

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

ESTUDIO RETROSPECTIVO DE LA POBLACIÓN DEL  
TEPORINGO (*Romerolagus diazi*) EN CAUTIVERIO EN EL  
ZOOLOGICO DE CHAPULTEPEC

TESIS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA**

PRESENTA  
**DIANA LIÉVANA LÓPEZ**

Asesor:

Biól. Ms.C. Ph.D. Carlos Gustavo Vázquez Peláez

Ciudad de México

2016



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.

## DEDICATORIA

*Dedicado a la persona más noble y fuerte que conozco: mi madre,  
así de sencillo*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre, por todo tu amor, apoyo, comprensión, y sacrificios. Todo lo que soy te lo debo a ti.

A la UNAM que a lo largo de mi vida ha sido un segundo hogar.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por una formación académica que agradeceré toda mi vida.

Al Dr. Carlos G. Vázquez Peláez por su dedicación y confianza.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica IN219314 y al Zoológico de Chapultepec, por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

A Naty, simplemente no hubiera sido tan divertido sin ti.

A Pau y Lupis, gracias por una amistad invaluable.

A Cristian, por tu apoyo y ayudarme a no olvidar mis sueños.

## CONTENIDO

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Antecedentes.....	3
Teporingo.....	4
Conservación <i>ex situ</i> .....	6
Estructura poblacional.....	7
Dinámica poblacional.....	8
Tasa de consanguinidad y censo efectivo de la población.....	8
Justificación.....	10
Objetivo.....	11
Materiales y Métodos.....	12
Resultados.....	14
Modelaje de la variación de machos en la población.....	16
Modelaje de la variación de hembras en la población.....	19
Modelaje de la variación de la relación macho: hembra en la población.....	22
Modelaje de la variación del número efectivo de la población.....	25
Discusión.....	30
Conclusión.....	32
Referencias.....	33

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Promedios generales, desviación estándar y coeficientes de variación (CV) del número real de machos y hembras adultos de teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec de 2004 a 2013.....	14
Cuadro 2. Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación de machos en la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec.....	16
Cuadro 3. Resultados de los estimadores para regresión aleatoria de efectos fijos para la variación del número de machos en la población de teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec .....	17
Cuadro 4. Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación de hembras en la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec.....	19
Cuadro 5. Resultados de los estimadores para regresión aleatoria de efectos fijos para la variación de hembras en la población de teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec.....	20
Cuadro 6. Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación de la relación macho: hembra en la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec .....	22
Cuadro 7. Resultados de los estimadores para regresión aleatoria de efectos fijos para la variación de la relación macho: hembra en la población de teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec .....	23
Cuadro 8. Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación del número efectivo de la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en el Zoológico de Chapultepec .....	25

Cuadro 9. Resultados de los estimadores para regresión aleatoria de efectos fijos para el número efectivo de la población en la población de teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec .....26

Cuadro 10. Valores estimados promedio por año y valores recomendados de acuerdo a la variación entre y dentro de años del teporingo (*R. diazi*) en el periodo 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec .....28

# CONTENIDO

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número mensual real de machos (1.1) y hembras (1.2) adultos de teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en cautiverio en el periodo de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.....	15
Figura 2. Variabilidad en el estimado de machos en la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.....	18
Figura 3. Variabilidad en el estimado de hembras en la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.....	21
Figura 4. Variabilidad en el estimado de la relación macho: hembra en la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.....	24
Figura 5. Variabilidad en la estimación del número efectivo de la población en la población del teporingo ( <i>R. diazi</i> ) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.....	27
Figura 6. Eje primario: estimaciones del número recomendado de machos y número recomendado de hembras adultos en la población. Eje secundario: estimación de la relación recomendada de macho: hembra en la población de teporingos en cautiverio en el Zoológico de Chapultepec.....	29

## RESUMEN

LIÉVANA LÓPEZ DIANA. Estudio retrospectivo de la población del teporingo (*Romerolagus diazi*) en cautiverio en el Zoológico de Chapultepec. (Bajo la dirección de Biól. Ms.C. PhD Carlos Gustavo Vásquez Peláez)

El teporingo (*Romerolagus diazi*) es una especie endémica y de distribución restringida de la parte central del Eje Neovolcánico Transversal; se encuentra catalogada como una especie en peligro de extinción. Debido a su gran importancia, se conserva una población en cautiverio en el Zoológico de Chapultepec de la Ciudad de México. A partir de los registros mensuales de esta población y a la variación observada debido a condiciones ambientales, se analizó la estructura poblacional del teporingo en cautiverio ajustando los polinomios lineal, cuadrático y cúbico en modelos de regresión aleatoria, que sugieren un número recomendado mensual de 48 a 54 machos adultos y de 78 a 85 hembras adultas para ésta población, obteniendo un  $N_e$  de 119 a 132 individuos, una proporción de 1.62 hembras adultas por cada macho adulto, y un incremento de consanguinidad del 0.75% al 0.84% en cada generación, permitiendo así mantener un número constante de animales adultos, crías y aumento en la consanguinidad.

## INTRODUCCIÓN

México posee una gran cantidad de especies endémicas o especies raras con patrones de distribución restringidos, poco abundantes, o ambos factores; estas poblaciones representan grupos vulnerables a la extinción y, por ende, prioritarios para su conservación <sup>15, 58</sup>.

El teporingo (*Romerolagus diazi*) es un lagomorfo endémico de México y de distribución exclusiva del Eje Neovolcánico Transversal <sup>12, 55</sup> catalogada como especie en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana <sup>37</sup> y por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza <sup>26</sup>. El Zoológico de Chapultepec comenzó la población de teporingos en cautiverio para apoyar la supervivencia de la especie, y mantenimiento de una población viable.

La importancia de un análisis de la dinámica poblacional en cautiverio recae en predecir valores futuros de las variables identificadas a partir de una serie de observaciones <sup>7, 17, 47</sup>, como el número de individuos en la población.

Los estudios de series de tiempo son herramientas invaluable para los principales objetivos en la ecología de poblaciones <sup>18, 32</sup>. El presente estudio es pionero en el análisis de dinámica poblacional de lagomorfos en cautiverio, lo cual le da un valor fundamental a la labor de generar bases de datos suficientemente grandes y confiables para este proceso. Este estudio genera el conocimiento biológico necesario para generar políticas correctamente fundamentadas para la conservación y manejo de los lagomorfos.

## ANTECEDENTES

Debido a su ubicación geográfica, topografía e hidrografía, México posee una gran variabilidad ecológica, donde están presentes cinco tipos de ecosistemas y prácticamente todos los tipos de vegetación terrestre conocidos. El 12% de las especies del planeta se distribuyen en nuestro territorio, y con más de 200,000 especies descritas, México ocupa el tercer lugar de los cinco países llamados „megadiversos“ (los cuales en conjunto albergan entre el 60% y 70% de la diversidad biológica conocida del planeta), ocupando el segundo lugar en riqueza de mamíferos con 535 especies <sup>10, 14, 15, 16, 58</sup>.

México se distingue por la alta proporción de especies endémicas con patrones de distribución bien definidos, ocupando el tercer lugar mundial en mamíferos endémicos. El 32% de los mamíferos terrestres (164 especies) pertenecen a esta categoría <sup>14, 15, 16, 58</sup>.

Por su distribución geográfica y abundancia de las especies se han considerado como *especies raras* aquellas que tienen distribuciones restringidas, poblaciones poco abundantes o combinaciones de ambos factores, estas se han convertido en un grupo prioritario para la conservación ya que son más vulnerables a la extinción como resultado de actividades antropogénicas que destruyen o modifican el ambiente <sup>10, 40, 49</sup>.

La biodiversidad enfrenta riesgos que ponen en peligro su preservación, como el impacto de las actividades humanas que derivan de la sobreexplotación, destrucción y fragmentación del hábitat para actividades productivas, introducción de especies

exóticas y la contaminación lo que conlleva a la pérdida de poblaciones y las especies que habitan en ellos <sup>16, 17, 56</sup>.

## Teporingo

El teporingo, zacatuche o conejo de los volcanes (*R. diazi*) es una especie endémica de México y de distribución restringida de la parte central del Eje Neovolcánico Transversal, catalogada tanto en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como en la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como especie en peligro de extinción. Es uno de los mamíferos con hábitat más reducido en México, se distribuye en un área discontinua de 386 km<sup>2</sup> en la Sierra Chichinautzin (volcanes Pelado y Tláloc), en el Ajusco y en la Sierra Nevada (volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl). Es una de las especies más representativas y emblemáticas del Eje Neovolcánico Transversal y del país <sup>12, 49, 55, 57</sup>.

