



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Instituto de Biología

Selección de microhábitat de *Ambystoma
mexicanum* en los refugios construidos para
su conservación

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

SARAH CRISTINA AYALA AZCARRAGA

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. LAURA ROXANA TORRES AVILÉS
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

DR. JOSE JAIME ZÚÑIGA VEGA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE, 2012



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.

Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM

Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 30 de julio de 2012, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** de la alumna **AYALA AZCÁRRAGA SARAH CRISTINA** con número de cuenta 300340239 con la tesis titulada "**SELECCIÓN DE MICROHÁBITAT DE *Ambystoma mexicanum* EN LOS REFUGIOS CONSTRUIDOS PARA SU CONSERVACIÓN**", realizada bajo la dirección del **DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ**:

Presidente: DRA. GABRIELA PARRA OLEA
Vocal: DR. JOSÉ JAIME ZUÑIGA VEGA
Secretario: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MEYER
Suplente: DRA. GUILLERMINA ALCARAZ ZUBELDIA
Suplente: DRA. LAURA ROXANA TORRES AVILÉS

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 12 de Noviembre de 2012.

María del Coro Arizmendi

DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

AGRADECIMIENTOS

Primeramente quisiera agradecer al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por haber aceptado mi aplicación al programa. A través de éste posgrado me recibí enormes beneficios a título profesional y personal.

Del mismo modo, quiero agradecer al CONACYT por los apoyos económicos recibidos por medio de su beca y beca mixta, la cual me permitió aprender diferentes formas de trabajo a nivel internacional.

También me gustaría reconocer el esfuerzo y dedicación de los miembros del Comité Tutor, Dra. Laura Roxana Torres Avilés y del Dr. José Jaime Zúñiga Vega. Agradezco enormemente sus comentarios y apoyo a lo largo de la realización de éste proyecto.

AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL

Este proyecto se realizó en el Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología de la UNAM en colaboración con el Zoológico de Chapultepec. Agradecemos su cooperación en cuanto a instalaciones, equipo y personal de apoyo.

Al Dr. Luis Zambrano González, alias “el pone apodos”, mil gracias por tu tiempo, por tu apoyo y por tus consejos, tanto profesionales como personales. Es un honor haber sido la alumna de un investigador que se preocupa por formar más y mejores universitarios que puedan generar un impacto positivo en el desarrollo de este país. Como te lo dije una vez, eres un ejemplo de persistencia y fidelidad a sus convicciones. Me llevo miles de frases memorables pero me quedo con una que hace poco te escuche decir: “No se trata de ganar, sino de hacer una declaración, de decir: "Estamos aquí, préstenos atención”.

Gracias a los miembros del comité tutorial y del jurado por su tiempo y sus comentarios, Dra. Gabriela Parra, Dra. Roxana Torres, Dra. Guillermina Alcaráz, Dr. Jaime Zúñiga, Dr. Enrique Martínez. Del mismo modo, agradezco a Daniel Días Espinoza por sus revisiones y su apoyo en la estadística. También quiero agradecer al Dr. Martín García Varela y a Rocío González Acosta por su ayuda en los trámites.

Quiero agradecer a las decenas de personas que me apoyaron con el desarrollo de los muestreos, son tantas que no podré incluir todos los nombres pero sepan que estoy en deuda con cada uno de ustedes. Especialmente quiero agradecer a Roberto Altamirano y Daniel Vázquez, sin cuya ayuda hubiera sido imposible sobrevivir a los muestreos.

Mención aparte se merecen los miembros del laboratorio de Restauración Ecológica, a los de la vieja escuela: Viky, Hugo, Julio, Chips amado y adorado, Laura, Paula, a los Montessori y nueva escuela: Karen, Fish, Pacheco, Pablo, Daniel, Nuria, Kenia y Martha mil gracias por su ayuda en el muestreo y su compañía dentro y fuera del laboratorio. Especialmente gracias a la M. en C. Elsa Valiente, a los MVZ. Horacio Mena y Verónica Gómez por su ayuda en las operaciones de los axolotes así como por su apoyo y amistad a lo largo de estos años.

Un abrazo con todo mi cariño a Enrique Mariné, diseñador gráfico de profesión, biólogo por méritos y sin el cual este proyecto nunca se hubiera podido lograr. Esta tesis es tan tuya como mía y jamás podré terminar de agradecer tu compañía durante los momentos de dudas y tu aportación a este trabajo y a mi vida en general.

DEDICATORIA

*A mi familia porque sin su apoyo hubiera renunciado en cada oportunidad posible,
gracias por no dejar que me rindiera a pesar de lo complicado que pudiera
parecer.*

*A Rodrigo, por creer en mí, por ser mí mejor amigo,
por ser quien eres.*

	Páginas
ÍNDICE	i
Índice de figuras	ii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. OBJETIVOS	7
Objetivo general	7
Objetivos particulares	7
III. HIPÓTESIS	8
Hipótesis general	8
Hipótesis particulares	8
IV. MÉTODO	9
Zonas de estudio	9
Xochimilco	9
Zoológico de Chapultepec	10
Pilotaje	11
Protocolo Quirúrgico	12
Seguimiento y colecta de datos	13
Telemetría	14
Análisis de datos	14
V. RESULTADOS	17
Eficiencia del seguimiento	17

Caracterización de los patrones de movimiento	18
Patrones de agregación: selección de hábitat y relación con la vegetación	22
VI. DISCUSIÓN	30
Patrones de movimiento	30
Selección de microhábitat	31
Patrón de distribución	32
VII. CONCLUSION	35
VII. RECOMENDACIONES	36
IX. LITERATURA CITADA	37
Anexo	44

	Páginas
ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS	ii
FIGURAS	
Figura 1. Esquema del refugio de Xochimilco	10
Figura 2. Esquema del estanque de Chapultepec	11
Figura 3. Eficiencia de detección de los axolotes dentro de los refugios	17
Figura 4.	19
A) Graficas de dispersión del promedio de los metros recorridos por hora	
B) Graficas de caja y bigote de la distancia total recorrida por los axolotes dentro de los refugios	
C) Análisis de correlación lineal de Spearman	
Figura 5. Graficas de dispersión de la distancia recorrida entre el sitio de origen y la primera localización y distancia máxima recorrida en una hora	20
Figura 6.	21
A) Diferencia entre la distancia recorrida de día y de noche entre los diferentes refugios-temporadas	
B) Cambio en los patrones de movimiento de los diferentes organismos en los tres refugios-temporadas de día y de noche	
C) Proporción de de movimiento en los tres refugios-temporadas de día y de noche	
Figura 7. Mapas de distribución de todos los organismos en cada uno de los refugios	23
Figura 8. Porcentaje de ocupación observada contra las pseudolocaciones aleatorias	23
Figura 9. Mapas de distribución de cada organismo en los tres refugios	24

Figura 10. Análisis de correspondencia entre la frecuencia de uso de los cuadrantes dentro del refugio de Xochimilco-marzo y su asociación con la presencia vegetal 27

Figura 11. Análisis de correspondencia entre la frecuencia de uso de los cuadrantes dentro del refugio de Xochimilco-junio y su asociación con la presencia vegetal. 28

Figura 12. Análisis de correspondencia entre la frecuencia de uso de los cuadrantes dentro del refugio del Zoológico-diciembre y su asociación con la presencia vegetal 29

CUADROS

Cuadro 1. Valores de X^2 para el porcentaje de ocupación de día y noche de cada sitio comparado con la presencia o ausencia de plantas 26

RESUMEN

Este trabajo analiza los patrones de distribución y selección de microhábitat del axolote (*Ambystoma mexicanum*), especie endémica de México que actualmente se encuentra bajo protección especial de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL/2001. Con el objetivo de evaluar si los axolotes presentan selección de microhábitat y, de ser así, si es que dicha selección está relacionada con la búsqueda de refugio, se analizó la distribución de *A. mexicanum* en dos sitios: un canal natural de 20 metros que forma parte de la red de canales del lago de Xochimilco y un canal artificial construido dentro del zoológico de Chapultepec. El rastreo de los organismos se realizó en marzo, junio y diciembre del 2011 por medio de radiotransmisores implantados en los axolotes.

Se encontró que el horario tiene un efecto significativo solamente sobre el patrón de actividad de los organismos de los seguimientos realizados en Xochimilco, determinando que los axolotes son organismos de hábitos nocturnos en este sitio independientemente de la temporada. Esto demostró que existen diferentes patrones de actividad dependiendo de la situación: refugio-temporada. Se presentó una marcada selección de hábitat, donde los organismos se mantuvieron agrupados en el Zoológico de Chapultepec. La elección de microhábitat para ambos sitios está relacionada con la presencia o ausencia de plantas, estando ligada principalmente a la temporada reproductiva de los organismos; esta conducta se puede ver asociada a situaciones vulnerables (como lo es la ovoposición), donde los organismos buscan reducir su exposición ante los depredadores permaneciendo más tiempo entre las plantas.

Este trabajo puede ayudar a la conservación de la especie pues la información es útil para generar las condiciones de mantenimiento y manejo de los refugios que se están generando para los axolotes.

ABSTRACT

The present study describes the distribution patterns and microhabitat selection of the axolotl (*Ambystoma mexicanum*), an endemic Mexican specie currently under special protection by the Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL/2001 (Mexican official regulation). Aiming to evaluate the presence of microhabitat selection and, if true, its relation to the search for refuge, the distribution patterns were measured in two sites: a natural canal in the lake of Xochimilco and an artificial pond built in the Chapultepec's zoo. The measurements were carried out, with the help of implanted radio-transmitters, in the months of March, June and December.

An activity pattern related to horary was showed by the individuals released in Xochimilco, suggesting a predominant nocturnal behavior. This was not true in those present in the Chapultepec's zoo, showing the possibility of different activity patterns in response to the shelter-season conditions. A habitat selection was observed where, in the case of the Chapultepec's zoo individuals, an arrangement in clusters was present. The microhabitat selection in both sites was related to the presence of vegetation, which in turn, was mainly related to the reproduction season. This behavior can be a response associated to situations of vulnerability (eg. ovoposition) where the organisms aim to reduce their exposure to predators staying among plants.

These results give insight into the maintenance and management of the axolotl's refuges, being natural or artificial, which, in turn, collaborates with the specie's conservation programs.

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Selección de hábitat

El conocimiento acerca de la selección de hábitat de los animales es útil para entender los sistemas ecológicos así como para predecir cambios en la estructura de la comunidad (Rosenzweig, 1991; Dunning *et al.*, 1995). Así, el hábitat ha sido definido como el área de un paisaje que tiene los requerimientos necesarios de comida, refugio y reproducción para una especie (Bos y Carthew, 2003) y en el cual, los organismos eligen y utilizan el entorno que les confiera mayor adecuación (Rogers y White, 2007). Esto indica que el análisis del uso de hábitat permite conocer que características podrían estar limitando a los organismos.

Aunque los conceptos de selección y preferencia de hábitat a menudo son usados como sinónimos, la preferencia está marcada por la probabilidad de que un recurso sea elegido si todo el hábitat le fuera ofrecido de forma equitativa (Johnson, 1980; Manly *et al.* 1993), mientras que la selección es un proceso activo por medio del cual un animal elige un hábitat entre los distintos recursos disponibles (Johnson, 1980; Laverde, 2005). Este suele describirse como el resultado de un compromiso evolutivo para maximizar la supervivencia y/o el éxito reproductivo a lo largo de la vida de un organismo (Krebs y Davis, 1993) e involucra procesos jerárquicos relacionados con comportamientos innatos y aprendidos, mediante los cuales el animal elige qué componentes del hábitat usa (Hall *et al.* 1997). Este proceso debe ser considerado de forma multiescalar, que va del macrohábitat, entendido como el área total en la que el organismo desarrolla su ciclo de vida, al microhábitat que hace referencia a características más puntuales percibidas por el organismo, por ejemplo, la estructura de la vegetación (Morris, 1987; Traba *et al.*, 2009). Así, definiendo a qué escalas espaciales y temporales los animales realizan dicha selección se pueden generar modelos adecuados que permitan deducir la dinámica de sus poblaciones (Oatway y Morris, 2007).

La selección de hábitat en anfibios y *Ambystoma*

La selección de hábitat es común en la mayoría de los anfibios terrestres puesto que dependen de estructuras como árboles o pastos para sobrevivir (Crump, 1994). Para estos organismos, la selección de hábitat depende de algunas variables ambientales como la temperatura, la radiación solar y la calidad del agua ya que afectan el desarrollo de los individuos (Crump, 1994; Jablonski, 1998; Lizana y Pedraza, 1998) e incluso suele depender de la época del año presentando mayor actividad durante la época de lluvias y menor durante la temporada de secas (Crump, 1994).

Uno de los factores que se ha relacionado con la selección de hábitat es la presencia de vegetación. En los anuros se ha documentado una alta especificidad de hábitat asociada a la presencia de planta. Esta selección ha sido ampliamente relacionada con una de las principales presiones a la que se enfrentan tanto organismos terrestres como acuáticos: la depredación (Holomuzki, 1986; Brodman, 1996; Brodman y Jaskula, 2002).

