



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**DEPREDACIÓN DE NIDOS ARTIFICIALES EN BORDES
AGRÍCOLAS DE UN PAISAJE AGRO-URBANO EN EL
ESTADO DE HIDALGO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**P R E S E N T A :
ELIZABETH CERVANTES CORNIHS**

DIRECTOR DE TESIS: DRA. IRIANA ZURIA JORDAN

Índice

RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	1
-----------------------	---

II. ANTECEDENTES

II.1. Urbanización y depredación de nidos de aves	3
II.2. Sistemas agro-urbanos en México	5
II.3. Utilidad de los experimentos con nidos artificiales	8

III. OBJETIVOS	9
----------------------	---

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Área de estudio	10
Flora	11
Fauna	11
IV.2. Métodos	13
IV.2.1. Caracterización del paisaje agro-urbano	13
IV.2.2. Índices de depredación	13
Escala local	16
Escala del paisaje	17
Colocación de nidos artificiales e identificación del tipo de depredador	21

Análisis estadísticos.....	23
V. RESULTADOS	
V.1. Descripción del paisaje agro-urbano.....	25
V.2. Descripción de los bordes agrícolas	
V.2.1. Escala local.....	25
V.2.2. Escala del paisaje.....	29
V.3. Patrones de depredación de nidos artificiales	
V.3.1. Depredación total.....	32
V.3.2. Depredación por tipo de depredador.....	35
Depredación por aves.....	36
Depredación por carnívoros.....	40
Depredación por roedores.....	43
Depredación por mamíferos.....	44
VI. DISCUSIÓN	
Paisaje agro-urbano y bordes agrícolas en el municipio de El Arenal.....	47
Patrones de depredación.....	49
VII. CONCLUSIONES.....	
	56
LITERATURA CITADA.....	
	58

Resumen

La modificación acelerada del hábitat natural, como consecuencia de la urbanización y la expansión de zonas agrícolas, ha provocado cambios en las tasas de depredación que enfrentan muchas poblaciones de aves, sin embargo existen muy pocos estudios que analicen estos efectos. Los objetivos de este trabajo fueron conocer las tasas de depredación de nidos artificiales en bordes agrícolas en un paisaje agro-urbano en el Municipio de El Arenal en el estado de Hidalgo, así como caracterizar y describir el paisaje y los bordes agrícolas. Para ello, se seleccionaron 20 trayectos de 100 m en 20 bordes agrícolas y se midieron variables a escala local y del paisaje. En cada trayecto se midieron variables a escala local (ancho y alto del borde, altura del estrato herbáceo, número de árboles y arbustos, altura de árboles y arbustos) y variables a escala del paisaje (distancia a la vegetación natural, distancia a zonas urbanas y caminos y porcentajes de cobertura de los diversos elementos del paisaje en buffers de 100 y 200 m), las cuales fueron procesadas con ayuda de un sistema de información geográfica y ortofotografías digitales. En cada trayecto se colocaron 10 nidos artificiales con un huevo de plastilina y uno de codorniz. Después de siete días se registró el porcentaje de depredación total y por tipo de depredador. Los porcentajes de depredación se relacionaron con variables a escala local y del paisaje utilizando análisis de regresión múltiple.

El paisaje agrícola de El Arenal presenta una alta densidad de bordes agrícolas, compuestos principalmente por plantas nativas como magueyes, nopales y mezquites, de los cuales los agricultores de la región obtienen diversos productos y beneficios. La depredación total en los bordes agrícolas fue de menos del 50% del total de nidos colocados, similar a lo encontrado en otros paisajes agrícolas de México y el mundo. Los principales depredadores en este paisaje fueron las aves. A escala local no se encontró ninguna relación entre la depredación total y las variables analizadas, sin embargo a escala del paisaje se observó que la depredación total aumenta en zonas cercanas a áreas cubiertas con vegetación natural. Al analizar la depredación por tipo de depredador se encontró que, a escala local, la depredación por aves estuvo inversamente relacionada con el volumen del borde y el número de árboles y arbustos. Mientras que la depredación por carnívoros estuvo directamente relacionada con el incremento del volumen del borde y la altura y número de árboles y arbustos. Los roedores fueron los depredadores menos importantes. La depredación por roedores y las variables locales no estuvieron relacionadas significativamente. A escala del paisaje se observó que la depredación por aves aumentó con la longitud de los bordes no arbolados en los buffers de 100 m. La depredación por carnívoros no estuvo relacionada significativamente con las variables analizadas a escala del paisaje. La depredación por roedores aumentó en bordes cercanos a la vegetación natural y en bordes que estuvieron lejos de los caminos. Los bordes agrícolas son importantes para la conservación de muchas especies de flora y fauna nativas que habitan en paisajes agrícolas. Se requieren más estudios sobre la biología reproductiva de las aves de la región y sobre la distribución y abundancia de sus depredadores.

I. INTRODUCCIÓN

La depredación de nidos de aves es considerada comúnmente como uno de los factores principales que afectan la densidad de las poblaciones, la ecología reproductiva, las historias de vida y la estructura de las comunidades de aves (Angelstam, 1986; Martin 1988, 1993 y 1995; Buler y Hamilton, 2000; Jokimäki y Huhta, 2000; Zanette, 2002; Borgmann y Rodewald, 2004). Recientemente, la modificación acelerada del hábitat natural, como consecuencia de la urbanización y la expansión de las zonas agrícolas, ha provocado cambios en los índices de depredación que enfrentan muchas poblaciones de aves (Wilcove, 1985; Bayne y Hobson, 1997a; Jokimäki y Huhta, 2000; Zanette, 2002).

Algunos estudios han mostrado que, durante las últimas décadas, muchos depredadores de aves han expandido su distribución hasta ambientes agrícolas, urbanos y semi-urbanos, provocando un incremento en la depredación de nidos en estas zonas y ocasionando decrementos en las poblaciones de algunas especies de aves (Hannon y Cotterill, 1998; Ortega *et al.*, 1998; Jokimäki y Huhta, 2000). Esta expansión de los depredadores a zonas modificadas por el hombre tiene diferentes causas, por ejemplo, la alta disponibilidad de alimento en estos ambientes (productos agrícolas, desechos, alimento para mascotas, mascotas y aves de corral) atrae a ciertos depredadores. Se sabe también que los hábitats de borde en zonas agrícolas y semi-urbanas pueden funcionar como trampas ecológicas, es decir, tienen atributos específicos que atraen a las aves anidantes, pero al mismo tiempo atraen a sus depredadores, observándose altos índices de depredación de nidos (Gates y Gysel, 1978; Hannon y Cotterill, 1998).

Los cambios producidos por los humanos en el paisaje han incitado a la realización de experimentos de depredación durante las últimas décadas, con la finalidad de obtener índices de depredación en diferentes zonas, para identificar a los depredadores y proveer recomendaciones para el manejo de las poblaciones (Ortega *et al.*, 1998). En general, la expansión acelerada de las áreas agrícolas, urbanas y semi-urbanas juega un papel importante en el decremento de la diversidad biológica, de ahí la necesidad de estudiar las relaciones entre la fauna silvestre y el hábitat modificado por el hombre (Rottenborn, 1999; Fernández-Juricic, 2000; Zanette y Jenkins, 2000).

A pesar de que un gran número de poblaciones de aves ha desaparecido en muchas regiones del planeta, existen muy pocos estudios que analicen los efectos de la depredación sobre las poblaciones de aves en relación a la expansión y la presencia humana (Ortega *et al.*, 1998; Haskell *et al.*, 2001). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es conocer los índices de depredación de nidos artificiales en bordes agrícolas localizados en un sistema agro-urbano del estado de Hidalgo para contribuir al conocimiento de las interacciones entre las aves y sus depredadores, así como su relación con la estructura de la vegetación y el arreglo de los elementos del paisaje. Adicionalmente se pretende resaltar la importancia de conservar los bordes agrícolas, ya que son un refugio importante para muchas especies de flora y fauna nativa.

II. ANTECEDENTES

II.1 Urbanización y depredación de nidos de aves

La urbanización es definida como la conversión antropogénica de los ecosistemas naturales a ecosistemas dominados por los humanos (Gering y Blair, 1999). La urbanización es uno de los factores responsables de la pérdida y fragmentación de los hábitats naturales, y está asociada también con el cambio en la estructura y composición de las comunidades vegetales y animales (Beissinger y Osborne, 1982; Nour *et al.*, 1993; Kuitunen *et al.*, 1998; Zipperer *et al.*, 2000). Desde el punto de vista geográfico, la urbanización puede ser medida por uno o varios atributos, como el tipo y la densidad de casas, la distancia a otras áreas urbanas, el tipo y densidad de caminos, entre otros (McIntyre *et al.*, 2000).

En particular para las aves se han realizado algunos estudios para conocer el efecto que tiene la urbanización sobre sus poblaciones y comunidades. En general, se ha encontrado que la urbanización afecta la distribución y la abundancia de muchas especies de aves, así como la disponibilidad de recursos necesarios para su supervivencia (Blair, 2004). Sin embargo, aún existe controversia en cuanto a los efectos netos que tiene la urbanización, debido a que en muchos casos los estudios muestran resultados contradictorios. Se sugiere que es importante examinar la composición de la comunidad y la distribución de cada una de las especies de aves presentes en un sitio, porque los diferentes grupos parecen ser afectados de manera distinta (Beissinger y Osborne, 1982).

Se han analizado también los índices de depredación de nidos, principalmente artificiales, en zonas con diferente grado de urbanización. Por ejemplo, Gering y Blair

(1999) investigaron la influencia de la urbanización en la depredación de nidos artificiales a lo largo de un gradiente urbano (seis sitios que iban desde ecosistemas naturales a zonas urbanas) en Oxford, Inglaterra. Estos autores encontraron que el grado de urbanización fue determinante en los índices de depredación, y observaron una mayor presión de depredación en las áreas naturales que en el ambiente urbano.

Por otro lado, Jokimaki y Huhta (2000) estudiaron la presión de depredación sobre nidos artificiales a lo largo de un gradiente urbano, en un trabajo realizado en parques de tres ciudades Finlandesas. Estos autores encontraron que los nidos artificiales fueron depredados con mayor intensidad en el área urbana que en el bosque adyacente. También observaron que los índices de depredación fueron más altos en el centro de la ciudad y que disminuyeron a medida que decrecía el grado de urbanización. Los principales depredadores de nidos en las zonas urbanizadas fueron las aves. Para estos autores, la depredación de nidos es uno de los mecanismos que afectan más severamente la organización de las comunidades de aves urbanas.

Por su parte, Thorington y Bowman (2003) estudiaron los índices de depredación de nidos artificiales a lo largo de un gradiente urbano. Los autores cuantificaron la depredación de nidos artificiales localizados en remanentes de vegetación natural dentro de una matriz suburbana en el centro-sur de Florida, E.U.A. y consideraron variables como la localización del nido con respecto al borde, el desgaste de los nidos artificiales, la altura de los arbustos y la densidad de casas. Encontraron que la depredación de nidos no fue influenciada por la proximidad al borde o por el desgaste de los nidos, pero sí por la densidad de casas. La proporción de nidos depredados incrementó con la densidad de casas y los depredadores más importantes fueron las

aves. Los autores concluyen que los altos índices de depredación observadas en las zonas con mayor densidad de casas pueden estar relacionadas con cambios en la estructura y composición del hábitat que incrementan la vulnerabilidad de los nidos a la depredación, o cambios en la composición de la comunidad de depredadores.

Haskell *et al.*, (2001) en un estudio realizado para conocer la abundancia de depredadores potenciales de nidos en 75 sitios a través de un gradiente de densidad de casas en Tennessee, E.U.A., encontraron que la urbanización está relacionada positivamente con las poblaciones de algunos depredadores de nidos, pero no de otros. Sin embargo, la probabilidad de depredación de nidos artificiales no cambió con la densidad de casas.

Debido a que todavía no existe un consenso en cuanto a los efectos que tiene la urbanización sobre las poblaciones y comunidades de aves, y a que la mayoría de los estudios se han realizado en países desarrollados del hemisferio norte, resulta necesario realizar más estudios en diferentes regiones del mundo, sobre todo en los países en vías de desarrollo, donde los patrones de urbanización pueden ser muy diferentes.

II.2 Sistemas agro-urbanos en México

En México, el crecimiento de las poblaciones humanas es una de las causas principales del deterioro y la fragmentación de los ecosistemas. La alta densidad de habitantes en muchas zonas ha provocado la desaparición de hábitats nativos con la consecuente pérdida de biodiversidad (Danielson *et al.*, 1997; Marzluff *et al.*, 1998; Watson, 2003). Considerando que sólo el 8.6% del territorio nacional corresponde a áreas naturales protegidas (INEGI, 2004), resulta indispensable contar con otras áreas

alternativas, como las zonas urbanas o los paisajes agrícolas, en donde se pueda promover la conservación de muchas especies.

Los sistemas agro-urbanos del centro de México sirven de hábitat y refugio a muchas especies de flora y fauna silvestre. Estos sistemas pueden ser muy complejos debido a la presencia de diferentes cultivos, árboles, arbustos, bordes agrícolas, casas y caminos. Dentro de los sistemas agro-urbanos, los bordes agrícolas son un hábitat importante para muchas aves migratorias y residentes (Zuria, 2003).

Los bordes agrícolas son hileras de vegetación que separan campos agrícolas o áreas abiertas en los agroecosistemas. También se pueden definir como filas de árboles o arbustos creadas y mantenidas por los humanos que permiten la separación de tierras y que integran los sistemas agrícolas (Burel, 1996). Además de éstas, existen otras definiciones que dependen de la estructura del borde agrícola. Por ejemplo, para Greaves y Marshall (1987, en Marshall y Moonen, 2002), el borde incluye toda la orilla del cultivo incluyendo también el hábitat semi-natural que se encuentra entre los cultivos.

Los bordes agrícolas se encuentran ampliamente distribuidos por todo el mundo, y son llamados también rompevientos o cercos vivos (Burel, 1996). La apariencia, estructura y composición de los bordes dependen de su origen (e.g., plantados o como remanentes de vegetación nativa) y de las actividades agrícolas de la zona. Algunos bordes agrícolas son originalmente creados para conservar la flora y fauna silvestre existente en una determinada localidad; otros para excluir a ciertos herbívoros del lugar mediante cercos vivos densos que impiden el paso de los animales y evitan que el ganado se alimente del cultivo (Forman, 1995). Otros bordes agrícolas (rompevientos) tienen como función principal la de evitar la erosión del suelo debido al viento (Burel,

1996). Las terrazas agrícolas, que son escalones anchos y horizontales con un borde hecho de plantas y en ocasiones de piedras, tienen el objetivo de que suelos inclinados puedan usarse para cultivos agrícolas, sin que la tierra sea arrastrada por el agua (Pérez, 2003). En México, y en particular en el estado de Hidalgo, son muy importantes, debido a la compleja topografía que se presenta en muchas zonas. En Hidalgo, las terrazas agrícolas presentan un borde construido principalmente por tierra y sembrado con plantas de maguey, principalmente maguey pulquero (*Agave salmiana*). La superficie agrícola es aprovechada para el cultivo de maíz; pero adicionalmente de los magueyes del borde, los agricultores obtienen aguamiel para preparar pulque, fibras y otros productos.

