

00374

2  
25

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**LA AVIFAUNA DEL SUR DEL VALLE DE MEXICO:  
APLICACIÓN DE UN ENFOQUE SINECOLOGICO-PAISAJISTICO  
PARA SU CONSERVACION.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
(ECOLOGIA Y CIENCIAS AMBIENTALES)**

**P R E S E N T A**

**LEONARDO CABRERA GARCIA**

272/570

**DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE ALEJANDRO VELAZQUEZ MONTES**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1999



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**A mi Valeria:**

**Te veo y viajo en el tiempo.  
Te escucho, y acaricias dulcemente mi alma.  
Te toco, y tu suavidad me halaga.  
Te siento, y me estremezco de felicidad.  
Te amo, nos amamos.  
Gracias mi Señor!  
Por darme a mi niña linda.**

**A Estela,  
Por seguir viviendo nuestras realidades,  
Por seguir compartiendo lindos sueños  
Por ser como eres,  
porque así, los haremos realidad.**

**A mi mami Lupita,  
Por su amor y fé inagotables.**

*A mi abuelita Jesusita, que desde el cielo seguirás viendo por nosotros. Por tu eterno recuerdo.*

## **CONTENIDO**

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>RESUMEN</b>	1
<b>I. INTRODUCCION</b>	2
<b>II. MARCO TEORICO</b>	3
<b>III. ANTECEDENTES ORNITOLOGICOS</b>	19
<b>IV. OBJETIVOS</b>	21
<b>V. AREA DE ESTUDIO</b>	22
<b>VI. METODO</b>	27
<b>VII. RESULTADOS</b>	49
<b>VIII. DISCUSION</b>	65
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	79
<b>X. BIBLIOGRAFIA</b>	81
<b>APENDICE I.</b>	101
<b>APENDICE II</b>	106
<b>APENDICE III</b>	107

## AGRADECIMIENTOS

Siempre esta parte es la que me resulta más difícil de escribir, ya que infinidad de personas, desde el cuate de pasillo hasta el familiar que nunca ves, tienen algo que ver en todo esto.

Iniciaré mencionando al Doctor Alejandro Velázquez, director del presente trabajo y con quien compartí desde una fogata entre los fríos volcanes del sur del Valle de México (donde incluso aprendí su técnica de elaboración) hasta las interesantes reuniones de trabajo e infinidad de charlas (de todo tipo) que nos permitieron conocernos como personas y como profesionistas. Gracias Doc por todo lo aprendido y el apoyo brindado en los momentos difíciles.

También al estimado Dr. Gerardo Bocco, por su calidez como persona y su siempre disponibilidad y eficiencia en todo lo requerido. Por su valiosa ayuda en todo lo referente a geografía, geomorfología y regionalización ecológica. Me enseñó de cerca lo que significa el trabajo interdisciplinario, gracias.

Al Dr. Adolfo Navarro por su apoyo en todo lo referente al acceso a la Colección Ornitológica del Museo de Zoología y a la base de datos del Atlas Nacional de Aves, así como por el material de campo indispensable para el trabajo ornitológico. Por sus valiosos comentarios a lo largo del desarrollo del presente trabajo; por su confianza brindada.

A la Dra. María del Coro Arizmendi, quien ha realizado profundas revisiones a lo que he escrito y ha influido definitivamente en mi formación profesional, gracias Coro.

A los demás miembros de mi Comité Evaluador, los Maestros en Ciencias Kathleen Babb Stanley y Octavio Rojas, al Dr. Joaquín Jiménez, por su revisión y valiosas sugerencias hacia el manuscrito. En particular, gracias Katy por el apoyo brindado en las situaciones por las que pasé; y también gracias, Octavio por las discusiones compartidas en cuanto a los conceptos de *comunidad* y *especie*.

A mis amigos que compartieron su amistad y el trabajo de campo, Héctor Rangel, Adrián Gutiérrez, Lucero Rodríguez, Esperanza Alvarez, Paty Feria, Emir Rodríguez, Tammo Hoeksema, Nelly Medina, Octavio Rojas, Fanny Rebón y su grupo de licenciatura, Alex Velázquez, Francisco Romero, Alejandro Meléndez. Gracias por su ayuda y comentarios brindados.

A todo el personal del Laboratorio de Biogeografía de la Facultad de Ciencias, UNAM, quienes me apoyaron de muy diversas formas. A Martha Escamilla, por su gran apoyo y amistad, y en particular, por su ayuda en lo que a comunidades vegetales se refiere. A Héctor Rangel, Sonia Vázquez, Martha Gual, Rosa M. del Valle y Octavio Vilchis, por su amistad y apoyos incontables brindados. A Lucía Almeida y Ana Herrera, por sus consejos y confianza brindados. A Mardocheo Palma y José Quintero por su valioso apoyo en el uso del Sistema de Información Geográfica (ILWIS). A Joaquín Jiménez, por sus valiosos comentarios en cuanto a fitosociología.

A mis hermanos y sus familias: a José y su esposa Laura, a Beto y su esposa Lulú y sus latosos retoños Livia, Edi y Emilín. A sus peces, que ya parecen parte de la familia. A mi hermano Jesús y su esposa Rosario y mi sobrina Alejandra, aunque casi en ausencia, sigues siendo mi hermano. A Carlos, para que sigas siempre adelante. A mi tío León y su familia, la otra parte de mi familia.

## RESUMEN

El estudio se enmarca en el contexto teórico sobre la definición y los procesos de estructuración de las comunidades naturales, haciendo énfasis en las comunidades animales, y en particular en las de aves. También se analizan los fundamentos, métodos y resultados de los principales enfoques de espacialización y cartografía de la biodiversidad: el análisis de datos puntuales, el de cuadrantes, el de discrepancias o claros y el de la ecología del paisaje. El presente estudio aplicó el enfoque de la ecología del paisaje y el de la sinecología, para determinar los patrones de agregación de las especies de aves del Sur del Valle de México, es decir, la definición de comunidades en un espacio y tiempo determinado, así como fundamentar su relación espacial en una región altamente heterogénea.

Se determinó una riqueza de 87 especies de aves. Se determinó la presencia de 11 especies endémicas, 2 microendémicas, una especie bajo la categoría de **amenazada**, tres consideradas bajo la de **protección especial** y una especie (*Xenospiza baileyi*) en la de **peligro de extinción**.

La riqueza, composición, diversidad y abundancia relativa presentó en general, diferencias estadísticas significativas entre las distintas unidades de paisaje. Las unidades de paisaje *pedemonte medio*, *planicie de altura* y *pedregal* resultaron ser la más importantes en cuanto a los factores arriba mencionados. Los modelos de acumulación de especies se ajustaron significativamente al esfuerzo de muestreo aplicado ( $R=.9549$ ), indicando que tres unidades paisajísticas se pueden considerar inventariadas avifaunísticamente (los *pedemonte medio* y *superior* y la *planicie de acumulación*), mientras que las unidades *pedregal*, *planicie de altura* y *cañada* se encontraron representadas entre un 80 y 90 % de su avifauna; sólo la unidad *pedemonte inferior* puede considerarse poco representada avifaunísticamente, ya que se estimó un valor de representatividad del 61%.

Mediante el análisis clasificatorio (TWINSPAN; Hill, 1989) se definieron dos comunidades de aves (eigenvalue=.637): la denominada **Avifauna Montana** y la **Avifauna de Planicies Submontanas**. La Avifauna Montana estuvo conformada por las sub-comunidades: Aves de las Cañadas (autovector=.473), Aves de las Planicies de Altura (autovector=.347), Aves de Los Pedregales (autovector=.424) y Aves de los Piedemonte Medio y Superior. La comunidad de aves de las Planicies Submontanas fue conformada por la agrupación de las aves de las planicies de acumulación con las del *pedemonte inferior*.

Se procedió a realizar un análisis más fino de los resultados obtenidos, por medio del arreglo manual de las especies y los sitios para la construcción de la tabla de fidelidad sugerida por Szafer y Pawlowski (Braun-Blanquet, 1951). Esta nos permitió conocer a las especies constantes, acompañantes y diferenciales en las comunidades determinadas, permitiendo determinar las posibles asociaciones de las especies a los sitios de estudio. El análisis de ordenación (CCA) mostró que la variable ambiental *pendiente del terreno* ejerció el mayor efecto sobre la distribución de las aves, siguiendo en importancia las variables número de estratos y tipo de vegetación (autovector eje I=.690 y Eje II=0.479). La varianza total en los datos de especies fue significativa (2.183). La prueba de permutación de Montecarlo indicó el grado de significancia probabilística del autovector del Eje I ( $F\text{-radio}=9.45$ ;  $p=0.01$ ) en relación a las muestras y las variables ambientales.

Se explora teóricamente que la estructura paisajística puede ser importante en el proceso de estructuración de las comunidades, así como los diversos aspectos de la propia historia de vida de las especies, como son la conducta de forrajeo, la movilidad, la percepción individual del paisaje, la distribución y disponibilidad de recursos, etc.

## I. INTRODUCCION

Los estudios relacionados con inventarios biológicos se han llevado a cabo sin una concepción espacial adecuada, en general se carece de ella. Tradicionalmente se hace mención de sitios ricos en especies, con *alta biodiversidad*. Pero, ¿realmente sabemos donde estan dichas especies? De manera general, el investigador realiza los inventarios biológicos y ubica a las especies registradas dentro del área de estudio, asumiendo que todas se encuentran “contenidas” en ésta. Obviamente las esta ubicando bajo límites arbitrarios, muchas veces imaginarios y subjetivos. Lo mismo ocurre cuando se cuenta con registros pertenecientes a especímenes colectados en distintos tiempos, con localidades poco exactas y mayoritariamente cerca de las zonas de mejor acceso vial (caminos, carreteras), como con los puntos georeferenciados de los sitios de observación y colecta, los que representan un punto en el espacio de poca significancia ecológica si se esta trabando a escalas de resolución muy pequeñas.

En el presente estudio se aborda el enfoque de la ecología del paisaje (Troll, 1968; Zonneveld, 1979) y el de estudio de comunidades vegetales (Braun-Blanquet, 1979) para conformar un estudio avifaunístico en el Sur del Valle de México. Este pretende definir áreas naturales de máxima homogeneidad (unidades de paisaje), donde el factor geomorfológico es relevante para la definición de límites discretos, cartografiables y estables en el tiempo. Considerando este escenario ambiental, se pretende determinar si existe un patrón de preferencia ambiental y una posible conformación de grupos o comunidades de aves relacionada a éste. La información generada pretende contribuir teórica y metodológicamente hacia las áreas de investigación relacionadas con los estudios de biodiversidad y regionalización ecológica.

## II. MARCO TEORICO

### 1. Comunidades naturales

#### 1.1 El concepto de comunidad

La definición más utilizada de comunidad biológica es “el conjunto de poblaciones de distintas especies que ocurren juntas en tiempo y espacio y que interactúan entre ellas” (Begon, *et al.*, 1989; Kolasa, 1989). El concepto de comunidad es considerado como una de las cuestiones más problemáticas y de constante polémica dentro de las ciencias biológicas; desde hace más de cuarenta años se hace mención de la existencia de siete definiciones distintas para lo referente a una comunidad (MacFayden, 1957; citado en Peters, 1991). Cherrett (1988) (citado en Peters, 1991) menciona que de una lista de veinticinco, es considerado como el octavo concepto ecológico más popular en la teoría ecológica. Sin embargo, el alto grado de popularidad no lo ha llevado a planteamientos teóricos irrevocables.

Dicho concepto, aún presenta serias limitantes de ser aplicado amplia (Peters, 1991) y operativamente, reflejando una situación que se mueve entre lo ambiguo y subjetivo, hasta aquellas en donde existen numerosas evidencias, que aunque puntuales, explican y responden bajo diseños metodológicos específicos, a preguntas concretas.

#### 1.2 Desarrollo del concepto y controversia

La idea de la existencia de las comunidades no es reciente. Brown, *et al.*, (1996) se remontan a los trabajos de Linnaeus (1758) y Buffon (1749-1780), donde señalan respectivamente la relación de la vegetación al suelo, clima y altitud; y los efectos de la elevación y barreras geográficas en la distribución de plantas y animales. Hacia el fin del siglo pasado, los botánicos se centraron en la descripción de la vegetación y en el reconocimiento de la competencia en las interacciones planta-planta.

Durante las primeras dos décadas del presente siglo surgen dos posturas contrastantes en torno a la naturaleza y delimitación de las comunidades naturales. Clements (1916) argumenta que las comunidades son discretas, se conforman de ensamble repetibles de especies que están cercanamente integradas, funcionan como un todo y poseen propiedades análogas a las de un organismo individual. Por otro lado, Gleason (1917, 1926) postula que las comunidades carecen de

organización integral y no son mas que coincidencias aleatorias de grupos de especies que responden a condiciones bióticas y abióticas independientemente unas de otras.

Muchos estudios subsiguientes se desarrollaron a raíz de estas posturas, unos coincidiendo y apoyando a alguna de ellas, otros anulándolos drásticamente. Éstos sentaron principios importantes en la teoría ecológica, como las ideas de Clements del supra-organismo y su dinamismo, y las de Gleason, de tipo probabilístico en función de la fisiología particular de cada especie, de sus condiciones biológicas y su dependencia de eventos aleatorios. Estos principios en general, se han sustentado y han sido más explicativos sobre ciertos patrones en la naturaleza, en función de las especies y/o sistemas involucrados y determinadas condiciones.

Considerando que uno de los principales intereses de los ecólogos de comunidades ó *sinécólogos*, es entender los procesos causales de la integración de los grupos de especies y los patrones espaciales de ocupación espacial que de ellos se derivan (en tiempo y espacio).

### **1.3 Naturaleza de las comunidades**

Si se analiza el espectro general de las distintas posturas acerca de las comunidades, varios aspectos emergen consistentemente: la presencia de propiedades emergentes, la co-ocurrencia de individuos de distintas especies en tiempo y espacio; la importancia de las interacciones entre las poblaciones; la existencia de una estabilidad que tiende hacia un equilibrio en el tiempo y el azar (Wiens, 1989), los cuales se describen a continuación:

*Las propiedades emergentes.*- Se ha planteado que la comunidad, concebida en un nivel jerárquico de organización superior al de población, e inferior al de ecosistema, debe poseer *propiedades* únicas y en función de los elementos estructuradores de ella, en este caso, de las poblaciones de las distintas especies que la integran. Entre las principales se pueden mencionar la composición taxonómica y la diversidad de especies; los límites impuestos por las especies sujetas a competencia; la estructura de la cadena alimenticia y los patrones de productividad de la comunidad (Begon, *et al.*, 1986).

*Las interacciones.*- La literatura de hace más de medio siglo (v.gr. Grinnell, 1917; Gause, 1934) revelan gran cantidad de información que apoya a las interacciones intra e interespecíficas (destacando la competencia y la depredación) como las principales fuerzas estructuradoras y reguladoras de las comunidades en tiempo y espacio.

Esta postura ha dominado intensamente el pensamiento ecológico al respecto de la naturaleza y funcionamiento de las comunidades. Los estudios al respecto son numerosos y diversos: por ejemplo, en cuanto al **mutualismo**, Grime *et al.*, 1987 demostraron el efecto estructurador de las micorrizas sobre las comunidades de pastizal y Fogel y Hunt, 1974 sobre la estructura de los bosques boreales y templados; sobre **competencia** Davis, 1973 (citado en Connell, 1975) evidenció la interacción entre los gorriones (*Zonotrichia* sp.) y los juncos (*Junco* sp.) y su diferenciación de nicho, debido a la competencia por espacio, alimento y refugio; son comunes en este sentido, las explicaciones sobre la coexistencia entre especies como producto de dichas interacciones. Para el caso de la **depredación** Connell (1975) documenta el efecto estructurador sobre las especies de plantas debido a los herbívoros, como el caso de una especie de conejo y el mantenimiento y resistencia de los pastizales hacia especies invasoras y en consecuencia a un proceso sucesional que traería consigo la modificación en la riqueza y composición de especies del zacatonal.

Sin embargo, el aspecto importante a señalar, es que aunque existen muchas evidencias teóricas y prácticas (experimentales) de la fuerza estructuradora de estas interacciones, no son las más importantes, ni las únicas, ni universales. El papel de la escala espacio-temporal y las historias de vida de las especies consideradas juegan un papel determinante.

*El equilibrio estable.*- Las interacciones se sostienen en el supuesto de que las comunidades se mantienen bajo un equilibrio estable, supuesto que minimiza los efectos de la historia, de los cambios climáticos, ambientales (perturbaciones) y de los procesos aleatorios naturales (Hughes, 1989). Este mismo autor documenta que debido al efecto de un huracán, considerado como un evento de perturbación de carácter histórico, se modificaron las abundancias y la composición específica del arrecife coralino, donde jugaron un papel importante la morfología, el tamaño y las historias de vida de las distintas especies existentes. En este caso, no fueron las interacciones las que inicialmente estructuraron la comunidad. Como lo señala textualmente Hughes (1989) "El impacto relativo del proceso estructurador del arrecife coralino y de otras comunidades, depende del tiempo y la cronología, pudiendo estar en función de eventos remotos, pasados, históricos".

*El azar.*- Los procesos aleatorios-probabilísticos juegan un papel importante en la estructuración de las comunidades. Connor y Simberloff (1979) analizan de manera rigurosa a las reglas de ensamble de las comunidades de aves de islas propuestas por Diamond (1975), donde la competencia es planteada como el supuesto estructurador principal a cumplir; concluyendo que hay reglas imposibles

de cumplir bajo un razonamiento estadístico riguroso y que otras son tautológicas. Aunque no descartan el papel de la competencia, argumentan que no es la fuerza determinante, y que, es posible que exista un componente azaroso-probabilístico más parsimonioso en el proceso estructurador de las comunidades.

Esto coincide con lo que mencionan Hubbell y Foster (1986) de que los procesos probabilísticos juegan un importante papel en la estructuración de las comunidades de árboles tropicales; y señalan de manera conclusiva, que en las comunidades tropicales ricas en especies, la influencia de la incertidumbre biótica y los disturbios impredecibles pueden dominar sobre los efectos de las interacciones bióticas predecibles.

Chesson y Case (1986) señalan que el mundo es mucho más complicado que lo que explica la teoría clásica de la competencia, sin restarle su importancia. Así mismo indican que es necesario adoptar un enfoque pluralístico en cuanto al problema de la estructuración de las comunidades, la diversidad y la coexistencia de las especies. Es importante reconocer en el estudio de los sistemas todos los factores involucrados, los que finalmente constituyen el mundo biológico.

#### **1.4 Semblanza acerca del estudio de las comunidades**

Los primeros estudios formales que hacen referencia al término *comunidad* se remontan al siglo pasado y son a una escala de tipo biogeográfico, descriptivo, pero evidenciando la relación entre diversos grupos florísticos y faunísticos con algunas variables ambientales existentes. Por ejemplo, Buffon postula los efectos de la elevación y las barreras geográficas en la distribución de plantas y animales (citado en Kendeigh, 1952); Agassiz (1854) divide al mundo en 8 masas continentales o “reinos” basados en su fauna constituyente y las razas humanas que las habitan; Sclater (1858) presenta una división similar constituida por seis “regiones” faunales, fundamentado exclusivamente en la distribución de las aves. Wallace (1876) propone seis “regiones biogeográficas” basadas en la distribución de mamíferos (citado en Brown, et al., 1996). Allen (1878) y Gill (1885) siguen los esquemas previamente desarrollados, añadiendo diversos niveles jerárquicos con base en criterios taxonómicos y evolutivos para sus clasificaciones. De modo paralelo ocurría lo mismo con los trabajos botánicos, por ejemplo Cooper (1859) y su clasificación de “provincias naturales” en Norte América y Brown, *et al* (1996) citan a Engler (1879-1882) quien crea las categorías de reino floral, region, provincia y distritos; y Drüde (1887) quien elabora un mapa basado en formas de vida o “formaciones”.

Una interesante aportación en los terrenos faunísticos, fué la de Merriam (1894) al definir las "zonas de vida", fundamentadas en las especies indicadoras de plantas y animales y variables como la temperatura, la humedad y la topografía. Por su lado, los botánicos refinaron su sistema jerárquico de clasificación, dividiendo al mundo en zonas climáticas, clases de formación, comunidades y asociaciones (Clements, 1916; Braun-Blanquet, 1932). Los mapas de vegetación natural y de comunidades de plantas han sido la base de muchos mapas a escala nacional, estatal y regional (p. ej. Rzedowski, 1978). Aunque las comunidades de plantas no necesariamente corresponden a los hábitats de la fauna, debido a sus historias evolutivas y de dispersión, muchas clasificaciones de plantas han sido adoptadas por los zoogeógrafos (Braun-Blanquet, 1932; Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974) y utilizados hasta nuestros días (Brown, *et al.*, 1996). Estos últimos autores definen a la *provincia biótica* como aquella determinada con base al clima regional, la topografía, los suelos y la similaridad en las plantas y animales constituyentes; y a la *comunidad biótica*, definida por medio de la distribución florística y faunística y el reconocimiento de sus "especies indicadoras"; ésta puede ser reconocida en el campo y sus límites pueden ser cartografiados.

Es posible mencionar aún a numerosos autores y obras relacionados con el estudio de las comunidades. Sin embargo, lo importante es señalar que la distinción de grupos naturales en relación a factores ambientales no es nada nueva. Pero también hay que reconocer que el manejo del término comunidad, en o desde sus inicios, sólo se circunscribía a la parte estructural de la definición, es decir a la composición de especies que se encuentran en un lugar determinado y su relación con gradientes ambientales. La parte funcional de la definición, la relacionada con las interacciones interespecíficas, y que como producto generan asociaciones dinámicas en tiempo y espacio, en su mayoría no son estudiadas a fondo o sólo con pocas especies constituyentes.

Sin embargo, cabe mencionar que se han sentado bases teóricas y prácticas que nos permiten reconocer y clasificar a las especies y su organización espacial a distintas escalas de resolución. Las clasificaciones mencionadas son consideradas hasta la actualidad y siguen ocupando la atención de los biogeógrafos (Brown, *et al.*, 1996).

## 1.5 Las comunidades animales

### 1.5.1 El contexto

Los estudiosos de las comunidades vegetales trabajan con los llamados *ensambles* o grupos de especies espacialmente "fijos", dando énfasis a la definición y descripción de asociaciones y sus cambios sobre el tiempo sucesional. Los que estudian a grupos faunísticos, de principio, se

confrontan con una característica contrastante, la movilidad; característica importante en lo concerniente a las interacciones y las relaciones funcionales entre las especies (Wiens, 1989). Esta diferenciación es relativa, ya que las plantas presentan un componente de movilidad y desplazamiento (por medio de la dispersión) a distintas escalas espaciales y temporales. Sin embargo, es importante señalar que las investigaciones con animales conllevan particularidades teóricas y metodológicas, que aunque no son diametralmente opuestas, se han desarrollado también desde el siglo pasado y bajo enfoques similares a los de la vegetación.

### 1.5.2 Las comunidades de aves

En este sentido, el grupo de las aves ha sido sujeto de estudio, incluso modelo para el planteamiento de preguntas de índole ecológica, histórica y hasta de planeación. Entre las principales razones de esta situación se puede decir que las aves se encuentran representadas en todos los ambientes de la tierra; poseen en general llamativas formas y o cantos, que aunado a su hábitos diurnos y patrones conductuales fácilmente documentables, han estado ligadas a la propia historia de la humanidad. De tal modo, es posible contar con abundante información referente a su distribución, historia natural, sistemática (Wiens, 1989) y en especial, han contribuido de diversas maneras al trabajo conceptual y teórico de la ecología de comunidades como un todo (citado en Wiens, 1989).

A partir de la década de los treinta del presente siglo, los estudios sobre comunidades de aves se realizaron bajo los marcos conceptuales polémicos existentes de Clements y Gleason. Por ejemplo y para el caso de los estudios que respaldaron la postura *clementsiana*, (Wiens, 1989) cita los de Lack (1933) y Odum (1950) que tratan sobre las asociaciones de aves a zonas de vida, formaciones de vegetación y comunidades bióticas; y el realizado por Bond (1957) sobre la avifauna en gradientes vegetacionales que apoyó la postura *gleasoniana* (en Wiens, 1989).

Realmente hay poca aportación de estudios de comunidades de aves durante esta época. A finales de la década de los cincuentas y en la de los sesentas, se da una transformación y revitalización de la ecología de comunidades de aves con los trabajos de Lack (1954) y MacArthur (1968), donde se enfatiza la importancia de la competencia interespecífica en la estructuración de las comunidades y sus efectos en el desarrollo evolutivo de diferencias morfológicas y ecológicas entre las especies coexistentes. La visión de la competencia y la tendencia a un equilibrio a lo largo del tiempo, dominó la investigación e ideas en la ecología de comunidades de aves desde 1950 y hasta casi finales de los setentas, en donde sobresalen el principio de exclusión competitiva de Gause (1934), la formulación de la teoría de nicho de Hutchinson (1957) y los modelos matemáticos de interacciones de MacArthur

(1972) y Diamond (1975). Es central el aspecto de la partición de recursos entre especies coexistentes y sus efectos en la diversidad de especies local y regional, haciendo inferencias sobre la importancia de la competencia interespecífica y la coexistencia de especies (Wiens, 1989).

Posteriormente, durante los ochentas, surge la controversia sobre (en contra de, o poniendo en evidencia a la escuela MacArthur), debido a un fuerte incremento de evidencias que no se ajustaban a las predicciones de la teoría de la competencia y el equilibrio. Perdió fuerza en ese momento lo que se creía una teoría generalizable, debido a las pruebas brindadas por otros factores como la importancia de los efectos estocásticos, la arbitrariedad de la selección de la escala espacial de estudio y lo relacionado con la tendencia al equilibrio de los sistemas interespecíficos. Sin embargo, abrió por consiguiente demasiadas preguntas en torno a lo que no podía ya explicar.

Resultaría una tarea difícil mencionar todos los estudios que se han realizado sobre ecología de comunidades de aves (ver Wiens, 1989), pero gran parte de la teoría sobre comunidades se ha desarrollado trabajando con aves terrestres, y que mucha información es análoga a la que existe sobre comunidades vegetales. Por ejemplo, en el caso de la *competencia*, se maneja de manera similar la importancia de los recursos limitados y de las respuestas evolutivas de las especies en términos de morfología, fisiología y conducta; tal es el caso de la selección de hábitat y las relaciones ecomorfológicas, como es el caso de la correspondencia entre longitud de patas y profundidad del cuerpo de agua y la arquitectura y forma de crecimiento de las especies arbóreas (ver Sebastiani, *et al*, 1995). De la misma manera podemos hablar de trabajos que evidencian la importancia de las historias de vida; de los procesos aleatorios, de la influencia de la historia; del papel del disturbio y la sucesión animal; de la dispersión (en este caso migración y capacidades de movilidad) y hasta de productividad y redes tróficas.

Es posible decir que estos factores tienen un papel en la estructura y dinámica de las comunidades de aves, análogos a las de las comunidades vegetales; por lo que considero que debemos pensar en enfoques pluralísticos e integrales acordes a la propia naturaleza de las comunidades biológicas, sin intentar ponderar, hasta no tener los elementos teóricos necesarios, que un determinado patrón es el principal agente estructurador en tiempo y espacio de las comunidades. Los estudios con aves han sido buenos modelos de aproximación para la resolución y entendimiento de lo que sabemos sobre ecología de comunidades biológicas.

## 1.6 El escenario actual: ¿cómo se estudian las aves terrestres en México?

Lo que se sabe de la avifauna mexicana y su distribución es el resultado de muchos años de exploraciones y reconocimientos faunísticos que se iniciaron desde etapas precortesianas (Navarro, 1989). La mayoría de este conocimiento proviene principalmente de colecciones de aves mexicanas distribuidas por todo el mundo (Navarro y Benítez, 1993). Estos mismos autores mencionan que han sido escasos los esfuerzos realizados para comprender la avifauna de México desde un punto de vista global. Esto se debe a no se cuenta con los inventarios de aves para todos los estados del país. Hasta ahora sólo se han inventariado doce entidades mexicanas (Navarro y Benítez, 1993) en donde se brinda información básica sobre distribución y abundancia. Es oportuno mencionar que existen numerosos trabajos que han abordado el estudio de las aves a una escala regional o local (v.gr. Rodríguez-Yañez, *et al.*, 1994). Es claro que aún falta mucho por hacer, sobre todo cuando todavía no se conoce de manera detallada y formal a la avifauna nacional.

Sin embargo, se cuenta con esfuerzos recientes y de gran relevancia para el conocimiento y conservación de este grupo faunístico. Escalante, *et al.* (1993) y Peterson y Navarro (com. pers.) realizan una síntesis sobre la aves de México y sus principales patrones de distribución, generando los escenarios de máxima riqueza y endemidad. También Navarro, *et al.* (com. pers.) se encuentran realizando el Atlas de las Aves de México, donde se sintetizan todos los datos de ocurrencia de las aves de México, con los que es posible elaborar los mapas de distribución para cada especie. Finalmente, Arizmendi desde 1996 está llevando a cabo el Proyecto Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS), donde se está analizando mediante criterios estándares de valoración (tamaños poblacionales, tamaños de las áreas de distribución, estatus de vulnerabilidad, hábitats únicos, etc.) al territorio mexicano (AICAS, 1996). Esto permitirá la identificación de las áreas prioritarias para la conservación de aves en México.

Este tipo de estudios revela por un lado el grado de conocimiento de nuestra avifauna, ya que apenas estamos reconociendo los patrones de distribución y asociación a una escala espacial muy pequeña, poco operacional a la luz de la teoría de comunidades, pero de importancia en términos básicos y propositivos de áreas importantes de conservación para la avifauna nacional.

## 2. La representación espacial de la biodiversidad

### 2.1 Contexto

#### *Las unidades de conservación*

Nadie duda de la existencia de las especies. Pero cuando nos referimos a niveles jerárquicos de organización, como son las poblaciones y las comunidades biológicas, parecieran ser, para muchos, sólo abstracciones y construcciones mentales caprichosas.

Sin embargo, cabe mencionar que la determinación o el reconocimiento propio de las mismas *especies* es tema de profundos debates científicos. Por ejemplo, Peterson y Navarro (com. pers.) han demostrado que los patrones y cifras de riqueza de la avifauna mexicana son diferentes e inferiores cuando se utiliza el concepto de especie biológico, comparado con el concepto de especie filogenético. Recientes investigaciones han arrojado evidencias para la determinación de especies a partir de las subespecies del complejo *Toxostoma curvirostre* de las zonas áridas de Norteamérica (Rojas, 1998), modificándose los valores de riqueza del género y sus patrones de distrución. Entonces, cabe mencionar que aún estamos en un proceso de refinamiento del conocimiento taxonómico de las especies ya descritas, sin mencionar aquí, que aún no se conoce la totalidad de las especies del planeta (Dirzo, 1990).

Los estudios clásicos de biodiversidad se han enfocado a los elementos "tangibles" de la naturaleza, a las *especies*; es decir, a la determinación del número de especies existentes y, mediante la simple delimitación de su área de distribución, a conocer los principales patrones espaciales. Por medio de técnicas de regresión, se ha llegado a espacializar a la riqueza biológica en relación a diversos factores como la altitud, la latitud, la aridez, la humedad, etc. (Toledo, 1994a).

Esta situación plantea importantes puntos de reflexión cuando abordamos el problema de la conservación biológica. El *que* y el *donde conservar* se han vuelto una tarea prioritaria a nivel mundial (Soberón, 1993). El enfoque de priorizar la conservación de especies, ecosistemas, hábitas o comunidades sigue en constante debate (Miller, 1994). Por ejemplo, los esfuerzos tradicionales para conservar especies individuales ha demostrado una efectividad limitada, ya que la protección del hábitat es dirigida hacia las necesidades de pocas especies, más que a la identificación de hábitats representativos de una mayoría (Butterfield *et al.*, 1994). Hasta ahora, la cuantificación y localización geográfica de la diversidad biológica ha permitido determinar las áreas de alta concentración de especies y por lo tanto, a considerarlas como áreas de gran importancia biológica.

Sin embargo, cuando son considerados aspectos de tipo biológico-geográfico, más que numéricos, como son el endemismo y la rareza (v.gr. Rabinowitz, *et al.*, 1986) el escenario espacial y las implicaciones de conservación pueden ser muy distintos al considerar solo el número de especies.

La conservación biológica abarca procesos en una gran variedad de escalas temporales y espaciales (Soberón, 1993), además de responder en muchas de las veces, a intereses humanos subjetivos.

### *La escala*

En cartografía, la escala espacial es un concepto bien definido y que representa el grado de reducción espacial, usualmente expresada en una terminología numérica como 1: 10 000 (Bocco, com. pers.). Entonces, la escala en un mapa, considerando a éste como una representación gráfica de la realidad y una fuente de información, indicará el nivel de detalle de los elementos espaciales representados. Lo anterior adquiere gran importancia cuando los elementos de estudio son valores de biodiversidad, como son por ejemplo, la riqueza de especies o el tipo de comunidad vegetal existentes en una región determinada. Es de esperarse una fuerte relación entre dichos valores y la escala espacial de interés (Toledo, 1994a). Por ejemplo, la diversidad se incrementa en la medida que se aumenta el tamaño de muestra (Toledo, op cit.) y lo que se clasifica como tipo de vegetación a una escala pequeña, puede ser un conjunto de comunidades vegetales a una escala mayor.

