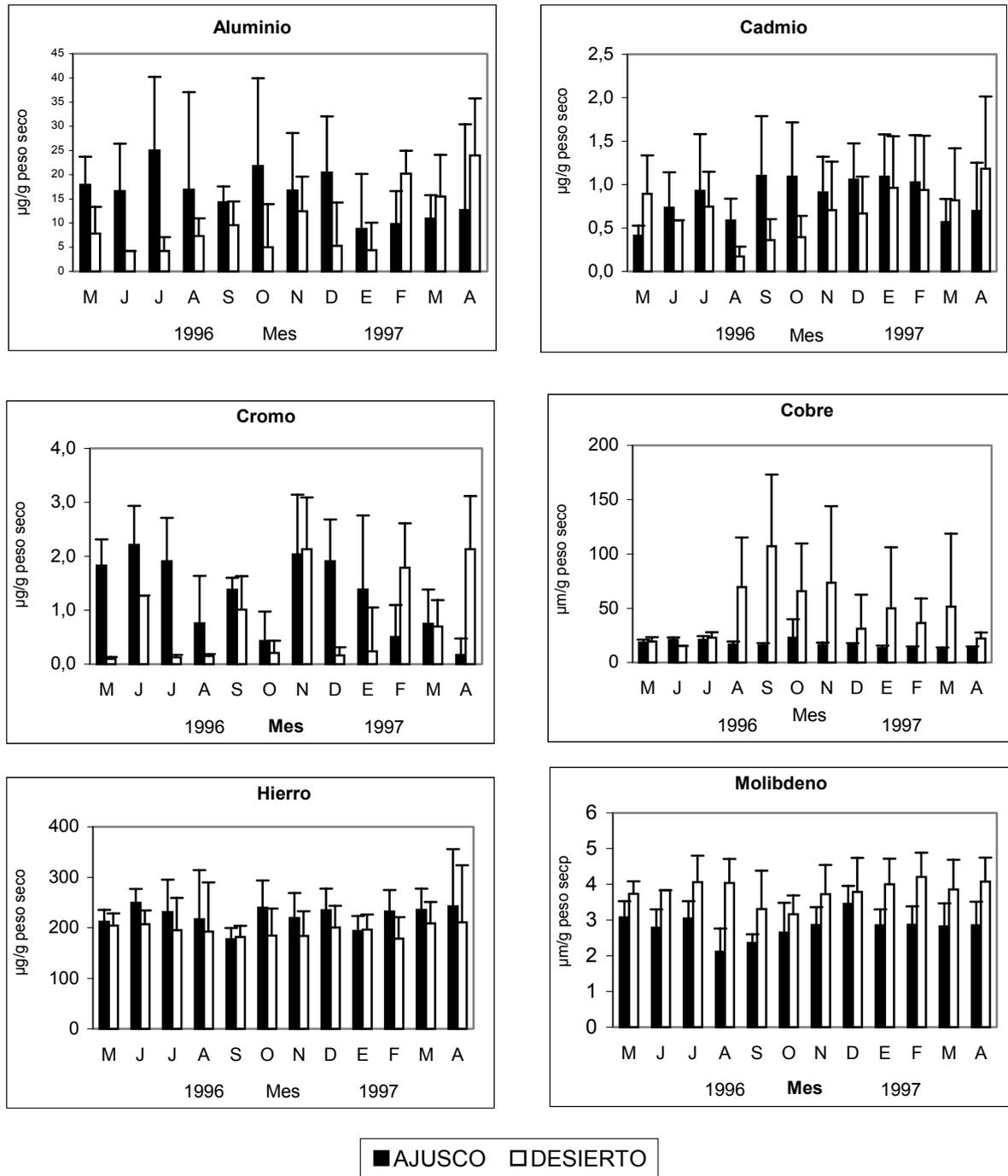


Figura 3. Distribución mensual de los elementos detectados en el hígado de *Peromyscus melanotis* ($X \pm DS$)

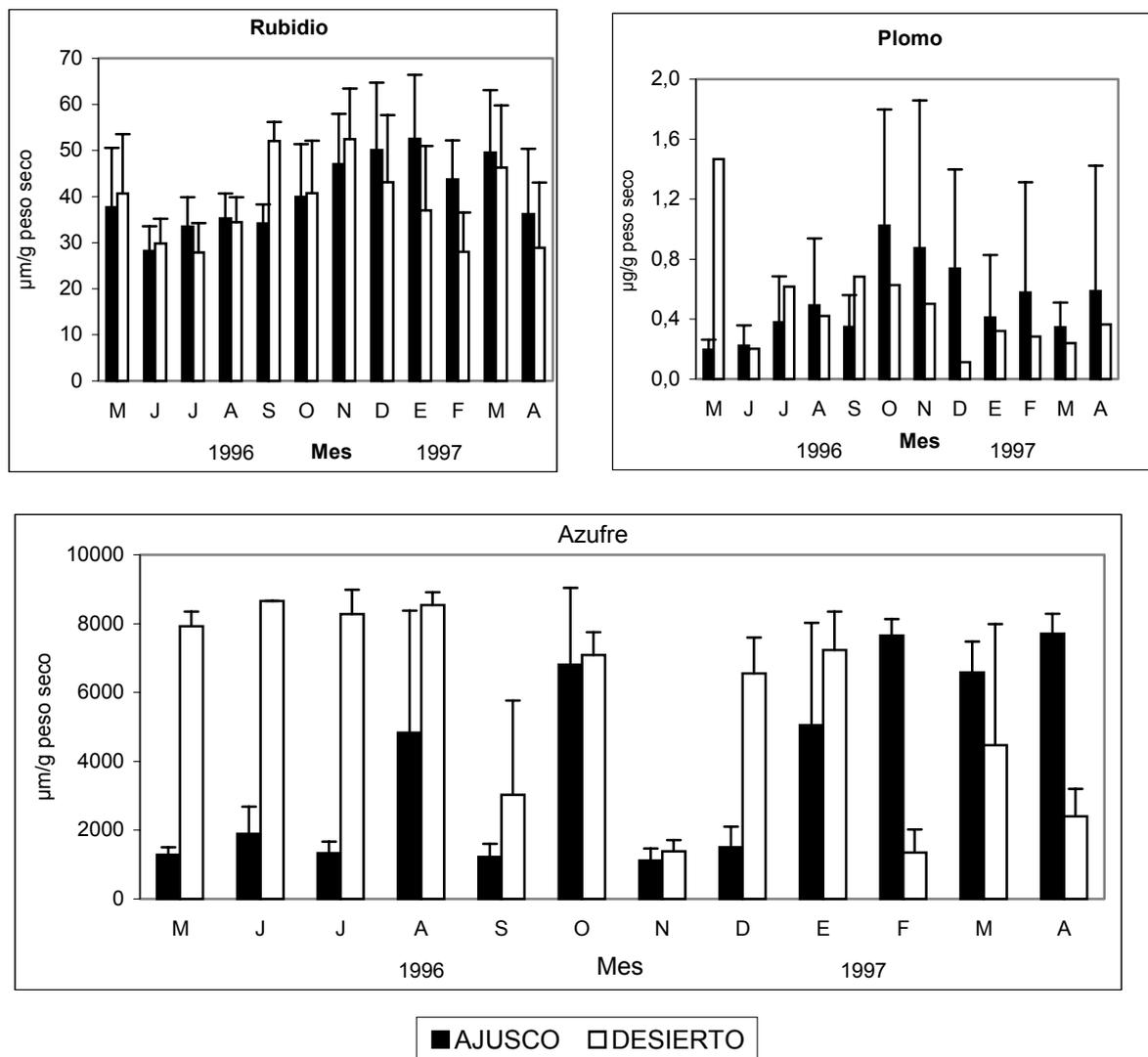


Figura 4. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el hígado de *Peromyscus melanotis* ($X \pm DS$).

Debido a interferencias ocasionadas por el nivel de cloruros sólo se detectó el Se en algunas de las muestras de hígado procesadas (tabla 32), observándose los valores inferiores durante la temporada de lluvias en los ejemplares del Ajusco, en cambio en la población del Desierto disminuyen ligeramente de lluvias a seca (tabla 30), no se encontraron diferencias significativas ($F = 2,042$, $p = 0,111$).

Tabla 30. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el hígado de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0.05$)

Elemento		Suma de cuadrados	gl	F	Sig
Al	Contraste	3565,06	3	8,98	0,0000
	Error	32428,82	245		
Cd	Contraste	5,46	3	6,36	0,0004
	Error	70,02	245		
Cr	Contraste	19,51	3	6,08	0,0005
	Error	262,22	245		
Cu	Contraste	80628,03	3	18,67	0,0000
	Error	352638,24	245		
Fe	Contraste	52700,39	3	7,02	0,0002
	Error	612913,72	245		
Mo	Contraste	71,75	3	47,90	0,0000
	Error	122,31	245		
Pb	Contraste	5,57	3	5,20	0,0017
	Error	87,45	245		
Rb	Contraste	4779,41	3	11,51	0,0000
	Error	33904,49	245		
S	Contraste	206184096,24	3	7,75	0,0001
	Error	2172995300,68	245		

Tabla 31. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el hígado de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^a
	(I)	(J)			
Fe ^b	SA	SD	27,29	7,90	0,0036
	LLA	LLD	-0,97	0,16	0,0000
Mo ^b	LLA	SD	-1,33	0,12	0,0000
	SA	SD	-0,96	0,11	0,0000
	LLD	SA	0,60	0,15	0,0004
	LLA	LLD	12,84	2,35	0,0000
Al ^c	LLD	SA	-6,81	1,73	0,0009
	LLD	SD	-5,77	1,47	0,0009
	LLA	LLD	0,40	0,10	0,0008
Cd ^c	LLD	SA	-0,47	0,08	0,0000
	LLD	SD	-0,39	0,09	0,0002
	LLA	LLD	0,80	0,16	0,0000
Cr ^c	LLD	SA	-0,89	0,16	0,0000
	LLD	SD	-0,71	0,15	0,0000
	LLA	LLD	-43,22	9,36	0,0003
Cu ^c	LLA	SD	-27,14	5,63	0,0000
	SA	SD	-32,13	5,49	0,0000
	LLD	SA	48,20	9,27	0,0001
Pb ^c	SA	SD	0,30	0,09	0,0071
Rb ^c	LLA	SA	-12,15	1,95	0,0000
	SA	SD	7,55	2,02	0,0015
S ^c	LLA	LLD	-2999,21	624,17	0,0000
	LLD	SA	2227,07	583,84	0,0016
	LLD	SD	2502,29	546,86	0,0001

^a La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^b DHS de Tukey ; ^c Games-Howell

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

Tabla 32. Valores promedio de selenio detectados en el hígado de *P. melanotis*

ZONA	EPOCA	N	Media	Desv. típ.
AJUSCO	LLUVIAS	27	0,759	0,544
	SECA	39	1,163	0,872
	ANUAL	66	0,998	0,776
DESIERTO	LLUVIAS	30	1,205	0,685
	SECA	47	1,052	0,797
	ANUAL	77	1,112	0,755

5.4.2.4 Pelo.

Se analizaron 145 muestras de pelo de individuos procedentes del Ajusco (83 machos y 62 hembras) y 133 muestras de pelo de ejemplares capturados en el Desierto (86 machos y 47 hembras)

Las concentraciones promedio estacional y anual de todos los elementos detectados se muestran en la tabla 33, la distribución mensual de algunos de los elementos se presentan en las figuras 5, 6 y 7.

Con excepción de los niveles de Cd, Pb, Sn y Zn, el resto de elementos detectados presentaron concentraciones anuales promedio más elevadas en los ejemplares del Desierto.

Las diferencias observadas entre zonas de estudio en *P. melanotis* resultaron significativas en los niveles de Al, Ba, Cd, Fe, Mn, Mo, Rb, Ti, K, Na, P y S (tabla 34).

Las diferencias en ambas épocas de captura se detectaron en los niveles de Ba ($X_A = 2,25$; $X_D = 3,17$), Mo ($X_A = 0,232$; $X_D = 0,301$), K ($X_A = 3229$; $X_D = 5269$), Na ($X_A = 678,34$; $X_D = 1291,20$) y P ($X_A = 243,68$; $X_D = 551,24$); en tanto que en el Cd ($X_{LLA} = 0,068$; $X_{LLD} = 0,038$) sólo ocurrieron durante el período de lluvias, mientras que los que manifestaron diferencias en la temporada seca fueron: el Al ($X_{SA} = 13,13$; $X_{SD} = 35,05$), el Fe ($X_{SA} = 34,75$; $X_{SD} = 49,34$), el Ti ($X_{SA} = 0,988$; $X_{SD} = 2,249$) y el S ($X_{SA} = 7916$; $X_{SD} = 9405$).

Se observaron diferencias significativas en las comparaciones entre *LLD - SA* y entre *LLA - SD* en el Mo, Na y el P; en cambio en el Ba, Cd, y Mn se presentaron únicamente entre *LLD - SA* y en el K, Fe, Ti y S se localizaron entre *LLA* y *SD*.

El comportamiento estacional se debió al descenso en los niveles del Rb, Na y K y al incremento del Mn en las dos poblaciones, en cambio el Al, el Fe, el S y Ti descendieron significativamente sólo en la población del Desierto (tablas 33, 34 y 35).

Tabla 33. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el pelo de *Peromyscus melanotis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Ti	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 75	Media	12,93	2,43	0,07	0,70	11,97	29,00	2,04	0,23	0,19	0,72	10,08	0,12	3,30	1,08	159,92	1981,12	2647,95	431,10	552,38	241,93	7696,80
		Desv. típ.	7,29	1,25	0,07	0,24	2,79	8,63	1,00	0,10	0,16	0,48	6,69	0,13	1,21	0,83	16,49	336,10	1488,64	81,28	238,89	104,27	2168,56
	SECA n = 70	Media	13,12	2,07	0,09	0,70	10,98	34,75	1,44	0,23	0,30	0,70	16,74	0,12	3,22	0,99	155,30	1900,77	3851,58	420,27	813,30	245,57	7916,31
		Desv. típ.	15,29	0,98	0,08	0,28	2,15	12,43	0,61	0,10	0,25	0,36	9,33	0,13	1,14	0,89	20,04	330,21	1759,88	107,73	385,52	107,96	2533,44
	ANUAL	Media	13,02	2,25	0,08	0,70	11,49	31,78	1,75	0,23	0,24	0,71	13,29	0,12	3,26	1,04	157,69	1942,33	3229,01	425,87	678,34	243,68	7802,77
		Desv. típ.	11,80	1,14	0,08	0,26	2,55	10,98	0,88	0,10	0,21	0,42	8,71	0,13	1,17	0,86	18,37	334,55	1728,33	94,79	343,02	105,71	2346,11
D	LLUVIAS n = 43	Media	18,06	3,77	0,04	0,98	12,61	33,40	2,34	0,31	0,29	0,53	14,08	0,12	3,98	1,35	155,12	2224,44	3886,93	487,67	1148,18	490,27	7132,29
		Desv. típ.	12,77	1,66	0,02	0,72	3,08	10,25	0,86	0,15	0,22	0,70	9,47	0,09	1,09	1,30	20,31	521,77	1586,88	92,92	573,11	333,65	2382,02
	SECA n = 90	Media	35,05	2,89	0,05	0,84	12,13	49,35	1,71	0,30	0,24	0,56	18,68	0,11	3,41	2,25	147,89	2191,50	5929,57	482,38	1359,54	580,38	9405,35
		Desv. típ.	31,83	1,40	0,04	0,62	2,95	18,45	0,65	0,08	0,22	0,30	9,16	0,11	1,10	1,78	16,41	412,43	2685,26	81,59	596,79	302,80	2891,08
	ANUAL	Media	29,56	3,17	0,05	0,88	12,28	44,19	1,91	0,30	0,25	0,55	17,19	0,11	3,59	1,96	150,23	2202,15	5269,17	484,09	1291,20	551,25	8670,45
		Desv. típ.	28,26	1,54	0,04	0,66	2,99	17,86	0,78	0,11	0,22	0,47	9,47	0,11	1,12	1,69	18,01	448,94	2565,68	85,10	595,39	314,69	2929,14

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; seca = noviembre 1996 - abril 1997

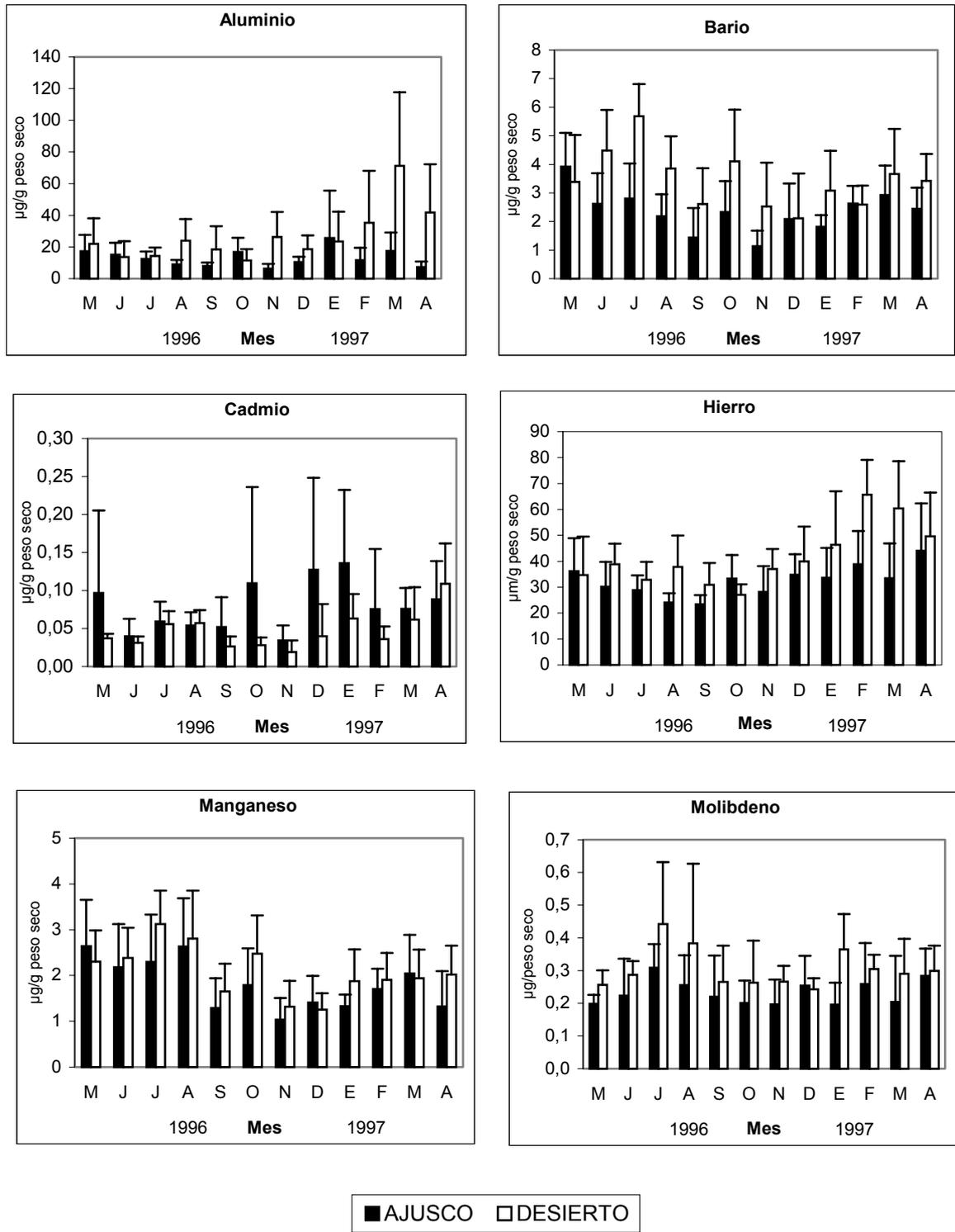


Figura 5. Distribución mensual de los elementos detectados en el pelo de *Peromyscus melanotis* ($X \pm DS$)

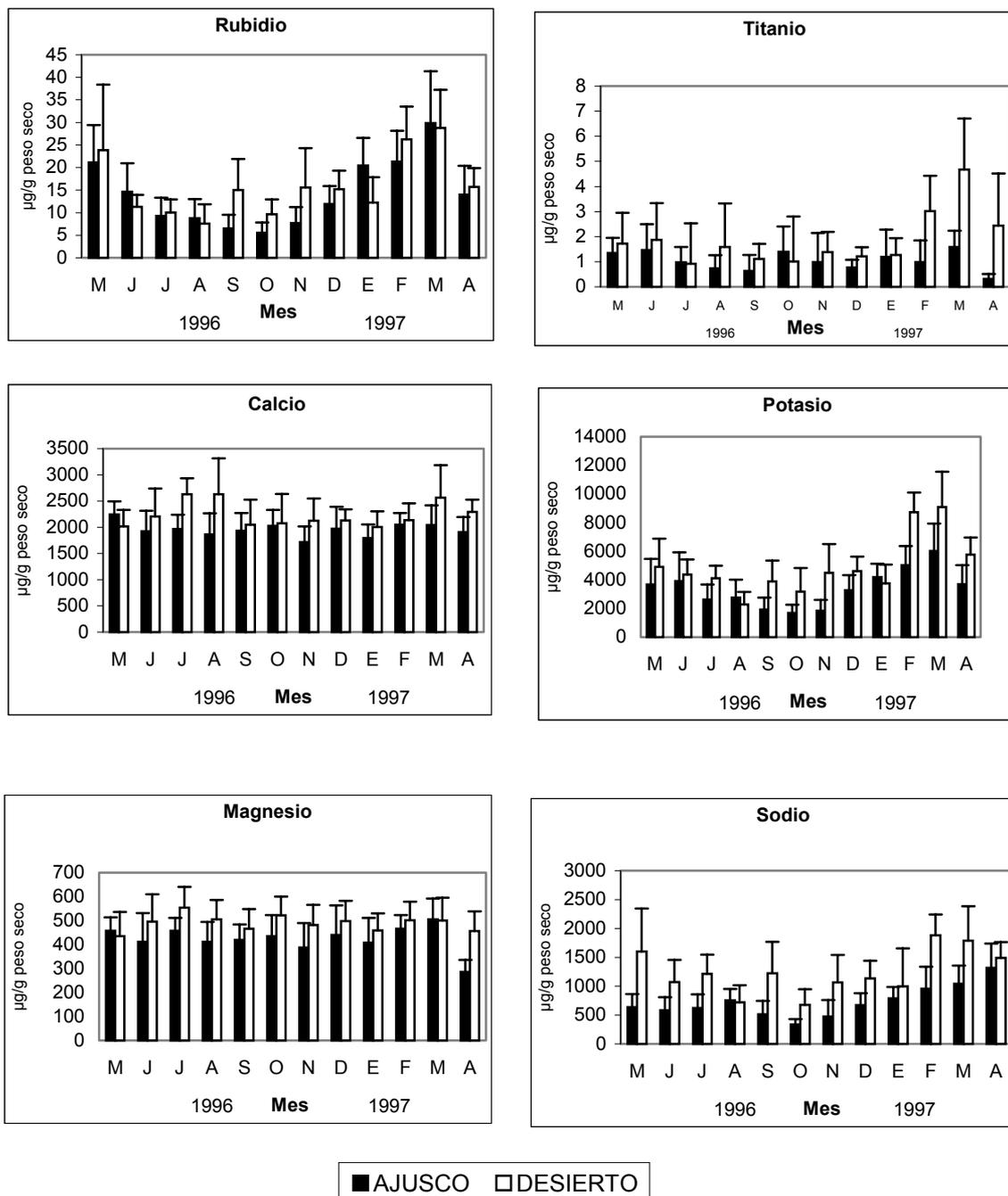


Figura 6. Distribución mensual de los elementos detectados en el pelo de *Peromyscus melanotis* ($X \pm ds$)

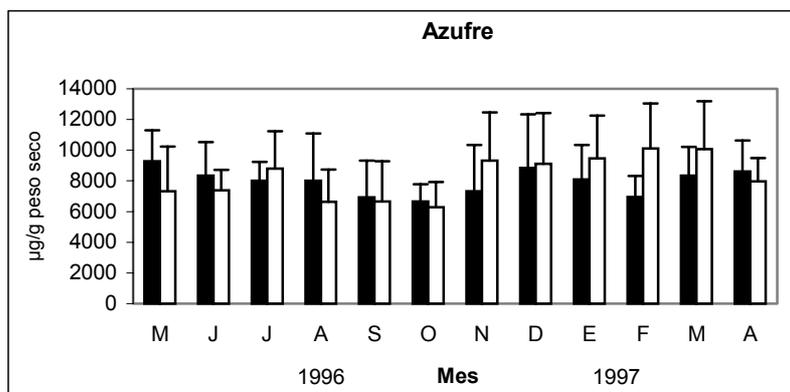
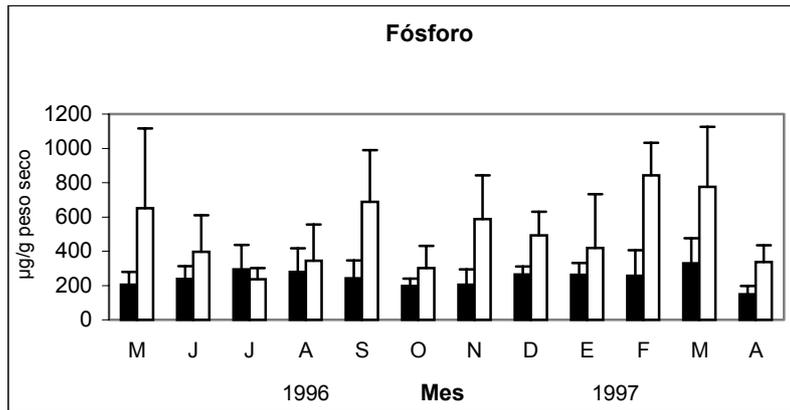