Los bordes agrícolas han sido utilizados desde hace mucho tiempo para diversos fines y en la actualidad siguen siendo importantes como límites de propiedad, para evitar la erosión, para favorecer la fertilización del suelo, para obtener flores, frutos, néctar, alimento para el ganado, etc. (Zuria y Gates, 2006). En cuanto a su importancia biológica, sirven de refugio, hábitat y sitios de reproducción y alimentación para muchas especies de flora y fauna silvestre (Merriam 1981 en Burel, 1996; Marshall y Moonen, 2002; Zuria y Gates, 2006). Pese a que los bordes agrícolas son de gran importancia en muchos países, incluyendo México, están desapareciendo, provocando problemas como la pérdida de fertilidad, la erosión del suelo y la desaparición de muchas especies de flora y fauna silvestre que habitan en los bordes (Zuria y Gates, 2006). En México no hay muchos estudios referentes a la fauna que habita en los bordes agrícolas, ni a los procesos que moldean sus comunidades.

II.3 Utilidad de los experimentos con nidos artificiales

La observación directa de un evento de depredación en la naturaleza es muy rara, fundamentalmente porque ocurre rápidamente en relación con el tiempo en el que el nido o la presa están expuestos. Además, algunos depredadores tienen actividad principalmente nocturna o la presencia del observador puede disuadirlos. Estudiar las presiones de depredación en nidos naturales también resulta complicado debido a la dificultad de encontrar los nidos y de seguir su desarrollo sin que el observador interfiera directamente con el éxito de anidación. Debido a éstas y otras dificultades, los nidos artificiales han resultado ser un método muy útil para comparar los índices de depredación en diferentes zonas, además de que permiten la identificación de los distintos tipos de depredadores (Willebrand y Marcström, 1988; Major y Kendal, 1996; Lariviere, 1999; Buler y Hamilton, 2000). Los nidos artificiales también han sido usados para investigar los factores que tienen influencia en la depredación de los nidos y permiten tener experimentos controlados y de fácil manipulación (Esler y Grand, 1993; Major y Kendal, 1996; Bayne y Hobson, 1997b; Wilson *et al.*, 1998).

Los índices de depredación en diferentes ambientes se pueden comparar utilizando nidos artificiales que contienen huevos elaborados con plastilina y huevos de codorniz (*Coturnix japonica*) (Bayne y Hobson, 1997a, 1997b; Hannon y Cotterill, 1998; Rangen *et al.*, 2000). Con ellos, se puede conocer o tener idea del tipo de depredador al observar la huella de la mordedura en la plastilina o en el cascarón (Angelstam, 1986; Bayne y Hobson, 1997b; Rangen *et al.*, 2000; Zanette, 2002). Los experimentos con nidos artificiales no pretenden sustituir a los estudios con nidos naturales, pero proporcionan un índice de la depredación presente en el lugar, lo que ayuda a entender

las interacciones entre la reproducción de las aves y la depredación de nidos en distintos ambientes y a diferentes escalas espaciales (Marini y Melo, 1989; Major y Kendal, 1996; Bayne y Hobson, 1997a; Maier y DeGraaf, 2000; Cueto y Mezquida, 2001).

III. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Conocer los índices de depredación de nidos artificiales en bordes agrícolas de un paisaje agro-urbano en el Municipio de El Arenal, Hidalgo, y su relación con la urbanización.

Objetivos particulares:

- Caracterizar y describir un paisaje agro-urbano en el estado de Hidalgo en términos de la densidad de bordes agrícolas y la cobertura de los diferentes elementos del paisaje.
- Conocer si los índices de depredación de nidos artificiales están relacionadas con características propias del borde (escala local).
- Conocer si los índices de depredación de nidos artificiales están relacionadas con el grado de urbanización alrededor del borde agrícola (escala del paisaje).
- Analizar los patrones de depredación por tipo de depredador con base en las variables locales y del paisaje.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Área de estudio

El Municipio de El Arenal se ubica en el centro-sur del estado de Hidalgo, entre los 20°15' y 20°08' N y entre los 98°48' y 98°56' O. Colinda al norte y al oeste con el Municipio de Actopan, al sur con el Municipio de San Agustín Tlaxiaca y al este con el Municipio del Mineral del Chico (Figura 1). El Municipio presenta una altitud media de 2,040 msnm. Los principales asentamientos humanos son El Arenal, San José Tepenené y Ojo de Agua (INEGI, 2002).

El Municipio de El Arenal cuenta con una superficie de 125.9 km², que representa el 0.60% de la superficie total del estado. La mayor parte de su superficie es plana y se encuentra rodeada de cerros y mesetas pertenecientes a la Sierra Baja (INEGI, 2002). Presenta un clima templado-frío, con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación total anual de 650 mm. El periodo de lluvias se presenta de junio a septiembre. En el Municipio se localizan algunos cuerpos de agua menores (INEGI, 2002).

La principal actividad económica del Municipio es la agricultura que ocupa el 34.12% de su superficie total, y presenta como cultivos principales el maíz, trigo, cebada, frijol y alfalfa. Además, existe la producción doméstica de higo, granada, nuez, durazno y aguacate. La ganadería es otra actividad económica importante, principalmente la producción de ganado ovino, caprino, porcino, además de la crianza de aves. También existen pequeñas empresas y negocios, una de las industrias que ha tenido mayor auge es la fabricación de tabique horneado de arcilla, de la cual extraen de las arenas que abundan en este territorio (INEGI, 2002).

Flora

La vegetación característica de la zona es el matorral xerófilo. Las plantas dominantes son los nopales (*Opuntia* spp.), mezquites (*Prosopis* spp.), huizaches (*Acacia* spp.), cardón (*Cylindropuntia imbricata*), yuca (*Yucca filifera*), garambullo (*Myrtillocactus* spp.), uña de gato (*Mimosa biuncifera*), pangola (*Digitaria decumbens*) y, en lugares elevados, el encino (*Quercus crassipes*), entre otras especies menos dominantes (INEGI 2002).

El paisaje está conformado por pequeños asentamientos humanos en una matriz de campos agrícolas rodeados de bordes y terrazas agrícolas. La mayoría de los bordes presentan plantas características de la región como maguey (*Agave* spp.), huizache (*Acacia farnesiana*), mezquite (*Prosopis* spp.), nopales (*Opuntia* spp.) y otras cactáceas como el cardón (*Cylindropuntia imbricata*) (I. Zuria, com. pers.).

Fauna

Las especies de aves residentes más comunes en el área son: *Zenaida macroura*, *Columbina inca*, *Picoides scalaris*, *Pyrocephalus rubinus*, *Thryomanes bewickii*, *Campylorhynchus brunneicapillus*, *Lanius ludovicianus*, *Phainopepla nitens*, *Quiscalus mexicanus*, *Carduelis psaltria* y *Carpodacus mexicanus* (I. Zuria, com. pers.).

Las especies de mamíferos silvestres que se encuentran en este territorio son conejo (*Sylvilagus* spp.), liebre (*Lepus* spp.), armadillo (*Dasyus novemcinctus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), ardilla (*Spermophilus* spp.), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), comadreja (*Mustela frenata*), zorrillo (*Sphilogate putorius*), entre otros (Ceballos y Galindo, 1994; Ceballos y Oliva, 2005). Los depredadores potenciales de

nidos en la zona son *Quiscalus mexicanus*, *Didelphis virginiana*, *Bassariscus astutus*, *Mustela frenata*, *Sphilogate putorius*, e individuos del Orden Rodentia; así como gatos (*Felis catus*) y perros domésticos (*Canis familiaris*), y posiblemente algunas serpientes de la Familia Colubridae, tales como: *Pituophis deppei*, *Masticophis mentovarius* y *Trimorphodon tau*.

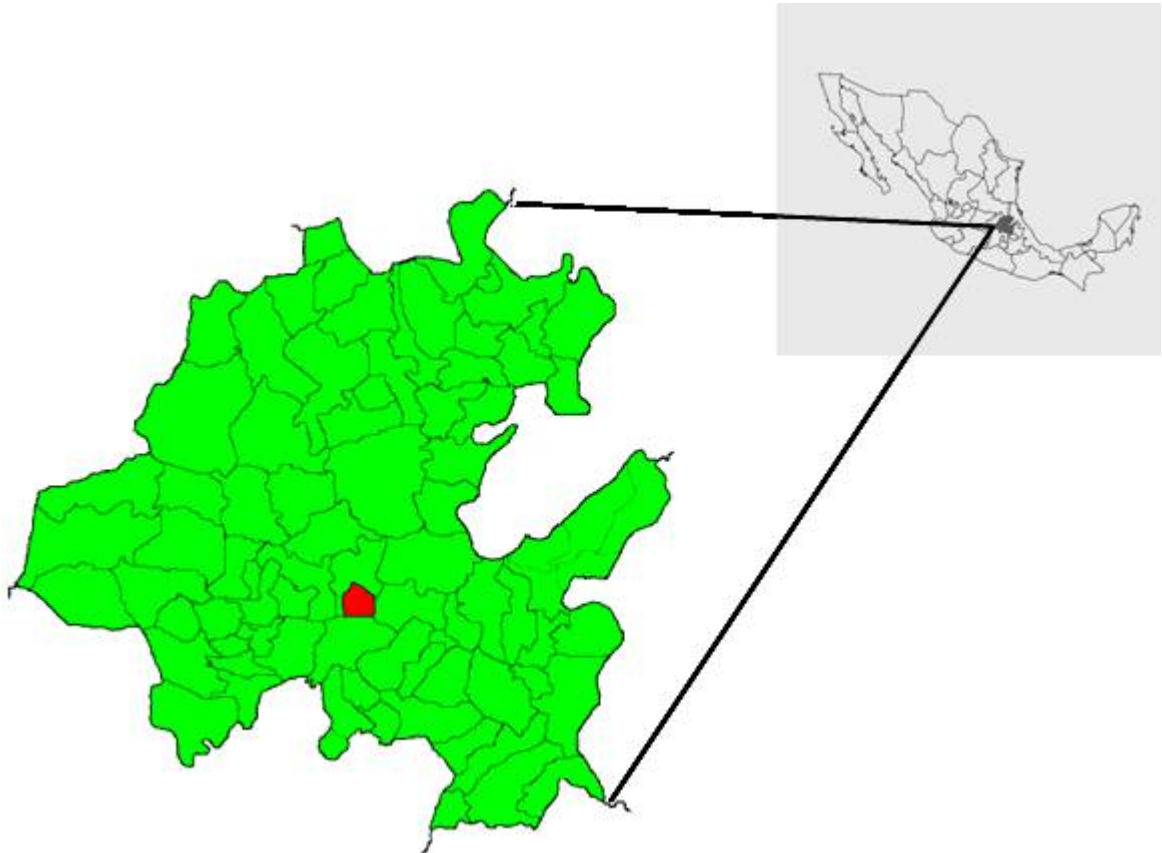


Figura 1. Ubicación del Municipio de El Arenal en el estado de Hidalgo en el cual se realizó el presente estudio.

IV.2. Métodos

IV.2.1 Caracterización del paisaje agro-urbano

Durante mayo del 2005 se seleccionó un paisaje agro-urbano cerca de la comunidad de San José Tepenené, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. El paisaje agro-urbano o área de estudio se delimitó dentro de un área rectangular que cuenta con una superficie total de 1,822 hectáreas (Figura 2). El paisaje consiste en una matriz de campos de cultivo, frecuentemente rodeados por bordes de vegetación, con casas dispersas y caminos de terracería.

Para realizar la descripción del paisaje dentro del área de estudio se digitalizaron todos los bordes agrícolas con presencia de árboles, los bordes agrícolas no arbolados (sólo arbustos y herbáceas), el área cubierta por zona urbana o edificaciones, los caminos y las áreas cubiertas por vegetación natural. Todas las variables a escala del paisaje se procesaron con ayuda de un sistema de información geográfica (ArcView 3.2, ESRI) y las ortofotografías digitales del área de estudio (F14d81a y F14d81b, INEGI, 1995).

IV.2.2 Índices de depredación

El trabajo de campo se realizó durante mayo del 2005, época que corresponde con la temporada de anidación de muchas aves residentes en la zona, y previo a la temporada de lluvias que hace difícil el transitar por la zona de estudio. Para conocer los índices de depredación de nidos artificiales se seleccionaron 20 bordes agrícolas en el paisaje agro-urbano de El Arenal. Los 20 bordes agrícolas se seleccionaron de la siguiente manera: se consideraron en el área de estudio todos los bordes que cumplían

con la característica de estar constituidos por tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo; posteriormente se eligieron los bordes con base en la facilidad de acceso a los bordes agrícolas, en la accesibilidad de los agricultores para poner los nidos en su propiedad y en la distancia entre los bordes. La distancia mínima entre los bordes seleccionados fue de 200 m para tratar de asegurar independencia. En cada borde se localizó un trayecto de 100 m y se midieron distintas variables a dos escalas espaciales: escala local y escala del paisaje (Zuria, 2003).

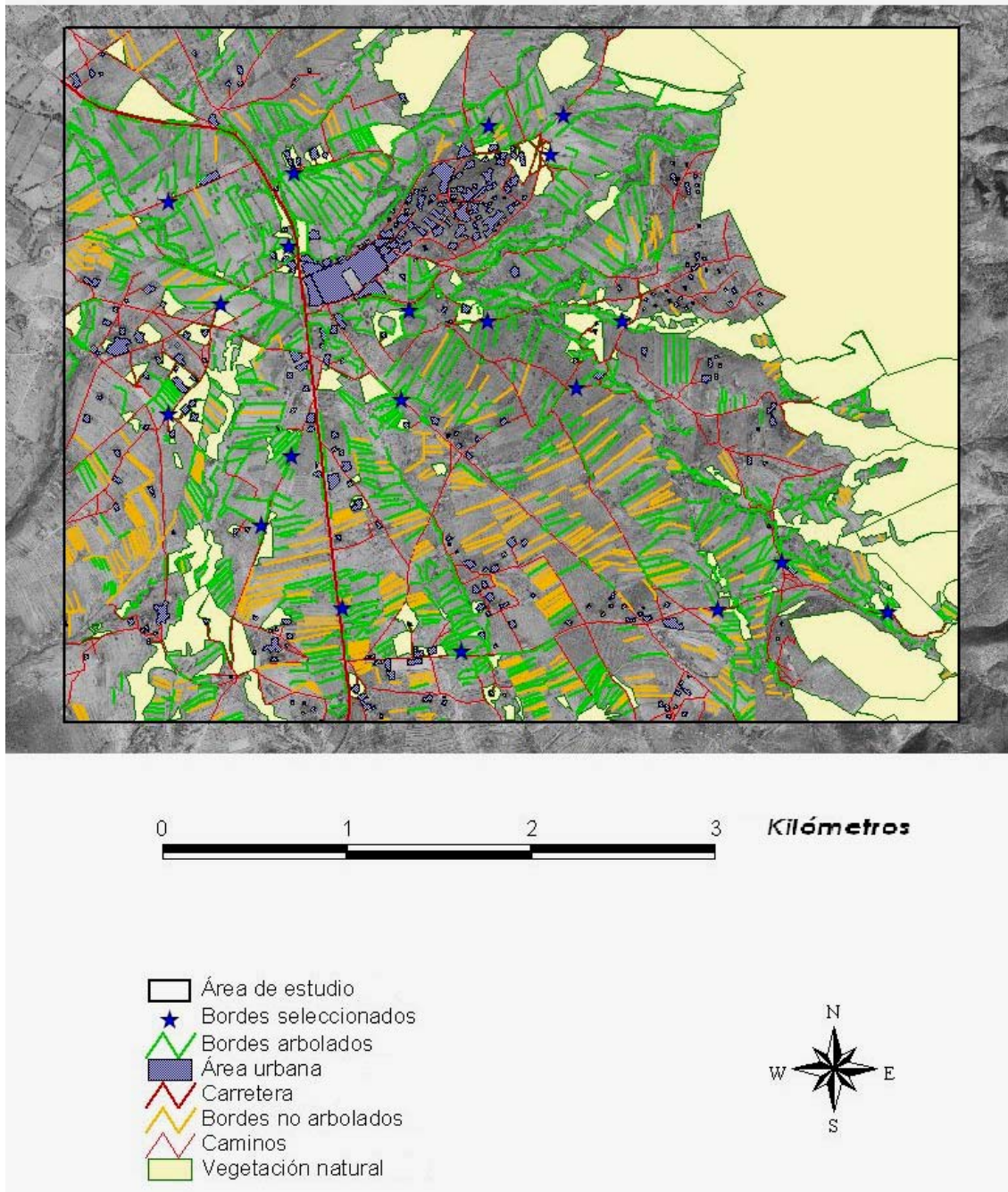


Figura 2. Área de estudio con los elementos del paisaje digitalizados a partir de las ortofotografías digitales F14d81a y F14d81b (INEGI, 1995). Las estrellas representan las localizaciones de los 20 bordes agrícolas seleccionados. El área urbana corresponde a la comunidad de San José Tepenené en el Municipio de El Arenal, Hidalgo.