Como se puede apreciar, la *espacialización* de la biodiversidad enfrenta grandes retos conceptuales y técnicos. Aspectos como la delimitación del área de estudio; el objeto de estudio; los métodos y técnicas para la obtención y análisis de datos y el manejo de la información para de definición de resultados, representan elementos de alta reflexión y análisis durante el proceso de la investigación en la conservación biológica.

La concepción mental, el entendimiento y el manejo de las propiedades de la escala y de sus variables espaciales son de gran necesidad durante el proceso de representación cartográfica de la naturaleza.

## **2.2 Principales enfoques de cartografía de la biodiversidad**

Desde los inicios de la humanidad ha existido la necesidad de generar representaciones espaciales mediante pinturas y grabados principalmente (por ejemplo, la localización de agua y alimento). Los mapas son representaciones de la realidad; permiten la organización de los elementos de interés en una escala espacial y temporal definida. Para el caso de la biodiversidad en particular y de la naturaleza en general, la elaboración de mapas permitirá representar cualquier atributo de interés y para ser utilizados principalmente como herramientas para la clasificación, planeación y manejo de los recursos naturales. A continuación se describen los principales enfoques utilizados para cartografiar los diversos elementos naturales.

### 2.2.1 Análisis de Datos Puntuales (Data Point Analysis)

Este enfoque se basa en ubicar cartográficamente las coordenadas obtenidas de las especies observadas y/o colectadas, representando áreas territoriales conformadas por series de puntos. Esto ha ayudado a conocer los patrones de distribución de los taxa de interés, y por lo tanto, a determinar por ejemplo zonas de alta riqueza específica, de endemismo y de rareza; criterios utilizados para la selección de zonas prioritarias de conservación.

Sin embargo, el enfoque carece de una dimensión espacial discreta, como es el caso del análisis de claros o de discrepancias (Gap Analysis) y el de rejillas (Grid Analysis), ya que al ser representado por un punto en el espacio, en el mapa, sólo indica una posición geográfica sin relación explícita a ninguna variable ambiental. El significado espacial de un par de coordenadas puede ser muy heterogéneo en términos del hábitat de las especies, lo que dificulta o limita la cantidad y calidad de información del registro en cuestión. Existe un grave problema cuando se utilizan escalas pequeñas. Por ejemplo, si vamos al campo con el registro puntual de *Toxostoma ocellatum* y encontramos la confluencia de un bosque mixto y un matorral xerófilo, ¿cómo podemos saber en que ambiente se observó? y ¿cómo pasar al proceso de asignación y clasificación de áreas ricas en especies, en endemismos o rareza? De manera estricta no hay respuesta, pero así se ha hecho y ha sido útil bajo ciertas escalas, objetivos y técnicas de estudio. Otro problema surge cuando se pretende *escalar* principalmente hacia escalas mayores o modelar (p.ej. GARP Analysis) y se ignoran o malinterpretan las relaciones especies-espacios.

### 2.2.2 Análisis de Cuadrantes (Grid Analysis)

Este enfoque utiliza las unidades cartográficas convencionales, es decir, se abstrae y utiliza un número determinado de grados de latitud y longitud. Su representación es por medio de cuadrantes sobre el área de interés. Los cuadrantes o “celdas” que generalmente se han manejado para estudios de diversidad son los de 5° por 5°. Por ejemplo, con 18 cuadrantes puede cubrirse todo el país (Alvarez, 1997). Este enfoque ha permitido visualizar diversos tipos de información biológica de manera espacial, brindando información sobre patrones (¿cúmulos de información?) de distribución geográfica de la riqueza y el endemismo (González y Rangel, 1992; Álvarez, op cit.) y también sobre las relaciones entre factores abióticos (clima, altitud) y bióticos (vegetación) (Rojas, 1995; Rodríguez, 1997). Generalmente, con este tipo de información se realizan propuestas de áreas a modo de cuadrantes, que son importantes para la conservación de especies y o regiones.

Este enfoque presenta ciertas limitaciones debidas a la combinación de varios factores:

*Pequeña escala de resolución.*- Por ejemplo, en un cuadrante de 5° por 5° queda representado el centro-oeste de México, y al anexar los datos de número de especies registradas para esa área, se tiene para el caso de los Mimidos de América, una riqueza de 8 especies (Álvarez, 1997), valor que se extrapola a todo el cuadrante sin considerar que éstas especies pudieron haber sido registradas solo hacia el sur del mismo; finalmente se propone que toda el área las contiene.

Existe una pobre relación entre la resolución y la realidad, principalmente cuando nos referimos hacia prácticas de conservación biológica *in situ*, por lo que perdemos la capacidad de realizar estimaciones predictivas y modelaje de variables.

*Poca definición del hábitat.*- En relación con el problema de escala señalado, no se considera que el cuadrante es heterógeno ambientalmente, es decir, la región centro-oeste de México puede contener un mosaico vegetacional, geomorfológico, altitudinal, etc., al que las especies seguramente responden y se segregan en su distribución. Existe una pobre relación especies-espacios-hábitats.

*Origen y tipo de datos.*- Los datos utilizados en su mayoría provienen de distintas fuentes, es decir, de diversos estudios con distintos métodos de registro y sin correspondencia temporal (realizados en tiempos muy distintos) y espacial (realizados en diferentes zonas). Además, existen registros de observación y/o colecta con poca exactitud en cuanto a su localización geográfica se refiere, por lo que pasan por un proceso de georeferenciación laborioso y con riesgos de precisión.

Sin embargo, considero necesario señalar, que el enfoque ha sido de gran utilidad para las labores de prospección y cartografía de la biodiversidad, ya que han brindado importantes escenarios gráficos de la distribución de los recursos naturales (p. ej. CONABIO), brindando fundamentos para la selección de áreas importantes para la conservación, así como de aquellas que potencialmente puedan serlo.

### 2.2.3 Análisis de Claros (Gap Analysis).

El Gap Análisis se fundamenta en la idea de identificar grandes regiones representativas de un determinado número de especies. Este enfoque integra la distribución de muchas especies y genera resultados de manera rápida. Un componente integral del Gap Análisis es el desarrollo de mapas de distribución de grupos de especies.

Esta información, generalmente de tipo puntual, es transformada mediante procesos de modelación, en mapas de *intervalos* de presencia de las especies. Estos intervalos de presencia son fundamentados probabilísticamente de acuerdo a diversas fuentes de información, es decir, a las

variables ambientales que están asociadas o que ejercen relación con la distribución de las especies. Se genera un modelo que correlaciona diversas capas de información ambiental con diferentes capas de información biológica.

Conceptualmente, el resultado indica los patrones teóricos de distribución total de las especies, entendiéndolos como la suma de las localidades en donde se han registrado a las especies, más las áreas en donde dichas especies potencialmente pueden ocurrir y que quizá no se han registrado.

El GA necesita varios elementos para determinar los patrones de distribución más acertadamente (Butterfield *et al.*, 1994) : 1) conocer los límites de los intervalos de distribución de cada especie; 2) diferenciar las áreas de mayor probabilidad de presencia y ausencia dentro de este intervalo; 3) ser cuidadoso al enfrentarse a la ausencia de datos de campo completos o extensivos; 4) contener suficientes datos que permitan comparaciones con la realidad utilitaria de las zonas, es decir, lo referente a tenencia de la tierra y patrones de manejo y 5) que el solapamiento de información (número de variables a relacionar) no sea demasiado complejo.

Butterfield, *et al.* (1994) concluyen que el el GA identifica a las especies que no están adecuadamente representadas en una área determinada, y que potencialmente pueden estarlo al solaparse las adecuadas “capas” de información que se asume influirán en su área de distribución. A estas especies se les denomina **especies gap**, siendo posible señalar las áreas ricas en especies “gap”. Estas áreas pueden ser importantes contribuciones en la selección de sitios a conservar, ya que pueden ser representativas de todas las especies y ecosistemas.

Los principales supuestos y limitaciones de este enfoque son:

- 1) Se asume que la distribución de los vertebrados está directamente determinada por patrones ambientales cartografiados. Las relaciones inter e intraespecíficas no pueden ser consideradas en el modelaje.
- 2) Las especies de alta movilidad son consideradas como vagrantes o accidentales si se les observa fuera de su intervalo de distribución o de su hábitat característico.
- 3) Las relaciones de especies a escala de microhábitat no pueden ser representadas.
- 4) Se asume que la distribución de los individuos en el área de modelaje es continua.

#### **2.2.4 Análisis mediante la Ecología del Paisaje**

El geógrafo Carl Troll introduce el término de “ecología del paisaje” en 1966 definiéndolo como la ciencia de la interrelación total y compleja entre los organismos y sus factores ambientales.

Zonneveld (1983) menciona que Troll (1950) usa el término "Okotopo" para la unidad territorial más pequeña que puede ser considerada como un paisaje homogéneo, en la cual todos los geofactores relevantes están presentes y funcionando. Pareciera ser análoga a la definición de ecología, pero Ives (1980; citado *en* Zonneveld, 1979) señala que la diferencia estriba en que en la Ecología del Paisaje se le da un mayor énfasis a la influencia de los aspectos geomorfológicos, hidrológicos y climáticos sobre la organización espacial del ambiente a distintas escalas. Por la influencia de las llamadas "geociencias" en su marco conceptual y operativo, la ecología del paisaje también es conocida como *geoecología* (Troll, 1968 y 1972; citados *en* Zonneveld, 1979). Esta ciencia estudia la dinámica de los ambientes y su organización espacial a partir de la geografía física, donde el papel modificador del hombre queda involucrado (García-Ruiz, 1990; Palma, 1997).

Los seguidores de la Ecología del Paisaje toman la "percepción plurisensorial" de lo aparente como el punto de partida e hilo conductor de sus interpretaciones (Toledo, 1994b). El desciframiento del paisaje se vuelve entonces la tarea central de su metodología (Toledo, *op cit.*). Zonneveld y Surasana (1988) definen como paisaje a una parte del espacio de la superficie del planeta formado por un complejo de sistemas resultado de la actividad de rocas, el agua, el aire, las plantas, los animales y el hombre, y que dada su fisonomía, conforma una unidad reconocible

Según Zonneveld (1979) la ciencia en la cual el paisaje, sus patrones, sus interrelaciones y génesis son estudiadas, puede ser llamada la "ciencia del paisaje". El propósito de la ciencia del paisaje es estudiar los "caracteres totales de una pieza de la tierra", como son las rocas, las formas del terreno, las partículas de suelo, el suelo, el agua, el clima, la vegetación, flora, fauna, cultivos y estructuras humanas, y a los humanos mismos. Estos atributos del paisaje son al mismo tiempo factores, que interactúan de manera dinámica en la creación de un sistema integrado de componentes.

Bajo este contexto, la clasificación es un intento de controlar la abundancia ilimitada de los elementos de la naturaleza. La clasificación del paisaje involucra entonces, la subdivisión de la geósfera en unidades. Para hacerlo se propone distinguir "ordenes de magnitud o dimensiones" en los que uno desee trabajar, reconociendo sistemas de categorías jerarquizadas acerca de las distintas dimensiones en que se puede trabajar a nivel paisajístico (ver Zonneveld, 1979 para más detalle). Cada unidad de paisaje debe ser descrita en términos de sus componentes verticales (vegetación, hidrología y manejo humano) y horizontales (roca, relieve y suelo). Por lo tanto, esta unidad representa un complejo ecológico concreto, holístico y homogéneo (Troll, 1950 y 1966, citados *en* Zonneveld, 1979). Cabe mencionar que el concepto de holístico no significa la "mezcla" de todos los

factores, sino el entendimiento de la *organización jerárquica* de los componentes de la naturaleza (Bocco, com. pers.).

Las “unidades de paisaje” o “unidades de ecología del paisaje” (Bocco y Ortiz, 1994), que de acuerdo con Zonneveld (1979) son aquellas en donde la distribución espacial de la vegetación es la que guía el proceso de delimitación de lo homogéneo. Una cierta unidad de vegetación supone, entonces, homogeneidad en el tipo de la roca, pendiente, relieve, etc. La línea de razonamiento va de la cobertura hacia el sustrato, a diferencia de las denominadas unidades de terreno, en donde lo central es la homogeneidad a nivel del relieve, suelo, geología y morfometría (Bocco y Ortiz, 1994).

Bajo este concepto, las unidades ambientales adoptan una estructura espacial jerárquica y articulada de manera taxonómica, permitiendo la integración de diversos niveles de conceptualización del espacio y del ambiente, desde la ladera a la unidad morfo-bio-climática (Bocco y Ortiz, 1994 y Bocco, 1998) Bocco y Ortiz (op cit.) señalan que la geomorfología puede considerarse como la disciplina que más ha contribuido en la definición de unidades homogéneas, aspecto central en la ecología del paisaje. La geomorfología se encarga del estudio sistemático de las formas del relieve, tanto a nivel de su origen, como de los procesos y formas resultantes. Entonces, a partir de la detección de formas del relieve homogéneas (cimas, laderas, llanuras, etc.), es posible inferir homogeneidad en otras variables ambientales, aunque la relación no siempre es directa. Dos aspectos relevantes de la inclusión de las geoformas son: (1) tienden a ser más estables en el tiempo, a diferencia de los otros componentes del sistema, como la vegetación, que suele ser más dinámica espacial y temporalmente, debido a la influencia directa de los patrones de utilización antropogénica; y (2) pueden presentar límites más discretos en el espacio.

De tal modo, se pueden señalar las ventajas de la utilización del enfoque paisajístico para la cartografía ambiental:

- ◆ Representa de manera integral a los factores bióticos y abióticos del sistema, así como sus interrelaciones.
- ◆ Representa un modelo conceptual jerárquico y multiescalar.
- ◆ Las unidades resultantes del análisis pueden tener límites discretos y concentrar un alto valor de homogeneidad ambiental, por lo que pueden cartografiarse adecuadamente.
- ◆ Los productos del análisis paisajístico pueden representarse de dos maneras:

- (1) Polígonos en mapas.- Conteniendo la información biótica y abiótica tanto en forma separada como combinada, como mapas de vegetación, hábitats para fauna, zonificación de usos, etc.;  
y
- (2) Perfiles transversales.- Conteniendo los gradientes geomorfológicos y la relación con los sistemas naturales y los de manejo.

El concepto de unidad de paisaje, resultado del análisis conjunto del relieve, los suelos y la vegetación a una escala determinada, constituye no sólo una construcción teórica sino una herramienta cartográfica y un medio para utilizar información paisajística para propósitos prácticos (Toledo, 1994b; Bocco, 1998). En resumen, el análisis espacial mediante la Ecología del Paisaje representa un importante punto de partida para la definición de unidades espaciales aptas para el ordenamiento ecológico, y por consiguiente para la planeación y asignación de estrategias de conservación biológica.

### III. ANTECEDENTES ORNITOLÓGICOS

El conocimiento de la fauna y flora de la Cuenca de México se remonta a la historia misma del poblamiento humano de la región (Niederberger, 1987). Los antiguos mexicanos fueron profundos conocedores de las aves silvestres, ya que éstas formaron parte importante dentro de sus relaciones culturales, estéticas, religiosas, artísticas y económicas; quedando de manifiesto en una gran cantidad de códices, petroglifos, murales, alto y bajo relieves, esculturas y arte plumario (Martín del Campo, 1943).

En cuanto al conocimiento formal de la avifauna registrada principalmente en el Distrito Federal, Cabrera (1995) hace una semblanza sobre el desarrollo de los principales trabajos de colecta y publicación ornitológica, tratando de circunscribirla para el Distrito Federal y el Valle de México. A continuación se sintetiza: Los primeros registros se remontan hacia la segunda mitad del siglo XIX (Cabrera, 1995). Para el caso de las colecciones, en el Instituto de Biología (UNAM) existen 46 especies representadas, que aunque cuentan con pocos especímenes, resulta ser una colección muy valiosa, ya que algunos ejemplares datan desde 1888, siendo relativamente más continuos los registros a partir de 1921 hasta 1989, sobresaliendo los años de 1937, 1972, 1973 y 1979.

En el Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM existen aproximadamente 100 especies representadas, las que cuentan con un mayor número de ejemplares depositados con respecto al Instituto de Biología, aunque los registros son relativamente más recientes, ya que datan de 1975 hasta 1988, siendo los años de 1976 y 1981 en los que se efectuaron más colectas. Para el caso de las publicaciones, probablemente el primer reporte "formal" es el de Cassin (1848), quien citó las aves colectadas en un recorrido desde Veracruz a la Ciudad de México; posteriormente Sclater (1864) y Sclater y Salvin (1869) reportaron las listas de las especies colectadas por naturalistas extranjeros en los alrededores de la Ciudad de México.

En general los trabajos subsiguientes hacia finales del siglo XIX y los desarrollados hasta los años cincuentas, consideran principalmente listados de especies y notas sobre su distribución en el Valle de México (Villada, 1869, 1873, 1879, 1897; Sámano y Sokoloff, 1931; Sutton y Burleigh, 1942; Tapia, 1952), etnozoolgía (Martín del Campo, 1940; Martín d'Lucenay, 1946 y 1950), taxonomía (Warner y Dickerman, 1959) y sistemática (Webster, 1958). En la década de los sesentas se realizaron trabajos relacionados con aspectos reproductivos (Elliot, 1965), de conducta (Elliot y Davis, 1965), sobre historias de vida (Elliot, 1969), alimentación (Ligon, 1968) y los relacionados con la conservación y manejo (Club de caza, tiro y pesca, 1964). En la década siguiente, surgieron

#### **IV. OBJETIVOS**

*General:*

**Aplicar el enfoque de la ecología de comunidades (sinecológico) y el de la ecología del paisaje para el estudio de la avifauna del Sur del Valle de México.**

*Particulares:*

**Definir las unidades de paisaje del Sur del Valle de México a escala 1:50 000.**

**Determinar los patrones de agrupación y distribución espacial de la avifauna regional con base en las unidades de paisaje definidas.**

**Explorar posibles aplicaciones de los conceptos aplicados.**

## V. AREA DE ESTUDIO

### Localización

Hacia la porción centro-oriental del Sistema Volcánico Transversal se ubica la Cuenca de México, entre los 19° 02' y 20° 12' de latitud norte y los meridianos 98° 28' y 99° 32' de longitud oeste (INEGI, 1998). Es una estructura geomorfológica con límites espaciales precisos y conforma un parteaguas cerrado que la define como cuenca endorreica. Es, en sí, una extensa altiplanicie con una altitud mínima de 2240 de altitud, rodeada por numerosos conjuntos de montañas jóvenes y antiguas (Lugo, 1984). La cuenca abarca una superficie de 9600 Km<sup>2</sup> y comprende parte de los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Distrito Federal.

En particular, el área de estudio corresponde al sur de la Cuenca de México, la que limita al oeste por el Volcán Pelado, al este por el Volcán Tláloc, al sur por el Volcán Chichinautzin y al norte por los poblados rurales de San Andres Totochtepec, San Salvador Cuauhtenco, San Francisco, San Pablo Oztotepec, San Lorenzo Tlacayucan, Villa Milpa Alta y Santa Ana Tlacotenco. Esta región se ubica entre los 19° 02' y 19° 13' de LN y los 98° 56' y 99° 16' de LW. El intervalo altitudinal existente va desde los 2500 m hasta los 3680 m de altitud; el Volcán Tláloc representa la máxima altura. Esta área comprende una superficie de 680 km<sup>2</sup> (Velázquez, 1993) (Ver Fig. 1).

### Geología , relieve y suelo.

La Cuenca de México debe su formación a procesos volcánicos y tectónicos que se han ido desarrollando a partir del Eoceno Superior, es decir hace 50 millones de años. El vulcanismo produjo espesores de dos kilómetros de lava basáltica con material piroclástico asociado (tobas, cenizas y brechas). En menor proporción se encuentran sedimentos lacustres depositados durante el Cuaternario y material aluvial con intraestratificaciones de cenizas volcánicas del Plio-Pleistoceno (Lugo, 1984).

El área está constituida por dos paisajes geomorfológicos principales: la planicie propiamente dicha, donde existen geoformas tales como la llanura lacustre, algunas planicies aisladas, lomeríos bajos y planicies de inundación; y las sierras que la circundan con diversas geoformas, principalmente las laderas y valles erosivos.

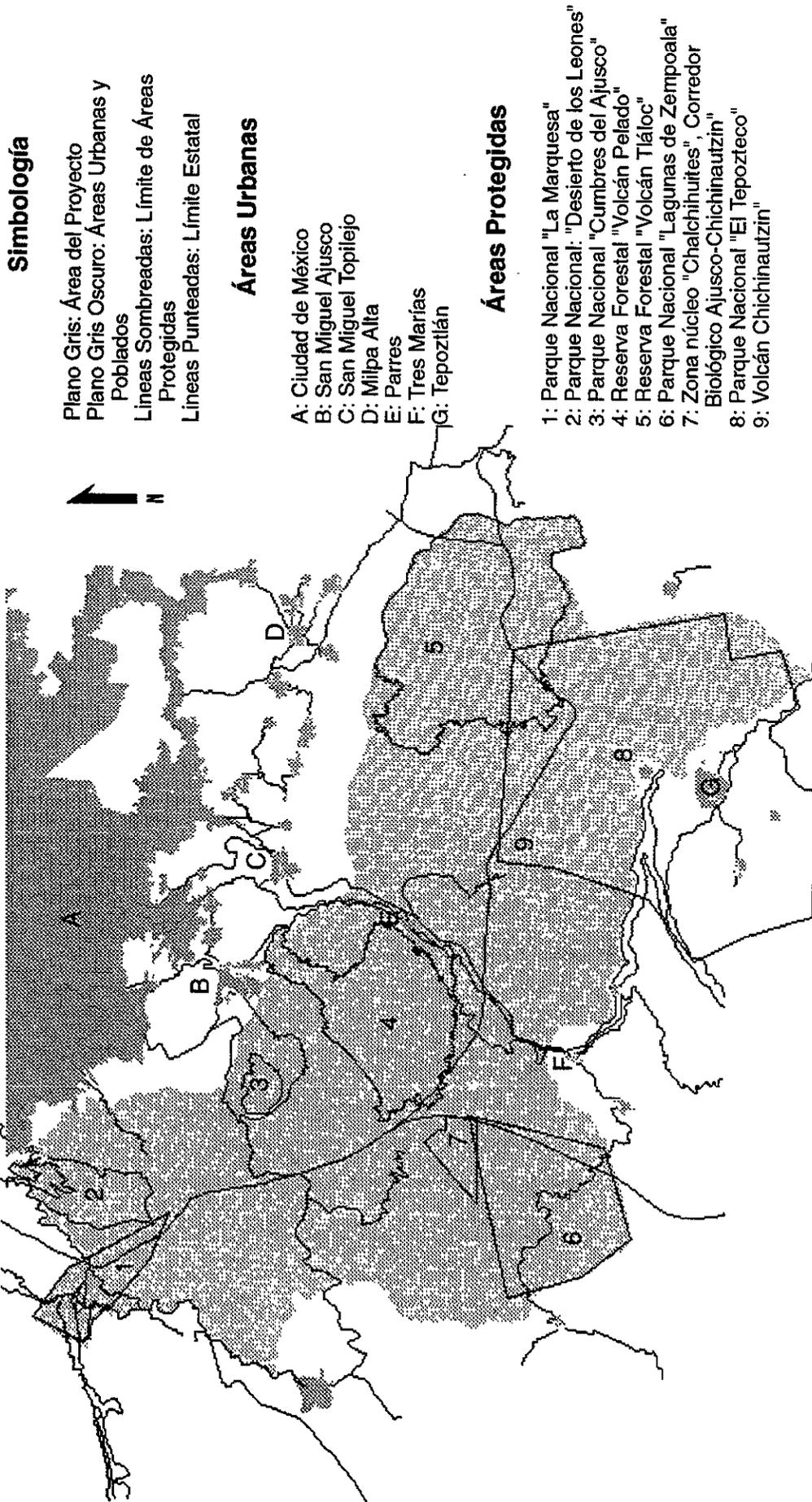


Fig. 1. Esquema de localización del Sur del Valle de México. Tomado de Stelma (1995).

En cuanto a las sierras, las laderas se caracterizan por formar en conjunto, una gran extensión de derrames lávicos sobrepuestos, representados por numerosos aparatos volcánicos jóvenes (v.gr. Ajusco, Pelado, Oyameyo), lomeríos altos y conos cineríticos. Los valles erosivos forman valles intermontanos, rampas de piedemonte y cañones (Lugo, 1984; *en* Palma, 1997). En el sur de la Cuenca se observa claramente un tipo de relieve endógeno (volcánico acumulativo), como resultado de una extraordinaria actividad volcánica a fines del Pleistoceno y en el Holoceno. En esta región se localiza la mayor concentración de volcanes jóvenes los cuales suman en total hasta 300 aproximadamente (Bloomfield, 1975; *en* Palma, 1997). Los grupos de volcánes de la Cuenca de México son variables en cuanto a su composición y edad (Lugo, 1984).

La Sierra del Chichinautzin es de edad posiblemente holocénica. Al ser una formación relativamente reciente, presenta una red fluvial integrada por corrientes aisladas y superficiales. Los materiales del Chichinautzin se extendieron hacia la vertiente sur de la Sierra y cubren parcialmente las rocas antiguas de la Formación Tepoztlán, por lo que son comunes áreas con alta pendiente y escarpes (Martín del pozo, 1980; *en* Palma, 1997). El Ajusco se formó en varias etapas de actividad a partir del pliocuaternario. Está constituido principalmente por andesitas porfídicas (Martín del Pozo, 1980; *en* Palma, 1997). La planicie lacustre de la Cuenca de México, sobre todo en su parte sur, se convierte en receptora de las corrientes montañosas que en el pasado originaron mantos acumulativos (Palma, 1997).

En cuanto a los suelos del sur de la Cuenca de México, éstos presentan características genéticas y morfológicas distintivas y complejas, determinadas por la composición y edad de los materiales eruptivos, por la influencia climática diferencial en el gradiente altitudinal de la región y por factores gravitacionales como la pendiente y el desagüe. Los principales tipos de suelos reportados por el Insituto Nacional de Geografía (INEGI, 1978), para el sur de la Cuenca de México según la clasificación de la FAO son: andosol húmico y litosol. Los andosoles son suelos desarrollados a partir de materiales piroclásticos volcánicos, básicamente arenas y ceniza volcánica rica en vidrio. Presentan colores oscuros texturales que varían de francas a franco arenosas y densidades aparentes generalmente inferiores a 0.9. Los Litosoles son suelos poco desarrollados y muy someros, debido a procesos de erosión que impiden el desarrollo del perfil. También comprenden suelos coluvionados de espesor variable, comunes en pendientes fuertes.

Otros suelos presentes en menor proporción o formando asociaciones son: regosol dístico y eútrico, cambisol eútrico, feozem háplico y fluvisol dístico (Palma, 1997).

## Clima

El clima del sur del Valle de México está influenciado por regímenes templados y tropicales. Velázquez (1993) de acuerdo con García (1981) define dos principales zonas climáticas:

*Zona templada*.- Descrita como templada, subhúmeda con una temperatura media anual entre los 5 y los 18 °C. Se presenta entre los 2800 y 3450 metros de altitud. Se define como C(W2) (W) big.

*Zona Semifría*.- Descrita como fría, subhúmeda con una temperatura media anual que va de los 5 a los 12 °C. Se presenta a partir de los 3450 m de altitud. Se define como C(W2) (W) cig.

La precipitación varía desde los 800 mm hasta 1300 mm; entre los meses de mayo y octubre se presenta más del 90% de la cantidad total de lluvia.

## Vegetación

Considerando la clasificación de Rzedowski (1978), para el sur del Valle de México el tipo de vegetación predominante es clasificado como *bosque de coníferas*. Velázquez (1993) define 7 grupos de comunidades de plantas:

*Grupo de Comunidades de Abies religiosa (Bosque de oyamel)*.- Se desarrollan principalmente en las laderas de cerros y cráteres protegidos contra la radiación solar y los vientos; en cañadas. Se presentan entre los 3150 y 3550 m de altitud. Las especies diagnósticas son *Abies religiosa*, *Senecio baraba-johannis* y *S. angulifolium*.

*Grupo de Comunidades de Pinus hartwegii (Bosque de Pino)*.- Son los bosques representativos de la zona límite de desarrollo del estrato arbóreo y el inicio de las comunidades de pastizales alpinos. Se restringen a las laderas de alta pendiente y a planicies de altura, entre los 2900 y 4100 m de altitud. Las especies diagnósticas son *Pinus hartwegii* y *Muhlenbergia quadridentata*. En ocasiones pueden formar bosques mixtos con *Alnus* y *Quercus*, los que se desarrollan entre los 2,900 y los 4100 m de altitud.

*Grupo de Comunidades de Festuca tolucensis (Zacatonal o Pastizal Subalpino)*.- Se desarrollan en los fondos de los cráteres de los principales volcanes, a una altitud de 3500 m, como en las planicies de acumulación y piedemonte inferior. Las especies diagnósticas son *Festuca tolucensis*, *Trisetum spicatum*, *Poa annua*, *Calamagrostis tolucensis* y *Muhlenbergia macroura*.

*Grupo de comunidades de Muhlenbergia-Alnus (Bosque mixto con pastizal)*.- Se desarrollan en las laderas de los piedemonte de la mayoría de los volcanes de la región; también en zonas disectadas de alta pendiente y entre los 3080 y 3500 m de altitud. Las especies diagnósticas son *Buddleia*

*parviflora*, *Quercus laurina*, *Arbutus glandulosa*, *Pinus montezumae*, *Alnus firmifolia* y *Penstemon gentianoides*.

**Comunidad *Stipa ichu* (Praderas).** - Se encuentran en valles intermontanos y en claros de bosques de *Abies* y *Pinus*, con suelos de escaso drenaje y entre los 2900 y 3500 m de altitud. Las especies diagnósticas son *Potentilla candicans*, *Astragalus micanthus*, *Reseda luteola* y especies del género *Arenaria* spp.

**Cultivos de *Avena sativa*, *Zea mays* y *Opuntia streptacantha*.** - Ambientes conformados por plantas introducidas y cultivadas por el hombre y por especies nativas particulares. Cada cultivo tiene una localización diferencial. Los cultivos de avena se encuentran en las planicies intermontanas, lomeríos bajos y piedemonte de baja pendiente. Las especies diagnósticas son *Avena sativa*, *Tagetes coronopifolia* y *Oxalis corniculata*. Los cultivos de maíz se encuentran tanto en terrenos planos como en laderas con alta pendiente. En su mayoría, cerca de los núcleos de población. Las especies diagnósticas son *Zea mays*, *Lopezia racemosa* y *Vulpia myuros*. Los cultivos de nopal se restringen a los terrenos con sustrato rocoso, en los bordes de los derrames de lava. Las especies diagnósticas son *Opuntia streptacantha*, *Polygonum argyrocoleon* y *Lopezia* sp.

Además de las comunidades vegetales señaladas, se presenta en la región un tipo de matorral xerófilo (de acuerdo a la definición de Rzedowski, 1981):

**Matorral de *Sedum oxypetalum*.** - Localizado en derrames de lava; por ejemplo, al noreste del Volcán Chichinautzin, a una altitud de 3000 m. La especie dominante es *Sedum oxypetalum*. Es posible la existencia en este derrame lávico de un tipo de matorral xerófilo dominado por el género *Juniperus*.

## Fauna

Para el sur del Valle de México se han registrado 59 especies de mamíferos, de las que 14 son especies endémicas para el país. (Rangel y Monroy, *en ed.*). En cuanto a la avifauna, Cabrera y Meléndez (*en ed.*) han determinado una riqueza de 192 especies, de las cuales el 78% de las especies son residentes, 21% son migratorias invernantes y el resto son especies transientes y residentes de verano. Existen 23 especies endémicas para el país y 16 clasificadas bajo diversas categorías de riesgo, destacando una especie en peligro de extinción: *Xenospiza baileyi* (Diario Oficial, 1994).

Estévez, *et al.* (*en ed.*) reportan para el caso de los anfibios y reptiles, la presencia de 24 especies de anfibios, representando el 8.22% del total reportado para el país. Para los reptiles, han determinado la presencia de 56 especies

## VI. METODO

### 1. Definición de unidades paisajísticas y elaboración del mapa base

#### *a) Uso de cartas*

Se utilizaron como bases cartográficas las cartas Uso de Suelo y Topográfica a escala 1:50 000 denominadas Milpa Alta E14A49 de INEGI con fechas de vuelo de 1976 y 1983 respectivamente. También se utilizó la carta elaborada por Velázquez (1993) y denominada Landscape Vegetation Ecology of Tláloc and Pelado Volcanoes, México a escala 1:75000. En el caso de las fotografías aéreas, se utilizó principalmente la línea L-164 E-14-2 y las fotos 16-19 a una escala de 1:37 500 del año 1989 de INEGI.