Figura 7. Distribución mensual del contenido de fósforo y azufre en el pelo de *Peromyscus melanotis*

Tabla 34. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el pelo de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0.05$)

Elemento ^a		Suma de cuadrados	gl	F	Sig
Al	Contraste	7,79	3	32,38	0,0000
	Error	21,97	274		
Ba	Contraste	1,05	3	15,12	0,0000
	Error	6,35	274		
Cd	Contraste	0,01	3	7,92	0,0000
	Error	0,15	274		
Fe	Contraste	2,04	3	34,39	0,0000
	Error	5,41	274		
Mn	Contraste	0,56	3	14,12	0,0000
	Error	3,60	274		
Mo	Contraste	0,04	3	11,43	0,0000
	Error	0,31	274		
Rb	Contraste	3,22	3	21,68	0,0000
	Error	13,58	274		
Ti	Contraste	1,90	3	18,37	0,0000
	Error	9,43	274		
Ca	Contraste	0,20	3	10,04	0,0000
	Error	1,84	274		
K	Contraste	5,41	3	40,46	0,0000
	Error	12,20	274		
Mg	Contraste	0,26	3	10,42	0,0000
	Error	2,31	274		
Na	Contraste	6,63	3	48,16	0,0000
	Error	12,58	274		
P	Contraste	7,47	3	57,24	0,0000
	Error	11,92	274		
S	Contraste	0,58	3	9,66	0,0000
	Error	5,52	274		

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

Tabla 35. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el pelo de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^b
	(I)	(J)			
Ba ^c	LLA	LLD	-0,145	0,03	0,0000
	SA	SD	-0,097	0,02	0,0004
	LLD	SA	0,186	0,03	0,0000
Mo ^c	LLA	LLD	-0,024	0,01	0,0016
	LLA	SD	-0,022	0,01	0,0002
	SA	SD	-0,024	0,01	0,0001
Rb ^c	LLD	SA	0,026	0,01	0,0006
	LLA	SA	-0,205	0,04	0,0000
	LLD	SD	-0,137	0,04	0,0056
K ^c	LLA	LLD	-0,184	0,04	0,0000
	LLA	SA	-0,166	0,04	0,0000
	LLA	SD	-0,362	0,03	0,0000
Na ^c	SA	SD	-0,196	0,03	0,0000
	LLD	SD	-0,178	0,04	0,0000
	LLA	LLD	-0,303	0,04	0,0000
S ^c	LLA	SA	-0,150	0,04	0,0002
	LLA	SD	-0,383	0,03	0,0000
	SA	SD	-0,234	0,03	0,0000
Al ^d	LLD	SA	0,154	0,04	0,0014
	LLA	SD	-0,086	0,02	0,0008
	SA	SD	-0,082	0,02	0,0021
Cd ^d	LLD	SD	-0,124	0,03	0,0000
	LLA	SD	-0,344	0,04	0,0000
	SA	SD	-0,400	0,05	0,0000
Fe ^d	LLD	SD	-0,259	0,06	0,0002
	LLA	LLD	0,012	0,00	0,0030
	LLD	SA	-0,020	0,00	0,0000
Mn ^d	LLA	SD	-0,212	0,02	0,0000
	SA	SD	-0,147	0,02	0,0000
	LLD	SD	-0,155	0,02	0,0000
Ti ^d	LLA	SA	0,086	0,02	0,0003
	LLD	SA	0,134	0,02	0,0000
	LLD	SD	0,088	0,02	0,0002
P ^d	LLA	SD	-0,171	0,03	0,0000
	SA	SD	-0,194	0,03	0,0000
	LLD	SD	-0,145	0,04	0,0029
	LLA	LLD	-0,251	0,05	0,0000
	LLA	SD	-0,354	0,03	0,0000
	SA	SD	-0,355	0,03	0,0000
	LLD	SA	0,252	0,05	0,0000

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^c DHS de Tukey ; ^d Games-Howell

5.4.2.5 Hueso.

Se analizaron 116 muestras de hueso de organismos procedentes del Ajusco (57 machos y 59 hembras) y 120 muestras de individuos capturados en el Desierto (45 machos y 75 hembras). Las concentraciones promedio anuales y estacionales de los elementos detectados se muestran en la tabla 36 y el comportamiento mensual de algunos de los elementos en la figura 8.

Se detectaron diferencias significativas entre poblaciones en el Al ($X_A = 16,96$; $X_D = 34,98$), Ba ($X_A = 40,45$; $X_D = 53,71$), Rb ($X_A = 18,80$; $X_D = 17,66$), Mn ($X_A = 1,5$; $X_D = 1,95$) y Pb ($X_A = 3,15$; $X_D = 2,4$), tablas 37 y 38.

El carácter estacional ascendente de lluvias a seca mostrado por el Pb fue significativo en el Desierto con diferencias entre zonas de estudio en las dos épocas de captura y entre el período de lluvias del Desierto y la estación seca del Ajusco (tabla 37).

Las concentraciones del Mn variaron en sentido inverso entre épocas incrementándose ligeramente en el Ajusco y descendiendo significativamente en el Desierto dándose el siguiente gradiente de concentraciones **LLA-SA-SD-LLD** resultando significativos los valores extremos localizados en el hueso de *P. melanotis* en la temporada de lluvias (tabla 38).

El comportamiento estacional inverso del Ba, descendiendo en el Ajusco y ascendiendo en el Desierto conforme avanzó el estudio no fue significativo, pero fue suficiente para mostrar diferencias entre los niveles extremos detectados en el período de lluvias y entre **LLA** y **SD** y entre **LLD** y **SA**.

Las diferencias observadas en el Al se debieron al comportamiento estacional significativo mostrado por este elemento en el Ajusco y entre el período de lluvias del Ajusco y la temporada seca del Desierto.

Los niveles de Rb ($X_{LLA} = 15,26$ $\mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 22,21$ $\mu\text{g/g}$; ($X_{LLD} = 18,47$ $\mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 17,17$ $\mu\text{g/g}$) manifestaron un claro comportamiento estacional en el Ajusco incrementando de lluvias a seca en tanto que en el Desierto descienden ligeramente; las diferencias entre poblaciones se observan en la temporada seca y entre **LLD** y **SA** (tablas 37 y 38).

Tabla 36. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el hueso de *Peromyscus melanotis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Ba	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Si	Sn	Sr	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 57	Media	7,74	38,67	2,56	136,84	1,25	0,16	2,81	15,27	11,90	0,63	104,88	192,79	171461,87	6628,24	3543,85	4407,40	90829,57	5000,59
		Desv. ttp.	14,22	17,71	1,13	41,13	0,60	0,11	1,50	7,25	10,54	0,61	31,18	44,23	39548,87	1809,51	727,33	956,06	21618,98	1168,45
	SECA n = 59	Media	25,87	42,19	3,21	156,87	1,75	0,16	3,48	22,22	21,41	0,42	109,90	183,80	166721,69	6964,59	3326,88	4295,11	84155,10	5105,71
		Desv. ttp.	49,94	17,23	1,44	47,96	1,27	0,11	2,14	7,89	17,87	0,53	36,06	49,25	41817,85	1898,17	698,15	956,73	22984,70	1034,13
	ANUAL	Media	16,96	40,46	2,89	147,03	1,50	0,16	3,15	18,80	16,45	0,52	107,43	188,22	169050,92	6799,32	3433,49	4350,29	87434,80	5054,05
		Desv. ttp.	37,94	17,48	1,33	45,66	1,03	0,11	1,87	8,32	15,20	0,58	33,70	46,87	40611,44	1854,77	717,84	953,90	22478,21	1098,63
D	LLUVIAS n = 45	Media	12,36	59,20	3,38	142,78	2,25	0,16	1,53	18,47	19,07	1,16	123,39	195,48	164259,34	6704,57	3516,17	4177,43	86856,10	4931,13
		Desv. ttp.	24,53	16,95	1,43	36,40	1,86	0,09	0,85	9,80	15,21	2,15	18,69	45,12	26555,35	1287,39	515,17	644,10	16850,16	663,48
	SECA n = 75	Media	48,56	50,42	2,82	154,20	1,77	0,21	2,92	17,18	22,73	0,68	105,77	169,23	155380,34	6722,77	3320,16	4085,49	82073,58	4821,29
		Desv. ttp.	79,23	19,92	1,30	58,70	1,35	0,15	2,95	7,61	18,56	1,34	35,61	61,20	50986,66	2384,87	1064,15	1347,77	27293,62	1541,00
	ANUAL	Media	34,99	53,71	3,03	149,92	1,95	0,19	2,40	17,66	21,08	0,86	112,38	179,07	158709,97	6715,95	3393,66	4119,97	83867,02	4862,48
		Desv. ttp.	66,60	19,27	1,37	51,61	1,57	0,13	2,48	8,48	17,15	1,70	31,48	56,97	43542,59	2037,09	900,78	1133,57	23950,54	1281,53

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; seca = noviembre 1996 - abril 1997

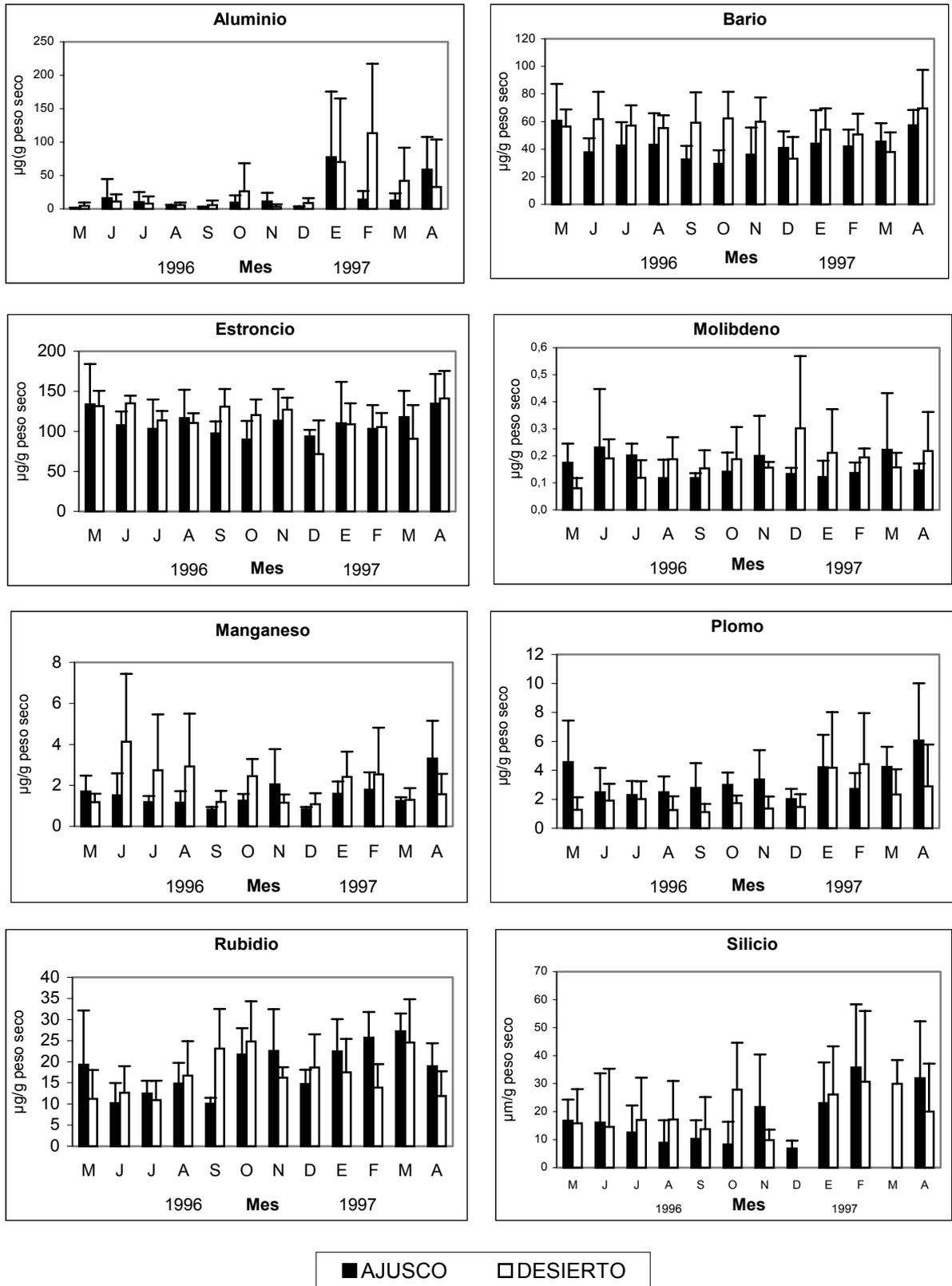


Figura 8. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el hueso de *Peromyscus melanotis* ($X \pm SD$)

Tabla 37. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el hueso de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0,05$)

Elemento		Suma de cuadrados	gl	F	Sig
Ba	Contraste	1,23	3	11,49	0,0000
	Error	8,31	232		
Rb	Contraste	0,87	3	8,04	0,0000
	Error	8,39	232		
Al	Contraste	6,76	3	6,34	0,0004
	Error	82,44	232		
Mn	Contraste	0,39	3	5,50	0,0011
	Error	5,55	232		
Pb	Contraste	1,42	3	11,05	0,0000
	Error	9,92	232		

Tabla 38. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el hueso de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Sig. ^b
	(I)	(J)			
Ba ^c	LLA	LLD	-0,20	0,0377	0,0000
	LLA	SD	-0,12	0,0333	0,0028
	LLD	SA	0,16	0,0375	0,0001
Rb ^c	LLA	SA	-0,17	0,0353	0,0000
	SA	SD	0,12	0,0331	0,0021
	LLD	SA	-0,10	0,0376	0,0339
Al ^d	LLA	SA	-0,31	0,0991	0,0136
	LLA	SD	-0,44	0,1035	0,0002
Mn ^d	LLA	SA	-0,07	0,0229	0,0141
	LLA	LLD	-0,12	0,0315	0,0013
Pb ^d	LLA	LLD	0,17	0,0291	0,0000
	SA	SD	0,11	0,0403	0,0324
	LLD	SA	-0,23	0,0321	0,0000
	LLD	SD	-0,12	0,0380	0,0155

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^c DHS de Tukey ; ^d Games-Howell

5.4.2.6 Grasa.

Se analizaron 151 muestras de grasa de ejemplares procedentes del Ajusto (84 machos y 67 hembras) y 141 muestras de individuos capturados en el Desierto (84 machos y 67 hembras), sólo se presentan los niveles promedio de los elementos detectados en ICP-Masas (tabla 39, figura 9).

Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Al, Cr, Cu Mn y Pb (tablas 40 y 41)

El comportamiento estacional significativo del Al ($X_{LLD} = 57,30 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 22,73 \mu\text{g/g}$), el Cu ($X_{LLD} = 13,62 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 8,85 \mu\text{g/g}$) y el Pb ($X_{LLD} = 1,58 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 0,607 \mu\text{g/g}$), sólo ocurrió en el Desierto.

Las diferencias entre las localidades de estudio fueron producto de los valores obtenidos en el Al y el Cr en la época de lluvias, y al igual que el Cu y el Mn, presentaron diferencias entre **LLD** y **SA**, mientras que entre **LLA** y **SD** ocurrieron exclusivamente en el Cr (tablas 40 y 41).

Tabla 39. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en la grasa de *Peromyscus melanotis* los datos se expresan en $\mu\text{g/g}$ peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Cd	Cr	Cu	Mn	Mo	Pb	Rb	Sn
A	LLUVIAS n = 77	Media	32,39	0,12	0,83	11,53	1,86	0,33	0,82	21,51	0,87
		Desv. típ.	36,57	0,12	0,96	10,99	1,42	0,18	0,78	9,72	0,91
	SECA n = 74	Media	23,36	0,09	1,42	9,08	1,32	0,36	0,87	24,57	0,77
		Desv. típ.	19,99	0,07	1,83	6,69	0,77	0,35	0,83	12,18	1,04
	ANUAL	Media	27,96	0,10	1,12	10,33	1,59	0,34	0,85	23,01	0,82
		Desv. típ.	29,87	0,10	1,48	9,19	1,18	0,28	0,80	11,07	0,98
D	LLUVIAS n = 52	Media	57,31	0,16	2,65	13,63	2,20	0,47	1,58	26,65	0,83
		Desv. típ.	48,47	0,27	2,19	6,83	1,30	0,29	1,58	13,18	1,01
	SECA n = 89	Media	22,74	0,12	1,53	8,85	1,66	0,35	0,61	20,93	0,56
		Desv. típ.	25,40	0,08	1,85	4,84	1,13	0,16	0,80	11,54	0,72
	ANUAL	Media	35,49	0,13	1,94	10,61	1,86	0,39	0,97	23,04	0,66
		Desv. típ.	39,26	0,18	2,05	6,09	1,22	0,22	1,24	12,43	0,85

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; seca = noviembre 1996 - abril 1997

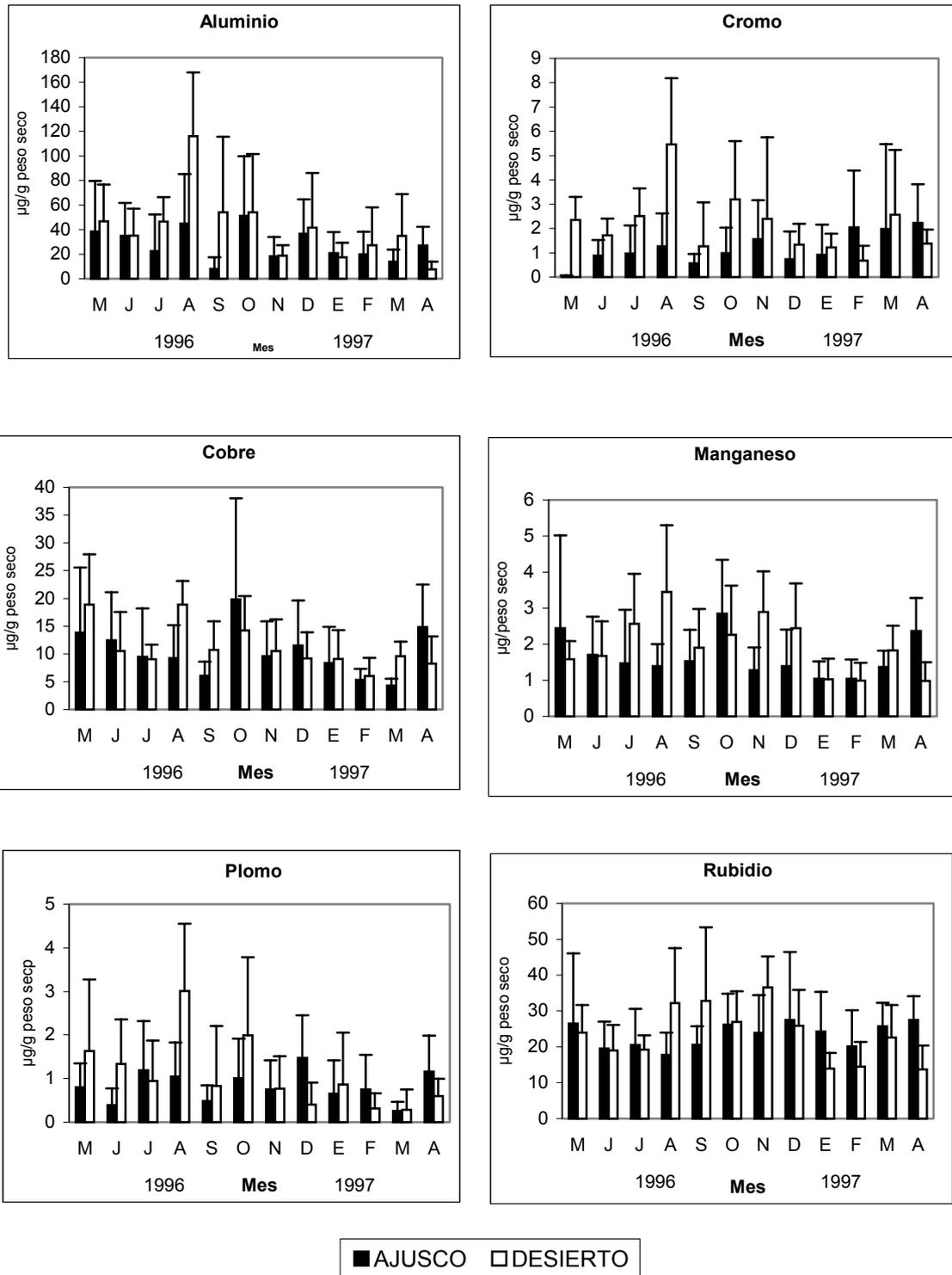


Figura 9. Distribución mensual de elementos detectados en la grasa corporal de *Peromyscus melanotis* ($X \pm DS$)

Tabla 40. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el tejido graso de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0,05$)

Elemento ^a		Suma de cuadrados	gl	F	Sig. ^b
Al	Contraste	6,02	3	10,59	0,0000
	Error	54,58	288		
Cr	Contraste	2,31	3	15,88	0,0000
	Error	13,98	288		
Cu	Contraste	1,28	3	7,59	0,0001
	Error	16,23	288		
Mn	Contraste	0,53	3	6,75	0,0002
	Error	7,57	288		
Pb	Contraste	0,92	3	9,74	0,0000
	Error	9,12	288		

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

Tabla 41. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el tejido graso de *Peromyscus melanotis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I, J)	Error típ.	Sig. ^b
	(I)	(J)			
Mn ^c	LLD	SA	0,13	0,0293	0,0001
	LLA	LLD	-0,33	0,0835	0,0008
Al ^d	LLD	SA	0,35	0,0719	0,0000
	LLD	SD	0,41	0,0733	0,0000
Cr ^d	LLA	LLD	-0,27	0,0408	0,0000
	LLA	SD	-0,12	0,0300	0,0005
	LLD	SA	0,19	0,0455	0,0005
Cu ^d	LLD	SA	0,19	0,0409	0,0000
	LLD	SD	0,16	0,0338	0,0000
Pb ^d	LLD	SD	0,17	0,0370	0,0001

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^c DHS de Tukey ; ^d Games-Howell

5.4.2.7 DISCUSIÓN.

Debido a su preferencia por áreas con escasa cobertura vegetal (Hooper, 1968), *P. melanotis* sería un buen bioindicador de la contaminación atmosférica; los niveles de metales detectados en el pulmón no fueron elevados y con escasa diferencia entre las dos localidades, que sugiere un efecto similar de la deposición atmosférica. Los niveles detectados en menor escala que los obtenidos en *M. mexicanus*, posiblemente sean debido a los hábitos nocturnos de *P. melanotis*, influyendo en las concentraciones de Pb, Cr y Mn.

Los niveles de Pb en el pulmón de *P. melanotis* se pueden considerar como leves si tomamos en cuenta que en trabajos donde se utilizan especies de pequeños mamíferos como bioindicadores de contaminación ambiental se reportan concentraciones más elevadas (Talmage & Waltom, 1991; Górriz, 1995;), posiblemente debido a la composición de la fracción respirable del material particulado (PM_{10}).

Los niveles promedio de Pb presentes en las PM_{10} de la Ciudad de México reportados por diversos autores durante la realización del estudio varían desde no detectado hasta $1,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1996 y un máximo de $0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1997, dichos valores dependen tanto de la localización geográfica de los puntos de muestreo (norte, sur, este y oeste) en la Ciudad de México como de la temporada (seca o lluviosa) (Chow *et al.*, 2002; Mugica *et al.*, 2002; S.M.A., 2002), además de la variación diaria en los mecanismos de dispersión lo que explica los niveles reportados en esta especie así como la variabilidad observada.

Mugica *et al.* (2002) reportan valores más elevados de Cr, Mn, Cu y Ti que de Pb en la estación de monitoreo atmosférico de material particulado (Pedregal) cercana a la zona de trabajo durante 1996 y 1997, aun cuando en el resto de estaciones esta relación es variable, lo que explica en parte las concentraciones obtenidas en el pulmón de *P. melanotis* de estos elementos con excepción del Ti (no detectado) en tanto que Chow *et al.* (2002) encuentran en el periodo comprendido entre el 2 de marzo y 19 de marzo de (1997), niveles superiores de Fe, Al y Si en comparación al resto de metales para la misma zona.

Si bien las estaciones a las que hacemos referencia no se encuentran en los mismos sitios de captura y que la dirección de los vientos es del norte-noroeste hacia el

sur suroeste (S.M.A. 1999), si dan una idea tanto de los niveles como de la variabilidad a la que pueden estar expuestas las poblaciones estudiadas.

Mugica *et al.* (2002) no encuentran una reducción en las concentraciones de metales con la lluvia con excepción del Fe y del Ti, razón por la cual probablemente no se obtuvieron comportamientos estacionales de los elementos detectados en el pulmón relacionados directamente con la contaminación atmosférica.

La presencia más elevada de Cr y Mn en comparación con los valores de Pb puede ser producto tanto de los procesos metabólicos de los que forman parte como de la influencia del ambiente en el que se encuentran, el Mn el Zn y el Cu son cofactores de las isoformas de la enzima antioxidante superóxido dismutasa (Takeuchi *et al.* 2000) y el Cr es un componente activo del “factor de tolerancia a la glucosa” (Nielsen, 1998).