Escala local

Se midieron en el campo las siguientes variables cada 10 m sobre el trayecto de 100 m: ancho y alto del borde, altura del estrato herbáceo, número de árboles y arbustos, altura de árboles y arbustos. Para obtener dichas mediciones se utilizaron cintas métricas y un distanciómetro óptico (para medir alturas y distancias). Adicionalmente, se anotó la especie de árbol o arbusto para conocer sus abundancias e investigar el uso que dan los agricultores a las plantas de los bordes en esta región. Los usos de las plantas fueron tomados de Pérez-Escandon *et al.*, (2003). Se calculó el porcentaje de abundancia (el cual se define como para cada especie de planta tomando el número total de plantas de cada especie en los 20 bordes y dividiéndolo entre el número total de plantas identificadas (Zuria, 2003).

En el Cuadro I se muestran las variables y las abreviaciones utilizadas en el texto. Se calculó el índice volumétrico (VOLUM) del borde multiplicando el ancho por el alto. La variable THXTN (número de árboles y arbustos x altura de los árboles y arbustos) se calculó multiplicando la variable TREENO (número de árboles y arbustos) por la variable TREEALT (altura promedio de árboles y arbustos) (Zuria, 2003).

Cuadro I. Variables independientes obtenidas a escala local y sus abreviaciones.

Abreviación	Variable
ANCHO	Ancho promedio del borde
ALTO	Altura promedio del borde
VOLUM	Índice volumétrico (ANCHO x ALTO)
HERBALT	Altura promedio del estrato herbáceo
TREENO	Número de árboles y arbustos
TREEALT	Altura promedio de árboles y arbustos
THXTN	Números de árboles y arbustos por altura de los árboles y arbustos

Escala de paisaje

Para cada borde agrícola seleccionado se procesaron las siguientes variables: distancia de cada trayecto a la terracería más cercana, distancia a la carretera, distancia a la construcción más cercana y distancia al parche de vegetación natural más cercano (cerro). Las distancias se midieron desde el punto medio del trayecto. Posteriormente, se construyeron buffers de 100 y 200 m alrededor de los 20 bordes seleccionados para obtener las siguientes variables: número de casas, longitud total de caminos, longitud total de bordes de cultivo con y sin árboles, así como área total cubierta por superficie de uso agrícola, superficie total cubierta por casas o edificaciones y superficie total cubierta con vegetación natural (Figura 3). Las variables fueron verificadas en campo, para actualizar los datos debido a que las ortofotografías digitales son de 1995. En el Cuadro II se muestran las variables y las abreviaciones utilizadas en el texto.

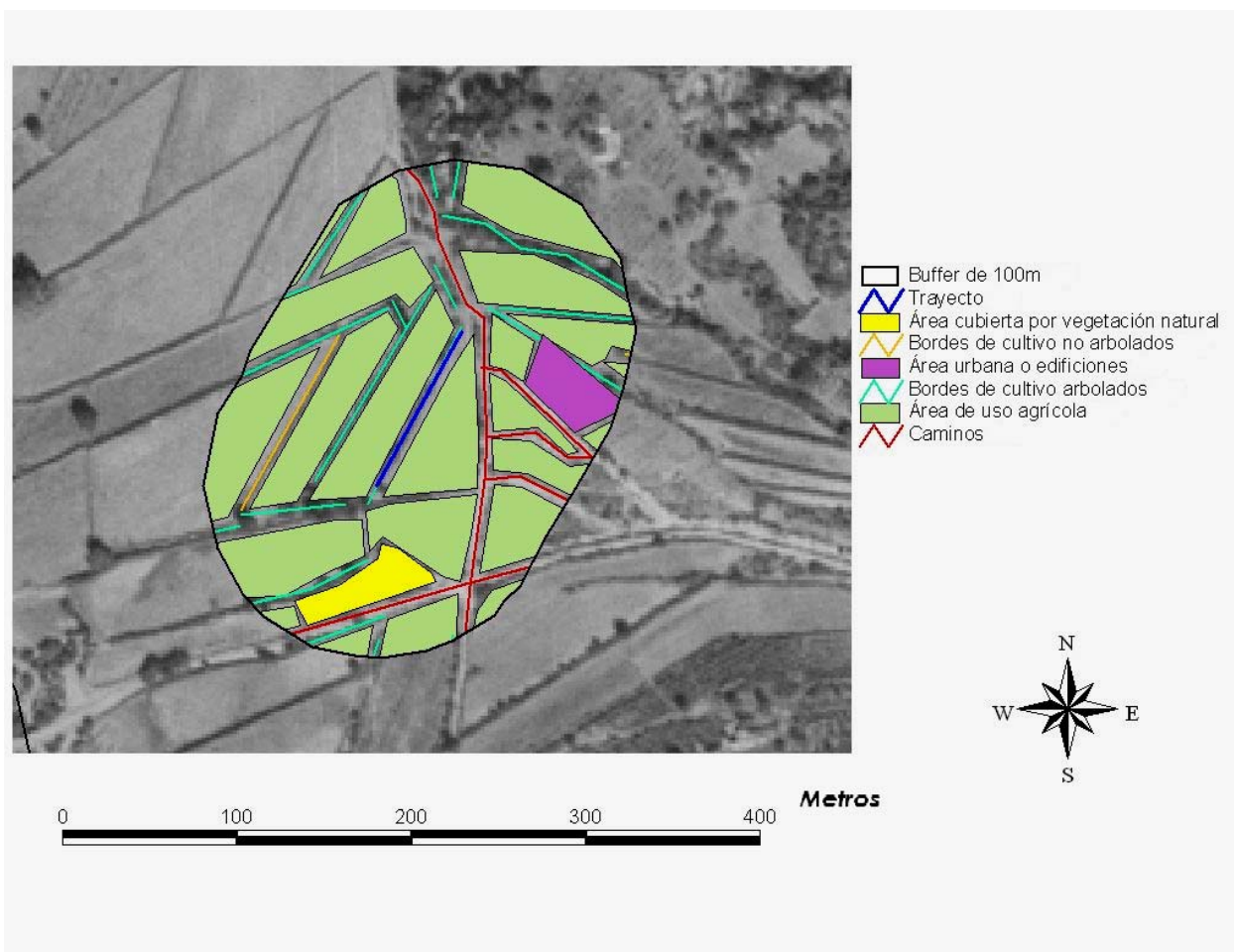


Figura 3. Representación de un buffer de 100 m alrededor de un trayecto y las variables del paisaje digitalizadas a partir de la ortofotografía digital del área de estudio (INEGI 1995).

Cuadro II. Variables independientes que se procesaron a escala del paisaje y sus abreviaciones.

<i>Abreviación</i>	<i>Variable</i>
DISTTERR	Distancia al camino de terracería más cercano
DISTCARR	Distancia a la carretera más cercana
DISTVN	Distancia al parche de vegetación (cerro) natural más cercano
CASACERC	Distancia a la casa o construcción más cercana
CASA100	Número de casas localizadas a una distancia menor a 100 m del trayecto
CASA200	Número de casas localizadas a una distancia entre 100 y 200 m del trayecto
CASATOT	Número de casas localizadas a una distancia menor a 200 m del trayecto
CAMIN100	Longitud total de los caminos dentro de un buffer de 100 m a partir del trayecto
CAMIN200	Longitud total de los caminos dentro de un buffer de 200 m a partir del trayecto
BORD100	Longitud total de bordes agrícolas arbolados dentro de un buffer de 100 m a partir del trayecto
BORD200	Longitud total de bordes agrícolas arbolados dentro de un buffer de 200 m a partir del trayecto
BORNA1	Longitud total de bordes agrícolas no arbolados dentro de un buffer de 100 m a partir del trayecto

Continúa

Cuadro II. (Continúa).

Abreviación	Variable
BORNA2	Longitud total de bordes agrícolas no arbolados dentro de un buffer de 200 m a partir del trayecto
ARCAS100	Superficie total ocupada por casas o edificaciones dentro de un buffer de 100 m a partir del trayecto
ARCAS200	Superficie total ocupada por casas o edificaciones dentro de un buffer de 200 m a partir del trayecto
ARPAR100	Superficie total ocupada por parcelas dentro de un buffer de 100 m a partir del trayecto
ARPAR200	Superficie total ocupada por parcelas dentro de un buffer de 200 m a partir del trayecto
ARVEG100	Superficie total ocupada por parches de vegetación natural dentro de un buffer de 100 m a partir del trayecto
ARVEG200	Superficie total ocupada por parches de vegetación natural dentro de un buffer de 200 m a partir del trayecto

Colocación de nidos artificiales e identificación del tipo de depredador

En cada uno de los 20 trayectos de 100 m se colocaron 10 nidos artificiales. La distancia mínima entre los nidos fue de 10 m, tratando de mantener la misma densidad de nidos por borde. Los nidos se colocaron intercalados, es decir, uno sobre el suelo entre la vegetación (nido sobre el suelo) y el siguiente amarrado sobre un árbol o arbusto a una altura de 1.0 a 2.0 m (nido elevado), para simular los dos tipos principales de anidación de las aves (Zuria 2003). Los nidos artificiales consistieron en nidos de paja del tipo usado por los avicultores. Los nidos fueron teñidos con colorante para ropa color castaño claro y un poco de sal para fijar el color; se dejaron a la intemperie varios días antes de la colocación para tratar de eliminar cualquier olor obtenido durante el proceso. En cada nido se colocó un huevo elaborado con plastilina color beige no tóxica y un huevo de codorniz (*Coturnix japonica*) (Nour *et al.*, 1993; Bayne y Hobson, 1996a). Los huevos de plastilina se pintaron con pintura vinílica color café oscuro, con la ayuda de un pincel de punta fina, a manera de manchones para imitar el patrón de coloración del huevo de codorniz. Los nidos y los huevos se manejaron siempre con guantes de látex para evitar dejar el olor característico de los humanos que pudiera ser percibido por algunos depredadores (Major y Kendal, 1996).

Los nidos artificiales permanecieron en los bordes agrícolas durante siete días (Danielson *et al.*, 1997; Willson *et al.*, 2001; Zuria *et al.*, en prensa). Posteriormente se contó el número de nidos depredados por trayecto y se colectaron todos los huevos de plastilina y restos de cascarón que se encontraron. Para cada trayecto, se calculó el porcentaje (proporción) de depredación. Para identificar al tipo de depredador implicado se analizaron las marcas de dientes y picos formados en la plastilina y, cuando fue necesario, se compararon con impresiones tomadas a animales del Parque de

Convivencia Infantil de Pachuca e impresiones de dientes de mamíferos de la colección de cráneos del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, para lo cual se tomó un huevo de plastilina y se tomaron impresiones desde diferentes ángulos. Los depredadores se clasificaron en las siguientes categorías: ave, carnívoro, roedor y desconocido. En el Cuadro III se muestran las variables dependientes y las abreviaciones utilizadas en el texto.

Cuadro III. Variables dependientes obtenidas y sus abreviaciones. Las transformaciones de variables se explican en la sección de Análisis Estadísticos.

Abreviación	Variable
DEPTOT	Porcentaje de depredación total
ARCTOT	Arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje de la depredación total
DEPAVE	Porcentaje de depredación por aves
ARCAVE	Arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje de depredación por aves
DEPCARN	Porcentaje de depredación por carnívoros
ARCCARN	Arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje de depredación por carnívoros
DEPROE	Porcentaje de depredación por roedores
ARCROE	Arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje de la depredación por roedores
DEPMAM	Porcentaje de depredación por mamíferos (DEPCARN+DEPROE)

Análisis estadísticos

Como ya se mencionó, las variables independientes y sus abreviaciones se muestran en los Cuadros I y II. Las variables dependientes se muestran en el Cuadro III. Para evitar el error de mezclar diferentes escalas espaciales dentro del mismo análisis (Wiens, 1989; Morrison *et al.*, 1998), las variables a escala local se analizaron de manera independiente de las variables a escala del paisaje. De igual manera las variables obtenidas de los buffers de 100 m se analizaron de manera independiente de las obtenidas de los buffers de 200 m.

Las medias de los porcentajes de depredación entre los nidos colocados sobre el suelo y los nidos elevados se compararon utilizando Análisis de Varianza de una vía. De la misma forma se compararon las medias de los porcentajes de depredación entre los tipos de depredador. Se utilizó el análisis de regresión lineal múltiple (Kleinbaum *et al.*, 1998) para analizar la relación entre el porcentaje (proporción) de depredación y las variables independientes. El objetivo principal fue identificar el subconjunto de variables independientes que explicaban una proporción importante de la variación en los porcentajes de depredación. Los modelos finales fueron construidos utilizando la técnica de eliminación de variables “stepwise” (Kleinbaum *et al.*, 1998). El criterio para la selección de las variables en los modelos fue de $\alpha=0.1$. Para evitar el problema de multicolinealidad (Kleinbaum *et al.*, 1998), se construyeron matrices de correlación para identificar las variables independientes correlacionadas, con lo cual se evitó incluir variables correlacionadas dentro del mismo modelo. Se analizaron los residuales de los modelos finales para revisar que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Kleinbaum *et al.*, 1998). En caso de que no se cumplieran, los datos de porcentaje (proporción) de depredación se transformaron

utilizando el arcoseno de la raíz cuadrada del dato (Sokal y Rohlf, 1995). Todos los análisis se hicieron utilizando el paquete estadístico SAS (versión 6.0, SAS Institute Inc. 1999). Adicionalmente, se realizaron regresiones simples para ilustrar gráficamente las tendencias de los datos. Se reportan medias \pm errores estándar a lo largo del manuscrito.