#### *b) Fotointerpretación y elaboración del mapa base*

Con el material gráfico descrito anteriormente, se inició el proceso de selección, verificación y cartografía de la región sur del Valle de México. Se siguió un procedimiento de fotointerpretación básico, considerando los criterios de Guerra (1980), que permitió definir las unidades espaciales homogéneas susceptibles de clasificación.

**Criterio 1.-** Derivado de las condiciones inherentes a las propias fotografías, a la expresión física de los elementos técnicos que la constituyen. Se utilizó el Tono y la Textura de la imagen fotografiada. En esta etapa se clasificaron los principales tipos de cobertura vegetal y su estructura, así como los poblados existentes, vías de comunicación y estructuras antropocéntricas.

**Criterio 2.-** Derivado de los objetos o rasgos cuyas imágenes integran las fotografías. Se utilizó la Forma, el Tamaño, la Configuración y la Relación con otros objetos asociados.

**Criterio 3.-** Derivado de la topografía. Se reconocieron las formas topográficas principales (el relieve terrestre o geomorfología), la posición o gradiente y la ruptura de pendiente.

**Criterio 4.-** Derivado de la correlación roca-suelo-vegetación. Se integró la información de 1, 2 y 3.

Con la aplicación de dichos criterios se generó un mosaico fotográfico temático integral, en donde se definieron polígonos que representaron de manera preliminar, los principales tipos de vegetación, los rasgos geomorfológicos, las rupturas de pendiente y poblados y caminos. Posteriormente, se establecieron los puntos de control (principales y auxiliares) en las líneas

fotográficas para ser verificados en el campo, considerando los factores de accesibilidad, uniformidad en su distribución y ubicación precisa (tomada con GPS 12 XL). La información hasta ahora generada fue sometida al proceso de restitución mediante un StereoSketch (Guerra, 1980) para la conformación del *mapa base*. Este mapa representó de manera sintética la altitud, la geomorfología y la vegetación del Sur del Valle de México.

Cabe enfatizar, que se consideró como base la información cartográfica y teórica sobre la ecología del paisaje del Sur del valle de México elaborada por Velázquez (1993), en particular, la información concerniente a la definición de unidades de paisaje, la que se incorporó después de su verificación, validación y rectificación en el campo al presente estudio. Este trabajo de verificación se respaldó con la realización directa de caracterizaciones ambientales en determinados sitios para validar y determinar en ciertos casos, la unidad de paisaje existente. A continuación se describe de manera resumida el procedimiento de caracterización ambiental empleado para la definición de unidades de paisaje.

### c) *Caracterización ambiental*

El enfoque utilizado para abordar el estudio de la vegetación, se basó en el método del “*levantamiento o relevé*” (Werger, 1974; Braun-Blanquet, 1979; Müller-Dumbois & Ellenberg, 1974, entre otros) que integra a los inventarios de vegetación con una caracterización ambiental, física. El método estriba en un doble proceso: el primero, es una fase analítica consistente en la toma de datos en campo por medio de un inventario florístico completo, acompañado de coeficientes y anotaciones del hábitat. El segundo, es una fase sintética donde los inventarios se reúnen en tablas fitosociológicas, en las que es posible analizar e interpretar la relación entre las especies florísticas, permitiendo la definición de grupos o comunidades vegetales y su relación con las variables ambientales relevantes y evaluadas.

Los inventarios se realizan en cuadros de 25m<sup>2</sup> (5x5 m) en las áreas de pastizal, de 625m<sup>2</sup> (25X25 m) en las áreas de bosque y de área variable de acuerdo al criterio de homogeneidad para la vegetación azonal (*sensu* Walter, 1979; citado *en* Werger, 1974). En ellos se realizan los listados florísticos completos acompañados de información referente a cobertura estimada para cada especie y estrato, ubicación, posición (localidad, municipio, altitud), aspectos fisiográficos (pendiente, orientación, fisionomía), características edáficas, sucesionales, evidencias de perturbación, etc.

Dentro de cada levantamiento se registran los siguientes datos:

a) Datos generales de ubicación (registro de coordenadas mediante GPS 12 XL), descripción fisiográfica y estructura vegetal, medición de la pendiente en grados mediante Clisímetro, exposición.

b) Cobertura en porcentaje (%) considerada como la proyección de la masa vegetal dentro del área del cuadro, para cada estrato y altura promedio de los mismos. La escala de valores es <1, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100. Los estratos son: **Rasante** de 0-5 cm estimando por separado a los musgos, **Herbáceo** de 5-130 cm con o sin crecimiento secundario, **Arbustivo** >130 cm ramificado por debajo de 30 cm y **Arbóreo** > de 130 cm y sin ramificación por debajo de los 30 cm. Se consideran aquí los árboles jóvenes.

c) Inventario completo de plantas vasculares enraizadas dentro del relevé, estimando para cada especie: estrato (s) en el que se encuentra; cobertura total (%), abundancia con referencia a densidad con una escala de **Abundante**, **Regular**, **Escaso** y **Único**; tamaño promedio de cada especie, forma de vida y forma de crecimiento (erecta, postrada, macollo, cojín etc.).

d) Elaboración gráfica de un perfil horizontal y vertical de la vegetación dentro del cuadro.

En cada unidad geográfica se efectúa un número de levantamientos representativos considerando el concepto de área mínima. El total de levantamientos se agrupa con base a su afinidad florística mediante técnicas de análisis multivariado, como es el algoritmo de correspondencia automatizado TWINSpan (Hill, 1979) que permite definir mediante una clasificación jerárquica, divisiva y monotética, los valores de similitud y por consiguiente las diferentes asociaciones vegetales. Posteriormente se aplica un análisis de correspondencia canónica (CCA) (Hill, 1979) para el reconocimiento de los patrones espaciales de las comunidades vegetales con relación a las variables ambientales evaluadas bajo el gradiente ambiental que se determine. Durante el proceso descrito, se lleva a cabo un trabajo de colecta botánica, herborización, determinación taxonómica y depositación de ejemplares.

El procedimiento anterior nos permitió con base en el mapa de Velázquez (1993), obtener datos múltiples de tipo biótico-abiótico útiles para la definición o validación de las unidades de paisaje previamente definidas por Velázquez (op cit). La definición de unidades paisajísticas resultó ser un proceso de generación y adecuación de criterios técnicos y teóricos, que permitió elaborar un marco espacial para estudiar desde este enfoque a la avifauna regional.

## 2. Selección de unidades de paisaje para el muestreo de aves

### a) Criterios

Con el contexto espacial definido, fue necesario establecer los siguientes criterios para la selección de las unidades de paisaje más susceptibles de ser estudiadas desde la perspectiva ornitológica.

*Representatividad.*- El mapa de unidades de paisaje del sur del Valle de México representa un complejo gradiente de condiciones bióticas y abióticas, el que representó un reto conceptual y técnico para implementar el muestreo ornitológico. De tal modo, fueron consideradas las unidades de poca o nula pendiente, como las planicies de acumulación y los piedemontes inferiores, como un extremo del gradiente ambiental donde existen terrenos con suelo desarrollado, baja pendiente y coberturas vegetales uniestratificadas; contrastando con los ambientes forestales, donde existen condiciones variables de suelo, de geomorfología y de vegetación; las cañadas y los pedregales son un ejemplo.

Por otro lado, para minimizar efectos de contigüidad y ecotonos, se consideró el criterio de máxima homogeneidad (ver Werger, 1974) para seleccionar la unidad de paisaje, considerarla como unidad de muestreo y ubicar los puntos de conteo de aves. Es decir, las unidades deberían de ser claramente discernibles en cuanto a sus atributos constituyentes, como la cobertura vegetal y su patrón de distribución y su relación con el suelo y la geomorfología. Las unidades deberían de presentar una cobertura vegetal íntegra en términos de su estructura y límites espaciales susceptibles de reconocimiento. También se consideró el tamaño de las unidades, procurando seleccionar las unidades con mayor superficie representada en el área de estudio.

*Operatividad.*- La selección de unidades de paisaje también se vio influenciada por la viabilidad operativa para realizar los censos de aves (de acuerdo con Hutto, *et. al.*, 1986), ya que se necesitan por lo menos tres kilómetros lineales para poder ubicar 30 puntos de puntos de conteo e intentar buscar una asociación con dichas unidades espaciales. Por ejemplo, la unidad "Conos Volcánicos" fue descartada por que su pequeña dimensión no permitió estandarizar el número de puntos de conteo de acuerdo al método de censo utilizado.

Después de seguir bajo este proceso de análisis cartográfico, verificación y aplicación de criterios para la selección de las unidades de paisaje desde el punto de vista ornitológico, se consideró

viable trabajar en las unidades paisajísticas denominadas *planicie de acumulación, cañada, piedemonte inferior, medio y superior, planicie de altura y pedregal*.

#### b) Descripción de las unidades paisajísticas seleccionadas

A continuación se describen las características bióticas y abióticas relevantes obtenidas para cada unidad de paisaje de acuerdo con Velázquez (1993) y verificadas y analizadas para el presente estudio. Después del nombre de cada unidad de paisaje, entre paréntesis se especifican las siglas con las que se hará referencia a lo largo del trabajo. En la fig.2 se presenta el mapa obtenido de las unidades de paisaje para el Sur del Valle de México.

#### Unidad I

***Piedemonte Inferior con Cultivo de Avena (PMI)***.- Esta unidad está representada por terrenos que van de planos a ondulados. Se presenta entre los 2950 y los 3050 m de latitud; el tipo de suelo es el *phaeozem* y se encuentra muy desarrollado (> 50 cm de profundidad).

**Fisonomía**.- Se puede describir como “claros” o áreas modificadas para implementar la siembra de *Avena sativa*. Son comunes especies silvestres como *Tagetes coronopifolia*, *Oxalis corniculata* y *Muhlenbergia ramulosa*.

**Ambiente**.- Representado por terrenos planos y ligeramente inclinados; muy común en los bordes del bosque. Abarca grandes extensiones.

#### Unidad II

***Piedemontemedio con Bosque Mixto (PMM)***.- En general, la unidad está caracterizada por terrenos disectados con ligeras cimas con pendientes de 10 a 17 grados. Se encuentra entre los 3000 y 3300 m; los suelos de tipo *litosol* son dominantes. Estas unidades están formadas principalmente por el grupo de comunidades vegetales denominado Bosque Mixto con pastizal subalpino (*Muhlenbergia-Alnus firmifolia*) con estructuras de tipo boscoso y de tipo arboleda o bosque abierto.

#### Comunidad *Pinus-Alnus firmifolia*

**Fisonomía**.- Bosque de coníferas con zacatonal con cuatro estratos vegetativos, el arbóreo dominado por varias especies de *Pinus*; el arbustivo formado por *Alnus firmifolia* y *Senecio cinerarioides*; el herbáceo dominado por los pastos *Muhlenbergia macroura* y *Festuca toluensis* y el rasante conformado por *Lachemilla procumbens*.

Ambiente.- Presente en zonas con declives desde disectados y empinados hasta ondulados.

### Unidad III

**Piedemontesuperior con Bosque Mixto (PMS).**- Representado por terrenos disectados con pendientes entre los 20 y 30° y entre los 3200 y 33400 msnm. Los andosoles son el principal tipo de suelo, aunque los litosoles también están presentes. La vegetación más característica está representada por los grupos de comunidades vegetales *Pinus hartwegii*, *Festuca tolucensis* y *Fucraea bedinghausii*.

*Comunidad Muhlenbergia-Pinus sp.*

Fisonomía.-Arboleda con pastizal compuesta por dos estratos diferenciados, un estrato abierto arbóreo dominado por varias especies de *Pinus*, y un herbáceo dominado por el zacatonal *Muhlenbergia macroura*. Está presente una comunidad de *Fucraea bedinghausii*. Se encuentran algunos elementos de bosque mixto, como *Penstemon sp.* y *Salvia sp.*

Ambiente.- Restringida a declives laterales de los derrames de lava.

### Unidad IV

**Planicie de Acumulación con Zacatonal Subalpino (PAC).**- Estas unidades han formado pequeñas planicies elongadas, distribuidas en parches entre los 2950 y 3100 metros de elevación y con pendientes entre 0 y 5°. Algunos de las planicies están localizadas en el fondo de las vertientes de los volcanes, por lo que se encuentran cubiertas por materiales que se han desprendido de las partes altas por procesos de erosión y que han sido transportados y depositados por corrientes de agua superficial. La estructura de la vegetación corresponde a un pastizal denso dominado por las especies *Muhlenbergia macroura*, *M. nigra* y *Festuca tolucensis*. Es posible encontrar individuos del género *Pinus* de forma aislada.

Ambiente.- Presente en los fondos de las montañas, en los valles intermontanos.

### Unidad V

**Cañadas con Bosque de Oyamel (CAÑ).**- Paisaje caracterizado por cimas de alta pendiente (25-40°), localizadas en laderas de las montañas y en las laderas de los conos volcánicos. La topografía es irregular con líneas de drenaje perpendicular. Se localizan entre los 3150 y 3550 metros de elevación. Este tipo de unidad cubre superficies muy limitadas y restringidas, principalmente en las

partes superiores de los volcanes Tláloc, Pelado, Noreste del Volcan Chalchihuites y en el Cerro Campanario. La comunidad vegetal es la denominada *Senecio angulifolius-Abies religiosa*, que representa los únicos y puros bosques de oyamel. La estructura es un bosque denso de *Abies* con un estrato rasante dominante del musgo *Polytrichum juniperinum*.

#### *Comunidad Senecio angulifolius- Abies religiosa*

Bosque denso alto (>30m) con tres estratos: el arbóreo dominado por *Abies religiosa*, un arbustivo dominado por *Senecio angulifolius* y *S. barba-johannis* y un rasante compuesto por *Lachemilla procumbens* y *Polytrichum juniperinum*.

#### **Unidad VI**

***Pedregal con Bosque de Oyamel (PED)***.- Estos terrenos están constituidos por derrames de lava, donde las rocas y piedras son el principal sustrato. La topografía es bastante irregular, puede haber diferencias a nivel de terreno hasta de 3 o 4 metros. Los límites de la lava son fácilmente reconocibles. Estos derrames cubren un gran rango elevacional, desde los 2500 a los 3450 m, reflejándose en distintas comunidades vegetales. Los suelos son principalmente Litosoles.

#### *Comunidad Abies-Juniperus*

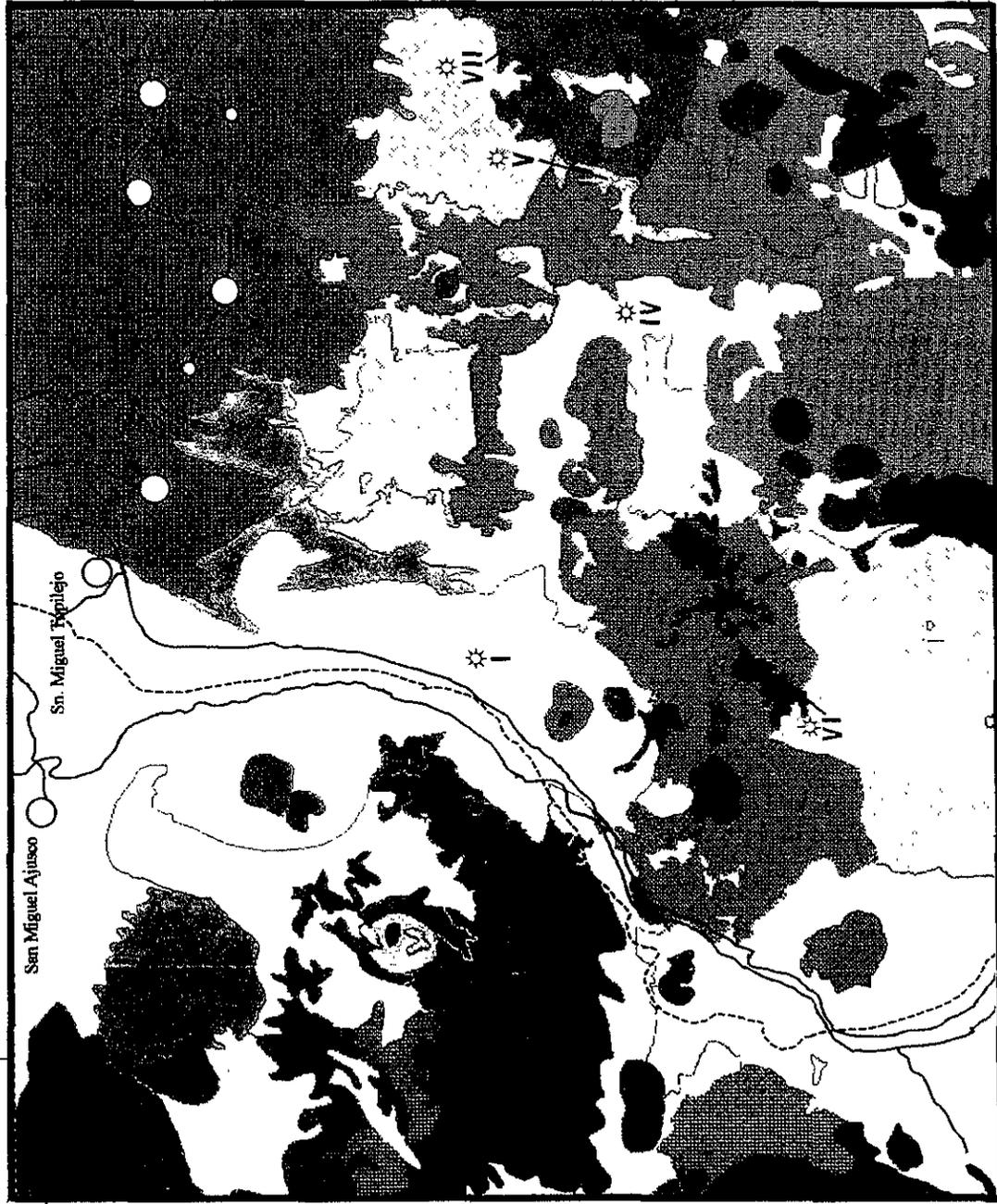
Se distinguen tres estratos, el arbóreo dominado por *Abies religiosa* e individuos aislados de *Arbutus sp.*; el arbustivo compuesto por matorrales de *Juniperus sp.* y *Sedum oxypetallum*; el rasante está dominado por musgos.

#### **Unidad VII**

***Planicie de Altura con Bosque de Pino (PAL)***.- Se caracteriza por presentar terrenos relativamente planos o ligeramente ondulados. Se encuentran presentes los bosques representativos de la zona limítrofe de desarrollo del estrato arbóreo y el inicio de las comunidades de pastizales subalpinos. Las especies diagnósticas son *Pinus hartwegii* y *Muhlenbergia quadridentata*. En ocasiones puede formar bosquetes mixtos con *Alnus* y *Quercus*. Estas unidades se localizan entre los 3450 y 3600 m de altitud.

99° 15'

19° 13'



99° 00'

19° 02'

Fig.2. Mapa de las unidades de paisaje definidas para el Sur del Valle de México a escala 1:50 000. Unidad I.- Piedemonte Inferior con cultivo de avena (PMI). Unidad II.- Piedemonte Medio con bosque mixto (PMM). Unidad III.- Piedemonte Superior con bosque mixto (PMS). Unidad IV.- Planicie de Acumulación con pastizal subalpino (PAC). Unidad V.-Cañadas con bosque de oyamel (CAN). Unidad VI.-Pedregal con bosque de oyamel (PED). Unidad VII.- Planicie de Altura con bosque de pino (PAL). Con el número romano de cada unidad se ubican en el mapa.

### 3. El trabajo ornitológico

#### I. Investigación documental y museológica

Se realizó una revisión sobre la literatura perteneciente a la avifauna citada para el Distrito Federal ó la Ciudad de México (Friedman *et al.*, 1950; Blake, 1953; Miller *et al.*, 1957; AOU, 1983; Nocedal, 1987, Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993; Howell y Webb, 1995); la relacionada con los bosques del sur del Distrito Federal (Ramos, 1974; González, 1984; Nocedal, 1984; Martínez del Río y Eguiarte, 1987; Parra, 1988; Morales, 1990; Márquez, 1990; Cabrera, 1990 y 1995; Arizmendi *et al.*, 1994a; Arizmendi, *et al.*, 1994b; Búrquez *et al.*, 1994; Alvarez, *et al.*, 1995; Adams y Kerkof, 1996), para el norte de Morelos (Gaviño de la Torre, 1995; Urbina, en prep.) así como la referente al denominado Valle ó Cuenca de México (Villada 1869; Herrera 1889 y 1891).

También se consultaron revistas especializadas como The Condor, Wilson Bulletin, Ecology, Journal of Ecology, Ecological Monographs, Acta Zoológica Mexicana, Auk, entre otras. Del mismo modo, se revisaron tesis, memorias, documentos internos inéditos, folletos, artículos en diversos libros y revistas de divulgación, principalmente.

En cuanto a la investigación en colecciones científicas, se revisaron directamente la del Instituto de Biología (IB) y la del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera" de la Facultad de Ciencias, MZFC-UNAM. Así también, los catálogos, y hojas de registros. Esta actividad permitió reconocer en buena medida a las especies de aves, las localidades y los años de colecta en la entidad.

#### II. Trabajo de campo

##### a) *Diseño del muestreo*

El diseño de muestreo se ajustó estrictamente a la heterogeneidad ambiental existente y definida mediante el trabajo previo de definición de unidades de paisaje, por lo éste fue de tipo *estratificado*. Por medio del mapa de unidades de paisaje generado, se seleccionó un polígono cartográfico por cada unidad de paisaje con base en los criterios de selección mencionados en la sección 2 (a). Cada unidad de paisaje seleccionada (7 unidades = 7 polígonos cartográficos), fue considerada como una unidad de muestreo independiente y diferente de las otras. De la información respectiva a cada unidad, se asumió la existencia de un gradiente de condiciones ambientales que pudieran ser factores determinantes sobre los patrones de distribución y diferenciación de grupos de aves.

Se seleccionaron el ángulo de la pendiente del terreno, el tipo de vegetación, el número de estratos vegetales presentes, el tipo de suelo y la altitud. A continuación se describen brevemente los tres primeros (ver Cuadro 1).

1. El ángulo de la pendiente.- Se considera como una variable transmisora de los elementos geológicos, expresados por medio de la topografía, del relieve terrestre. Este factor encierra gran importancia para la identificación y diferenciación con exactitud del relieve terrestre (Guerra, 1980), factor importante para la definición de unidades de paisaje.
2. El tipo de vegetación.- Se considera como una variable que ejerce importante efecto en la distribución geográfica de las aves (Escalante, *et al.*, 1993).
3. El número de estratos vegetales.- Se considera como una variable que afecta la selección de hábitat en aves, y por lo tanto, en sus patrones de distribución (Nocedal, 1984, 1987; Sebastiani, *et al.*, 1995).

Cuadro 1. Variables ambientales por unidad de paisaje consideradas de importancia para establecer relaciones con las aves.

Variable / U. de Paisaje *	PMI	PAC	PAL	PED	PMM	PMS	CAÑ
Número de estratos vegetativos	1	1	2	3	4	4	4
Tipo de vegetación **	CA (0)	PS (1)	BPP (2)	BO (3)	BM(4)	BM (4)	BO (3)
Ángulo de la pendiente del terreno *** (en grados)	3°	3°	10°	15°	13°	25°	37°
Tipo de suelo	Phaeozem	Andosol	Litosol	Litosol	L-A	A-L	Andosol
Altitud (msnm)	3000	3000	3510	3100	3100	3200	3250

\*Las unidades de paisaje son PAC= planicie de acumulación; PMI= pie de monte inferior; PMM= pie de monte medio; PMS= pie de monte superior; PAL= planicie de altura; PED= pedregal y CAÑ= cañada.

\*\* Los tipos de vegetación son CA= cultivo de avena; PS= pastizal subalpino; BPP= bosque de pino con pastizal; BO= bosque de oyamel; BM= bosque mixto. El número entre paréntesis es un valor categórico designado que representa al tipo de vegetación en la matriz de análisis.

\*\*\* El valor de pendiente del terreno proviene de los datos obtenidos en la etapa de caracterización ambiental. La pendiente del terreno fue medida con un clisímetro convencional.

*b) Realización de los Censos de Aves.*

Para registrar la riqueza de especies y estimar sus abundancias relativas, se utilizó el método de Conteo por Puntos de Radio Fijo (Hutto, *et al.*, 1986), el cual ha sido ampliamente utilizado para evaluar presencias, relaciones con el hábitat, abundancia relativa, densidad y riqueza de especies (Geupel and Warkentin, s/f).

*b1) Procedimiento de obtención de datos.*- En cada punto se registraron tres tipos de datos:

- (1) Número de individuos de cada especie detectada dentro de un radio fijo de 25 metros que rodean al observador.
- (2) La abundancia de individuos de cada especie detectada dentro del radio y del hábitat de interés.
- (3) La identidad específica de los individuos detectados entre punto y punto.

*b2) Localización, número y duración de los puntos de conteo.*- La ubicación geográfica de los puntos se diseñó desde el material cartográfico-fotográfico, la cual fue posteriormente verificada en el campo. Se establecieron diez puntos de conteo de manera *estratificada* por cada polígono y distribuidos a lo largo de un transecto representativo de 1500 metros lineales (de acuerdo con Geupel and Warkentin, *op. cit.*), ubicándolos con 150 metros de separación entre cada uno. En cada polígono, cada punto de conteo establecido fue visitado tres veces (10 puntos por día y conformando un total de 30 puntos de conteo por polígono/unidad) durante cada salida de campo, la que tuvo una duración de 5 días. Cada salida fue realizada una vez por mes, por lo que el total de puntos de conteo consistió en 210 y ejecutados durante un periodo de siete meses, iniciando en julio de 1996 para terminar en marzo de 1997, con excepción de los meses de diciembre de 1996 y enero de 1997.

Cabe mencionar que el presente estudio está enfocado en determinar la variación de la composición y abundancia de las especies en términos espaciales, por lo que no se realizaron repeticiones de los censos a lo largo del tiempo. El registro en cada punto tuvo una duración de 10 minutos y se consideraron los detalles mencionados por Hutto, *et al.* (1986) en cuanto a la duración de los conteos.

*c) Caminata libre*

Consistió en realizar diversos recorridos en la unidad de interés y observar sin restricciones a las aves. Generalmente, se llevaron a cabo por la tarde o cuando se detectaba actividad de las aves. Estas caminatas permiten realizar búsquedas dirigidas hacia especies sigilosas, hacia aquellas de

difícil determinación visual y/o auditiva. Al no estar restringido a tiempos de detección y modos de registro, como en los censos, el observador puede dedicarle todo el tiempo necesario a una ave de difícil observación, ya sea esperándola o buscándola sigilosamente hasta determinarla. De esta manera, se puede registrar una porción de la avifauna, que por sus hábitos u horas de actividad y grado de experiencia del observador, difícilmente son determinadas durante la realización de censos.

*d) Uso de redes ornitológicas*

Para obtener registros de las especies de difícil detección, debido principalmente por aquellas que poseen hábitos sigilosos, ocupan los estratos bajos o altos de la vegetación, o por ser especies de difícil determinación visual, para cada unidad de muestreo se colocaron de cuatro a seis redes ornitológicas de 12 metros de largo con una abertura de malla de 36 mm.. Las especies capturadas fueron procesadas de acuerdo al procedimiento propuesto en el Manual de Monitoreo para Aves Terrestres de Ralph, et. al. (1994).

Los individuos pertenecientes a especies en las que la determinación taxonómica requiere procesos específicos (p. ej. mediciones morfométricas) o la opinión de expertos y también aquellas consideradas de alto interés biológico (p. ej. especies raras o poco representadas en las colecciones científicas) fueron colectadas y preparadas bajo las técnicas de taxidermia convencionales y depositadas en el Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, UNAM.

### III. Trabajo de gabinete

#### 1. Análisis de la avifauna a nivel regional.

Se presentan los principales elementos que caracterizan a la avifauna de la región del sur del Valle de México, como son la composición, la riqueza, el estatus de residencia y los gremios alimenticios.

a) *El inventario.* La elaboración de la lista de especies está basada principalmente en las observaciones de campo realizadas durante un periodo de siete meses, iniciando en julio de 1996 para terminar en marzo de 1997, con excepción de los meses de diciembre de 1996 y enero de 1997. Para la determinación taxonómica de las especies observadas, se utilizó la información obtenida en el campo y se revisó la Colección Ornitológica del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias para la determinación de las especies. De igual modo, se revisaron las obras de Blake (1950), Friedman *et al.* (1950) y Miller *et al.* (1957) y Howell y Webb (1995). La nomenclatura sistemática utilizada se basó en la propuesta por A.O.U. (1983).

b) *Composición y riqueza.* Para la composición se hace mención de los órdenes, familias y subfamilias pertenecientes a las especies registradas; la riqueza representa el total de las especies encontradas en la región y su representatividad por familia.

c) *Estatus de residencia.* Para determinar el estatus de residencia, que se refiere al tiempo de permanencia de las especies en la región, se utilizaron los siguientes criterios (de acuerdo con Howell y Webb, 1986 y Wilson y Ceballos-Lascuráin, 1993):

*Residentes (R):* Especies que están presentes durante todo el año y se reproducen en la región.

*Migratorias (M):* Especies provenientes de otras latitudes, como Canadá, Estados Unidos y el Norte de México, que en la época invernal se encuentran en el sur del Valle.

*Residentes de verano (RV):* Se refiere a las especies que acuden a la región durante los meses de mayo-julio, generalmente a reproducirse para después desplazarse a otras zonas.

*Residentes de Otoño (RO):* Comprende a las especies que acuden a la región durante los meses de agosto a octubre (según Wilson, 1993) generalmente a reproducirse, para después desplazarse a otras zonas.

*Vagrantes (V).-* Especies registradas fuera de área de distribución, y que ocasionalmente se pasan por la zona.

d) *Gremios alimenticios*. Se utilizaron las categorías propuestas por Arizmendi *et al* (1990c) en función de los sustratos de alimentación y los modos de forrajeo utilizados:

I. *Insectívoras (I)*: Se alimentan básicamente de insectos, y dependiendo del sitio y modo de forrajeo, se agrupan de la siguiente manera:

1) *Colectoras al vuelo (Iv)*. Capturan insectos en el aire mediante persecuciones relativamente grandes.

2) *Colectoras en el follaje (If)*. Capturan insectos entre el follaje mediante ataques cortos.

3) *Colectores en la corteza (Ic)*. Capturan insectos en la corteza de troncos y ramas gruesas.

4) *Colectores en el suelo (Is)*. Capturan insectos y otros artrópodos en el suelo.

II. *Nectarívoras (N)*: Se alimentan principalmente de néctar, pero consumen insectos y otros artrópodos como complemento de su dieta.

III. *Granívoras*: Se alimentan de semillas principalmente.

IV. *Omnívoras*: Consumen distintos recursos como semillas, insectos, néctar, pequeños vertebrados, frutos, pétalos y hojas.

V. *Carnívoras*: Se alimentan de diversos vertebrados como anfibios, reptiles, aves, y pequeños mamíferos.

VI. *Frugívoras*: Se alimentan principalmente de frutos carnosos, aunque pueden consumir otros recursos como artrópodos, néctar y semillas.

e) *Estatus de vulnerabilidad*. Se consideraron las siguientes características para la determinación del "estatus de vulnerabilidad o riesgo" de las especies de aves presentes en la región:

*Endemismo*.- Concepto que indica un grado de amplitud en el área de distribución de las especies. Entonces, las especies endémicas para México, son consideradas como aquellas que sólo se distribuyen de manera natural dentro de los límites territoriales de México (Diario Oficial, 1994). Por lo tanto, las especies de distribución restringida, son consideradas susceptibles a la extinción.

*Categorías de riesgo*.- Las categorías de las especies amenazadas actualmente en uso en los Libros Rojos y Listas Rojas han perdurado con algunas modificaciones por más de 30 años. Desde su inicio estas categorías han sido amplia e internacionalmente reconocidas. Dichas categorías proveen un método fácil y ampliamente comprendido para resaltar aquellas especies con mayor riesgo de extinción, para centrar la atención en las medidas de conservación diseñadas para protegerlas (ICBP/IUCN, 1992). Las categorías utilizadas en el presente trabajo de acuerdo con la ICBP/IUCN (1992) y el Diario Oficial (1994) son:

**En peligro de extinción:** Taxa donde su sobrevivencia es improbable si los factores causales siguen operando (ICBP/IUCN, 1992). Las especies que se encuentren reducidas numéricamente a un nivel crítico y cuyo hábitat ha experimentado una reducción drástica, considerándoseles en peligro inmediato de desaparecer (Diario Oficial, 1994).

**Amenazada o Vulnerable:** Taxa que probablemente pasen a la categoría anterior en un futuro cercano si los factores causales continúan operando (Diario Oficial, 1994).