Hay que tener en cuenta que la influencia de la deposición atmosférica sobre el aparato respiratorio no es estática, el Pb por ejemplo, se moviliza hacia el resto de tejidos y órganos internos y se acumula principalmente en hueso, hígado y riñón (Skerfving *et al.*, 1998); en ratones de laboratorio Fortoul *et al.* (1999) reportan su movilización del pulmón a los 10 días de la última exposición con acetato de Pb.

Considerando que en los modelos experimentales los animales son sometidos a concentraciones mayores que la que ocurren en el ambiente, es factible pensar que en ingestiones crónicas la remoción es constante y depende en parte de los niveles inspirados, a pesar de lo cual no se aprecia una fuerte acumulación en el resto de órganos, reflejo tanto de una ingestión constante si tomamos en cuenta los niveles presentes en el hueso y pelo, así como de una función excretora adecuada, ya que el 76 % de Pb ingerido se excreta por vía urinaria y cerca de un 8% se elimina a través de la pérdida de pelo, sudor, exfoliación de la piel (EHC003, 1997).

Los niveles de Pb detectados en los órganos procesados de *P. melanotis* y el comportamiento estacional significativo observado en el hueso y la grasa subcutánea de los ejemplares del Desierto sugiere diferentes procesos de absorción en relación a lo observado en *M. mexicanus* producto posiblemente de los fenómenos de dispersión de contaminantes, la influencia de fuentes locales y su distribución en un determinado microhábitat.

Si bien los niveles de Pb obtenidos en el pulmón están aparentemente de acuerdo con lo reportado por Chow *et al.* (2002), Mugica *et al.* (2002) y S.M.A. (2002) se debe de tener en cuenta que esta especie es nocturna, momento en el que las generación de contaminantes se reduce, por otra parte los roedores pueden presentar una

tasa de deposición de material particulado en los alvéolos pulmonares menor en comparación a los humanos (Oberdörster, 2000), por lo que la extrapolación a otras especies incluido el hombre se debe hacer de forma cautelosa.

Si bien la presencia de Ni no pudo establecerse en todos los órganos analizados debido a las concentraciones existentes y al límite de cuantificación del equipo su presencia en mayor proporción pero escasa en los ejemplares del Desierto podría tener cierta relación con el material particulado, Bonner *et al.* (1998) y Mugica *et al.* (2002) reportan la presencia de Ni en las muestras de PM_{10} colectadas con valores máximos para la zona de $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones de Rb en los órganos de *P. melanotis* sin ser tan elevadas como las detectadas en *M. mexicanus* se encuentran en mayor proporción que las reportadas por Sánchez-Chardi & Nadal (2003 y comunicación personal) en *Crocidura russula* y en *Apodemus sylvaticus* capturadas tanto en sitios de referencia como afectadas por la contaminación generada en una central térmica y en vertederos, así mismo el comportamiento encontrado en las muestras analizado no es similar al detectado en *M. mexicanus*

La menor concentración de Rb en comparación con *M. mexicanus* puede ser el resultado de las diferentes formas de explotación del recurso alimenticio, con una menor ingesta de herbáceas y un mayor consumo de semillas y artrópodos; en pastos se han detectado concentraciones de Rb de $130 \mu\text{g}/\text{g}$ p.s. y en tanto que en cereales de $4 \mu\text{g}/\text{g}$ p.s. (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Las diferentes formas de explotación del hábitat explican su vez los mayores niveles de Zn y menores concentraciones de Ba y Sr detectados en el hueso de *P. melanotis* en comparación con *M. mexicanus*, que probablemente ocasiona patrones diferentes de formación de ósea, ya que el Sr incrementa su formación y reduce su reabsorción (Marie *et al.* 2001).

Los niveles de Mo obtenidos en mayor proporción en el Desierto están en consonancia con la suposición de una mayor acidez en los suelos del Ajusto, ya que la disponibilidad de este microelemento es mayor a un pH elevado (Bibak & Borggardm 1994). En suelos donde se desarrolla *Picea abies*, se ha detectado que el Mo intercambiable se encuentra correlacionado positivamente con el pH del suelo (Lang & Kaupenjohann, 1999).

La zona del Desierto presenta elevadas de tasas de deposición de nitrógeno y S con gran disponibilidad de nitrógeno y pérdida de NO_3^- durante la temporada de lluvias

(Fenn *et al.*, 1999), siendo necesario el Mo como catalizador de la reducción de nitratos ya que forma parte de la enzima nitrato-reductasa (Menguel & Kirkby, 1987), por un lado un exceso de NO_3^- incrementa su demanda y por otro la deposiciones ácida y de S disminuyen la disponibilidad del Mo (Lang & Kaupenjohann, 1999).

Sin embargo diversos factores influyen en las concentraciones obtenidas de Mo y pueden depender de los mecanismos de respuesta de la vegetación ante una deficiencia nutricional y el metabolismo de *P. melanotis*.

La presencia en mayor grado de Mo en los organismos del Desierto indica su disponibilidad, si bien el análisis de suelo realizado por Gaso *et al.* (2000) reportan concentraciones de 1,16 mg/Kg p.s en el Desierto y 1.06 mg/Kg p.s. en el Ajusco por lo que es necesario realizar estudios de la distribución de este micronutriente en la vegetación de la zona ya que algunas especies vegetales modifican su distribución para compensar estas deficiencias, dependiendo del estatus del Mo y la fase de crecimiento en el que se encuentre (Jongruaysup *et al.*, 1997).

La movilidad y pérdida de NO_3 durante la temporada de lluvias detectada por Fenn *et al.* (1999) en el Desierto puede conducir a un desbalance nutricional de la vegetación, dada la cercanía con la ciudad y la influencia de la contaminación; mecanismos similares pueden estar ocurriendo en el Ajusco en diferente proporción, ya que en la práctica el contenido de nutrientes del suelo en solución puede cambiar drásticamente en un periodo corto de tiempo (Mohren & Ilvesniemi, 1995), dependiendo de las condiciones microclimáticas, características del suelo, tipo de vegetación entre otros factores.

Las concentración más elevada de Cu en el hígado sin un claro comportamiento estacional puede ser indicativo de problemas en su asimilación ya que los niveles detectados en el resto de órganos no manifiesta modificaciones importantes en sus niveles, por el contrario, los obtenidos en el riñón son menores, siendo posible que su retención esté relacionada con la presencia de parásitos en el hígado, y que su acumulación sea la causa o la consecuencia de la infección de *Toxoplasma gondii*; el efecto del Cu sobre el sistema inmune se ha reportado en diversas especie (Jones & Suttle, 1983; Jones, 1984; Prohaska & Lukasewycs, 1990; Scaletti *et al.*, 2003) .

Es posible que la presencia de una mayor concentración de Cu previo al inicio de los casos detectados de toxoplasmosis en el Desierto incremente la resistencia inicial al huésped disminuyendo las lesiones tisulares debidas a la invasión inicial del parásito, dando lugar a los bradizoítos de desarrollo más lento característicos de infecciones

crónicas, como consecuencia del incremento en la inmunidad del hospedador (Markell, 1990), es decir reducir la intensidad de los síntomas no el número de infectados.

En vacas se ha encontrado cierto efecto protector del Cu en los procesos infecciosos ocasionados en la mastitis por *Escherichia coli*, disminuyendo los síntomas sin disminuir la duración de la enfermedad (Scaletti *et al.*, 2003), lo que podría explicar la detección del parásito en primera instancia en los ejemplares del Desierto debido a una mejor respuesta inmune, aunque si observamos la distribución mensual del Cu en hígado y el porcentaje de detección de toxoplasmosis (figura 9a) no se observa una relación directa con la presencia de este parásito.

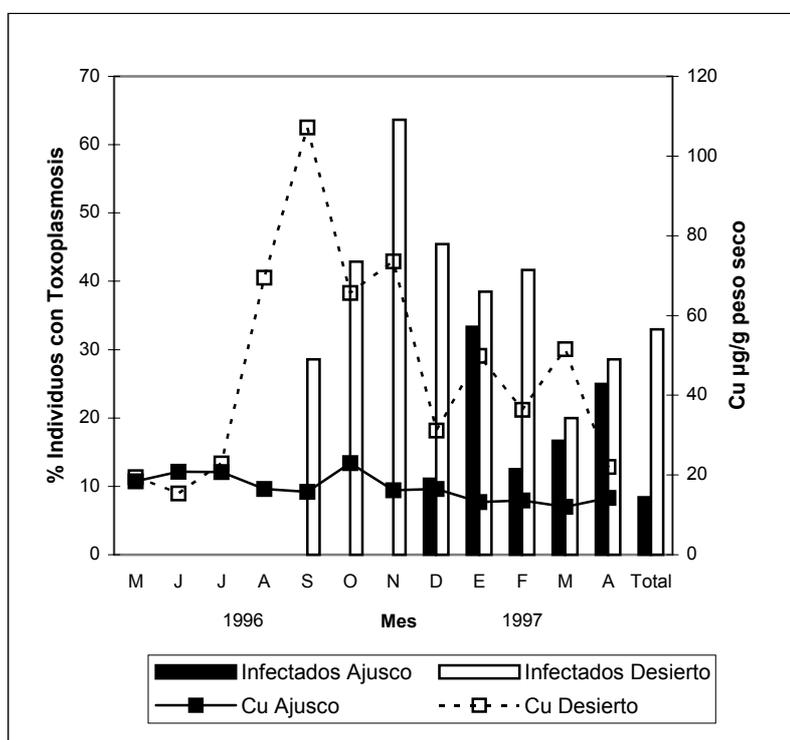


Figura. 9a. Distribución mensual de la concentración de cobre en el hígado de *Peromyscus melanotis* en relación al % de individuos que presentaron toxoplasmosis.

Lo anterior cae dentro de un contexto especulativo ya que para la correcta valoración del efecto benéfico o no del Cu en *P. melanotis* se requiere la adecuada detección del parásito, que no se realizó por no ser parte de los objetivos en este estudio, una tinción histológica con rodamina y rubeánico para detectar el Cu depositado en lisosomas en fases agudas de acumulación de Cu, así como la determinación de ceruplasmina y Cu sérico, a lo largo del desarrollo de la enfermedad.

Sin embargo con independencia del mecanismo por el cual esta especie acumule tal cantidad de Cu en el hígado, las diferencias tan acusadas entre poblaciones hacen suponer una mayor disponibilidad de este elemento en el Desierto.

El aumento de materia orgánica en el suelo producto de la influencia de los contaminantes así como de la acidez del agua de lluvia, acompañada de un incremento en la población de insectos y moluscos terrestres disponibles para *P. melanotis* ocasionaría una mayor ingestión de Cu en el hígado.

El Cu y el Mo están íntimamente relacionados, en rumiantes se han detectado deficiencia de Cu debida a una excesiva asimilación de Mo (Frank, 2000a y 200b) o bien un exceso de Cu produce deficiencia en la asimilación del Mo sin embargo en presencia de S inorgánico es imposible definir la toxicidad de uno y la deficiencia de otro (NRC, 1980).

Los datos no muestran una interferencia directa entre el Mo y el Cu especialmente porque los valores obtenidos de Mo no presentan variaciones importantes a nivel hepático en contraste con el Cu, sin embargo la interacción entre Cu, Mo y S a nivel gastrointestinal puede disminuir la asimilación de Mo de un 37 % a un 4 % (NRC, 1980), posiblemente debido a que el S inhibe la zona de membrana responsable del transporte del Mo en el intestino, incrementando la reabsorción en los túbulos renales (Dick, 1956). Ya que el aporte de S a través de la deposición húmeda y seca es variable estas relaciones pueden no ser tan claras en *P. melanotis*, no obstante no se detectó en otro tejido y/o órgano una acumulación de Cu y Mo mayor que la hepática contrario a lo observado en *M. mexicanus*, donde la concentración renal fue ligeramente superior a la observada en hígado.

Las molibdo-enzimas son esenciales en diversos procesos metabólicos como la detoxificación de S en mamíferos, asimilación de nitritos en autótrofos y síntesis de fitohormonas en plantas (Stallmayer, 1999) una mayor actividad implicaría una concentración más elevada de Mo en los órganos analizados.

Las interrelaciones Cu, S y Mo son comúnmente estudiadas en rumiantes y directamente relacionadas con el balance Cu-Mo en el suelo y el forraje (NRC, 1980), sin embargo en ratas sometidas a una dieta con concentraciones de 75 ppm de $NaMoO_4$ durante cinco semanas muestran un incremento en las concentraciones de Cu y Mo en hígado y con 100 ppm se presenta una reducción en el crecimiento, contrarrestado con la administración de sulfato de Cu (NRC, 1980), aunque en condiciones de cautiverio

las dietas óptimas para *Mus* y *Microtus* incluyen un suministro de 150 µg/Kg de Mo en la dieta (ILAR, 1995)

Otra interesante observación es la distribución del Fe en las muestras analizadas tanto de *P. melanotis* como de *M. mexicanus*. Es difícil determinar si están sufriendo alteraciones en el metabolismo del Fe dado la esencialidad de este elemento, sin embargo conforme avanza el periodo de estudio en las dos poblaciones se aprecia un incremento a nivel pulmonar (figura 9b), una disminución significativa en los valores renales y en general menores concentraciones en el resto de muestras analizadas; es posible que tales comportamientos formen parte del mecanismo de respuesta al estrés oxidativo, ocasionado por los estresores naturales propios de la dinámica poblacional y/o los ocasionados por la contaminación atmosférica que se incrementan en la temporada seca; Özen *et al.* (2003), reportan alteraciones en los niveles de Zn y Fe pulmonar como respuesta a inhalaciones subagudas y subcrónicas de formaldehído en ratas de laboratorio.

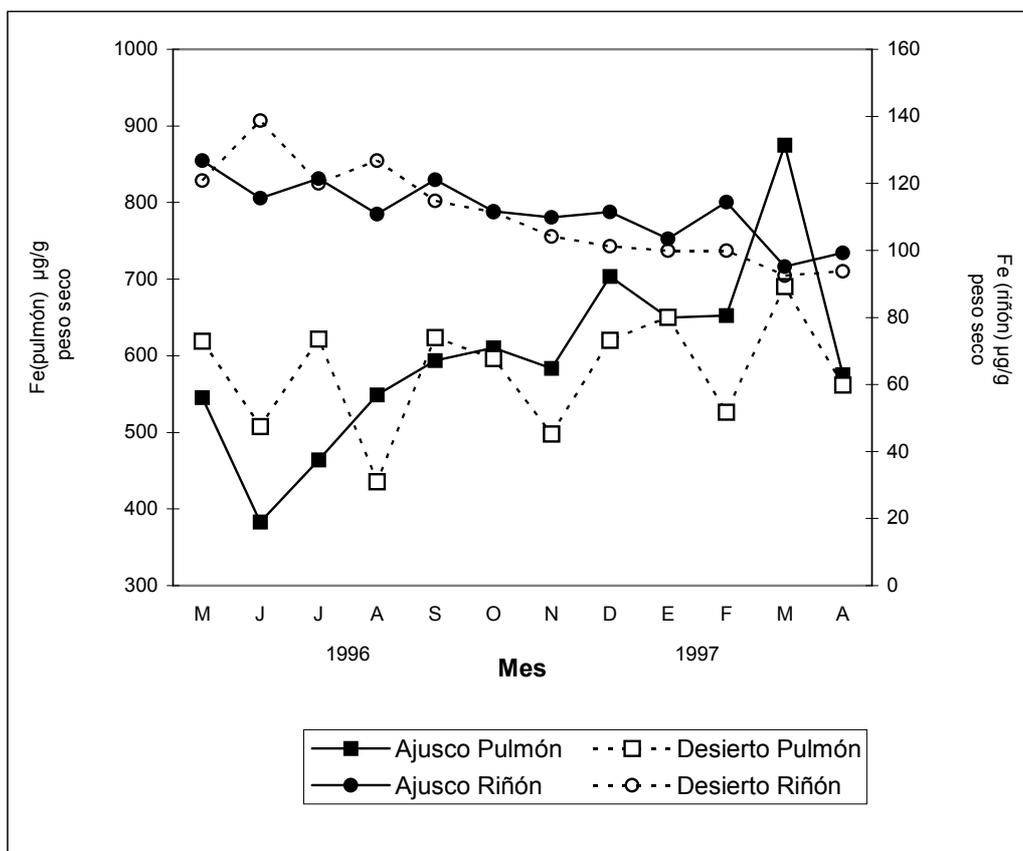


Figura 9b. Distribución mensual del hierro en el pulmón y riñón de *P. melanotis*, por zona de estudio.

La toxicidad del Cd depende de la dosis, tiempo y ruta de exposición (Rivero-Serrano *et al.*, 1993; Oishi *et al.*, 2000), si bien no se detectó su presencia a nivel pulmonar debido al límite de cuantificación del equipo, las concentraciones encontradas en el hígado y riñón sugieren una ingesta crónica, posiblemente vía gastrointestinal más que respiratoria, con un comportamiento similar al mostrado por *M. mexicanus*, pero en menor proporción.

A pesar de que las descripciones del metabolismo del Cd toman como base el comportamiento en ratones de laboratorio no puede ser muy diferente al de *P. melanotis*, por lo que suponemos que la incorporación de este elemento al resto de órganos como el bazo y el corazón serán mínimos en función de las concentraciones encontradas en el hígado; por otra parte se ha visto que inhalaciones de Cd a ciertas concentraciones en ratones de laboratorio proporciona una resistencia a la infección por el virus de la influenza al incrementar las células fagocíticas en el pulmón (Chaurmad *et al.*, 1991).

En condiciones de laboratorio la administración de Cd incrementa la síntesis de la metalotionina con aparente independencia de la ruta de administración, ocasionando la elevación de las concentraciones de Cu y Zn hepático y renal (Šwiergosz *et al.*, 1998; Oishi *et al.*, 2000); sin embargo en dichos trabajos se contemplan concentraciones de Cd más elevadas, que las obtenidas en este estudio, de igual forma la excreción urinaria del Cd se incrementa en fallos renales, (EHC134, 1992), observándose un mayor porcentaje de lesiones en los ejemplares del Desierto.

El Zn es esencial para la proliferación celular, necesario para la transcripción del ADN y síntesis de proteínas (Vallee & Falchuk, 1993); deficiencias nutricionales ocasionan una reducción en la respuesta inmunitaria (EHC221, 2001), los valores obtenidos no reflejan una fuerte acumulación ni comportamientos estacionales a pesar de las posibles diferencias que pueden existir a lo largo de la temporada en el aporte alimenticio.

Se observaron concentraciones muy cercanas en hígado y pulmón y superiores a las detectadas en riñón, sin embargo la mayor acumulación se presenta en hueso y pelo, los valores obtenidos son más reducidos que los presentados por Górriz (1995) en *A. sylvaticus*; dadas las deficiencias en Zn detectadas por Alvarado *et al.* (1993) y Watmough & Hutchinson (1999) en *A. religiosa* y el grado de procesos infecciosos observado en las dos poblaciones de *P. melanotis*, en caso de ocurrir alguna alteración apunta hacia una deficiencia de este nutriente, lo que potenciaría los efectos nocivos de

los metales pesados; en *Clethrionomys glareolus*; Świergosz *et al.* (1998) reportan un incremento en los niveles de Zn renal como respuesta a un incremento de la síntesis de metalotioneína y un intensivo transporte del Zn del plasma al hígado y al riñón, sin embargo los valores de referencia presentados por estos autores son de casi el doble que los obtenidos en *P. melanotis* a nivel renal y hepático.

Los valores de Zn obtenidos en el riñón y pelo son inferiores a los obtenidos en *M. mexicanus*, lo que puede reflejar una deficiencia mayor en el alimento que consume *P. melanotis*, aunque no se corresponde con los valores detectados en hueso donde se refleja una mayor acumulación a la observada en *M. mexicanus*, producto en parte del tipo de dieta de las dos especies.

Las concentraciones del Mn óseo son significativamente superiores en los ejemplares del Desierto, si bien los valores obtenidos en el hígado son inferiores a los reportados por Górriz (1995) en *A. sylvaticus*; aunque los de hueso son superiores; en cabras *et al.* (2000b) relaciona el depósito de Mn en las costillas con el estrés ocasionado por deficiencias en el suplemento de Cu en la dieta; si observamos la distribución mensual del Mn se obtiene una acumulación más elevada en los meses de junio, julio y agosto coincidiendo con los meses en los que se obtuvo el menor éxito de captura para esta especie y se detectó la menor concentración de Cu hepático pero más elevada a nivel renal, lo que puede ser el efecto de la concentración de sulfatos en el agua de lluvia, afectando la asimilación de Cu, durante la temporada.

Como ya mencionamos los niveles presentes en el pelo pueden ser producto tanto del estado general del individuo como por la deposición externa, las concentraciones de Ti observadas en los ejemplares del Desierto en los meses de febrero, marzo y abril, en comparación con los valores obtenidos en el Ajusco y los detectados en la misma zona el resto del periodo de estudio, podrían tener relación con la deposición externa si consideramos que fue uno de los metales que presentó concentraciones más elevadas en los análisis realizados por Mugica *et al.* (2002) durante 1996 y 1997, tanto en la fracción respirable como en la gruesa, en cambio Chow *et al.* (2002) no lo detectan; así mismo en el estudio de suelo realizado por Gaso *et al.* (2000) en la zona y sus alrededores, el Ti fue el elemento traza que presentó las concentraciones más elevadas.

Los niveles de Al fueron superiores en los ejemplares procedentes del Desierto con excepción de los detectados en el riñón donde además se presentaron los valores más reducidos en las dos poblaciones. La absorción de Al vía gastrointestinal es del 1%

dependiendo del pH, y la solubilidad del compuesto de Al acumulándose principalmente en hueso (EHC194, 1997), patrón que se observa en los resultados obtenidos; dichos niveles pueden estar interfiriendo con la asimilación de Mg.

En ratas sometidas a dietas bajas en Ca se ha detectado una reducción en la absorción de Mg influyendo esto en el sistema nervioso central (Yasui & Ota, 1998); las relaciones Ca, Mg Al se pueden producir debido a dos caminos diferentes, dependiendo de las concentraciones en la dieta de los tres elementos, ya que la acumulación de Al puede ser producto de una deficiencia de Ca o Mg en el aporte nutricional (deficiencia primaria), o una elevada concentración de Al que ocasiona una reducción en la asimilación de nutrientes (deficiencia secundaria), en cualquier caso una disminución de Ca en sangre produce una movilización del Ca óseo incrementándose su depósitos en los tejidos y órganos (Yasui *et al.* 1991), en este estudio no se detectaron diferencias las muestras analizadas, no obstante las alteraciones en el metabolismo del Ca ocasionan que se acumule Al y Mn en hueso (Yasui *et al.*, 1995), efecto observado en los ejemplares del Desierto, cuyas concentraciones fueron significativamente superiores.

Es difícil determinar si existen deficiencias nutricionales debidas a la capacidad inherente de las especies de sobrevivir con concentraciones por debajo de lo normal o por encima de sus necesidades metabólicas (Tood *et al.*, 1967), así como la escasa información que se tiene del comportamiento e interacciones en condiciones naturales.

En condiciones experimentales una dieta baja en Rb afecta el estatus de los minerales en el cuerpo de ratas de laboratorio (Yokoi *et al.*, 1996), lo que puede conducir a un desbalance nutricional; en las especies que nos ocupan no es posible determinar si están sufriendo una reducción o un incremento en relación a un estatus natural de este elemento, a pesar de lo cual si consideramos la influencia del pH sobre la disponibilidad del K y Rb (Nyholm & Tyler 2000), y las diferencias en el comportamiento del Cu, Mo, Mn, Fe y S hepático así como las concentraciones de Pb en hueso y los niveles de Cd renales y hepáticos, el balance nutricional se puede ver afectado en los dos ecosistemas en mayor proporción en los ejemplares del Desierto.

Las alteraciones en el aporte nutricional pueden afectar positivamente en una etapa del desarrollo del animal y negativamente a largo plazo; en condiciones de laboratorio Batzli (1986) observa que en *M. californicus* los suplementos con cloruro de sodio ocasionan un incremento en la frecuencia y tamaño de la camada pero la supervivencia y crecimiento de las crías se reduce, en cambio con suplementos de cloruro de calcio no incrementa el tamaño de la camada pero si incrementa la

supervivencia postnatal, en cambio cuando los dos son administrados el crecimiento y desarrollo son normales.

El número de hembras gestantes obtenido durante las capturas en el Ajusco fue más elevado en la temporada de lluvias pero con un número menor de crías, en cambio en la temporada seca se encontraron un menor número de hembras gestantes pero con un número superior de embriones (capítulo 2), en cambio en el Desierto se obtuvieron exclusivamente hembras gestantes en la temporada de lluvias con un número inferior de embriones; el intercambio de iones, por el efecto de la lluvia ácida sobre la superficie foliar y el suelo pueden modificar las concentraciones presentes de K, Ca y Mg; Saavedra-Romero *et al.*, (2003) sugieren que además del K y Mg otros cationes pueden influir en la neutralización del agua captada de escurrimientos foliares de *A. religiosa* en el Desierto; ocasionando cambios en el aporte de dichos cationes en la dieta de las especies de roedores y dependiendo del flujo hídrico dichos cationes se perderían sin que puedan ser absorbidos por las plantas.

Debido a que las deficiencias de Ca y Na desembocan en caminos diferentes (NRC, 1980), es necesario realizar estudios de dinámica poblacional, a pesar de lo cual ante una deficiencia en Ca, el incremento de procesos infecciosos en la temporada seca en especial en los ejemplares capturados en el Desierto, podría ser el resultado de alteraciones durante su desarrollo, incrementando la mortalidad al inicio del nuevo ciclo reproductivo, y explica en parte el bajo éxito de las captura de *P. melanotis* al inicio de la temporada de lluvias, cuestión que debe tomarse con reservas debido a que el método de captura no es el adecuado para sacar estimaciones poblacionales.