Algunas especies de anfibios evitan la exposición a los depredadores ocultándose entre diferentes estructuras vegetales, por lo que sitios con plantas les sirven de refugio y suelen ser preferidos por los organismos (Crump, 1994; Marsh y Pearman, 1997; Maynadier y Hunter, 1999). Factores como la turbidez del agua o la presencia de vegetación disminuyen el riesgo potencial de encontrarse con depredadores (Crump, 1994; Lehtiniemi, 2005). El riesgo de ser depredado es un elemento determinante en cuanto a la adecuación de los organismos dado que moldea sus horarios de actividad, (Metcalf *et al.* 1999; Hoffman *et al.* 2004) selección de microhábitats (Holomuzki, 1986), e incluso su patrón de forrajeo (Lawler, 1989; Skelly, 1994; David y Gotthard, 2008). Ante esto, se ha reportado que la búsqueda de diferentes tipos de refugios es crucial para la sobrevivencia de algunas especies de salamandras (Holomuzki, 1986; Brodman, 1996).

Patrones de actividad

Para la familia *Ambystoma*, se ha demostrado que las salamandras que han alcanzado la adultez y que se asocian a un hábitat terrestre, muestran

patrones de actividad nocturnos (Ralph, 1957; Keen, 1984), mientras que salamandras en estadíos juveniles y relacionadas con ambientes más húmedos, son más activas durante el día (Petranka, 1998). Este es el caso de *Notophthalmus viridescens* (Petranka, 1998) y *Triturus vulgaris* (Griffiths, 1985), que exhiben actividad diurna.

Este cambio de patrones circadianos ha sido explicado en *Ambystoma opacum* como un “interruptor ontogénico” por medio del cual su respuesta ante la luz está vinculada con la etapa de desarrollo en la que se encuentren los organismos, seleccionando zonas más iluminadas durante su periodo larval y modificando este patrón cuando llega a la adultez. Este comportamiento puede haber surgido como una respuesta al cambio de un hábitat acuático a uno terrestre (Wise y Buchanan, 2006) ya que para las larvas, permanecer en sitios iluminados puede permitirles acelerar su tasa de crecimiento reduciendo el riesgo de depredación por organismos que puedan consumir solo presas pequeñas (Heatwole, 1962; Roth, 1987). Para los adultos terrestres, un patrón de actividad nocturno puede ser la respuesta a factores como desecación del hábitat (Jaeger, 1979) o a la presencia de depredadores (Hoffman *et al.* 2004). Un ejemplo de esto es el caso de *A. gracile*, salamandra neoténica que, ante la presencia de depredadores, restringe su actividad a la zonas superficiales y presenta patrones exclusivamente nocturnos, mientras que en ausencia de depredadores, presenta patrones tanto diurnos como nocturnos y su uso de hábitat no se restringe a ninguna zona en específico (Hoffman *et al.* 2004).

Algunas variables como la humedad y textura del sustrato y la proporción de presencia de vegetación han sido relacionadas con el tamaño corporal de las salamandras así como su presencia en ciertos sitios, lo cual implica que estas tres variables ambientales pueden estar relacionadas con la capacidad de las salamandras para escapar de depredadores y forrajear exitosamente (Keen, 1979; Krzysik, 1979; Maiorana, 1978).

En algunos anfibios, se ha observado una marcada estacionalidad en el uso de los recursos ya que este comportamiento puede relajar la competencia al estimular la separación de los recursos espaciales y alimenticios (Heatwole, 1982;

Crump, 1994). La selección, distribución y uso del hábitat se ha relacionado con una reducción de la competencia dando como resultado la distribución de las especies y la separación de los lugares de reproducción (Eisenberg, 1979; Heatwole, 1982; Crump, 1994). Para algunos miembros terrestres del género *Ambystoma*, se ha reportado una marcada selección de hábitat así como patrones de movimiento no azarosos (Dodd y Cade, 1998; Vasconcelos y Calhoun, 2004). Las comunidades de larvas de salamandras suelen estar moldeadas por interacciones denso-dependientes (Cortwright y Nelson, 1990). Esto lleva a los organismos a establecer relaciones de competencia inter e intra específica e incluso llevan a depredar a individuos de su propio gremio (Brodman, 1993; Brodman *et al.* 2002). A pesar de esto, se ha demostrado que la competencia no influye en los patrones de distribución de las comunidades terrestres de *Ambystoma*, sino que sus patrones de actividad y de selección de hábitat, son resultado de adaptaciones a las variables del medio ambiente, nichos de alimentación o para evitar ser depredados (Fraser, 1976; Keen, 1979, 1984; Jaeger, 1972, 1980).

La situación actual de Ambystoma mexicanum

La necesidad de entender la selección y uso del hábitat de las especies ha ido en aumento, principalmente debido al aumento de las especies amenazadas por la extinción. La pérdida del hábitat, aunada a la cercanía con áreas urbanas, la sobreexplotación de los recursos que los organismos necesitan y la introducción de especies en hábitats donde antes no se encontraban, son las principales causas de extinción de anfibios y reptiles (Pilliod y Peterson, 2000; Dodd y Smith, 2003).

A. mexicanum, a pesar de estar sujeta a protección especial y de ser considerada una especie prioritaria (NOM-059-SEMARNAT-2001), se encuentra en peligro de extinción dada la degradación de su hábitat (Zambrano *et al.* 2004) por lo que se han realizado diferentes esfuerzos para la conservación de la especie, uno de ellos es un programa para la creación de refugios (Zambrano *et al.* 2010) donde los organismos puedan llevar a cabo su ciclo de vida sin la presencia de las

amenazas que el lago de Xochimilco le representa.

A pesar de toda la información existente acerca de las condiciones bajo las cuales sobreviven estos organismos, aun no se sabe de qué forma afectan las variables ambientales a la distribución real de los axolotes. Este estudio se enfocará a determinar si la selección del hábitat de los axolotes está relacionada con algunos factores como la presencia de vegetación. La información se utilizaría como herramienta en el diseño y manejo de áreas para conservar estos organismos. Se espera que con la construcción de estos sitios y con la acumulación de conocimiento de estos animales se pueda contribuir a la creación de planes de conservación cada vez más acertados.

II. OBJETIVOS

a) General

Analizar si se presenta una selección de hábitat por parte de los axolotes en los refugios construidos para su conservación y de ser así, determinar si existen variables asociadas como la presencia de vegetación, la hora del día y la distribución de los organismos.

b) Particulares

1. Generar un protocolo de implantación de transmisores en los axolotes.
2. Determinar si existe alguna relación entre la presencia de vegetación y la elección de microambientes.
3. Analizar si existe algún patrón de agrupamiento entre los axolotes.
4. Evaluar si la presencia de vegetación y el patrón de agrupamiento se modifican en diferentes momentos del día.

III. HIPÓTESIS

a) Hipótesis general

Si la presencia de vegetación, el patrón de distribución y el horario de actividad ayudan a la supervivencia de las especies terrestres del género *Ambystoma*, entonces el axolote tendrá un comportamiento similar a pesar de estar en un ambiente acuático con condiciones diferentes.

b) Hipótesis particulares.

1. Dado que los anfibios y los organismos miembros del género *Ambystoma* presentan selección de hábitat, *A. mexicanum* presentará un patrón de distribución no aleatorio.

2. Si las plantas les brindan a los axolotes beneficios como refugio contra los depredadores, abundancia de alimento y sombra, entonces, los axolotes permanecerán más tiempo en sitios con mayor presencia vegetal.

3. Debido a que se ha reportado que la competencia intraespecífica no influye en los patrones de distribución de las comunidades de *Ambystoma*, entonces se encontrará que los organismos permanecerán en sitios convenientes para la sobrevivencia independientemente de la presencia de otros axolotes.

4. Dado que se ha reportado que en algunas especies de salamandras adultas evitan la depredación teniendo mayor movimiento en la noche, entonces, se espera que *A. mexicanum* presente patrones de actividad de actividad nocturnos.

IV. MÉTODOS

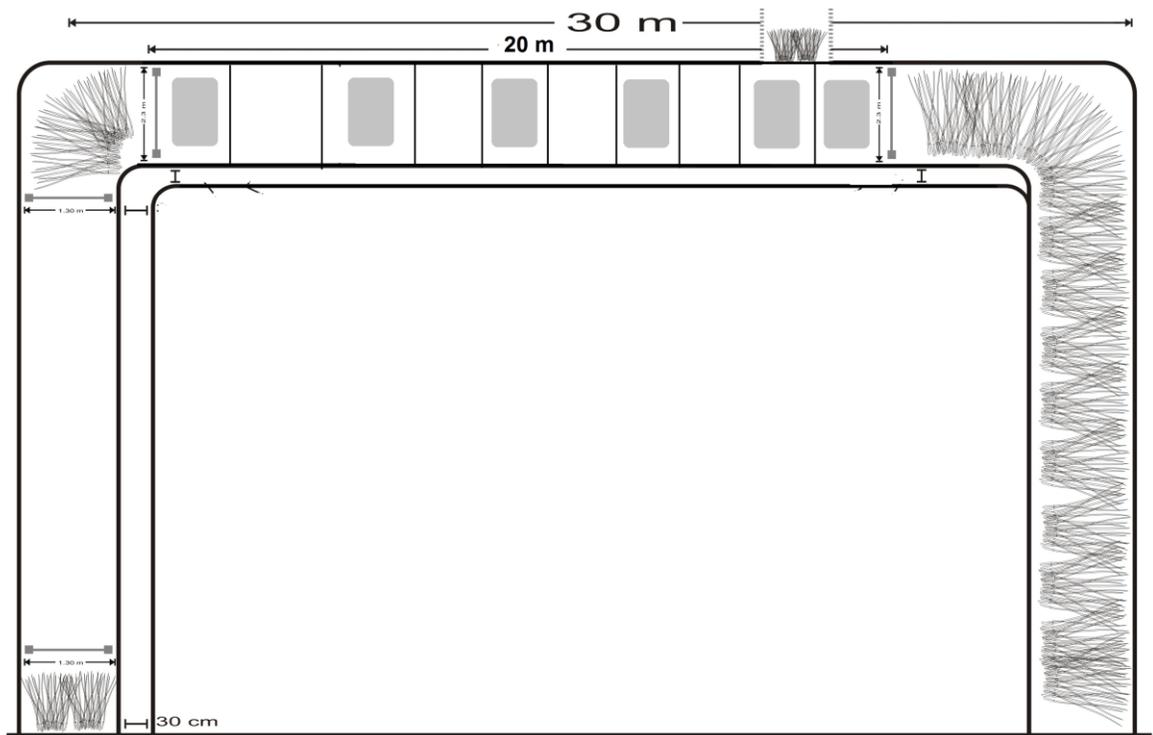
Zonas de estudio

Xochimilco

El lago de Xochimilco (19°15' N y 99°06' W) es uno de los cinco lagos que forman la cuenca lacustre del Valle de México, en el centro de la República Mexicana y es patrimonio cultural de la humanidad. Se sitúa al sur de la Ciudad de México, al centro de la Delegación Xochimilco. La zona lacustre de Xochimilco posee un área de 2,200 hectáreas y una extensión de 189 Km². Sus aproximadamente 36 canales con sus respectivas ramificaciones son alimentados por plantas de tratamiento ubicadas en el cerro de la Estrella y en otros puntos cercanos a la región (Zambrano, 2004). En esta zona la profundidad de cada canal es variable, va desde 1 metro hasta los 10 metros (Farías, 1984).

Por la ubicación geográfica del lago de Xochimilco es prácticamente imposible aislar los efectos antropogénicos sobre este sistema, sobre todo si consideramos que la cuenca de México, que ocupa sólo el 0.03% de la superficie, del país y a pesar de esto, el 22% de la población total del país habita en ella lo cual constituye un problema ambiental, social y político de inmensas proporciones (Ezcurra, 1996).

Este estudio se llevó a cabo en un refugio rectangular de 1.80 m x 20 m construido dentro de los canales de Xochimilco (Figura 1).



Canal Tezhuilo

Figura 1. Esquema del refugio de Xochimilco con los cuadrantes marcados en líneas punteadas. Los cuadrantes sombreados son los que estaban cubiertos de plantas.

Zoológico de Chapultepec

El zoológico de Chapultepec ha contribuido con los programas de recuperación del axolote, para lo cual construyó un canal experimental donde dichos organismos puedan completar su ciclo de vida. Se encuentra dentro del bosque de Chapultepec, el parque urbano más grande de América latina con 647.5 hectáreas. Este refugio se encuentra dentro de las instalaciones del Zoológico, frente al mariposario. Es un estanque artificial, elaborado con base de concreto y de forma circular con un diámetro de 15 m² (Figura 2).