V. RESULTADOS

V.1. Descripción del paisaje agro-urbano

En el área de estudio los bordes agrícolas con árboles midieron en total 112,816 m de longitud, es decir, un promedio de 61.9 m lineales de borde por hectárea. Mientras que para los bordes no arbolados se encontró un promedio de 26.3 m lineales por hectárea. El área urbana o las edificaciones ocuparon el 2.2% del área total y se encontró un total de 76,538 m de longitud de caminos (terracerías y carretera), es decir, un promedio de 42 m/ha. En el área de estudio la superficie cubierta por vegetación natural fue del 26.6% (Figura 4).

V.2. Descripción de los bordes agrícolas

V.2.1. Escala local

Los bordes analizados midieron 5.25 (± 0.46) m de ancho y 4.59 (± 0.46) m de altura en promedio, y presentaron un estrato herbáceo de 0.34 m de altura en promedio. Se observaron un promedio de 36.5 árboles y arbustos por cada 100 m de borde (Cuadro IV). Las especies dominantes de árboles y arbustos fueron los magueyes (*Agave* spp.), principalmente *Agave salmiana*, nopales (*Opuntia* spp.), mezquites (*Prosopis* spp.), cardón (*Cylindropuntia imbricada*), huizache (*Acacia farnesiana*), así como el pirul (*Schinus molle*), que es un árbol introducido y abundante en los bordes estudiados (Cuadro V). En la Figura 5 se muestra un borde agrícola en la zona de estudio.

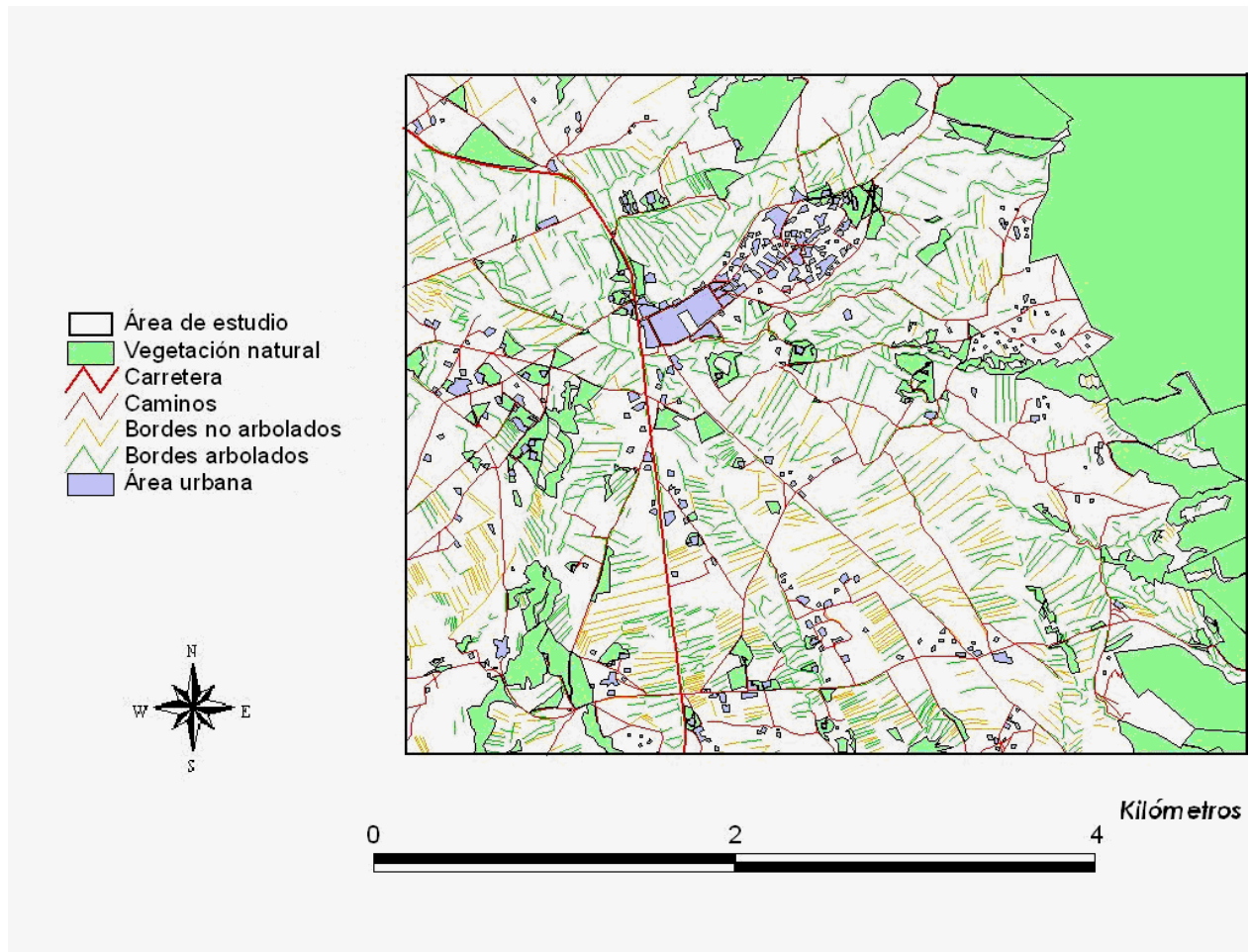


Figura 4. Caracterización del paisaje agro-urbano a partir de ortofotografías digitales (F14d81a y b) y ArcView (ver 3.2), en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. El área urbana corresponde a la comunidad de San José Tepenené.

Cuadro IV. Características de los bordes agrícolas en el área de estudio, Municipio de El Arenal, Hidalgo. Los datos provienen de 20 trayectos de 100 m localizados en 20 bordes. Ver el Cuadro I para las definiciones de las variables.

	Media	Error estándar	Intervalo
ANCHO (m)	5.25	0.46	2.5-10.0
ALTO (m)	4.59	0.46	1.2-8.1
HERBALT (m)	0.34	0.06	0-1.0
TREENO	36.5	3.84	17.0-76.0
TREEALT (m)	2.63	0.25	1.3-5.9

Cuadro V. Porcentaje de abundancia y usos locales de las plantas (árboles y arbustos) más comunes de 20 bordes agrícolas ubicados en un paisaje agro-urbano en el Municipio de El Arenal, Hidalgo.

Nombre común	Nombre científico	(%)	Usos locales
Magüey	<i>Agave spp.</i>	28. 22	Comestible (elaboración de pulque), forraje, combustible, construcción de cercas
Nopal	<i>Opuntia spp.</i>	27. 53	Comestible, construcción de cercas, combustible, forraje, artesanal.
Mezquite	<i>Prosopis spp.</i>	11. 10	Comestible, medicinal, forraje, combustible, artesanal, plaguicida.
Cardón	<i>Cylindropuntia imbricata</i>	10. 96	Forraje, construcción de cercas, medicinal.
Pirul, pirú	<i>Schinus molle</i>	9.3 2	Plaguicida, forraje, comestible, ornamental, combustible, ritual, juegos, medicinal.
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>	5.6 2	Construcción, ritual, medicinal, cosmético.
Otras		6.7 1	

Fuente: Los datos se obtuvieron de 730 plantas muestreadas en 20 trayectos localizados en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, en el estado de Hidalgo.



Figura 5. Borde agrícola arbolado en el Municipio de El Arenal, Hidalgo.

V.2.2. Escala de paisaje

Los resultados de las variables del paisaje medidas para cada trayecto se muestran en el Cuadro VI. La distancia del trayecto al camino de terracería más cercano se encuentra en un intervalo que va de 5 a 199 m, mientras que la distancia a la carretera estuvo entre 73 y 2972 m. La distancia al parche de vegetación natural más cercano (cerro), fuera del área agro-urbana, fue de 65 y 1589 m. Se observaron en promedio 1.3 casas a una distancia menor a 100 m del borde agrícola seleccionado y 1.7 casas localizadas entre 100 y 200 m.

Cuadro VI. Variables a escala del paisaje medidas para los 20 trayectos localizados en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. Las distancias se midieron desde el punto medio del trayecto al camino de terracería, a la carretera y al parche de vegetación natural más cercano. Ver el Cuadro II para las definiciones de las variables.

Variables	Media	Error estándar	Intervalo
DISTTER (m)	60.0	9.2	5.0-198.8
DISTCARR (m)	1016.5	182.4	72.9-2972.0
DISTVN (m)	877.3	108.9	64.5-1589.0
CASA100	1.3	0.3	0-4
CASA200	1.7	0.4	0-5

Para las variables medidas dentro de los buffers de 100 m se encontró que los caminos ocupan en promedio 4.11 m/ha de la superficie total del buffer, mientras que los bordes de cultivo con árboles 7.83 m/ha y los bordes sin árboles 0.40 m/ha. En promedio, el 56.73% del área del buffer estuvo ocupada por tierra de uso agrícola, el 10.71% por vegetación natural y el 1.24% por área urbana o edificaciones (Cuadro VII).

Cuadro VII. Variables a escala del paisaje medidas dentro de buffers de 100 m alrededor de 20 trayectos localizados en bordes agrícolas, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. Ver el Cuadro II para las definiciones de las variables.

	Media	Error estándar	Intervalo
% ARCAS100	1.24	0.46	0 – 7.95
% CAMIN100	0.74	0.09	0.26 – 1.53
% BORD100	1.41	0.11	0.64 – 2.38
% BORNA1	0.07	0.03	0 – 0.37
% ARPAS100	56.73	5.87	2.94 – 82.26
% ARVEG100	10.71	3.01	0 – 50.80

Para las variables medidas dentro de los buffers de 200 m se encontró que los caminos ocupan 11.35 m/ha, los bordes de cultivo con árboles 21.85 m/ha y los bordes de cultivo sin árboles 2.12 m/ha. La mayor parte de la superficie total del buffer estuvo ocupada por terreno de uso agrícola, en promedio 62.86% del área total, por remanentes de vegetación natural con un 12.87%, y finalmente por casas o edificaciones con un 1.84% del área del buffer (Cuadro VIII).

Cuadro VIII. Variables a escala del paisaje medidas dentro de buffers de 200 m alrededor de 20 trayectos, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. Ver el Cuadro II para las definiciones de las variables. Se muestran los porcentajes del área del buffer cubiertos por cada tipo de variable.

	Media	Error estándar	Intervalo
% ARCAS200	1.84	0.52	0 – 9.26
% CAMIN200	0.63	0.05	0.25 – 1.05
% BORD200	1.22	0.08	0.69 – 1.93
% BORNA2	0.12	0.04	0 – 0.85
% ARPAR200	62.86	3.41	13.36 – 81.30
% ARVEG200	12.87	3.31	0.47 – 66.85

V.3. Patrones de depredación de nidos artificiales

V.3.1. Depredación total

De los 200 nidos artificiales colocados, 80 fueron depredados y se observó que fue depredado un mayor porcentaje de nidos elevados que en el piso o suelo ($F=5.43$, $p=0.0252$) (Figura 6).

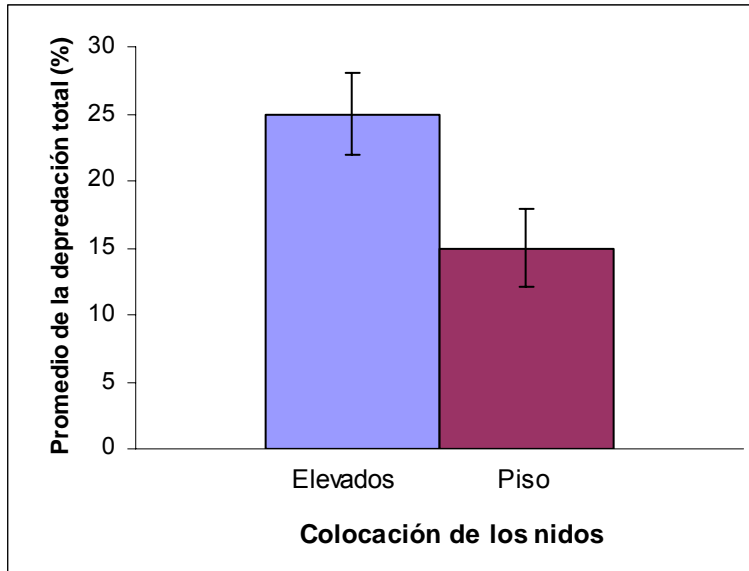


Figura 6. Promedio del porcentaje de depredación total de nidos artificiales colocados sobre el piso y elevados, en 20 trayectos (N=20) localizados en bordes agrícolas del Municipio de El Arenal, Hidalgo. Las diferencias entre los porcentajes de depredación son estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

No se encontró ninguna relación significativa entre el porcentaje total de depredación y las variables de los bordes a escala local. Sin embargo, a escala de paisaje se encontró que la depredación total disminuye a medida que aumenta la distancia al parche de vegetación natural, y disminuye también a medida que aumenta la longitud total de bordes en los buffers de 100 m (Figuras 7 y 8). El modelo obtenido es el siguiente: $DEPTOT = 0.7535 - 0.0002DISTVN - 0.0003BORD100$, con una $R^2 = 0.3007$ ($p = 0.0439$). No se encontró ninguna otra relación significativa.

