



Universidad Autónoma del Estado de México

---

Facultad de Ciencias  
Posgrado en Ciencias

Ecología térmica y uso de hábitat de  
*Kinosternon integrum*

**T E S I S**

por artículos especializados

para obtener el grado de

**Doctora en Ciencias**

Presenta

M. en C. Ailed Pérez Pérez

Tutor

Dr. Oswaldo Hernández Gallegos

Tutores Adjuntos

Dr. Guillermo Alfonso Woolrich Piña

Ph.D. Kevin Michael Gribbins



Toluca, México

Mayo 2022

---

---

# Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>7</b>
Ecología térmica .....	7
Uso de hábitat.....	10
<i>Kinosternon integrum</i> .....	12
<b>Objetivos</b> .....	<b>13</b>
Objetivo general .....	13
Objetivos particulares .....	13
<b>Material y Método</b> .....	<b>14</b>
Sitio de estudio .....	14
Análisis estadísticos .....	19
Ecología térmica .....	19
Uso de hábitat.....	20
<b>Resultados</b> .....	<b>22</b>
Artículo publicado.....	22
Artículo enviado.....	35
Ecología térmica .....	52
Temperatura corporal media ( $T_c^{med}$ ) .....	52
Temperatura de asoleo ( $T_a$ ).....	54
Tiempo de asoleo (horas).....	57
Días de asoleo .....	57
Temperatura de acuerdo al microhábitat .....	58
Uso de hábitat a partir de la $T_c$ .....	62
<b>Discusión</b> .....	<b>65</b>
Ecología térmica .....	65
Uso de Hábitat .....	72
<b>Conclusiones</b> .....	<b>74</b>
Ecología térmica .....	74
Uso de hábitat.....	75
<b>Literatura citada</b> .....	<b>76</b>

---

---

---

---

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Mapa del área estudio en Tonatico, Estado de México y climograma (2014 - 2016) con base en datos de la estación meteorológica Coatepequito. ....	15
<b>Figura 2.</b> Colocación de transmisor y termómetro electrónico en <i>Kinosternon integrum</i> . ....	16
<b>Figura 3.</b> Variación mensual de la temperatura corporal ( $T_c$ ) de hembras y machos de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México (periodo 2013 - 2016). ....	53
<b>Figura 4.</b> Variación de la temperatura media de asoleo de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México de acuerdo con la interacción a) Sexo x Mes y b) Sexo x Mes x Año. ....	54
<b>Figura 5.</b> Frecuencia de eventos de asoleo con temperatura máxima ( $T_a^{máx}$ ) igual o superior a 38°C de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México, en el periodo noviembre 2013 - mayo 2016. ....	55
<b>Figura 6.</b> Variación de la temperatura corporal media ( $T_c^{med}$ ) dentro del río (promedio semanal) y la temperatura máxima por evento de asoleo ( $T_a^{máx}$ ) de hembras y machos de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México, durante los años 2014 y 2015. ....	56
<b>Figura 7.</b> Variación mensual del a) Tiempo de asoleo (horas) por evento de asoleo y b) días de asoleo de acuerdo con el sexo de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México. ....	57
<b>Figura 8.</b> Microhábitats utilizados por <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México. ....	59
<b>Figura 9.</b> Variación diaria de la $T_c$ de cuatro individuos de <i>Kinosternon integrum</i> en cinco diferentes microhábitats en Tonatico, Estado de México. ....	60
<b>Figura 10.</b> Comparación de a) la temperatura corporal de <i>Kinosternon integrum</i> y b) la temperatura ambiental en los diferentes microhábitats acuerdo a la estación. ....	60
<b>Figura 11.</b> Relación entre a) la $T_c^{med}$ (río) con la $T_w^{med}$ (río); y b) la temperatura media de asoleo con la temperatura media ambiental ....	61
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de uso de hábitat de acuerdo con la $T_c$ de las hembras de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México ....	62
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de uso de hábitat de acuerdo con la $T_c$ de los machos de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México ....	63

---

---

---

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Selección de los modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) utilizados para describir la temperatura corporal media ( $T_c^{\text{med}}$ ), tiempo de asoleo y días de asoleo y $T_c$ de acuerdo con el microhábitat de <i>Kinosternon integrum</i> en Tonatico, Estado de México.....	52
<b>Tabla 2.</b> Resultados del modelo lineal general mixto (LMM) de la temperatura media de asoleo ( $T_a^{\text{med}}$ ) de <i>Kinosternon integrum</i> . .....	54
<b>Tabla 3.</b> Individuos de <i>Kinosternon integrum</i> que permanecieron mayor tiempo dentro de las oquedades .....	64
<b>Tabla 4.</b> Temperatura corporal de algunas especies de la familia Kinosternidae .....	66
<b>Tabla 5.</b> Especies de la familia Kinosternidae con reporte de asoleo o no asoleo .....	71