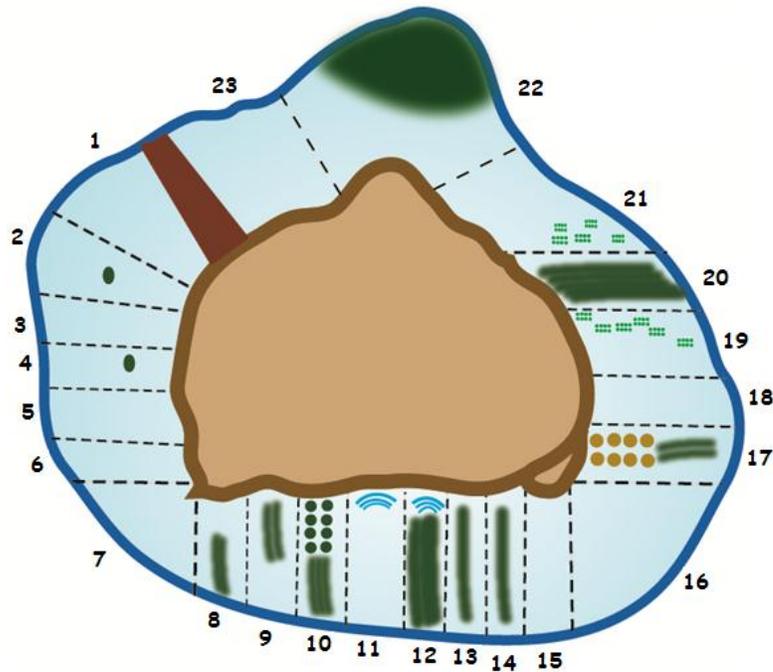


Figura 2. Esquema del estanque de Chapultepec. Los cuadrantes sombreados son los que estaban cubiertos de plantas.

Pilotaje

Previo al estudio y para determinar los procedimientos quirúrgicos adecuados para la colocación de los aparatos transmisores se realizaron dos operaciones piloto en las cuales los organismos no presentaron efectos secundarios a las cirugías. En la primera de ellas, a un axolote de 21.7 cm de largo y 68.2 g, se le introdujo una preparación de resina del tamaño y peso de los transmisores (930 mg) con la finalidad de afinar el procedimiento quirúrgico y así determinar el tiempo de recuperación y cicatrización de los organismos. Los dos axolotes utilizados para estas pruebas fueron colocados en una pecera de 170 litros (1,20m x 31 cm x 48 de altura) durante 3 días para observar si es que su conducta y capacidades motoras se veían modificadas tanto por la operación en si como por el peso del implante.

Con base en las observaciones, se evaluó de manera cualitativa el efecto del transmisor en la movilidad y conducta de los axolotes con ayuda de expertos veterinarios en el Laboratorio de Restauración Ecológica. Estas observaciones

incluyeron tres funciones básicas: nado, alimentación y defecación. En ninguno de los casos los animales modificaron su conducta con respecto a la conducta previa y a los individuos del resto de la colonia. Los organismos nadaron distancias similares a los demás, consumieron la misma cantidad de alimento proporcionado y defecaron de manera normal.

En la segunda operación se evaluó el tiempo mínimo de recuperación y cicatrización. Este tiempo fue de cuatro días, a partir de revisiones constantes de los veterinarios en las suturas.

Posterior a esta operación, se les colocó un transmisor a tres axolotes para hacer un segundo pilotaje dentro de la zona de estudio. Estos axolotes fueron liberados en el refugio en el que se llevaría a cabo el seguimiento llevando registro de la posición de cada axolote cada media hora durante 24 horas para determinar las horas pico de actividad de los axolotes y su patrón de distribución general de modo que pudiéramos establecer un protocolo y establecer la periodicidad de la toma de datos. De este modo se estableció que se realizaría la captura de datos cada hora durante 24 horas continuas para completar un total de 72 horas en 3 temporadas distintas: marzo, junio y diciembre.

Protocolo quirúrgico

Cada uno de los procedimientos quirúrgicos fue realizado por el VZ. M en C. Dipl. Horacio Mena González con la colaboración de la MVZ. Cert. Dipl. Verónica Gómez Ibarra. A pesar de que aun no hay datos publicados al respecto, este protocolo de anestesia se ha llevado a cabo en cerca de 50 axolotes dentro del laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología de la UNAM con resultados satisfactorios y sin que se muestre ningún tipo de efectos secundarios en los organismos.

Como tratamiento pre-operatorio, 12 horas previas a la operación los organismos permanecieron sin recibir alimento para evitar que la anestesia afectara su proceso digestivo. Todos los organismos utilizados fueron anestesiados con 12 ml de benzocaina (Auralyt) diluido en 1 litro de agua. Una vez anestesiados se realizó una incisión en la zona ventral izquierda de

aproximadamente 1 cm de longitud. Posteriormente se introdujo el transmisor dentro de la cavidad celómica del organismo y se cerró la herida con sutura reabsorbible de polipropileno del número 000. Posterior a la operación los axolotes fueron colocados en tinas de recuperación con 0.05 ml de acriflavina (antimicótico) y oxígeno. El periodo de recuperación fue determinado en base a lo observado durante el pilotaje estableciéndolo en un rango de 3 a 6 días.

Todos los transmisores utilizados durante el estudio fueron recuperados por medio de una segunda operación quirúrgica con las mismas características de procedimiento y recuperación que la anterior. Se utilizaron organismos diferentes para cada muestreo. Al término del estudio cada organismo fue devuelto a la colonia del Laboratorio de Restauración Ecológica de la UNAM, donde se mantuvieron en observación y recuperación hasta que se reincorporaron a la colonia de forma normal.

Seguimiento y Colecta de datos

Se realizaron 3 colectas de datos a lo largo del año 2010. Dos en Xochimilco (13 de marzo, 12 de julio y 18 diciembre) y uno en el zoológico de Chapultepec (diciembre). Se utilizaron diez transmisores marca Telenax modelo TxB-OO3I y seis transmisores marca Wildlife materials modelo SOPI-2011 HWSC con la ayuda de una antena direccional “Yagui” para poder rastrear a los axolotes y conocer su ubicación exacta. Algunos autores han reportado que el peso del transmisor debe ser menor del 2% del peso corporal del organismo (Gallepp y Magnuson, 1972; Ross y McCormick, 1981). Sin embargo, Brown *et al.* (1999) encontraron que, en algunos casos, los transmisores que representaban hasta 12% del peso corporal no afecta el rendimiento de natación de los organismos.

Los 10 organismos utilizados durante los dos muestreos de Xochimilco fueron obtenidos de la colonia del Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología de la UNAM, mientras que los 6 organismos utilizados en el muestreo del Zoológico fueron comprados al Laboratorio de Herpetología y Vivario de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Zaragoza.

Cada organismo con transmisor fue monitoreado cada hora durante 24

horas por 3 días y tres noches registrado de su posición dentro de los canales. En ambos sitios se colocó una cuadrícula hecha a base de hilo sobre los estanques formando cuadrantes de 2 x 2 m de modo que se pudiera conocer de forma clara donde se encontraban los organismos. Se consideró día a los datos tomados de 7 am a 18 pm y noche a los datos tomados de 19 pm a 6 am puesto que estos horarios corresponden a la salida y puesta del sol.

Telemetría

A pesar de la importancia que tiene entender la selección y uso de hábitat de los organismos, la realización de este tipo de estudios se ve dificultada por el método necesario para conocer su exacta ubicación espacial.

Para los miembros acuáticos del género *Ambystoma*, el efecto de la alteración y uso del hábitat representa todo un reto ya que suele esconderse enterrándose en el sustrato, lo cual dificulta su observación directa así como el conocer su ubicación (Moseley *et al*; 2004). Para resolver este problema la ciencia se ha valido de los avances tecnológicos, incluyendo la telemetría como una herramienta común en los estudios relacionados con movimientos a escalas finas o con la selección y uso de hábitat dado que ésta técnica ha resultado ser útil para poder rastrear a los individuos sin interferir en sus actividades diarias (Rogers y White, 2007).

A menudo, el estudio de los datos recabados de la telemetría puede ser más revelador que un análisis convencional para observar la importancia de las características del hábitat (Rogers y White, 2007) e incluso puede conducirnos a una mejor comprensión del ecosistema en su conjunto.

Análisis de datos

Tanto para analizar la eficiencia de la colecta de datos como para determinar la capacidad de movimiento dentro de los canales se utilizaron los parámetros empleados por Janowski-Bell *et al.* (1999) y Faccio (2003), estos son: distancia promedio, distancia promedio de día, distancia promedio de noche, distancia recorrida total, distancia máxima recorrida desde el origen y distancia máxima recorrida en 1 hora.

Para evaluar los patrones de movimiento de los organismos se tomó en cuenta la distancia recorrida total (tanto de día como de noche) de cada organismo asumiendo que su traslado de un punto a otro fue recorriendo la ruta más corta, de éste modo se puede afirmar que un organismo recorrió por lo menos la distancia reportada.

Uno de los métodos más simples y a la vez más acertados para analizar si los organismos están usando en proporción a su disponibilidad es el uso de la X^2 . El resultado de este análisis es equivalente al resultado provisto por modelos más sofisticados (Rogers y White, 2007). Por este motivo se utilizó la prueba de X^2 tanto para evaluar la eficiencia de muestreo dada por la proporción de ocupación de un cuadrante, así como para distinguir la significancia de las tendencias marcadas por los datos de distancias.

Se creó un sistema de coordenadas para cada sistema colocando las ubicaciones de cada organismo en un plano cartesiano. Con los datos obtenidos en campo se elaboraron mapas de localizaciones para cada organismo, sitio-temporada y horario.

Se construyó la dinámica de movimiento de una población a partir de un modelo aleatorio con la finalidad de generar un mapa de pseudolocalizaciones azarosas y así evaluar la aleatoriedad de los organismos comparando ambas distribuciones por medio de una X^2 (Rogers y White, 2007).

Se utilizó un análisis de correlación lineal no paramétrico de Spearman para evaluar la relación entre la distancia promedio por hora y la distancia total recorrida.

Se realizó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para comparar los datos de distancia total con los de promedio de distancia de los tres refugios-temporadas y para comparar la distancia recorrida desde el origen hasta la primera localización de los tres refugios-temporadas. Asociada a esta prueba, se utilizó una prueba de comparación múltiple de Dunns para comparar la distancia máxima en 1 hora para los organismos de los tres refugios-temporadas. Esta prueba es el análogo no paramétrico de la t-prueba para conocer si hay

diferencias entre grupos.

Para estudiar los patrones de distribución de la población, incluyendo el análisis de la existencia de patrones de agregación y su relación con la presencia vegetal se realizó un análisis de correspondencia (AC) para cada refugio-temporada. Esta técnica construye un plano cartesiano basado en la asociación entre las variables analizadas. La proximidad entre los puntos representados está relacionada con el nivel de asociación entre las variables. La asociación entre dos variables se define a partir del cálculo de la distancia entre ellas medida mediante la X^2 (Benzecrí, 1992).

Para el tratamiento y análisis de los datos se emplearon los paquetes estadísticos R, SAS, PRISMA y PASSaGE 2.

V. RESULTADOS

Eficiencia del seguimiento

Para determinar la efectividad del monitoreo de los axolotes dentro de los refugios, se evaluó el porcentaje de localizaciones realizadas con respecto al número de ocasiones en que se buscó a cada organismo durante el período de observación de 72 horas. De esta forma, se obtuvo una medida de eficiencia del seguimiento grupal en cada refugio. El resumen de esta información se presenta en la Figura 1. En los tres refugios la eficiencia de detección fue alta (>85%), por tal motivo no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los refugios con respecto a la proporción de veces que los organismos fueron localizados (Figura 3).

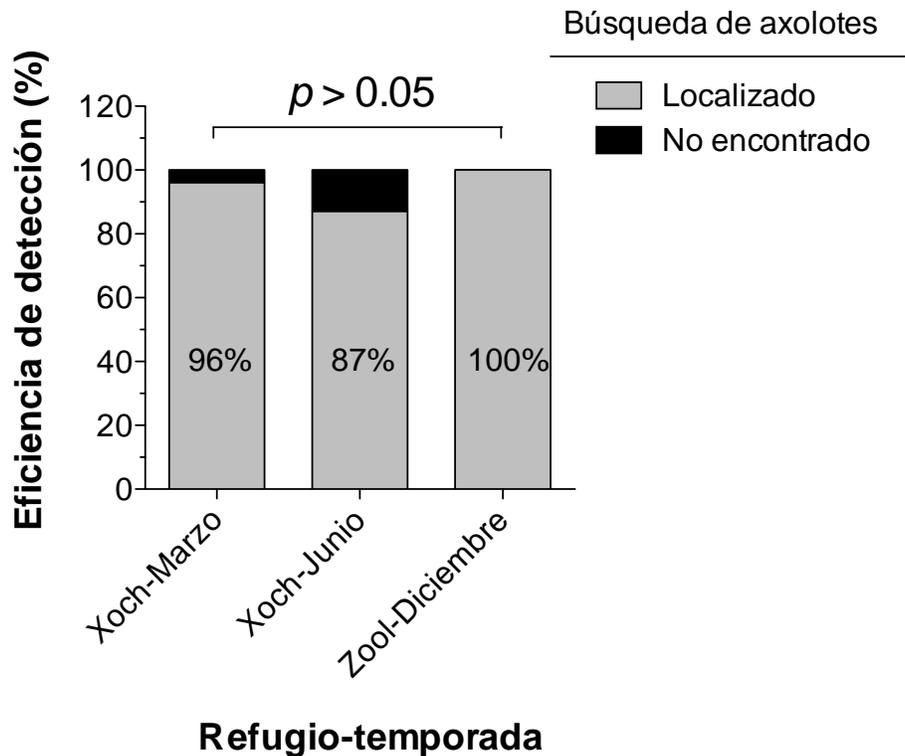


Figura 3. Eficiencia de detección de los axolotes dentro de los refugios. Los datos se compararon mediante una prueba χ^2 para diferencia entre proporciones.