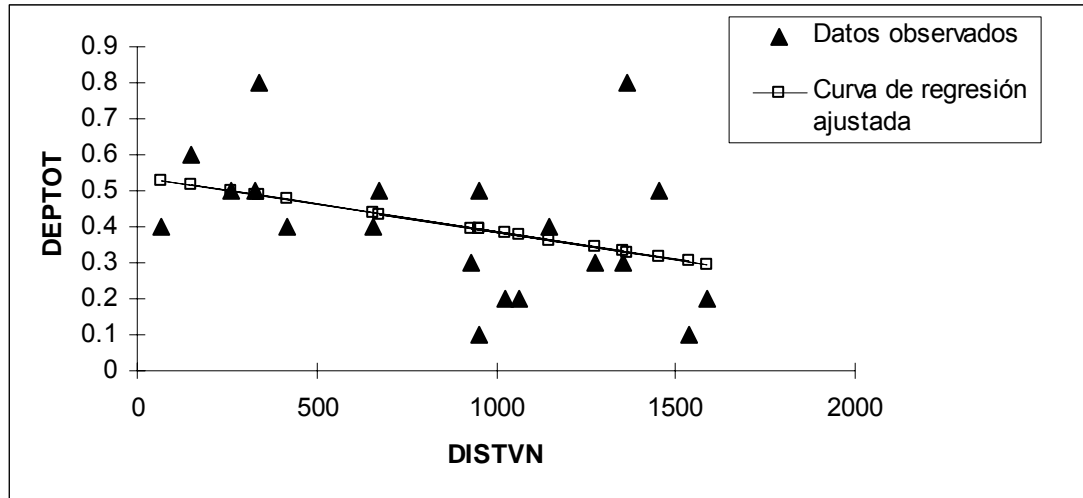


Figura 7. Gráfica que muestra la relación entre el porcentaje de depredación total (DEPTOT) y la distancia (m) de los trayectos al parche de vegetación natural más cercano (DISTVN), en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

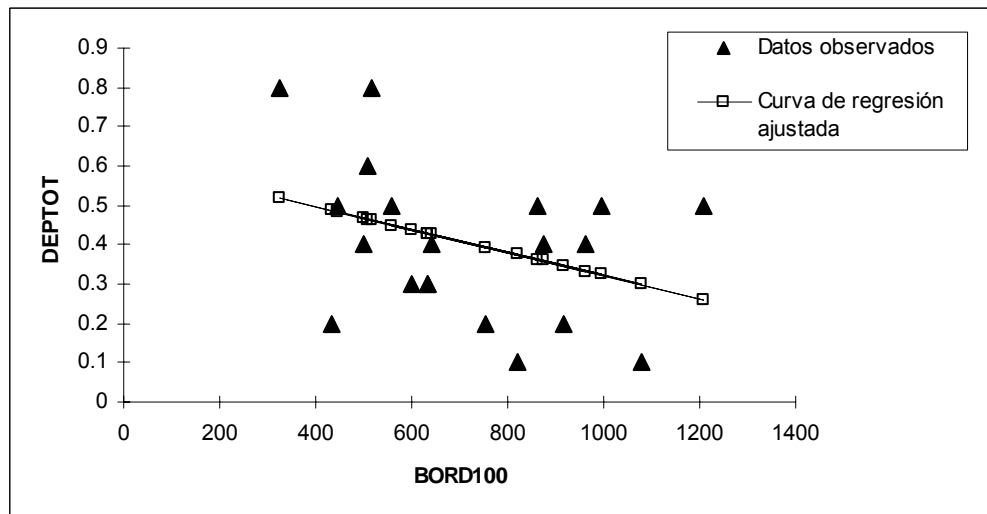


Figura 8. Gráfica que muestra la relación entre el porcentaje de depredación total (DEPTOT) y la longitud total de bordes agrícolas arbolados dentro de un buffer de 100 m (BORD100) a partir del trayecto, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

V.3.2. Depredación por tipo de depredador

En general, los principales depredadores en el paisaje agro-urbano estudiado fueron las aves ($F=10.61$ $p<0.0001$). Se observa que, después de las aves, los carnívoros fueron también depredadores importantes; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre el promedio de los porcentajes de depredación por carnívoros, roedores y desconocidos (Figura 9). No fue posible determinar el tipo de depredador en ocho de los 80 nidos que fueron depredados, debido a que el nido y/o huevos (de plastilina y codorniz) desaparecieron, lo que no permitió identificar al tipo de depredador.

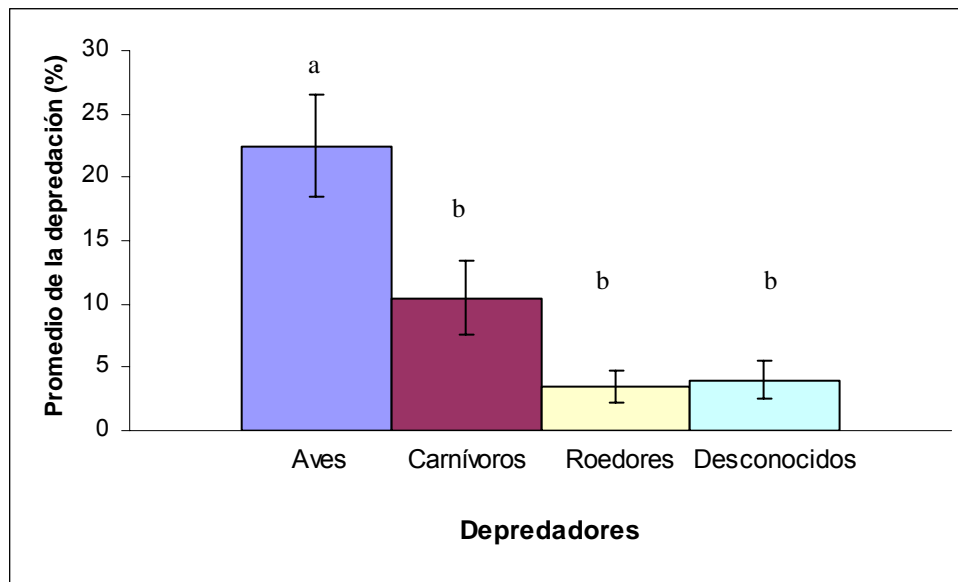


Figura 9. Promedio del porcentaje de depredación total de nidos artificiales por tipo de depredador, en 20 bordes agrícolas del Municipio El Arenal, Hidalgo. Letras diferentes arriba de las barras indican diferencias significativas (Prueba de Tukey, $p<0.05$).

El mayor porcentaje de depredación de los nidos elevados fue ocasionado por aves, seguido por carnívoros y finalmente por roedores. Para los nidos colocados sobre el piso, los carnívoros fueron los depredadores principales, seguidos por las aves y finalmente por los roedores (Figura 10).

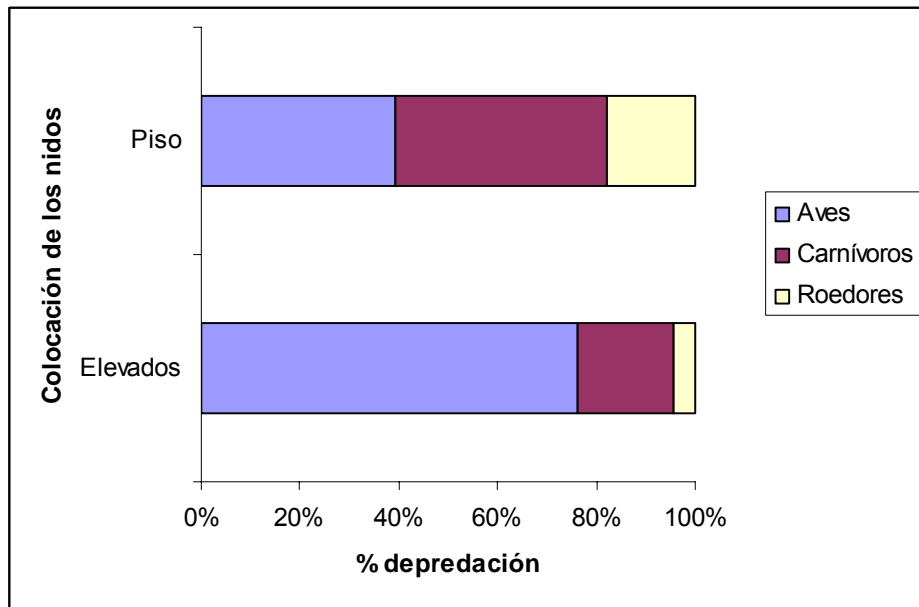


Figura 10. Porcentajes de depredación por tipo de depredador para nidos artificiales colocados sobre el suelo y elevados en 20 bordes agrícolas del Municipio El Arenal, Hidalgo.

Depredación por aves

A escala local, se encontró que la depredación por aves estuvo inversamente relacionada con el volumen del borde, así como por el número de árboles y arbustos (Cuadro IX y figuras 11 y 12).

Cuadro IX. Modelos estadísticamente significativos obtenidos de los análisis de regresión múltiple entre la depredación de nidos por aves y las variables a escala local y del paisaje, en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. Se muestran los valores de R^2 y p . Ver Cuadros I, II y III para las definiciones de las variables.

<i>Variable</i> <i>Y</i>	<i>Modelo</i>	R^2	p
ARCAVE	0.6308-0.0077VOLUM	0.2496	0.0249
DEPAVE	0.4340-0.0023THXTN	0.2320	0.0315
DEPAVE	0.3676+0.0012BORNA1- 0.0031DISTTERR	0.4511	0.0061

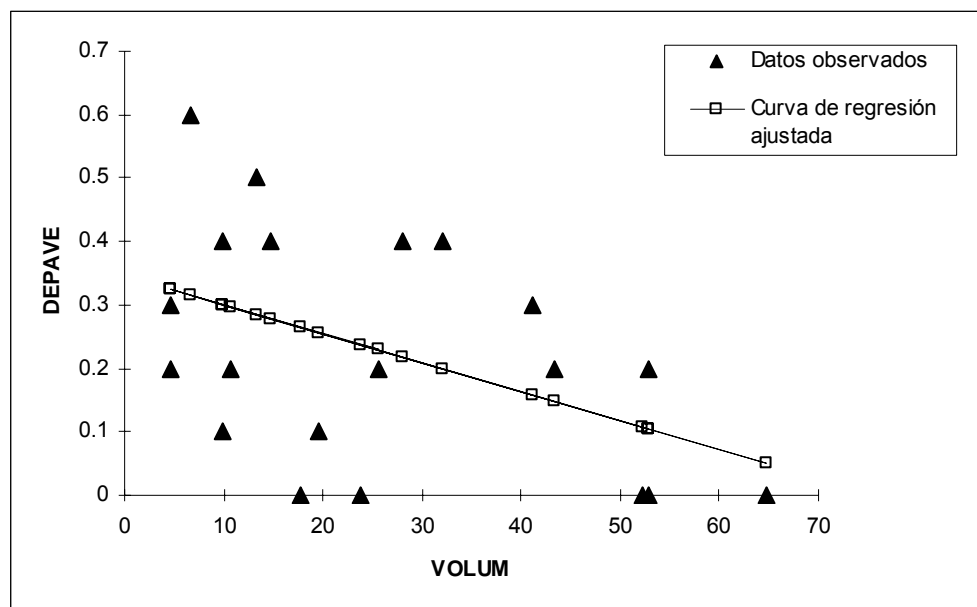


Figura 11. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por aves (DEPAVE) y la variable VOLUM- Índice volumétrico (altura del borde x ancho del borde) en 20 bordes agrícolas, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

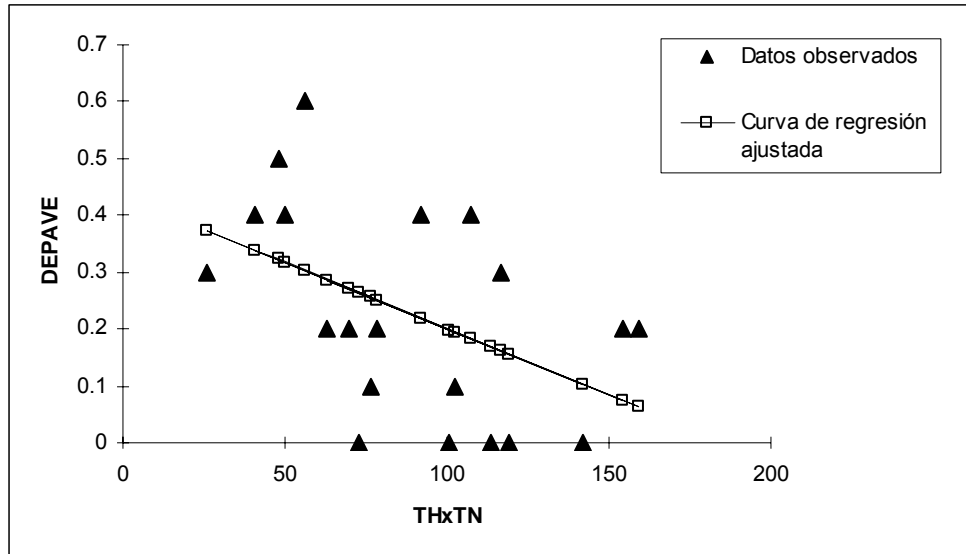


Figura 12. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por aves (DEPAVE) y la variable THxTN (altura de árboles y arbustos x número de los árboles y arbustos), en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

A escala del paisaje se encontró que la depredación por aves aumenta con la longitud de bordes no arbolados en buffers de 100 m y disminuye con la distancia a la terracería (Cuadro IX y Figuras 13 y 14). Para los buffers de 200 m ninguna de las variables fue significativa.

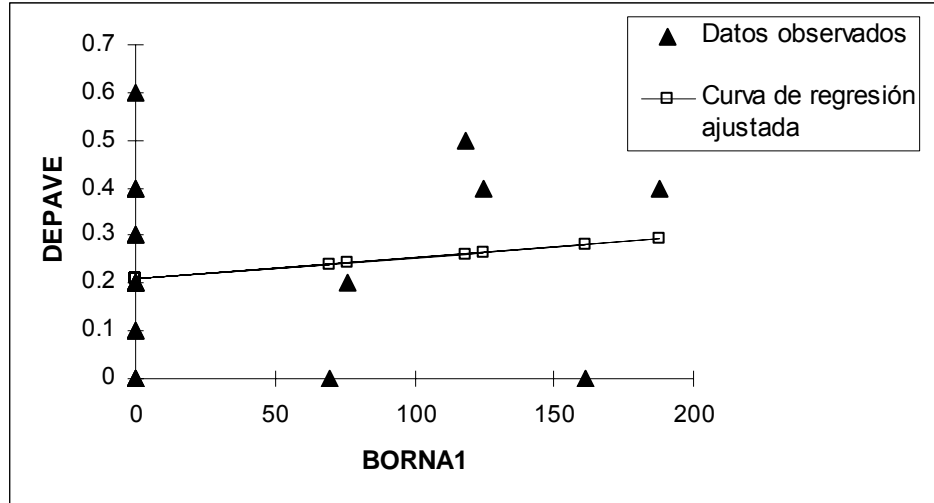


Figura 13. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por aves (DEPAVE) y la longitud total (m) de bordes agrícolas no arbolados dentro de un buffer de 100 m (BORNA1) a partir del trayecto, en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

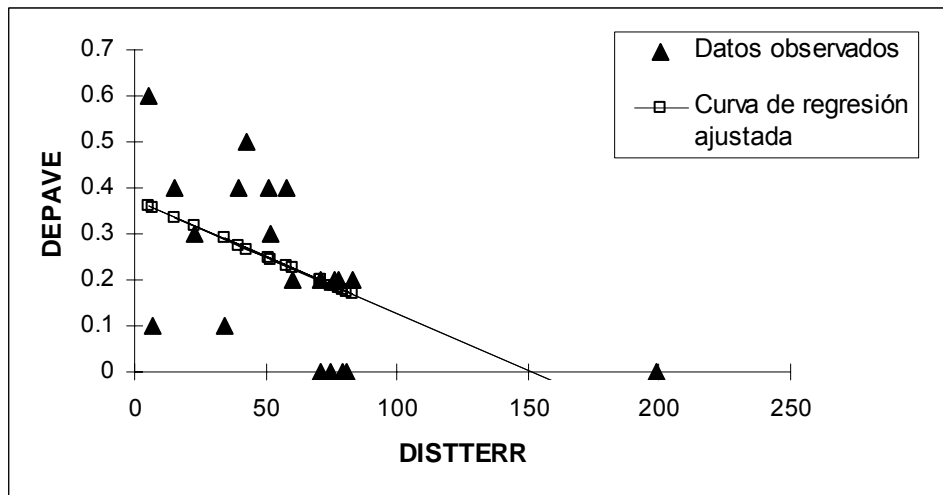


Figura 14. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por aves (DEPAVE) y la distancia (m) al camino de terracería más cercano (DISTTERR), en bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

Depredación por carnívoros

A escala local se encontró que la depredación por carnívoros aumenta conforme se incrementa el tamaño del borde y el número de árboles y arbustos (Cuadro X y figuras 15, 16, 17 y 18). A escala del paisaje no se encontró ninguna relación significativa con las variables analizadas.