**Rara:** Taxa con pequeñas poblaciones que no están en la categoría de en peligro de extinción o vulnerable, pero están en riesgo (Diario Oficial, 1994).

**Protección Especial:** Abaraca aquellas especies que deben quedar bajo una reglamentación específica a fin de limitar su explotación (Diario Oficial, 1994).

## 2. Análisis de la avifauna a nivel paisajístico.

Se presentan los elementos que representan cuantitativamente a cada unidad paisajística, su representatividad de muestreo, la conformación de asociaciones y las posibles relaciones con factores extrínsecos.

### a) *Riqueza específica*

La riqueza específica es el número total de especies registradas por censo y por unidad de paisaje.

### b) *Representatividad y predicción*

Los modelos de acumulación de especies tienen como finalidad principal, estimar en términos probabilísticos el comportamiento de la acumulación de *nuevas especies* (especies no registradas en el sitio de trabajo) en función de diversos parámetros, como el esfuerzo de colecta u observación, el tamaño de la lista, la complejidad del área, entre otros (Soberón y Llorente, 1993). En este sentido, los modelos pueden indicarnos si el inventario realizado representa una muestra significativa del grupo de estudio, ya que permiten calcular la asíntota de la curva de acumulación, y por lo tanto, el tiempo necesario para conocer la posible totalidad de las especies (el momento en que ya no se registren especies "nuevas" bajo el mismo esfuerzo de colecta u observación).

Estos modelos se consideran como una base teórica para el conocimiento de las relaciones entre el tiempo de colecta y/o observación y el número de especies acumuladas, siendo útiles entre otras cosas, para brindar formalidad a los trabajos faunísticos y florísticos, ya que permiten

comparaciones más rigurosas y de índole cuantitativa entre los listados; proveen una herramienta de planeación para las expediciones de colecta, y pueden ser útiles como criterio predictivo para los estudios de conservación de biodiversidad, si se usan para extrapolar el número total de especies presentes en una área (Soberón y Llorente, 1993).

En éste sentido, se utilizaron dos modelos de acumulación: el Exponencial y el de Clench, modificados por Soberón y Llorente (1993). Las bases teóricas de estos modelos pueden considerarse contrastantes, ya que el modelo Exponencial (Ecuación 1) se basa en el siguiente supuesto: la función de colectabilidad/observación depende linealmente de la talla del listado, es decir la probabilidad de añadir nuevas especies a la lista decrecerá proporcionalmente con el número de especies que ya se hayan registrado, hasta alcanzar cero. Este modelo es adecuado para áreas relativamente pequeñas, o taxa bien conocidos o ambos, en donde eventualmente todas las especies pueden ser registradas (Soberón y Llorente, 1993).

Por su parte, el modelo de Clench (modificado por Soberón y Llorente, 1993; Ecuación 2), asume que la probabilidad de añadir nuevas especies disminuye no-linealmente (hasta alcanzar la asíntota de la curva) con la probabilidad de ir aumentando en la medida que se invierta más tiempo de trabajo en el campo. Bajo este modelo se supone que la acumulación de experiencia en el sitio, los taxa y los métodos se relacionan con la probabilidad de añadir nuevas especies a la lista. La utilización del modelo de Clench resulta ser más adecuada en el muestreo de taxa poco conocidos y dentro de áreas grandes y heterogéneas (Soberón y Llorente, 1993).

*Ecuación 1 Modelo Exponencial*

$$v2=(b1/b2)*(1-\exp(-b2 * v1))$$

*Ecuación 2 Modelo de Clench*

$$V2=(b1*v1)/(b2+v1)$$

*donde:*

v2= El número de especies esperadas en el tiempo.

b1= Tasa de incremento al inicio de la colecta.

b2= El recíproco del tiempo esperado en que se registra la mitad del total de las especies esperadas (1/2 de la asíntota). Este factor se expresa de distinta manera de acuerdo a los modelos utilizados, representándose como sigue:

Modelo de Clench:  $b2= 1/b1$

Modelo Exponencial:  $b2= (1/b1) (\ln 2)$

$b1/b2=$  Número final de las especies esperadas por unidad de tiempo (asíntota de la curva).

Para la realización de este análisis, los datos fueron organizados en una tabla con la información referente a la aparición de cada especie diferente por punto de conteo por polígono cartográfico muestreado (unidad de paisaje). Para el cálculo de los parámetros b1 y b2 se realizó una regresión no-lineal mediante el método de estimación cuasi-Newton (Soberón, com. pers.). Después de obtener los parámetros b1 y b2, se procedió a calcular el número de especies nuevas por censo, tomando como referencia el proceso de acumulación obtenido directamente en el campo.

Fué necesario añadir más unidades de esfuerzo de observación, en éste caso número de censos, para que los modelos calcularan el tiempo de colecta/observación necesario para conocer la totalidad de las especies (hasta alcanzar la asíntota de la curva, es decir, cuando tienda hacia “cero” la probabilidad de encontrar más especies nuevas). Finalmente, se graficaron los datos de campo y los calculados por ambos modelos. Con la finalidad de conocer la representatividad avifaunística a escala regional, también se aplicaron los modelos para los datos compilados, analizados y considerados de máxima certidumbre por Velázquez y Romero (1996) de las aves registradas en la región durante nueve décadas. El cálculo de los parámetros y la elaboración de gráficas se llevó a cabo en el paquete de Software **STATISTICA -CSS-** (Statsoft, 1991).

### c) La Diversidad

La diversidad, que contempla el número total de especies en la muestra y la distribución de sus abundancias (E=Equitatividad), fue calculada a partir de la suma de los valores de abundancia relativa estimados para cada especie y provenientes de los puntos de conteo realizados por unidad de paisaje (la muestra). Para el cálculo se aplicó el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (1963) (en Begon, *et al.*, 1988) disponible en la aplicación *síntesis estadísticas de datos* del programa denominado PC-ORD Vers. 2.05 (McCune and Mefford, 1995).

$$S=N$$

$$H' = -\sum_{i=1} [p_i(\ln p_i)]$$

donde:

S= número total de especies censadas en la unidad paisajística (riqueza).

p<sub>i</sub>= proporción de individuos de cada especie que contribuyen hacia el total de la muestra.

Para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas, la diversidad fue calculada para cada unidad paisajística y se analizó mediante la prueba de *t* de *Hutchenson* (1970) para dos índices de diversidad (*en Zar, 1984*):

$$t = \frac{H'1 - H'2}{\frac{SH'1 - H2}{\sqrt{S^2H'1 + S^2H'2}}}$$

donde:

$$SH'1 - H'2 = \sqrt{S^2H'1 + S^2H'2}$$

y la varianza de *H'* puede aproximarse por:

$$S^2H' = \frac{\sum f_i \log^2 f_i - (\sum f_i \log f_i)^2 / n}{n^2}$$

y el cálculo de los grados de libertad se da como:

$$v = \frac{(S^2H'1 + S^2H'2)^2}{\frac{(S^2H'1)^2}{n1} + \frac{(S^2H'2)^2}{n2}}$$

Se comparó el índice de diversidad obtenido para cada unidad con el de las unidades restantes, a modo de la siguiente matriz:

	PLAALT	PEDREG	PMS	PMI	PMM	CAÑADA	PLAACU
PLAALT							
PEDREG	X						
PMS	X	X					
PMI	X	X	X				
PMM	X	X	X	X			
CAÑADA	X	X	X	X	X		
PLAACU	X	X	X	X	X	X	

d) La abundancia

Para todas las especies censadas (N=76) se obtuvo un valor total de abundancia relativa, basado en la suma de los treinta puntos de conteo obtenidos directamente en el campo para cada unidad. Este valor fue considerado como variable de respuesta de las especies y fue utilizado para elaborar la matriz primaria (según McCune y Mefford, 1995) para la realización de los análisis de clasificación y ordenación. Los valores de abundancia para las especies se arreglaron a modo de columnas y correspondían a modo de renglones a las unidades de paisaje donde fueron registrados. Las matrices se elaboraron de la siguiente manera (ver cuadros 2 y 3):

Cuadro 2. Ejemplo de conformación de la matriz primaria especies de aves-sitios utilizadas en el presente estudio (de acuerdo con McCune y Mefford, 1995).

7	Unidades de paisaje		
76	Especies		
	Q	Q	Q
	<i>Ergaticus ruber</i>	<i>Parus sclateri</i>	<i>Colaptes auratus</i>
<i>Unidad I</i>	23	15	6
<i>Unidad II</i>	5	8	1

Cuadro 3. Ejemplo de conformación de la matriz secundaria unidades de paisaje-variables ambientales utilizadas en el presente estudio (de acuerdo con McCune y Mefford, 1995). \* Q denota que el tipo de variable existente en la columna es cuantitativa, mientras que C indica una variable categórica.

7	Unidades de paisaje		
3	V. Ambientales		
	Q	C	Q
	<i>Pendiente (grados)</i>	<i>Tipo de vegetación</i>	<i>Número de estratos</i>
<i>Unidad I</i>	23	1	5
<i>Unidad II</i>	5	3	1

Para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre los valores de abundancia relativa obtenidos por unidad de paisaje, la matriz primaria fue considerada como una tabla de contingencia de dos factores (abundancia de las especies y unidades de paisaje). Se aplicó una prueba de  $\chi^2$  (Williams, 1982) utilizando la hoja de cálculo Excel para la estimación del valor de probabilidad ( $p < .001$ ) y el valor de  $\chi^2$ .

#### e) Análisis de Clasificación

Se utilizó la matriz primaria antes mencionada para realizar el análisis de especies indicadoras de dos vías (TWINSPAN, Hill, 1979). De acuerdo con Beck *et al.* (1985) esta técnica monotética, divisiva y jerárquica, primeramente ordena los datos por promedios recíprocos y selecciona a las especies que caracterizan los extremos del eje de promedios recíprocos, las que son utilizadas en orden para polarizar las muestras. Estas nuevas muestras son divididas a su vez en dos nuevos grupos o "clusters" al romper el eje de ordenación cerca de su parte media. La división de la muestra es refinada por una re-clasificación utilizando a las especies con valores máximos que indican los extremos del eje de ordenación.

El proceso de división es repetido en este segundo sub-grupo muestral para producir ahora cuatro nuevos clusters; el proceso *iterativo* continua hasta que cada cluster sea indivisible debido a su reducido número de miembros. La clasificación jerárquica de muestras y especies correspondientes es alcanzada y adecuada para la producción de la matriz o tabla arreglada y la distinción de las especies indicadoras.

Esta técnica ayuda a identificar los principales grupos mediante una medida de similaridad o disimilaridad entre éstos, por lo que se considera adecuado para obtener clasificaciones reales (Velázquez, 1993). El análisis se realizó en el programa denominado PC-ORD Vers. 2.05 (McCune and Mefford, 1995). El producto final del análisis es una tabla ordenada indicadora de dos vías, donde se obtienen los grupos de especies existentes con base a los sitios de muestreo, en este caso, a las unidades de paisaje. A partir de esta tabla se construyó el dendrograma de agrupación.

Los niveles de corte utilizados fueron .00, 2.0, 5.0, 10.0 y 20.0. La definición de opciones para la realización de la clasificación fue:

Talla mínima de grupo para la división= 3

Número máximo de indicadores por cada división= 4

Número máximo de especies en la tabla final=100

Nivel máximo de división=4

### *f) Elaboración de la Tabla de Fidelidad*

Se procedió a realizar un análisis más fino de los resultados obtenidos por medio del arreglo manual de las especies y las unidades para la construcción de la tabla de fidelidad sugerida por Szafer y Pawlowski (Braun-Blanquet, 1979). La distinción de las especies diagnósticas, definidas como aquellas que se encuentran exclusiva o casi exclusivamente en un único grupo, y donde se asume que en este sitio las especies se desarrollan adecuadamente (Muller-Dumbois y Ellenberger, 1974; Westhoff y Van der Maarel, 1973) permitió determinar los grupos y sub-grupos de especies. Esto se puede traducir que donde se presentan determinadas condiciones paisajísticas (en éste caso), es posible determinar la presencia de grupos de aves definidos.

La tabla sintetiza los valores de abundancia de las especies con su grado de presencia a través de las unidades de paisaje por medio de la escala de Van der Maarel (1979) y bajo el enfoque de Szafer y Pawlowski (Braun-Blanquet, 1979). Esta información se sintetiza como sigue:

Clase	% de Presencia	Clase	% de Abundancia
I	0-10	1	<1
II	10.1-20	2	1-5
III	20.1-30	3	5.1-10
IV	30.1-40	4	10.1-20
V	40.1-50	5	20.1-40
VI	50.1-60	6	40.1-50
VII	60.1-70	7	50.1-60
VIII	70.1-80	8	60.1-70

### *f) Ordenación*

Las técnicas de ordenación o análisis de gradiente constituyen una herramienta estadística útil para la reducción y exploración de datos enfocados a la generación de hipótesis y conocer las posibles relaciones causales entre las especies y las variables ambientales evaluadas. De tal modo, permite conocer la distribución temporal y espacial de las comunidades bióticas a lo largo de gradientes ambientales (Whittaker, 1973; Ter Braak, 1990.). Para este caso se utilizó un análisis de gradiente directo, el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) que involucra el estudio de las

variables ambientales y la composición específica simultáneamente, cuantificando estadísticamente el efecto de las variables ambientales.

Para la ejecución del análisis de ordenación se depuró la matriz anterior para obtener resultados más claros acerca de la distribución de las especies, para lo que se descartaron a las aves que generalmente son detectadas en el aire y que tienen una amplia movilidad, como las rapaces (géneros *Buteo*, *Falco*, *Accipiter*), las golondrinas (géneros *Tachycineta* e *Hirundo*) y los vencejos (*Chaetura*). Como fuente de datos para la realización del análisis, se utilizaron las matrices antes mencionadas [ver c) abundancia], la primaria conformada por las especies y las unidades de paisaje, y la secundaria por las variables ambientales determinadas para cada unidad de paisaje, como fueron el grado de la pendiente, el tipo de vegetación y el número de estratos vegetativos (ver I,2, a).

Posteriormente fue utilizada la prueba de Permutación de Monte Carlo para probar la significancia del autovector del eje I. Se realizaron 100 permutaciones de acuerdo con Ter Braak (1987) y las relaciones fueron consideradas significativas al  $p < 0.05$ . El análisis fue realizado en el paquete estadístico PC-ORD Vers. 2.05 (McCune and Mefford, 1995).

### **3. Elaboración del mapa digital.**

Considerado el *mapa base* previamente elaborado para la definición de las unidades de paisaje (esc. 1 50 000), se procedió a digitalizarlo en el sistema de información geográfica denominado ILWIS (Integrated Land and Water Management System, Vers. 2.1) (Palacio y Luna, 1993). Se digitalizaron los siguientes elementos espaciales:

- ◆ Límite general de la región.
- ◆ Cotas altitudinales cada 50 m.
- ◆ Polígonos definidos y representativos de las unidades de paisaje.

## VII RESULTADOS

### 1. Análisis de la avifauna a nivel regional.

#### *a y b) El inventario, riqueza y composición*

La riqueza de aves registrada para el sur del Valle de México se estimó en 87 especies. Estas se encuentran distribuidas en 9 órdenes, 28 familias y 71 géneros. El listado se elaboró con base en la clasificación de la American Ornithologist Union (1983) (ver Apéndice I). El orden mejor representado es el de los Passeriformes (aves canoras) con 63 especies (72.41%), siguiendo en importancia el de los Apodiformes con 7 especies (8.04%), el de los Falconiformes y Piciformes con 5 especies (5.74%). Los demás órdenes presentan solo entre 1 y dos especies. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición avifaunística del Sur del Valle de México.

ORDEN	FAMILIAS	GENEROS	ESPECIES	%
Falconiformes	3	5	5	5.74
Galliformes	1	1	1	1.14
Cuculiformes	1	2	2	2.29
Strigiformes	1	2	2	2.293
Caprimulgiformes	1	1	1	1.14
Apodiformes	1	6	7	8.04
Trogoniformes	1	1	1	1.14
Piciformes	1	3	5	5.74
Passeriformes	18	50	63	72.41
<b>TOTAL</b>	<b>28</b>	<b>71</b>	<b>87</b>	<b>100</b>

De las 28 familias, la Emberizidae (representada por los chipes, picogordos, gorriones, entre otros) resultó ser la mejor representada con 24 especies (27.58%), siguiendo en importancia la familia Muscicapidae (reyezuelos, primavera y jilgueros) con 10 especies (11.49%), la Trochilidae (colibríes) con 7 (8.04%), y la Picidae (pájaros carpinteros) y Fringillidae (gorriones) con 5 (5.74%). De la familia Emberizidae, los géneros más representativos son *Dendroica* (verdines) y *Vermivora* (gusaneros) con 3 especies y *Atlapetes* (saltones) con 2 especies. De esta familia, la subfamilia Parulinae, que comprende entre otros a los pavitos de bosque (*Myoborus*) y larviteros (*Basileuterus*), resultó ser la mejor representada con 14 especies.

c) *El estatus de residencia*

Del total de las especies registradas, 70 (80.45%) son *residentes*, es decir, se reproducen en el sur del Valle de México y pasan la mayor parte del tiempo en la zona; 14 especies (16.09%) son *migratorias de invierno*, es decir, sólo se encuentran durante esta temporada en los bosques del sur, ya sea en su ruta migratoria hacia sitios más sureños, como de regreso hacia Norteamérica, donde se reproducen. Dos especies (2.29%), *Colibri thalassinus* e *Hirundo rustica* son consideradas como residentes de otoño y verano respectivamente (Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993 y Wilson, com. pers.). La especie *C. thalassinus* se reproduce durante los meses de julio a febrero y después emigra del Valle de México (Wilson, *op cit.*). Para *H. rustica*, Wilson y Ceballos-Lascurain (*op. cit.*) señalan que la especie se encuentra comunmente anidando a partir de febrero y hasta octubre, aunque puede registrarse en grandes grupos migratorios entre los meses de octubre y febrero. Sólo una especie, *Crotophaga sulcirostris* es considerada aquí como vagrante, ya que se encuentra fuera de su área de distribución natural (Fig. 3).

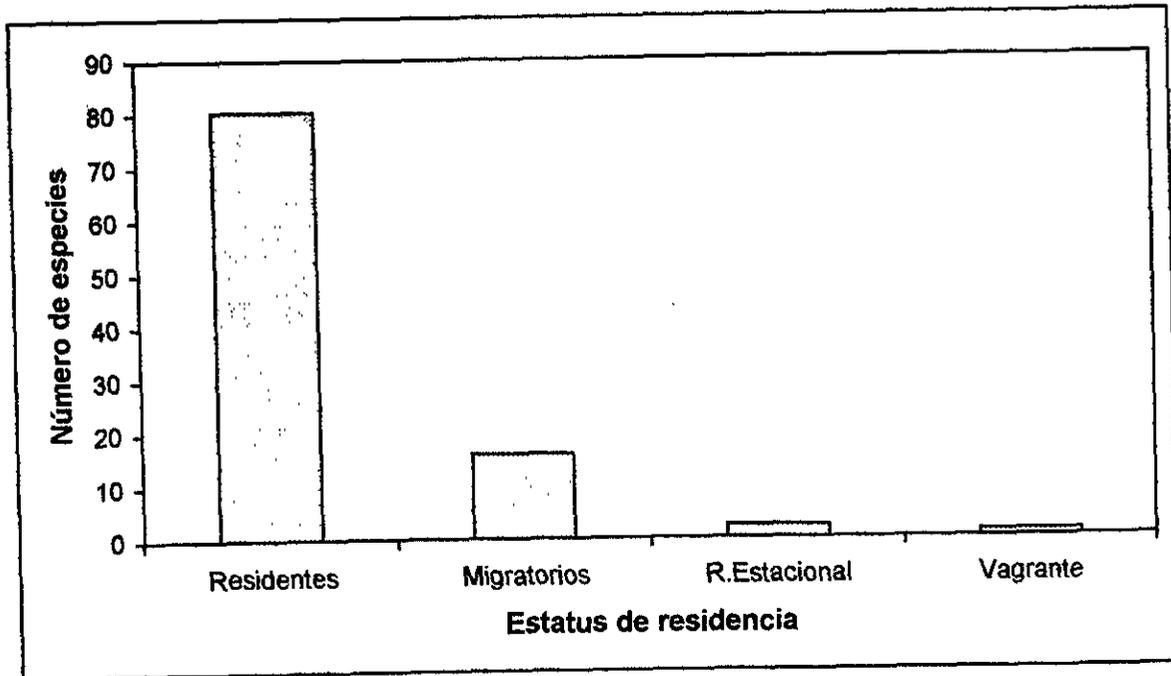


Fig. 3. Estatus de residencia de la avifauna del sur del Valle de México.

d) Gremios alimenticios

Se determinó que 39 especies (44.82%) consumen principalmente invertebrados, subdividiéndose de acuerdo a la técnica de alimentación, en 21 especies (24.13%) que los capturan en el follaje (IF), 8 (9.19%) recorriendo y colectando de la corteza de troncos y ramas (IC); 6 (6.89%) que los capturan al vuelo -en el aire- (IV) y 4 (4.59) que los colectan directamente del suelo (IS). Siguen en importancia las especies omnívoras (14.94%), las granívoras (10.34%) y las nectarívoras y carnívoras con 9.19%. Existe solo una especie considerada carroñera, el zopilote *Cathartes aura* y una como frugívora, el trogón de las montañas *Trogon mexicanus*. Para las 8 especies restantes, se les asignó la categoría de "gremios compuestos", ya que incluyen en su dieta principal más de un tipo de alimento, como por ejemplo frugívoro-insectívoro ó insectívoro del suelo-granívoro (Fig. 4).

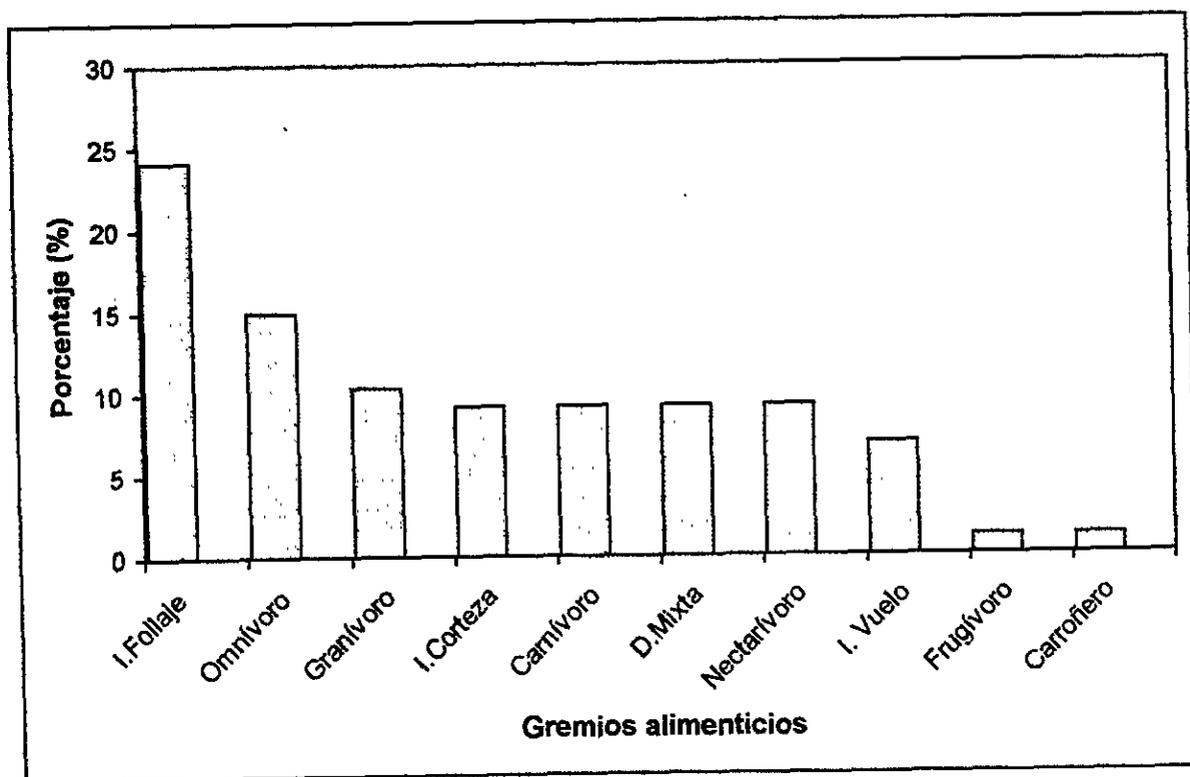


Fig. 4. Gremios alimenticios de la avifauna del sur del Valle de México.

### e) Estatus de vulnerabilidad

Al considerar las áreas de distribución natural de las especies, se tiene que del total de especies registradas, sólo 11 se encuentran dentro de los límites territoriales de México, es decir, son *endémicas*. Éstas representan el 12.64% de la avifauna registrada o el 52.38% de todas las *endémicas* reportadas para la región por Velázquez y Romero (1996) y el 11.57% con respecto al total de *endémicas* del país (Navarro y Benítez, 1993).

La especie *Xenospiza baileyi* debe ser considerada como “microendémica”, ya que el área de distribución se restringe a la región sur del Valle de México, y en particular a la franja de planicies intermontanas localizadas en el límite político entre el Distrito Federal y el Estado de Morelos (Cabrera y Escamilla, *en desarrollo*). Las subespecies *Pipilo erythrophthalmus macronyx*, *Picoides stricklandi aztecus* y *Geococcyx velox melanchima* tienen un área de distribución restringida a la parte central del Eje Neovolcánico Transversal y se encuentran en el Sur del Valle de México (Howell y Webb, 1995; Urbina, *en prep.*).

En cuanto a las especies consideradas como vulnerables o en riesgo, se tienen a *Bubo virginianus* como especie bajo la categoría de **Amenazada**, *Dendrortyx macroura*, *Falco sparverius* y *Buteo jamaicensis* se encuentran bajo la de **Protección Especial** y *Xenospiza baileyi* se encuentra bajo la de **Peligro de Extinción** (CIPAMEX, 1993; Navarro y Benítez, 1993; Diario Oficial, 1994;).

## 2. Análisis de la avifauna a nivel de paisaje.

### a) Riqueza específica

La unidad paisajística con mayor riqueza avifaunística registrada fué el *pedemonte medio* con 37 especies, siguiendo en importancia la *planicie de altura* con 31 especies, el *pedregal* con 29 y el *pedemonte superior* con 28; las unidades paisajísticas con menor número de especies fueron la *cañada* con 21 especies, el *pedemonte inferior* con 21 y la *planicie de acumulación* con 11 especies (Fig. 5). Una lista de las especies de aves por unidad de paisaje se brinda en el Apéndice I.

### b) Representatividad y predicción

Como una manera de formalizar los datos de inventario utilizados y conocer su grado de representatividad en cuanto a la posible totalidad de especies de la región, en el Cuadro 5 se presentan los parámetros obtenidos y los resultados del ajuste de los modelos de acumulación de

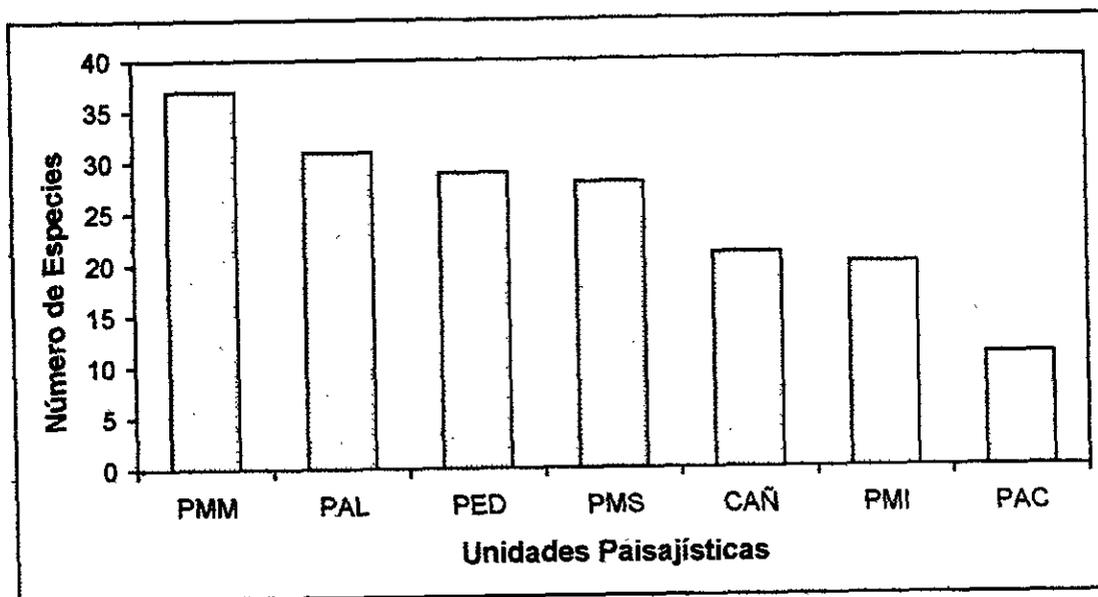


Fig. 5. Riqueza avifaunística por unidad de paisaje. Las unidades de paisaje se presentan de forma abreviada: PMM=Piedemonte medio; PAL=Planicie de altura; PED=Pedregal; PMS=Piedemonte superior; PMI=Piedemonte inferior; CAÑ=Cañada; PAC=Planicie de acumulación.

especies de Clench y Exponencial modificados por Soberón y Llorente (1993) para la avifauna de las distintas unidades paisajísticas del Sur del Valle de México.

Para las siete unidades de paisaje se obtuvo un ajuste significativo de los modelos de acumulación de especies utilizados. Se determinó que tres unidades paisajísticas se pueden considerar inventariadas en cuanto a su avifauna se refiere: la planicie de acumulación y los piedemonte medio y superior, ya que al modelar mediante el aumento teórico de 20 censos, es decir un total de 50, no se incrementa el número de especies posibles a registrarse, a excepción de sólo una especie en la planicie de acumulación. En este sentido, en la unidad pedregal se estima que se registró el 94% de las especies, es decir un posible faltante de 2 especies (6%).

Los valores de riqueza modelados como posibles totales (asintota de la curva) que indican que el inventario aún no está totalmente completo se presentaron en las unidades de paisaje cañada, piedemonte inferior y en la planicie de altura. Para la primera se estima que se registró el 81% de las especies, es decir, 5 especies pudieron no detectarse; para la planicie de altura, la estimación registrada es del 88% (4 especies no detectadas) y sólo el piedemonte inferior puede considerarse

como la unidad en donde el esfuerzo de muestreo no fue suficiente para conocer a la posible totalidad avifaunística, ya que se estima que sólo se registró el 61% de las especies. (Ver Fig. 6).

Cuadro 5. Parámetros obtenidos en la regresión No-lineal con función de ajuste de Cuasi-Newton para la riqueza acumulada por unidad de paisaje de acuerdo a los modelos de Clench (MC) y exponencial (ME). **R**=coeficiente de correlación entre el modelo y los datos; **b1**=tasa de incremento al inicio de la colecta; **b2**=recíproco del tiempo esperado en que se registra ½ de la asíntota; **EST**=error estándar; **V.A.**=valor asíntótico (ver Soberón y Llorente, 1993 para detalles matemáticos).