El teporingo es un lepórido de talla pequeña, el más pequeño de México. Se caracteriza por sus orejas cortas y redondas, piernas cortas en relación con su cuerpo y una característica muy particular a diferencia de los demás lepóridos, su cola es tan pequeña que casi no es visible a simple vista. Su pelaje es de color café-grisáceo oscuro homogéneo con la parte ventral un poco más clara. Su tamaño es pequeño en relación a otros miembros de la Familia *Leporidae*. La longitud promedio en adultos es de 268 mm para los machos y 285 mm para las hembras. El peso promedio en los machos es de 417 gramos y 535 gramos para las hembras <sup>8, 49, 50</sup>.

Viven en grupos de dos a cinco individuos y las hembras son dominantes. Los gazapos nacen con los ojos cerrados, no se mueven ni alimentan por si solos hasta

las dos o tres semanas, y posteriormente comienzan a comer sólidos. Comienzan a abandonar el nido entre los diez y quince días de edad, pero aún regresan a él; aproximadamente a los veinte días de edad lo abandonan de forma definitiva <sup>10, 32</sup>. Ramos (2011) <sup>46</sup> determinó que las hembras no presentan un ciclo estral definido por fases <sup>26</sup>.

Alcanzan su madurez sexual entre los cinco y seis meses de edad. Su periodo reproductivo es durante todo el año; sin embargo, es más intenso en veranos tibios y húmedos, y más leve en inviernos fríos y secos. La gestación dura de 38 a 41 días y el número de crías por parto es de uno a tres. Los nidos son normalmente cavidades someras y pequeñas sobre la superficie del suelo, cavadas por las hembras en la base de las gramíneas amacolladas (renuevos de pastos) por lo que son difíciles de encontrar <sup>12, 49, 53</sup>.

La expansión de las grandes zonas urbanas de la Ciudad de México, Toluca y Puebla, así como las actividades humanas en la región de la Sierra de Chichinautzin y Ajusco, han provocado de manera directa la fragmentación del hábitat del teporingo y, en consecuencia restricciones en su distribución geográfica y su densidad poblacional <sup>12, 13, 49</sup>.

La principal amenaza que enfrenta esta especie y su ecosistema es un intenso proceso fragmentación, disminución de su hábitat y la cacería furtiva. Las principales actividades de perturbación del hábitat son el establecimiento y crecimiento de asentamientos urbanos, campos de cultivos y ganaderos, actividades ecoturísticas mal planeadas, extracción de madera, incendios forestales, cacería y depredación por parte de perros y gatos domésticos y ferales <sup>9, 37, 56</sup>.

## Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* es el mantenimiento de los componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales; su propósito es apoyar la supervivencia de las especies y ayudar al mantenimiento de poblaciones viables de especies amenazadas, proporcionando servicios de educación y concientización pública, permitiendo la investigación de especies y recursos genéticos <sup>2</sup>.

Existen diferentes modalidades de conservación *ex situ*: las especies de vida silvestre en centros de tenencia y manejo, dentro de los cuales se encuentran los zoológicos <sup>2</sup>. Los zoológicos son instituciones que al mantener una colección de fauna silvestre abierta al público contribuyen en varias maneras a la conservación de la biodiversidad mediante la recuperación y, en algunos casos, reintroducción de especies amenazadas, investigación para mejorar el manejo de poblaciones silvestres en cautividad e incrementar la educación a la población acerca de la biodiversidad y su conservación <sup>2</sup>.

El Zoológico de Chapultepec, considerado el “Zoológico Nacional”, fue inaugurado en 1924 por el Biólogo Alfonso L. Herrera, con un total de 243 ejemplares de diferentes especies. Durante la década de los 90’s fue remodelado en su totalidad y la colección animal fue distribuida en siete zonas bioclimáticas: desierto, pastizales, franja costera, tundra, aviario, bosque templado y bosque tropical <sup>13</sup>.

En él se conservan y exhiben especies de fauna silvestre de México y el mundo, algunas se encuentran en peligro de extinción, y otras son nativas de México, incluyendo al conejo de los volcanes o teporingo desde marzo de 1984. También

participa en proyectos de conservación en la reproducción en cautiverio de especies a través de métodos naturales y artificiales; la colaboración de instituciones nacionales e internacionales es parte del trabajo para la conservación de fauna silvestre <sup>13</sup>. El zoológico recibe 5.5 millones de visitas anuales <sup>13</sup> con el propósito de fomentar la conservación e investigación de las especies silvestres, promover la conservación integrada mediante la realización de acciones de conservación, y brindar recreación y esparcimiento a los visitantes.

El Zoológico de Chapultepec inició su población de conejo zacatuche en febrero de 1984 a partir de individuos silvestres. Actualmente, la población de teporingos en la zona bioclimática bosque templado se encuentra dividida en tres albergues interiores y un exhibidor. También cuenta con una serie de recintos individuales para albergar a los individuos que se encuentran bajo algún tratamiento u observación especial.

## Estructura poblacional

Desde el punto de vista ecológico los animales se organizan en poblaciones: una población es un grupo de individuos de la misma especie ocupando un área determinada durante un tiempo específico, entre los cuales es importante el intercambio genético y compartir atributos como crecimiento poblacional, parámetros poblacionales, fenómenos sociales, competencia interespecífica, entre otros <sup>3, 4, 6, 43</sup>.

La estructura poblacional está conformada por propiedades que un individuo no posee; clasifica la composición de sus características como densidad, tasa de natalidad, tasa de mortalidad, estructura de edades y proporción de sexos <sup>5, 6, 18</sup>.

Las curvas de población son las representaciones gráficas de la estimación de la abundancia de una población animal, es decir la densidad total de individuos de la población, permitiendo observar las variaciones de la abundancia en función del tiempo sin importar cuáles sean las fases del ciclo de vida representadas. El número de individuos de una población depende de la cantidad que se incorporan y que desaparecen, puede deberse a un incremento o decremento intrínseco (nacimientos y muertes), o extrínseco (inmigración o emigración) <sup>25, 43, 46</sup>.

Si se cuenta con información sobre la abundancia de los individuos en las fases del ciclo de vida durante un periodo suficientemente largo, entonces se obtiene una estimación del número de individuos en cada una de las generaciones <sup>43</sup>.

## Dinámica poblacional

La dinámica de poblaciones es el estudio de los cambios de las comunidades biológicas, factores y mecanismos que los regulan; la manera en que la abundancia y la densidad de una especie cambian durante un periodo determinado <sup>3, 28, 29, 46</sup>. Los análisis de la dinámica poblacional por medio de series de tiempo tienen dos objetivos principales: 1) identificar la naturaleza de un fenómeno representada por medio de una secuencia de observaciones y 2) predecir los valores futuros de las variables de esas series de tiempo <sup>7, 20, 48</sup>.

## Tasa de consanguinidad y número efectivo de la población

Cualquier desviación en el apareamiento aleatorio entre los individuos de una población conduce a un cambio aleatorio de las frecuencias génicas como producto

del muestreo gamético, llamado proceso dispersivo. La consecuencia más notable de la consanguinidad es la reducción del valor fenotípico medio que muestran los caracteres relacionados con la capacidad reproductiva o la eficiencia fisiológica <sup>19</sup>.

Los efectos de la endogamia pueden cuantificarse utilizando la tasa de consanguinidad ( $\Delta F$ ) siendo la probabilidad de que los dos genes que lleve un individuo en cualquier *locus* sean idénticos por descendencia, expresando así el grado de parentesco entre sus padres. La identidad por descendencia proporciona la base para la medición del proceso dispersivo <sup>20, 21</sup>.

El proceso dispersivo, en términos de la varianza de las frecuencias génicas y de la tasa de consanguinidad, puede ser evaluado en una población aunque esta no sea considerada como ideal expresándolo en términos del número efectivo de la población ( $N_e$ ). Éste es el número de individuos que daría lugar a la varianza del muestreo o la tasa de consanguinidad si dichos individuos se reprodujeran de la manera indicada en la población ideal <sup>20</sup>.

Con el objeto de identificar la variabilidad dentro y entre el tiempo de estudio, se requiere identificar las varianzas y correlaciones entre los diferentes muestreos mensuales dentro y entre años, y describir a través de un modelo estadístico el comportamiento de la población que permita sugerir un tamaño adecuado conforme a las diferentes condiciones ambientales en cautiverio. Esta descripción puede ser realizada utilizando modelos estructurales <sup>25</sup>.