Cuadro X. Modelos estadísticamente significativos obtenidos de los análisis de regresión múltiple entre la depredación de nidos por carnívoros y las variables a escala local, en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. Se muestran los valores de R^2 y p. Ver Cuadros I y III para las definiciones de las variables.

Variable Y	Modelo	R²	p
DEPCARN	-0.1269+0.0442ANCHO	0.4737	0.0008
ARCCARN	-0.0008+0.0066TREENO	0.2117	0.0412
ARCCARN	-0.0443+0.0032THXTN	0.2373	0.0294
ARCCARN	0.0173+0.0085VOLUM	0.4108	0.0023

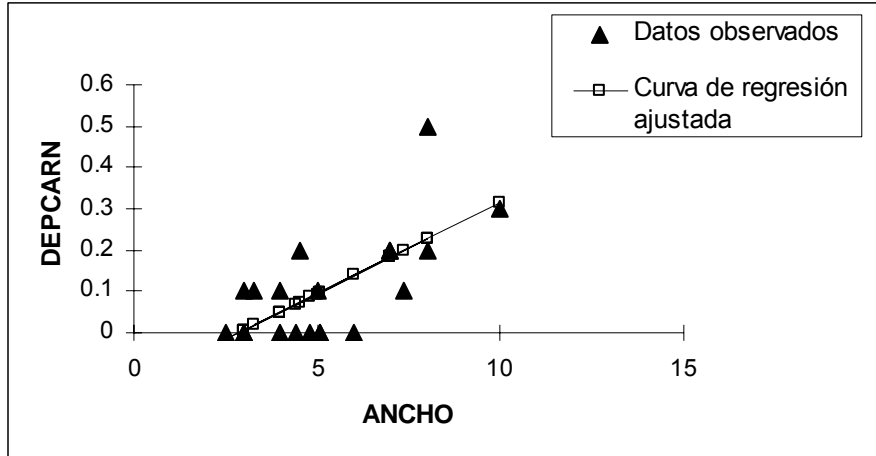


Figura 15. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por carnívoros (DEPCARN) y el ancho (m) del borde agrícola (N=20), en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

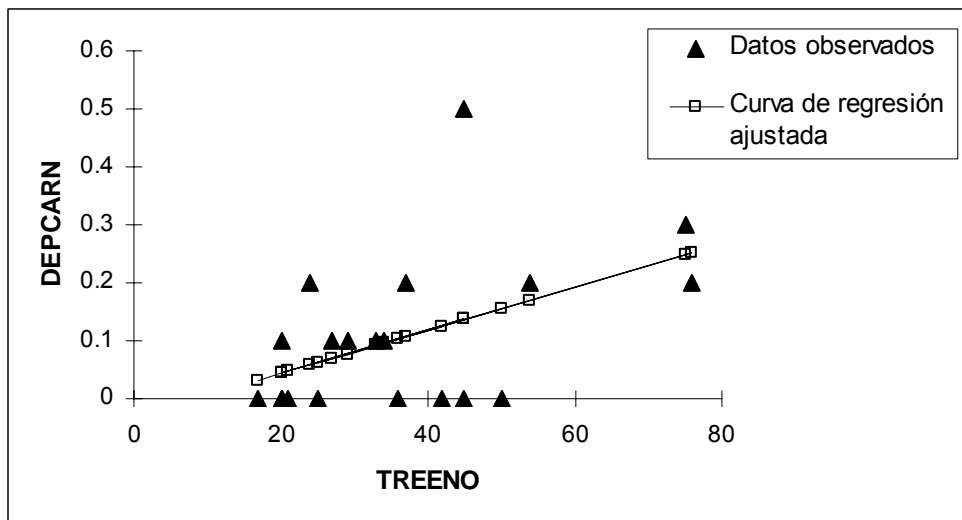


Figura 16. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por carnívoros (DEPCARN) y número de árboles/arbustos (TREENO), en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

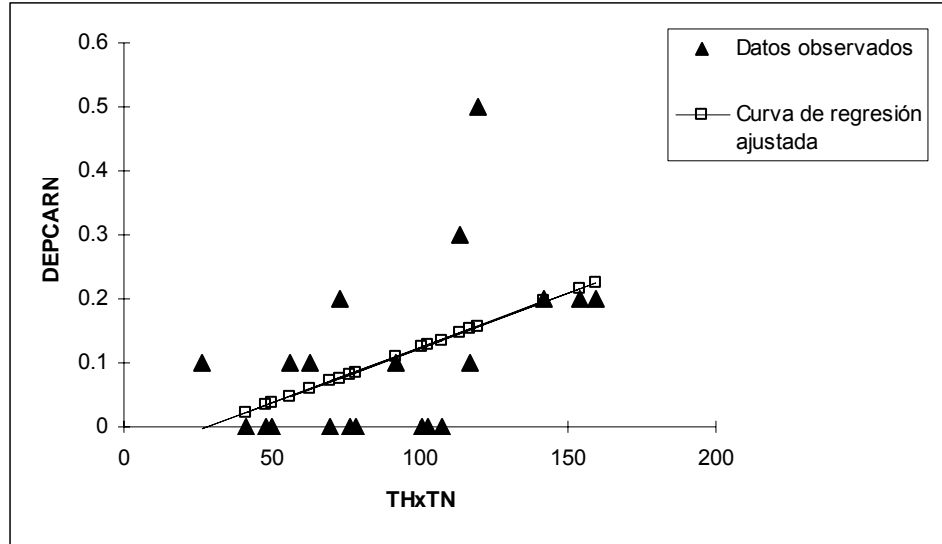


Figura 17. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por carnívoros (DEPCARN) y la variable THxTN (altura x número de los árboles y arbustos), en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

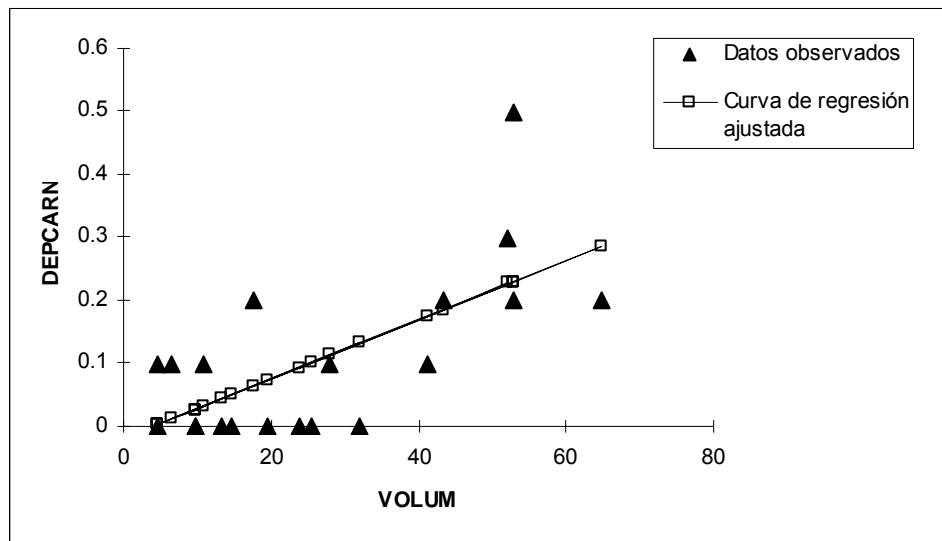


Figura 18. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por carnívoros (DEPCARN) y la variable VOLUM-Índice volumétrico (alto del borde x ancho del borde) en 20 bordes agrícolas, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

Depredación por roedores

A escala del paisaje se encontró que la depredación por roedores aumenta a medida que aumenta la distancia al camino de terracería más cercano y disminuye con la distancia al parche de vegetación natural (cerro) más cercano. El modelo obtenido fue $ARCROE=0.0951-0.0001DISTVN+0.0020DISTTERR$, con una $R^2=0.3885$ ($p<0.0153$) (Figuras 19 y 20). Mientras que a escala local no se encontró ninguna relación significativa.

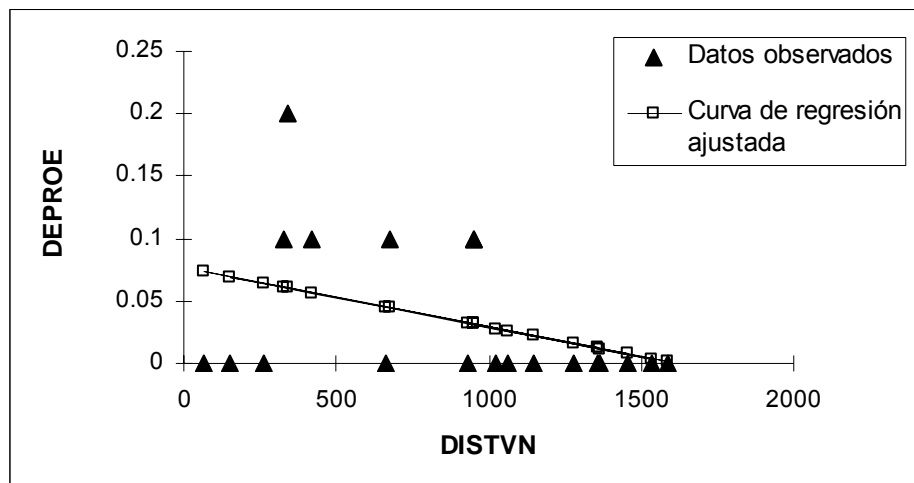


Figura 19. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por roedores (DEPROE) y la distancia (m) al parche de vegetación natural más cercano (cerro) (DISTVN), en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

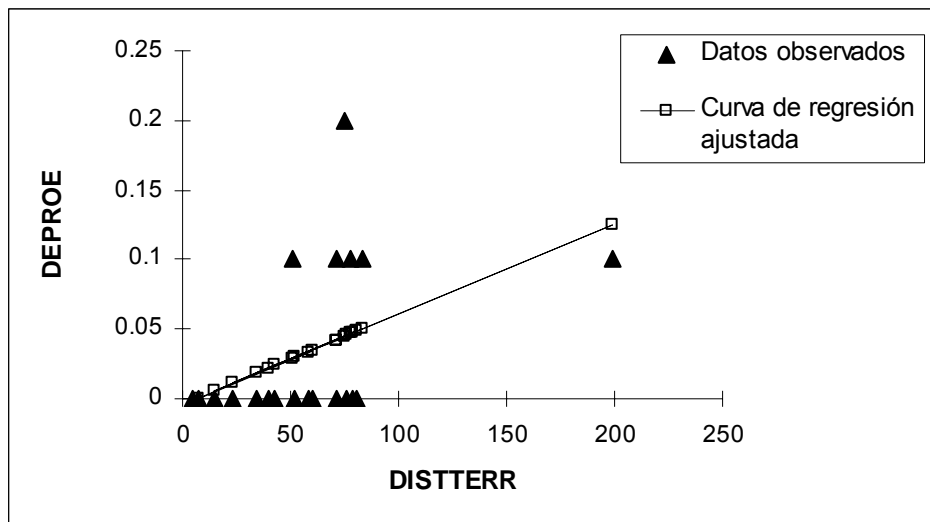


Figura 20. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por roedores (DEPROE) y la distancia (m) al camino de terracería más cercano (DISTTERR), en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

Depredación por mamíferos

Al conjuntar los datos de carnívoros y roedores (mamíferos) se encontró que, a escala local, la depredación aumenta con el tamaño del borde. A escala del paisaje no se encontró ninguna relación significativa (Cuadro XI y Figuras 21 y 22).

Cuadro XI. Modelos estadísticamente significativos obtenidos de los análisis de regresión múltiple entre la depredación de nidos por mamíferos y las variables a escala local y del paisaje, en 20 bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. Se muestran los valores de R^2 y p . Ver en las Cuadros I y III las definiciones de las variables.

Variable Y	Modelo	R^2	p
ARCMAM	$0.0054+0.0034THxTN$	0.2429	0.0273
ARCMAM	$0.0715+0.0091VOLUM$	0.4201	0.0020

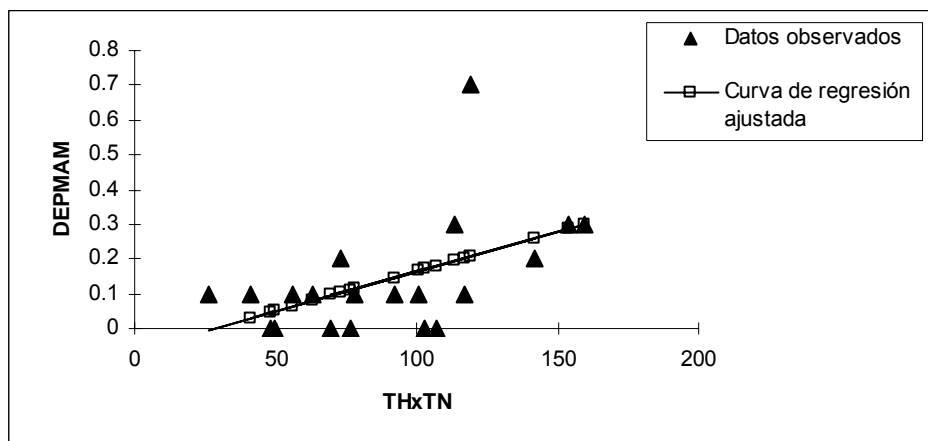


Figura 21. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por mamíferos (DEPMAM) y la variable THxTN (altura de árboles y arbustos x número de árboles y arbustos) en 20 bordes agrícolas, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

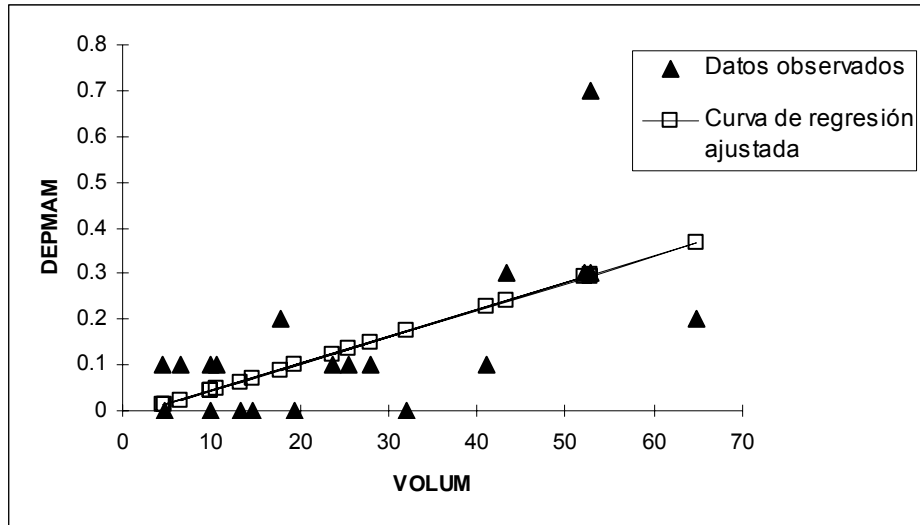


Figura 22. Gráfico de regresión que muestra la relación entre el porcentaje de depredación por mamíferos (DEPMAM) y la variable VOLUM-Índice volumétrico (altura del borde x ancho del borde) en 20 bordes agrícolas, en el Municipio de El Arenal, Hidalgo. La gráfica fue construida utilizando un análisis de regresión simple para mostrar la tendencia de los datos.