Algunos de los mecanismos de respuesta de la vegetación a condiciones de estrés son el incremento de ácidos orgánicos en las hojas, aumento en las concentraciones de flavonoides y oxalatos (Barcelo & Poschenrieder, 2002); en acículas de *Pinnus nigra* se ha reportado el aumento de compuestos fenólicos como resultado de la contaminación, acompañada de un incremento en las concentraciones de Cu, Fe, Mn y Zn dependiendo de la edad foliar (Giertych *et al.*, 1998) y Alvarado *et al.* (1993) detectan una aparente acumulación de compuestos fenólicos en las acículas de *A. religiosa* procedentes de diferentes puntos del Valle de México.

Tales mecanismos puede afectar a las poblaciones de roedores en un sentido o en otro modificando sus pautas de consumo y la asimilación de ciertos nutrientes esenciales ya de por si limitantes en el ecosistema, o lesionando las zonas de la

membrana por la que se da absorción intestinal, por lo que se recomienda en un futuro contemplar el análisis del aparato digestivo tomando en consideración la flora intestinal.

5.4.2.8 CONCLUSIONES.

En *Peromyscus melanotis* existieron diversas diferencias significativas en el espacio y tiempo, dichas diferencias se detectaron en : el pulmón en el Mo, Ni y K con concentraciones superiores en el Desierto en tanto que las del Rb fueron superiores en el Ajusco mientras que a nivel estacional por zona de captura se detectaron en el Ni en el Desierto; en el riñón en los valores de Cd, Cu, Mo, Fe y Rb, las concentraciones más elevadas de de los tres primeros se presentan en el Desierto y los dos últimos en el Ajusco, observándose comportamiento estacional en las dos localidades en el Cd, Cu y Fe y exclusivamente en el Ajusco en el Rb y Si; en hígado el Al, Cd, Cr, Fe, Pb y Rb fueron superiores en el Ajusco, en tanto que las concentraciones de Cu y Mo fueron mayores en el Desierto y comportamiento estacional en el Al, Cd, Cr, y S; en el hueso en el Al, Ba, Mn, Pb y Rb los valores más elevados de los tres primeros metales están en el Desierto y los de los dos últimos en el Ajusco, siendo el Pb el único elemento que presentó comportamiento estacional en el Ajusco; en la grasa subcutánea en Al, Cr, Cu y Mn con concentraciones más elevadas en el Desierto y en el pelo se dieron en; Al, Ba, Cd, Fe, Mn, Mo, Pb, Ti, K, Na, P y S, con concentraciones más levadas en los ejemplares del Desierto con excepción del Pb, el comportamiento estacional detectado en las dos áreas de estudio correspondió al Rb, K y Mn mientras que en Na sólo se presentó en el Ajusco en tanto que el Al, Fe, Ti y S ocurrieron en el Desierto.

La concentración significativamente más elevada de Pb en los ejemplares del Ajusco a nivel óseo y hepático acompañada de una escasa diferencia en el pulmón y en general mayores concentraciones en pelo y grasa sugiere una menor asimilación de este metal en el Desierto, que puede ser producto tanto de la deposición atmosférica como del efecto amortiguador de la acumulación de materia orgánica y procesos de lixiviación previos y durante la temporada de estudio.

Los niveles de Cd en el riñón sugieren similares procesos de incorporación en las dos poblaciones pero en mayor proporción en la temporada seca en el Desierto.

Las diferencias significativas detectadas a nivel hepático en Cu, Mo y S con una concentración más elevada en los ejemplares del Desierto y del Fe en el Ajusco, pueden ser producto de la deposición de sulfatos alterando el metabolismo de estos metales e influyendo en la resistencia inmunitaria a los procesos infecciosos producidos en los ejemplares del Desierto.

A pesar que se presenta la misma tendencia en el Rb que la obtenida en *M. mexicanus*, no se observan comportamientos estacionales en las dos poblaciones; con un ligero comportamiento inverso y diferencias significativas entre poblaciones en la temporada seca debidas a la mayor acumulación de este elemento en los ejemplares del Ajusco.

En pelo presentó más diferencias significativas entre poblaciones en los niveles de metales detectados en comparación con los órganos analizados, posiblemente debido tanto al estatus del elemento en los ejemplares analizados como a la deposición atmosférica no mostrando la misma tendencia en los órganos, ya que en general en el pelo fueron más elevadas en los ejemplares del Ajusco, lo que puede ser producto del metabolismo de *P. melanotis* con procesos de detoxificación más elevados en el Ajusco, debido a una mejor condición física, explicada por el menor número de procesos infecciosos detectado en el análisis patológico (capítulo 4), así como una evidencia de que las concentraciones pueden ser más elevadas en su entorno, pero debido a los mecanismos de respuesta de la vegetación y las poblaciones de pequeños mamíferos no se incorporan en igual proporción al organismo.

En general se observa una mayor movilidad de metales en los ejemplares del Desierto que posiblemente se vea compensado transitoriamente con un mayor aporte nutricional de algunos elementos, producto de las nuevas condiciones, como puede ser el incremento de la vegetación ruderal de crecimiento rápido; sin embargo a largo plazo, dada una condición específica, como pueden ser los procesos de expulsión, el inicio de la reproducción o determinado proceso patológico; estos puede que sean benéficos o perjudiciales en las nuevas condiciones imperantes en el ecosistema ya que dichos mecanismos son normales en una población; sin embargo la velocidad e intensidad pueden ser modificadas debido a la influencia antropogénica.

Tales alteraciones producirían un proceso de selección de lo ejemplares con un mejor sistema inmunitario o con aporte alimenticio más adecuado, que puede conducir a una reducción en la diversidad de las especies existentes, afectando con ello las poblaciones de endoparásitos de los que son reservorios y alterando las relaciones parásito-huésped lo que conlleva un riesgo potencial de que dichos organismos salten la barrera de las especies.

5.4.3 *Peromyscus difficilis*.

Se analizaron 34 individuos capturados en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco y 79 ejemplares obtenidos en el Parque Nacional Desierto de los Leones.

Los datos obtenidos se transformaron de acuerdo con lo propuesto por Zar (1984), $X' = \log(X+1)$, para su análisis estadístico.

El número de organismos procesados de la población del Ajusco, fue producto del comportamiento de esta especie en las capturas realizadas, especialmente durante la época de lluvia.

Debido a problemas en alguna parte del análisis que hicieron sospechar contaminación y por consiguiente se procedió a su eliminación, el tamaño de muestra es variable.

Parte de las muestras de pelo y hueso proceden de ejemplares cuyos órganos se destinaron al análisis patológico.

5.4.3.1 Pulmón.

Se analizaron 26 muestras de pulmón (14 machos y 12 hembras) de individuos capturados en el Ajusco y 58 ejemplares procedentes del Desierto (43 machos y 15 hembras), los niveles promedio detectados presentan ligeras diferencias entre zonas de escasa importancia (tabla 42; figura 10), observándose diferencias significativas exclusivamente en el Rb ($X_A = 58,97$; $X_D = 51,43$), en presencia de un comportamiento estacional ascendente conforme avanzó el estudio en el Desierto ($X_{LLD} = 46,51$ $\mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 57,09$ $\mu\text{g/g}$, tablas 43 y 44, figura 10).

Tabla 42. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el pulmón de *P. difficilis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Si	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 7	Media	7,11	1,04	11,41	725,73	1,38	0,27	0,44	0,38	61,37	36,14	82,84	1033,11	14507,37	893,46	4417,63	18200,85	11457,07
		Desv. típ.	3,05	0,53	4,35	257,12	1,05	0,19	0,49	0,20	24,46	17,11	21,85	532,87	4314,16	236,38	1604,15	5184,40	3192,17
	SECA n = 19	Media	9,98	1,14	10,95	692,21	1,59	0,36	0,36	0,42	58,10	35,97	83,68	956,72	13004,02	801,89	4036,35	16120,11	10502,72
		Desv. típ.	7,94	0,16	1,22	126,13	0,99	0,13	0,25	0,32	13,56	15,65	10,58	362,55	2280,26	136,48	1030,56	2882,51	1589,96
	Total	Media	9,21	1,11	11,07	701,24	1,53	0,34	0,38	0,41	58,98	36,02	83,46	977,29	13408,77	826,55	4139,00	16680,31	10759,66
		Desv. típ.	7,02	0,30	2,38	165,99	0,99	0,15	0,32	0,29	16,68	15,70	13,97	404,94	2945,00	168,93	1188,28	3649,52	2110,00
D	LLUVIAS n = 31	Media	6,63	1,18	10,38	736,07	1,24	0,43	0,38	0,29	46,51	33,13	72,14	810,31	12637,40	856,09	3717,73	15134,36	10347,50
		Desv. típ.	4,31	0,41	3,09	220,99	0,63	0,19	0,27	0,14	12,54	14,47	12,92	260,65	2960,60	192,46	1304,54	3554,94	2379,22
	SECA n = 27	Media	10,84	1,42	11,74	704,18	0,94	0,37	0,54	0,44	57,09	30,66	76,73	738,49	12281,82	823,35	3758,65	15017,18	10361,52
		Desv. típ.	8,99	0,55	2,28	195,05	0,50	0,08	0,31	0,28	12,49	9,16	19,73	226,39	3066,15	157,93	1276,24	4090,38	2668,10
	Total	Media	8,59	1,29	11,01	721,22	1,10	0,40	0,45	0,36	51,44	31,98	74,28	776,88	12471,87	840,85	3736,78	15079,81	10354,03
		Desv. típ.	7,15	0,49	2,80	208,12	0,59	0,15	0,30	0,23	13,50	12,25	16,46	245,85	2988,90	176,47	1280,27	3779,76	2495,30

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

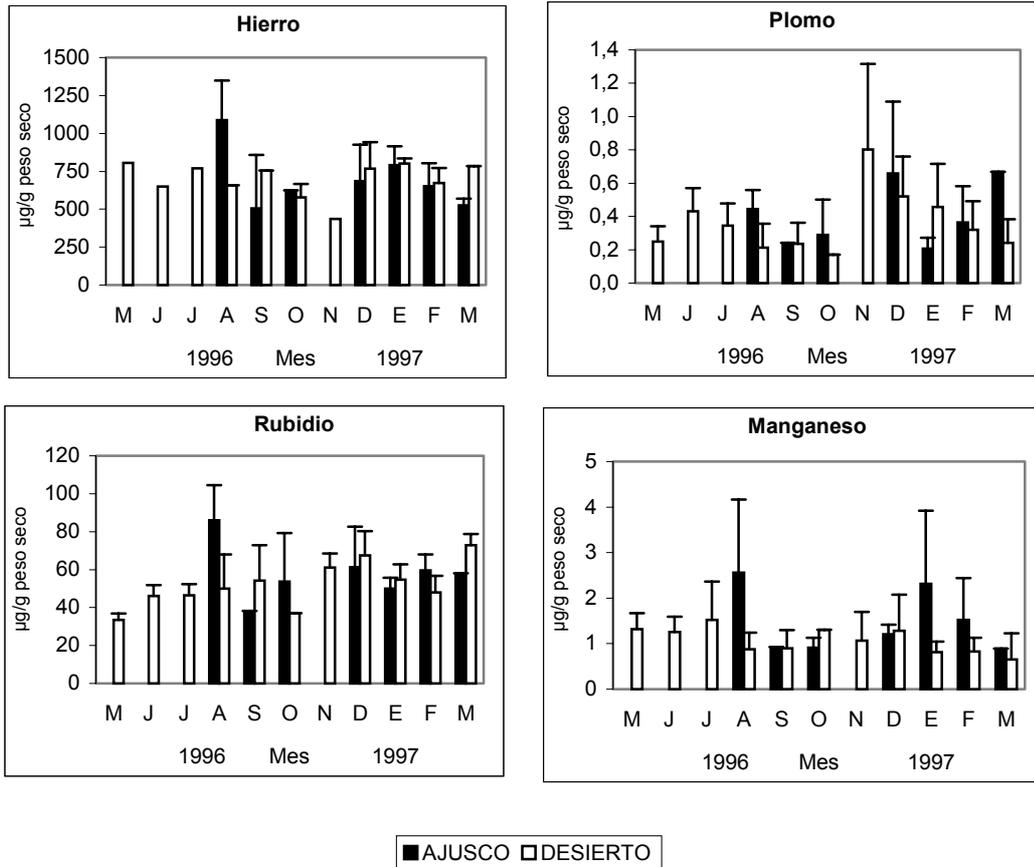


Figura 10. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el pulmón de *Peromyscus difficilis* ($\bar{X} \pm DS$)

Tabla 43. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el pulmón de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0.05$)

Elemento	Suma de cuadrados	gl	F	Sig	
Rb	Contraste	2692	3	4,58	0,005
	Error	15673	80		

Tabla 44. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el pulmón de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; DHS de Tukey).

ELEMENTO	ÉPOCA		Diferencia entre " " "	Error típ.	Sig.
	(I)	(J)			
Rb	LLD	SA	-11,59	4,08	0,0286
	LLD	SD	-10,58	3,68	0,0263

^a La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco; D = Parque Nacional Desierto de los Leones; LL = Época de Lluvias (mayo - octubre 1996) ; S = Época seca (noviembre 1996 - abril 1997)

5.4.3.2 Riñón.

Se analizaron 30 ejemplares del Ajusco (17 machos y 13 hembras) y 53 especímenes del Desierto (40 machos y 13 hembras). Los niveles promedio de Co, Cu, Mn, Rb, Ca y S fueron ligeramente superiores en las muestras de la población del Ajusco (tabla 45, figura 11).

El Cd ($X_{LLA} = 2,45 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 8,25 \mu\text{g/g}$) y el Mo ($X_{LLA} = 0,78 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 1,03 \mu\text{g/g}$) en el Desierto y el Cr ($X_{LLD} = 1,22 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 0,12 \mu\text{g/g}$) en el Ajusco, manifestaron comportamientos estacionales ascendentes, en tanto que los niveles de Ni ($X_{LLD} = 0,32 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 0,06 \mu\text{g/g}$) se redujeron significativamente en los ejemplares del Desierto.

Entre poblaciones se presentaron diferencias significativas durante la época de lluvias en las concentraciones de Cr, Cd, Mo y Ni, en tanto que en la época seca sólo se observaron en los niveles promedio de Co.

Los niveles observados en el período de lluvias en el Ajusco y los observados en el período seco del Desierto resultaron diferentes significativamente en el Cd y Mo, mientras que entre *LLD* y *SA* sólo se detectaron en el Cr (tablas 46 y 47).

Tabla 45. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el riñón de *P. difficilis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Si	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 9	Media	5,33	2,45	0,10	0,07	8,13	84,76	2,19	0,79	0,04	0,23	20,72	92,99	29,33	216,80	3541,10	270,32	1276,06	4781,24	927,12
		Desv. típ.	1,84	1,41	0,04	0,06	2,75	41,32	0,25	0,11	0,02	0,08	7,37	28,15	18,79	201,79	2527,34	192,98	524,53	3430,08	827,28
	SECA n = 21	Media	8,12	8,26	0,15	0,20	9,63	80,70	2,42	1,03	0,10	0,19	24,13	120,69	36,32	159,34	3232,62	318,81	1345,79	4411,42	843,60
		Desv. típ.	8,53	3,35	0,06	0,17	0,82	33,50	0,34	0,09	0,15	0,06	2,21	53,31	16,73	94,19	2598,29	126,50	591,14	3538,24	780,24
	Total	Media	7,29	6,52	0,14	0,16	9,18	81,92	2,35	0,96	0,08	0,20	23,11	112,38	34,22	176,58	3325,16	304,26	1324,87	4522,36	868,65
		Desv. típ.	7,27	3,95	0,06	0,16	1,74	35,33	0,33	0,15	0,13	0,07	4,57	48,43	17,35	134,42	2537,45	147,72	563,87	3450,98	781,13
D	LLUVIAS n = 27	Media	11,60	9,88	0,08	1,22	10,15	112,43	2,23	1,17	0,32	0,30	20,66	111,70	41,58	146,30	3829,17	285,23	1251,16	5174,11	830,00
		Desv. típ.	9,11	6,07	0,02	1,34	1,23	56,01	0,41	0,14	0,46	0,33	5,59	46,09	29,62	100,11	2319,53	174,31	756,86	3140,65	723,59
	SECA n = 26	Media	9,35	7,71	0,06	0,12	9,90	114,24	2,31	1,08	0,07	0,31	25,29	118,46	46,07	191,28	4419,07	362,55	1501,67	6190,41	904,19
		Desv. típ.	9,28	5,22	0,04	0,11	0,89	24,40	0,40	0,19	0,04	0,47	11,50	38,50	12,31	83,28	1645,69	119,05	560,10	2262,37	486,73
	Total	Media	10,49	8,82	0,07	0,68	10,03	113,32	2,27	1,12	0,20	0,30	22,93	115,02	43,79	168,37	4118,56	323,16	1374,05	5672,67	866,40
		Desv. típ.	9,17	5,72	0,03	1,10	1,08	43,08	0,40	0,17	0,35	0,40	9,20	42,26	22,73	94,13	2020,10	153,39	673,22	2766,89	614,07

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

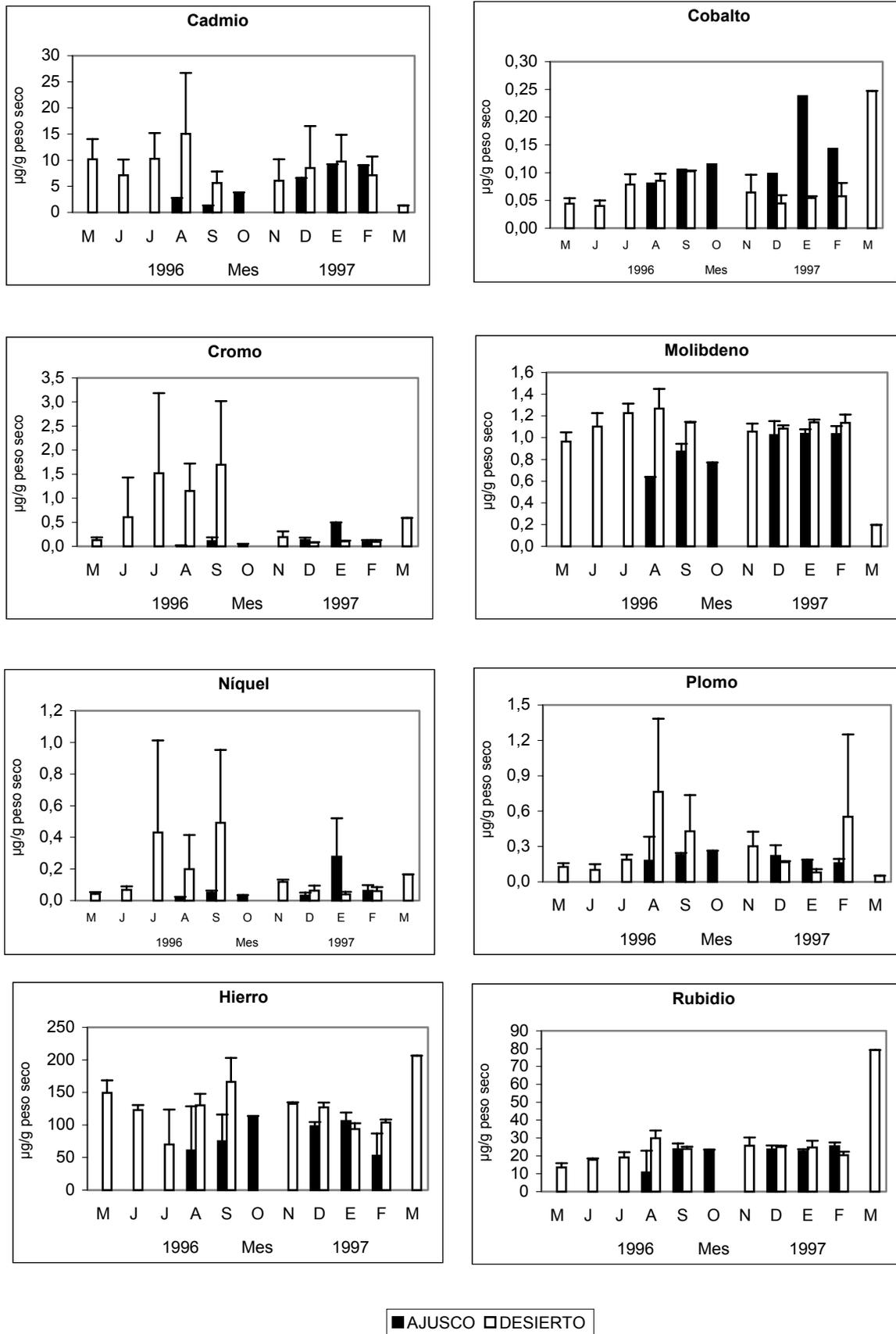


Figura 11. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el riñón de *Peromyscus difficilis* ($X \pm DS$)

Tabla 46. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el riñón de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0,05$)

Elemento	Suma de cuadrados	gl	F	Sig ^a	
Cd	Contraste	1,59	3	10,24	0,0000
	Error	4,08	79		
Co	Contraste	0,02	3	20,62	0,0000
	Error	0,02	79		
Cr	Contraste	0,98	3	18,49	0,0000
	Error	1,40	79		
Mo	Contraste	0,05	3	13,37	0,0000
	Error	0,10	79		
Ni	Contraste	0,10	3	5,58	0,0016
	Error	0,46	79		

Tabla 47. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el riñón de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I, J)	Error típ.	Sig. ^b
	(I)	(J)			
Cd ^c	LLA	SA	-0,43	0,09	0,0000
	LLA	LLD	-0,47	0,09	0,0000
	LLA	SD	-0,36	0,09	0,0006
Co ^c	SA	SD	0,03	0,00	0,0000
	LLD	SA	-0,03	0,00	0,0000
Mo ^c	LLA	SA	-0,06	0,01	0,0007
	LLA	LLD	-0,08	0,01	0,0000
	LLA	SD	-0,06	0,01	0,0000
Cr ^d	LLA	LLD	-0,26	0,04	0,0000
	LLD	SA	0,21	0,04	0,0003
	LLD	SD	0,24	0,04	0,0001
Ni ^d	LLD	LLA	0,09	0,02	0,0069
	LLD	SD	0,07	0,02	0,0230

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^c DHS de Tukey ; ^d Games-Howell

5.4.3.3 Hígado.

Se analizaron 33 muestras de hígado (18 machos y 15 hembras) de ejemplares capturados en el Ajusco y 58 especímenes del Desierto (42 machos y 16 hembras). Los valores promedio anuales obtenidos en ejemplares capturados del Desierto fueron superiores a los observados en los individuos procedentes del Ajusco con excepción de las concentraciones de Al, Co y Mn (tabla 48; figura 12).

Las diferencias observadas entre poblaciones en los dos épocas de capturas resultaron significativas en los niveles de Cu ($X_{LLA} = 12,21 \mu\text{g/g}$, $X_{SA} = 13,35 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 22,63 \mu\text{g/g}$, $X_{SD} = 24,00 \mu\text{g/g}$), Mo ($X_{LLA} = 2,52 \mu\text{g/g}$, $X_{SA} = 2,75 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 4,09 \mu\text{g/g}$, $X_{SD} = 4,63 \mu\text{g/g}$) y Fe ($X_{LLA} = 226,44 \mu\text{g/g}$, $X_{SA} = 295,20 \mu\text{g/g}$; $X_{LLD} = 473,72 \mu\text{g/g}$, $X_{SD} = 448,90 \mu\text{g/g}$), mientras que en el Zn ($X_{SA} = 77,96 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 103,15 \mu\text{g/g}$) ocurrieron durante la temporada seca, además de presentar al igual que el Cu y el Fe diferencias entre *LLA* y *SD* y entre *LLD* y *SA* (tablas 49 y 50).

El Rb presentó un comportamiento estacional ascendente significativo en la población del Desierto, observándose los valores más bajos en el Ajusco con un gradiente de concentraciones de menos a más como sigue: *LLA-LLD-SA-SD*, con diferencias significativas entre poblaciones en los valores extremos ($X_{LLA} = 47,48 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 62,39 \mu\text{g/g}$, tablas 49 y 50, figura 12).