Parám.	PED		CAÑ		PMI		PMS		PAI		PMM		PAC	
	MC	ME	MC	ME	MC	ME								
<b>R</b>	.954	.945	.967	.966	.964	.961	.977	.944	.982	.981	.991	.992	.959	.957
<b>B1</b>	2.98	2.45	1.72	1.57	4.61	3.5	5.4	3.70	3.54	3.03	2.14	2.09	.535	.50
<b>EST</b>	.33	.21	.15	.11	.43	.25	.43	.28	.24	.16	.12	.10	.05	.04
<b>B2</b>	.075	.082	.041	.056	.204	.18	.21	.169	.086	.100	.033	.055	.028	.040
<b>EST</b>	.014	.011	.008	.008	.024	.017	.02	.015	.009	.008	.005	.007	.007	.009
<b>V.A.</b>	31	29	28	26	20.6	18.7	23.6	21.8	33.3	30	39.85	35.6	11.13	10.7

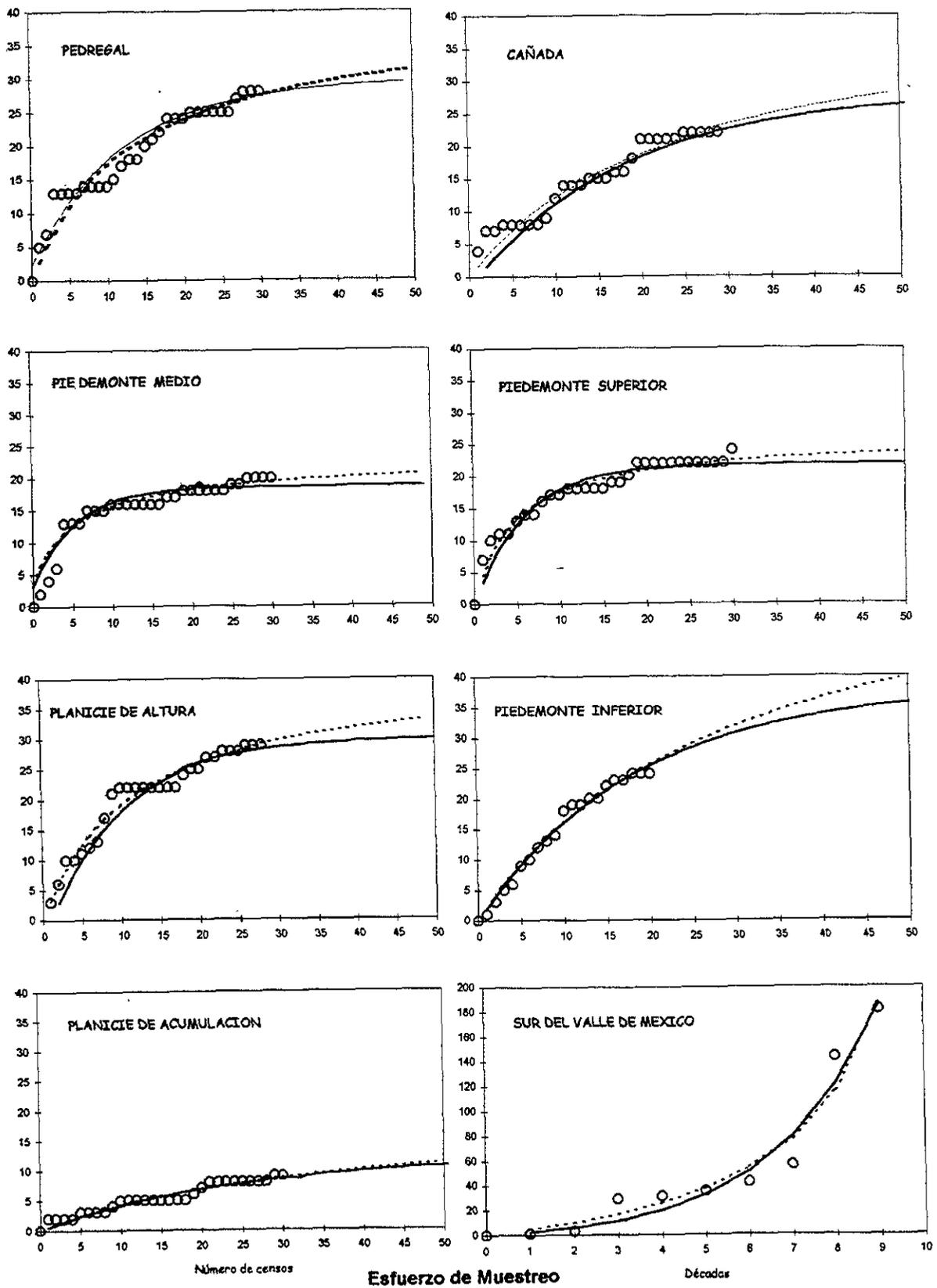


Fig. 6. Curvas de acumulación de especies para la avifauna y las unidades paisajísticas del sur del Valle de México. 0 representa el número acumulado de especies observadas; --- a al ajuste del modelo de Clench y \_\_\_ al del modelo Exponencial.

c) La Diversidad

La unidad de paisaje con el valor mayor de diversidad avifaunística corresponde al piedemonte medio (3.01), siguiendo en importancia la planicie de altura (3.0), el pedregal (2.56) y el piedemonte superior (2.53). Las unidades menos diversas resultaron ser el piedemonte inferior (2.28), la cañada (2.25) y la planicie de acumulación (1.30). Los valores estimados de equitatividad fueron superiores para la planicie de altura (.87) y el piedemonte medio (.83); la planicie de acumulación presentó el menor valor de equitatividad (.62). Los resultados del análisis realizado mediante la prueba de t, indican que al comparar los índices de diversidad entre las unidades de paisaje, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las unidades planicie de altura y piedemonte medio ( $t=3.812$ , g.l. 606,  $p<0.05$ ), pedregal y piedemonte superior ( $t=9.225$ , g.l.332,  $p<0.05$ ) y piedemonte inferior y cañada ( $t=7.073$ , g.l. 465,  $p<0.05$ ). La comparación de la diversidad estimada para el resto de las interacciones entre las unidades de paisaje resultó ser estadísticamente diferente (ver Cuadro 6 y Figura 7).

Cuadro 6. Valores de diversidad (H) y equitatividad (E) calculados mediante el Índice de Shannon-Wiener para la avifauna de las unidades paisajísticas del sur del Valle de México. También se presentan los resultados de la prueba de t para dos índices de diversidad, comparandose entre las unidades de paisaje. Los valores marcados con asterisco (\*) difieren significativamente entre sí  $p<0.05$

Unidad de Paisaje	PMM	PAL	PED	PMS	PMI	CAÑ	PAC
<b>Piedemonte Medio</b> H=3.01; E=.836							
<b>Planicie de Altura</b> H=3.0; E=.875	T=3.812 n.s. g.l.=606						
<b>Pedregal</b> H=2.56; E=.761	T=9.38 * g.l.=498	T=10.69 * g.l.=420					
<b>Piedemonte Superior</b> H=2.53; E=.761	T=11.61 * g.l.=599	T=12.21 * g.l.=538	T=9.225 n.s. g.l.=332				
<b>Piedemonte Inferior</b> H=2.28; E=.764	T=16.92 * g.l.=492	T=17.88 * g.l.=426	T=5.68 * g.l.=453	T=5.55 * g.l.=319			
<b>Cañada</b> H=2.25; E=.741	T=17.95 * g.l.=537	T=10.86 * g.l.=474	T=6.42 * g.l.=473	T=6.37 * g.l.=524	T=7.073 n.s. g.l.=465		
<b>Planicie de Acumulación</b> H=1.30; E=.629	T=41.26 * g.l.=491	T=44.37 * g.l.=203	T=26.76 * g.l.=441	T=28.65 * g.l.=482	T=22.11 * g.l.=430	T=21.72 * g.l.=455	

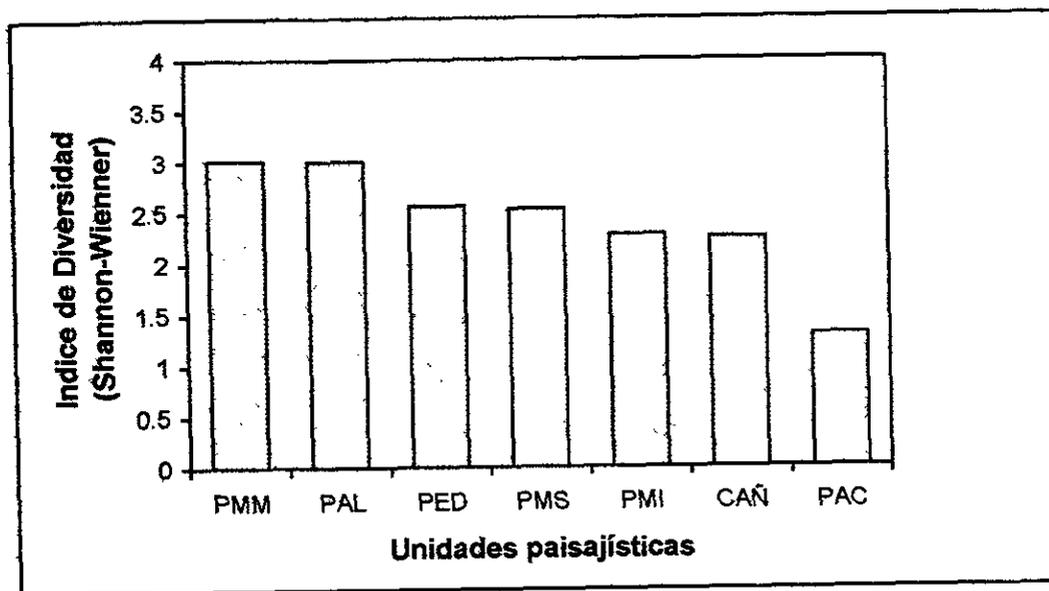


Fig. 7. Índice de diversidad de Shannon-Wiener estimado por unidad paisajística para la avifauna del Sur del Valle de México.

#### d) La abundancia relativa

Los valores de abundancia relativa total estimados para las especies censadas ( $N=76$ ) por unidad de paisaje se presentan en el Apéndice II. En total, se estimó una abundancia de 1586 individuos para las unidades de paisaje estudiadas en el sur del Valle de México. La planicie de altura representó ser la unidad con mayor número de individuos registrados (269), siguiendo en importancia los piedemonte superior (261) y medio (228). La Planicie de acumulación resultó ser la unidad con menor número de individuos (188).

La prueba de  $\chi^2$  mostró que existen diferencias estadísticas significativas entre las abundancias relativas de las especies de aves censadas para cada unidad de paisaje ( $\chi^2= 3467$ , g.l.= 450,  $p<0.001$ ). Aunque parte de los valores totales de individuos por unidad de paisaje se asemejan (PAL con PMS y PMI con PED), la tabla de contingencia de  $\chi^2$  logró mostrar las diferencias internas debidas a las abundancias de las especies. Por ejemplo, es posible apreciar en el cuadro 5 la variación tanto a nivel intra como interespecífico, es decir, las especies de aves se encontraron con diferentes proporciones de individuos en las diferentes unidades de paisaje (p. ej. 100 individuos de *O. Superciliosus* en la PAC con respecto a 27 en el PMM). Por otro lado, es posible conocer a las especies con mayor número de individuos, como es el caso de *Myoborus miniatus* con 210 individuos

registrados, *Oriturus superciliosus* con 163 individuos, *Turdus migratorius* con 112, *Sialia sialis* con 104 individuos, *Ergaticus ruber* con 97, *Pipilo erythrophthalmus* con 90 y *Sitta pygmae* con 76. Entre las especies registradas con pocos individuos (menos de 10) sobresalen *Atlapetes virenticeps*, *Regulus satrapa*, *Turdus assimilis*, *Turdus rufopalliatu*s, *Lepidocolaptes leucogaster* y *Trogon mexicanus*.

En el cuadro 7 se sintetizan los atributos ecológicos obtenidos para las aves censadas con base a las unidades de paisaje estudiadas.

Cuadro 7. Principales atributos obtenidos para la avifauna y las unidades de paisaje del sur del Valle de México. <sup>a</sup> número de aves censadas, <sup>b</sup> número de especies total -los ( ) indican el número de especies censadas-, <sup>c</sup> valor de riqueza estimada por los modelos de Clench y Exponencial respectivamente, <sup>d</sup> valor calculado mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), <sup>e</sup> es el valor calculado de equitatividad ( $E=H'/\ln S$ ).

Unidades Paisajísticas	Abundancia Total <sup>a</sup>	Riqueza Específica <sup>b</sup>	Riqueza Predictiva <sup>c</sup>	Diversidad <sup>d</sup> Shannon-Wiener	Equitatividad <sup>e</sup>
PlAltura	269	31	33-30	3	.875
PmonteSuperior	261	28	24-22	2.53	.761
PmonteMedio	228	37	40-36	3.02	.836
Cañada	219	21	28-26	2.25	.741
PmonteInferior	211	20	21-19	2.28	.764
Pedregal	210	29	31-29	2.56	.761
PlAcumulación	188	11	11	1.30	.629

#### e) Clasificación

El análisis de clasificación (Twinspan) permitió reconocer dos comunidades de aves (Nivel de corte 1, autovector= .637). La primera, fue denominada Avifauna Montana (Clave I) y la segunda como Avifauna de Planicies Submontanas (Clave II). El grupo I se subdividió en cuatro sub-comunidades de aves (Ver fig. 8).

La especie determinada por el análisis de clasificación (Hill, 1979) como "indicadora" para el primer nivel de corte (autovector=.637) fué *Myioborus miniatus*, indicando que es la especie que por su alta frecuencia de aparición y altos valores de abundancia, caracterizó y discriminó a nivel de comunidades, a la comunidad de aves montanas de la de planicies submontanas. En este mismo sentido, la especie *Junco phaeonotus* resultó ser indicadora (autovector= .473) a nivel de las sub-comunidades pertenecientes a los bosques de pino y mixtos característicos de las planicies de altura y los piedemontes medio y superior, diferenciándolas de la unidad cañadas. *Picoides villosus* resultó ser la especie indicadora (autovector= .347) de las planicies de altura y *Catharus occidentalis* de los bosques mixtos de los piedemonte superior y medio (autovector=.424).

**Comunidad Avifauna Montana.-** En general, las aves pertenecientes a este grupo pueden considerarse *preferenciales* de los ambientes boscosos, los que presentan una estructura que va de semiabierta con 2 o 3 estratos verticales de vegetación, a cerrados y densos con 3 o 4 estratos. Las geofomas presentes van desde los pedregales, los piedemonte medio y superior, las cañadas y las planicies de altura.

En particular y para el caso de las sub-comunidades, como especies preferenciales a las cañadas podemos mencionar a *Trogon mexicanus*, *Myadestes occidentalis*, *Basileuterus belli* y *Regulus satrapa*, entre otras. Para los pedregales se pueden encontrar como especies preferenciales a *Catherpes mexicanus* y *Geothlypis nelsoni*. En las planicies de altura a *Picoides villosus*, *Sialia sialis* y *Colaptes auratus*. Para los piedemonte medio y superior, a *Coccothraustes abeillei*, *Aphelocoma ultramarina* y *Toxostoma ocellatum*.

**Comunidad de Aves de Planicies Submontanas.-** En general, las aves pertenecientes a esta comunidad resultaron ser *preferenciales* a los ambientes con una estructura de vegetación uniestratificada, con coberturas que pueden ir de densas a abiertas y desarrolladas sobre geofomas relativamente planas y de baja pendiente, como es el caso de las planicies de acumulación y los piedemontes inferiores. Las comunidades vegetales corresponden a pastizales subalpinos y aunque no es una comunidad natural, a cultivos de avena respectivamente. Como especies preferenciales podemos mencionar a *Xenospiza baileyi*, *Sturnella magna*, *Carduelis pinus* y *Spizella atrogularis*.

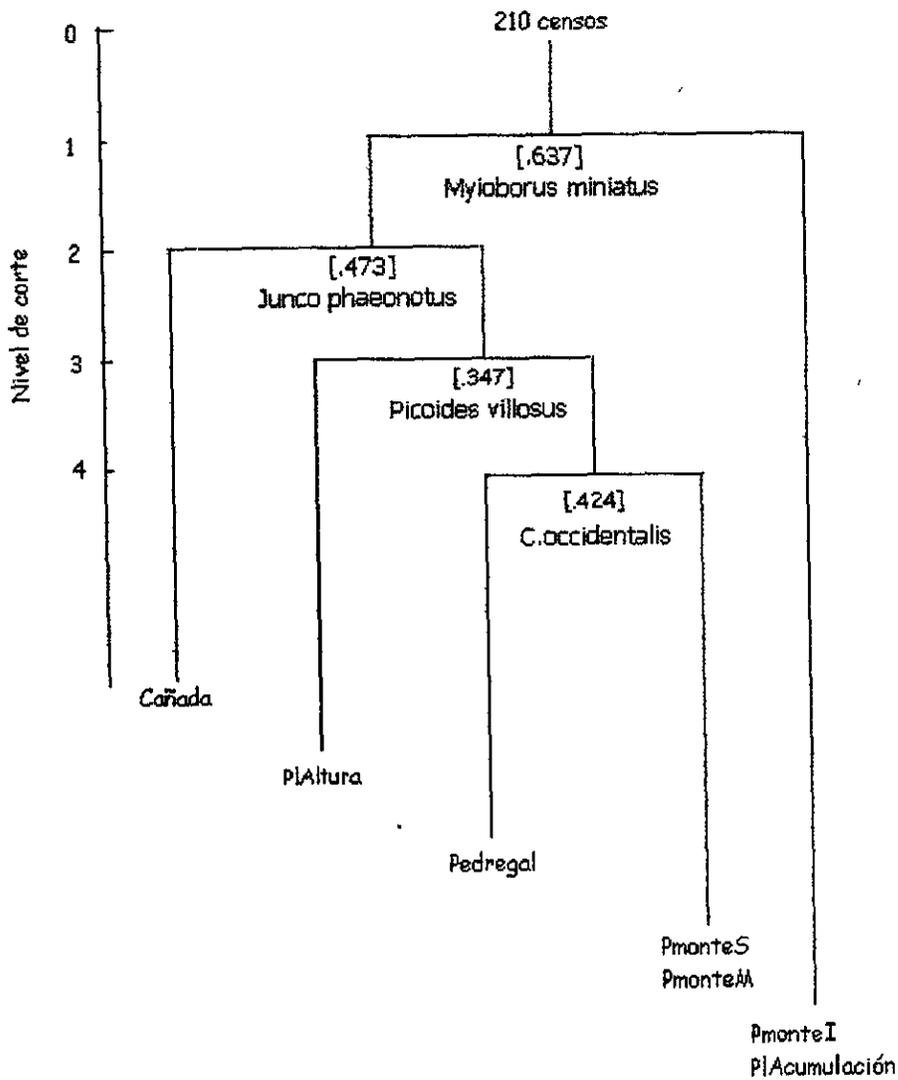


Fig. 8. Dendrograma del análisis de especies indicadoras de dos vías (TWINSPAN, Hill, 1979) de las aves y las unidades de paisaje del sur del Valle de México. Los corchetes señalan el valor del autovector producido.

### f) Tabla de fidelidad

En la tabla de fidelidad se puede apreciar a las especies constantes, definidas como aquellas que están presentes en un alto porcentaje de todos los censos, siendo en este caso, las que están presentes en más de un 60% (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974), nombrando por ejemplo a *Myioborus miniatus*, *Ergaticus ruber*, *Junco phaeonotus*, *Troglodytes aedon* e *Hylocharis leucotis*. A este grupo de especies puede considerarseles generalistas, de amplio intervalo de ocupación ó de percepción gruesa al paisaje (Farina, 1998), ya que prefieren estos ambientes pero a una escala pequeña de resolución, es decir, ocupan una alta variedad de los ambientes montanos muestreados. Así mismo, se determinó a las especies de baja constancia, que son aquellas que están presentes en menos del 10% de los censos realizados, como son por ejemplo *Eremophila alpestris*, *Carpodacus mexicanus*, *Loxia curvirostra*, *Trogon mexicanus*.

También es posible distinguir otro grupo de especies, el de aquellas de grado de constancia intermedia, denominadas como *diferenciales* (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974) y que representan a aquellas que pueden considerarse de distribución restringida o especialistas a un ambiente, como son *Xenospiza baileyi*, *Sturnella magna*, *Catharus occidentalis*, *Basileuterus belli*, *Turdus assimilis*.

El reconocimiento de las especies diferenciales para agrupar los censos en grupos avifaunísticos (comunidades) es muy importante, ya que al contar con las especies de alta y baja constancia como umbrales en este gradiente (Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974), a las especies de alta constancia se les puede considerar características de una serie entera de los censos en comparación, y las de baja constancia, como de ocurrencia accidental. Entonces las especies presentes con rango intermedio de constancia pueden ser útiles para distinguir grupos de censos como subdivisiones de las series, es decir, a las especies que ocurren juntas en la serie de censos realizados y que son consideradas asociadas entre sí y hacia determinadas condiciones ambientales. En este caso, las especies diferenciales que podemos considerar asociadas entre sí fueron *Sitta pygmaea*, *Peucedramus taeniatus*, *Picoides stricklandii* y *Contopus pertinax* (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Tabla de fidelidad de la avifauna con base en las unidades paisajísticas del sur del Valle de México.

Ind	3000	3000	3000	3000	3000	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3200	3200	3200	3250	3250	3250	3450	3450	3450	
bertura arbórea %	5	5	5	0	0	60	60	60	60	50	50	50	90	90	90	80	80	80	40	40	40
bertura arbustiva %	0	0	0	0	0	35	35	35	40	40	40	80	80	80	35	35	35	5	5	5	
bertura herbácea %	90	90	90	90	90	20	20	20	10	10	10	20	20	20	20	20	20	90	90	90	
iente (grados)	0	0	0	0	0	10	10	10	5	5	5	40	40	40	20	20	20	5	5	5	
ad de paisaje	plc3	plc2	plc1	pl2	pl1	pm2	pm3	pm1	pe2	pe1	pe3	ca1	ca2	ca3	ps1	ps3	ps2	pla3	pla2	pla1	
nero de conso	18	16	17	20	19	13	14	15	5	6	4	11	10	12	2	3	1	8	9	7	
<i>Phalaena magna</i>	III-4	III-5	III-5	III-5	III-5																
<i>Coenonympha baileyi</i>	II-7	II-2	II-5		II-2																
<i>Libellula aurata</i>	V-4	V-6	V-3	V-2	V-2	V-3	V-3												V-4	V-3	
<i>Libellula superciliosa</i>	V-5	V-4	V-5	V-4	V-3	V-1	V-4														
<i>Libellula stictica</i>		IV-3	IV-2	IV-5	IV-3	IV-1													IV-3	IV-5	IV-4
<i>Stenobothrus thalassina</i>			II-2																II-6	II-5	II-4
<i>Stenobothrus rufus</i>				II-4	II-5		II-6														
<i>Stenobothrus rufus</i>				I-6	I-6																
<i>Stenobothrus rufus</i>				I-6	I-6																
<i>Stenobothrus rufus</i>				I-7	I-5																
<i>Stenobothrus rufus</i>				I-5	I-6																
<i>Stenobothrus rufus</i>				II-5	II-4																II-6
<i>Stenobothrus rufus</i>	II-4			II-4					II-4	II-6											
<i>Stenobothrus rufus</i>									I-6		I-6										
<i>Stenobothrus rufus</i>									II-5	II-5						II-2					
<i>Stenobothrus rufus</i>									I-5	I-7											
<i>Stenobothrus rufus</i>									I-5	I-7											
<i>Stenobothrus rufus</i>															II-5	II-6				II-5	
<i>Stenobothrus rufus</i>															III-5	III-4	III-5				
<i>Stenobothrus rufus</i>															III-5	III-5					
<i>Stenobothrus rufus</i>															II-4						
<i>Stenobothrus rufus</i>								III-3							III-5	III-3	III-5				
<i>Stenobothrus rufus</i>															II-5	II-5	II-6				
<i>Stenobothrus rufus</i>															II-5	II-4	II-6				
<i>Stenobothrus rufus</i>															I-6	I-6					
<i>Stenobothrus rufus</i>															II-5	II-5					
<i>Stenobothrus rufus</i>															II-4						
<i>Stenobothrus rufus</i>								II-4	II-4						II-3						
<i>Stenobothrus rufus</i>				VII-3	VII-3	VII-3	VII-3	VII-3	VII-3						VII-3						
<i>Stenobothrus rufus</i>				VII-2	VII-2	VII-3	VII-4	VII-3	VII-3						VII-3	VII-3	VII-4				
<i>Stenobothrus rufus</i>				V-3	V-3			V-3	V-3	V-4					V-4	V-3	V-4				
<i>Stenobothrus rufus</i>				VI-3	VI-3	VI-3	VI-3	VI-3	VI-3						VI-4	VI-2					
<i>Stenobothrus rufus</i>															VI-4	VI-2					
<i>Stenobothrus rufus</i>															VI-3	VI-2					
<i>Stenobothrus rufus</i>															VI-3	VI-2					
<i>Stenobothrus rufus</i>															VI-4	VI-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															VI-3	VI-2					
<i>Stenobothrus rufus</i>															VI-4	VI-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-3	V-4				
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-3	V-3					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-3	V-3					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>															V-4	V-4					
<i>Stenobothrus rufus</i>																					

g) Ordenación

La ordenación obtenida por el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) produjo una agrupación de muestras a lo largo de los ejes principales I y II (eigenvalue=0.690 y 0.479), lo que puede respaldar la segregación espacial de las aves en comunidades y sub-comunidades que posiblemente responden a la estructura paisajística. La inercia total en los datos de las especies fue de 2.183 y las variables utilizadas explican cerca del 54% de la inercia residual. Se determinó una significativa correlación entre el eje de las especies y las variables ambientales consideradas. (Coef. Correl. Pearson Eje I = .984). Ver cuadro 8.

Cuadro 8. Autovectores obtenidos para los ejes teóricos de ordenación (Eje I y II) y coeficiente de correlación para las variables especies y ambiente.

Estadístico	Eje I	Eje II
Autovector (eigenvalue)	.690	.479
Varianza en datos de especies		
% de varianza explicada	31.6	21.9
% acumulado explicado	31.6	53.5
Coef. Correl. Pearson Spp-Amb.*	.984	.996
Varianza total (inercia) en datos de especies: 2.183		

\* Correlación entre los valores de las especies y las variables ambientales. Este valor tiende a 0.000 si el eje no alcanza el autovector.

La prueba de permutación de Monte Carlo tuvo un F-radio de 9.45 ( $p= 0.01$ ), indicando que la relación entre las muestras tiene un alto valor probabilístico de ocurrencia, es decir, los patrones encontrados no son producto del azar. En la figura 9 se muestra la relación aves-unidades de paisaje y el efecto de las variables ambientales consideradas. Del lado izquierdo del diagrama se posicionan las unidades de paisaje de mayores pendientes y alto número de estratos vegetativos, como son los piedemonte superior y cañadas. De manera opuesta, se posicionan en el extremo derecho del primer eje, el grupo de aves que prefieren ambientes de baja o nula pendiente y poco estratificados, como son los pastizales subalpinos de las planicies de acumulación y los campos de cultivo en los piedemonte inferior.

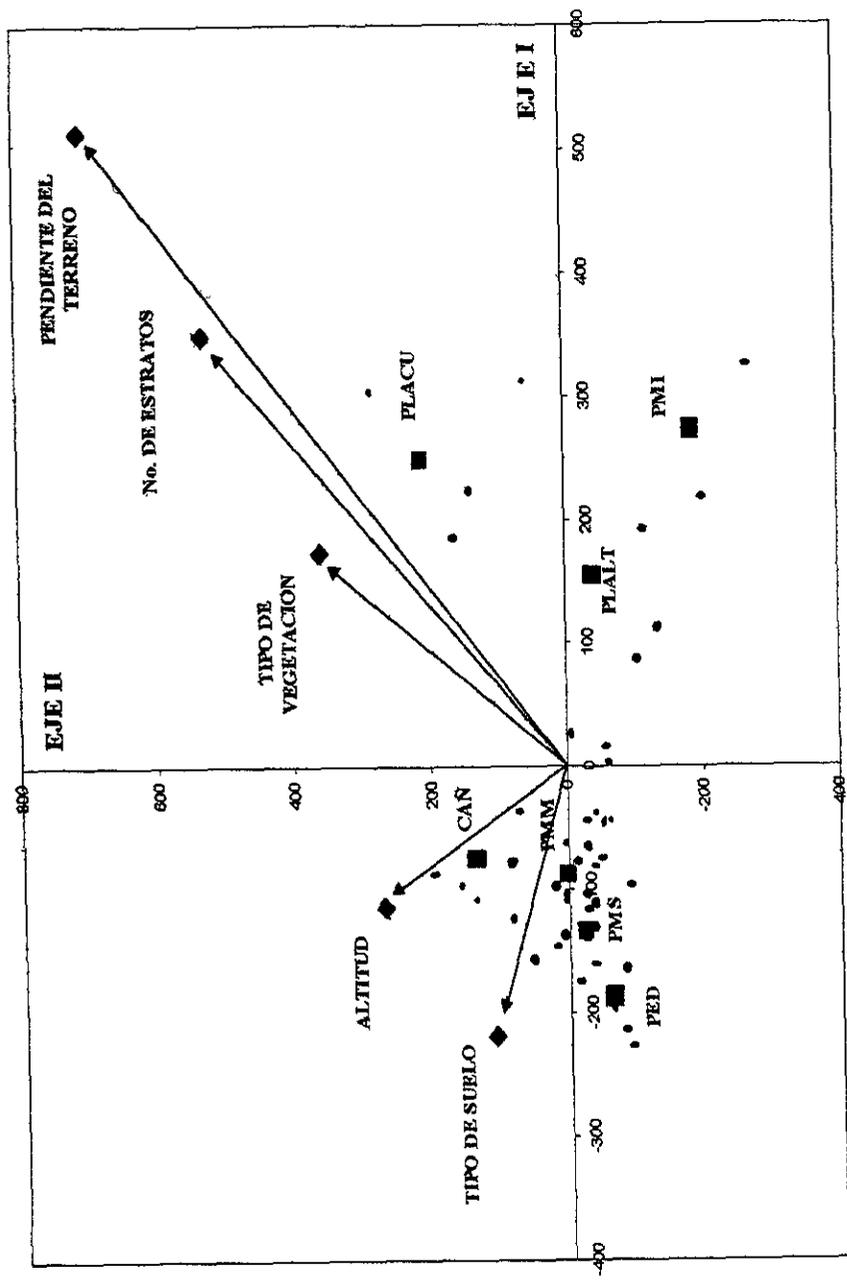


Fig. 9. Diagrama de ordenación (CCA) de las aves en relación a las unidades de paisaje del Sur del Valle de México. → indica la dirección y el efecto de las variables ambientales sobre la distribución de las aves, ◊ indica las coordenadas de las variables ambientales, ● indica las coordenadas de las especies y ■ las coordenadas de las unidades de paisaje.

## VIII. DISCUSION

### *La avifauna del sur del Valle de México: riqueza y composición.*

La riqueza total de aves registrada para el sur del Valle de México fue de 87 especies. Esta cifra representa el 48% de las 181 especies reportadas por Cabrera y Meléndez (*En ed.*) para el denominado Sur del Valle de México (Hupb, 1984 y Stelma, 1995). El listado de Cabrera y Meléndez (*op cit.*) representa un trabajo de compilación, verificación y síntesis de registros de campo realizados por los autores durante varios años. El presente listado resulta valioso porque ha sido elaborado bajo un enfoque regional, es decir, bajo el contexto de la definición de límites naturales (geomorfológicos) susceptibles de cartografiarse y por considerar la mayor parte de la heterogeneidad ambiental. La aplicación de este enfoque puede ser de mayor trascendencia biológica con respecto a los estudios en donde se consideran límites políticos o artificiales para la regionalización de la biodiversidad.

Es necesario mencionar que el presente listado debe considerarse *parcial*, ya que la pregunta central del presente estudio estuvo enfocada en conocer principalmente las relaciones espaciales de las aves bajo un marco conceptual específico, no analizando el aspecto de la temporalidad. Sin embargo, el trabajo de inventario de aves se formalizó con la aplicación de los modelos de acumulación de especies (Soberón y Llorente, 1993), los que brindaron un valor estadístico de confianza acerca del grado de representatividad de la avifauna inventariada por unidad de paisaje y la predicción teórica a nivel regional. El modelo de acumulación a nivel regional nos indicó que teóricamente es posible encontrar más especies de aves (30%), aspecto con el que coincido, aunque cabe mencionar que esta proyección puede estar influida por el incremento del esfuerzo de muestreo ornitológico ocurrido durante la última década, por lo que se ha incrementado el número de registros y por lo tanto el valor predictivo puede estar sobre-estimando el valor de riqueza de aves.

En términos de representatividad taxonómica, la avifauna registrada coincide con los patrones generales detectados para la avifauna mexicana, en particular con las familias ricas en especies en México, como la Emberizidae, Tyrannidae y Trochilidae (Torres, 1992) y con las reglas de ensamble generales en la composición de las aves de México propuestas por Gómez de Silva (1999), donde se cumple que en el sur del Valle de México existen más del mínimo (19) de las

familias de aves que deben existir en un ecosistema terrestre, así como estar representados 10 de los 12 gremios alimenticios característicos de estos ambientes.

Se verificó la presencia de 11 especies endémicas, las que representan el 11.57% del total de las endémicas para México (Navarro y Benítez, 1993), así como la presencia de especies con áreas de distribución "restringida" como *Toxostoma ocellatum*, *Xenospiza baileyi* y *Picoides stricklandi*, así como la de aquellas en donde su tamaño poblacional se encuentra en declinación y son consideradas como raras o bajo protección especial, debe considerarse dentro de los procesos de valoración biológica y económica de la región. La presencia de este tipo de especies puede brindar rigurosos elementos de decisión para la identificación de zonas prioritarias para la conservación, ya que las especies de distribución restringida son consideradas más proclives a la extinción (Soberón, *et al.*, 1991).

La especie *X. baileyi* se encuentra categorizada en Peligro de Extinción (Diario Oficial, 1994; CIPAMEX, 1993; Navarro y Benítez, 1993) y es posible que su estatus sea re-evaluado con base en los estudios de Oliveras de Ita, *et al.* (1999) Cabrera y Escamilla (1999) y González (en desarrollo) y alcance la categoría de especie en situación CRÍTICA en el Programa de Especies Globalmente Amenazadas de Birdlife International del año 2000. La presencia de *X. baileyi* en el sur del Valle de México, representa probablemente el único lugar en el mundo en donde existe esta especie, por lo que la región recientemente ha adquirido el carácter de Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) con carácter de Importancia Global (CIPAMEX, 1998).