Caracterización de los patrones de movimiento

Para evaluar los patrones de movimiento dentro de cada refugio, en primer lugar se determinó la distancia recorrida de forma individual para posteriormente agrupar la información y presentarla de acuerdo a las distancias recorridas durante los períodos de luz o de oscuridad. A partir de estos datos se establecieron las preferencias de desplazamiento dentro de cada refugio.

Durante el período de observación, la distancia promedio por hora que recorrieron los axolotes fue similar en los refugios ($p > 0.05$) y se mantuvo entre 2-2.8 m/h (Fig. 5). Cabe mencionar que en el refugio del Zoológico se presentaron dos organismos que recorrieron una distancia promedio de 3.5 y 4.2 m/h, razón por la cual la distancia recorrida total para el grupo del Zoológico fue de 197.7 ± 32.1 m, mientras que para el refugio de Xochimilco la distancia total recorrida fue de 164 ± 11.3 y 135.2 ± 27.2 m para la temporada de Marzo y Junio, respectivamente.

A pesar de que los axolotes del Zoológico se movieron una mayor distancia, no se presentaron diferencias significativas entre los refugios (Fig. 6; $p > 0.05$). Sin embargo, estos datos en conjunto sugieren que los organismos del Zoológico presentaron en general una mayor capacidad de desplazamiento. Para corroborar esto, se realizó un análisis de correlación lineal no paramétrico de Spearman. Las variables evaluadas fueron la distancia promedio recorrida por hora y la distancia total recorrida. Para el refugio de Xochimilco, se encontró que los organismos no presentan una asociación lineal entre ambas variables, ya que se obtuvieron coeficientes de correlación bajos ($r < 0.4$, $p > 0.05$), a diferencia del refugio del zoológico, en donde los axolotes mostraron una evidente asociación entre la distancia por hora y la distancia total ($r = 1.0$, $p < 0.05$). El resumen de esta información se presenta en la Fig. 4C.

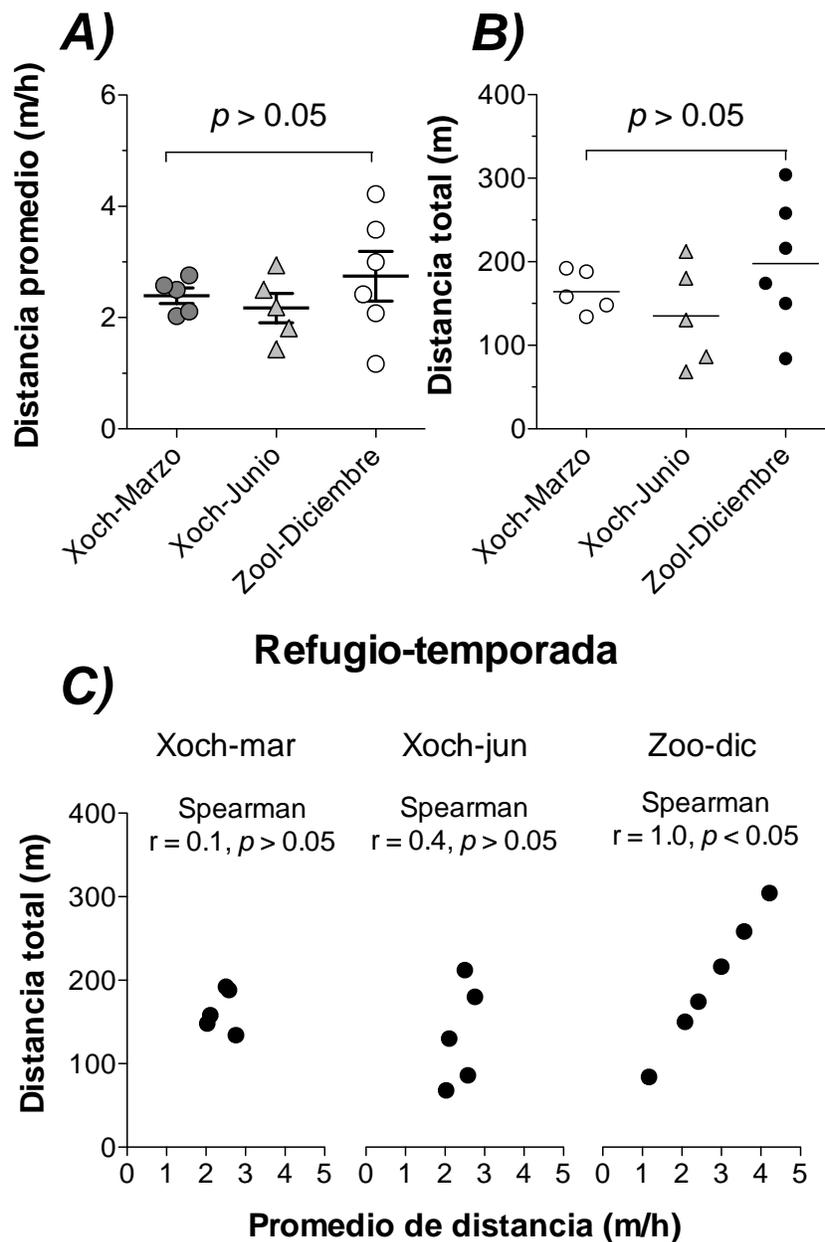


Figura 4. A) Gráficas de dispersión del promedio (\pm DE) de los metros recorridos por hora, B) Gráficas de caja y bigote de la distancia total recorrida por los axolotes dentro de los refugios. C) Análisis de correlación lineal de Spearman entre las variables de A y B. Los datos se compararon mediante un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis. No se detectaron diferencias entre las distancias recorridas entre los refugios.

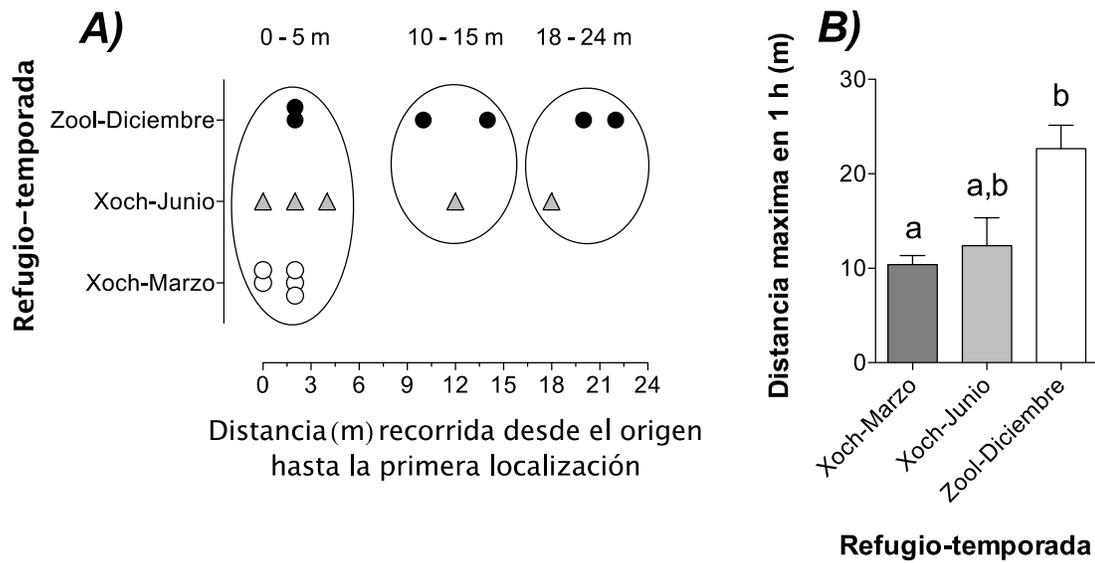


Figura 5. Graficas de dispersión de la distancia recorrida entre el sitio de origen y la primera localización y distancia máxima recorrida en una hora. Los datos se compararon mediante un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis. Seguido de la prueba de comparación múltiple de Dunns. Letras distintas (a y b) entre refugios indican diferencias significativas.

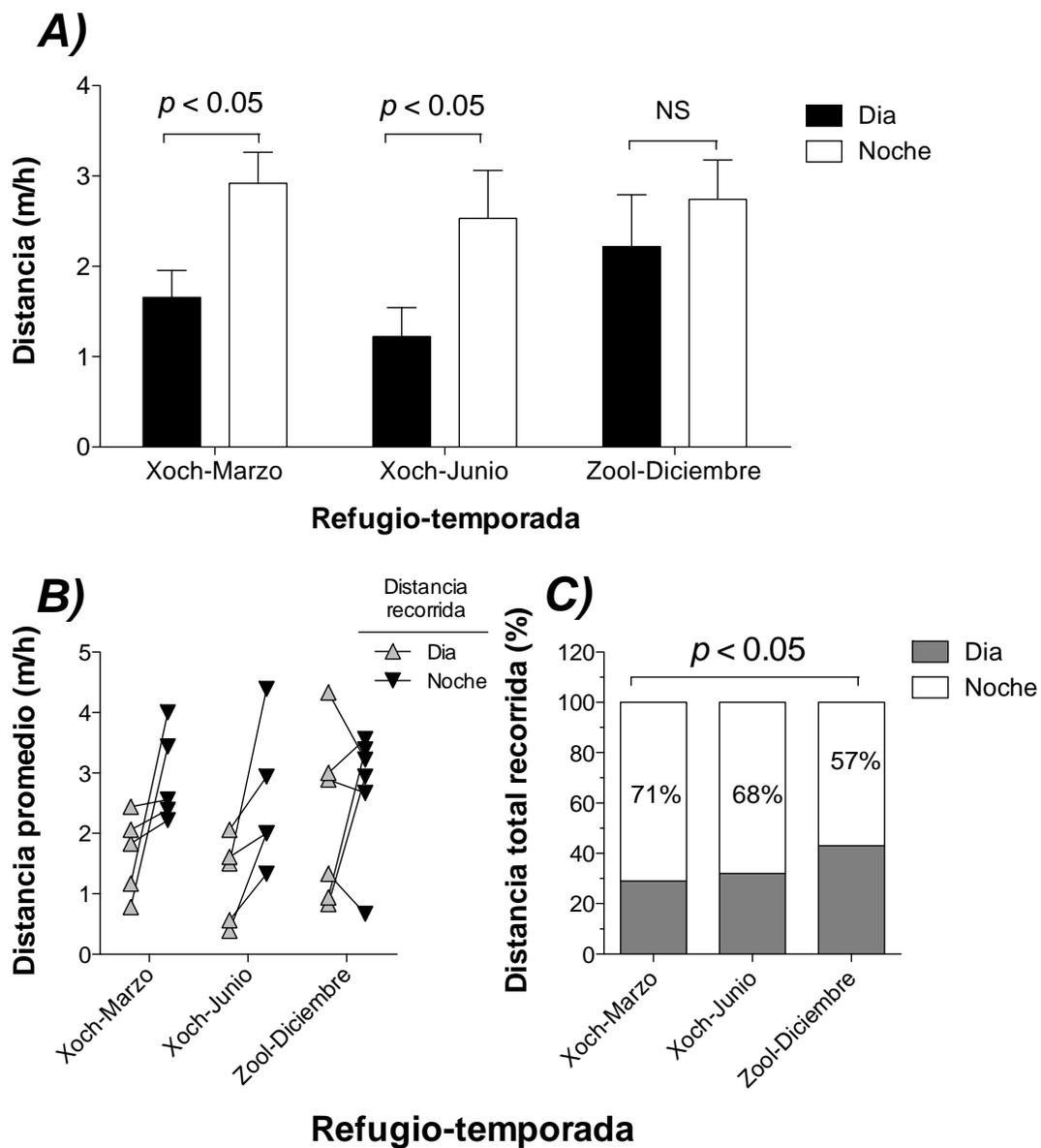
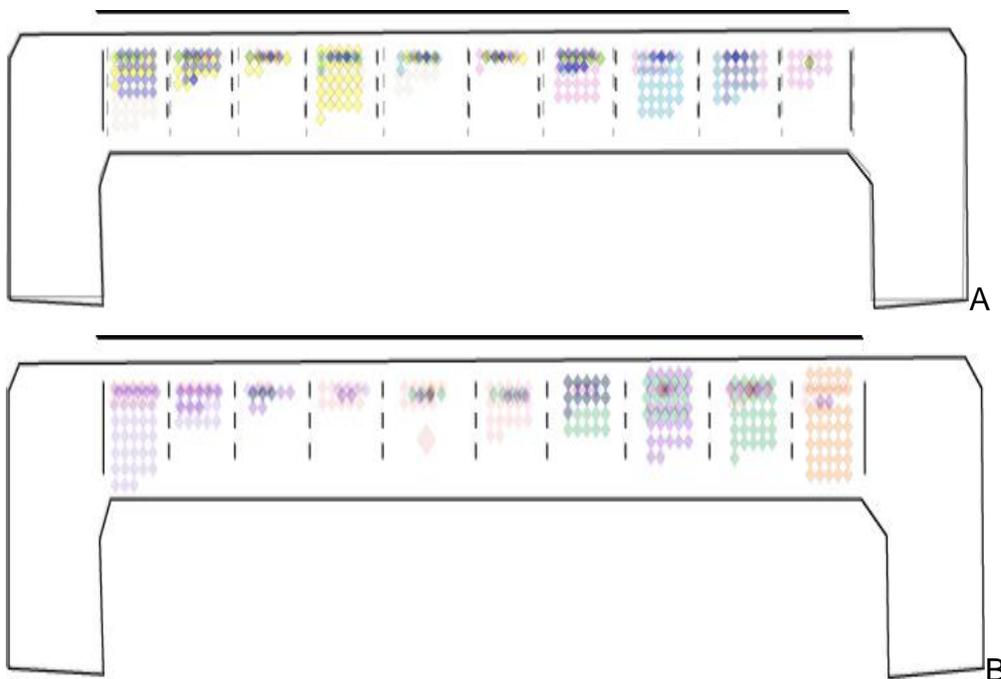


Figura 6. A) Diferencia entre la distancia recorrida de día y de noche entre los diferentes refugios-temporadas. B) Cambio en los patrones de movimiento de los diferentes organismos en los tres refugios-temporadas de día y de noche. C) Proporción de de movimiento en los tres refugios-temporadas de día y de noche.