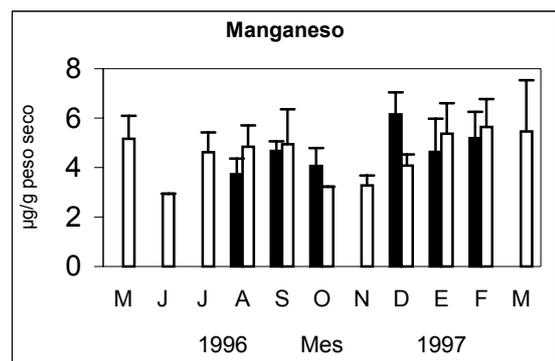
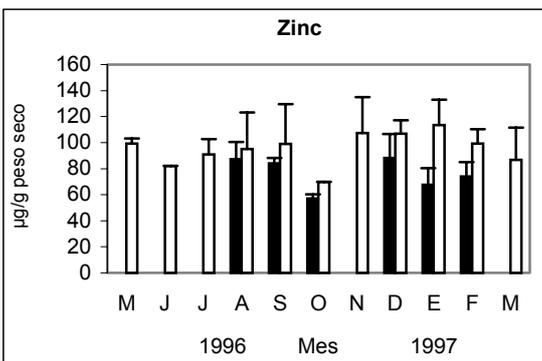
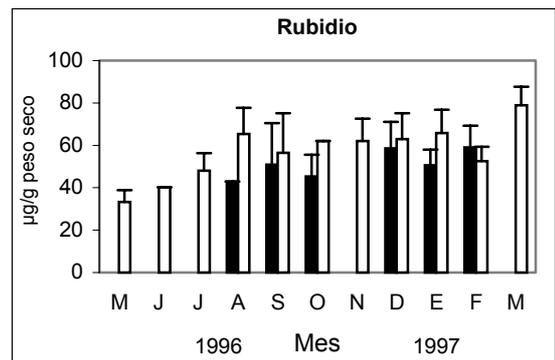
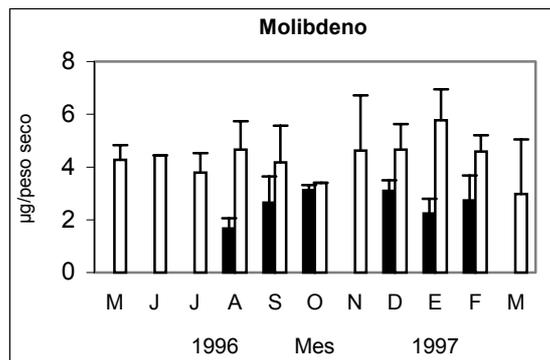
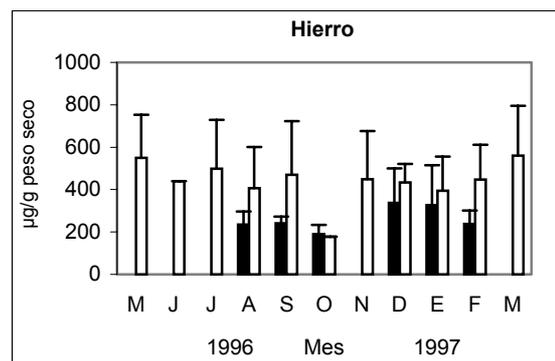
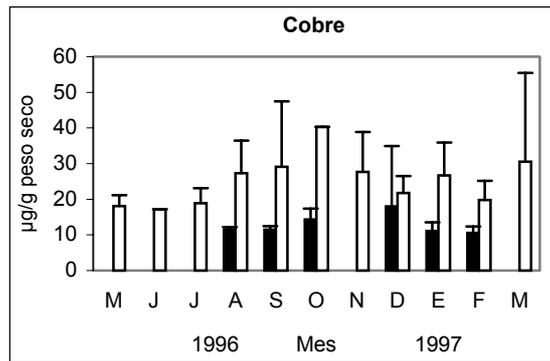
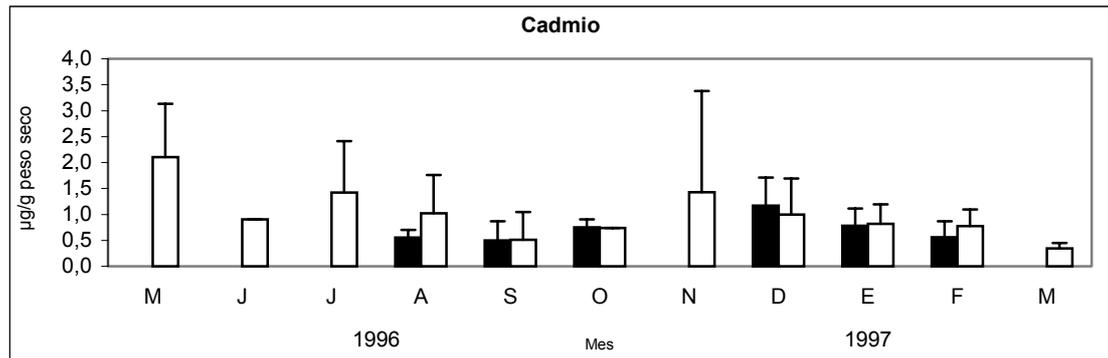
Tabla 48. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el hígado de *P. difficilis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 8	Media	12,84	0,58	0,14	0,60	12,21	226,44	4,28	2,52	0,29	47,48	78,11	295,47	10336,16	650,63	2797,53	8953,39	3447,85
		Desv. típ.	4,35	0,28	0,03	0,35	1,88	42,38	0,62	0,87	0,28	13,91	14,31	102,40	1214,28	41,77	246,12	669,85	2366,28
	SECA n = 25	Media	17,32	0,83	0,16	0,85	13,35	295,21	5,40	2,75	0,31	56,87	77,97	255,70	10552,11	656,67	2611,89	8441,82	1750,85
		Desv. típ.	7,09	0,48	0,04	0,40	10,51	141,26	1,20	0,75	0,34	10,73	16,34	160,86	1044,66	121,90	430,03	1397,37	707,64
	Total	Media	16,23	0,77	0,16	0,79	13,08	278,54	5,13	2,70	0,30	54,59	78,00	265,64	10498,12	655,16	2658,30	8569,71	2175,10
		Desv. típ.	6,75	0,45	0,04	0,40	9,16	127,49	1,19	0,77	0,32	12,06	15,63	147,89	1073,16	106,89	396,93	1265,19	1480,97
D	LLUVIAS n = 29	Media	14,21	1,27	0,14	0,84	22,63	473,73	4,70	4,10	0,55	50,13	93,46	313,19	10997,26	718,50	3143,08	10026,85	2891,11
		Desv. típ.	7,21	0,96	0,03	0,50	10,08	215,47	1,00	0,91	0,54	14,58	18,51	116,10	2850,50	151,76	880,82	2517,98	1568,86
	SECA n = 29	Media	15,46	0,85	0,16	0,89	24,00	448,91	4,94	4,63	0,79	62,39	103,16	318,32	10961,99	778,61	3238,11	10636,26	2536,77
		Desv. típ.	11,53	0,72	0,06	0,36	10,95	161,35	1,37	1,42	0,97	12,51	17,77	154,26	1909,77	99,88	904,66	720,49	1026,65
	Total	Media	14,83	1,06	0,15	0,86	23,32	461,32	4,82	4,37	0,67	56,26	98,31	315,75	10979,63	748,55	3190,59	10331,56	2713,94
		Desv. típ.	9,55	0,87	0,05	0,43	10,45	189,08	1,20	1,21	0,79	14,82	18,64	135,34	2404,85	130,90	886,25	1861,17	1326,18

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997



■ AJUSCO □ DESIERTO

Figura 12. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el hígado de *Peromyscus difficilis* ($X \pm DS$)

Tabla 49. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el hígado de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0,05$)

Elemento ^a	Suma de cuadrados	gl	F	Sig	
Cu	Contraste	1,22	3	18,46	0,0000
	Error	1,89	86		
Fe	Contraste	1,09	3	13,07	0,0000
	Error	2,39	86		
Mo	Contraste	0,53	3	14,65	0,0000
	Error	1,04	86		
Rb	Contraste	0,20	3	6,29	0,0007
	Error	0,89	86		
Zn	Contraste	0,23	3	10,24	0,0000
	Error	0,64	86		

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

Tabla 50. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el hígado de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I, J)	Error tip.	Sig. ^b
	(I)	(J)			
Cu ^c	LLA	LLD	-0,23	0,06	0,0013
	LLA	SD	-0,25	0,06	0,0003
	SA	SD	-0,25	0,04	0,0000
	LLD	SA	0,23	0,04	0,0000
Mo ^c	LLA	LLD	-0,16	0,04	0,0018
	LLA	SD	-0,20	0,04	0,0001
	SA	SD	-0,17	0,03	0,0000
Rb ^c	LLA	SD	-0,12	0,04	0,0187
	LLD	SD	-0,10	0,03	0,0013
Zn ^c	LLA	SD	-0,12	0,03	0,0045
	SA	SD	-0,12	0,02	0,0000
	LLD	SA	0,08	0,02	0,0098
Fe ^d	LLA	LLD	-0,28	0,05	0,0000
	LLA	SD	-0,28	0,04	0,0000
	SA	SD	-0,21	0,04	0,0000
	LLD	SA	0,21	0,05	0,0005

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^c DHS de Tukey ; ^d Games-Howell

5.4.3.4 Pelo.

Se analizaron 31 muestras de pelo de la población de *P. difficilis* del Ajusco (15 machos y 16 hembras) y 79 muestras del Desierto (55 machos y 24 hembras). Los elementos detectados en el pelo de esta especie fueron más elevados en los individuos del Desierto con excepción de Pb, Rb y S (tabla 51, figuras 13 y 14).

Las mayores concentraciones obtenidos en la población de Ajusco en el Ba ($X_A = 1,64 \mu\text{g/g}$; $X_D = 5,35 \mu\text{g/g}$, Fe ($X_A = 25,92 \mu\text{g/g}$; $X_D = 34,75 \mu\text{g/g}$), Mo ($X_A = 0,095 \mu\text{g/g}$; $X_D = 0,15 \mu\text{g/g}$, Mn ($X_A = 1,60 \mu\text{g/g}$; $X_D = 5,45 \mu\text{g/g}$) y Sr ($X_{LLA} = 2,40 \mu\text{g/g}$; $X_D = 6,88 \mu\text{g/g}$), resultaron significativa en las dos épocas de captura, entre *LLA* y *SD* y con excepción de Fe entre *LLD* y *SA*. (tablas 52 y 53)

Se detectaron diferencias significativas durante la temporada seca en los siguientes elementos: Al ($X_{SA} = 8,36 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 29,08 \mu\text{g/g}$), Cu ($X_{SA} = 8,51 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 9,90 \mu\text{g/g}$), Mg ($X_{SD} = 536,72 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 609,06 \mu\text{g/g}$), Si ($X_{SA} = 2,76 \mu\text{g/g}$; $X_{SA} = 9,85 \mu\text{g/g}$ y K ($X_{SD} = 5\ 283 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 6\ 061 \mu\text{g/g}$) observados en el Desierto, de los cuales exceptuando el Mg e incluyendo el Cr y el S mostraron diferencias entre *LLD* y *SA* (tabla 52 y 53, figura 13 y 14).

El Ba ($X_{LLD} = 6,50 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 3,37 \mu\text{g/g}$) y el Mn ($X_{LLD} = 6,68 \mu\text{g/g}$; $X_{SD} = 3,32 \mu\text{g/g}$) presentaron un claro comportamiento estacional descendente en la población del Desierto (tabla 53, figura 13).

Tabla 51. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el pelo de *P. difficilis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Si	Sn	Sr	Ti	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 6	Media	12,07	1,33	0,04	0,66	8,78	19,20	1,51	0,06	0,15	1,37	15,07	4,78	0,04	2,89	0,63	145,59	1743,93	4772,32	514,28	910,90	609,74	10197,74
		Desv. típ.	10,95	0,28	0,02	0,23	2,03	6,37	0,34	0,03	0,08	1,17	4,28	3,18	0,03	0,41	0,56	22,18	174,65	968,60	92,77	201,51	147,46	3147,14
	SECA n = 25	Media	8,37	1,72	0,05	0,52	8,51	27,54	1,63	0,10	0,22	0,72	23,55	2,76	0,03	2,29	1,15	133,15	1599,50	5406,17	536,73	852,84	433,83	11551,16
		Desv. típ.	5,33	0,46	0,03	0,31	2,12	9,24	0,51	0,05	0,15	0,41	6,11	3,17	0,03	0,61	1,35	18,67	278,18	1292,37	89,68	326,42	105,41	3018,40
	Total	Media	9,09	1,64	0,04	0,55	8,56	25,92	1,61	0,09	0,20	0,84	21,91	3,16	0,03	2,41	1,05	135,56	1627,45	5283,49	532,38	864,07	467,88	11289,21
		Desv. típ.	6,70	0,45	0,03	0,30	2,07	9,29	0,48	0,05	0,14	0,66	6,67	3,23	0,03	0,62	1,24	19,64	265,25	1247,94	89,16	304,22	132,30	3038,88
D	LLUVIAS n = 50	Media	23,79	6,51	0,05	0,81	7,81	31,58	6,68	0,16	0,20	0,64	22,30	8,98	0,07	7,20	1,23	133,72	2217,75	8220,52	643,29	930,69	509,22	8018,85
		Desv. típ.	16,05	4,34	0,03	0,32	0,87	10,98	4,82	0,05	0,12	0,66	9,07	9,02	0,13	3,58	0,82	14,17	518,72	3447,77	134,02	328,80	172,91	2651,73
	SECA n = 29	Media	29,09	3,38	0,04	0,66	9,90	40,23	3,33	0,15	0,26	0,75	19,02	9,85	0,06	6,35	1,61	144,25	2082,32	6061,80	609,06	951,97	491,56	9505,09
		Desv. típ.	20,24	1,28	0,03	0,32	3,81	20,00	1,74	0,03	0,24	0,71	8,00	7,03	0,10	5,45	1,40	27,66	467,24	2317,35	141,51	438,29	203,80	3259,23
	Total	Media	25,73	5,36	0,05	0,75	8,58	34,76	5,45	0,15	0,22	0,68	21,10	9,32	0,07	6,89	1,37	137,59	2168,04	7428,08	630,73	938,50	502,73	8564,43
		Desv. típ.	17,76	3,84	0,03	0,33	2,59	15,39	4,29	0,04	0,18	0,68	8,79	8,28	0,12	4,35	1,08	20,66	501,71	3239,11	136,92	370,11	183,75	2958,10

A = Parque Nacional Cumbres del Ajusco

D = Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

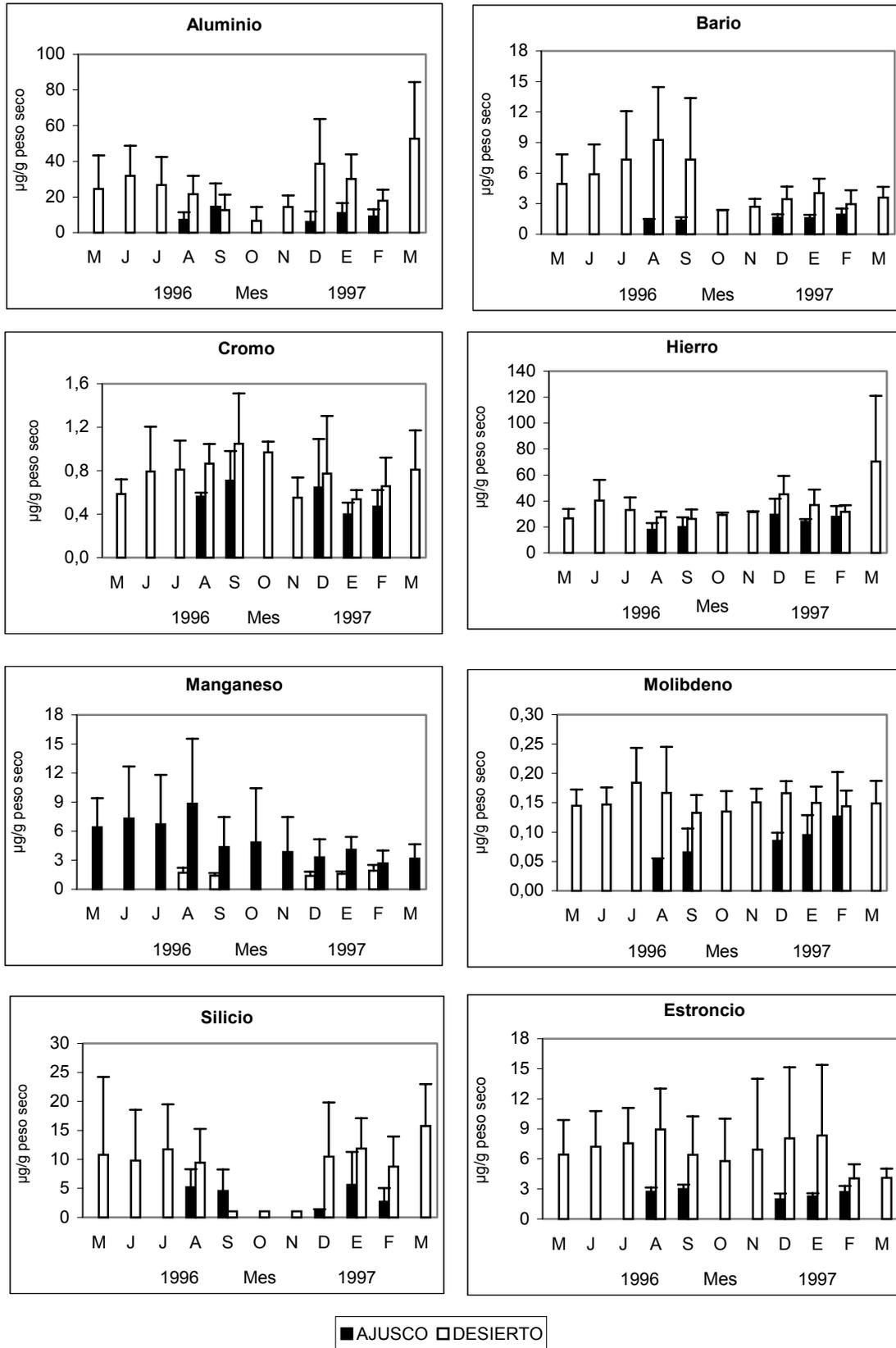


Figura 13. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el pelo de *Peromyscus difficilis* ($X \pm DS$)

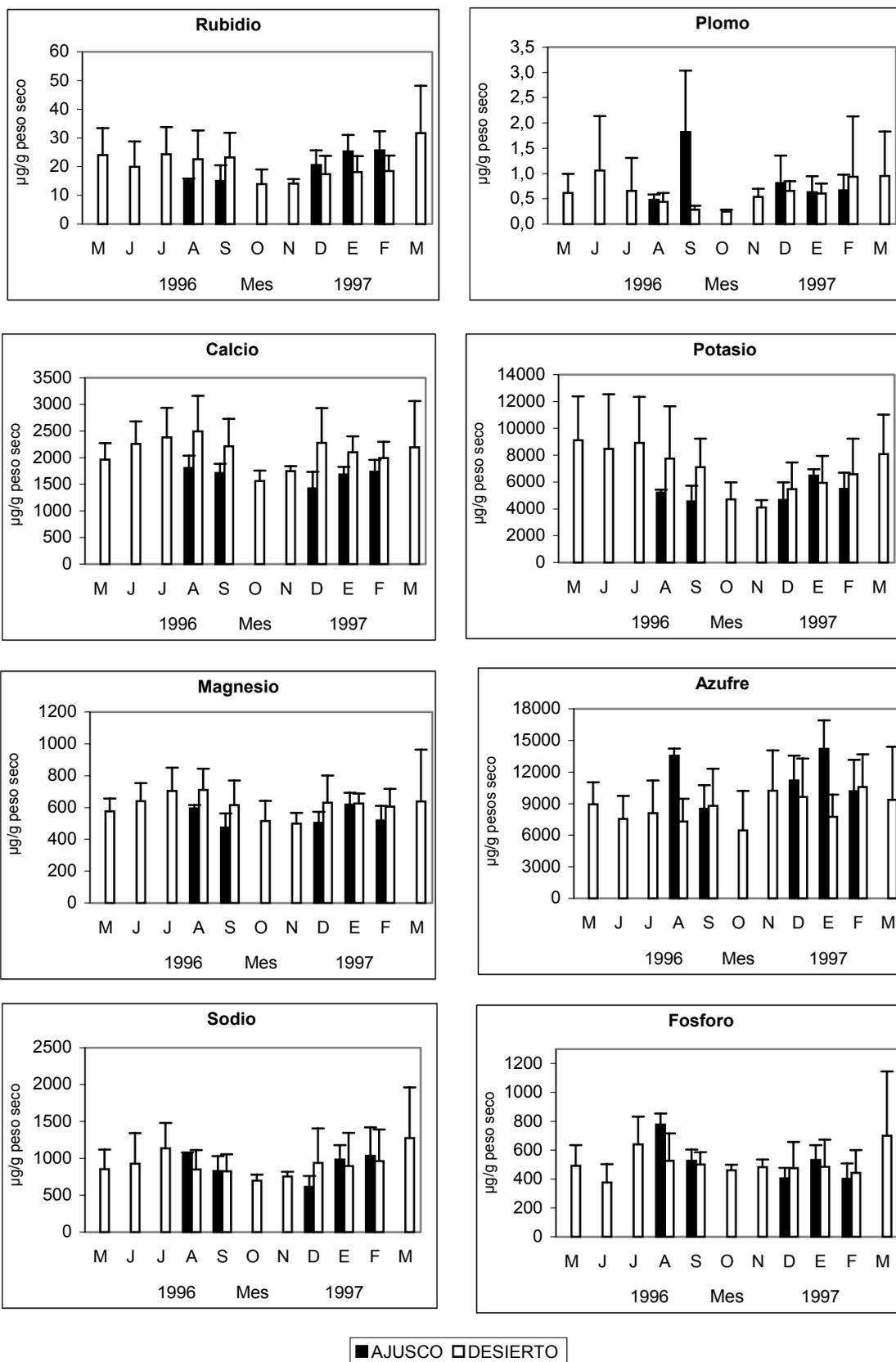


Figura 14. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el pelo de *Peromyscus difficilis* ($X \pm DS$)

Tabla 52. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el pelo de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0,05$)

Elemento ^a		Suma de cuadrados	gl	F	Sig
Al	Contraste	5,00	3	17,49	0,0000
	Error	9,73	102		
Ba	Contraste	2,92	3	28,93	0,0000
	Error	3,43	102		
Cr	Contraste	0,10	3	6,12	0,0007
	Error	0,53	102		
Fe	Contraste	0,56	3	10,92	0,0000
	Error	1,74	102		
Mn	Contraste	3,21	3	27,88	0,0000
	Error	3,92	102		
Mo	Contraste	0,01	3	17,51	0,0000
	Error	0,03	102		
Si	Contraste	2,51	3	6,20	0,0007
	Error	13,80	102		
Sr	Contraste	2,36	3	23,42	0,0000
	Error	3,43	102		
Ca	Contraste	0,34	3	14,46	0,0000
	Error	0,80	102		
K	Contraste	0,71	3	8,10	0,0001
	Error	2,97	102		
Mg	Contraste	0,14	3	6,17	0,0007
	Error	0,78	102		
S	Contraste	0,45	3	6,45	0,0005
	Error	2,40	102		

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

Tabla 53. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el pelo de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I, J)	Error tip.	Sig. ^b
	(I)	(J)			
Al ^c	SA	SD	-0,55	0,09	0,0000
	LLD	SA	0,48	0,08	0,0000
Cr ^c	LLD	SA	0,08	0,02	0,0003
	LLA	LLD	-0,21	0,06	0,0018
Fe ^c	LLA	SD	-0,30	0,06	0,0000
	SA	SD	-0,14	0,04	0,0007
	LLA	LLD	-0,04	0,01	0,0000
Mo ^c	LLA	SD	-0,04	0,01	0,0000
	SA	SD	-0,02	0,00	0,0002
	LLD	SA	0,02	0,00	0,0000
Cu ^c	SA	SD	-0,11	0,02	0,0001
	LLD	SA	0,14	0,02	0,0000
Mg ^c	LLD	SA	0,08	0,02	0,0012
S ^c	LLD	SA	-0,17	0,04	0,0002
	LLA	LLD	-0,45	0,04	0,0000
Ba ^d	LLA	SD	-0,26	0,03	0,0000
	SA	SD	-0,19	0,03	0,0000
	LLD	SA	0,38	0,04	0,0000
	LLD	SD	0,19	0,04	0,0002
Mn ^d	LLA	LLD	-0,43	0,04	0,0000
	LLA	SD	-0,21	0,04	0,0001
	SA	SD	-0,19	0,03	0,0000
	LLD	SA	0,41	0,04	0,0000
	LLD	SD	0,22	0,05	0,0001
Si ^d	SA	SD	-0,43	0,08	0,0000
	LLD	SA	0,30	0,08	0,0018
Sr ^d	LLA	LLD	-0,29	0,03	0,0000
	LLA	SD	-0,20	0,05	0,0018
	SA	SD	-0,27	0,05	0,0000
	LLD	SA	0,37	0,03	0,0000
K ^d	LLA	LLD	-0,22	0,05	0,0036
	LLD	SA	0,17	0,04	0,0001

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^c DHS de Tukey ; ^d Games-Howell

5.4.3.5 Hueso.

Se procesaron 26 individuos de la población del Ajusco (17 machos y 16 hembras y 73 ejemplares del Desierto (50 machos y 23 hembras).

Se encontraron niveles promedio anuales más elevados en la mayoría de los elementos detectados en el hueso de la población de *P. difficilis* del Desierto con excepción de las concentraciones de Mo, Rb y Si (tabla 54, figura 15).

El comportamiento del Si en los dos sitios de captura fue muy similar presentándose un comportamiento estacional ascendente significativo conforme avanzó el estudio, en tanto que el descenso de los niveles de Pb y el incremento en el Cu, se presentaron únicamente en el Desierto.

Las diferencias significativas entre poblaciones de *P. difficilis* fueron producto del comportamiento de los siguientes elementos: Ba ($X_A = 31,70 \mu\text{g/g}$; $X_D = 51,63 \mu\text{g/g}$), Fe ($X_A = 154,75 \mu\text{g/g}$; $X_D = 216,04 \mu\text{g/g}$), Mn ($X_A = 1,50 \mu\text{g/g}$; $X_D = 1,97 \mu\text{g/g}$), Pb ($X_A = 3,47 \mu\text{g/g}$; $X_D = 3,61 \mu\text{g/g}$). Se presentaron en las dos épocas de estudio, de los cuales exceptuando el Pb y al igual que el Si mostraron diferencias en las comparaciones entre *LLA* y *SD* y entre *LLD* y *SA* (tablas 55 y 56).