## JUSTIFICACIÓN

Todas las poblaciones en condiciones naturales están sujetas a efectos ambientales no controlados a través del año, y con una repetición semejante a través del tiempo, que pueden modificar la estructura de machos y hembras adultos capaces de dejar descendencia en la siguiente generación <sup>23</sup>.

Las condiciones ambientales se pueden ver modificadas por variaciones externas (como el crecimiento poblacional, la deforestación, introducción de fauna nociva <sup>32, 34, 37</sup>), las cuales no son repetibles a través del tiempo.

A las poblaciones en cautiverio se les pretende mantener condiciones ambientales homogéneas en el año y entre años; sin embargo, estas condiciones se pueden ver modificadas por situaciones externas <sup>35, 38</sup> como espacio vital de la especie, jerarquía social, enfermedades, estrés, manejo, cantidad y calidad del alimento, entre otras. Es por esto que el estudio a través del tiempo permite caracterizar un comportamiento de la población en cautiverio <sup>6</sup>.

## **OBJETIVO GENERAL**

Estimar la variabilidad de la estructura poblacional del teporingo en cautiverio en el Zoológico de Chapultepec en el periodo de 2004 a 2013, y sugerir un tamaño adecuado de la población de acuerdo a la variación observada en 10 años.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar los mejores modelos de regresión aleatoria para describir la estructura poblacional.

Calcular la relación macho:hembra y el número efectivo de la población.

Modelar la variabilidad de la estructura de machos, hembras, la relación macho:hembra y el número efectivo de la población del teporingo en cautiverio.

Estimar el aumento de la consanguinidad en la población.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó utilizando los registros mensuales del inventario de la población del teporingo que consideran número de machos adultos, número de hembras adultas y número de individuos indeterminados en cautiverio en el Zoológico de Chapultepec entre 2004 y 2013, obtenidos a partir de la diferencia de altas y bajas de los ejemplares.

Se calculó la relación macho:hembra estimada como número de hembras adultas entre número de machos adultos.

Se estimó el número efectivo de la población ( $N_e$ )<sup>20</sup> utilizando la función:

$$N_e = \frac{4 N_m N_h}{N_m + N_h}$$

Donde:

$N_e$ = número efectivo de la población

$N_m$ = número de machos

$N_h$ =número de hembras

Se estimó la tasa de consanguinidad ( $\Delta F$ )<sup>20</sup> con la función:

$$\Delta F = \frac{1}{N_e}$$

Donde:

$\Delta F$  = tasa de consanguinidad

$N_e$ = número efectivo de la población

## Análisis estadístico

Los registros mensuales del inventario de enero de 2004 a diciembre de 2013 se analizaron ajustando los polinomios lineal, cuadrático y cúbico en un modelo de regresión aleatoria (PROC MIXED, SAS 9.3), utilizando mes como efecto fijo y año como efecto aleatorio, que explica la variación entre y dentro de los años es representado como:

$$y_{kml} = \sum_{i=0}^a E_l b_i P(x)_{kl}^i + \sum_{i=0}^b E_{l_{im}} P(x)_{kml}^i + e_{kml}$$

Donde  $y_{kml}$  es la  $k$ -ésima observación de la frecuencia observada de machos, hembras, relación macho:hembra y número efectivo de la población, registrado en el  $m$ -ésimo mes;  $b_i$  son coeficientes de la regresión fija para la función;  $_{im}$  es el  $i$ -ésimo coeficiente de regresión aleatoria de la curva de existencia de los meses pertenecientes al  $m$ -ésimo año;  $(x)_{kml}^i$  es la  $k$ -ésima observación del mes al momento del conteo, del  $m$ -ésimo mes, perteneciente al  $l$ -ésimo año,  $e_{kml}$  es el error asociado con la observación  $y_{kml}$ .

Se compararon diferentes polinomios considerando el promedio o intercepto, el efecto lineal, cuadrático y cúbico; utilizando los valores de verosimilitud  $-2 * \text{Res Log} = -2 * \text{Residual Log (Likelihood)}$ , AIC= Criterio de Información Akaike <sup>1</sup>, AICC= Criterio de Información Akaike Corregido <sup>1</sup> y BIC= Criterio de Información Bayesiano <sup>30</sup> para identificar el mejor modelo que explique la variabilidad entre y dentro de los años, siendo aquel que tenga mayor proximidad a cero.

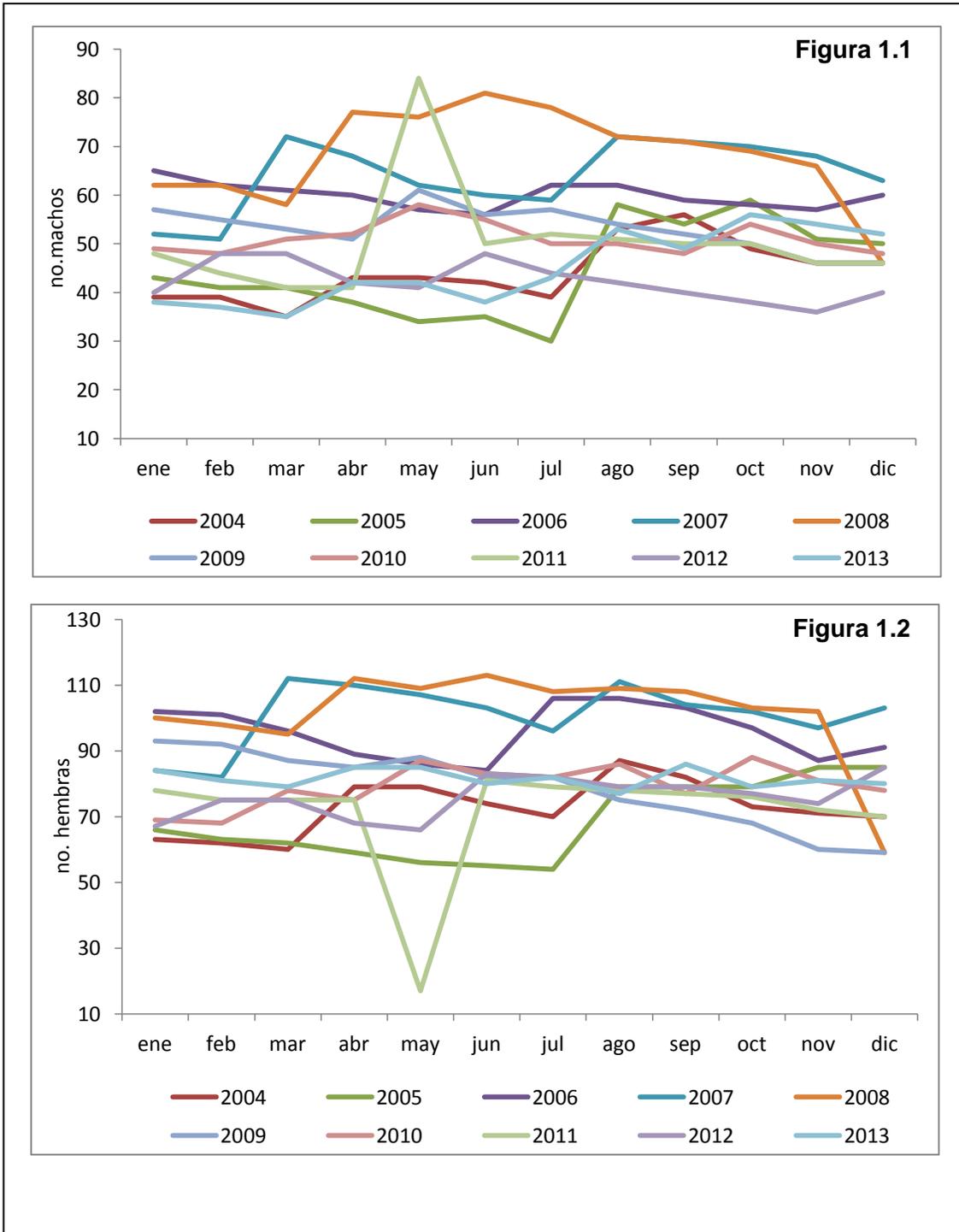
## RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestra la variación dentro y entre años de teporingos machos y hembras adultos presentes en el Zoológico de Chapultepec en el periodo de 2004 a 2013.

**Cuadro 1.** Promedios generales, desviación estándar y coeficientes de variación (CV) del número real de machos y hembras adultos de teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec de 2004 a 2013.