Se identificaron nuevos sitios de distribución para algunas de las especies registradas, por ejemplo, para el gorrión serrano *Xenospiza baileyi*, la localidad "La Cima", en el límite entre el Estado de Morelos y el Distrito Federal, fue considerada como el centro de la población de la especie, e incluso, como el único lugar en el mundo (Pitelka, 1947; Dickerman, *et al.*, 1967; Wilson y Ceballos-Lascurain, 1986; 1993). Esta información de manera automática configuró una área de distribución muy reducida, aproximadamente de 2 Km<sup>2</sup>. En el presente estudio, se confirmó la presencia de esta especie en varias localidades que antes no habían sido ubicadas formalmente, como son las denominadas E y NE del Volcán Yecahuzac, SE, E y N del Cerro San Bartolito, N de los Volcanes San Bartolo y Comalera, E del Volcán Tulmiac, N del Volcán Acopiaco y SE del poblado El Capulín.

Con esta información fue posible realizar una estimación mediante el Sistema de Información Geográfica ILWIS (Vers. 2.1) del área de distribución actual para esta especie de aproximadamente

59.4 km<sup>2</sup>, cifra que está por debajo del área mínima de 500 km<sup>2</sup> que declara a una especie globalmente amenazada (ICBP, 1992). En cuanto a la abundancia estimada, se obtuvo un valor de 50 individuos para la localidad del Volcán Yecahuazac, aunque estudios recientes (Cabrera y Escamilla, *en desarrollo*) estiman una abundancia relativa regional que no pasa de 200 individuos. Esta información referente a *Xenospiza baileyi* debe de considerarse de manera urgente por los organismos involucrados, locales e internacionales, para actuar a favor de esta especie altamente amenazada.

Existen otras especies consideradas *raras* para la región o con carencia de ubicación precisa, que fueron registradas en el presente estudio y que permiten actualizar y confirmar el conocimiento ornitológico regional. Por ejemplo, el correcajón *Geococcyx velox* no había sido registrado en la entidad desde la colecta de espécimen tipo en 1836. Wilson y Ceballos-Lascurain (1993) mencionan que solo cuentan con un registro para La Cima en 1986. En este estudio se registró a *G. velox* en el derrame de lava del Volcán Chichinautzin, en los pastizales circundantes al Volcán Comalera y en los campos de cultivo del N y NE del Volcán Acopiaco. También, se registró al garrapatero *Crotophaga sulcirostris*, una especie típica de los ambientes cálido-húmedos de Morelos. La especie aquí es considerada como Vagante, ya que fue registrada cerca al Volcán Tláloc, a una altura cercana a los 3500 m. y en un ambiente de tipo forestal, seco y frío.

El zopilote *Cathartes aura* ha sido considerado como visitante raro de invierno para la zona de Chalco y Texcoco; y raro para la zona sur del Distrito Federal, de hecho, el último registro formal fue el de Ramos (1974) para el Bosque de Tlalpan. Esta especie fue registrada de manera recurrente para el sur del Valle de México, en especial, al N, NE y E del Volcán Chichinautzin, dentro del Distrito Federal. Esta especie la considero residente para la región. La aguililla *Parabuteo unicinctus* también ha sido considerada como ajena a la región, como una ave de "halconeros" o "cetreros" que es liberada para cazar (Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993; Howell y Webb, 1995); sin embargo, la he registrado de manera recurrente en las planicies del N y NE del Volcán Chichinautzin.

El tecolote *Otus flammeolus* sólo se encuentra citado por Friedman *et al.* (1950) y la referencia de un ejemplar colectado en Milpa Alta en 1985. Es considerado como raro, aunque puede ser debido a sus hábitos estrictamente nocturnos. Esta especie fue capturada en el derrame N del Volcán Chichinautzin. El colibrí *Stellula calliope* es considerado por Wilson y Ceballos-Lascurain (1993) como especie de ocurrencia incierta para el Distrito Federal y solo citada por Friedman *et al.* (1950) y A.O.U. (1983), no existiendo registros recientes.

Este colibrí fue capturado al S del Volcán El Hoyo, al W del Volcán Chichinautzin. El trogón *Trogón mexicanus* también fue registrado en el presente estudio, y se puede decir, que es más común de lo que ha mencionado (Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993), y es posible encontrarlo en los volcanes Comalera y Tláloc en el Distrito Federal, y en el sitio denominado Mesa El Tabaquillo en Morelos. El trepatroncos *Lepidocolaptes leucogaster* también representa un nuevo registro, ya que sólo había sido observado en Contreras en dos ocasiones, en 1988 y 1990 por Wilson y Ceballos-Lascurain (1993), y ahora se registró en la región S del Volcán Pelado.

La urraca *Aphelocoma ultramarina*, considerada como rara para la región y común para Cuajomulco, Morelos (Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993) fue registrada al sur del Volcan El Hoyo, a 2 Km. del límite sureño del Distrito Federal. Finalmente, otras dos especies consideradas raras (Wilson, op. cit.) el pichuco *Loxia curvirostra* y el picogordo enmascarado *Coccothraustes abeillei* fueron registrados para el S del Volcán Pelado y para el S del Volcán La Comalera respectivamente, dentro del Distrito Federal.

#### *La avifauna del sur del Valle de México: comunidades y unidades de paisaje.*

Tradicionalmente los ecólogos han argumentado que los procesos ecológicos más importantes que afectan a las poblaciones y a las comunidades operan a escalas espaciales locales (Dunning *et al.*, 1992). Todas las especies de aves son restringidas en diversos grados, a un intervalo de hábitas que ellas ocupan (Wiens, 1989). También, los aspectos más recurridos para explicar los patrones de riqueza y abundancia en términos ecológicos de las especies animales, han sido la variación local en la disponibilidad de recursos, la competencia, la estructura de la vegetación, el tamaño del hábitat (MacArthur y MacArthur, 1961; Wiens, 1989) y la composición taxonómica de la flora (Bersier y Meyer, 1994). La relación con aspectos paisajísticos ha sido poco considerada por los ornitólogos, pero en general ha demostrado tener importancia dentro de los principales procesos ecológicos (Forman y Godron, 1986; O'Neill *et al.*, 1988; Turner, 1989; Hansen y Urban, 1992; Johnson *et al.*, 1992; Dunning *et al.*, 1992; With y Crist, 1995; Farina, 1998).

La pregunta, el marco conceptual y el diseño de trabajo del presente estudio tuvieron la finalidad, de explorar la importancia de otros factores, con énfasis en los de índole abiótico, sobre la distribución de las comunidades de pájaros. En este sentido se determinó que la riqueza, composición, diversidad y abundancia relativa de las especies de aves fueron de manera general, estadísticamente

diferentes entre las distintas unidades de paisaje. Es posible reconocer que las unidades de paisaje *planicie de altura, piedemonte medio y superior* y el *pedregal* fueron las que obtuvieron los valores mayores de los parámetros antes mencionados. Esta información puede considerarse valiosa en términos de priorización de áreas específicas, sin embargo tendríamos que reflexionar que bajo esta situación únicamente estaríamos “protegiendo” a un tipo de especies de aves, a las aves pertenecientes a la comunidad Avifauna Montana, “descuidando” a las aves de la comunidad Avifauna de Planicies Submontanas. Esto traería importantes repercusiones biológicas que a veces los datos numéricos *per se* no evidencian, ya que los pájaros de esta comunidad son característicos e incluso algunos exclusivos a la misma, como es el caso de *Xenospiza baileyi*, y que forman parte de la diversidad avifaunística regional y de los diversos procesos biológicos que ahí ocurren.

Entonces, lo importante a señalar es que la heterogeneidad paisajística está incrementando también una heterogeneidad avifaunística que debe analizarse caso por caso. Lo anterior coincide con lo señalado por Andrén (1994) al señalar que la diversidad total de especies a través de los hábitats en un paisaje dado, puede incrementarse cuando nuevos parches son creados dentro de un hábitat continuo, ya que nuevas especies pueden ocuparlos, aunque estos sean de origen humano. Los análisis de clasificación (TWINSPAN, Hill, 1979) y ordenación (CCA, McCune, et al. 1995) permitieron reconocer el patrón de agrupación de las especies de aves por unidad de paisaje, siendo clara la distinción al nivel de las dos comunidades de aves aquí definidas, es decir, entre la avifauna montana y la avifauna de planicies submontanas. También al nivel de las sub-comunidades, se puede observar que las aves de los piedemonte medio, piedemonte superior y pedregal se encuentran más relacionadas entre sí que con las aves de las cañadas y las planicies de altura.

De las cinco variables ambientales exploradas, se obtuvo que la pendiente del terreno fue la que ejerció mayor influencia en la distribución espacial de las aves, principalmente de las preferentes hacia las planicies de acumulación, de los piedemonte inferior y de las planicies de altura. Las especies distribuidas en estos ambientes pueden considerarse asociadas a las condiciones ambientales existentes en las unidades de paisaje; McCune, et al. (1995) lo mencionan como el óptimo ambiental de la especie. Las variables “número de estratos” y “tipo de vegetación” resultaron ser las siguientes en orden de importancia para explicar la distribución espacial de las aves, indicando que como parte integral de la unidad de paisaje, en conjunto conforman el hábitat de las especies.

Cabe mencionar que la variable número de estratos fue más importante que el tipo de vegetación, sugiriéndonos que posiblemente las especies estén percibiendo el ambiente a una escala

mas fina que la de tipo de vegetacion; probablemente respondiendo a una conformación espacial de tipo estructural, física, que a una de menor resolución como es el tipo de vegetación.

Sin embargo, en cada una de estas unidades de paisaje los grupos de aves fueron cuali y cuantitativamente distintos, por ejemplo, en los piedemonte inferior fueron comunes las especies *Carduelis pinus*, *Carduelis psaltria*, *Spizella atrogularis* y *Carpodacus mexicanus*; especies características de ambientes transformados por actividades humanas, coincidiendo con la relación de las aves y el proceso de urbanización en la Ciudad de México (Nocedal, 1987). Por el otro lado, en las planicies de acumulación, no se encontraron estas especies, de hecho la riqueza es inferior y es característica la presencia de especies como *Xenospiza baileyi*, *Oriturus superciliosus*, *Sturnella magna* y *Colaptes auratus*.

De manera opuesta a este tipo de condiciones y de especies de aves, se agruparon las especies *Trogon mexicanus*, *Myadestes occidentalis*, *Campylorhynchus megalopterus*, *Atlapetes virenticeps* y *Dendrortyx macroura*. Estas especies requieren de ambientes altamente estratificados y probablemente de ambientes con alta pendiente, como son las cañadas, piedemonte superior y laderas húmedas de los cerros y cráteres. También se determinó un grupo de especies que se concentró en las unidades de paisaje de pendiente media (de 10 a 20 grados), como son los piedemonte medio y superior. Entre las principales especies que conforman este ensamble se encuentran *Miyoborus miniatus*, *Hylocharis leucotis*, *Parus sclateri*, *Picoides stricklandi*, *Pipilo erythrophthalmus* y *Cyanocitta stelleri*.

La detección y descripción de los patrones encontrados nos permite generar posibles hipótesis que nos acercan hacia la explicación sobre la preferencia ambiental de las aves, en este caso a través de la propia información biótica y abiótica definida para cada unidad de paisaje, como por la propia historia de vida de las especies de aves, la que se ve reflejada en un contexto ecológico por medio de los patrones de presencia-ausencia, abundancia y conformación de grupos de aves.

## El paisaje

En este sentido y para el aspecto concerniente al papel que puede estar jugando el mosaico paisajístico en la distribución de las aves, Andrén (1994) menciona que la presencia de una especie dada en un parche de hábitat inmerso en un ambiente heterogéneo, puede estar en función de los hábitats circundantes. Dunning *et al.*, 1992 mencionan que la variación paisajística y sus efectos en las poblaciones animales puede ser mejor evaluada cuando se conocen los patrones estructurales del

paisaje: *la fisonomía y la composición del paisaje*. El primero se refiere a los patrones asociados con la posición física de los elementos que constituyen el paisaje, como son el grado de aislamiento o contigüidad entre las unidades; ésta se mide en términos de las distancias y ubicación de las unidades presentes en la región. En cuanto a la composición del paisaje, ésta se refiere a la cantidad relativa de cada tipo de unidad presente dentro del paisaje total; ésta se mide como presencia, ausencia o proporción relativa de cada componente.

Se ha demostrado que la estructura paisajística afecta procesos ecológicos (sensu Wiens, 1989; citado en Dunning *et al.*, 1992) que influyen directamente en la dinámica poblacional de diversos grupos de animales y por consecuencia en la estructura y dinámica de las comunidades. Estos procesos se pueden resumir en reglas de decisión de costo-beneficio (trade-offs) que toman los organismos ante escenarios de disponibilidad, tipo y calidad de recursos en relación al tamaño de la unidad en que ellos se encuentren, así como la posición de ésta en un contexto de fragmentación y los atributos propios de la historia de vida de la especie (reproducción, tipo de alimentación, movilidad, etc.). Esto se ha demostrado por ejemplo, para una comunidad de aves de bosque templado (Petit, 1989), para aves y mamíferos en Europa (Andrén, 1994), para peces de marismas (McIvor y Odum, 1988) y para la mariposa *Euphydryas editha* en un bosque templado (Weiss, *et al.*, 1988).

#### *Los piedemonte medio y superior*

Considerando lo anterior y en términos cualitativos, es posible pensar en la existencia de un dinamismo en el número y composición de la especies presentes en las unidades piedemonte medio y piedemonte superior, ya que estas se encuentran fisonómicamente cercanas entre sí (en el sureste del Volcán Pelado), presentan en común la comunidad fitosociológica del bosque mixto y presentan una proporción de área más o menos similar. Lo anterior se ve reflejado en que estas unidades resultaron conformar una sub-comunidad avifaunística distintiva que comparten elementos en términos paisajísticos. Con respecto al grado de riqueza de especies, Nocedal (1984) reporta que los bosques mixtos (*Pinus-Quercus-Alnus*) del Valle de México son altamente heterogéneos en cuanto a sus componentes verticales y horizontales se refiere, favoreciendo el número de especies de aves, mientras que los de oyamel son ubicados en el extremo de máxima homogeneidad, encontrando una tendencia de decremento de la riqueza avifaunística.

#### *Las planicies submontanas*

Bajo esta misma óptica fisonómica y estructural del paisaje, puede analizarse la comunidad de aves de las planicies submontanas. Geomorfológicamente, las planicies son espacialmente muy

discretas y pueden representar una importante discontinuidad espacial con respecto a la fauna de los ambientes forestales circundantes, promoviendo una "situación de aislamiento" o de restricción a la movilidad, para las especies que viven en las planicies, como para aquellas que prefieren las unidades geomorfológicamente más heterogéneas, como son las pertenecientes al paisaje forestal. En términos ecológico-conductuales, es posible mencionar, que resulte para las especies de aves muy costoso "vivir" en las planicies, ya que la presencia de una comunidad vegetal baja, semiabierta y desarrollada sobre terrenos planos, aumente la detectabilidad y el riesgo hacia la depredación natural (ver por ejemplo Pike, *et al.*, 1977; Krebs, 1978; Lima, 1984), así como hacia diversos factores adversos característicos de estos ambientes, como son la acumulación de agua, los acarreos y depositación de materias provenientes de los cerros, la presencia de fuertes vientos y la drástica variación microclimática (Bocco y Velázquez, com. pers.).

Cabe mencionar que dichos ambientes están sujetos a una intensa perturbación humana, ya que ciertas áreas son quemadas anualmente para favorecer el rebrote del pasto y alimentar a ganado de tipo bovino y ovino; mientras que otras son transformadas en campos de cultivo (obs. pers.). Sin embargo, cabe enfatizar que estas unidades de paisaje incrementan la heterogeneidad espacial y pueden estar jugando un papel importante, histórica y ecológicamente, en los procesos de estructuración específica y el modelado de los patrones de distribución y abundancia de las especies.

También se puede mencionar para esta unidad de paisaje, el factor estructura de la vegetación, ya que sólo existe un estrato herbáceo, representado principalmente por los pastizales subalpinos del género *Mulenbergia* y *Festuca*. En general, las especies de aves aquí registradas corresponden a las especies características de los pastizales del norte del Estado de Morelos (Davis y Russell, 1953 y Urbina, *en prep.*), denominados por estos mismo autores como praderas de zacatón de alta montaña. Entre estas especies se pueden mencionar a *Sturnella magna*, *Eremophila alpestris*, *Xenospiza baileyi*. También fue notoria la presencia de aves rapaces, como el halcón *Falco sparverius* y las aguilillas *Buteo jamaicensis* y *Parabuteo unicinctus*.

#### *El piedemonte inferior*

Esta unidad contuvo más especies que la planicie de acumulación, debido probablemente a la presencia de especies capaces de desarrollarse en ambientes modificados, incluso cercanos a las viviendas humanas. Tal es el caso de *Toxostoma curvirostre*, *Passer domesticus*, *Lanius ludovicianus*, *Carpodacus mexicanus* y *Carduelis psaltria*. El piedemonte inferior presenta por lo menos el 50% de las especies compartidas con las planicies de acumulación, debido a que como se

mencionó anteriormente, los terrenos planos son utilizados para desarrollar actividades productivas y el paisaje es constantemente modificado, a tal grado que su estructura en algunos espacios, es en realidad un mosaico complejo de zonas de pastizal entremezcladas con otras dedicadas al cultivo. De tal modo, es posible que algunas especies de aves pueden *desplazarse* y ocupar tanto las planicies como los piedemonte inferior e inclusive otras unidades de paisaje. Esto dependerá de varios factores, como son la propia especie, su historia de vida y patrones de movilidad, y la estructura y composición del paisaje.

### *Las cañadas*

Se encontraron especies características para este tipo de condiciones, como *Myadestes occidentalis*, *Trogon mexicanus*, *Atlapetes virenticeps* y *Regulus satrapa*. Existen diversos trabajos que respaldan esta relación (Nocedal, 1983; Wilson y Ceballos-Lascurain, 1993; Cabrera, 1995 y 1997) ya que las han registrado en los ambientes de cañadas del sur del Distrito Federal. Howell y Webb (1995) mencionan como hábitat de estas especies, a los ambientes húmedos de bosques de pino y oyamel, bosques cercanos a ríos; condiciones que se dan generalmente en las cañadas o laderas húmedas de cerros y volcanes del sur del Valle de México (Hubb, 1984; Velázquez, 1993 y Palma, 1997).

Weiss, *et al.* (1988) demuestran la estrecha relación existente en los ambientes de cañada, entre el grado de inclinación de la pendiente, la exposición, el microclima generado y la vegetación con la fauna asociada, resaltando la importancia de la topografía como determinante de la calidad de hábitat y de los patrones y capacidad de movimiento de la mariposa *Euphydryas editha*. En este caso, es claro el efecto de los *contornos* y la *geometría* del paisaje por sí mismos, ya que resultaron ser desencadenadores de numerosos procesos físicos y biológicos relacionados con la sobrevivencia de esta especie de mariposa, como son la adecuabilidad (suitability) de los sitios en donde completa sus fases de desarrollo y su relación con sus patrones de movilidad y forrajeo (Weiss, *et al.* 1988). Soberón, *et al.* (1991) y Soberón *et al.* (1992) documentan las características biológicas de dos cañadas del sur del Distrito Federal, mencionando su importancia como refugio de especies florísticas y faunísticas selectivas a estos ambientes, resaltando su importancia histórica-ecológica para su conservación.

La cañada muestreada debe su origen a partir de procesos exógenos de tipo erosivo-fluvial ocurridos sobre el sistema de elevaciones montañosas y piedemontes de las sierras de Las Cruces y Zempoala, y que conformaron parte del sistema de cañadas y barrancas de mayor desarrollo y

antigüedad de la región. En términos espaciales, este ambiente es claramente discretizable, ya que la pendiente se rompe abruptamente y conforma un sistema característico y distintivo en cuanto a los procesos intrínsecos que se llevan a cabo (que pueden ir desde los diversos procesos gravitacionales, como son el arrastre y depositación de materia, hasta los relacionados con microclima-flora y fauna asociada). En este sentido y en términos ecológicos, es posible suponer que las especies de aves registradas aquí, conformen un grupo faunístico asociado a este sistema ambiental expresado en este estudio como unidad de paisaje.

Entre las especies registradas que se encuentran de manera recurrente en este tipo de ambientes, se puede nombrar a *Regulus satrapa*, que es considerado restringido a bosques de oyamel (Navarro, com. pers.) y a *Trogon mexicanus*, que de acuerdo a observaciones personales es común en cañadas donde predominan árboles de gran altura y gran diámetro para anidar, y posiblemente de las demás condiciones ambientales ya mencionadas. Es común que esta especie se mencione como característica de bosques mesófilos o de encinares húmedos; correspondiendo probablemente en este sentido con lo mencionado por Velázquez (1993 y com. pers.) acerca de que los bosques de oyamel del Sur del Valle de México pueden ser representantes homólogos al nivel de la alta montaña, de los bosques mesófilos de media y baja montaña, situación que puede respaldar la explicación de la presencia de dicha especie.

#### *Los pedregales*

La avifauna de los derrames lávicos también conformó una agrupación distintiva. En cuanto al grupo de aves características a este tipo de ambientes se encuentran *Catherpes mexicanus*, *Geococcyx velox* y *Geothlypis nelsoni* (Howell y Webb, 1995). De manera similar a las cañadas, el pedregal del derrame del Chichinautzin conforma una unidad de paisaje con límites discretos, representa un sistema ambiental con propiedades discernibles del entorno inmediato, y una alta heterogeneidad microambiental, ya que existen numerosas hondonadas, planos, macizos de lava y áreas con roca suelta. La vegetación se encuentra en un proceso de sucesión diferencial de acuerdo a diversos factores como el grado de desarrollo de suelo, la distancia a fuentes potenciales de propágulos, la composición taxonómica de las especies presentes y relaciones de nodrismo, por mencionar algunas.

#### *El papel de la geomorfología*

Las condiciones de relieve en un área son controladoras muy significativas de la formación de suelo, especialmente a una escala local. Por ejemplo, las pendientes muy pronunciadas (como las

existentes en la cañada muestreada), afectan las condiciones estructurales del suelo, la tasa de remoción en masa y al proceso erosivo. Entonces, la remoción en masa es muy alta y la erosión remueve el suelo rápidamente, poca agua penetra y el perfil del suelo es muy delgado y pobremente desarrollado. En un terreno más nivelado, el movimiento de masa es inhibido, el agua penetra al terreno y redistribuye los componentes solubles en todo el perfil del suelo, la erosión es menos rápida y el perfil del suelo se encuentra más desarrollado. De tal modo, se puede decir que existe una estrecha relación entre la forma del terreno y los suelos-vegetación (Bocco, com. pers., Bocco, 1994 y 1998).

La importancia de considerar las pendientes como elemento transmisor de la geomorfología (Bocco, com. pers), estriba en dos aspectos: el primero se relaciona con su carácter cartografiable, es decir, se pueden distinguir claramente en una región, las zonas de baja, moderada y alta pendiente, representadas en este caso por las planicies de acumulación, los piedemonte y las cañadas. Por otro lado, por su papel dinámico en la determinación de procesos de formación o erosión de suelo, de retención de humedad, de movimiento de nutrientes, de permeabilidad, y por consiguiente, de la estructuración de la vegetación, la configuración del terreno y su influencia en los patrones de distribución de las especies animales.

En este sentido, y considerando que las unidades de paisaje estudiadas, difieren en el grado de pendiente, es factible pensar que existen movimientos de nutrientes, detritus, presas y consumidores entre las distintas unidades, influyendo importantemente a las poblaciones animales en términos de la disponibilidad y tipo de recursos, en las relaciones tróficas y en general en la dinámica de las comunidades (Polis, *et al.*, 1997). Las variables estructurales del paisaje, como la forma (relación área-perímetro), ubicación y productividad relativa de las unidades de paisaje tróficamente relacionadas, afectan la subsidiación espacial de los recursos (Farina, 1998).

Como ya se mencionó, la heterogeneidad paisajística afecta la ubicación, los patrones de movimiento, la dinámica de forrajeo y la persistencia de los organismos (Turner, *et al.*, 1995). Bajo este contexto, resulta difícil establecer los mecanismos causales de selección de hábitat para grupos de especies heterogéneos, es decir, con historias de vida, requerimientos de área, de hábitat, de percepción del paisaje y patrones de movilidad distintos (Hansen y Urban, 1992; Johnson, *et al.*, 1992). Sin embargo, Wiens, *et al.* (1993) desarrollaron los denominados "modelos de sistemas experimentales" que evidencian la existencia de mecanismos a nivel individual y que operan en ambientes heterogéneos y que producen patrones ecológicos que son espacialmente dependientes.

La teoría que han desarrollado considera (a) que la densidad y la distribución de la población entre las distintas unidades espaciales, está en función de los patrones de movimiento de los individuos dentro de las unidades; (b) la emigración de las unidades está en función de la densidad de la población, la configuración del mosaico ambiental, el contexto espacial del propio mosaico y el movimiento dentro de las unidades y (c) la pérdida de individuos al dispersarse entre los elementos del paisaje. Cabe mencionar, que este planteamiento ha sido desarrollado a escala de "micropaisajes" y con especies de escarabajos y hormigas de norteamérica, pero, que ha demostrado ser apto para la manipulación experimental, controlando el adecuado número de réplicas y bajo estricto control de variables. Wiens, *et al.* (*op cit.*) señalan que estos modelos pueden considerarse análogos de sistemas a escalas espaciales más amplias, y que la implementación de un *enfoque mecanicista* a la ecología del paisaje es esencial para derivar generalizaciones acerca de cómo la heterogeneidad ambiental afecta los sistemas ecológicos.

Para abordar este enfoque, por ejemplo, tendríamos que explorar por medio de la experimentación para los patrones espaciales detectados en la avifauna del sur del Valle de México, si existe un efecto de proximidad, representatividad, ubicación y conectividad entre las distintas unidades de paisaje, que permitieran conocer los mecanismos y procesos de inclusión o exclusión de ciertas especies de aves en las distintas unidades y configurar los patrones de distribución espacial.

### Consideraciones teóricas

Los paisajes son espacialmente heterogéneos, y su heterogeneidad tiene importantes implicaciones ecológicas para los animales que lo habitan (Forman y Godron, 1986, Turner, 1989, Johnson, *et al.*, 1992). La heterogeneidad espacial puede influenciar los patrones de movimientos de los organismos, y afectar las tasas de dispersión y patrones de alimentación, aunado a la disponibilidad discretizada de los recursos, la exposición a los depredadores y las probabilidades de apareamiento y reproducción.

Se puede enfatizar en que la asociación espacial de las especies es escala-dependiente (McIvor and Van der Maarel, 1987), ya que al cambiar el tamaño de la unidad de observación la co-ocurrencia de especies puede desaparecer o aparecer (*op cit.*). Evidentemente, se tiene que definir la escala de observación más cercana al fenómeno estudiado e interpretar los resultados bajo este marco conceptual. La interacción patrón-proceso involucra a los organismos que son "dependientes de la escala" y requiere la visión basada en los organismos (Turner, *et al.*, 1995), es decir, en la percepción

específica y diferencial de las especies hacia el ambiente (en sentido amplio). Wiens (1989) y Wiens, et al., (1993) han demostrado que diferentes organismos perciben la heterogeneidad ambiental a diferentes escalas, y que una escala no es aplicable a otras. Esto representa un serio problema teórico y metodológico cuando se abordan sistemas altamente complejos, es decir, multiespecíficos y bajo una amplia heterogeneidad ambiental, concebida ésta desde nuestro punto de vista, ya que puede ser más heterogénea de lo que para nosotros es discretizable espacialmente e influido por la pregunta de interés.

La explicación de los patrones de distribución y abundancia de especies es importante por que puede ayudar al conocimiento de los mecanismos estructuradores de las comunidades (Kolasa, 1989). Esto debe considerarse como una prioridad de investigación e incorporarse en los hasta ahora tradicionales estudios de biodiversidad mexicana, que sólo describen los principales patrones (generalmente a escalas pequeñas) sin profundizar en los mecanismos causales de éstos.

La principal función de los análisis de especies-sitios es la generación de hipótesis, que posteriormente nos permitan elaborar hipótesis alternas más elaboradas y formulaciones operacionales más precisas (Meir and Van der Maarel, 1987). Al respecto considero que éste es el camino que se ha tomado, la generación y prueba de hipótesis muy particulares, pero provenientes de contextos teóricos generales, que finalmente responden la pregunta, pero de manera acotada y bajo ciertos supuestos. El problema ha sido que a partir de esto se generaliza, sin importar la historia de las especies, de los sitios y de las variables medidas. Pareciera ser que la solución a este problema ha sido establecer acotaciones y supuestos bajo los que se puedan probarse ciertas hipótesis. ¿caemos a un reduccionismo inevitable? Definitivamente es un problema de embudo.

Con los resultados obtenidos, considero que es factible señalar que las contribuciones teóricas y prácticas provenientes de la Ecología del Paisaje, pueden permitir sugerir que las aves presentaron una distribución espacial diferencial con base en las unidades de paisaje del sur del Valle de México. También, es factible visualizar posibilidades futuras de trabajo teórico y metodológico, que nos permitan conocer los mecanismos causales, procesos específicos de estructuración de comunidades, patrones de movilidad de ciertos grupos de aves, uso de recursos, etc.

Considero que el presente trabajo puede contribuir hacia la actual perspectiva de realización de estudios de distribución, insertándose de manera precisa e integral al contexto de la ordenación territorial. La definición de unidades espaciales discretas, cartografiables y con información

ecológica relevante, nos permite acercarnos a planteamientos de hipótesis más refinados y a preguntas más concretas dirigidas hacia una conservación biológica más objetiva.

## IX. CONCLUSIONES

El presente estudio nos permitió aproximarnos al conocimiento de la avifauna del Sur del Valle de México desde una perspectiva espacial. Esto significa que gran parte del trabajo se enfocó más en conocer y definir a una escala de resolución dada, lo que es el *espacio* en donde se distribuyen las distintas especies de aves, que a las especies mismas; sin restarle en lo más mínimo la formalidad al trabajo ornitológico.

Fue posible obtener un panorama actual de la avifauna regional, ya que se verificó la presencia de especies de ocurrencia incierta, nuevos registros o especies raras en la región, como son *Geococcyx velox*, *Lepidolaptes leucogaster* y *Loxia curvirostra* respectivamente. En este aspecto, resulta importante mencionar que se actualizó la información referente al gorrión serrano *Xenospiza baileyi*, ya que se determinaron nuevas localidades que completan el conocimiento sobre su área de distribución, sus preferencias de hábitat y una estimación de su abundancia. Esta información se está incorporando al proyecto de ordenamiento ecológico del Distrito Federal que está realizando la Comisión de Recursos Naturales del Distrito Federal (CORENA).

En este sentido, es posible decir que la aplicación del enfoque sin ecológico-paisajístico nos brinda prácticas posibilidades en los terrenos del ordenamiento ecológico. Es completamente factible indicar la presencia de las comunidades de aves o de cualquier grupo florístico o faunístico, incluso de aptitud productivas de las zonas con base en el concepto de unidades de paisaje, lo que nos brinda un escenario natural susceptible de valoración biológica, económica y cultural.

Con base en el presente estudio y en términos propositivos, podemos indicar con base en los parámetros medidos, que las unidades planicie de altura, pedregal y piedemonte medio y superior representan las unidades espaciales más importantes en cuanto a avifauna se refiere, siendo esta información susceptible de incorporarse hacia los proyectos de conservación. Sin embargo, agregaría que también es posible reconocer que la heterogeneidad paisajística en su conjunto, maximiza la riqueza y la variedad de especies características y exclusivas a cada ambiente, por lo que a escala regional, el sur del Valle de México puede considerarse un área de importancia para la conservación de las aves de la región centro de México.

El factor geomorfológico evaluado a través del grado de pendiente del terreno, resultó ser el de mayor importancia en la distribución de las aves, posiblemente en combinación con las variables número de estratos vegetales y tipo de vegetación, las que le siguieron en importancia. Esto sugiere que posiblemente las aves en su conjunto, tengan un grado de percepción ambiental más fino, de tipo

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

estructural, con respecto al tipo de vegetación. Es posible que las diferencias en la estructura paisajística en términos fisonómicos y de composición, afecten los patrones de movilidad y de uso de recursos por parte de los pájaros, conjugándose con las características intrínsecas de las especies, como su movilidad, su conducta y sitio de forrajeo, su abundancia, etc.

Fué posible describir los patrones espaciales de ocupación por parte de las especies de aves bajo el enfoque de comunidades y ecología del paisaje, permitiéndonos explorar y reflexionar sobre explicaciones alternativas relacionadas con la percepción del espacio y la cartografía de la biodiversidad. Esto debe de verse tanto al nivel del investigador como al nivel de las especies de interés, ya que de esto depende en gran parte, nuestro objeto de estudio (una especie, grupos de especies), lo que vamos a estudiar de él, la escala de resolución en que lo vamos a muestrear y analizar y lo que vamos a decir finalmente de él.