Además de las ya mencionadas durante la temporada seca se detectaron diferencias en el Al ($X_A = 59,02 \mu\text{g/g}$; $X_D = 104,79 \mu\text{g/g}$), el Cu ($X_A = 1,82 \mu\text{g/g}$; $X_D = 2,08 \mu\text{g/g}$), el Mo ($X_A = 0,080 \mu\text{g/g}$; $X_D = 0,075$), y el Sr ($X_A = 93,29 \mu\text{g/g}$; $X_D = 117,82 \mu\text{g/g}$) de lo cuales, con excepción del Mo presentaron concentraciones más elevadas en la población del Desierto, diferencias entre *LLD* y *SA* sólo ocurrieron Al y el Sr (tabla 56, figura 15).

Tabla 54. Niveles promedio anual y estacional de los elementos detectados en el hueso de *P. difficilis* los datos se expresan en µg/g peso seco

ZONA	ÉPOCA		Al	Ba	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	Rb	Si	Sn	Sr	Zn	Ca	K	Mg	Na	P	S
A	LLUVIAS n = 9	Media	48,82	29,25	1,93	149,12	1,28	0,12	2,52	23,93	32,35	0,28	106,53	162,58	162734,49	5708,81	3351,68	4053,69	88654,65	4085,34
		Desv. típ.	45,11	9,56	0,59	47,74	0,33	0,13	1,01	13,57	6,72	0,14	32,18	24,67	42969,33	1784,89	909,07	1097,89	24306,14	1028,27
	SECA = 24	Media	62,86	32,63	1,79	156,87	1,58	0,06	3,83	26,19	58,73	0,31	88,33	172,86	178462,72	5928,33	3433,67	4459,82	98177,65	3959,57
		Desv. típ.	29,19	6,85	0,80	43,75	0,24	0,01	1,17	5,38	19,76	0,17	16,11	18,26	27775,72	1063,86	582,38	770,35	21966,23	715,47
	Total	Media	59,03	31,71	1,83	154,76	1,50	0,08	3,48	25,58	51,54	0,30	93,29	170,05	174173,20	5868,46	3411,31	4349,06	95580,46	3993,87
		Desv. típ.	34,08	7,68	0,74	44,24	0,30	0,07	1,26	8,24	20,84	0,16	22,65	20,33	32660,37	1272,71	672,12	872,70	22650,71	797,18
D	LLUVIAS n = 45	Media	113,17	54,78	1,83	217,41	2,00	0,07	4,12	21,72	41,74	0,60	122,16	170,41	179092,08	6481,85	3720,93	4559,06	100025,61	4287,83
		Desv. típ.	34,39	12,44	0,84	71,90	0,45	0,01	3,28	5,04	13,38	0,94	24,51	33,31	31448,81	1513,94	627,44	845,32	17343,43	781,97
	SECA = 28	Media	91,31	46,58	2,49	213,84	1,94	0,08	2,81	26,88	57,57	0,75	110,85	164,35	177275,32	6494,59	3606,00	4548,13	97229,19	4193,55
		Desv. típ.	28,14	13,46	0,52	58,42	0,40	0,01	2,41	7,74	15,88	0,88	23,94	25,40	26059,08	915,10	609,59	474,31	17705,19	779,17
	Total	Media	104,79	51,63	2,09	216,04	1,98	0,07	3,62	23,70	47,81	0,65	117,83	168,08	178395,24	6486,74	3676,85	4554,87	98953,01	4251,67
		Desv. típ.	33,68	13,36	0,80	66,65	0,43	0,01	3,02	6,66	16,25	0,92	24,76	30,48	29323,21	1309,49	618,95	721,85	17413,97	776,83

Parque Nacional Cumbres del Ajusco

Parque Nacional Desierto de los Leones

Lluvias = mayo - octubre 1996; Seca = noviembre 1996 - abril 1997

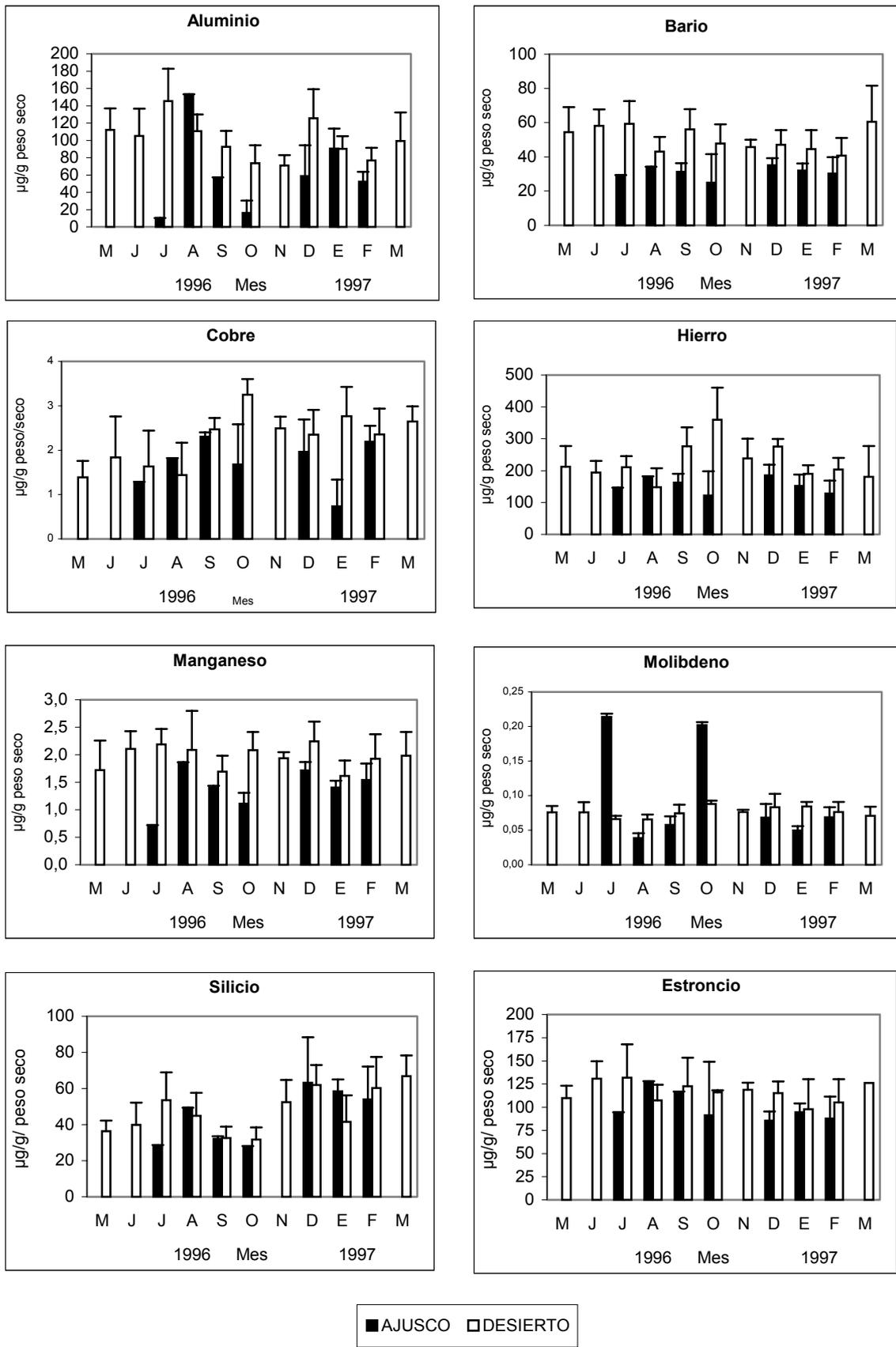


Figura 15. Distribución mensual de algunos de los elementos detectados en el hueso de *Peromyscus difficilis* (X±DS).

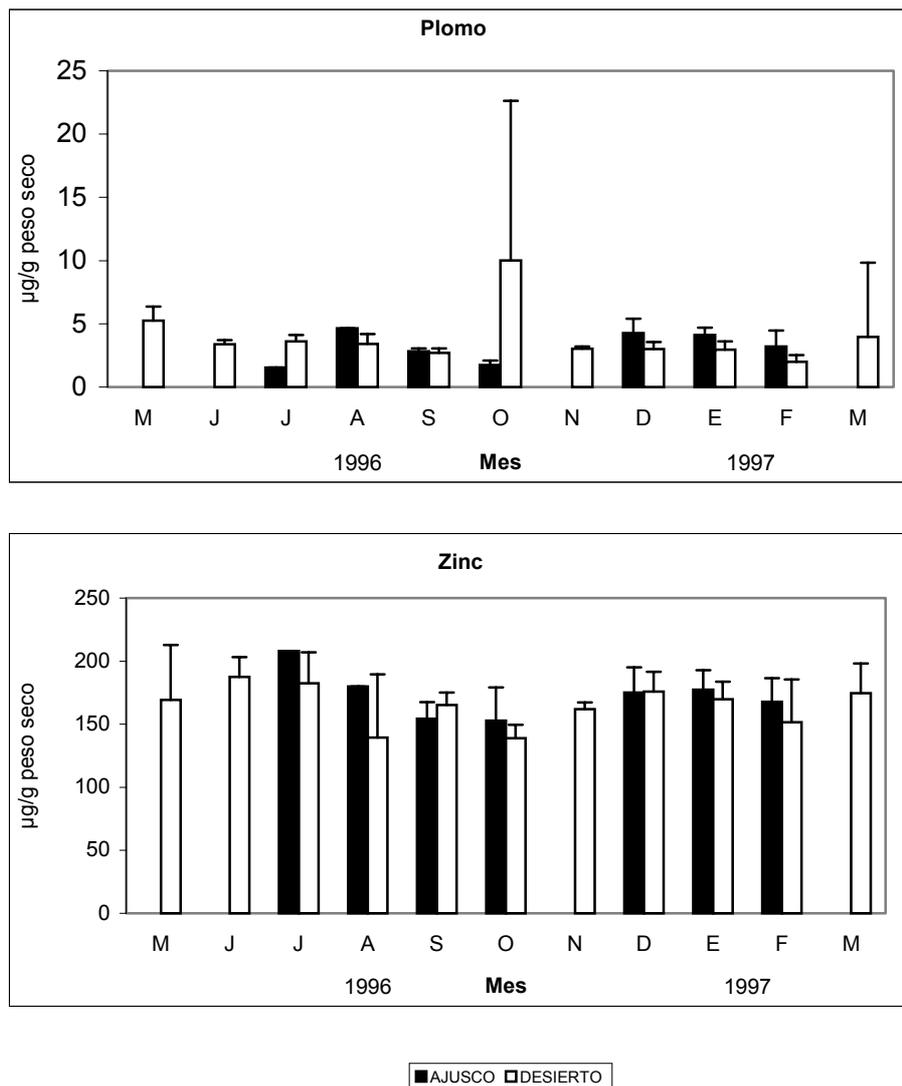


Figura 16. Distribución mensual del plomo y zinc en el hueso de *Peromyscus difficilis* ($\bar{X} \pm DS$)

Tabla 55. Contrastes univariados entre zonas de estudio (Ajusco y Desierto), de los elementos detectados en el hueso de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas; $p < 0,05$)

Elemento ^a		Suma de cuadrados	gl	F	Sig
Ba	Contraste	0,99	3	20,41	0,0000
	Error	1,56	97		
Fe	Contraste	0,48	3	6,72	0,0004
	Error	2,30	97		
Mn	Contraste	0,13	3	12,01	0,0000
	Error	0,36	97		
Pb	Contraste	0,45	3	7,36	0,0002
	Error	1,97	97		
Si	Contraste	0,80	3	17,78	0,0000
	Error	1,45	97		
Sr	Contraste	0,26	3	5,61	0,0014
	Error	1,49	97		
Al	Contraste	3,35	3	13,78	0,0000
	Error	7,85	97		
Cu	Contraste	0,14	3	5,07	0,0026
	Error	0,90	97		
Mo	Contraste	0,00	3	4,50	0,0054
	Error	0,02	97		

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

Tabla 57. Comparación entre zonas de estudio de los metales detectados en el hueso de *Peromyscus difficilis* considerando la época de captura (comparaciones significativas)

ELEMENTO ^a	ÉPOCA		Diferencia entre medias (I, J)	Error tip.	Sig. ^b
	(I)	(J)			
Ba ^c	LLA	LLD	-0,27	0,05	0,0000
	LLA	SD	-0,21	0,05	0,0002
	SA	SD	-0,15	0,04	0,0004
	LLD	SA	0,21	0,03	0,0000
Fe ^c	LLA	LLD	-0,17	0,06	0,0202
	LLA	SD	-0,17	0,06	0,0234
	SA	SD	-0,14	0,04	0,0087
	LLD	SA	0,14	0,04	0,0052
Mn ^c	LLA	LLD	-0,11	0,02	0,0000
	LLA	SD	-0,11	0,02	0,0000
	SA	SD	-0,05	0,02	0,0122
	LLD	SA	0,06	0,02	0,0029
Pb ^c	LLA	LLD	-0,15	0,05	0,0297
	SA	SD	0,13	0,04	0,0093
	LLD	SD	0,14	0,03	0,0007
Si ^c	LLA	SA	-0,24	0,05	0,0000
	LLA	SD	-0,23	0,05	0,0000
	LLD	SA	-0,16	0,03	0,0000
	LLD	SD	-0,16	0,03	0,0000
Sr ^c	SA	SD	-0,10	0,03	0,0366
	LLD	SA	0,13	0,03	0,0006
Al ^d	SA	SD	-0,27	0,10	0,0466
	LLD	SA	0,35	0,10	0,0062
Cu ^d	SA	SD	-0,10	0,03	0,0099
	LLD	SD	-0,07	0,02	0,0020
Mo ^d	SA	SD	-0,01	0,00	0,0059

^a Datos con transformación logarítmica ($X' = (\log(X + 1))$).

^b La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

^c DHS de Tukey ; ^d Games-Howell

5.4.3.6 DISCUSIÓN.

La distribución del Pb en los órganos y hueso analizados de *P. difficilis* es similar al observado en *P. melanotis* y *M. mexicanus*, con una menor concentración pulmonar que ósea, a pesar de lo cual se observa un incremento no significativo en los dos sitios de captura en la temporada seca en el pulmón, que puede ser producto de procesos similares de deposición atmosférica y/o que el microhábitat en el que se distribuyen en las dos localidades les proteja en un sitio más que otro contrarrestando las diferencias que pudieran existir, así como la velocidad de incorporación al torrente sanguíneo lo cual depende en parte del tamaño de la partícula así como de la solubilidad de la misma.

La menor concentración de Pb óseo en los ejemplares capturados en el Ajusco en la temporada seca, no se corresponde con la misma tendencia obtenida en *P. melanotis* y *M. mexicanus*; la separación de hábitat característico de especies simpátricas influiría en los niveles de exposición, calidad y tipo de alimento que se consume, especialmente si consideramos la variabilidad de concentraciones obtenidas de este elemento así como de otros metales reportadas en el suelo de la zona por Castro (1995), Fenn *et al.* (1999), Quiroz & Ilangovan (1999), Watmough & Hutchinson (1999) y Gaso *et al.* (200), que si bien no se corresponden exactamente con los sitios y época de captura, nos dan una idea aproximada de las concentraciones existentes en la zona.

La preferencia de *P. difficilis* por las zonas rocosas y un mayor consumo de frutos de *Quercus* (Baker, 1968), así como variaciones en la estructura de edades con una mayor incorporación de individuos juveniles en el Desierto, influirían en las concentraciones de Pb obtenidas, lo que se explica por las diferencias obtenidas en el peso e ICC (índice de condición del cuerpo relación peso-talla) entre poblaciones, a pesar de lo cual no se observa un comportamiento claramente estacional del Pb en los muestras analizados.

La presencia de un mayor número de hembras gestantes obtenido durante las capturas en el Desierto sugiere una actividad reproductora más elevada, con una movilidad de Pb hacia el feto (Enomoto & Hirunuma, 2001); siendo el hueso una fuente de exposición endógena que ha cobrado importancia en la actualidad (Sanin *et al* 1998)

El Pb puede regresar a la sangre después de disminuir la exposición exógena o en circunstancias patológicas y fisiológicas que implique una mayor resorción ósea (Gulson *et al* 1997), la reducción del contenido de Pb en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* de la zona del Desierto de los Leones a partir de 1990 posiblemente debidos, a la menor concentración en el ambiente en los últimos años, producto de la introducción de gasolinas sin Pb (Watmough & Hutchinson, 1999), ejemplariza en parte porque a pesar de que en la temporada seca se incrementa la contaminación atmosférica los valores de Pb en el pulmón no sufre variaciones importantes.

La influencia del Pb sobre los animales puede no presentar comportamientos similares a los de la vegetación, ya que cada individuo que se incorpore a la población además de su carga génica trae consigo la incorporación del Pb a sus tejidos y órganos, acumulados en su desarrollo intrauterino y durante la lactancia dependiendo de las concentraciones existentes en la progenitora y los procesos de absorción y reabsorción presentados durante la gestación. Se calcula que la población de la Ciudad de México sufrirá los efectos del Pb por varias décadas debido a la acumulación del Pb en el tejido óseo en años previos y a pesar de la reducción de los niveles ambientales (Sanin, 1998).

El comportamiento del Rb si bien no mostró concentraciones tan elevadas como las de *M. mexicanus* fueron superiores a las detectadas en *P. melanotis* observándose escasa diferencia entre zonas.

Si consideramos la explotación de un determinado microhábitat por esta especie, tomando como punto de referencia las concentraciones obtenidas en el Rb y asumiendo lo propuesto por Tyler (1997) y Nyholm & Tyler (2000), tendríamos que la influencia de la lluvia ácida y/o el pH del suelo afecta en forma muy similar a las dos poblaciones de *P. difficilis*; no obstante los niveles de Sr, Ba y Mo presentan una mayor concentración en los ejemplares capturados en el Desierto contrario a lo observado en *P. melanotis* y *M. mexicanus*, lo que puede ser producto de una concentración mayor en el alimento consumido y/o un consumo más elevado del mismo.

Los mecanismos de incorporación del Rb son poco estudiados, aun cuando en especies cultivadas se han detectado variaciones importantes (Kabata-Pendias & Pendias, 2001), en tanto que en condiciones naturales se cuenta con poca información.

Las concentraciones de Sr en el pelo de los ejemplares del Desierto confirma el grado de disponibilidad de este elemento en la zona, siendo *P. difficilis* la especie que presentó la mayor acumulación; como ya discutimos en el apartado dedicado a *Microtus* las variaciones en las concentraciones de elementos en el pelo pueden verse

influenciadas por la contaminación externa, los datos obtenidos en si mismos sugieren una mayor exposición de estos organismos bien sea a través del consumo alimenticio o por la exposición ambiental en las zonas donde se desplaza.

El comportamiento descendente del K, Ca y Mg en los meses de octubre y noviembre en el pelo, puede tener en parte relación con la muda y el consiguiente incremento ocasionado por la deposición externa y la edad de los organismos, especialmente si tomamos en cuenta que dichos elementos son los que menos se eliminan con el proceso de limpieza elegido (Chyla *et al.*, 2000), y se acumulan con la edad (Rodenas de la Rocha *et al.*, 2003), la mayor concentración de Ca y Mg en los organismos del Desierto se contrapondría con la posibilidad de que las diferencias encontradas se deben a la edad de los ejemplares.

El Fe detectado en el pulmón es más elevado que el encontrado en el resto de órganos analizados así como el obtenido en *M. mexicanus* y *P. melanotis*, lo que bien puede ser característico de la especie y/o producto de una respuesta al estrés oxidativo (Özen *et al.*, 2003) ocasionado por el material particulado detectado en el análisis patológico (capítulo 4).

Las *PM₁₀* generan radicales libres involucrando al Fe (Smith *et al.*, 1998); de igual forma los compuestos de Fe y óxidos de Fe pueden producir siderosis benignas (Gurzau *et al.*, 2003), a nivel hepático se observa una concentración significativamente más elevada en los ejemplares del Desierto con escasa diferencia entre poblaciones en el riñón en la temporada seca.

Aun cuando los niveles de Fe en el pulmón no pueden considerarse tóxicos si pueden tener relación los procesos de neumoconiosis y junto con el Cu, con la presencia de lipofucsina en el hígado y los procesos inflamatorios observados en mayor proporción en la población del Desierto, ya que un ligero exceso de Fe puede contribuir al daño hepatocelular ocasionado por virus (Gurzau *et al.*, 2003).

Las concentraciones de Cu presentan un comportamiento muy similar al encontrado en *P. melanotis* con un considerable aumento conforme avanzó el estudio, sin mostrar un claro descenso al final del mismo, en esta especie sólo se detectó un organismo sospechoso de toxoplasmosis, siendo probable que dicho incremento sea ocasionado por la disponibilidad de alimentos ricos en cobre, con independencia de los procesos inflamatorios, y dependa exclusivamente de la mayor movilidad de este nutriente en la zona, no obstante los niveles detectados de Cu no fueron tan elevados como los observados en *P. melanotis* a pesar de lo cual fue la única especie que

presentó una distribución representativa de pigmento de lipofuscina en las células de Kupffer (Capítulo4).

La comprensión de los mecanismos de incorporación de Mo se ha estudiado ampliamente en rumiantes en donde los niveles de Mn, Zn, Fe, Pb, ácido ascórbico, metionina, cisteína y proteína influyen en su metabolismo (NRC, 1980).

En rumiantes con deficiencias de Cu en el suplemento alimenticio se favorece la entrada de Mo, en estas especies no parece observarse un comportamiento similar, por el contrario el Mo permanece constante o tiende a incrementarse a mayor concentración de Cu en hígado que bien puede ser producto del metabolismo intrínseco de la especie; en cerdos se ha observado que el incremento Mo en la dieta promueve la presencia de Cu hepático y renal en contraste con lo que ocurre en rumiantes (NRC, 1980).

De igual forma las pautas de comportamiento en la alimentación en condiciones naturales pueden influir ya que la mayor parte de los estudios realizados en laboratorios están en función de formulas comerciales donde las concentraciones de los minerales esenciales se suministran en igual proporción a lo largo del tiempo, en tanto que en condiciones naturales los individuos varían su ingesta en función de la disponibilidad de su alimento base.

Aun cuando la tolerancia al Mo varia entre especies en general depende de los niveles de Cu y sulfatos en la dieta, donde un exceso Mo está relacionado con retraso en el crecimiento y alteraciones en el metabolismo del Cu, dichas alteraciones se corrigen con la incorporación de Cu y sulfato inorgánico en la dieta (NRC, 1980), aunque en roedores el S endógeno parece no funcionar en la misma forma que en rumiantes (Cook *et al.*, 1966); la incorporación de materia vegetal seca a la dieta en condiciones de estrés alimenticios podría ocasionar un incremento o descenso en la presencia de Mo si tomamos en cuenta que la movilidad de Mo, depende de la madurez de la planta y que uno de los efectos de la contaminación ambiental en las zonas de estudio es la senectud temprana, la disponibilidad de este nutriente se vería afectada en función del daño ocasionado y etapa de crecimiento en que se encuentre la vegetación .

Si consideramos que la influencia directa de metales pesados sobre el aparato respiratorio es similar en las dos localidades debido a la escasa diferencia detectada en el pulmón, las diferencia existente entre poblaciones, están controladas aparentemente por el alimento. La acumulación de Cu con similar tendencia implica que están explotando el mismo recurso y/o presentan procesos patológicos similares que influyen en el metabolismo del Cu, así como la menor acumulación en los ejemplares de Ajusco

puede ser producto de la calidad del insumo alimenticio. Gaso *et al.*, (2000) no encuentran variaciones en los niveles de Cu en la zona, en tanto que en el análisis dendrológico realizado por Watmough & Hutchinson, (1999) en *A. religiosa* los valores de Cu muestran un incremento atribuido a su desarrollo natural.

La acumulación de Cd, en mayor proporción en el riñón que en el hígado sugiere que la vía principal de exposición es alimenticia más que la respiratoria, sin embargo debido probablemente a los bajos niveles y al límite de cuantificación de la técnica utilizada no se logró determinar su estatus a nivel respiratorio, lo que puede ser producto de una escasa exposición respiratoria y/o una rápida translocación al resto de órganos.

En investigaciones de laboratorio, concentraciones menores de 20 ppm de Cd en la comida o agua Whelton *et al* (1997) encuentran en ratas, ratones y perros que la acumulación renal es de casi el doble de la detectada a nivel hepático, en contraste la ingestión o administración mediante inyección intraperitoneal de concentraciones mayores de 50 ppm, el patrón renal-hepático del Cd se invierte con una mayor acumulación en el hígado; Oishi *et al.* (2001) encuentran similar comportamiento a concentraciones 1,24 ppm de ClCd_2 en arroz contaminado o en la dieta de ratas durante dos meses con diferencias entre hígado y riñón más acusadas que las observadas por Whelton *et al.* (1997).

En las muestras analizadas de esta especie en ningún caso se obtuvo una mayor concentración de Cd hepático que la renal; y considerando las tres especies sólo en 11 ejemplares se detectó un comportamiento diferente, de tal forma que podemos suponer por un lado que la ingestión de este elemento es crónica y de grado moderado, incrementándose durante la temporada de lluvias probablemente debido a la mayor movilidad de este elemento por la influencia de la lluvia ácida y a la acumulación previa. Watmough & Hutchinson (1999), observan un incremento de Cd en los últimos años en ejemplares de *A. religiosa* en el Desierto, aunque en los análisis del material particulado realizados por Mugica *et al.* (2002) las concentraciones existentes no fueron elevadas.