Año	Machos	Hembras	Año	Machos	Hembras
2004	44 ± 6.2 14%	73± 8.3 11%	2009	53± 4.5 8%	79± 11.7 15%
2005	45 ± 9.7 22%	69± 12 17%	2010	51± 3.1 6%	79± 6.5 8%
2006	60 ± 2.6 4%	96± 8 8%	2011	50± 11.3 23%	71± 17.3 24%
2007	64 ± 7.4 12%	101± 9.8 10%	2012	42± 4 10%	76± 6.3 8%
2008	68 ± 10 15%	101± 14.5 14%	2013	39± 2.8 7%	82± 2.7 3%

Se observó un coeficiente de variación de 4% en 2006 a 23% en 2011 para machos, mientras que para hembras fue de 3% en el 2013 a 24 % en el 2011. La variación entre años fue de 22% y 19% para machos y hembras, respectivamente.



**Figura 1.** Número mensual real de machos (Figura 1.1) y hembras (Figura 1.2) adultos de tepiringo (*R. diazi*) en cautiverio en el periodo de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.

## Modelaje de la variación de machos en población

Se estimaron diferentes modelos que expliquen la variación del número de machos en la población. En el Cuadro 2 se muestran los valores de verosimilitud de los diferentes polinomios utilizados, observando que el modelo que mejor explica la variación de machos en el periodo del estudio es representado por una función cuadrática como se observa por el valor de verosimilitud  $-2 \cdot \text{Res Log}$ .

**Cuadro 2.** Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación de machos en la población del teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

	Media	Modelo lineal	Modelo cuadrático	Modelo cúbico
	$b_0$	$b_0+b_1x$	$b_0+b_1x+b_{11} x^2$	$b_0+b_1x+b_{11} x^2+b_{111}x^3$
$-2 \cdot \text{Res Log}$	794.5	791.1	<b>775.3</b>	776.8
AIC	798.5	799.1	789.3	796.8
AICC	798.6	799.5	790.3	799.1
BIC	799.1	800.3	791.4	799.9

$x = \text{mes}$

$-2 \cdot \text{Res Log} = -2 \cdot \text{Residual Log (Likelihood)}$ ; AIC = Criterio de Información Akaike; AICC = Criterio de Información Akaike Corregido; BIC = Criterio de Información Bayesiano.

En el Cuadro 3 se presentan los estimadores del modelo cuadrático de regresión aleatoria para cada uno de los años en estudio, estos valores son los mejores estimadores no sesgados (BLV) de la regresión y se presentan como diferencia con respecto al promedio de la regresión aleatoria, que puede ser definida como el mejor comportamiento de la población a través de los 10 años, como se muestra en la Figura 2.

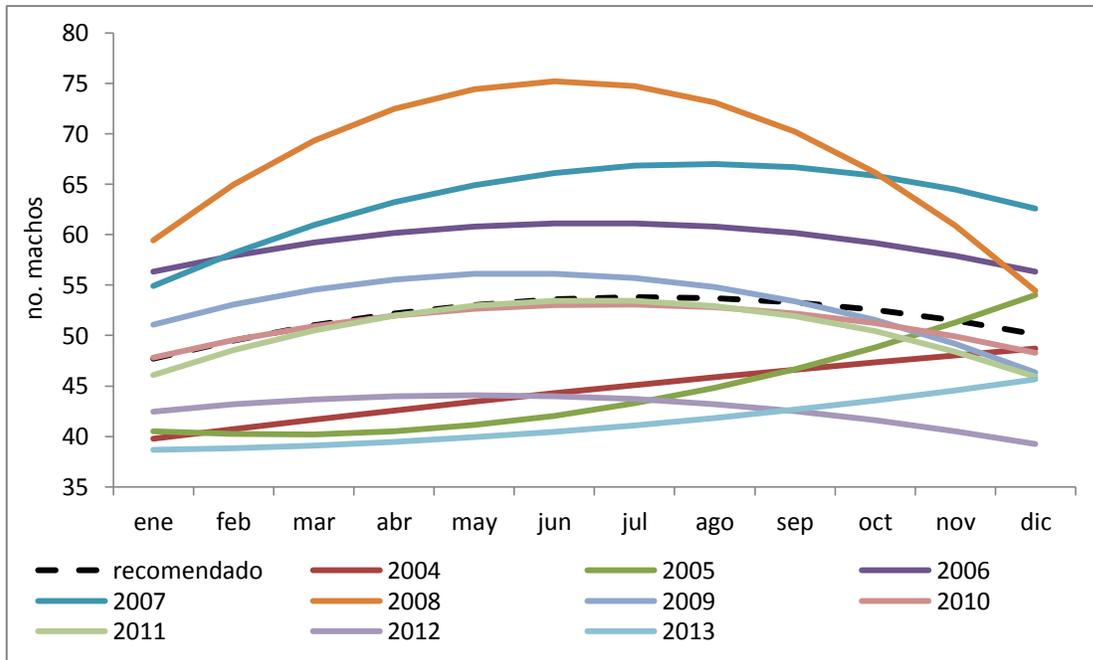
**Cuadro 3.** Resultados de los estimadores para regresión aleatoria (RA) de efectos fijos para la variación del número de machos en la población de teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

Año	Intercepto	Error estándar	mes	Error estándar	mes <sup>2</sup>	Error estándar
<b>RA</b>	<b>45.572</b>	<b>2.765</b>	<b>2.289</b>	<b>1.039</b>	<b>-0.159</b>	<b>0.0865</b>
2004	-6.8	4.0	-1.3	1.5	0.1	0.1
2005	-4.4	4.0	-3.1	1.5	0.3	0.1
2006	8.9	4.0	-0.2	1.5	0.0	0.1
2007	5.5	4.0	1.8	1.5	-0.1	0.1
2008	7.1	4.0	5.1	1.5	-0.4	0.1
2009	3.1	4.0	0.4	1.5	-0.1	0.1
2010	0.2	4.0	-0.1	1.5	-0.0	0.1
2011	-2.5	4.0	0.9	1.5	-0.1	0.1
2012	-4.1	4.0	-1.3	1.5	0.1	0.1
2013	-7.0	4.1	-2.2	1.6	0.2	0.1

En la Figura 2 se presenta el comportamiento del número de machos entre años, obtenido a partir de los modelos de regresión aleatoria.

Los resultados muestran que existe una variación debido a factores ambientales no considerados en el modelo. El modelo de regresión aleatoria permite sugerir el número adecuado de machos en la población, representado en la figura con la línea punteada negra.

Estos estimadores consideran la varianza y las correlaciones entre muestreos dentro y entre años, y es interpretada como el mejor comportamiento de la variable en estudio como ha sido observada en otras especies para predecir un comportamiento productivo <sup>11, 54</sup>.



**Figura 2.** Variabilidad en el estimado de machos en la población del teporingo (*R. diazi*) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.

Se observa una gran variación en el comportamiento del número de machos entre años, donde en 2006, 2007 y 2008 se mantuvo un número mayor de machos mientras que en los años 2004, 2005, 2012 y 2013 el número fue menor.

Se encontró que en los años 2006, 2008, 2009, 2010 y 2011 la distribución de los machos tiende a aumentar durante los meses intermedios (de abril a agosto), y disminuir en el resto del año; En el resto de los años no se aprecia un comportamiento definido.

## Modelaje de la variación de hembras en población

Se estimaron diferentes modelos que expliquen la variación del número de hembras en la población. En el Cuadro 4 se muestran los valores de verosimilitud de los diferentes polinomios utilizados, observando que el modelo que mejor explica la variación del número de hembras en el periodo del estudio es representado por una función cuadrática como se observa por el valor de verosimilitud  $-2*\text{Res Log}$ .

**Cuadro 4.** Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación de hembras en la población del teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

	Media	Modelo lineal	Modelo cuadrático
	$b_0$	$b_0+b_1x$	$b_0+b_1x+b_{11} x^2$
$-2*\text{Res Log}$	887.5	876.7	<b>862.9</b>
AIC	891.5	884.7	876.9
AICC	891.6	885	878
BIC	892.1	885.9	879

$x = \text{mes}$

$-2*\text{Res Log} = -2*\text{Residual Log (Likelihood)}$ ; AIC = Criterio de Información Akaike; AICC = Criterio de Información Akaike Corregido; BIC = Criterio de Información Bayesiano.