Patrones de agregación: selección de hábitat y relación con la vegetación

A partir de un plano cartesiano se elaboraron mapas de distribución de los organismos en cada refugio (Figura 7). El análisis de la distribución mostró la tendencia que presentaron los axolotes del refugio de Xochimilco para distribuirse de forma homogénea a lo largo de todo el refugio, en comparación con los organismos del Zoológico que presentaron una distribución restringida hacia ciertas zonas, lo cual posiblemente se asocia con la selección del hábitat ($X^2=11.12$, $gl=2$, $p < 0.05$). Para confirmar esta situación, se evaluaron los porcentajes de ocupación de los refugios. El porcentaje de ocupación del zoológico es significativamente diferente al presentado por las pseudolocalidades al azar ($X^2=8.24$, $gl=1$, $p < 0.05$), mientras que el porcentaje de ocupación de Xochimilco, tanto de marzo como de junio fue similar al de una población al azar ($X^2=0.50$, $gl=1$, $p > 0.05$). Esto implica que el refugio del Zoológico los axolotes presentaron una distribución no aleatoria, lo cual representa una clara selección hacia ciertos sitios (Figura 8). Resultados contrastantes a los obtenidos en el refugio de Xochimilco para ambas temporadas, en el cual los organismos utilizan por completo el refugio sin una selección evidente.



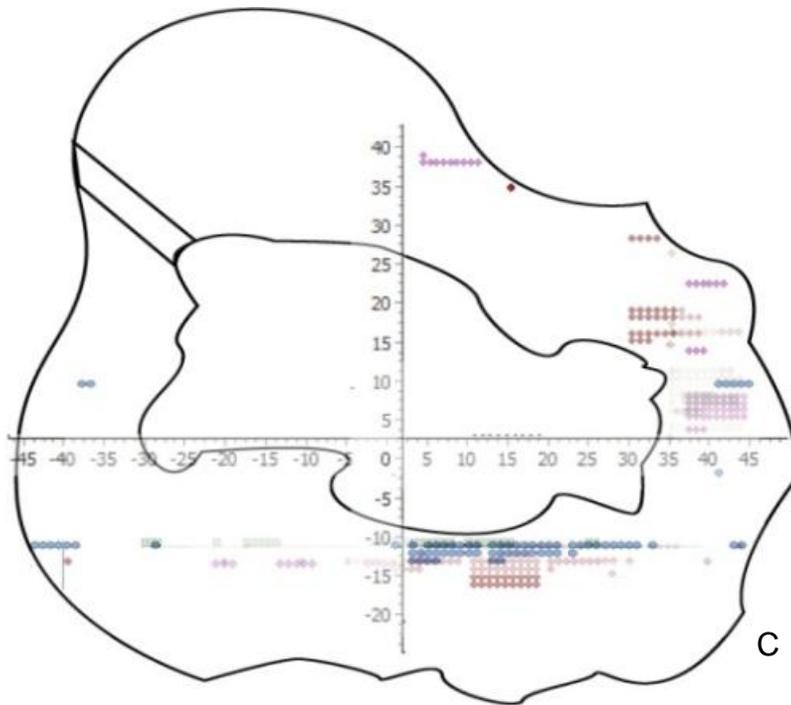


Figura 7. Mapas de distribución de todos los organismos en cada uno de los refugios. A=Xochimilco-marzo, B=Xochimilco-junio y C=Zoológico-diciembre.

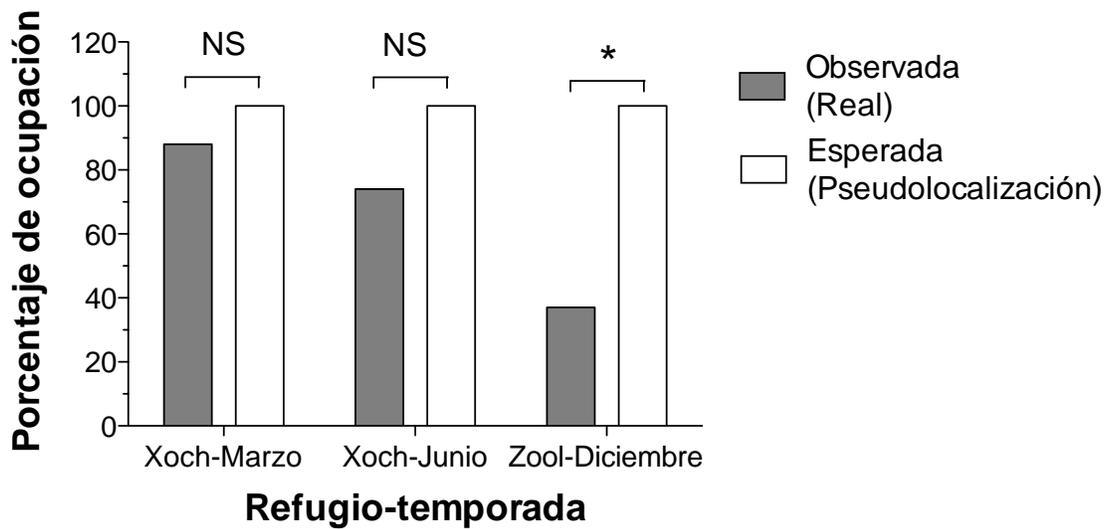
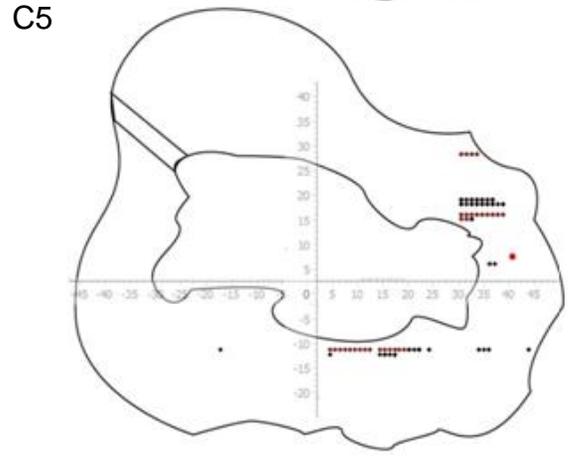
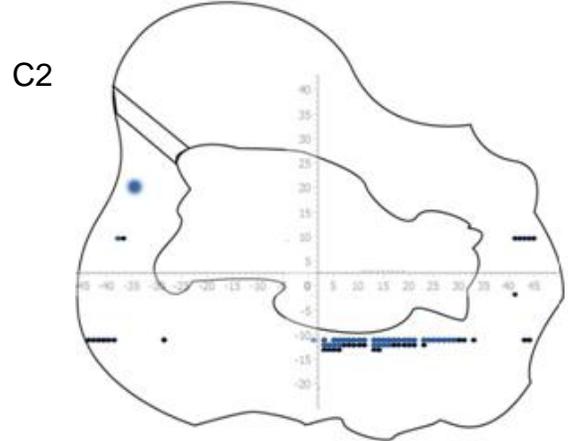
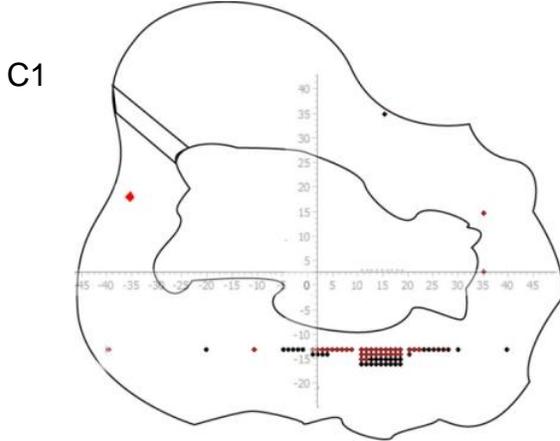
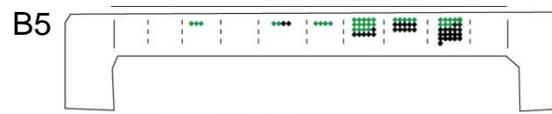
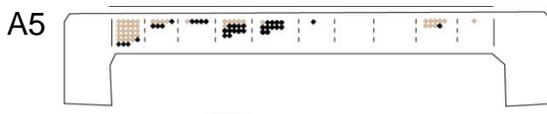
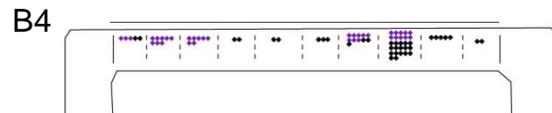
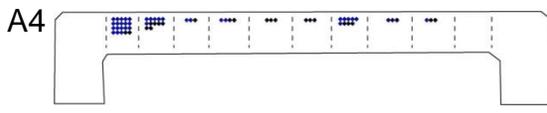
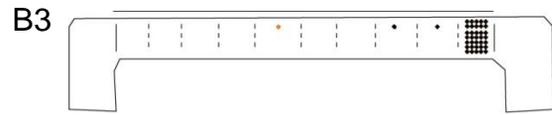
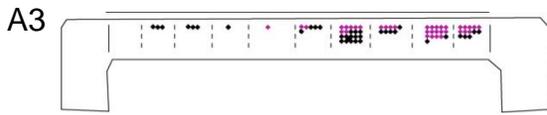
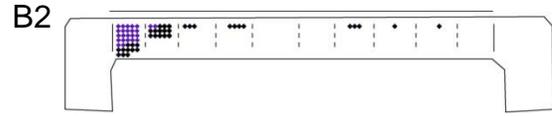
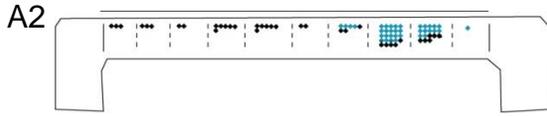
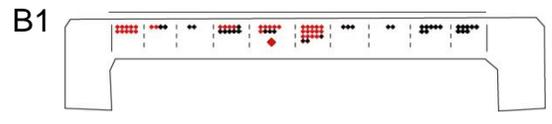
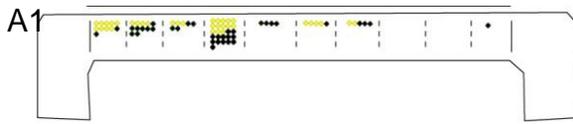


Figura 8. Porcentaje de ocupación observada contra las pseudolocalizaciones aleatorias.

De la misma forma, se obtuvo un mapa de distribución de cada uno de los organismos localizando su posición en los dos diferentes horarios de seguimiento (Figura 9). En estos mapas se puede observar un patrón de distribución similar de noche que de día.



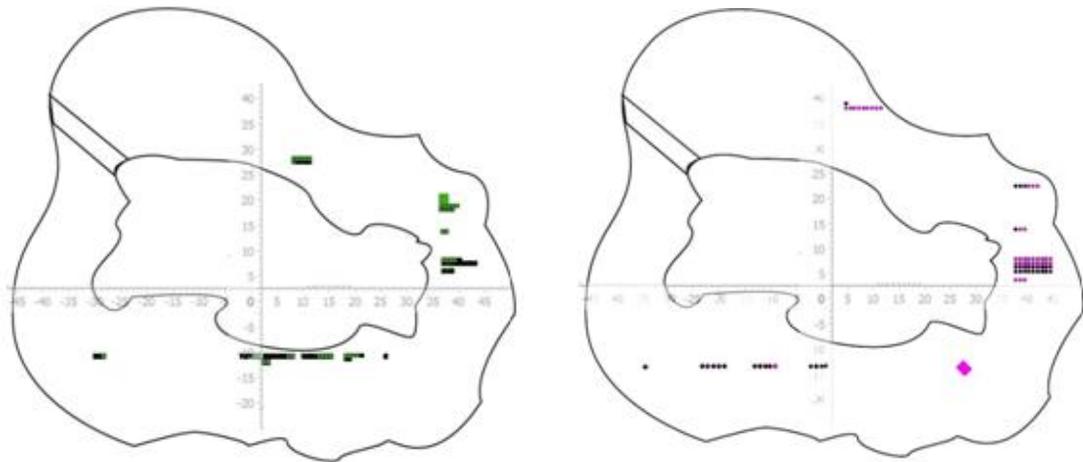


Figura 9. Mapas de distribución de cada organismo en los tres refugios. A=Xochimilco-marzo, B=Xochimilco-junio y C=Zoológico-diciembre. Los puntos en el color del organismo marcan su distribución de día y los puntos negros representan su distribución durante la noche.