VI. DISCUSIÓN

Paisaje agro-urbano y bordes agrícolas en el Municipio de El Arenal

El paisaje agro-urbano seleccionado puede considerarse como un paisaje agrícola representativo de muchas regiones del centro de México. En general, estos paisajes están constituidos principalmente por áreas de cultivo, bordes agrícolas con y sin árboles, remanentes de vegetación natural, así como áreas con casas, caminos y otras edificaciones humanas. En El Arenal, los bordes agrícolas con árboles y arbustos se presentaron con una densidad de 61.9 m/ha en promedio; sin embargo, en algunas zonas, la densidad llega a ser mucho mayor (hasta 166 m/ha). Estos datos son comparables con otros paisajes agrícolas presentes en nuestro país, por ejemplo Zuria y Gates (2006) reportan una densidad de 80 m/ha de bordes agrícolas para ciertas regiones de un paisaje agrícola en el estado de Guanajuato. Estas altas densidades también son comparables con paisajes agrícolas de Inglaterra; por ejemplo, se han reportado densidades de bordes que van desde 57.1 m/ha hasta 89.6 m/ha en zonas agrícolas y pastizales (Pollard *et al.*, 1974; Helps, 1994). La densidad y diversidad de bordes agrícolas en una región puede ser muy importante, porque estas estructuras funcionan como hábitat para muchas especies de flora y fauna silvestre (Sparks *et al.*, 1996; Marshall y Moonen, 2002). Se ha sugerido que una densidad de bordes agrícolas de 60 a 80 m/ha es recomendable para mantener una alta diversidad de aves (Lack, 1992). El paisaje agro-urbano de El Arenal puede considerarse como un mosaico de parcelas, bordes agrícolas y otros hábitats semi-naturales, infraestructura humana y ocasionalmente zonas cubiertas por vegetación nativa o parches de matorral xerófilo,

los cuales proporcionan refugio a diversas especies, incluyendo a los depredadores de nidos de aves.

Los bordes agrícolas en El Arenal están compuestos, principalmente, por plantas nativas como los magueyes, nopales y mezquites, de los cuales los agricultores de la región obtienen diversos productos y beneficios (Cuadro V). Se ha reportado una composición florística diferente para otros paisajes agrícolas del centro de México, por ejemplo, Zuria y Gates (2006) reportan como especie dominante de los bordes del Bajío al pirul, seguido por el mezquite y diversos árboles frutales. El pirul que es una planta introducida proveniente de Perú, no es tan abundante en el paisaje agro-urbano de El Arenal, probablemente porque en el área de estudio la agricultura es principalmente de temporal, a diferencia del paisaje descrito por Zuria y Gates (2006), que presenta primordialmente agricultura de riego. A pesar de no ser tan abundante en el Arenal, el pirul es abundante en otras regiones de Hidalgo y presenta usos muy diversos (Cuadro V).

Aún no se conoce la diversidad de flora y fauna silvestre que albergan los bordes agrícolas en el estado de Hidalgo; sin embargo, es probable que sean un refugio importante para muchas especies nativas, sobre todo por la composición florística que presentan (i.e., incluyen muchas especies de plantas nativas presentes en la vegetación natural de la zona). Los bordes agrícolas también funcionan como hábitat de invierno para muchas aves migratorias (Zuria, 2003), y podrían estar funcionando como corredores entre parches de vegetación natural. Además, los bordes agrícolas proveen muchos otros servicios sociales y ecológicos. Por ejemplo, delimitan propiedades y evitan conflictos entre vecinos, proveen protección a las cosechas, previenen la erosión del suelo, sirven como refugio para los enemigos naturales de las cultivos si son

manejados adecuadamente (e.g., si se mantiene una composición florística adecuada que atraiga a los depredadores de plagas), proveen muchos productos a los agricultores y pueden funcionar como refugio y corredores para muchas especies de flora y fauna silvestre (Fry, 1994; Marshal y Moonen, 2002; Zuria y Gates, 2006). Debido a la alta densidad de bordes agrícolas en El Arenal, a su composición florística, a su potencial como refugio de flora y fauna silvestre, y a los servicios que proporcionan a los agricultores, resulta necesario protegerlos y concientizar a la población de su importancia para evitar que sigan desapareciendo.

Patrones de depredación

La depredación de nidos es una de las causas principales del fracaso reproductivo para muchas especies de aves, sobre todo en paisajes modificados por las actividades agrícolas y urbanas (Robinson *et al.*, 1995; Bayne y Hobson, 1997b; Hannon y Cotterill, 1998; Melampy *et al.*, 1999). En paisajes agrícolas y urbanos se han observado índices altos de depredación cuando se comparan con áreas continuas de bosque, y esto podría deberse al mayor número de depredadores presentes en estas zonas (Bayne y Hobson, 1997a, 1997b, Hannon y Cotterill, 1998; Melampy *et al.*, 1999). Sin embargo, otros autores han observado mayores índices de depredación en hábitats naturales que en zonas perturbadas, donde el ser humano ha reducido el número de depredadores (Snow y Mayer-Gross, 1967). Las diferencias en los resultados deben estar relacionadas con características específicas del área de estudio como se discutirá más adelante.

La depredación en el paisaje agro-urbano de El Arenal fue de menos del 50% del total de nidos colocados, similar a lo encontrado por otros autores como Gering y Blair

(1999), quienes estudiaron la influencia de la urbanización en la depredación de nidos artificiales en un gradiente urbano en Inglaterra; Nour *et al.* (1993), que estudiaron la depredación de nidos artificiales en fragmentos de bosque en una matriz agrícola en Bélgica; y Zuria *et al.* (en prensa), quienes encontraron índices de depredación de nidos artificiales de entre el 50 y 60% en bordes agrícolas y vegetación natural de un paisaje agrícola del centro de México. Otros autores han encontrado índices de depredación total mayores, por ejemplo, Zanette y Jenkins (2000) observaron un 84% de depredación total cuando estudiaron la depredación de nidos artificiales en fragmentos de bosque en una matriz agrícola en Australia. Las diferencias en los índices totales de depredación en diferentes paisajes pueden deberse a muchos factores, por ejemplo, la estructura y disposición de los elementos del paisaje (Gibbs, 1991), la comunidad de depredadores presentes (Picman, 1988; Ratti y Reese, 1988), o la disponibilidad de recursos.

En el paisaje agro-urbano de El Arenal, los nidos artificiales colocados sobre árboles o arbustos (nidos elevados) presentaron un mayor porcentaje de depredación que los nidos colocados sobre el suelo. Estos resultados concuerdan con otros estudios sobre depredación de nidos artificiales (Yahner y Scout, 1988; Yahner *et al.*, 1989; Santos y Telleria, 1991; Rudnicky y Hunter, 1993; Reitsma y Whelan, 2000; Zuria *et al.*, en prensa). En general, los nidos colocados sobre el suelo están cubiertos por vegetación más densa y se encuentran mejor escondidos que los nidos elevados, por lo que son más difíciles de localizar por los depredadores. En este trabajo, los principales depredadores de nidos elevados fueron las aves, quienes pueden localizar más fácilmente este tipo de nido al volar sobre los bordes o perchar en árboles del borde (Bayne y Hobson, 1997a; Zuria *et al.*, en prensa). Los nidos colocados sobre el suelo

fueron depredados principalmente por mamíferos (carnívoros y roedores), quienes pasan la mayor parte del tiempo buscando alimento sobre el suelo (Bayne y Hobson, 1997a; Hannon y Cotterill, 1998; Zuria *et al.*, en prensa), aunque también pueden depredar nidos localizados en árboles o arbustos (Graves *et al.*, 1988).

A escala local no se encontró ninguna relación entre la depredación total y las variables analizadas. Esto pudo deberse a que los bordes fueron bastante semejantes entre sí en cuanto a su complejidad estructural, es decir, todos los bordes seleccionados tuvieron tres estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo). Por otro lado, la depredación total incluyó a todos los depredadores juntos, quienes exhibieron índices de depredación diferenciales, por ejemplo, la depredación por aves fue menor en bordes más grandes, mientras que la depredación por carnívoros fue mayor en estos bordes. Esto pudo ocasionar que los efectos se neutralizaran.

A escala del paisaje, se observó que la depredación total aumenta en zonas cercanas a las áreas cubiertas con vegetación natural. Es probable que estas áreas funcionen como refugios para muchos depredadores de nidos (Gering y Blair, 1999; Zuria *et al.*, en prensa). Sin embargo, también se ha observado lo contrario en otros estudios, es decir, se han observado mayores índices de depredación en zonas más urbanizadas (Beissinger y Osborn, 1982; Jokimaki y Huta, 2000; Thorington y Bowman, 2003). Las diferencias en patrones de depredación en diferentes áreas pueden deberse, como ya se mencionó, a diversos factores como 1) la estructura y disposición de los elementos del paisaje (Gibbs, 1991), 2) la identidad y la composición de la comunidad de depredadores (Picman, 1988; Ratti y Reese, 1988), y 3) la disponibilidad de recursos para los depredadores que puede estar relacionada con los tiempos de cosecha y las prácticas agrícolas.

Al analizar los patrones por tipo de depredador se observó que las aves fueron los principales depredadores en el paisaje agro-urbano de El Arenal. El mismo patrón se ha encontrado en otros paisajes fragmentados (Nour *et al.*, 1993; Danielson *et al.*, 1997; Zanette y Jenkins, 2000), así como en paisajes urbanizados (Danielson *et al.*, 1997; Thorington y Bowman, 2003). También se ha visto que los paisajes con muchos bordes, como el caso de El Arenal, poseen una alta abundancia de aves (Constant *et al.*, 1976 en Baudry, 1988). A escala local, la depredación por aves estuvo inversamente relacionada con el volumen del borde, y el número de árboles y arbustos, es decir, las aves prefieren realizar sus actividades de forrajeo (depredación) en bordes más pequeños y con menor volumen de vegetación, porque son depredadores visuales (Ratti y Reese, 1988) y en estos bordes pueden localizar mejor su alimento. A escala del paisaje, la depredación por aves aumentó con la longitud de los bordes no arbolados en los buffers de 100 m, es decir, las aves eligen áreas con menor densidad de vegetación para forrajear y parecen también elegir áreas cercanas a los caminos de terracería, que generalmente están relacionados con áreas abiertas. Aún cuando no se tiene la certeza de cuáles son las especies de aves depredadoras de nidos en la zona, las observaciones realizadas indican que especies como *Quiscalus mexicanus* y otros tordos pudieran ser responsables de gran parte de la depredación. Estas aves son abundantes en áreas abiertas, se alimentan en zonas agrícolas y utilizan los árboles de los bordes para perchar. Otra especie que pudiera haber depredado algunos de los nidos artificiales es *Camphylorhynchus bruneicapillus* que, aunque no se ha reportado como depredadora de nidos (cita de Birds of North America), fue observada frecuentemente anidando y forrajeando en la mayoría de los bordes estudiados.

Para carnívoros se encontró que, a escala local, la depredación estuvo directamente relacionada con el incremento del volumen del borde, y la altura y número de árboles y arbustos. Bordes más grandes y densos podrían favorecer las actividades de forrajeo de los carnívoros, debido a que los hábitat complejos les sirven de protección y refugio cuando se desplazan y se alimentan (Yahner y Cypher, 1987; Zuria *et al.*, en prensa). A escala del paisaje no se encontró ninguna relación significativa con las variables analizadas. Resultados similares fueron obtenidos por Haskell *et al.*, (2001) quienes investigaron la abundancia de depredadores a través de un gradiente urbano en Tennessee, E.E.U.U. para lo cual utilizaron nidos artificiales, cámaras-trampa y huellas. Estos autores encontraron que la urbanización no afectó la depredación de nidos artificiales, aunque la abundancia de algunos carnívoros era elevada en estas zonas. Los autores concluyen que esta alta abundancia pudo deberse a la alta disponibilidad de recursos alimenticios en zonas urbanas, lo que puede cambiar el comportamiento de forrajeo de los carnívoros, ya que estarían buscando estas fuentes alternativas de alimento, dando como resultado índices bajos de depredación de nidos.

En el paisaje agro-urbano de El Arenal los porcentajes más bajos de depredación fueron ocasionados por roedores. Otros autores, como DeGraaf *et al.* (1999), han encontrado patrones opuestos, y se ha observado que en algunos sitios los roedores pueden ser los depredadores más importantes de huevos pequeños. Aun cuando no se estudió la abundancia de roedores en la zona, es posible que los roedores pequeños no sean tan abundantes, ya que son depredados por carnívoros abundantes en la zona, entre ellos perros y gatos. En El Arenal, la depredación por roedores y las variables locales no estuvieron relacionadas significativamente. A escala del paisaje, la depredación aumentó en zonas más cercanas a la vegetación natural y en bordes que

estuvieron lejos de los caminos. Los roedores podrían estar utilizando los parches de vegetación nativa como refugio y evitando los caminos que muchos depredadores medianos utilizan como corredores. Otros autores (e.g., Nupp y Swihart, 1996; Haskell *et al.*, 2001) han encontrado mayor abundancia de roedores en bosques fragmentados y áreas urbanas. Es difícil encontrar una regla general que explique la depredación en relación a la fragmentación del hábitat. Es importante entender que el efecto de la variación en las características del hábitat, varía de un área a otra y de un estudio a otro (Matessi y Bogliani, 1999).

Al analizar los datos de mamíferos, se observó que la depredación a escala local incrementó con el volumen del borde y el número de árboles y arbustos, el mismo patrón observado para carnívoros. La vegetación de los bordes con mayor volumen podría servir a los mamíferos pequeños y medianos para ocultarse de sus depredadores. A escala del paisaje no se encontró ninguna relación significativa entre la depredación por mamíferos y las variables analizadas.

Para el análisis de los datos, se emplearon regresiones lineales múltiples debido a que permiten crear modelos donde se seleccionan las variables de respuesta que explican parte de la variación en los datos. Este tipo de análisis presenta ciertas limitaciones, como el que los datos deben ser normales y que si se incluyen dentro del mismo modelo variables independientes que estén estrechamente relacionadas se presenta el problema de multicolinealidad (Kleinbaum *et al.*, 1998). También que al incluir demasiadas variables pueden obtenerse resultados poco apegados a la realidad, es decir, que por azar algunas variables pueden salir significativas sin serlo. En los análisis realizados en este trabajo se tomaron en cuenta estas limitaciones, tratando de incluir como modelos finales aquéllos que tuvieran significado biológico.