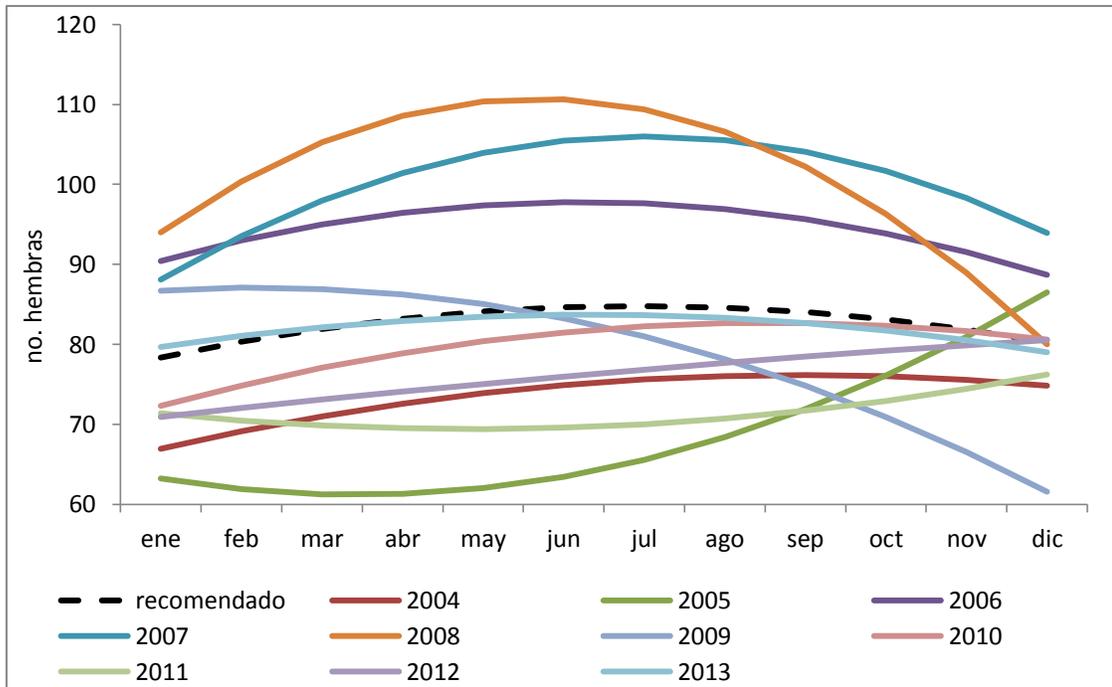
En el Cuadro 5 se presentan los estimadores del modelo cuadrático de regresión aleatoria para cada uno de los años en estudio, estos valores son los mejores estimadores no sesgados de la regresión y se presentan como diferencia con respecto al promedio de la regresión aleatoria, que puede ser definida como el mejor comportamiento de la población a través de los 10 años, como se muestra en la Figura 3.

**Cuadro 5.** Resultados de los estimadores para regresión aleatoria (RA) de efectos fijos para la variación de hembras en la población de teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

Año	Intercepto	Error estándar	mes	Error estándar	mes <sup>2</sup>	Error estándar
<b>RA</b>	<b>76.0</b>	<b>4.2</b>	<b>2.5</b>	<b>1.5</b>	<b>-0.2</b>	<b>0.1</b>
2004	-11.5	6.3	0.09	2.2	0.03	0.2
2005	-10.8	6.3	-4.9	2.2	0.5	0.2
2006	11.3	6.3	0.9	2.2	-0.1	0.2
2007	5.7	6.3	4.4	2.2	-0.3	0.2
2008	10.1	6.3	6.2	2.2	-0.6	0.2
2009	9.8	6.3	-1.4	2.2	-0.1	0.2
2010	-6.6	6.3	0.6	2.2	0.0	0.2
2011	-3.5	6.3	-3.8	2.2	0.3	0.2
2012	-6.2	6.3	-1.3	2.2	0.2	0.2
2013	2.0	6.4	-0.7	2.4	0.1	0.2

En la Figura 3 se presenta el comportamiento esperado del número de hembras en cada uno de los años, obtenido a partir de los modelos de regresión aleatoria. Los resultados muestran que existe una variación entre años debido a factores ambientales no considerados. El modelo generado permite sugerir el número de hembras en la población, representado por los estimadores del efecto fijo (diferenciado en la figura con la línea punteada negra).

Se observa una gran variación en el comportamiento del número de hembras entre años donde, al igual que en la estructura poblacional de los machos, en 2006, 2007 y 2008 se mantuvo un número mayor de hembras mientras que en los años 2004, 2005, 2012 y 2013 el número fue menor, esto puede deberse a distintos factores ambientales.



**Figura 3.** Variabilidad en el estimado de hembras en la población del teporingo (*R. diazi*) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.

Se observa una gran variación en la distribución del número de hembras entre años, donde en 2006, 2007 y 2008 se mantuvo un número mayor de hembras mientras que en los años 2004, 2011 y 2012 el número fue menor.

En los años 2006, 2007, 2008 y 2013 la distribución de las hembras tiende a aumentar durante los meses intermedios (de abril a agosto), y disminuir en el resto del año. En el resto de los años no se aprecia un comportamiento definido.

## Modelaje de la variación de la relación macho:hembra en la población

Se estimaron diferentes modelos que expliquen la variación de la relación macho:hembra en la población. En el Cuadro 6 se muestran los valores de verosimilitud de los diferentes polinomios utilizados, observando que el modelo que mejor explica la variación de la relación macho:hembra en el periodo del estudio es representado por una función lineal como se observa por el valor de verosimilitud  $-2 \times \text{Res Log}$ .

**Cuadro 6.** Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación de la relación macho:hembra en la población del teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

	Media	Modelo lineal	Modelo cuadrático
	b0	$b_0 + b_1x$	$b_0 + b_1x + b_{11}x^2$
$-2 \times \text{Res Log}$	-32.7	<b>-33.7</b>	-23.4*
AIC	-28.7	-25.7*	-11.4*
AICC	-28.5	-25.3*	-10.6*
BIC	-28	-24.5*	-9.6*

x= mes

$-2 \times \text{Res Log}$  =  $-2 \times \text{Residual Log}$  (Likelihood); AIC = Criterio de Información Akaike; AICC = Criterio de Información Akaike Corregido; BIC = Criterio de Información Bayesiano.

\*Modelos con mayor verosimilitud que fueron descartado por no converger, eligiendo así el modelo  $-2 \times \text{Res-Log}$  lineal.

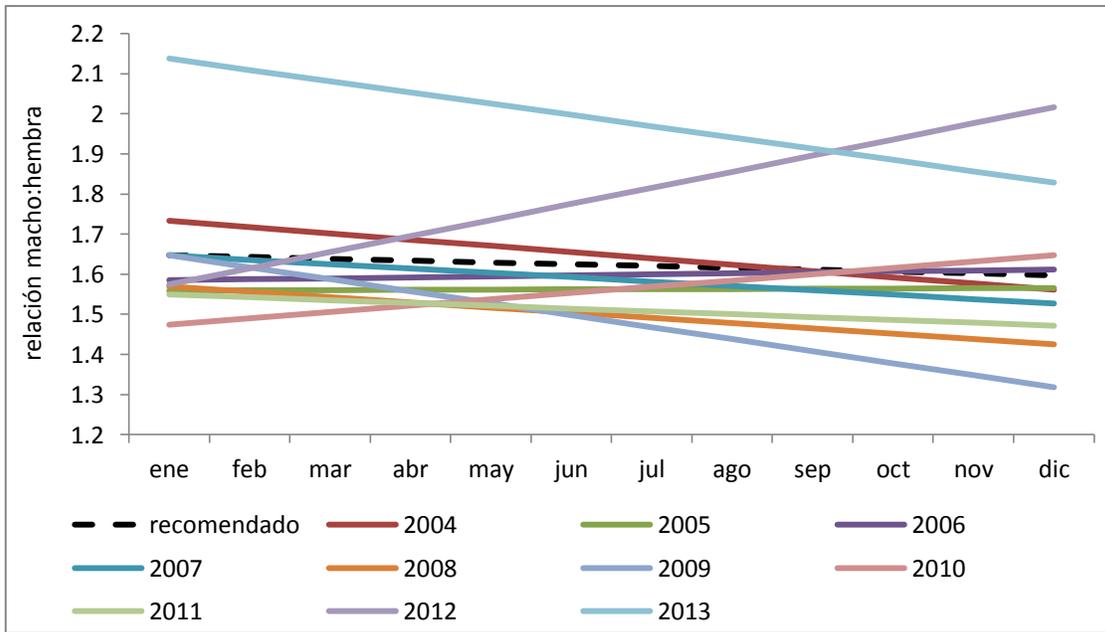
En el Cuadro 7 se presentan los estimadores del modelo cuadrático de regresión aleatoria para cada uno de los años en estudio, estos valores son los mejores estimadores no sesgados de la regresión y se presentan como diferencia con

respecto al promedio de la regresión aleatoria, que puede ser definida como el mejor comportamiento de la población a través de los 10 años, como se muestra en la Figura 4.