Si consideramos los estudios realizados en laboratorio por diversos investigadores, sería poco probable que las concentraciones de Cd obtenidas por si mismas generen daño renal o hepático, ya que es necesario la saturación de los dos órganos (Bernard *et al.*, 1981) aun cuando las concentraciones obtenidas están por encima de lo reportado en la compilación de estudios de varias especies de

micromamíferos realizada por Talmage & Walton (1991) y las concentraciones reportadas por Górriz (1995) en *A. sylvaticus* y las detectadas en *P. melanotis* y *M. mexicanus* en este estudio.

En condiciones controladas los individuos no sufren las mismas condiciones de estrés a las que están sometidas las especies silvestres, por lo que la acumulación crónica de ciertos metales pueden interferir con la asimilación de micronutrientes y dependiendo de las concentraciones presentes de Cd en el alimento, es probable que se incremente la susceptibilidad a lesiones en la mucosa gástrica (Asar *et al* 2000), ya que la primera interacción tiene lugar a nivel gastrointestinal (Groten & Van Bladen, 1994), de igual forma la excreción urinaria del Cd se incrementa en fallos renales, (EHC134, 1992).

P. difficilis presenta una mayor concentración de Cd hepático que la observada en *P. melanotis* y *M. mexicanus*, que bien puede ser producto de los hábitos tanto alimenticios como del microhábitat al que se encuentre asociado; en ratones de laboratorio la asimilación de Cd es mayor en dietas sintéticas que las realizadas a base de granos (Whelton *et al.*, 1993), de igual forma la posibilidad de ingestión de material particulado depositado sobre la cubierta vegetal puede incrementar las dosis de cualquiera de los elementos analizados especialmente en la temporada seca y dado la evolución natural del bosque dicha influencia será mayor en los bosques menos conservados cuyo estrato arbóreo este más alterado.

Los niveles de Zn detectados son más elevados a nivel pulmonar que los observados en *P. melanotis* y *M. mexicanus*, con valores inferiores en el riñón, dichas variaciones pueden ser producto del tipo de dieta y/o el metabolismo intrínseco de esta especie, dietas deficientes en Zn producen una reducción en la inmunocompetencia y disminuyen la resistencia a infecciones (Prasad *et al.*, 2000), si bien sólo se observan diferencias entre las dos poblaciones en las concentraciones hepáticas, los niveles detectados son inferiores a los reportados en *Apodemus sylvaticus* (Górriz, 1995), especialmente en las concentraciones detectadas en el riñón, aún cuando los valores obtenidos en pelo son mayores, en humanos con un aporte deficiente de Zn las concentraciones en pelo y corazón se mantienen constantes mientras que las concentraciones en hueso e hígado se reducen considerablemente (King *et al.*, 2000).

Si tomamos en cuenta que se han reportado deficiencias en este micronutriente en la vegetación de la zona (Alvarado *et al.*, 1993; Watmough & Hutchinson, 1999), es probable que de ocurrir alguna alteración tenga como resultado una deficiencia y esta

afectaría en mayor grado a la población del Desierto donde se observó un mayor desarrollo de procesos inflamatorios.

La presencia de Mn en el pelo de los ejemplares, puede estar relacionada con el color del pelaje ya que las tonalidades oscuras como el negro y el café acumulan concentraciones más elevadas debido a que el Mn está relacionado con las estructuras melánicas (Cotzias *et al.*, 1964), observándose una mayor acumulación en el Desierto aunque con cierto comportamiento estacional descendente similar al observado en el pulmón producto tal vez del metabolismo de Mn en esta especie, de la edad de los ejemplares y de la generación de la muda a pesar de lo cual los valores obtenidos en el Ajusco no llegan a ser tan elevados en ningún momento y los niveles detectados en hueso son significativamente superiores en el Desierto con concentraciones muy similares entre épocas.

Alteraciones en el mecanismo del Ca ocasionan que el Mn y el Al se acumulen en hueso (Yasui *et al.*, 1995), no se observaron variaciones significativas en el calcio, sin embargo si se detectaron concentraciones significativamente más elevadas de Al en los ejemplares del Desierto con un comportamiento similar al Mn.

La influencia de la lluvia ácida afecta la superficie foliar al lixiviar sus constituyentes básicos (Lovett *et al.*, 1985), alterando el desarrollo y la calidad nutricional de la misma; este proceso puede neutralizar el pH original del agua de lluvia, pero impide la formación de la cutícula foliar (Sayre *et al.*, 1999). Saavedra-Romero *et al.* (2003) encuentran que el pH del agua de lluvia es más ácido en los claros del bosque que en el agua colectada de escurrimientos foliares de *A. religiosa* en el Desierto y que al parecer no afecta las concentraciones de K^+ y Mg^{2+} existentes en los escurrimientos hídricos, por lo que concluyen que probablemente otros cationes intervengan en el proceso de neutralización del agua de lluvia.

Para las especies de peromicinos habitantes de las rocas pueden ser restrictivos los salientes rocosos, sin embargo las bellotas son el alimento favorito de los “rock-dwellers” como *P. boylei*, *P. truei* y *P. difficilis* por lo que estas especies están estrechamente relacionadas a la vegetación (Baker, 1968), siendo probable que las divergencias entre esta especie y *M. mexicanus* y *P. melanotis* en cuanto a las concentraciones de elementos reflejen más directamente las alteraciones del bosque de *Abies* y *Quercus* mientras que *M. mexicanus* sea un indicador del estrato herbáceo y *P. melanotis*, refleje una combinación de los dos microambientes, debido a su preferencia de invadir ambientes perturbados.

Por otra parte si nos atenemos a la escasa diferencia entre poblaciones en el Rb, con independencia del resto de concentraciones, y dada la estrecha relación de *P. difficilis* con el tipo de vegetación podríamos suponer que el proceso de sucesión en los dos bosques presenta mecanismos muy cercanos de alteración, sin embargo queda por resolver los mecanismos de incorporación de Rb en la cadena trófica y si realmente estos son independientes de las concentraciones en el sustrato.

La posibilidad de utilizar metales con escaso control homeostático y relacionados con elementos tan esenciales para la vida como el K y dependientes del pH, podrían ser mejores indicadores de la movilidad de elementos y por ende de los procesos de acidificación y pérdida de nutrientes que están sufriendo los bosques del Valle de México.

Sin embargo los estudios realizados en la zona a nivel de vegetación, no contemplan este elemento quizás por el desconocimiento de una clara función fisiológica y escasa toxicidad, lo que hace necesario su estudio.

Así mismo si bien no presentan una gran acumulación de elementos tóxicos, comparada con otros estudios, se puede deber a factores intrínsecos de la dinámica del bosque que ocasiona una mayor movilidad de metales pesados hacia capas profundas con pérdida de nutrientes debido a la precipitación ácida y/o el efecto de los gases oxidantes sobre la cubierta vegetal, así como al efecto de la materia orgánica y el tipo de alimento consumido.

Por otra parte dadas las diferencias detectadas que sugieren alteraciones en el balance de micronutrientes en las dos poblaciones, es de especial interés los niveles de Mo y Rb, poco estudiados en poblaciones silvestres así como el Cu y el Cd.

5.4.3.7 CONCLUSIONES.

En *Peromyscus difficilis* las diferencias significativas más sobresalientes fueron: en el pulmón en el Rb con concentraciones mayores en los ejemplares del Desierto; en el riñón en Cd, Cr y Mo superiores en el Ajusco e inferiores de Co, con diferencias a nivel estacional en Cd y Mo (Ajusco) y Ni y Cr (Desierto); en hígado los valores de Cu, Fe, Mo, Zn más elevados los presentan los individuos del Desierto. En el pelo se presenta una mayor acumulación de Al, Ba, Cu, Fe, Mo, Si, Sr, K en los ejemplares del Desierto con variaciones estacionales en el Ba y Mn; en el hueso las diferencias se localizaron en los valores más elevados de Al, Ba, Cu, Fe, Mn, Pb, Si y Sr detectados en la temporada seca en el Desierto y las variaciones estacionales del Pb, Si y Cu. Si bien las diferencias significativas obtenidas en la temporada de lluvias muestran en algunos metales la misma tendencia que las obtenidas en la época seca estas se deben tomar con precaución debido a las diferencias en el tamaño y distribución de las muestras obtenidas en el Ajusco.

Las dos poblaciones presentan patrones de asimilación de Cd renal cuyos niveles en conjunción con los valores de Pb y Al en hueso pueden estar afectando el estado nutricional y sanitario de las dos poblaciones estudiadas en mayor proporción durante la temporada seca que bien pueden haber influido en el desarrollo de un mayor número de patologías inflamatorias en los ejemplares del Desierto.

Las modificaciones en las concentraciones de Cu y Mo hepáticas, Cr renal y Mn óseo pueden estar afectando el metabolismo de carbohidratos y lípidos en la población del Desierto y con ello el desarrollo de los ejemplares capturados.

5.5 BIBLIOGRAFÍA.

- Alvarado, D., Bauer, L. I. de & Galindo, J. 1993 Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of México City. *Environmental Pollution* 80(1):115-121.
- Anderson, R. A. 1998. Recent Advances in the Clinical & Biochemical Manifestation of Chromium Deficiency in Human and Animal Nutrition. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine* 11(2):241-250.
- Anderson, R. A. 2000. Chromium in the prevention and control of diabetes. *Diabetes and Metabolism*. 26(1):22-27.
- Asar, M., Ü. A. Kayisli, V. N., Izgüt-Uysal, G. Öner, M. Kaya & S. Polat. 2000. Cadmium-Induced changes in epithelial cells of the rat stomach. *Biological Trace Element Research* 77(1):65-77.
- Barany E., I. A. Bergdahl, L. Bratteby, T. Lundhd, G. Samuelson, A. Schutzd, S. Skerfvingd & A. Oskarssona Ž. 2002. Trace element levels in whole blood and serum from Swedish adolescents. *The Science of the Total Environment* 286(1):129-141.
- Barceló, J. & C. Poschenrieder. 2002. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environmental and Experimental Botany* 48 (1): 75–92
- Baker, 1968. Habitats and distributions. In *Biology of Peromyscus* (Rodentia) ed. J. King. *Special publications* 2:98-126.
- Batzli, G.O. & F. A. Pitelka. 1971. Condition and diet of cycling population on the california vole *Microtus californicus*. *Journal of Mammalogist* 53(2):336-346.
- Batzli, G. O. 1986. Nutritional ecology of the California vole: Effects of food quality on reproduction. *Ecology* 67():406-412.
- Bauer, L. I. de & Krupa, S. V. 1990. The Valley of Mexico: summary of observational studies on its air quality and effects on vegetation. *Environmental Pollution* 65(1):109-118.
- Bench, G., M. H. Corzett, R. Martinelli & R. Balhorn. 1999. Cadmium concentrations in the Testes, Sperm, and Spermatids of Mice Subjected to Long-Term Cadmium Chloride Exposure. *Cytometry* 35(1):30–36.

- Bernard, A., R. Lauwerys & P. Gengoux. 1981. Characterization of the proteinuria induced by prolonged oral administration in female rats. *Toxicology* 20(4):345-357.
- Bibak, A. & Borggaard, O. K. 1994. Molybdenum adsorption by aluminum and iron oxides and humic acid. *Soil Science* 158():323-328.
- Bonner, J. C., A. B. Rice, P. M. Lindroos, P. O. O'Brien, K. L. Dreher, I. Rosas, E. Alfaro-Moreno & A. R. Osornio-Vargas. 1998. Induction of the Lung Myofibroblast PDGF Receptor System by Urban Ambient Particles from Mexico City. *American Journal of Respiratory Cell Molecular Biology* 19(4):672-680.
- Castro, J. M., González, V. & Hernández Tejeda, T. (1995) Metales pesados en los suelos del Desierto de los Leones, Distrito Federal. *Ciencia Forestal* 20(77), 101-112.
- CENAPRED. 2003. Centro Nacional para la Prevención de Desastres. Coordinación General de Protección Civil. <http://tornado.cenapred.unam.mx/>.
- Chaurmad, C., F. Forestier & M. A. Quero. 1991. Influence of inhaled cadmium on the immune response to influenza virus. *Archives of environmental health* 46(1):50-56.
- Chinoy, N. J & T. N. Patel. 2001. Effects of sodium fluoride and aluminium chloride on ovary and uterus of mice and their reversal by some antidotes. *Fluoride* 34(1):19-20. Research Report 9.
- Chow, J.C., J. G. Watson, S. A. Edgerton, E. Vega. 2002. Chemical composition of PM_{2,5} and PM₁₀ in Mexico City during winter 1997. *The Science of the Total Environment* 287(1):177-201.
- Christian, D. P. 1989. Effects of dietary sodium and potassium on mineral balance in captive meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*). *Canadian Journal of Zoology* 67(1):168-177.
- Chyla, M.A. & W. Żytnicki. 2000. Determination of metal concentration in animal hair by the ICP method. *Biological Trace Element Research* 75():187-195.
- CICAD12, 1999. Manganese and its compounds (No. 12). Concise International Chemical Assessment Documente. http://www.who.int/pes/pubs/pub_cicad_alph.htm#L.
- Claverie, C., R. Corbella, D. Martin & C. Diaz. 2000. Protective effects of zinc on cadmium toxicity in rodents. *Biological Trace Research* 75(1):1-9.

- Cook, G. A., A. Lesperance, V. R. Bohman & E. H. Jensen. 1966. Interrelationship of molybdenum and certain factors to the development of the molybdenum toxicity syndrome. *Journal of Animal Science* 25(1):96-103.
- Cotzias, G. C., S. T. Miller & J. Edwards. 1966. Neutron activation analysis the stability of manganese concentrations in human blood and serum. *Journal of Laboratory Clinical Medicine* 67:836-849.
- Depledge, M. H. 1989. Re-evaluation of copper and zinc requirements in decapod crustaceans. *Marine Environment Research* 27, 115-126.
- Dick, 1956. Molybdenum in animal nutrition. *Soil Science* 81:229.
- Dorian, C., Gattone VH, Klaassen C. D. 1992. Accumulation and degradation of the protein moiety of cadmium-metallothionein (CdMT) in the mouse kidney. *Toxicology and Applied Pharmacology* 117(2):242–248.
- EHC003. 1997. Lead. Environmental Health Criteria 3. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc003.htm>
- EHC061. 1988. Chromium. Environmental Health Criteria 61. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc61.htm>.
- EHC134. 1992. Cadmium. Environmental Health Criteria 134. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm>
- EHC194. 1997. Aluminium. Environmental Health Criteria 194. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm>.
- EHC221. 2001. Zinc. Environmental Health Criteria 3. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization.
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc221.htm>
- Ellis, H. A, J. H McCarthy & J. Herrington. 1979. Bone aluminium in haemodialysed patients and in rats injected with aluminium chloride: relationship to impaired bone mineralization. *Journal of Clinical Pathology* 32:832-844.
- Enomoto, S. & R. Hirunuma. 2001. Fetoplacental transport of various trace elements in pregnant rat using the multitracer technique. *Riken Review* 35(5):31-34.

- Fenn, M. E., Bauer, L. I. de, Quevedo, A. & Rodríguez, C. 1999. Nitrogen and sulfur deposition and forest nutrient status in the Valley of Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution* 113:155-174.
- Flores-Tena, F. J., E. M. Muñoz-Salas & O. Morquecho-Buendía. 1999. Absorción de cromo y plomo por alfalfa y pasto ovinillo. *Agrociencia*. 33(4):381-388.
- Fortoul, T. I., R. C. Salgado, S. G. Moncada, I. G. Sánchez, I. E. López, G. Espejel, N. L. Calderón & L. Saldivar. 1999. Ultrastructural findings in the murine nonciliated bronchiolar cells (NCBC) after subacute inhalation of lead acetate. *Acta Veterinaria BRNO* 68(1):51-55.
- Fortoul, T. I., M. L. Mendoza, M. C. Ávila, A. Q. Torres, L. S. Osorio, G. M. Espejel, G. O. Fernández. 2001. Manganese in lung tissue: study of Mexico City residents' autopsy records from the 1960s and 1990s. *Archives of Environmental Health* 56(2):187-90.
- Frank, A., D. R. Shell, R. Danielsson, J. F. Fogarty & V. M. Monnier. 2000a. A syndrome of molybdenosis, cooper deficiency and type 2 diabetes in the moose population of south-west-Sweden. *The Science of the Total Environment*. 249(1)123 - 131.
- Frank, A., M. Anke & R. Danielsson. 2000b. Experimental copper and chromium deficiency and additional molybdenum supplementation in goats I. Feed consumption and weight development. *The Science of the Total Environment* 249(1-3):133-142.
- Galsomiès, L., S. Ayrault, F. Carrot, C. Deschamps & M.A. Letrouit-Galinou. 2003. Interspecies calibration in mosses at regional scale-heavy metal and trace elements results from Ile-de-France. *Atmospheric Environment* 37(2):241–251.
- Gambarana, C., O. Ghiglieri, F. Masi, S. Scheggi, A. Tagliamonte & M. G. De Montis. 1999. The effects of long-term administration of rubidium or lithium on reactivity to stress and on dopamine output in the nucleus accumbens in rats. *Brain Research* 826(2):200–209.
- Gasó, B. Ma. Isabel, Ma. De Nuria Segovia & Lourdes Cervantes. 2000. Algunos hongos comestibles silvestres como indicadores biológicos de contaminación en los bosques de la Sierra del Chichinautzin, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Programa Conserva. Departamento del Distrito Federal. 102 pp.
- Getz, L., L. Verner & M. Prather. 1977. Lead concentrations in small mammals living near highways. *Environmental pollution* 13(2):151-157.

- Getz, L. 1985. Habitats. In: Biology of New World Microtus (ed. Robert H. Tamarin). Special Publication of American Society Mammalogist. 8, 893 pp.
- Giertych, M. J., P. Karolewski & L. De Temmerman. 1998. Foliage age and pollution alter content of phenolic compounds and chemical elements in *Pinus nigra* needles. Water, Air, and Soil Pollution 110(4):363-377.
- Goldberg, S. & H. S. Forster. 1998. Factors affecting molybdenum adsorption by soils and minerals. Soil science 163(2):109-114.
- Golub, M.S., S. L. Germann & C. L. Keen. 2003. Developmental aluminum toxicity in mice can be modulated by low concentrations of minerals (Fe, Zn, P, Ca, Mg) in the Diet. Biological Trace Element Research 93(1-3):213-225.
- Gómez-Ugalde R. M. 1989. Efectos de fuegos controlados sobre la ecología de las poblaciones de pequeños roedores en un pastizal alpino en la Cima, D.F., México. Tesis de Profesional. ENEP-Zaragoza, U.N.A.M. 105 pp.
- Górriz, F. M. A. 1995. Efectes de la Contaminació atmosfèrica a *Apodemus sylvaticus* i *Mus musculus*. Universitat de Barcelona Tesis Doctoral. 228 pp.
- Groten, J. P. & P. J. Van Bladern, P. J. 1994. Cadmium bioavailability and health risk in food. Trends Food and Science Technology 5(1):50-55.
- Gulson, B. L., C. W. Jameson, K. R. Mahaffey, K. J. Mizon, M. J. Korsch & G. Vimpani . 1997. Pregnancy increases mobilization of lead from maternal skeleton. Journal of Laboratory and Clinical Medicine 130(1):51-62.
- Gurzau, E. S., C. Neagu & A. E. Gurzau. 2003. Essential metals—case study on iron. Ecotoxicology and Environmental Safety 56 (1):190–200.
- Hasting, J. D., P. J. Christian, T. E. Manning & C. C. Harth. 1991. Sodium and potassium effects on adrenal-gland indices of mineral balance in meadow voles. Journal of Mammalogy 72:641-651.
- Hale, K. L., S. P. McGrath, E. Lombi, S. M. Stack, N. Terry, I. J. Pickering, G. N. George, & E.A .H. Pilon-Smits. . 2001. Molybdenum Sequestration in Brassica Species. Plant Physiology 126:1391–1402,
- Hirate, M., A.Takeda, H. Tamano, S. Enomoto, Naoto Oku. 2002. Distribution of trace elements in the brain of EL (epilepsy) mice. Epilepsy Research 51(1):109-116.
- Hooper, T. E. 1968. Classification. In Biology of Peromyscus (Rodentia), J. A. King Editor. Special Publication of American Soc. Mammalogist 2:27 -68.

- Ieradi, L. A., J. Zima, F. Allegra, E. Kotlánová, L. Campanella, R. Grossi & Mauro Cristaldi. 2003. Evaluation of genotoxic damage in wild rodents from a polluted area in the Czech Republic. *Folia Zoologica*.52(1):57-66.
- ILAR(Institute for Laboratory Animal Research). 1995. Nutrient requirements of laboratory Animals, Fourth Revised Edition. Institute for Laboratory Animal Research (ILAR). 176 pp.
- Jenness, R. E., E. C. Birney & K. L. Ayaz. 1980. Variation of L -gulonolactone oxidase activity in placental mammals. *Comparative Biochemistry and physiology. B, Biochemistry and molecular biology* 67(2):195-204.
- Johnson, M. S., R. D. Roberts, M. Hutton & M. J. Inskip.1978. Distribution of lead, zinc and cadmium in small mammals from polluted environments. *Oikos* 30(1):153-159.
- Johansson L, C. E. Pellicciari. 1968. Lead induced changes in the stabilization of the mouse sperm chromatin. *Toxicology*; 51:11–24.
- Jones, D. G. & N. F. Suttle. 1983. The effect of copper deficiency on the resistance of mice to infection with *Pasturella haemolytica*. *Journal of Comparative Pathology* 93(2):143–149.
- Jones, D. G. 1984. Effects of dietary copper depletion on acute and delayed inflammatory responses in mice. *Research of Veterinary Science* 37(2):205-210.
- Jongruaysup, S., B. Dell, R. W. Bell, G. W. O'hara & J. S. Bradley. 1997. Effect of molybdenum and inorganic nitrogen on molybdenum redistribution in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) with particular reference to seed fill. *Annals of Botany* 79(1):67-74.
- Kabata-Pendias & H. Pendias. A. 2001. Trace elements in soils and plants, 3rd ed. Boca Raton, U.S.A. CRC Press. 413 pp.
- King, J. C., D. M. Shames & L. R. Woodhouse. 2000. Zinc Homeostasis in Humans *Journal of nutrition* 130: 1360S-1366S.
- Lang, F. & M. Kaupenjohann. 1999. Molybdenum fractions and mobilization kinetics in acid forest soils. *Journal of Plant Nutrition of Soil Science* 162():309-314.
- Lovett, G. M., E. S. Lindberg, D. D. Richter & W. D. Johnson. 1985. The effects of acidic deposition on cation leaching from three deciduous forest canopies. *Canadian Journal Forest Research* 15:1055-1060.

- Ma, W. C., W. Denneman & J. Faber. 1991: Hazardous exposure of ground living small mammals to cadmium and lead in contaminated terrestrial ecosystems. *Archives of Environments Contamination Toxicology* 20(2):266–270.
- Marie, P. J., P. Ammann, G. Boivin & C. Rey. 2001. Mechanisms of action and therapeutic potential of strontium in bone calcified tissue. *Internacional* 69(1):121-129.
- Markell, E.K. 1992. *Medical Parasitology*. (Saunders ed) Philadelphia, U.S.A. 483 pp.
- Martín del Pozo. A. L. *Vulcanología de la Sierra de Chichinautzin Tesis de Maestría*. Facultad de Ciencias UNAM, México, D. F.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press (Ed), San Diego 675 pp.
- Matamoros-Trejo, G. J. & Cervantes F. A. 1992. Alimento de los roedores *Microtus mexicanus*, *Reithrodontomys megalotis* y *Peromyscus maniculatus* del ex-lago de Texcoco, México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología* 63(1)135-144.
- Marx, J. J. M. 2002. Iron and infection: competition between host and microbes for precious element. *Best Practice & Research Clinical Haematology*. 15(2):411-426.
- Meltzer, H. L., R. M. Taylor, S. R. Platmann, R. R. Fieve. 1969. Rubidium: a potential modifier of affect and behaviour, *Nature* 223 1969(5203):321–322.
- Meltzer, H.L. 1991. A pharmacokinetic analysis of long-term administration of rubidium chloride, *Journal of Clinical Pharmacology* 31(2):179-184.
- Mengel, K. & E. A. Kirkby (1987): *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute Bern Worblaufen, Bern, 687 pp.
- Miller, P. R., L. I. Bauer de Quevedo & T. Hernández-Tejeda. 1994. Comparison of ozone exposure characteristic in forested regions near Mexico City and Los Angeles. *Atmospheric Environment* 28(1):141 - 148.
- Miller, D. D. 1996. *Minerals in Food chemistry*, Ed O. R. Fennema. New York.
- Mohren, F. & Ilvesniemi, H. 1995. Modelling effects of soil acidification on tree growth and nutrient status. *Ecological Modelling* 83: 263-272.
- Morton, J., V. A. Carolan & P. H. E. Gardiner. 2002. Removal of exogenously bound elements from human hair by various washing procedures and determination by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 455 (1):23–34.