El tema de la conservación biológica cada día abarca a más sectores de la población en todo el mundo, sin embargo, nuestro papel como científicos debe de acercarnos más seriamente y de manera más práctica y constructiva hacia las labores conservacionistas. La apertura hacia nuevos enfoques, hacia la involucración real de las disciplinas relacionadas con nuestro propio quehacer, nos permitirá crecer como personas y como profesionistas y ser mas propositivos ante el reto de la conservación biológica.

## X. BIBLIOGRAFIA

- Adams, A. e I. Kerckhof. 1996. **Bird diversity at mountains south of the Valley of Mexico City**. Trabajo Terminal. Lab. Biogeografía, Fac. de Ciencias, UNAM y Landbouwwuniversiteit Wageningen Vakgroep Terrestrische Oecologie en Natuurbeheer, Holand.
- AICAS, 1996. **Boletín del Proyecto Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México**. CIPAMEX, CCE, Birdlife International, SEMARNAP y CONABIO. 4 pp.
- Agassiz, L. 1854. **Sketch of the natural provinces of the animal world and their relation to the different types of man**. *Types of mankind*. (J. Nott y G. Glidden). Philadelphia.
- Alvarez, E. 1997. **Patrones de distribución y endemismo de la familia Mimidae (Aves: Passeriformes) en México**. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, UNAM, México. 188 pp.
- Allen, J. A. 1878. **The geographic distribution of mammals**. Bull. U.S. Geol. Geogr. Surv. 4:39-343.
- American Ornithologist's Union. 1983. **Check-list of North American Birds**. American Ornithologist's Union. Washington, D.C. USA.
- Andrés, H. 1994. **Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review**. *Oikos* 71:355-366.
- Arévalo, J.A., L. Avila. L. Estrada. 1985. **Contribución al inventario de la avifauna del Desierto de Los Leones**. Módulo de Producción Secundaria, Carrera de Biología, UAM-Xochimilco.
- Arizmendi, M. del C., A. Espinoza de los Monteros y J.F. Ornelas. 1994a. **Las aves del Pedregal de San Angel**. *En Reserva Ecológica "El Pedregal de San Angel: ecología, historia natural y manejo*. (A. Rojo, comp.). Universidad Nacional Autónoma de México. 239-260 pp.
- Arizmendi, M. del C., A. Espinoza de los Monteros, J.F. Ornelas, A. Morales, I. Acosta, J. Moreno y L. Pérez. 1994b. **Las plantas polinizadas por colibríes en el Pedregal de San Angel**. *En Reserva Ecológica "El Pedregal de San Angel: ecología, historia natural y manejo*. (A. Rojo, comp.). Universidad Nacional Autónoma de México. 293-299 pp.
- Arizmendi, M. del C., H. Berlanga, L. Márquez-Valdelamar, L. Navarajijo y F. Ornelas. 1990c. **Avifauna de la región de Chamela, Jalisco**. Col. Cuadernos del Instituto de Biología No. 4, UNAM. 62 pp.
- Babb, S., K.A., P. Escalante y F.A. Hernández. 1981. **Introducción al estudio etnozoológico de las aves canoras y de ornato con las que se comercia en los mercados de la Ciudad de México, D.F.** *Cenzontle* 1(3/4):175-179.
- Babb, S., K.A. 1983. **Guía excursoria de las aves del Lago de Texcoco, México**. *Soc. Mex. Ornitol.* 1-24 pp.

- Begon, M., J.L. Harper and C.R. Townsend. 1986. **Ecology: Individual, Populations and Communities**. Sunderland, Massachusetts.
- Basset, Y. 1991. **The seasonality of arboreal arthropods foraging within an Australian rainforest tree**. *Ecol. Ent.* 16: 265-278.
- Beck, E., M.J.B. Birks & E.F. Connor. (comps.). 1985. **Classification**. Chapter Five. *In* Multivariate analysis in community ecology.
- Benítez, G. 1986. **Arboles y Flores del Ajusco**. Instituto de Ecología y Museo de Historia Nat. de la Cd. de México.
- Benítez, G., *et al.* 1987. **Evaluación comparativa de la pérdida de la cubierta vegetal y cambios en el suelo en el sur de la Ciudad de México**. En *Aportes a la Ecología Urbana de la Ciudad de México*. Instituto de Ecología y Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, DDF. Ed. Limusa, 193-223 pp.
- Berlanga, H. 1991. **Las aves frugívoras de Chamela, Jalisco. Su recurso vegetal y su papel en la dispersión de semillas**. Tesis de Lic. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Bertaud, F. y G. Rode (comp. y rev.). 1988. **Estudios preliminares de la fauna del Parque Cultural y Recreativo Desierto de Los Leones**. Doc. Interno, U. Departamental de Inventario y Diagnóstico de los Recursos Naturales, COCODER, DDF. México, D.F.
- Bersier, L-F. Y D. Meyer. 1994. **Bird assemblages in mosaic forests: the relative importance of vegetation structure and floristic composition along the successional gradient**. *Acta Oecologica* 15 (5): 561-576 pp.
- Birdlife's Globally Threatened Species Programme. 1998. *Xenospiza baileyi*. Background notes for reviewers. (ficha técnica revisión-elaboración). IUCN.
- Birkenstein, L.R. and R.E. Tomlinson. 1981. **Native names of mexican birds**. U.S. Fish and Wildlife Service, Research. Pub. no. 139 Washington, D.C. USA.
- Blake, E. R. 1950. **Birds of México**. Univ. Chicago Press.
- Bocco, G. y M. Ortiz. 1994. **Definición de unidades ambientales para el ordenamiento ecológico**. *Jaina* 5(1):8-9 pp.
- Bocco, G. 1998. **Naturaleza y sociedad. Escalas de espacio y tiempo**. *Rev. Ciencias* No. 51:54-59 pp.
- Bojórquez-Tapia, L., I. Azuara and E. Ezcurra. 1995. **Identifying conservation priorities in Mexico through geographic information system and modeling**. *Ecological Applications* 5(1), 215-231 pp.

- Braun-Blanquet, J. 1932. **Plant sociology: the study of plant communities.** McGraw-Gill, New York. 439 pp.
- Braun-Blanquet, J. 1979. **Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales.** H. Blume Ediciones. España. 803 pp.
- Bravo, E. *et al.* 1986. **Determinación del patrón espacial de la familia Emberizidae, como principal componente de la avifauna del Parque Desierto de Los Leones.** Trabajo Terminal, UAM Xochimilco, México, D.F.
- Brodkorb, P. y A.R. Phillips. 1973. **Pleistocene birds from the Valley of Mexico.** Auk 90 (2):438-440.
- Brown, D., F. Reichenbacher y S. Franson. 1996 (Draft version). **A classification system and map of the biotic communities of North America.** National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development and U.S. Environmental Protection Agency. 64 pp.
- Buffon, G.L.L. Comte de. 1749-80. **Histoire naturelle, générale et particuliere. Histoire des Quadrupedes.** t IV, 1753-67.
- Búrquez, A., L. Eguiarte y C. Martínez del Río. 1994. **Polinización en el Pedregal de San Angel, México: *Manfreda brachystachya* y *Mirabilis jalapa*.** En Reserva Ecológica "El Pedregal de San Angel: ecología, historia natural y manejo. (A. Rojo, comp.). Universidad Nacional Autónoma de México. 283-291 pp.
- Butterfield, B., B. Csuti y J.M. Scott. 1994. **Modeling vertebrate distributions for Gap Analysis.** En *Mapping the diversity of nature.* (Miller, R. ed.). Cap. 4: 53-69 pp.
- Cabrera, L. 1990. **Inventario preliminar de la avifauna del Centro de Ecoguardas (COCODER, DDF), Ajusco Medio, D.F.** Trabajo de Servicio Social. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Cabrera, L. 1992a. **Inventario preliminar de las aves de la Cañada de Vista Hermosa, Cuajimalpa, D.F.** En *Caracterización Biológica de la Cañada de Vista Hermosa, Cuajimalpa, D.F.*, Soberón, J., R. de la Maza y L. Cabrera. Documento Interno, Centro de Ecología, UNAM.
- Cabrera, L. 1992b. **Las aves silvestres del Distrito Federal y su conservación.** Bol. Oikos, No. 18, Centro de Ecología, UNAM.
- Cabrera, L. y Arizmendi, M.C. 1993. **La riqueza de aves de la Reserva Ecológica del Ajusco Medio, D.F.** Reunión Anual del CIPAMEX sobre el Estudio y Conservación de las Aves de México, Catemaco, Ver.
- Cabrera, L. 1995. **Ecología comparativa de dos comunidades de aves en un bosque templado del Ajusco Medio, Distrito Federal.** Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. 111 pp.

- Cabrera, L., J. García, M. Vences y E. Pérez. 1997. **Los insectos y vertebrados terrestres del Ejido de San Nicolás Totolapan, Contreras, D.F. Un inventario biológico preliminar.** Documento Interno. Delegación Magdalena Contreras, D.F.
- Cabrera, L., M. de C. Arizmendi y M. A. Pineda. *En ed Las aves del sur de la Ciudad de México. Guía de Campo Ilustrada.* Museo de Historia Natural de la Ciudad de México y CONABIO.
- Cabrera, L. y A. Meléndez. *En Ed. Las aves de la región de montaña del Sur de la Cuenca de México.* En (A. Velázquez y F. Romero, comps.). *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la Cuenca de México: bases para el ordenamiento ecológico.* Gobierno del Distrito Federal y UAM Xochimilco.
- Cabrera, L. y M. Escamilla. *En desarrollo. Caracterización del hábitat y patrones de distribución del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) en el Sur del Valle de México.* Proyecto R108. CONABIO-Lab. Biogeografía, Fac. de Ciencias, UNAM.
- Cano, A.P., C. Narro, E. Villavicencio, E. Habitad. 1984. **Inventario y distribución de la avifauna y mastofauna del Desierto de los Leones.** Trabajo Terminal Modulo de Producción Secundaria, Carrera de Biología, UAM Xochimilco, México, D.F.
- Carabias, J. y Meave, J. 1989. **La reserva ecológica del Pedregal de San Angel.** En *Ecología Urbana.* Sociedad Mexicana de Historia Natural, Vol. Especial, 171-176 pp.
- Cantarell, A. 1987. **Cuando bramó la tierra, inicio de una cultura mesoamericana.** En *La Reserva Ecológica del Pedregal.* Rev. Información Científica y Tecnológica. Vol. 9, No. 125, 51-52 pp.
- Cariño, L. 1988. **Las aves y los antiguos mexicanos.** En *Revista México Desconocido*, No. 135, 23-26 pp.
- Carmona, M.R. 1989. **Contribución al conocimiento de la historia natural de *Catherpes mexicanus* en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Angel, México, D.F.** Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala, UNAM.
- Cassin, J. 1848. **Catalogue of birds collected by Mr. Wm. S. Pease from Veracruz to the city of Mexico.** Proc. Acad. Nat. Sci. Phila., 4:87-91.
- Castillo, C.M.I. 1974. **Aportación al estudio de la biología de las garzas silvestres *Nycticorax nycticorax violacea* en el bosque de Chapultepec, D.F.** Tesis Lic. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Ceballos, G. y C. Galindo. 1984. **Los mamíferos silvestres de la Cuenca de México.** Instituto de Ecología y Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, Ed. Limusa. 299 pp.

- Ceballos, G. y D. Navarro. 1991. **Diversity and conservation of Mexican mammals.** En *Topics in Latin American Mammalogy: History, biodiversity and education.* (M.A. Mares y D.J. Schmidly, eds.). University of Oklahoma press, Norman. 167-198 pp.
- Ceballos, G. 1993. **Especies en peligro de extinción.** En *Biología y problemática de los vertebrados terrestres en México.* *Ciencias Revista Especial* No. 7:5-10.
- Chávez, T.J.C. 1993. **Los roedores silvestres de El Pedregal.** *Oikos*=21:4.
- Chavez, L. 1999. **Polinización de *Salvia* sp. en el Ajusco Medio.** Tesis de Licenciatura, Fac. Ciencias, UNAM.
- Chesson, P. y T. Case. 1986. **Overview: nonequilibrium community theories: chance, variability, history and coexistence.** *Community Ecology* (eds. J. Diamond y T.J. Case). Harper and Row, Nueva York, N.Y., EUA. 229-239 pp.
- CIPAMEX, 1988. **Aves posibles de calificarse como amenazadas o en peligro de extinción.** Boletín del Consejo Internacional para la Protección de las Aves-Sección México.
- CIPAMEX, 1993. **Propuesta de lista de las especies y subespecies de aves silvestres y acuáticas, raras, amenazadas, en peligro de extinción y las sujetas a protección especial para incluirse en la Norma Oficial Mexicana.** Boletín del Consejo Internacional para la Protección de las Aves-Sección México.
- CIPAMEX, 1998. **Primer Taller "Conservación de aves en México".** Del 8 al 10 de enero. Facultad de Ciencias, UNAM.
- CITES, 1984. **Protected species: Appendices I, II y III.** CITES. US Fish and Wildlife Service. Report 50 CFR 23.23. Washington, D.C. 30 pp.
- Clements, F.E. 1916. **Plant succession: analysis of development of vegetation.** Carnegie Institute of Washington. Publication. No. 242:1-512
- Clench, H. 1979. **How to make regional lists of butterflies: Some thoughts.** *Journal of the Lepidopterists' Society.*, 33(4):216-231.
- Club de Caza, Tiro y Pesca Los Montesés. 1964. **Creación de una reserva faunística.** Mem. 1ª. Conv. Nal. de Caza. Dir.Gral.Caza. 153-154 pp.
- **Club para la conservación y observación de aves en el Distrito Federal (CCOA-DF).** 1991. Ed. por R. Wilson y J. Keenan. No. 6. Enero-Febrero de 1991, 4 pp.
- Coates-Estrada, R. y A. Estrada. 1985. **Lista de las aves de la Estación de Biología Los Tuxtles.** Inst. de Biología. UNAM. México. 41 pp.

- COCODER, DDF. s/f. **Area de Conservación Ecológica del Distrito Federal**. Documento Interno. 70 pp.
- COCODER, DDF. 1988. **Actividades relevantes durante 1983-1988 (Memorias)**. Documento Interno, 101 pp.
- Cody, M.L. 1974. **Competition and the structure of bird communities**. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. USA. 318 pp.
- Connell, J.H. 1975. **Some mechanisms producing structure in natural communities: a model and evidence from field experiments**. Ecology and Evolution of Communities (eds. M.L. Cody and J.M. Diamond). Belknap, Cambridge, Massachusetts. 460-491 pp.
- Connor, E.F. y D. Simberloff. 1979. **The assembly of species communities: chance or competition?** Ecology 60: 1132-1140.
- Cooper, J. G. 1859. **On the distribution of the forests and trees of North America, with notes on its physical geography**. Smithsonian Instit. Ann. Rep. To the Boards Regents: 246-280.
- Davis, J. 1973. **Habitat preferences and competition of wintering juncos and golden-crowned sparrows**. Ecology 54: 174-180.
- Davis, W. y R. Russell. 1953. **Aves y mamíferos del Estado de Morelos**. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Tomo XIV. Números 1-4.
- Diamond, J.M. 1975. **Assembly of species communities**. (En M.L. Cody and J.M. Diamond, editors. Ecology and evolution of communities). Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Diario Oficial de la Federación. 28 de Junio de 1989. México, D.F. , 31-38 pp.
- Diario Oficial de la Federación, 17 de Mayo de 1991. **Listado de especies raras, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial en la República Mexicana**. México, D.F., 7-36 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. **Norma oficial por la que se establecen las especies de flora y fauna que se encuentran sujetas a protección especial**. Tomo CDLXXXVII No. 10: 6-50 pp.
- Dickerman, W., A.R. Phillips y D.W. Warner. 1967. **On the Sierra Madre Sparrow, *Xenospiza baileyi*, on Mexico**. The Auk 84: 49-60 pp.
- Diego, N. 1970. **Contribución a la flora silvestre de los alrededores del Jardín Botánico de la UNAM**. Tesis de Licenciatura, UNAM.
- Dirzo, R. 1990. **La biodiversidad como crisis ecológica actual ¿qué sabemos?**. En *Revista Ciencias* No. Especial 4:48-55 pp.

- Dunning, J., B. Danielson y H.R. Pulliam. 1992. **Ecological processes that affect populations in complex landscapes.** *Oikos* 65(1): 169-175 pp.
- Dutilleul, P. 1993. **Spatial heterogeneity and the design of ecological field experiments.** *Ecology* 74(6), -1646-1658 pp.
- Edwards, E. 1989. **A field guide to the Birds of México.** Ed. por E.P. Edwards, E.U.A., Segunda Edición, 119 pp.
- Elliot, B. G. 1965. **The nest of the Red warbler.** *Condor* 67(6):540.
- Elliot, B.G. and J. Davis. 1965. **Allopreening in the Gray-barred wren.** *Condor* 67(4):352.
- Elliot, B. G. 1969. **Life history of the Red warbler.** *Wilson Bull.* 81(2):184-195.
- Emlen, J.T. 1971. **Populations densities of birds derived from transect counts.** *Auk* 88:323-341.
- Emlen, J.T. 1977. **Estimating breeding season birds densities from transect counts.** *Auk* 95: 455-468.
- Enciso de la Vega, S. 1979. **Las lavas del Pedregal.** *Ciencia y Desarrollo* 25: 89-93.
- Escalante, P., A.G. Navarro S. y A.T. Peterson. 1993. **A geographic, ecological and historical analysis of land bird diversity in México.** Cap. 8 En *Biological diversity in México.* Rammamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (comps.). Oxford University Press, New York, USA. 281-307 pp.
- Estévez, M.A., N. Castañeda. *En ed. Los anfibios y reptiles del Sur del Valle de México.* En (A. Velázquez y F. Romero, comps.). *Biodiversidad del Sur del Valle de México y estrategias para su conservación.* Gobierno del Distrito Federal y UAM Xochimilco.
- Estrada, A. y R. Coates-Estrada. 1994. **Las selvas de los Tuxtlas, Veracruz: ¿islas de supervivencia de la fauna silvestre?** En *Rev. Ciencia y Desarrollo*, Vol. XX, No. 116, 50-61 pp.
- Estrada, L. 1987. **Los murciélagos del Parque Cultural y Recreativo Desierto de Los Leones.** Trabajo Terminal, UAM Xochimilco, México, D.F.
- Estrada, E.I.J. 1989. **El código florentino, su información etnobotánica.** Edición conmemorativa del XXX Aniversario del Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Edo. de México.
- Ezcurra, E. 1990. **De las chinampas a la megalópolis, el medio ambiente en la Cuenca de México.** Col. *La Ciencia desde México*, No. 91, Fondo de Cultura Económica, México, 119 pp.
- Ezcurra, E. 1990. **El medio ambiente y la concentración urbana.** *Bol. Oikos* No. 1, Centro de Ecología, UNAM.

- Ezcurra, E. 1992. **Crecimiento y colapso en la Cuenca de México.** En Rev. Ciencias No. 25, Facultad de Ciencias, UNAM. 13-27 pp.
- Farina, A. 1998. **Principles and methods in Landscape Ecology.** Ed. Chapman and Hall. 235 pp.
- Farrand, J. 1988. **Western Birds. An Audubon Handbook.** Ed. McGraw Hill Co., E.U.A., Primera edición, 496 pp.
- Flores-V., O. y P. Gérez. 1989. **Conservación en México: síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso del suelo.** Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, Ver., México.
- Flores-V., O. 1993. **Riqueza de los anfibios y Reptiles.** En Biología y problemática de los vertebrados terrestres en México. *Ciencias Revista Especial* No. 7:33-42.
- Forman, R.T.T. y M. Godron. 1986. **Landscape Ecology.** Wiley and Sons, New York.
- Friedmann, H.L., L. Griscom and R.T. Moore. 1950. **Distributional Check-list of the birds of Mexico.** Pacific Coast Avifauna, Parte I, No. 29.
- Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal. 25 de Diciembre de 1989. **Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica.** Tomo II No. 26, 11 pp.
- García, M.E. 1989. **Características endócrinas de las celulares foliculares del ovario de aves en cultivo.** Tesis Lic. ENEP Iztacala, UNAM.
- García, G., **comunicación personal.** (personal técnico del Parque Ecológico de la Cd. de México).
- García Ruiz, J.M. 1990. **La montaña: una perspectiva geocológica.** En: García Ruiz, J.M. (ed.), *Geoecología de las áreas de montaña.* Geoforma Ediciones, Logroño, España. 338 pp.
- Gause, G.F. 1934. *The struggle for existence.* Williams and Wilkins, Baltimore.
- Gavifo de la Torre, G. y J.A. Guerrero. 1995. **Aves terrestres en comunidades vegetales del Estado de Morelos, México. Guía de registros de especies.** Univ. Autónoma del Estado de Morelos. Facultad de Ciencias Biológicas. Publ. Esp. No. 1 30 pp.
- Geupel, G. and I.G. Warkentin. s/f. **Field methods for monitoring populations parameters of landbirds in Mexico.** Point Bird Reyes Bird Observatory, U.S.A. Publication 629:242-248.
- Gill, T. 1885. **The principles of zoography.** Proc. Biol. Soc. Washington. 2:1-39.
- Gleason, H.A. 1917. **The structure and development of the plant association.** Torrey Botanical Club Bulletin. 44, 463.

- Gleason, H.A. 1926. **The individualistic concept of the plant association.** Torrey Botanical Club Bulletin. 53, 7-26.
- Gómez de Silva, H. 1999. **Reglas de ensamble generales en la composición de comunidades de aves de México.** VI Congreso de Ornitología Neotropical, 4-10 de octubre de 1999, Monterrey, México. Libro de resúmenes, pag. 88.
- González, L. 1984. **Estudio de las aves asociadas a la flora del Jardín Botánico Exterior de la UNAM, Pedregal de San Angel.** Tesis Lic. Fac. de Ciencias, UNAM.
- González, L. y M. Rangel, 1992. **Las aves del Estado de México: situación actual y perspectivas.** Tesis de Licenciatura en Biología. ENEP Iztacala. 110 pp.
- González, CH. *En desarrollo.* **Análisis espacio-temporal del hábitat reproductivo del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) en el sur del Valle de México.** Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, UNAM.
- Grinnell, J. 1917. **Field tests of theories concerning distributional control.** Amer. Natur. 51:115-128.
- Guerra, F. 1980. **Fotogeología.** Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Primera Edición. 337 p.p.
- Hagar, D.C. 1960. **The interrelationships of logging, birds and timber regeneration in The Douglas Fir region of northwestern California.** Ecology, Vol. 41, No. 1.
- Halffter, G. y P. Reyes-Castillo. 1975. **Análisis cuantitativo de la fauna de artrópodos de Laguna Verde.** Folia Entomol. Mex. 1975: 2-32 pp.
- Hansen, A. y D. Urban. 1992. **Avian response to landscape pattern: The role of species' life histories.** Landscape Ecology Vol. 7 (3): 163-180.
- Hernández, C., A. Melendez. 1985. **La riqueza de aves de Xochimilco.** UAM-Xochimilco, Taller Edit. de Ciencias Biológicas y de la Salud (CBS), México, 47 pp.
- Herrera, A.L. 1889. **Apuntes de ornitología. La migración en el Valle de México: Apuntes para el catálogo de las aves inmigrantes y sedentarias del Valle de México.** La Naturaleza 1:165-189.
- Herrera, A.L. 1891. **Notas acerca de los vertebrados del Valle de México.** La Naturaleza 2: 38-48.
- Hill, M. 1979. **TWINSPLAN: A FORTRAN. Program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Section of Ecology and Systematics. detrended correspondence analysis and reciprocal averaging.** Ithaca, N.Y. Cornell University

- Hill, M. 1979. **DECORANA: A FORTRAN. Program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging.** Ithaca, N.Y. Cornell University. 52 pp.
- Holmes, R.T., R. Bonney y S. Pacala. 1979. **Guild structure of the Hubbard Brook bird community: a multivariate approach.** Ecology, 60, 512-520.
- Howell, S.N.G. y S. Webb. 1995. **A guide to the birds of Mexico and Northern Central America.** Oxford University Press. New York. 851 pp.
- Hubbell, S. y R. Foster. 1986. **Biology, chance, and history and the structure of tropical rain forest tree communities.** Community Ecology (eds. J. Diamond y T.J. Case). Harper and Row, Nueva York, N.Y., EUA. 314-329 pp.
- Huges, T. 1989. **Community structure and diversity of coral reefs: The role of history.** Ecology 70 (1), 275-279.
- Hutchinson, G.E. 1957. **Concluding remarks.** Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology. 22:415-427.
- Hutto, R., S. Pletschet y P. Hendricks. 1986. **A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use.** The Auk 103:593-602.
- ICBP. 1992. **Putting biodiversity on the map: priority areas for global conservation.** International Council for Bird Preservation, Cambridge, U.K.
- INEGI, 1978. **Cartas topográficas, edafológicas y de uso del suelo de Milpa Alta. Escala 1: 50 000**
- INEGI, 1998. **Atlas de México. Secretaría de Educación Pública.** 36-39 pp.
- Iñigo, E. 1986. **The trade in diurnal birds of prey in Mexico.** Birds of Prey Bull. 3:128-140.
- ICBP/IUCN Red Data Book. 1992. **Threatened birds of the Americas.** Third Edition, part 2. Smithsonian Institution Press. International Council for Bird Preservation.. 670 pp.
- Jackson, J.A. 1979. **Tree surfaces as foraging substrates for insectivorous birds.** en The Role of Insectivorous Birds in Forests Ecosystems. Academic Press, 69-94 pp.
- James, F.C. 1971. **Ordinations of habitat relationships among breeding birds.** The Wilson Bull., 83, 215-236.
- James, F.C. & Wamer, N.O. 1982. **Relationships between temperate forest bird communities and vegetation structure.** Ecology, 63, 159-171.

- Jiménez, E. 1993. **Composición de la avifauna del bosque tropical caducifolio en la región central de la Cuenca del Río Balsas, Guerrero, Méx.** en Reunión Anual del CIPAMEX sobre el Estudio y Conservación de las Aves de México.
- Johnson, A.R., J.A. Wiens, B.T. Milne y T.O. Crist. 1992. **Animal movements and population dynamics in heterogeneous landscapes.** *Landscape Ecology* Vol. 7 (1): 63-75 pp.
- Karr, J.R. 1968. **Habitat and avian diversity on strip-mined land in east-central Illinois.** *The Condor*, 70, 348-357.
- Karr, J.R. & Roth, R.R. 1971. **Vegetation structure and avian diversity in several New World areas.** *American Naturalist*, 105, 423-435.
- Karr, J.R. & Freemark, K.E. 1983. **Habitat selection and environmental gradients: dynamics in the "stable" tropics.** *Ecology*, 64, 1481-1494.
- Keindeigh, S.C. 1952. **History and evaluation of various concepts of plant and animals communities in North America.** En K.B. Sterling, 1974. *Selections from the literature of American biogeography.* Arno Press, New York.
- Kolasa, J. 1989. **Ecological systems in hierarchical perspective: breaks in community structure and other consequences.** *Ecology*, 70 (1), 36-47.
- Krebs, J.R. 1978. **Optimal foraging: decision rules for predators.** En *Behavioural Ecology: An evolutionary approach.* (J.R. Krebs y N.B. Davies, eds.). Blackwell Scientific Publications, Oxford. 23-63 pp.
- Lack, D. 1954. **The natural regulation of animal numbers.** Clarendon Press, Oxford.
- Landres, P.B. & MacMahon, J.A. 1983. **Community organization of arboreal birds in some oak woodlands of western North America.** *Ecological Monographs*, 53, 183-208.
- Ligon, J.D. 1968. **Observations on Strickland's Woodpecker *Dendrocopus stricklandi*.** *Condor* 70(1):83-84.
- Lima, S. 1984. **Downy woodpecker foraging behaviour: efficient sampling in simple stochastic environments.** *Ecology* 65 (1):166-174.
- Linnaeus, C. 1758. *Systema naturae.* Ed. X.T.I. Holmiae. (Ed. Facsímil: British Museum. London, 1956).
- López, M.E. 1987. **El bosque de Chapultepec como refugio de aves (Primera Sección).** IX Congreso Nal. de Zoología, Villa Hermosa, Tabasco. Univ. Juárez Aut. de Tabasco. 162-170 pp.
- Lorenzo, J. 1981. **Los Orígenes Mexicanos.** En: *Historia General de México* (D. Cosío Villegas, coord.). El Colegio de México, Tercera Edición, Tomo I, 83-123 pp.

- Lugo Hubp, J. 1984. **Geomorfología del sur de la Cuenca de México**. Inst. de Geografía, UNAM., Serie Varia 1 (9).
- MacArthur, R.H. & MacArthur, J.W. 1961. **On bird species diversity**. *Ecology*, 42, 594-598.
- MacArthur, R.H. 1968. **The theory of the niche**. *En Population, Biology and Evolution*. 120-180 pp.
- MacArthur, R.H. 1972. **Geographical ecology: patterns in the distribution of species**. Harper and Row, New York.
- Mandujano, S. 1985. **Caracterización del hábitat de la comunidad de ratones (Familias: Heteromidae y Cricetidae) en el Desierto de Los Leones**. Trabajo Terminal, UAM Xochimilco, México, D.F.
- Martín del Campo, R. 1940. **Ensayo de interpretación del libro undécimo de la historia general de las cosas de la Nueva España de Fray Bernardino de Sahagún II Las Aves (1)**. *An. Inst. Biol.* 11(1):385-408.
- Martín del Campo, R. 1943. **El más antiguo parque zoológico de América**. *An. Ins. Biol.* 14 (2):635-643.
- Martín d'Lucenay. 1946. **Ofrendas zoológicas en las ruinas del templo de Tlatelolco**. *Mem. Acad. Hist.*, 5(4):17-22.
- Martín d'Lucenay. 1950. **Arte plumaria e industria del hilado de plumas entre aztecas**. *Bol. Soc. Mex. Geograf. Estad.* 70(1-3)243-249.
- Martínez del Río, C. and L. Eguiarte. 1987. **Bird visitation to *Agave salmiana*: comparisons among hummingbird and perching birds**. *Condor* 89(2):357-363.
- Maurer, B.A. & Whitmore, R.C. 1981. **Foraging of five bird species in two forests with different vegetation structure**. *The Wilson Bull.*, 93, 478-490.
- May, P. G. 1982. **Secondary sucesion and breeding bird community structure: patterns of resource utilization**. *Oecología*, 55, 208-216.
- McCune, B. & M.J. Mefford. 1995. **PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 2.0**. MjM Software Design, Glenden Beach, Oregon, USA:
- McNeely, J.A. 1990. **Conserving the world's biological diversity**. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Gland, Switzerland.
- Meir, I. y E. van der Maarel. 1987. **Relations between community theory and community analysis in vegetation science: some historical perspectives**. *Vegetatio* 69:5-15 pp.
- Merriam, C.H. 1894. **The geographic distribution of animals and plants in North America**. USDA Yearbook, Washington, D.C.

- Miller, A.H., Friedmann, H., Griscom, L. & Moore, R.T. 1957. **Distriburional Check-list of the birds of Mexico**. Pacific Coast Avifauna, Parte 2, No. 33.
- Miller, R. 1994. **Setting the scene**. En *Mapping the diversity of nature*. (Miller, R. ed.). Cap. 1. 3-17 pp.).
- Mittermeir, R.A. 1988. **Primate diversity and the tropical forest: case studies from Brazil and Madagascar and the importance of the Megadiversity countries**. En *Biodiversity* (E.O. Wilson, Ed.). National Academy Press, Washington. 145-154 pp.
- Mittermeier, R.A. y Cc. Goettsch de M. 1992. **La importancia de la diversidad biológica de México**. En *México ante los retos de la Biodiversidad*, (J. Sarukhán y R. Dirzo, eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F. 63-73 pp.
- Morales, A.E. 1990. **Estudio de las interacciones colibri-planta en el Pedregal de San Angel, D.F.** Tesis de Lic. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Mueller-Dombois y A.H. Ellenberg. 1974. **Aims and methods of vegetation ecology**. J. Wiley, New York. 547 pp.
- Navarajo, L. 1979. **Breve aportación al estudio del sastrecito (*Psaltriparus minimus*) en cuanto a sus hábitos alimenticios en la zona del Pedregal de San Angel**. Reporte Biol. de Campo. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Navarro, A. 1989. **La sistemática ornitológica en México: posibilidades y limitaciones**. En *Los patrones de la evolución y la sistemática en México* (Llorente, J., ed.). Ciencias Revista Especial No. 3:96-102.
- Navarro, A. 1992. **Distribución altitudinal de las aves de la Sierra de Atoyac, Guerrero**. Condor, 94(1).
- Navarro, A. y H. Benítez. 1993. **Patrones de riqueza y endemismo de las aves**. en *Biología y problemática de los vertebrados en México*. Ciencias Revista Especial No.7:45-54.
- Niederberger, C. 1987. **De la Prehistoria a los Primeros Asentamientos Humanos en la Cuenca de México**. En Atlas de la Ciudad de México (G. Garza, comp.), DDF y el Colegio de México, 40-43 pp.
- Nosedal, J. 1984. **Estructura y utilización del follaje de las comunidades de pájaros en bosques templados del Valle de México**. Acta Zool.Mex.(ns), 6, México, 1-37 pp.
- Nosedal, J. 1987. **Las comunidades de pájaros y su relación con la urbanización en la Ciudad de México**. En *Aportes a la Ecología Urbana de la Ciudad de México*. (Rapoport, E. y López-Moreno, I. eds.). Instituto de Ecología y Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, DDF. Ed. Limusa, 73-109 pp.