**Cuadro 7.** Resultados de los estimadores para regresión aleatoria (RA) de efectos fijos para la variación de la relación macho:hembra en la población de teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

Año	Intercepto	Error estándar	mes	Error estándar
<b>RA</b>	<b>1.652</b>	<b>0.073</b>	<b>-0.0045</b>	<b>-0.0088</b>
2004	0.0967	0.1117	-0.01109	0.01418
2005	-0.09399	0.1117	0.005211	0.01418
2006	-0.06992	0.1117	0.007048	0.01418
2007	0.005703	0.1117	-0.00634	0.01418
2008	-0.06961	0.1117	-0.00853	0.01418
2009	0.02505	0.1117	-0.02534	0.01418
2010	-0.1937	0.1117	0.02031	0.01418
2011	-0.09538	0.1117	-0.00251	0.01418
2012	-0.118	0.1117	0.04472	0.01418
2013	0.5131	0.1182	-0.02348	0.02068

En la Figura 4 se presenta el comportamiento esperado de la relación macho:hembra en cada uno de los años, obtenido a partir de los modelos de regresión aleatoria. Los resultados muestran que existe una variación entre años debido a factores ambientales no considerados. El modelo generado permite sugerir la relación adecuada en la población, representado por los estimadores del efecto fijo (diferenciado en la figura con la línea punteada negra).



**Figura 4.** Variabilidad en el estimado de la relación macho:hembra en la población del teporingo (*R. diazi*) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.

Se observa que en los años 2010 y 2012 relación macho:hembra aumenta a lo largo del año; en los años 2004, 2007, 2008, 2009 y 2013 va en disminución mientras que en los años 2005, 2006, y 2011 la relación macho:hembra permanece constante.

Se estimó la proporción de sexos para machos:hembras resultando  $1:1.62 \pm 0.16$ .

## Modelaje de la variación del número efectivo de la población

Se estimaron diferentes modelos que expliquen la variación del número efectivo de la población. En el Cuadro 8 se muestran los valores de verosimilitud de los diferentes polinomios utilizados, observando que el modelo que mejor explica la variación del número efectivo de la población en el periodo del estudio es representado por una función cúbica como se observa por el valor de verosimilitud  $-2 \times \text{Res Log}$ .

**Cuadro 8.** Resultados de la prueba comparativa entre los modelos para la variación del número efectivo de la población del teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

	Media	Modelo lineal	Modelo cuadrático	Modelo cúbico
	$b_0$	$b_0+b_1x$	$b_0+b_1x+b_{11}x^2$	$b_0+b_1x+b_{11}x^2+b_{111}x^3$
$-2 \times \text{Res Log}$	968.3	958.4	937.7	<b>934.0</b>
AIC	972.3	966.4	951.7	956
AICC	972.4	966.8	952.8	958.7
BIC	972.9	967.6	953.8	959.4

-  $x$ = mes

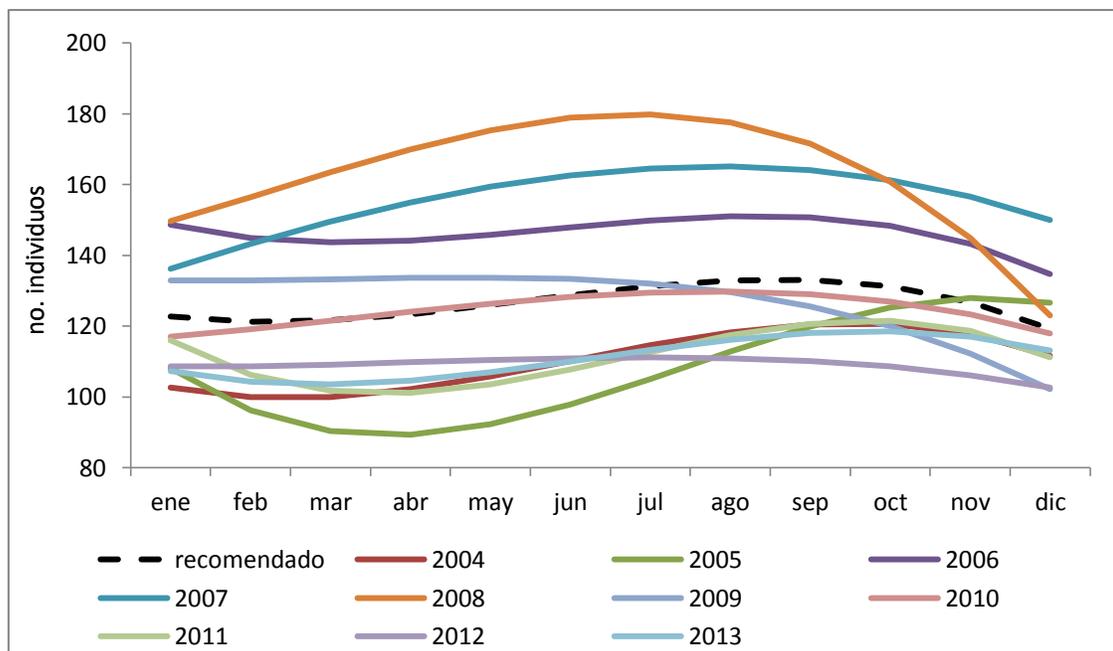
$-2 \times \text{Res Log}$ =  $-2 \times \text{Residual Log}$  (Likelihood); AIC = Criterio de Información Akaike; AICC= Criterio de Información Akaike Corregido; BIC = Criterio de Información Bayesiano.

En el Cuadro 9 se presentan los estimadores del modelo cuadrático de regresión aleatoria para cada uno de los años en estudio, estos valores son los mejores estimadores no sesgados de la regresión y se presentan como diferencia con respecto al promedio de la regresión aleatoria, que puede ser definida como el mejor comportamiento de la población a través de los 10 años, como se muestra en la Figura 5.

**Cuadro 9.** Resultados de los estimadores para regresión aleatoria (RA) de efectos fijos para el número efectivo de la población en la población de teporingo (*R. diazi*) en el Zoológico de Chapultepec.

Año	Intercepto	Error estándar	mes	Error estándar	mes <sup>2</sup>	Error estándar	mes <sup>3</sup>	Error estándar
<b>RA</b>	<b>126.6</b>	<b>8.1</b>	<b>-5.4</b>	<b>5.2</b>	<b>1.5</b>	<b>0.9</b>	<b>-0.9</b>	<b>0.04</b>
2004	-17.7	13.3	-2.9	8.3	0.6	1.4	-0.0	0.1
2005	0.3	13.3	-17.5	8.3	2.6	1.4	-0.1	0.1
2006	28.8	13.3	-3.2	8.3	0.3	1.4	-0.0	0.1
2007	1.9	13.3	13.3	8.3	-1.7	1.4	0.1	0.1
2008	17.2	13.3	10.6	8.3	-0.7	1.4	-0.0	0.1
2009	6.8	13.3	4.3	8.3	-1.1	1.4	0.0	0.1
2010	-11.3	13.3	6.7	8.3	-1.1	1.4	0.1	0.1
2011	5.1	13.3	-13.9	8.3	2.1	1.4	-0.1	0.1
2012	-17.7	13.3	4.8	8.3	-1.2	1.4	0.1	0.1
2013	-13.5	13.8	-2.1	8.9	0.2	1.6	0.0	0.1

En la Figura 5 se presenta la variación entre años y entre meses para el número efectivo de la población obtenida a partir de los modelos de regresión aleatoria. Los resultados muestran que el número efectivo de la población adecuado por mes está representado por los estimadores del efecto fijo del modelo (diferenciándolo en la figura con la línea punteada negra).



**Figura 5.** Variabilidad en la estimación del número efectivo de la población en la población del tepiringo (*R. diazi*) en cautiverio de 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.