- Mugica, M., M. Maubert, M. Torres, J. Muñoz & E. Rico. 2002. Temporal and spatial variations of metal content in TSP and PM10 in Mexico City during 1996–1998. *Aerosol Science* 33 (1) 91–102.
- Mutuma, S., P. Amuna, H. Shukla & S. Sumar. 1999. Chromium in food, nutrition and health an introduction. *Nutrition & Food Science* 2(1):81-88.
- Nash, E., 1972. Effect of effluent from a zinc smelter on mosses. Ph.D. Thesis New Brunswick (Rutgers University). 197 pp.
- Nielsen, F. H. 1998. Ultratrace elements in nutrition: current knowledge and speculation. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine* 11(2-3):251–274.
- Nielsen, F. H. 2000. Evolutionary events culminating in specific minerals becoming essential for life. *European Journal of Nutrition* 39(2):66-66.
- Nielsen, F. H. 2000b. Importance of making dietary recommendations for elements designated as nutritionally beneficial, pharmacologically beneficial, or conditionally essential. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine* 13(1):113-129.
- NRC (National Research Council (Estats Units d'Amèrica). 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture and Renewable Resources, Commission on Natural Resources, National Research Council (Estats Units d'Amèrica) and Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals 577 pp.
- Nyholm, N. E. I. & G. Tyler. 2000. Rubidium content of plants, fungi and animals closely reflects potassium and acidity conditions of forest soils. *Forest Ecology and Management* 134: 89 - 96.
- Norusis, M. J. 1999. SPSS professional statistics 10. SPSS Inc. Chicago.
- Nowak, B. 1998. Contents and relationships of elements in human hair for a non-industrialized population in Poland. *The Science of the Total environment* 209(1):59-68.
- Oberdöster, G., 2000. Toxicology of ultrafine particles: *in vivo* studies. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences (The Royal Society)* 358(1775):2719-2740.
- O'Flaherty, E. J., B. D. Kerger, S. M. Hays & D. J. Paustenbach. 2001. A Physiologically Based Model for the Ingestion of Chromium (III) and Chromium(VI) by Humans *Toxicological Sciences* 60(2):196-213 (2001)

- Ogoshi, K. T. Moriyama & Y. Nanzai. 1989. Decrease in the mechanical strength of bones of rats administered cadmium. *Archives of Toxicology* 63(6):320–324.
- Oishi, S., J. Nakagawa & M. Ando. 2000. Effects of cadmium administration on the endogenous metal balance in rats. *Biological Trace Element Research* 76(1): 257 - 278.
- Oishi, S., J. Nakagawa & M. Ando. 2001. Effects of ingestion of cadmium-polluted rice or low dose cadmium-supplemented diet on the endogenous metal balance in female rats *Biological Trace Element Research* 84(1):155-167.
- Özen, O. A., A. Songur, M. Sarsýlmaz, M. Yaman & I. Kus. 2003. Changes of zinc, copper, and iron levels in the lung of male rats after subacute (4-Week) and subchronic (13-week) exposure to formaldehyde. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine* 16(1):67-74.
- Perry, J.P., 1951. *Especies de Escarabajos de la Corteza del Pino en México Central*. *Unasylva* 5(4):20-33.
- Pilastro, A., L. Coguiu, I. Tallardin & M. Turchetto. 1993. The use of bird feathers for the monitoring of cadmium pollution. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 24:355-358.
- Prasad, A. S. 2000. Effects of zinc deficiency on immune functions. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine* 13(1):1-20.
- Prohaska, J. R. & O. A. Lukasewycz. 1990. Effects of copper deficiency on the immune system. In *Antioxidant Nutrients and Immune Functions*. Vol. 262. (A. Bendich, M. Phillips & R. P. Tengerdy ed). Plenum Press (Ed). New York, U.S.A. 171 pp.
- Quiroz, A. & K. Ilangovan. 1999. Fractioning of Cu, Mn, Zn, and Pb in mineral soils along an oak forest vegetation gradient in Mexico City. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 62(2):138-143.
- Quiroz, A., F. Espinosa-García & K. Ilangovan. 2002. Effects of natural hydrosoluble chelates of three plant species on the mobilization of heavy metals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 68(6):862-869.
- Rice W. R. 1989. Analysing tables of statistical tests. *Evolution* 43(2):223-225.
- Rivero Serrano, O. G. Ponciano Rodríguez y T. Fortoul Van Der Goes. 1993. *Contaminación Atmosférica y enfermedad respiratoria*. Fondo de Cultura Económica editores. México. 228 pp.

- Ródenas de la Rocha, S., I. Sevillano Navarro, F. J. Sánchez-Muñiz, M. A. Carbajal Azcona, y M. T. Larrea Marín. 2003. Interés biomédico de la determinación de elementos traza en el cabello. *Schironia* 2(7):36–41.
- Rosas, I., R. Belmont & E. Jauregui. 1995. Seasonal variation of atmospheric lead levels in three sites in México City. *Atmósfera* 8(4):157-168.
- Saavedra-Romero, L. L., D. Alvarado-Rosales, J. Vargas-Hernández y T. Hernández-Tejeda. 2003. Análisis de la precipitación pluvial en bosques de *Abies religiosa* (HBK.) Schltdl. *et* Cham., en el Sur de la Ciudad de México.
- Sánchez-Chardi, A & J. Nadal. 2003. Element content in Shrew *Crocidura russula* exposed to effluents from a landfill. 41st Congress of the European Societies of Toxicology-Eurotox 2003. Florence, Sep 28-Oct 1, 2003.
- Sayre, R. G. & T. J. Fahey. 1999. Effects of rainfall acidity and ozone on foliar leaching in red spruce (*Picea rubens*). *Canadian Journal of Forest Research* 29(4): 487-496.
- Sanín, L. H., T., González-Cossío, I. Romieu & M. Hernández-Ávila. 1998. Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México* 40(4):359-368.
- Scaletti, R. W., D. S. Trammell, B. A. Smith & R. J. Harmon. 2003. Role of dietary copper in enhancing resistance to *Escherichia coli* mastitis. *Journal of Dairy Science* 86(4):1240-1249.
- Ščančar, J., R. Milačič, M. Benedik & P. Bukovec. 2000. Determination of trace elements and calcium in bone of the human iliac crest by atomic absorption spectrometry. *Clinica Chimica Acta* 293():187-197.
- Scanlon, P. F., R. J. Kendall, R. L. Lochmiller, R. L. Kirkpatrick. 1983. Lead concentrations in pine voles from two virginia orchards. *Environmental Pollution (Series B)* 6(2):157-160.
- Shore, R. F. 1995. Predicting cadmium lead and fluoride levels in small mammals from soil residues and by species- species extrapolation. *Environmental Pollution* 88(2):333-340.
- Skerfving, S., Lars Gerhardsson, A. Schütz & U. Strömberg. 1999. Lead-Biological monitoring of exposure and effects. *The Journal of Trace Elements in Experimental Medicine* 11(2-3):289-301.
- Skelly, J.M., J. E. Savage, L. I de Bauer & D. Alvarado. 1997. Observations of ozone induced foliar injury on black cherry (*Prunus serotina*, var. *capuli*) within

- the Desierto de los Leones National Park, Mexico City. *Environmental Pollution* 95, 155-158.
- S.M.A. (Secretaría del Medio Ambiente). 1997. "Precipitaciones ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México" Informe Anual 1996. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A). México, D.F. 62 pp.
- S.M.A. (Secretaría del Medio Ambiente). 1998. Informe Anual de Precipitaciones Ácidas en la ZMCM 1998. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A). México, D.F. 67 pp.
- S.M.A. (Secretaría del Medio Ambiente). 1999. Inventario de emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México. Comisión Ambiental Metropolitana. Secretaria del Medio Ambiente. México, D.F. 67 pp.
- S.M.A. (Secretaría del Medio Ambiente). 2000. El Suelo de Conservación del Distrito Federal. <http://www.sma.df.gob.mx/>
- S.M.A. (Secretaría del Medio Ambiente). 2002. Compendio Estadístico del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM 1986-2001. Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A). México, D.F. 551 pp.
- Smith, K. R. J. M. Veranth, J. S. Lighty & A. E. Aust. 1998. Mobilization of Iron from Coal Fly Ash Was Dependent upon the Particle Size and the Source of Coal Chemical Research in Toxicology. 11(12):1494-1500.
- Stallmeyer, B., G. Schwarz, J. Schulze, A. Nerlich, J. Reiss, J. Kirsch & R. R. Mendel. 1999. The neurotransmitter receptor-anchoring protein gephyrin reconstitutes molybdenum cofactor biosynthesis in bacteria, plants, and mammalian cells. *Proceedings of Naturalist Academic Science U.S.A.* 96(4):1333–1338.
- Stansley, W. & D. E. Roscoe. 1996. The uptake and effects of lead in Small Mammals and frogs at a trap and skeet range. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 30(2):220-226.
- Šwiergosz, R., M. Zakrzewska, K. Sawicka-Kapusta, K. Bacia & I. Janowska. 1998. Accumulation of cadmium in and his effect on bank vole. Tissues after chronic Exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 41(1):130-136.

- Swiergosz-Kowalewska, R. 2001. Cadmium distribution and toxicity in tissues of small rodents. *Microscopy Research and Technique* 55(3):208–222.
- Syme, G. J. & L. A. Syme. 1979. Inhibition of activity in rats by rubidium chloride, *Psychopharmacology* 6(2):227-229.
- Takahashi, S., I. Takahashi, H. Sato, Y. Kuboto, S. Yoshida & Y. Muramatsu. 2001. Age-related changes in the concentrations of mayor and trace elements in the brain of rats and mice. *Biological Trace Element Research* 80(2):145 - 157.
- Takeuchi, A., O. Miyaishi, K. Kiuchi & K. Isobe. 2000. Cu/Zn- and Mn-Superoxide Dismutases are specifically up-regulated in Neurons after focal brain injury. *Neurobiology* 2(1):39-46.
- Talmage, S. & B. T. Walton. 1991. Small mammals as monitors of environmental contaminants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 119(1): 47-145.
- Thompson, M. & J. N. Walsh. 1989. *Handbook of inductively coupled plasma spectrometry*. 2nd ed. Blackie, Glasgow-London. 273 pp.
- Trancho G. J., y B. Robledo. 1999. *Paleodieta: Estudio del patrón alimenticio en El Cerro de la Cabeza (Avila)*. Junta de Castilla y León. Universidad Complutense Madrid. 26 pp. ISBN: 84-922875-4-5.
- Tood, J. R., A. A. Milne & P. F. How. Hypocuprosisi without clinical symptoms in singled -suckled calves. *Veterinary Records* 79():653 - 656.
- Torres Rodríguez V. & A. Bolongaro-Crevenna Recaséns. 2000. Desarrollo de un indicador ambiental de estado de calidad del aire a partir de lluvia en el Distrito Federal. Realizado por: Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente. Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental. México, D.F. 71 pp.
- Tyler, G., 1997. Influence of acidity and potassium saturation on plant uptake of indigenous soil rubidium. *Environmental and Experimental Botany* 38(1):181-186.
- Underwood, E. J. (deceased) & N. Suttle. 1999. **The Mineral Nutrition of Livestock**, 3rd Edition. Foundation for Animal Health and Welfare, Penicuik, Edinburgh, UK.
- Vallee, B.L. & Falchuk, I. 1993. The biological basis of zinc physiology. *Physiology*. Review 73(1):79-118.

- Vanholder R., R. Cornelis, A. Dhondt & N. Lameire. 2002. The role of trace elements in uraemic toxicity. *Nephrology Dialysis Transplantation* 17(Suppl. 2):2-8.
- Vargas, B, Paksy K, Naray M. 1991. Distribution of cadmium in ovaries, adrenal and pituitary gland after chronic administration rats. *Acta Physiologica Hungarica* 78(2):221–226.
- Villa Ramírez, B. 1953. Mamíferos silvestres del Valle de México. *Anales del Instituto de Biología, U.N.A.M. Serie Zoología* 23(1-2):269- 492.
- Watmough, S. A. & T. C. Hutchinson. 1999. Change in the dendrochemistry of sacred fir close to Mexico City over the past 100 years *Environmental Pollution* 104(1):79-88.
- Weidner, M., H. Brückner, E. Pajak, B. Schmidt & H. Wichtmann. 1996. Differential effects of potassium and molybdenum deficiency and fertilization on nitrogen metabolism in norway spruce (*Picea abies*). *Z. Pflanzenernähr Bodenkd* 159(1):199-206.
- Whelton, B. D., D. P. Peterson, E. S. Moretti, H. Dare, M. H. Bhattacharyya. 1993. Cadmium-1089 metabolism in mice. I. Organ retention in mice feed nutritionally sufficient during successive rounds of gestation and lactation. *Journal of Toxicology Environment Health* 38(1):115-129.
- Whelton, B. D., D. P. Peterson, E. S. Moretti, H. Dare, M. H. Bhattacharyya. 1997. Skeletal changes in multiparous, nulliparous and ovariectomized mice feed either a nutrient-sufficient or –deficient diet containing cadmium. *Toxicology* 119(2):103-121.
- Yasui, M., K. Ota & R. M. Garruto. 1991. Aluminum decreases the zinc concentration of soft tissues and bones of rats fed a low calcium-magnesium diet. *Biology of Trace Element Research* 31(2):293–304.
- Yasui, M, K. Ota & R. M. Garruto. 1995. Effects of calcium-deficient diets on manganese deposition in the central nervous system and bones of rats. *Neurotoxicology* 16():511-508.
- Yasui, M & K. Ota. 1998. Aluminum decreases the magnesium concentration of spinal cord and trabecular bone in rats fed a low calcium, high aluminum diet *Journal of Neurological Sciences* 157(1):37-41.
- Yokoi, K., M. Kimura & Y. Itokawa. 1996. Effect of low dietary rubidium on plasma biochemical parameters and mineral levels in rats. *Biological Trace Element Research* 51(2):199-208.

Vyskoči, A. & C. Viau. 1999. Assessment of Molybdenum Toxicity in Humans. *Journal of Applied Toxicology* 19(1): 185-192.

Zar, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis*. 2ed. Prentice-Hall International, Inc(Ed) U.S.A. 718 pp.

6. CONCLUSIONES GENERALES.

1. Las especies mejor representadas en las capturas a lo largo del estudio fueron en orden de abundancia *Peromyscus melanotis*, *Peromyscus difficilis*, *Microtus mexicanus*. Las especies con menor éxito de capturas fueron *Reithrodontomys chrysopsis chrysopsis*, *Sorex saussurei saussurei* y *Cryptotis alticola*; capturándose exclusivamente en el Ajusco: *Neotomodon alstoni*, *Reithrodontomys fulvescens toltecus* y *Sorex ventralis*.
2. No se encontraron diferencias significativas en el peso de los ejemplares y en el índice de condición del cuerpo (relación peso-talla) en *P. melanotis* y *M. mexicanus* aunque si se observaron en *P. difficilis* en el periodo seco (octubre 1996-abril 1997).
3. Las tres especies estudiadas presentaron signos de actividad reproductora en casi todo el ciclo anual del estudio con pequeñas diferencias estadísticas entre los dos parques naturales.
4. El estudio estructural de la tráquea de *M. mexicanus* (Ajusco $n_t = 34$; Desierto $n_t = 27$), *Peromyscus melanotis* (Ajusco $n_t = 140$; Desierto $n_t = 130$) y *Peromyscus difficilis* (Ajusco $n_t = 26$; Desierto = 98) mediante microscopía electrónica de barrido y análisis de imagen no reveló diferencias significativas en el porcentaje de área cubierto por células ciliadas.
5. Las tres especies mostraron en diferente grado procesos relacionados con hiperplasia de células mucosas, acumulación de mucosubstancias en apariencia de diferente composición, distribución ciliar heterogénea, reducción en el número de cilios por célula, necrosis celular, cilios compuestos y evaginaciones citoplasmáticas.
6. Se encontraron diferencias significativas entre las épocas del año en *P. melanotis* con respecto a las características relacionadas con hiperplasia de células mucosa por zona de estudio y en *P. difficilis* en el Desierto en la presencia de evaginaciones citoplasmáticas.
7. El análisis ultraestructural realizado a una parte de las muestras de tráquea reflejó similares resultados entre las dos áreas de trabajo para las tres especies analizadas, observándose en una parte de las poblaciones cierto grado de

alteración en la orientación de los cilios; los porcentajes obtenidos fueron: en el Ajusco en *M. mexicanus* en un 28 % ($n_t = 25$), *P. melanotis* 43,8 % ($n_t = 25$) y *P. difficilis* 44,7 % ($n_t = 16$); en el Desierto *M. mexicanus* en un 24 % ($n_t = 28$), *P. melanotis* un 36,4 % ($n_t = 30$) y *P. difficilis* 53,3 ($n_t = 39$), sin llegar al 2 % de cilios con orientación anómala. (ángulo de 90° entre el eje ciliar que pasa a través del par de microtúbulos centrales con respecto otro en 500 cilios analizados).

8. En las observaciones ultraestructurales se observó la presencia de dilataciones vesiculares epiteliales y ciliares, cilios duplicados, cilios supernumerarios, dilatación del citoplasma ciliar y desorganización en los microtúbulos; esta última manifestada por la pérdida, translocación y/o presencia de un par extra de microtúbulos, con aparente alteración en el proceso de organización de la tubulina, alteraciones en los brazos de dineína, con una matriz electrodensa independiente del grosor del corte. En las tres especies no se encontraron diferencias significativas entre las zonas de colecta y épocas del año en relación a la presencia de las alteraciones de la tráquea.
9. La localización de las alteraciones ciliares está asociada a procesos de exfoliación celular, evaginaciones de la membrana plasmática, secreciones apocrinas, gran actividad celular, microvillis con glicocáliz laxo, dilatación del citoplasma de los cilios y de células ciliadas, mitocondrias en diversos estadios degenerativos, fragilidad de células basales y gránulos electrodensos en apariencias de diferente composición que se encuentran distribuidos en el citoplasma de la célula, zona apical y en algunos casos en la lámina basal. Aunque en las alteraciones celulares observadas en el epitelio traqueal no mostraron diferencias significativas entre áreas de estudio sugieren en conjunto que la presencia de cilios anómalos no es una característica normal del epitelio en las tres especies estudiadas.
10. Los resultados reflejan la gran variabilidad en las condiciones atmosféricas y contaminantes a las que los ejemplares estuvieron expuestos a lo largo del período de estudio, la segunda condición tiene diferentes sitios de acción debida tanto a las propiedades fisico-químicas de los contaminantes y la concentración de los mismos como a la respuesta de los organismos coadyuvada por las condiciones ambientales; lo que sugiere que en los individuos existen deficiencias en la retención de los contaminantes atmosféricos.

11. La principal patología pulmonar encontrada en *Peromyscus melanotis*, *Peromyscus difficilis* y *Microtus mexicanus* fue la presencia de neumoconiosis. Se encontraron procesos inflamatorios e hiperplasia septal adenomatosa que se presentan principalmente y en grado mayor en las especies procedentes del Desierto, permaneciendo a lo largo del tiempo; en cambio en el Ajusco estas afecciones tienen una clara distribución temporal relacionada con la reducción de contaminantes en la Ciudad de México producto de la lluvia.
12. En las muestras de hígado de los organismos analizados se detectaron diversas patologías entre las que destacaron los procesos inflamatorios, acompañados por necrosis celular en mayor grado en *P. melanotis*, observándose en *P. difficilis* pigmento en las células de Kúpffer, en ambos casos más frecuente e intenso en los individuos del Desierto. En *M. mexicanus* la patología a destacar en el hígado son los procesos vinculados con la secreción de glucocorticoides sin que se observara un deterioro orgánico del individuo en las dos zonas de estudio y sin relación con la época del año.
13. En *P. melanotis* se detectó la presencia de *Toxoplasma gondii* asociado a los casos más evidentes de necrosis e inflamación en los dos sitios de colecta con una distribución temporal diferente; en el Ajusco está presente de diciembre a abril mientras en el Desierto ocurre de septiembre a abril.
14. Las diferencias significativas en los porcentajes de ocurrencia anual de las patologías observadas en *P. melanotis* se concentran en la época seca, con excepción de la presencia de nódulos, estas diferencias se obtuvieron en el porcentaje de organismos afectados por *Toxoplasma* y la presencia de procesos inflamatorios.
15. El desarrollo de alteraciones renales es notorio en los individuos de *P. melanotis* del Desierto, con una frecuencia mayor de lesiones y de ejemplares que las padecieron.
16. A pesar de la importante carga de material particulado en los pulmones de los animales del Desierto de los Leones, en términos generales y comparativamente la afectación del órgano parece ser mínima, demostrando en este caso que la fagocitosis por macrófagos constituye un eficaz medio de defensa.
17. Aunque los órganos de *P. melanotis* presentan un deterioro, los resultados sugieren que esta especie posee los mecanismos de supervivencia para ser exitosa en los parques nacionales, resistiendo las presiones ambientales y el

aparente mayor grado de parasitismo, aunque para asumir completamente esta conclusión sería necesario realizar estudios de dinámica poblacional en las zonas de trabajo.

18. En el análisis elemental se detectaron diferencias significativas en los órganos, tejidos y grasa subcutánea analizados sin un patrón común de acumulación de metales debido a: la afinidad de los metales detectados por un tejido y/o órgano en particular, las funciones metabólicas a las que están vinculados algunos de los elementos analizados, la variación en la dispersión de contaminantes, el efecto de la deposición ácida y posiblemente por la respuesta al estrés oxidante de la vegetación. Siendo de particular interés los niveles de rubidio determinados en las tres especies y especialmente en las concentraciones más elevadas de este metal obtenidas en *M. mexicanus* en el Ajusco, en comparación con los valores registrados en *P. melanotis* y *P. difficilis* en ambos parques nacionales.
19. Las concentraciones de plomo halladas en el pulmón en las tres especies analizadas no son elevadas y se encuentran en consonancia con los reportes de la calidad del aire del Valle de México, no obstante se tiene que tomar en consideración que en los alvéolos pulmonares de los roedores la tasa de asimilación de los agentes contaminantes puede ser más reducida la de los humanos, por lo tanto las concentraciones ambientales de dicho metal a un pueden presentar una marcada influencia en la población humana.
20. En las tres especies los resultados mostraron una acumulación de cadmio renal y plomo óseo, con concentraciones más elevadas del primero en el Desierto en tanto que las concentraciones del plomo tienden a ser más elevadas en el Ajusco en *P. melanotis* y *M. mexicanus*.
21. En general se observa una mayor movilidad de metales en los ejemplares del Desierto que posiblemente se vea compensada transitoriamente con un mayor aporte nutricional de algunos elementos, presentando deficiencias en oligoelementos esenciales, producto de las nuevas condiciones, como puede ser el incremento de la vegetación ruderal de crecimiento rápido. Sin embargo a largo plazo, dada una condición específica, los procesos de expulsión, el inicio de la reproducción y/o determinado proceso patológico serán benéficos o perjudiciales en las nuevas condiciones imperantes en el ecosistema; dichos mecanismos de regulación son normales en una población natural pero su velocidad e intensidad pueden ser modificadas por la influencia antropogénica.

- 22.** Los cambios en las concentraciones de Cu y Mo hepáticas, Cr renal y Mn óseo pueden estar afectando el metabolismo de carbohidratos y lípidos en la población del Desierto y con ello el desarrollo de los ejemplares capturados en especial a *P. melanotis* y *P. difficilis*.

Los niveles inferiores de zinc hallados en este trabajo en comparación estudios realizados en otras especies de pequeños roedores, bien podrían estar comprometiendo la actividad inmunológica de las tres especies estudiadas y favoreciendo el grado de parasitismo en las tres especies.

Tales alteraciones en los valores de los metales pesados contribuirían en el proceso de selección natural de lo ejemplares con un mejor sistema inmunitario y/o un aporte alimenticio más adecuado, lo anterior puede conducir a la modificación de la diversidad de especies de pequeños roedores existentes en cada parque nacional; afectando con ello a las poblaciones de endoparásitos de los que son reservorios y alterando las relaciones parásito-huésped, existiendo el riesgo potencial de que los patógenos pasen la barrera natural entre las especies que no son sus huéspedes naturales.

- 23.** Pequeñas alteraciones principalmente en elementos traza pueden ocasionar trastornos bioquímicos y funcionales; la acumulación de algunos micronutrientes y/o la falta de otros parece afectar a las poblaciones estudiadas, por lo tanto se plantea la implicación que puede tener el rubidio en la respuesta al estrés y por ende en los procesos de dispersión de roedores, ya que de acuerdo a las recientes investigaciones y gracias a los métodos modernos de análisis, se sabe que este metal tienen un papel fundamental en cuestiones tan importantes como la actividad neurofisiológica.

- 24.** El estudio de metales, como el rubidio, con escaso control homeostático y relacionado con elementos tan esenciales para la vida como el potasio y dependiente del pH, podrían ser mejores indicadores de la movilidad de elementos y por ende de los procesos de acidificación y pérdida de nutrientes que están sufriendo los bosques del Valle de México.

- 25.** La evaluación de la contaminación atmosférica, es más difícil de entender y explicar que la influencia de vertidos tóxicos directos, en parte por las concentraciones y el grado de heterogeneidad que puedan suponer uno y otro mecanismo sobre un ecosistema en particular, de ahí que la comprensión de la influencia de la contaminación atmosférica sobre cualquier parte del ecosistema

se debe hacer en un contexto integral, si no se puede llegar a conclusiones erróneas.

Posiblemente el entendimiento de dichos factores no facilita el trabajo ni reduce los costes económicos al utilizar especies de pequeños mamíferos como indicadores de la contaminación, sin embargo el coste enorme derivado de la pérdida de la biodiversidad lo justifica. Los Bosques del Valle de México han sido el hábitat natural de varias especies vegetales y animales endémicas, por lo que hemos perdido una parte y podríamos terminar con el resto de este patrimonio biológico, lo cual es irreparable; también son la fuente principal de recarga del manto freático de la Ciudad de México, por lo que no se puede soslayar esta función, ya que la escasez del agua es uno de los problemas principales en México y en gran parte del mundo.

- 26.** Los costes económicos derivados de la contaminación ambiental no solo se pueden entender en función directa del gasto en sanidad pública, ya que su influencia directa sobre cuestiones tan importantes como el deterioro en el desarrollo mental de la población infantil, que es coadyuvada por el grado de desnutrición y/o malos hábitos de alimentación de los niños mexicanos, es incalculable.