En promedio se encontró mayor número de veces a los organismos en los sitios cubiertos de plantas en marzo y en diciembre. Sin embargo, en el mes de junio los axolotes fueron encontrados más veces entre los cuadrantes sin vegetación. En Xochimilco, tanto en marzo como en junio, la selección de microhábitat no está relacionada con la presencia de vegetación dado ($X^2=0.32$, $gl=1$, $p > 0.05$). Esto es contrario a lo sucedido en diciembre pues la permanencia en un sitio suele estar fuertemente asociada a la presencia de plantas acuáticas ($X^2=8.08$, $gl=1$, $p < 0.05$).

De acuerdo con los análisis realizados se puede afirmar que la elección de microhábitat, asociada a la presencia o ausencia de vegetación en los canales, depende del sitio-temporada.

El análisis de correlación demostró que en Xochimilco, durante ambas temporadas, los refugios fueron utilizados al 100%, lo cual evitó que se reflejara una asociación por los sitios con presencia vegetal (Figura 10 y 11). En la figura 8 se observa que los organismos de Xochimilco-marzo, fueron encontrados mayormente en sitios con plantas (60%), sin embargo, este resultado no representa una selección hacia estos sitios. Dada la proporción de veces que visitó cada cuadrante, se puede afirmar que no presentó ninguna selección ni ningún patrón de agrupamiento. Para el caso de Xochimilco-junio, los organismos tampoco mostraron patrones de selección relacionados con la vegetación (>40% en cuadrantes sin plantas) ni de agrupamiento (Figura 11).

Por otro lado, el análisis de correlación del zoológico demostró una selección por sitios con presencia vegetal así como patrones de agrupamiento asociados a estos cuadrantes. En la figura 12, se observan dos organismos (F y C) separados del grupo, los cuales, además, se asocian principalmente a utilizar cuadrantes con vegetación. Por otra parte, los axolotes A y B se encuentran estrechamente agrupados, ya que utilizan un espacio delimitado por los mismos cuadrantes. En este grupo también la selección es principalmente hacia sitios con vegetación. Los dos axolotes restantes, D y E, se encuentran parcialmente (25%) compartiendo cuadrantes con los axolotes A y B, pero D usa también espacios compartidos con C, ya que su posición en el plano lo dirige hacia C, a diferencia de E que tiene mayor tendencia hacia F y a la correspondiente selección por espacios con vegetación.

Cabe destacar que los puntos que representan a los cuadrantes que se muestran vacíos, pertenecen a los cuadrantes sin vegetación, reportando bajos valores de ocupación (<8%). Este resultado claramente demuestra la selección por las plantas. Los organismos siguieron el mismo patrón presentado para cada refugio-temporada independientemente del horario en que se realice la colecta de datos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de X^2 para el porcentaje de ocupación de día y noche de cada sitio comparado con la presencia o ausencia de plantas.

	<i>X-cuadrado</i>	<i>gl</i>	<i>P</i>
Xochimilco-marzo	0.32	1	0.57
Xochimilco-junio	1.6159	1	0.20
Zoológico-diciembre	0.4654	1	0.49

Xochimilco-marzo

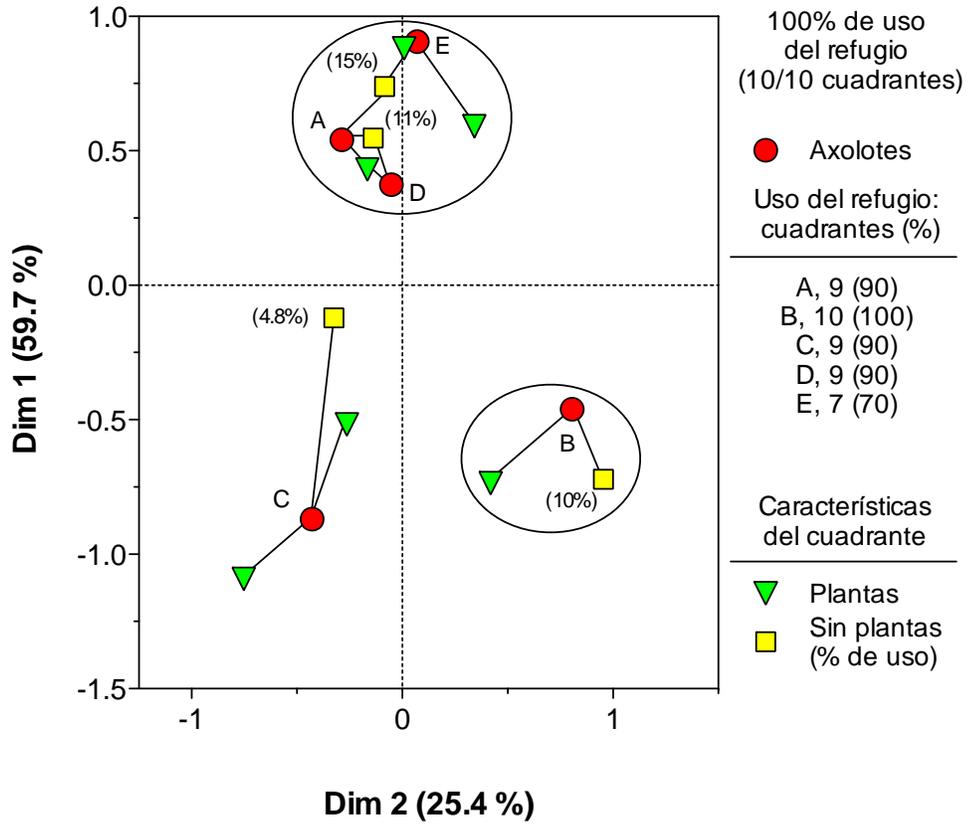


Figura 10. Análisis de correspondencia entre la frecuencia de uso de los cuadrantes dentro del refugio de Xochimilco-marzo y su asociación con la presencia vegetal.

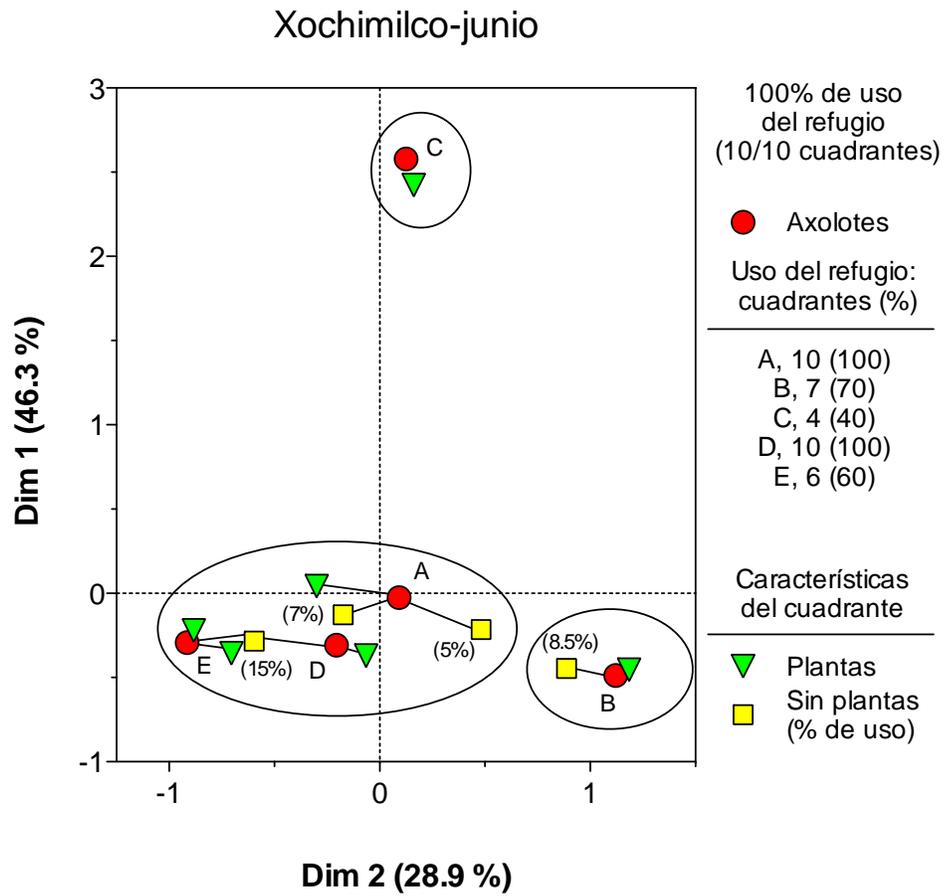


Figura 11. Análisis de correspondencia entre la frecuencia de uso de los cuadrantes dentro del refugio de Xochimilco-junio y su asociación con la presencia vegetal.

Zoológico-diciembre

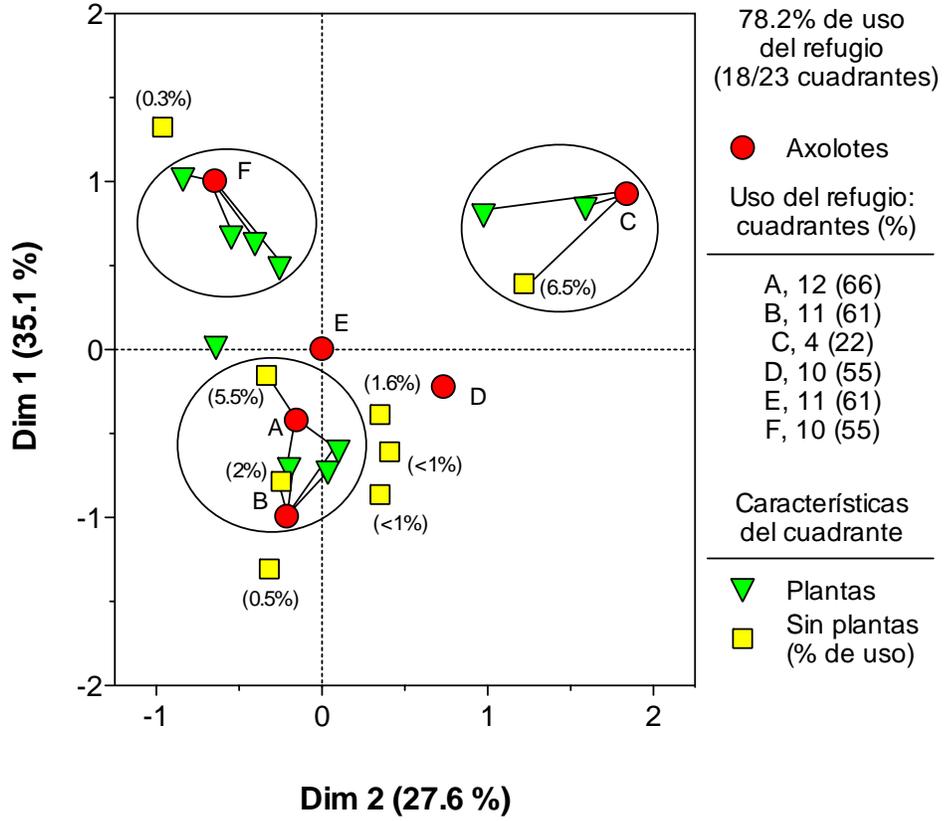


Figura 12. Análisis de correspondencia entre la frecuencia de uso de los cuadrantes dentro del refugio del Zoológico-diciembre y su asociación con la presencia vegetal.

VI. DISCUSIÓN

Patrones de movimiento

Los resultados de este estudio sugieren que *A. mexicanum* tiene la capacidad de nadar largas distancias (como lo demostró el grupo del Zoológico) y de moverse a lo largo de los refugios ya que algunos casos, los organismos exploraron su entorno dentro de las primera hora recorriendo los refugios pero regresando siempre a la zona que seleccionaron.

Este comportamiento puede explicarse por medio de la ecología conductual del organismo. En este campo, se sabe que las presiones de selección a menudo representan un conflicto, ya que si se invierte tiempo en hacer una determinada acción, como alimentarse, se resta tiempo y energía para realizar otras actividades igualmente beneficiosas como evitar depredadores o la búsqueda de una pareja (Sih, *et al*; 2003). Así, los hábitos exploratorios podrían estar basados en un “método de seguridad” donde los organismos puedan reconocer las condiciones que más les convengan eligiendo con cautela antes de decidir permanecer en un nuevo sitio. Este patrón se vio ligado al horario dentro de los refugios de Xochimilco, demostrando que, en este sitio, los axolotes presentan patrones de actividad nocturnos.