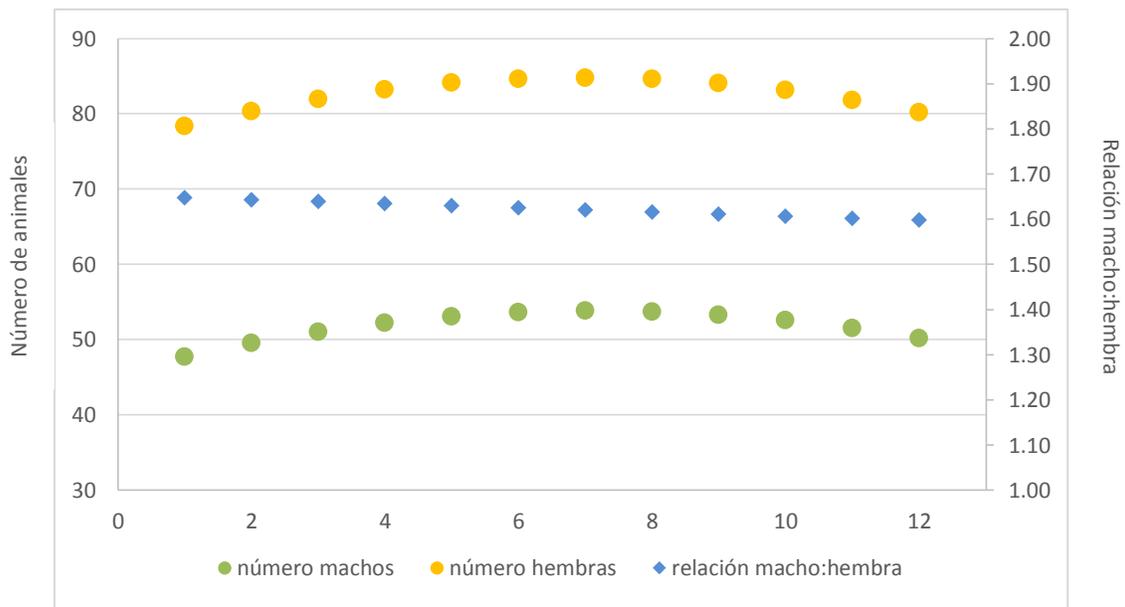
Se observa una gran variación entre años donde en 2006, 2007 y 2008 el número efectivo de la población fue mayor, mientras que en los años 2004, 2005, 2011, 2012 y 2013 el número efectivo fue menor.

En el cuadro 10 se presenta el resumen de los resultados de los valores estimados promedio por año de 2004 a 2013 y los valores recomendados del número de machos, número de hembras, relación macho:hembra, número efectivo de la población y aumento de la consanguinidad en la población. Con el supuesto de que la población mantenga el tamaño recomendado, la consanguinidad mostrará un incremento general de  $0.81\% \pm 0.001$  en cada generación.

**Cuadro 10.** Valores estimados promedio por año y valores recomendados de acuerdo a la variación entre y dentro de años del teporingo (*R. diazi*) en el periodo 2004 a 2013 en el Zoológico de Chapultepec.

	Valores estimados										Valores recomendados
	Año										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Machos	45	44	59	63	68	53	51	51	43	41	<b>52</b>
Hembras	74	69	95	100	101	79	80	71	76	82	<b>83</b>
Relación macho:hembra	1.65	1.56	1.6	1.59	1.5	1.48	1.56	1.51	1.8	1.98	<b>1.62</b>
Ne	110.3	107.6	146.1	155.6	162.6	126.8	124.4	111.5	108.9	111.1	<b>126.5</b>
$\Delta F$	0.0091	0.0095	0.0069	0.0064	0.0062	0.0079	0.008	0.009	0.009	0.009	<b>0.0079</b>

En la figura 6 se presenta el recomendado para número de machos adultos, número de hembras adultas, y la relación entre ellos. Se observa que la distancia entre el número recomendado de machos y de hembras a lo largo de todos los meses es la misma, destacando un aumento en los meses intermedios (de mayo a septiembre) con relación al resto. En el eje secundario, por consecuente, se observa que en la proporción de sexos el número recomendado de hembras por cada macho es prácticamente idéntico en todos los meses (entre 1.60 y 1.65).



**Figura 6.** Eje primario: estimaciones del número recomendado de machos y número recomendado de hembras adultas en la población. Eje secundario: estimación de la relación recomendada de macho:hembra en la población de teporingos en cautiverio en el Zoológico de Chapultepec.

## DISCUSIÓN

El uso de diferentes modelos para explicar la variabilidad, pueden ser evaluados a través de diferentes criterios como el coeficiente de determinación y el tamaño del error residual: sin embargo, estos consideran que existe una normalidad e independencia entre los muestreos. Por su parte, los estimadores de verosimilitud (-2\*Residual Log, Criterio de Información Akaike, Criterio de Información Akaike Corregido y Criterio de Información Bayesiano) consideran la falta de independencia y de homogeneidad de varianzas asociados al número de parámetros involucrados en la estimación, resultando en ésta población el estimador -2\*Residual Log (Likelihood) el más apropiado, siendo semejante a lo observado en variables de escala absoluta <sup>43</sup>.

La variación observada en el número real de machos (Figura 1.1) y hembras (Figura 1.2) adultos en un periodo de diez años permite modelar y sugerir un tamaño adecuado de la población (Figura 6), dado que los factores ambientales a través del año y entre años son considerados efectos aleatorios y representados en el término de error del modelo<sup>44</sup>, esta variación puede atribuirse a distintas condiciones ambientales tales como temperatura, humedad, prevalencia de enfermedades, estrés, cantidad y calidad del alimento, captura de los ejemplares <sup>23, 35, 38</sup> entre otras.

La variación en el número de machos y hembras adultos entre años está determinada por estas condiciones ambientales externas no consideradas en los modelos, y la variación entre meses puede estar atribuida a que el periodo

reproductivo de los teporingos, aunque se presenta durante todo el año, es más intenso durante los veranos tibios y húmedos <sup>46</sup>.

Las variaciones de la relación macho:hembra son consecuencias de las variaciones en el número de machos y hembras adultos en la población, ya que son resultados de sus valores y las fluctuaciones que presentan.

Se presentó un rango de variación del Ne de 43 a 193 individuos reproductivos en la población en cautiverio de 2004 a 2013; esto implica un incremento en la consanguinidad del 0.51% al 2.3% en cada generación. Con los estimadores del número recomendado de machos y hembras adultos el Ne mantendría una variación de 119 a 132 individuos reproductivos, manteniendo un incremento en la consanguinidad del 0.75% al 0.84% en cada generación.

## CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren un número recomendado mensual de 48 a 54 machos adultos y de 78 a 85 hembras adultas, garantizando un  $N_e$  de 119 a 132 individuos con una estabilidad en el incremento de la consanguinidad de 0.75% a 0.84% en cada generación para la población cautiva en el Zoológico de Chapultepec, a partir de la variación existente en el inventario mensual de 2004 a 2013, que está determinada por factores ambientales. El mantener este número sugerido de animales permitiría mantener una población constante en número de nacimientos, número de animales adultos y aumento en la consanguinidad. Estos valores pueden servir como referencia para la toma de decisiones y optimizar el manejo reproductivo de la población.

El estudio de la proporción de sexos mostró como recomendado 1.62 hembras por cada macho en la población de teporingo en cautiverio.

La metodología y los resultados del presente estudio pueden servir como referencia para futuros trabajos que busquen describir la dinámica y estructura poblacional, y el incremento de la consanguinidad en la población.

## REFERENCIAS

1. Akaike H. 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. *Petrov BN, Csaki F*: 267–281.
2. Alas C, Cañas B, Rojas O. 2008. *Diseño de un plan estratégico de mercadeo que incremente la afluencia de visitantes de la zona metropolitana de San Salvador al Parque Zoológico Nacional*. [tesis de licenciatura]. San Salvador, El Salvador: Universidad Francisco Gavidia.
3. Begon M, Harper JL, Townsend, CR. 1999. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. 3ª ed. Barcelona, España: Omega.
4. Berryman A. 2003. On principles, laws and theory in population ecology. *Oikos*, 103 (3): 696-701.
5. Bieber, C., Ruf, T. (2005) "Population dynamics in wild boar *Sus scrofa*: ecology, elasticity of growth rate and implications for the management of pulsed resource consumers" en *Journal of Applied Ecology*, 42 (6): 1203-1213.
6. Bolen E y Robinson W. 2003. *Wildlife ecology and management*. 5ª ed. New Jersey, EUA: Prentice Hall.
7. Brown JH, Whitman TG, Morgan-Ernest SK y Gehring CA. 2001. Complex species interactions and the dynamics of ecological systems: long-term experiments. *Science*, 293 (530): 634-650.
8. Campos C. 2005. *Comparación genética entre poblaciones aisladas del conejo zacatuche *Romerolagus diazi* (Mammalia: Lagomorpha)*. [tesis de maestría]. Distrito Federal, México: Instituto de Biología, UNAM.
9. Campos R, Mendoza G, Ojeda J, Plata F, Martínez J. 2014 The Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on Digestion and Mortality in the Volcano Rabbit (*Romerolagus diazi*). *Journal of Integrative Agriculture*, 14(3): 520-525.
10. Campos R, Olivera C. 2004. El teporingo, pequeño gigante del valle de México. *Imagen veterinaria: Animales en Peligro de Extinción*, 12-16.