En este trabajo no se analizaron los patrones de abundancia y distribución de depredadores y no existen estudios previos para la zona. Sería conveniente conocer con precisión las especies de depredadores que habitan en El Arenal, así como su distribución y abundancia, para entender mejor los patrones observados en este estudio. Es necesario realizar también estudios de biología reproductiva de aves en la zona. Los bordes agrícolas pueden ser un sitio de anidación importante para muchas especies de aves que habitan zonas agrícolas, pero al mismo tiempo podrían estar funcionando como trampas ecológicas (Gates y Gysel, 1978; Zuria *et al.*, en prensa). Como se vio en este trabajo, tanto las variables locales como las variables de urbanización a escala del paisaje influyen en los patrones de depredación y distintos depredadores responden de manera diferente a estas variables.

VII. CONCLUSIONES

- La depredación de nidos artificiales en los bordes agrícolas de El Arenal, en el estado de Hidalgo, fue de menos del 50%, similar a lo encontrado en otros paisajes agrícolas de México y el mundo. Las características del borde y los elementos del paisaje influyen en los patrones de depredación y pueden estar afectando o cubriendo los requerimientos de cada tipo de depredador. Las aves fueron los principales depredadores en este paisaje, seguidas por los carnívoros y finalmente por los roedores.
- El paisaje agrícola de El Arenal presenta una alta densidad de bordes agrícolas, los cuales podrían estar funcionando como refugio importante para muchas especies de flora y fauna nativas de la región. Los bordes agrícolas en esta zona están compuestos principalmente por plantas nativas como magueyes, nopales y mezquites, de los cuales los agricultores de la región obtienen diversos productos y beneficios.
- A escala local no se encontró ninguna relación entre la depredación total y las variables analizadas. A escala del paisaje se observó que la depredación total aumenta en zonas cercanas a áreas cubiertas con vegetación nativa.
- La depredación por aves estuvo inversamente relacionada con el volumen del borde y el número de árboles y arbustos. A escala del paisaje se observó que la depredación por aves aumentó con la longitud de los bordes no arbolados en los buffers de 100 m. Para carnívoros, se encontró que la depredación estuvo directamente relacionada con el incremento del volumen del borde, y la altura y número de árboles y arbustos; y a escala del paisaje, no se encontró ninguna

relación significativa con las variables analizadas. La depredación por roedores y las variables locales no estuvieron relacionadas significativamente, pero a escala del paisaje se encontró que la depredación por roedores aumentó en zonas más cercanas a la vegetación natural y en bordes que estuvieron lejos de los caminos.

- Los bordes agrícolas son muy importantes para la conservación de muchas especies de flora y fauna; además, de que proporcionan muchos servicios a los agricultores de la región. Por lo tanto, resulta necesario estudiar los patrones y procesos relacionados con estas estructuras, así como protegerlas y concientizar a la población de su importancia. Se requieren también más estudios sobre la distribución y abundancia de depredadores en la región, así como estudios sobre la biología reproductiva de las aves de la región.

LITERATURA CITADA

- Angelstam, P. 1986. Predation on ground- nesting birds nest in relation to predator densities and habitat edge. *Oikos* 47: 365-373.
- Baudry, J. 1988. Hedgerows and hedgerow networks as wildlife habitat in agricultural landscape. En Park, J. R. (Ed.) *Environmental management in agriculture. European perspectives*. Belhaven Press, Londres.
- Bayne E. y Hobson, K. A. 1997a. Comparing the effects of landscape fragmentation by forestry and agriculture on predation of artificial nests. *Conservation Biology* 11: 1418- 1429.
- Bayne, E. y Hobson, K. A. 1997b. Temporal patterns of predation on artificial nest in the southern boreal forest. *Journal of Wildlife Management* 61:1227-1234.
- Beissinger, S. R. y Osborne, D. R. 1982. Effects urbanization on avian community organization. *Condor* 84:75-83.
- Blair, R. 2004. The effect of urban sprawl on birds at multiple levels of biological organization. *Ecology and Society* 9:1-21.
- Buler, J. J. y Hamilton, R. B. 2000. Predation of natural and artificial nests in a southern pine forest. *The Auk* 117:739-747.
- Burel, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 15:169-190.
- Ceballos, G. G. y Galindo L. C. 1994. *Mamíferos silvestres de la Cuenca de México*. Ed. LIMUSA. México, D. F. 269 p.

- Ceballos, G. G. y Oliva, G. 2005. Los mamíferos silvestres de México. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de Cultura Económica. México. 850p.
- Cueto, V. R. y Mezquida, E. T. 2001. Un equipo electromecánico económico para identificar depredadores de huevos en nidos artificiales. *Hornero* 16: 71-75.
- Danielson, W. R., DeGraaf, R. M. y Fuller, T. K. 1997. Rural and suburban forest edges: effect on egg predators and nest predation rates. *Landscape and Urban Planning*. 38: 25-36.
- DeGraff, R. M., Miller, T. J. y Fuller, T. K. 1999. Predation of small eggs in artificial nests: of nest position, edge, and potential predator abundance in extensive forest. *Wilson Bulletin* 111: 236-242.
- Esler, D. y Grand, J. B. 1993. Factors influencing depredation of artificial duck nests. *Journal of Wildlife Management* 57:244-248.
- Fernández-Juricic, E. 2000. Avifaunal use of wooded streets in an urban landscape. *Conservation Biology* 14:513-521.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions.* Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.
- Fry, G. L. A. 1994. The role of field margins in the landscape. En Boatman, N. D. (Ed.). *Field margins: integrating agriculture and conservation.* BCPC Monograph No. 58, British Crop Protection Council, Farnham, Reino Unido.
- Gates, J. E. y Gysel, L. W. 1978. Avian nest dispersion and fledging success in field-forest ecotones. *Ecology* 59:871-883.

- Gering, J. C. y Blair, R. B. 1999. Predation on artificial bird nests along an urban gradient: predatory risk or relaxation in urban environments? *Ecography* 22: 532-541.
- Gibbs, J. P. 1991. Avian nest predation in tropical wet forest: an experimental study. *Oikos* 60: 155-161.
- Graves, S., Maldonado, J. y J.O. Wolff. 1988. Use of ground and arboreal microhabitats by *Peromyscus leucopus* and *Peromyscus maniculatus*. *Canadian Journal of Zoology* 66: 277-278.
- Hannon, S. J. y Cotterill, S. E. 1998. Nest predation in aspen woodlots in and agricultural area in Alberta: the enemy from within. *The Auk* 115:16-25.
- Haskell, D. G., Knupp, A. M. y Schneider, M. C. 2001. Nest predator abundance and urbanization. 243-258 p. En Marzluff, J. M., Bowman, R. y Donnelly, R. (Eds). *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*. Klumwer Academia. USA.
- Helps, M. B. 1994. Field margins-an agricultural perspective. 21-30 p. En Boatman, N. D. (Ed.). *Field margins: integrating agriculture and conservation*. BCPC Monograph No. 58, British Crop Protection Council, Farnham, Reino Unido.
- INEGI. 2002. Cuaderno Estadístico Municipal. Municipio El Arenal. INEGI. México
- INEGI. 2004. Anuario estadístico del Estado de Hidalgo. INEGI, México.
- Jokimäki, J. y Huhta, E. 2000. Artificial nest predation and abundance of birds along an urban gradient. *Condor* 102: 838-847.
- Kleinbaum, D. G., Kupper, L. L., Muller, K. E. y Nizam, A. 1998. *Applied Regression Analysis and Multivariable Methods*. 3^{ra} Ed. Duxbury Press, New York, New York, USA

- Kuitunen, M., Rossi, E. y Stenroos, A. 1998. Do highways influence density of land birds? *Environmental Management* 22:297-302.
- Lack, P. 1992. *Birds on Lowland Farms*. Her Majesty's Stationery Office, Londres, Reino Unido.
- Lariviere, S. 1999. Reasons why predators cannot be inferred from nest remains. *Condor* 101:718-721.
- Maier, T. J. y DeGraaf, R. M. 2000. Predation on Japanese quail vs. house sparrow eggs in artificial nests: small eggs reveal small predators. *Condor* 102:325-332.
- Major, R. E. y Kendal, C. E. 1996. The contribution of artificial nest experiments to understanding avian reproductive success: a review of methods and conclusions. *Ibis* 138:298-307.
- Marini, M. A. y Melo, C. 1998. Predators of quail eggs, and the evidence of the remains: implications for nest predation studies. *Condor* 100:395-399.
- Marshall, E. J. P. y Moonen, A. C. 2002. Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89:5-21.
- Martin, T. E. 1988. On the advantage of being different: nest predation and the coexistence of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 85:2196-2199.
- Martin, T. E. 1993. Nest predation and nest sites. New perspectives on old patterns. *BioScience* 43:523-532.
- Martin, T. E. 1995. Avian life history evolution in relation to nest sites, nest predation, and food. *Ecological Monographs*. 65:101-127.

- Marzluff, J. M., Gehlbach, F. R. y Manuwal, D. A. 1998. Urban environments: influences on avifauna and challenges for the avian conservationist. 283-299 p. En Marzluff, J. M. y Sallabanks, R. (Eds.) Avian Conservation. Research and Management. Island Press. USA.
- Matessi, G. y Bogliani, G. 1999. Effects of nest features and surrounding landscape on predation rates of artificial nests. *Bird Study* 46:184-194.
- McIntyre, N. E., Knowles-Yáñez, K. y Hope, D. 2000. Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of "urban" between the social and natural sciences. *Urban Ecosystems* 4:5-24.
- Melampy, M. N., Kershner, E. L. y Jones, M.A. 1999. Nest predation in suburban and rural woodlots of northern Ohio. *American Midland Naturalist* 141: 284-292.
- Morrison, M.L., Marcot, B.G. & Mannan, R.W. 1998. Wildlife-habitat relationships: concepts and applications. 2^{da} ed. University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, USA.
- Nour, N., Matthysen, E. y Dhondt, A. A. 1993. Artificial nest predation and habitat fragmentation: different trends in bird and mammal predators. *Ecography* 16: 111-116.
- Nupp, T. E. y Swihart, R. K. 1996. Effect of forest patch area on population attributes of white-footed mice (*Peromyscus leucopus*) in fragmented landscapes. *Canadian Journal of Zoology* 74:467-472.
- Ortega, C. P., Ortega, J. C., Rapp, C. A. y Backensto, S. A. 1998. Validating the use of artificial nests in predation experiments. *Journal of Wildlife Management* 62:925-932.

- Pérez, V. R. 2003. Household intensification and agrarian states: excavation of houses and terraced fields in a Mixtec cacicazgo. Tesis doctoral. Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies, Inc.
- Pérez Escandón, B. E., Villavicencio, N. M. A. y Ramírez, A. A. 2003. Lista de las plantas útiles del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Centro de Investigaciones Biológicas. 122p.
- Picman, J. 1988. Experimental study of predation on eggs of ground-nesting birds: effects of habitat and nest distribution. *Condor* 90: 124-131.
- Pollard, E., Hooper, M. D. y Moore, N. W. 1974. *Hedges*. Taplinger Publishing Company, New York, NY. USA.
- Rangen, S. A., Clark, R. G. y Hobson, K. A. 2000. Visual and olfactory attributes of artificial nests. *The Auk* 117:136-146.
- Ratti, J. T. y K. R. Reese. 1988. Preliminary test of the ecological trap hypothesis. *Journal of Wildlife Management* 52: 484-491.
- Reitsma, L. R. y Whelan, C. J. 2000. Does vertical partitioning of nest sites decrease nest predation? *Auk* 117: 409-415.
- Robinson, S. K., Thompson, F. R., Donovan, T. M., Whitehead, D. R. y Faaborg, J. 1995. Regional forest fragmentation and the nesting success of migratory birds. *Science* 267: 1987-1990.
- Rottenborn, S. C. 1999. Predicting the impacts of urbanization on riparian bird communities. *Biological Conservation* 88:289-299.
- Rudnick, T. C. y M. L. Hunter. 1993. Avian nest predation in clearcuts, forests, and edges in a forest-dominated landscape. *Journal of Wildlife Management* 57: 358-364.

- Santos, T. y Telleria, J. L. 1991. Effects of leafing and position on nest predation in a Mediterranean fragmented forest. *Wilson Bulletin* 103: 676-682
- Snow, D. W. y Mayer-Gross, H. 1967. Farmland as nesting habitat. *Bird Study* 14: 43-52.
- Sokal, R. R. y Rohlf, J. 1995. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research (Hardcover)*. 3^{ra} ed. W. H. Freeman and Company, New York, New York. 887 pp.
- Sparks, T. H., Parish, T. y Hinsley, S. A. 1996. Breeding birds in field boundaries in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60:1-8.
- Thorington, K. K. y Bowman, R. 2003. Predation rate on artificial nests increases with human housing density in suburban habitats. *Ecography* 26: 188-196.
- Watson, D. M. 2003. Long-term consequences of habitat fragmentation highland birds In Oaxaca, Mexico. *Biological Conservation* 111:283–303.
- Wiens, J.A. 1989. *The ecology of bird communities, Vol. 2. Processes and variations*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Wilcove, D. S. 1985. Nest predation in forest tracts and the decline of migratory songbirds. *Ecology* 66:1211-1214
- Willebrand, T. y Marcström, V. 1988. On the danger of using dummy nests to study predation. *Auk* 105: 378-379.
- Willson, M. F., Morrison, J. L., Sieving, K. E., De Santo, T. L., Santisteban, L. y Díaz, I. 2001. Patterns of predation risk and survival of bird nests in a Chilean agricultural landscape. *Conservation Biology* 15:447-456.

- Wilson, G. R., Brittingha, M.C. y Goodrich, L. J. 1998. How well do artificial nests estimate success of real nest? *Condor* 100:357-364.
- Yahner, R. H. y Cypher, B.L. 1987. Effects of nest location on depredation of artificial arboreal nests. *Journal of Wildlife Management* 51: 178-181.
- Yahner, R. H. y Scott, D. P. 1988. Effects of forest fragmentation on depredation of artificial nests. *Journal of Wildlife Management* 52: 158-161.
- Yahner, R. H., Morrell, T. E. y Rachael, J. S. 1989. Effects of edge contrast on depredation of artificial avian nests. *Journal of Wildlife Management* 53:1135-1138.
- Zanette, L. 2002. What do artificial nests tells us about nest predation? *Biological Conservation* 103: 323-329.
- Zanette, L. y Jenkins, B. 2000. Nesting success and nest predators in forest fragments: a study using real and artificial nests. *The Auk* 117:445-454.
- Zipperer, W. C., Wu, J., Pouyat, R. V. y Pickett, S. T. A. 2000. The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes. *Ecological Applications* 10:685-688.
- Zuria, I. 2003. Birds and field margins in an agricultural landscape of Guanajuato, Mexico. Ph. D. Dissertation, University of Maryland, College Park, USA.
- Zuria, I. y Gates, J. E. 2006. Vegetated field margins in México: Their history, structure and function and management. *Human Ecology* 34:53-77.
- Zuria, I., Gates, J. E. y Castellanos, I. En prensa. Artificial nest predation in hedgerows and scrub forest in a human-dominated landscape of central Mexico. *Acta Oecologica*.