Se piensa que la actividad nocturna o crepuscular en los anfibios es una adaptación al problema de pérdida de humedad en el hábitat (Wise y Buchanan, 2006), por lo que este tipo de actividad ha sido atribuida a especies terrestres, mientras que un patrón de actividad diurno o crepuscular se ha observado en especies que son completamente acuáticas (Petranka, 1998).

El medio acuático en el que algunos miembros del género *Ambystoma* se desarrollan exime a los axolotes del problema de la desecación, por lo que se ha propuesto que su patrón de movimiento es resultado de una estrategia de sobrevivencia, dirigido probablemente a evitar depredadores (Hoffman *et al.* 2004). Esta idea se apoya en diversos estudios donde se ha observado que, tanto las larvas de salamandras, como algunas especies neoténicas de *Ambystoma*, cambian su horario de actividad dependiendo de la presencia o ausencia de peces

en el ambiente, siendo diurnas en la ausencia de depredadores y nocturnas ante la amenaza de ser depredadas (Taylor, 1983; Semiltsch, 1987; Sih *et al.*, 1992, Hoffman *et al.* 2004).

Los resultados de este estudio corroboran esta idea dado que, en los refugios de Xochimilco, que son los más cercanos su ambiente natural, los axolotes mostraron un patrón de actividad nocturno. Por su parte, en el refugio artificial del Zoológico, los axolotes modificaron su patrón de actividad moviéndose tanto de día como de noche. Este cambio en los patrones de actividad puede ser explicado por medio de una estrategia química de evitar la depredación. Los axolotes poseen un sistema quimiorreceptor especializado, por medio del cual, son capaces de detectar químicamente la presencia de depredadores a su alrededor (López, 2012). Esto podría explicar el cambio en el patrón de actividad ya que, aunque en ninguno de los refugios habían depredadores, los refugios de Xochimilco contienen agua de los canales circundantes, pudiendo ser el vector para la detección de otros organismos en su medio.

Estos resultados contradicen lo propuesto por Petranka 1998 y Dolmen 1983, indicando que el horario de actividad puede estar relacionado con el hábitat en que se encuentren los organismos, sugiriendo que, factores como la presión de depredación podrían estar influenciando su patrón de actividad diario.

Selección de microhábitat

Los datos de distancia recorrida demuestran que cada organismo tuvo la oportunidad de elegir entre permanecer en ciertos sitios o continuar moviéndose, lo cual exhibe que los axolotes perciben las diferencias existentes entre microhábitats utilizando determinados sitios más frecuentemente que otros (Simonetti, 1989). Este comportamiento se traduce en una marcada selección de microhábitat entre diferentes situaciones temporada-sitio. *A. mexicanum* es una especie que comparte hábitat con diferentes especies de peces, crustáceos, reptiles y aves, entre los cuales se encuentran sus mayores competidores y depredadores, la carpa (*Cyprinus carpio*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*). Ante esta situación, el uso de hábitos y comportamientos que les permitan evitar ser

depredados es crucial para la sobrevivencia de la especie que actualmente está en peligro de extinción. Una de estas conductas es la selección de microhábitat asociados a vegetación.

En algunos anfibios, la importancia de la vegetación asociada a los cuerpo de agua se ha visto reflejada a escala de microhábitat, seleccionando negativamente como ambientes reproductores los puntos de agua con escasa presencia de vegetación (Egea-Serrano *et al.*, 2005). Particularmente, en las salamandras terrestres, la vegetación ofrece abundantes recursos alimenticios, sitios de ovoposición, protección contra la depredación y microambientes amortiguadores en contra de los cambios de temperatura extremos y la baja humedad (Wake, 1987; Chan, 2003; Herrmann, *et al.*, 2005).

A pesar de estas ventajas potenciales, este estudio mostró que solo hubo preferencia por los sitios con presencia de plantas durante la época más fría del año (situación: zoológico-diciembre) que es también su época de reproducción (diciembre a febrero con posibilidad de extenderse a marzo) indicando que es posible que sea la ovoposición lo que los lleva a elegir estos sitios más allá de que les sirva como protección ante la depredación.

Dentro de este estudio se demostró que los axolotes tienen la capacidad de recorrer el sitio donde se encuentran, con lo cual, pueden escapar de la depredación. Sin embargo, dado el meticuloso proceso de ovoposición, es durante la época de reproducción donde se encuentran más vulnerables y por lo tanto, necesitan sitios seguros para sus huevos y para ellos mismos (Salthe, 1969). Por esto, ovopositar en sitios con plantas puede darle mayor probabilidad de sobrevivencia tanto a la hembra como a los huevecillos depositados.

Patrón de distribución

Un patrón agregado, como el encontrado en la situación Zoológico-diciembre, indica la presencia de interacciones entre los individuos, o entre los individuos y el medio. Existen muchas causas probables para la formación de un patrón agregado, y el estudio de dicho patrón puede ser relevante para comprender tanto la biología como el comportamiento de los organismos. Si se

consideran solamente los factores individuales, la agregación puede ser consecuencia de interacciones sociales, como la repartición de tareas tales como la búsqueda del alimento o la crianza (Chan, 2003) aunque también podría ser consecuencia del modo reproductivo de la población. Una mayor proporción de apareamientos tiene lugar en la época de puesta de los huevos, lo cual explica el patrón de agrupamiento de los organismos encontrado en este estudio. Considerando variables que no sean propias de la biología de los organismos, la agregación podría ser consecuencia del patrón de disposición de los recursos o incluso de los peligros en su hábitat (Jaeger, 1972, Sih *et al.*, 1992). Esto se manifestaría en comportamientos defensivos, o aprovechamiento de parches de alta calidad que les brindaran algún beneficio (Wise y Buchanan, 2006). Ambas variables, tanto las ecológicas como las conductuales, pueden interactuar de muchas formas y afectar la trayectoria evolutiva de la población o incluso de la especie (Mateo, 2002).

Para el caso de *A.mexicanum*, el patrón de agregación de los organismos se ve afectado por la situación temporada-sitio, siendo posible que el tamaño del refugio afectara la heterogeneidad del sitio, lo cual influiría la elección un microhábitat. Por otro lado, un patrón aleatorio como el presentado en los dos seguimientos de Xochimilco (independientemente de la temporada), es producto de la ausencia total de interacciones entre los individuos, y a su vez, con el medio. Cuando la probabilidad de encontrar un individuo es la misma en cualquier punto del espacio, solo puede ser reflejo de que todo este espacio ofrece las mismas condiciones. De ser así, los organismos tendrían la capacidad de elegir pero, dadas las condiciones, se presentaría un patrón aleatorio (como el registrado) incluso si las condiciones no fueran favorables.

Otro factor que podría estar afectando la distribución y selección de hábitat en Xochimilco es el grado de perturbación que presenta este hábitat (Kernohan et al, 1996). Estudios previos realizados en diferentes grupos, han indicado que la presencia de disturbios originados por efectos antropogénicos, pueden afectar los patrones de distribución de los organismos, sobre todo modificando su comportamiento diurno y nocturno. Un claro ejemplo fue publicado por Hayes y

Krausman (1993), quienes encontraron patrones generales de uso y selección de hábitat nocturno utilizando observaciones tomadas a plena luz del día durante todo el año excepto cuando se vio manifestada una perturbación en el ambiente por causa de los seres humanos.

Un factor que también debe ser analizado es la falta de territorialidad de los organismos. Aun cuando se ha observado en muchas poblaciones de salamandras terrestres (Hairston, 1987), el grado de agregación que observamos en la situación Zoológico-diciembre, sugiere que existen otros factores que están determinando la distribución espacial de los organismos. El comportamiento en colonias experimentales sugiere que esta especie presenta comportamientos territoriales (*Observación personal*) e incluso agresivos, siendo capaces de dañar a otros miembros de la población si su densidad se ve rebasada. Sin embargo, bajo condiciones naturales, en refugios con suficiente espacio no se presentó ninguna de estas conductas.

Para entender los patrones de agrupamiento es necesario extender el experimento utilizando una mayor escala, de modo que podamos observar el comportamiento de los organismos en espacios que les permitan permanecer separados unos de otros con mayor distancia entre ellos y por periodos de tiempo más largos.

Para realizar el correcto manejo de hábitats viables para los anfibios se requiere un entendimiento detallado de cómo es que dichos animales usan su hábitat (Semiltsch, 1998). Bajo esa premisa, los resultados del presente estudio serán aplicados para mejorar las condiciones de mantenimiento y manejo de esta especie en los refugios que se han construido para su recuperación y para la rehabilitación de las zonas identificadas con la distribución potencial del axolote. Es esencial incrementar el conocimiento *ex situ* acerca de los hábitos, conductas y preferencias de una especie tan importante como lo es *A. mexicanum*, de este modo, la elaboración de programas de conservación irán enfocados a datos probados en campo sin asumir que sus requerimientos serán los mismos que en colonias experimentales.

VII. CONCLUSION

La selección de microhábitat y los patrones de actividad de *Ambystoma mexicanum* varían dependiendo del refugio y la temporada. Para el caso de la distancia recorrida, los organismos presentan mayor locomoción cuando las dimensiones del refugio se lo permiten. Dicho patrón depende del sitio y temporada ya que los axolotes son nocturnos en Xochimilco y activos durante ambos periodos del día en el Zoológico. Del mismo modo, la selección de microhábitat de los axolotes está marcada por la temporada del año, seleccionando sitios con vegetación solamente durante su etapa de reproducción, que es también el único momento del año en el cual permanecen agregados.

VIII. RECOMENDACIONES

Para realizar el correcto manejo de hábitats viables para los anfibios se requiere un entendimiento detallado de cómo es que dichos animales usan su hábitat (Semiltsch, 1998). Bajo esa premisa, los resultados del presente estudio serán aplicados para mejorar las condiciones de mantenimiento y manejo de esta especie en los refugios que se han construido para su recuperación y para la rehabilitación de las zonas identificadas con la distribución potencial del axolote. Es esencial incrementar el conocimiento *ex situ* acerca de los hábitos, conductas y preferencias de una especie tan importante como lo es *Ambystoma mexicanum*, de este modo, la elaboración de programas de conservación irán enfocados a datos probados en campo sin asumir que sus requerimientos serán los mismos que en colonias experimentales.

Los resultados obtenidos dentro de este trabajo deberán considerados en el proceso de creación y mantenimiento de canales experimentales y refugios construidos tanto para el estudio como para la conservación de *A. mexicanum*. Para estos sitios de debe tomar en cuenta que la presencia de vegetación aumenta su importancia en temporada de fríos y que dicha vegetación presente debe favorecer la ovoposición de los organismos por medio de estructuras que les permitan colocar sus huevos.

IX. LITERATURA CITADA

- Benzecrí, J.P. 1992. Correspondence analysis handbook. (ed.) Dekker. New York 665 pp.
- Bos, G., Carthew, S. 2003. The influence of behavior and season on habitat selection by a small mammal. *Ecography*, 26: 810-820.
- Brodman, R. 1996. Effects of intraguild interactions on fitness and microhabitat use of larval *Ambystoma* salamanders. *Copeia*, 2: 372-378.
- Brodman, R., Jaskula, J. 2002. Activity and microhabitat use during interactions among five species of pond-breeding salamander larvae. *Herpetologica*, 58(3): 346-354.
- Brown, R., Cooke, S., Anderson, G., McKinley, S. 1999. Evidence to Challenge the "2% Rule" for Biotelemetry. *North American Journal of Fisheries Management*, 19-3: 867-871.
- Chan, L. 2003. Seasonality, microhabitat and cryptic variation in tropical salamander reproductive cycles. *Biological Journal of the Linnean Society*, 78: 489–496.
- Crump, M., Scott, N. 1994. Visual encounters surveys. En: *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians*. Heyer, W., Donnelley, M. A., McDiarmid, R., Hayec, L., Foster, M. Eds: Smithsonian Institution Press, Washington D.C. 94-112 pp.
- David, B., Gotthard, K. 2008. Time stress, predator risk and diurnal-nocturnal foraging trade-offs in larval prey. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 62(10): 1655-1663.
- Dodd, K., Cade, B. 1998. Movement patterns and the conservation of amphibians breeding in small, temporary wetlands. *Conservation Biology*, 12-2: 331-339.
- Dodd, C., Smith, J. 2003. Habitat destruction and alteration: Historical trends and future prospects for amphibian. En: *Amphibian Conservation*. Semlitsch, R.D. (ed.) Smithsonian Institution. USA. 94-112 pp.
- Dolmen, D. 1983. Dial rhythms and microhábitat preferences of the newts *Triturus vulgaris* and *T. cristatus* at the northern border of their distribution area. *Journal of herpetology*, 17: 23-31.