11. Carrillo P, Reyes L, Méndez G, Peralta L, Ulloa A, Vázquez P. 2015. Milk composition of Chiapas sheep breed under grazing conditions. *International Journal of Livestock Production*, 6(2): 16-25.
12. Ceballos C. 2001. Especies raras, el conocimiento de la diversidad biológica y la conservación. *Biodiversitas*, 38: 9-13.
13. Ceballos G. 1998. A recent record of the volcano rabbit (*Romerolagus diazi*) from the Nevado de Toluca, State of Mexico. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 3: 149-150.
14. Chapultepec. 2014. Webtopia Servicios y Soluciones SC, México. <http://www.chapultepec.com.mx/visita.asp> [consulta: 11 may 2015].
15. Biodiversidad Mexicana. 2012. México. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas> [consulta: 7 may 2015]
16. Capital natural y bienestar social. 2006. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
17. CONANP (2007) "Programa de conservación de especies en riesgo PROCER 2007-2012" en *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*. México.
18. Cruzado J. 2008. *Dinámica poblacional y estructura de la comunidad de pequeños mamíferos de la región Janos-Casas Grandes, Chihuahua*. [tesis de maestría]. Distrito Federal, México: Instituto de Biología, UNAM.
19. Daly J. 1981. Effects of social organization and environmental diversity on determining the genetic structure of a population of the wild rabbit, *Oryctolagus cuniculus*. *Evolution*, 35(2).
20. Falconer DS, Mackay TFC. 1989. *Introducción to Cuantitativa Genetics*. 4<sup>a</sup> ed. Zaragoza, España: Acribia.
21. Gaillard J, Festa-Bianchet M, Niguel G. 1998. Population dynamics of large herbivores: variable recruitment with constant adult survival. *Elsevier Science*, 13 (2): 58-63.
22. Gardner EJ, Simmons MJ, Snustad DP. 2005. *Principles of Genetics*. 4<sup>a</sup> ed. México: Limusa Wiley.
23. Hardy IC. 1997. Possible factors influencing vertebrate sex ratios: an introductory overview. *Applied Animal Behaviour Science*, 51 (3): 217-41.

24. Hitoshi A, Cooper B, Blouin M. 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 138: 100-103.
25. Hole RH. 2012. Handbook of structural equation modeling. Nueva York, EUA: The Guilford Press.
26. Holst D, Hutzelmeyer H, Kaetzke P, Khaschei M, Rödel H, Schrutka H. 2009. Social rank, fecundity and lifetime reproductive success in wild European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Behavioral Ecological and Sociobiology*, 51: 245-254.
27. Husek J, Panek M, Tryjanoski P. 2015. Predation Risk Drives Habitat-Specific Sex Ratio in a Monomorphic Species, the Brown Hare (*Lepus europaeus*). *Internacional Journal of Behavior Biology*, 121: 593-600.
28. International Union for Conservation of Nature. 2014 [actualización 13 dic 2014] <http://www.iucnredlist.org/> [consulta: 27 may 2015].
29. Krebs CJ. 1985. *Estudio de la distribución y la abundancia*. 2ª ed. México: Hall.
30. Krebs CJ. 1999 *Ecological methodology*. 2ª ed. EUA: Benjamin-Cummings.
31. Ley General de Vida Silvestre. 2014. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000. [última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de marzo de 2014].
32. Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD, Schabenberber O. 2006. *SAS© for mix models*. 2ª ed. Cary, Carolina del Norte, EUA: *SAS Institute Inc*: 159-202.
33. Lukas D, Clutton-Brock T. 2014. Costs of mating competition limit male lifetime breeding success in polygynous mammals. *Proceedings of the Royal Society. Biological sciences*, 281(1786).
34. Luna A, Vera H, Mora O, Anguiano B, Vásquez C, Shimada A. 2006. Effect of pre-mating nutritional status in red deer (*Cervus elaphus scoticus*) hinds on the sex ratio of their offspring. *Small Ruminant Research*, 65: 154-160.
35. Martin J, Festa-Bianchet M. 2011. Sex ratio bias and reproductive strategies: What sex to produce when? *Ecology*, 92 (2): 441-9.

36. Mason E. 2009. *Dinámica espacio-temporal a largo plazo de los pequeños mamíferos de la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala*. [tesis de maestría]. Instituto de Ecología, UNAM.
37. McFarland M. 1987. Sex ratio and maternal rank in wild spider monkeys: when daughters disperse. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 20: 421-425.
38. Meikle D, Tilford B, Vessey S. 1984. Dominance Rank, Secondary Sex Ratio, and Reproduction of Offspring in Polygynous Primates. *The American Naturalist*, 124 (2): 173-88.
39. Mejía M y Contreras-MacBeath T. 2004. Manual de Identificación de Técnicas de Monitoreo para Especies Terrestres y Acuáticas del Corredor Biológico Chichinautzin. México: CONANP.
40. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. 2010. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2010.
41. Rorie R. 1999. Effect of timing of artificial insemination on sex ratio. *Theriogenology*, 52(8): 1273-80.
42. Rosenfeld C, Roberts R. 2004. Maternal diet and other factors affecting offspring sex ratio: a review. *Biology of Reproduction*, 71(4): 1063-70.
43. Peña J y Neyra G. 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de País. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, 158-181.
44. Panik M. 2009. *Regression Modeling Methods, Theory and Computation with SAS*. USA: A Chapman and Hall Book.
45. Rabinovich E. 1978. *Ecología de poblaciones animales*. Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.
46. Ramos L. 2011. *Caracterización del ciclo reproductivo de la hembra de zacatuche (Romerolagus diazi) a través de la utilización de métodos no invasivos: niveles de progesterona y estrógenos fecales y citología vaginal*.

- [tesis de maestría]. Distrito Federal, México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.
47. Ripa R, Larral P. Editores. 2008. Manejo de plagas en paltos y cítricos. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.
  48. Rödel H. 2009. Family legacies: short- and long-term fitness consequences of early-life conditions in female European rabbits. *Journal of Animal Ecology*, 78: 789-797.
  49. Royama T. 1992. *Analytical Population Dynamics*. London, UK: Chapman & Hall.
  50. SEMARNAT. 2011. Monitoreo del zacatuche (*Romerolagus diazi*) en el Área de Protección de Flora y Fauna Corredor Biológico Chichinautzin. México: CONANP.
  51. SEMARNAT. 2010. Ficha de identificación del teporingo (*Romerolagus diazi*). México: CONANP.
  52. Trivers R, Willard D. 1973. Natural selection of parental ability to vary the sex ratio of offspring. *Science*, 179: 90–92.
  53. Turchin P. 2001. Contrasting alternative hypothesis about rodent cycles by translating them parameterized model. *Ecol. Lett*, 4:367-276.
  54. Vázquez P, García M, López V. 2014. Empirical models used for lactation curve analysis in the Chiapas sheep breed using random regression models. *International Journal Livestock Production*, 5(3): 55-64.
  55. Vázquez D. 2011. ¿Es necesaria la teoría ecológica para la conservación de la biodiversidad? *Rev. Bol. Ecol. y Conserv. Amb.*, 29: 65-72.
  56. Velázquez A, Romero F y López-Paniagua J. 1996. Los conejos y liebres silvestres de México: Ecología y conservación del conejo zacatuche y su hábitat. México: Universidad Nacional Autónoma de México - Fondo de Cultura Económica.
  57. Velázquez A, Larrazábal A y Romero J. 2011. Del conocimiento específico a la conservación de todos los niveles de organización biológica. El caso del zacatuche y los paisajes que denotan su hábitat. *Investigación ambiental: ciencia y política pública*, 3 (2): 59-65.

58. Velázquez A. 1994. Distribution and population size of *Romerolagus diazi* on El Pelado Volcano, Mexico. *Journal of Mammalogy*, 75(3): 743-749.
59. Zamorano de Haro P. 2009. La flora y fauna silvestres en México y su regulación. *Procuraduría Agraria*, 40: 159-167.
60. Zoo Chapultepec (2009) "Zoo Chapultepec". [En línea] México, disponible en: [zoochapultepec.webcindario.com/](http://zoochapultepec.webcindario.com/)