- Oliveras de Ita, A., H. Gómez de Silva y M. Grosselet. 1999. **Dinámica poblacional e historia natural del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*)**. VI Congreso de Ornitología Neotropical, 4-10 de octubre de 1999, Monterrey, México. Libro de resúmenes, pag. 111
- O'Neill, R., B. Milne, M. Turner y R. Gardner. 1988. **Resource utilization scales and landscape pattern**. Landscape Ecology Vol. 2:1-63-69 pp.
- Palacio, J.L. y L. Luna. 1993. **Sistemas de información geográfica. Introducción al manejo del ILWIS**. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) e Instituto Internacional para la Inspección Espacial y Ciencias de la Tierra (ITC)). 65 pp. mas dibujos.
- Palma, M. 1997. **Definición de unidades ambientales en el Sur del Valle de México con ayuda de sistemas de información geográfica y percepción remota**. Tesis de Licenciatura, Fac. de Ciencias, UNAM. 63 pp.
- Parkes, M.C. 1990. **Additional records of birds from the Distrito Federal, Mexico, including a possible hybrid *Spizella***. Condor 92(4): 1080-1081.
- Parra, V. 1988. **Ecología de la polinización en una población de *Echeveria gibbiflora* D.C. en el Pedregal de San Angel, C.U. México**. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Peters, R.H. 1991. **A critique for ecology**. Cambridge University Press. Cap. 4. 74-104.
- Peterson, R.T. 1961. **A field guide to the Western Birds**. Ed. Houghton Mifflin Co., Segunda Edición, E.U.A., 309 pp
- Peterson, R.T. y E.L. Chaliff. 1973. **A field guide to the Mexican Birds**. Ed. Houghton Mifflin Co., E.U.A., 298 pp.
- Pitelka, F. 1947. **Taxonomy and distribution of the mexican sparrow *Xenospiza baileyi***. Condor Vol. 49: 199-203 pp.
- Polis, G., W. Anderson y R. Holt. 1997. **Toward an integration of landscape and food web ecology: The dynamics of spatially subsidized food webs**. Annu. Rev. Ecol. Syst. 28: 289-316 pp.
- Pyke, G., H. Pulliam y E. Charnov. 1977. **Optimal foraging: a selective review of theory and tests**. The Quarterly Review of Biology Vol. 52(2):
- Rabinowitz, D., S. Cairns y T. Dillon. 1986. **Seven kinds of rarity**. En *Conservation Biology*. (M.E. Soulé, ed.). Sinauer, Sunderland, Mass. 182-204 pp.
- Ralph, C.J., G. Geupel, P. Pyle, T.E. Martin, D.F. DeSante y B. Milá. 1994. **Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres**. General Technical Report . Albany, Cal. Pacific Southwest Station, Forest Service U.S. Department of Agriculture. 47 pp.

- Ramos, M. 1974. **Estudio ecológico de las aves del Pedregal de San Angel.** Tesis Lic. Fac. de Ciencias, UNAM. 108 pp.
- Ramírez Pulido, J. y C. Mudespacher. 1987. **Estado actual y perspectivas del conocimiento de los mamíferos de México.** *Ciencia* 38:49-67-
- Rangel, J.L. 1990. **Abundancia y diversidad en una comunidad de aves en la Reserva de la Biósfera de Montes Azules, Selva Lacandona, Chiapas, México.** Tesis Lic. ENEP Iztacala, UNAM.
- Rangel, H. y O. Monroy. *En ed Los mamíferos del Sur del Valle de México.* En (A. Velázquez y F. Romero, comps.). *Biodiversidad del Sur del Valle de México y estrategias para su conservación.* Gobierno del Distrito Federal y UAM Xochimilco.
- Rappole, J., McShea, W. y J. Vega-Rivera. 1993. **Evaluation of two survey methods in upland avian breeding communities.** *J. Field Ornithol.*, 64(1):55-70.
- Ríos, L. 1993. **Análisis espacial y temporal de la comunidad de artrópodos epífitos del Pedregal de San Angel, D.F.** Tesis Lic. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Robbins, CH., B. Bruun & H. Zim. 1983. **A guide to field identification Bird of North America.** Ed. Golden Press, Edición revisada, E.U.A., 360 pp.
- Robles Gil P., F. Eccardi y J. Robles Gil (eds.). 1989. **El libro de las aves de México.** Vitro, S.A., Monterrey, México.
- Rodríguez-Yañez, C., R. Villalón y A. Navarro. 1994. **Bibliografía de las aves de México (1825-1992).** Publicaciones especiales del Museo de Zoología No. 8. UNAM, Fac. de Ciencias, Depto. de Biología.
- Rodríguez-Yañez, C. 1997. **Estudio de los patrones de distribución, riqueza y endemismo del Orden Caprimulgiformes en México.** Tesis de Licenciatura, ENEP Iztacala. 106 pp.
- Rojas, O. 1998. **Variación geográfica de las poblaciones de *Toxostoma curvirostre* (MIMIDAE) de las zonas áridas de Norteamérica.** Tesis de Maestría en Ciencias (Biol. Animal), Fac. de Ciencias, UNAM. 44 pp.
- Romero, F. y Velázquez, J. 1984. **Propuesta preliminar para el establecimiento de zonas de protección especial dentro del Distrito Federal, con base en la fauna silvestre.** Doc. Interno, COCODER, DDF.
- Root, R.B. 1967. **The niche exploitation pattern of the Blue-gray Gnatcatcher.** *Ecological Monographs*, 37, 317-350.
- Roth, R.R. 1976. **Spatial heterogeneity and bird species diversity.** *Ecology*, 57, 773-782.

- Ruíz, G.R. 1977. **Aportaciones al conocimiento de la biología del zanate (*Cassidix mexicanus*) en Xochimilco, D.F.** Tesis Lic. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Rzedowski, J. 1954. **Vegetación del Pedregal de San Angel.** An. Esc. Cienc. Biol., IPN, 8:59-129.
- Rzedowski, J. 1975. **Flora y Vegetación en la Cuenca del Valle de México.** En: Memorias de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del D.F. Vol. 1, Talleres Gráficos de la Nación, México, 79-134 pp.
- Rzedowski, J. 1978. **Vegetación de México.** Editorial Limusa, México. 432 pp.
- Rzedowski, J. Y G.C. Rzedowski. 1981. **Flora fanerogámica del Valle de México.** Tercera edición. Vol. I. Ed. C.E.C.S.A., México, D.F.
- Sabo, S.R. & Holmes, R.T. **Foraging niches and the structure of forest bird communities in contrasting montane habitats.** The Condor, 85, 121-138.
- Sámano, A. y D. Sokoloff. 1931. **La flora y fauna de aguas dulces del Valle de México.** Monografías del Instituto de Biología. UNAM, 5-49 pp.
- Schteingart, M. 1987. **Expansión urbana, conflictos sociales y deterioro ambiental en la Ciudad de México. El caso del Ajusco.** El Colegio de México. (Incompleta)
- Sclater, P.L. 1858. **On the general geographical distribution of the members of the class Aves.** J. Proc. Linn. Soc. (Zool.). 2:130-145.
- Sclater, P.L. 1864. **List of collection of birds procured by Mr. G. H. White in the vicinity of the city of Mexico.** Proc. Zool. Soc. London, 172-179 pp.
- Sclater, P.L. & Salvin, O.C. 1869. **On a collection of birds made by Mr. H.S. Le Strange near the city of Mexico.** Proc. Zool. Soc. London, 361-364 pp.
- Sebastiani, M., M. Villaró, E. Estévez y M. Castillo. 1995. **A map of spatial preferences of wildlife birds of the Unare Coastal System of Esatern Venezuela.** Journal of Environmental Management 45: 25-44.
- Secretaría de Educación Pública. 1992. **Distrito Federal.** Monografía Estatal. México. 277 pp.
- SEDUE, 1991. **Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos que determinan las especies raras, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial y sus endemismos, de la flora y la fauna terrestres y acuáticas de la República Mexicana.** Diario Oficial de la Federación del día 17 de Mayo de 1991.
- Shields, W. 1979. **Avian census techniques: an analytical review.** En *The Role of Insectivorous Birds in Forest Ecosystems.* Academic Press. 23-51 pp.

- Shugart, H.H. & James, D. 1973. **Ecological succession of breeding bird populations in northwestern Arkansas.** *The Auk*, 90, 62-77.
- Smith, H. y Smith. 1976. **Synopsis of the herpetofauna of México.** Vol. IV. Source analysis and index for the Mexican Amphibians. John Johnson, North Bennington, Vermont, EUA.
- Soberón, J. 1989. **Restauración Ecológica del Ajusco Medio.** Anteproyecto presentado al DDF por el Centro de Ecología y la Coord. de la Reserva del Pedregal de San Angel. Documento Interno, COCODER, DDF.
- Soberón, J., C. Bonfil y S. Careaga. 1991. **Reporte técnico final del primer año del proyecto Restauración Ecológica de Lomas del Seminario.** Centro de Ecología, UNAM y Coordinación General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica, DDF.
- Soberón, J., R. de la Maza y L. Cabrera. 1992. **Caracterización biológica de la Cañada de Vista Hermosa, Cuajimalpa, D.F.** Documento Interno, Centro de Ecología, UNAM.
- Soberón, J. M. de la C. Rosas y G. Jiménez. 1991. **Ecología hipotética de la reserva del Pedregal de San Angel.** *Rev. Ciencia y Desarrollo*, Vol.XVII, No. 99, 25-38 pp.
- Soberón, J. 1993. **La conservación de la naturaleza y la base de datos taxonómicos.** *Rev. Omnia. Rev. de la Coord. Gral. de Est. de Posg.* No. 26:5-11 pp.
- Soberón, J. y J. LLorente. 1993. **The use of species accumulation functions for the prediction of species richness.** *Conservation Biology*, Vol.7, No.3, 480-488 pp.
- Sorice, M.G. 1987. **Fragmentación de hábitat y sus efectos en la avifauna del matorral espinoso.** Tesis Lic. ENEP Iztacala, UNAM.
- Statsoft. 1991. **CSS: Statistical handbook.** Vol. II. Statsoft Inc., Tulsa, Oklahoma.
- Stelma, K. 1995. **Appraising habitat fragmentation. An analysis of rural areas and nature reserves south of Mexico City.** Trabajo Terminal. The M Sc. Programme of Natural Resource Management at Larenstein International Agricultural College (IAHL) in Velp, The Netherlands. 48 pp. + Apéndices.
- Sutton, G.M. and T.D. Burleigh. 1942. **Birds recorded in the Federal District and states of Puebla and México by the 1939 Exemple Expedition.** *Auk* 59:418-423.
- Szaro, R.C. & Balda, R.P. 1979. **Bird community dynamics in a ponderosa pine forest.** *Studies in Avian Biology*, 3, 1-66.
- Tanaka . L.K. y S.K. Tanaka. 1982. **Rainfall and seasonal changes in arthropod abundance on a tropical Oceanis Island.** *Biotropica*. 14: 114-123 pp.

- Tapia, G.J. 1952. **Black-crowned night heron in heart of Mexico City.** Condor 50:360.
- Tejada, C. y E. Ruelas. 1993. **Aves migratorias en la región de Xalapa, Ver.** En *Memorias de la Reunión Anual del CIPAMEX sobre el Estudio y Conservación de las Aves de México.*
- Terborgh, J. 1977. **Bird species diversity on an Andean elevational gradient.** Ecology, 58, 1007-1019.
- Ter Braak, J. 1987. **Ordination.** En Jongman, R.H.G., Ter Braak, C.J.F. y van Tongeren, O.F.R. (eds.), *Data analysis in community and landscape ecology.* Pudoc, Wageningen. 91-173 pp.
- Ter Braak, C. 1990. **CANOCO- A FORTRAN Program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (Vers. 3.10).** TNO Institute of Applied Computer Science, Wageningen, The Netherlands.
- Toledo, V.M. 1988. **La diversidad biológica de México.** Rev. Ciencia y Desarrollo 8:7-16.
- Toledo, V. 1994a. **La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación en los noventas.** Rev. Ciencias No. 34:43-59 pp.
- Toledo, V. 1994b. **Tres problemas en el estudio de la apropiación de los recursos naturales y sus repercusiones en la educación.** En E. Leff (comp), *Ciencias Sociales y formación ambiental.* Ed. Gedysa. Pp 157-180.
- Torres, M.G. 1992. **Distribución altitudinal de las aves en la Sierra de Juárez, Oaxaca.** Tesis de Lic. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Turner, M. 1989. **Landscape ecology: the effect of pattern on process.** Annual Review of Ecological Systems 20: 171-197.
- Turner, M., R. Gardner y R. O'Neill. 1995. **Ecological dynamics at broad scales.** Science and Biodiversity Policy. 29-35 pp.
- Urbina, F. *En prep.* **Evaluación de la distribución de las aves del Estado de Morelos, México.** Tesis de Maestría en Ciencias, Fac. de Ciencias, UNAM.
- Valiente-Vanuet, A. y E. de Luna-García. 1990. **Una lista florística actualizada para la reserva del Pedregal de San Angel, México, D.F.** Acta Botánica Mexicana, Vol. 9, 13-30 pp.
- Van der Marel, E. 1979. **Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity.** Vegetatio 39: 97-114 pp.
- Vázquez, E. y R. Jaimes. 1989. **Geología de la Cuenca de México.** Geofis.Internac. 28(2):133-190.
- Vázquez, J. 1987. **El saneamiento y la limpia forestal en el Desierto de Los Leones.** COCODER, DDF. México, D.F.

- Vázquez, J. 1988. **Los tratamientos silvícolas del Desierto de Los Leones**. COCODER, DDF, México, D.F.
- Velázquez, A. 1993. **Landscape vegetation ecology of Tláloc and Pelado Volcanoes**. Tesis Doctoral. ITC Enschede, The Netherlands.
- Velázquez, A. y F. Romero. 1996. **Análisis de la heterogeneidad ambiental y conectividad de la áreas naturales del sur del Valle de México**. Proyecto CONABIO-FAC. CIENCIAS, UNAM.
- Villada, M. *et al.* 1869. **Aves del Valle de México**. *La Naturaleza*. 1(4):94-154
- Villada, M. 1873. **Los Trochilidos del Valle de México**. Su descripción y sinonimia adoptada por el Profr. John Gould, con algunas notas sobre sus costumbres. *La Naturaleza* 1,2:339-369.
- Villada, M. 1879. **Aves de las regiones del Círculo Artico en las lagunas del Valle de México**. *An. Mus. Nal. Méx.* 1:279-282
- Villada, M. 1897. **Los anátidos del Valle de México**. *La Naturaleza* (3-1):53-92.
- Villaseñor, L.E. 1993. **Avifauna terrestre y acuática del Lago de Cuitzeo, Méx.** En *Memorias de la Reunión Anual del CIPAMEX sobre el Estudio y Conservación de las Aves de México*. Catemaco, Veracruz.
- Warner, D. W. and R. W. Dickerman. 1959. **The status of *Rallus elegans tenuirostris* in México**. *Condor* 61(1):49-51.
- Webster, J.D. 1958. **Systematic notes on the Olive Warbler**. *Auk* 75(4):469-473.
- Weiss, S., D. Murphy y R. White. 1988. **Sun, slope, and butterflies: topographics determinants of habitat quality for *Euphydryas editha***. *Ecology* 69 (5): 1486-1496.
- Werger, M.J.A. 1974. **On concepts and techiques applied in the Zurich-Montpellier method of vegetation survey**. 309-323 pp.
- Westhoff, V. y E. van der Maarel. 1973. **The Braun-Blanquet Approach**. En (R.H. Whittaker, ed.). *Ordination and classification of communities. Handbook of vegetation science*. Junk, The Hague. Cap. 20; 619-715 pp.
- Wiens, J.A. 1974. **Habitat heterogeneity and avian community structure in North American grasslands**. *The American Naturalist*, 91, 195-213.
- Wiens, J.A. 1989. **The Ecology of Bird Communities**. Vol.1 Cambridge Universty Press.
- Wiens, J.A., N. Stenseth, B. Van Horne y R. Anker. 1993. **Ecological mechanisms and landscape ecology**. *Oikos* 66: 369-380 pp.

- Wilson, R. y H. Ceballos-Lascurain. 1986. **The birds of México City: an annotated checklist and bird-finding guide to the Federal District.** BBC Printing & Graphics LTD, Ontario, Canadá. 86 pp.
- Wilson, R., H. Ceballos-Lascurain y S. Webb. 1993. **The birds of Mexco City.** BBC Printing & Graphics LTD, Ontario, Canadá. Segunda Edición 95 pp.
- Williams, F. 1982. **Razonamiento Estadístico.** Ed. Interamericana, México, D.F. 189 pp.
- Whittaker, R.H. 1973. **Approaches to classifying vegetation.** *En* (R.H. Whittaker, ed.). *Ordination and classification of communities. Handbook of vegetation science.* Junk, The Hague. Cap. 12; 325-354 pp.
- Wolda, H. 1988. **Insect seasonality: Why?** *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 19: 1.18 pp.
- Zar, J.H. 1974. **Biostatistical Analysis.** Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 620 pp.
- Zonneveld, J.I.S. 1979. **Land evaluation and Land (scape) Science .** ITC TextBook of Photo Inertpr. VII.4. ITC Enschede, 134 pp.
- Zonneveld, J.I.S. 1983. **Some basic notions in geographical synthesis.** *GeoJurnal* 72:121-129.
- Zonneveld, J.I.S. y E. Surasana. 1989. **Ecosystem inventory/vegetation survey.** *ITC Journal* i:67-75 pp.

APENDICE I. Listado de las especies de aves del sur del Valle de México de acuerdo a las unidades de paisaje estudiadas. El arreglo taxonómico está dado con base en la American Ornithologist's Union (1983)

	ESPECIE	Est/gre	PAL	PMS	CAN	PED	PMM	PMI	PAC
FALCONIFORMES									
CATHARTIDAE									
	<i>Cathartes aura</i>	R,Ca	X			X			X
ACCIPITRIDAE									
ACCIPITRINAE									
	<i>Circus cyaneus</i>	M,C						X	
	<i>Parabuteo unicinctus</i>	I,C						X	
	<i>Buteo jamaicensis</i>	R,C	X			X	X		
FALCONIDAE									
	<i>Falco sparverius</i>	M,C				X		X	X
GALLIFORMES									
PHASIANIDAE									
	<i>Dendrortyx macroura</i>	R,O		X	X		X		
CUCULIFORMES									
CUCULIDAE									
	<i>Geococcyx velox</i>	R,C				X		X	X
	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	V,O	X						
STRIGIFORMES									
STRIGIDAE									
	<i>Otus flammeolus</i>	R,C				X			
	<i>Bubo virginianus</i>	R,C	X			X	X		
CAPRIMULGIFORMES									
CAPRIMULGIDAE									
CAPRIMULGIDAE									
	<i>Caprimulgus vociferus</i>	R,IV	X				X		
APODIFORMES									
TROCHILIDAE									
	<i>Colibri thalassinus</i>	RO,N		X	X		X		
	<i>Cyananthus latirostris</i>	R,N					X		
	<i>Hylocharis leucotis</i>	R,N		X	X	X	X	X	
	<i>Eugenes fulgens</i>	R,N		X					
	<i>Selasphorus platycercus</i>	R,N					X		
	<i>Selasphorus rufus</i>	M,N					X	X	
	<i>Stellula calliope</i>	M,N					X		

TROGONIFORMES									
TROGONIDAE									
	<i>Trogon mexicanus</i>	R,F			X				
PICIFORMES									
PICIDAE									
PICINAE									
	<i>Melanerpes formicivorus</i>	R,IC	X						
	<i>Picoides scalaris</i>	R,IC	X						
	<i>Picoides stricklandi</i>	R,IC	X	X		X	X		
	<i>Picoides villosus</i>	R,IC	X		X				
	<i>Colaptes auratus</i>	R,IS	X				X	X	X
PASSERIFORMES									
DENDROCOLAPTIDAE									
	<i>Lepidocolapes leucogaster</i>	R,IC		X					
TYRANNIDAE									
FLUVICOLINAE									
	<i>Contopus pertinax</i>	R,IV	X	X		X	X		
	<i>Empidonax fulvifrons</i>	M,IV	X						
ALAUDIDAE									
	<i>Eremophila alpestris</i>	R,G						X	
HIRUNDINIDAE									
	<i>Tachycineta thalassina</i>	R,IV	X				X		X
	<i>Hirundo rustica</i>	RV,IV						X	
	<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	R,IV	X						
CORVIDAE									
	<i>Cyanocitta stelleri</i>	R,O	X	X	X	X	X		
	<i>Aphelocoma coerulescens</i>	R,O					X		
PARIDAE									
	<i>Parus sclateri</i>	R,IF	X	X	X	X	X		
AEGITHALIDAE									
	<i>Psaltriparus minimus</i>	R,IF	X			X	X		
SITTIDAE									
SITTINAE									
	<i>Sitta carolinensis</i>	R,IC-G					X		
	<i>Sitta pygmaea</i>	R,IC	X	X		X	X		
CERTHIDAE									

	<i>Certhia americana</i>	R,IC	X	X	X	X	X		
TROGLODITYDAE									
	<i>Campylorhynchus megalopterus</i>	R,IF		X	X				
	<i>Catherpes mexicanus</i>	R,IS				X			
	<i>Thryomanes bewickii</i>	R,IS	X			X			
	<i>Troglodytes aedon</i>	R,IS	X	X	X	X	X	X	X
MUSCICAPIDAE									
SYLVIINAE									
	<i>Regulus calendula</i>	M,IF		X		X	X		
	<i>Regulus satrapa</i>	R,IF			X	X			
	<i>Poliophtila caerulea</i>	M,IF				X			
TURDINAE									
	<i>Sialia mexicana</i>	R,I-F	X					X	
	<i>Sialia stalis</i>	R,I-F	X				X	X	X
	<i>Myadestes occidentalis</i>	R,IV-F			X				
	<i>Catharus occidentalis</i>	R,O	X	X	X		X		
	<i>Turdus rufopalliatus</i>	R,O		X					
	<i>Turdus assimilis</i>	R,O			X				
	<i>Turdus migratorius</i>	R,O	X	X		X	X	X	
MIMIDAE									
	<i>Toxostoma ocellatum</i>	R,O					X		
	<i>Toxostoma curvirostre</i>	R,O					X	X	
PTILOGONATIDAE									
	<i>Ptilogonys cinereus</i>	R,F-IV	X	X			X		
LANIDAE									
LANIINAE									
	<i>Lanius ludovicianus</i>	R,C						X	
VIREONIDAE									
VIREONINAE									
	<i>Vireo huttoni</i>	R,IF	X	X					
EMBERIZIDAE									
PARULINAE									
	<i>Vermivora celata</i>	M,IF					X		
	<i>Vermivora peregrina</i>	M,IF		X		X			

	<i>Vermivora superciliosa</i>	R,IF			X	X	X		
	<i>Dendroica coronata</i>	M,IF	X			X			
	<i>Dendroica townsendi</i>	M,IF			X	X			
	<i>Dendroica occidentalis</i>	M,IF				X			
	<i>Oporornis tolmiei</i>	M,IF	X						
	<i>Geothlypis nelsoni</i>	R,IF				X			
	<i>Wilsonia pusilla</i>	M,IF						X	
	<i>Ergaticus ruber</i>	R,IF	X	X	X	X	X		
	<i>Myoborus miniatus</i>	R,IF	X	X	X	X	X		
	<i>Basileuterus belli</i>	R,IF			X				
	<i>Basileuterus rufifrons</i>	R,IF							
	<i>Peucedramus taeniatus</i>	R,IF	X	X				X	
<b>CARDINALINAE</b>									
	<i>Pheucticus melanocephalus</i>	R,O		X		X			
<b>EMBERIZINAE</b>									
	<i>Atlapetes pileatus</i>	R,IS-G	X	X		X	X		
	<i>Atlapetes virenticeps</i>	R,IS-G		X	X				
	<i>Pipilo erythrophthalmus</i>	R,O		X	X	X	X		
	<i>Diglossa baritula</i>	R,N				X			
	<i>Oriturus superciliosus</i>	R,G	X					X	X
	<i>Spizella atrogularis</i>	R,G						X	
	<i>Xenospiza baileyi</i>	R,G						X	X
	<i>Junco phaeonotus</i>	R,G	X	X		X	X	X	X
<b>ICTERINAE</b>									
	<i>Sturnella magna</i>	R,IS-G						X	X
<b>FRINGILIDAE</b>									
<b>CARDUENALINAE</b>									
	<i>Carpodacus mexicanus</i>	R,G						X	
	<i>Loxia curvirostra</i>	R,G-F	X					X	
	<i>Carduelis pinus</i>	R,G						X	
	<i>Carduelis psaltria</i>	R,G						X	
	<i>Coccothraustes abeillei</i>	R,G		X					
<b>PASSERIDAE</b>									

	<i>Passer domesticus</i>	R,O						X	
--	--------------------------	-----	--	--	--	--	--	---	--

**Total de especies: 87.**  
**Total de géneros: 71.**  
**Total de familias: 28.**  
**Total de órdenes: 94**

### SIMBOLOGIA

ESTATUS	SITIO	GREMIO ALIMENTICIO
R= Residente.	PAL= Planicie de altura	C= Carnívoras.
M= Migratoria.	PMM= Piedemonte medio.	O= Omnívoras.
RML= Residente con movimientos locales.	PMS= Piedemonte superior.	G= Granívoras.
RO= Residente de otoño.	PAC= Planicie de acumulación	IV= Insectívoras al vuelo.
RV= Residente de Verano.	PMI= Piedemonte inferior.	IF= Insectívoras del follaje.
SD= Sin determinar	PED= Pedregal.	IC= Insectívoras de la corteza.
	CAN= Cañada	IS= Insectívoras del suelo.
		N= Nectarívoras.
		F= Frugívoras.

APENDICE II. Abundancias relativas estimadas para las aves censadas por medio del método de conteo por puntos con radio de distancia fija (Hutto, et al., 1986) en las unidades de paisaje del Sur del Valle de México. El nombre de las especies se encuentra escrito en claves y se explican en el Apéndice III.

U.P./SP.	OrSu	CoAu	SiSi	JuPh	TrAc	MyMi	ErRu	CeAm	TrMe	CySt	PiVi	PaSc	SiPy	CaOc	CoPe	PiEr	PiSt	TuMi	AtPi	SiMe	LoCu	PeFa	PiCi	SiCa	TrBe	DeCo
PAL	8	5	43	15	7	7	21	7	0	11	2	11	31	4	4	14	5	8	3	14	2	20	4	3	3	6
PED	0	0	0	5	1	56	3	1	0	9	0	12	3	0	3	23	1	39	1	0	0	0	0	0	9	2
PMS	0	0	0	5	3	65	11	2	0	5	0	7	29	3	2	24	12	45	1	0	0	6	2	0	0	0
PMI	27	1	48	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	4	0	0	0	0	0	0
PMM	28	4	1	4	4	23	11	3	0	25	0	7	13	1	8	27	3	3	1	0	7	5	4	3	0	0
CAÑ	0	0	0	0	2	59	51	3	2	1	2	4	0	8	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAC	100	16	12	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	163	26	104	36	19	210	97	16	2	51	4	41	76	16	17	90	21	112	6	18	9	31	10	6	12	8

U.P./SP.	ViHu	CrSu	PiSc	MeFo	OpTo	EmFu	CiMe	PoCa	DiBa	CoAb	ReCa	XeBa	SiMa	HyLe	MyOh	BaBe	CaMp	CoTh	ReSa	DeTo	TuAs	DeMa	AlVi	CyLa	VeSu	DeOc
PAL	2	1	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PED	0	0	0	0	0	0	8	3	2	0	3	0	0	7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	1
PMS	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	15	0	0	6	4	0	0	0	1	1	0	0	0
PMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PMM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	17	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	0
CAÑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18	15	16	1	1	1	5	8	1	0	1	0
PAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	7	1	2	3	2	1	8	3	2	2	4	50	14	61	18	15	22	6	1	2	5	10	2	2	5	1

U.P./SP.	GeNe	ApUl	ToOc	ToCu	CaRm	CaPl	LaLu	CaP's	SeRu	SpAt	GeVe	WiPu	SiCa	EnFu	VeCe	SePl	VePe	LeLe	ErAl	PtMe	PsMi	TuRu	OfFl	PaDo
PAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PED	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	4	2	0	1	0
PMS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
PMI	0	0	0	3	4	56	2	3	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	9
PMM	0	3	2	1	0	0	0	0	4	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	5	1	0	0
CAÑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	2	3	2	4	4	56	2	3	8	5	6	1	1	1	1	1	2	1	9	5	7	2	1	9

Apéndice III. Lista de claves de los nombres de las especies de aves registradas para el Sur del Valle de México.

Especie	Clave
<i>Sturnella magna</i>	StMg
<i>Xenospiza baileyi</i>	XeNo
<i>Colaptes auratus</i>	CoAu
<i>Oriturus superciliosus</i>	OrSu
<i>Sialia sialis</i>	SiSi
<i>Tachycineta thalassina</i>	TaTh
<i>Selasphorus rufus</i>	SeRu
<i>Hirundo rustica</i>	HiRu
<i>Carduelis pinus</i>	CaPi
<i>Falco sparverius</i>	FaSp
<i>Toxostoma curvirostre</i>	ToCu
<i>Sialia mexicana</i>	SiMe
<i>Geococcyx velox</i>	GeVe
<i>Geothlypis nelsoni</i>	GeNe
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	PhMe
<i>Catherpes mexicanus</i>	CtMe
<i>Polioptila caerulea</i>	PoCa
<i>Vireo huttoni</i>	ViHu
<i>Campylorhynchus megalopte</i>	CaMp
<i>Catharus occidentalis</i>	CaOc
<i>Colibri thalassinus</i>	CoTh
<i>Dendrocygna macroura</i>	DeMa
<i>Myadestes obscurus</i>	MyOb
<i>Basileuterus belli</i>	BaBe
<i>Turdus assimilis</i>	TuAs
<i>Dendroica townsendi</i>	DeTo
<i>Vermivora superciliosa</i>	VeSu
<i>Troglodytes aedon</i>	TrAe
<i>Hylacharis leucotis</i>	HyLe
<i>Turdus migratorius</i>	TuMi
<i>Junco phaeonotus</i>	JaPh
<i>Myioborus miniatus</i>	MyMi
<i>Ergaticus ruber</i>	ErRu
<i>Cyanocitta stelleri</i>	CySt
<i>Parus sclateri</i>	PaSc
<i>Pipilo erythrophthalmus</i>	PiEr
<i>Certhia americana</i>	CeAm
<i>Sitta pygmaea</i>	SiPy
<i>Picoides stricklandi</i>	PiSt
<i>Contopus pertinax</i>	CoPe
<i>Peucedramus taeniatus</i>	PeTa
<i>Dendroica coronata</i>	DeCo
<i>Ailapetes pileatus</i>	AtPi
<i>Tryomanes bewickii</i>	TrBe
<i>Passer domesticus</i>	PaDo
<i>Eremophila alpestris</i>	ErAl
<i>Circus cyaneus</i>	CiCy
<i>Parabuteo unicinctus</i>	PaUn
<i>Carpodacus mexicanus</i>	CaRm
<i>Lanius ludovicianus</i>	LaLu
<i>Carduelis psaltria</i>	CaPs
<i>Spizella atrogularis</i>	SpAt
<i>Loxia curvirostra</i>	LoCu
<i>Cyanus latirostris</i>	CyLa
<i>Psaltriparus minimus</i>	PaMi
<i>Regulus calendula</i>	ReCa
<i>Dendroica occidentalis</i>	DeOc
<i>Picoides villosus</i>	PiVi
<i>Trogon mexicanus</i>	TrMe
<i>Regulus satrapa</i>	ReSa
<i>Ailapetes virenticeps</i>	AtVi
<i>Lepidocolaptes leucogaster</i>	LeLe
<i>Ptilogonys cinereus</i>	PiCi
<i>Turdus rufopalliatus</i>	TuRu
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	CrSu
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	StSe
<i>Picoides scalaris</i>	PiSc
<i>Melanerpes formicivorus</i>	MeFo
<i>Oporornis tolmiei</i>	OpFo