- Dunning, J. B., Stewart, B. J., Danielson, B., Root, T. L., Lamberson, R., Stevens, E. 1995. Spatially explicit population models: current forms and future uses. *Ecological Applications*, 5: 3-11.
- Egea-Serrano, A., Olivia-Paterna, F., Torralva, M. 2005. Selección de hábitat reproductor por Rana *Perezi seoane*, 1885 en el N.O. de la Región de Murcia (S.E. Península Ibérica). *Revista Española de Herpetología*, 19: 113-125.
- Eisenberg, J .F. 1979. Habitat, economy and society: some correlations, and hypotheses for the Neotropical primates. En: *Primates ecology and human origins: ecological influences on social organization*. Bernstein, I.S., Smith, O.E. (eds). Granland STPM Press. NY y London. 215-262 pp.
- Ezcurra, E. 1996. De las chinampas a la megalópolis: Medio ambiente en la cuenca de México. Fondo de cultura económica. México DF. 120 pp.
- Faccio, S. 2003. Postbreeding Emigration and Habitat Use by Jefferson and Spotted Salamanders in Vermont. *Journal of Herpetology*, 37-3: 479–489.
- Farías, J. 1984. Xochimilco. Colección de delegaciones políticas. Gobierno del Distrito Federal. México DF.
- Fraser, D. 1976. Empirical Evaluation of the Hypothesis of Food Competition in Salamanders of the Genus *Plethodon*. *Ecology*, 57-3: 459-471.
- Gallep, G., Magnuson, J. 1972. Effects of negative buoyancy on the behavior of the bluegill, *Lepomis macrochirus* Rafinesque. *Transactions of the American Fisheries Society*, 101: 507–512.
- Griffiths, R. 1985. Dial profile of behavior in the smooth newt, *Triturus vulgaris*: an analysis of environmental cues and endogenous timing. *Animal Behavior*, 33: 573-582.
- Hairston, N. 1987. *Community ecology and salamander guilds*. Cambridge University Press. USA. 244 pp.
- Hall, L., Krausman, S., Morrison, M. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*, 25: 173-182.
- Hayes, C., Krausman, P. 1993. Nocturnal activity of female desert mule deer. *Journal of Wildlife Management*, 57: 897–904.

- Heatwole, H. 1982. A review of structuring in herpetofauna assemblages. En: Herpetological communities. Scott, N.J. (eds.). U.S. Department of the interior fish and wildlife service. Washington D.C. 165-187 pp.
- Herrmann, H., Babbitt, K., Baber, M., Congalton, R. 2005. Effects of landscape characteristics on amphibian distribution in a forest-dominated landscape. *Biological Conservation*, 123: 139–149.
- Hoffman, R., Larson, G., Samora, B. 2004. Responses of *Ambystoma gracile* to the removal of introduced nonnative fish from a mountain lake. *Journal of Herpetology*, 38(4): 578-585.
- Holomuzki, J.R. 1986a. Avoidance and diel patterns of microhabitat use by larval Tiger Salamanders. *Ecology*, 67(3): 737-748.
- Holomuzki, J.R. 1986b. Intraspecific Predation and Habitat Use by Tiger Salamanders (*Ambystoma tigrinum nebulosum*) *Ecology*, 67(3): 737-748.
- Jablonski, N. G. 1998. Ultraviolet light-induced neural robe defects in amphibian larvae and their implications for the evolution of melanized pigmentation and declines in amphibian population. *Journal of Herpetology*, 32-3: 455-457.
- Jaeger, R. 1972. Food as a limited resource in competition between two species of terrestrial salamanders. *Ecology*, 53-3: 535-546.
- Jaeger, R. 1979. Seasonal spatial distributions of terrestrial salamander *Plethodon cinereus*. *Herpetologica*, 35: 90-93.
- Jaeger, R. 1980. Microhabitats of a terrestrial forest salamander. *Copeia*, 1980(2): 265-268.
- Janowski-Bell, M., Horner, N. 1999. Movement of male brown tarantula, *APHONOPELMA HENTZI* (*Araneae theraphosidea*), using radio telemetry. *The Journal of Arachnology*, 27: 503–512.
- Johnson, D.H. 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resources preference. *Ecology*, 61: 65-71.
- Keen, W. H. 1979. Feeding and activity patterns in the salamander *Desmognathus ochrophaeus* (Amphibia, Urodela, Plethodontidae). *Journal of Herpetology*, 13: 461-467.
- Keen, W.H. 1984. Influence of moisture on activity of a plethodontid salamander.

- Copaia, 1984(3): 684-688.
- Kernohan, B., Jenks, J., Naugle, D., Millsbaugh, J. 1996. Estimating 24-h Habitat Use Patterns of White-Tailed Deer from Diurnal Use. *Journal of Environmental Management*, 48: 299–303
- Krebs, J.R., Davies, N.B. 1993. An introduction to behavioral ecology. Blackwell Scientific. Oxford. USA. 432 pp.
- Krzysik, A. J. 1979. Resource allocation, coexistence, and the niche structure of a stream bank salamander community. *Ecological Monographs*, 49:173-194.
- Laverde, R., Renjifo, L. 2005. Habitat preference of *Capito hypoleucus*, an endemic and endangered Colombian bird. *Ornitología Colombiana*, 3: 62-73.
- Lawler, S. 1989. Behavioral responses to predators and predation risk in four species of larval anurans. *Animal Behavior*, 38: 1039-1047.
- Lehtiniemi, M, Engström-Öst, J Viitasalo, M. 2005. Turbidity decreases anti-predator behaviour in pike larvae, *Esox lucius*. *Environmental Biology of Fishes*, 73: 1–8.
- Lizana, M., Pedraza, M. 1998. The effect of UV-radiation on toad mortality in mountainous Areas of central Spain. *Conservation Biology*, 12-3: 703-707.
- Lopez, S. 2012. Detección química y visual de la presencia de un depredador (*Oreochromis niloticus*) en *Ambystoma mexicanum*. Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Maiorana, V. 1978. Difference in diet as an epiphenomenon: space regulates salamanders. *Canadian Journal of Zoology*, 56: 1017-1025.
- Manly, B., McDonald, L., Thomas, D. 1993. Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies. Chapman and Hall, London. England. 156 pp.
- Marsh, D., Pearman, M. 1997. Effects of habitat fragmentation on the abundance of two species of leptodactylid frogs in an Andean montage forest. *Conservation Biology*, 11-6: 1323-1328.
- Mateo, J. 2002. Áreas importantes para la herpetofauna española. En: Atlas y

- Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Pleguezuelos, J., Márquez, R., Lizana, M. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid, España. 485-500 pp.
- Maynadier, P., Hunter, M. 1999. Forest canopy closure and juvenile emigration by pool-breeding amphibians in Maine. *The journal of wildlife management*, 63-2: 441-450.
- Metcalf, N. B., Fraser, N.H.C., Burns, M.D. 1999. Food Availability and the Nocturnal vs. Diurnal Foraging Trade-off in Juvenile Salmon. *Journal of Animal Ecology*, 68(2): 371-381.
- Morris, D.W. 1987. Ecological scale and habitat use. *Ecology*, 68: 362-369.
- Moseley, K., Castleberry, S., Ford, W.M. 2004. Coarse woody debris and pine litter manipulation effects on movement and microhabitat use of *Ambystoma talpoideum* in a *Pinus taeda* stand. *Forest Ecology and Management*, 191: 387–396.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.
- Oatway, M., Morris, D.W. 2007. Do animals select habitat at small or large scales? An experiment with meadow voles (*Microtus pennsylvanicus*). *Canadian Journal of Zoology*, 85: 479-487.
- Petranka, J. 1998. Salamanders of the United States and Canada. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. USA. 592 pp
- Pilliod, D., Peterson, C. 2000. Evaluating effects of fish stocking on amphibian Populations in wilderness lakes. *USDA Forest Service Proceedings R MRS-PI5*, 15: 328-335.
- Ralph, C. 1957. A diurnal activity rhythm in *Plethodon cinereus* and its modification by an influence having a lunar frequency. *Biological bulletin*, 113: 188-197.
- Rogers, K., White, G. 2007. Analysis of movement and habitat use from telemetry data. En: *Analysis and interpretation of freshwater fisheries data*. American Fisheries Society, Brown, M., Maryland, C. G. (eds). 625–676 pp.

- Rosenzweig, M. 1991. Habitat Selection and Population Interactions: The Search for Mechanism. *The American Naturalist*, 137: S5-S28, Supplement: Habitat Selection.
- Ross, M., McCormick, J. 1981. Effects of External Radio Transmitters on Fish. *Progressive Fish-Culturist*, 43(2): 62-72.
- Roth, G. 1987. Visual behavior in salamanders. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 301 pp.
- Skelly, D. 1994. Activity level and susceptibility of anuran larvae to predation. *Animal Behavior*, 47: 465-468.
- Salthe, 1969. Reproductive modes and number and size of ova in urodeles. *The American midland naturalist*, 81: 467-490.
- Semlitsch, R.D. 1987. Interactions between fish and salamander larvae: cost of predator avoidance or competition? *Oecologia*, 72: 481-486.
- Semlitsch, R.D. 1998. Biological delineation of terrestrial buffer zones for pond-breeding salamanders. *Conservation biology*, 12-5: 1113-1119.
- Sih, A., Kats, L., Moore, R.D. 1992. Effects of predatory sunfish on the density, drift, and refuge use of stream salamander larvae. *Ecology*, 73: 1418-1430.
- Simonetti, J. A, 1989. Microhabitat use by small mammals in Central Chile. *Oikos*, 56: 309-318.
- Taylor, J. 1983. Orientation and flight behavior of a neotenic salamander (*Ambystoma gracile*) in Oregon. *American midland Naturalist*, 109: 40-49.
- Traba, J., Acebes, P., Campos, V., Giannoni, S. M. 2009. Habitat selection by two sympatric rodent species in the Monte desert, Argentina. First data for *Eligmodontia moreni* and *Octomis mimax*. *Journal of Arid Environments*, 74: 179-185.
- Vasconcelos, D., Calhoun, A. 2004. Movement patterns of adult and juvenile *Rana sylvatica* and *Ambystoma maculatum* in three restored seasonal pools in Maine. *Journal of herpetology*, 38-4: 551-561.
- Wake, DB. 1987. Adaptive radiation of salamanders in middle American cloud forests. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 74: 242–264.
- Wise, S., Buchanan, B. 2006. Influence of artificial illumination on the nocturnal

behavior and physiology of salamanders. En: Ecological consequences of artificial night lighting. Rich, C., Longcore, T. (eds). Island Press. 221-251 pp.

Zambrano, L. 2004. Abundancia y estructura poblacional del Axolote (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco.

Informe final del proyecto AS004. Instituto de Biología, UNAM, México DF.

Zambrano, L., Valiente, E., Tovar, A., González, H., Eslava-Sandoval, D. 2010.

Creating Refuges for the Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). Ecological Restoration, 28: 257-259.

Anexo

Cuadro 1. Identificación de cada organismo con el porcentaje de eficiencia de cada seguimiento. Cada sitio de seguimiento esta señalado con su letra inicial (X=Xochimilco, Z=Zoológico).

ID	RADIO FRECUENCIA	SITIO	No. HORAS MONITOREADO	NO. VECES LOCALIZADO	% Eficiencia
Primavera (Marzo)					
1	516	X	72	72	100
2	581	X	72	72	100
3	457	X	72	72	100
4	161	X	72	60	83.33
5	174	X	72	72	100
Verano (Junio)					
6	457	X	72	72	100
7	516	X	72	60	83.33
8	581	X	72	38	52.77
9	174	X	72	72	100
10	355	X	72	72	100
Invierno (Diciembre)					
11	283	Z	72	72	100
12	196	Z	72	72	100
13	460	Z	72	72	100
14	106	Z	72	72	100
15	148	Z	72	72	100
16	238	Z	72	72	100

Cuadro 2. Identificación de cada organismo con su distancia recorrida promedio (DP), distancia promedio de día (DP-D) y de noche (DP-N), distancia recorrida total (DT), distancia máxima recorrida desde el origen (DMO) y distancia máxima recorrida en 1 hora (DM1H). Cada sitio de seguimiento esta señalado con su letra inicial (X=Xochimilco, Z=Zoológico).

ID	SITIO	RADIO		DP-D (m)	DP-N (m)	DT(m)	DMO (m)	DM1H (m)
		FRECUENCIA	DP (m)					
Xochimilco-marzo								
1	X	516	2.50	2.44	2.56	192	0	10
2	X	581	2.58	1.17	4.00	188	2	9
3	X	457	2.03	1.83	2.22	148	2	10
4	X	161	2.76	2.06	2.39	134	2	14
5	X	174	2.11	0.78	3.44	158	0	9
Xochimilco-junio								
6	X	457	2.94	1.50	4.39	212	2	10
7	X	516	1.43	0.39	2.00	86	0	10
8	X	581	2.19	0.56	1.33	68	18	20
9	X	174	2.50	2.06	2.94	180	12	18
10	X	355	1.81	1.61	2.00	130	4	4
Zoológico-diciembre								
11	Z	283	3.00	2.89	2.67	216	22	24
12	Z	196	3.58	3.00	3.56	258	20	22
13	Z	460	1.17	1.33	0.67	84	14	14
14	Z	106	2.08	0.83	2.94	150	2	18
15	Z	148	4.22	4.33	3.22	304	2	30
16	Z	238	2.42	0.94	3.39	174	10	28