---

---

## Resumen

La temperatura corporal ( $T_c$ ) juega un papel muy importante en la ecología de los ectotermos. Los reptiles regulan la  $T_c$  por medio del asoleo y la selección de hábitats con temperaturas óptimas. El uso de hábitat puede presentar variaciones estacionales y temporales, relacionadas con la cantidad y calidad de recursos, lo que puede influir en el patrón de movimientos y ámbito hogareño de los animales. Actualmente, la información acerca de la temperatura corporal y uso de hábitat de *Kinosternon integrum* es muy escasa. En este estudio se evaluó la ecología térmica, el uso de hábitat y ámbito hogareño de *K. integrum*. Se realizaron muestreos de diciembre 2012 a mayo 2016, en un área de 1.127 Km<sup>2</sup>, la cual comprende 1.3 Km del río Zapote en Tonicaco, Estado de México. Se obtuvo información del ámbito hogareño de 37 individuos equipados con transmisores, los datos de uso de hábitat y ecología térmica se determinaron a partir de 20 individuos equipados con transmisores y termómetros electrónicos. *Kinosternon integrum* presenta un intervalo térmico muy amplio, el cual va de 4 a 43.6°C. La temperatura corporal media ( $T_c^{\text{med}}$ ), la temperatura media de asoleo ( $T_a^{\text{med}}$ ), el tiempo de asoleo y los días de asoleo por mes presentan diferencias entre sexos a lo largo del año. La  $T_c^{\text{med}}$  de *K. integrum* es  $19.34 \pm 0.23^\circ\text{C}$ , las hembras presentan  $T_c^{\text{med}}$  más altas que los machos entre julio y octubre, durante enero se registro la menor  $T_c^{\text{med}}$  en ambos sexos. La temperatura media de asoleo ( $T_a^{\text{med}}$ ) es de  $26.84 \pm 0.16^\circ\text{C}$ , las hembras presentan una  $T_a^{\text{med}}$  superior a la de los machos durante octubre y noviembre. La  $T_a^{\text{med}}$  presenta variaciones de acuerdo con la interacción sexo\*mes\*año. Durante los eventos de asoleo *K. integrum* puede alcanzar hasta 24°C sobre la temperatura media del agua, y 15.9°C sobre la temperatura media ambiental. El tiempo de asoleo y el número de días al mes con asoleos presentan diferencias significativas respecto al sexo y mes del año. El tiempo promedio por evento de asoleo es  $3.88 \pm 0.16$  horas, el tiempo de asoleo de las hembras durante enero-febrero y octubre-diciembre es superior al de los machos, el mayor tiempo de asoleo de los machos se registró entre marzo y mayo. El número de días al mes con eventos de asoleo es

---

12.3 ± 0.78 días, los machos presentan más días de asoleo al mes entre mayo y agosto, durante los meses más fríos del año el número de asoleos por mes de los machos se reduce significativamente. La Tc de *K. integrum* presenta variaciones de acuerdo con el microhábitat que utiliza y la estación del año, durante la temporada de lluvias se presentan Tc más elevadas. *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México utiliza cinco microhábitats en la zona de estudio, el más utilizado por ambos sexos es el río, sin embargo, también existen diferencias en el uso de los microhábitats entre sexos a lo largo del año. Algunos individuos abandonan el río durante algunos meses por diferentes razones: estivación o migración temporal a bordos artificiales. El ámbito hogareño de *K. integrum* es de 0.151 ± 0.0051 ha 50% densidad Kernel (KDE) y 0.657 ± 0.214 ha 95% KDE, el ámbito hogareño no varía entre sexos; los individuos de *K. integrum* realizan movimientos muy cortos 51.44 ± 4.50 m, donde el 87.3% de los movimientos son menores a 100 m. La distancia que recorren varía entre estaciones y la categoría del movimiento (acuático o terrestre), las distancias más cortas ocurren durante la temporada de sequía, durante esta temporada algunos individuos se mueven a sitios de estivación, y estos movimientos son más cortos que los movimientos a bordos artificiales. Los resultados indican que *K. integrum* es altamente dependiente de los hábitats acuáticos, y los movimientos de *K. integrum* no se ven afectados con el uso de la telemetría. Este es el primer estudio que monitorea a largo plazo la Tc, los movimientos y uso de hábitat de una especie de la familia Kinosternidae, lo cual nos permitió conocer con gran detalle aspectos de la ecología térmica de la especie y la relación con los microhábitats que son fundamentales para su sobrevivencia.

**Palabras clave:** Kinosternidae, termorregulación, asoleo, ámbito hogareño, microhábitat.

---

## Abstract

Body temperature ( $T_c$ ) plays an important role in the ecology of ectotherms. Reptiles regulate their body temperature by basking and habitat selection with optimal temperature. Thus habitat use may exhibit seasonal and temporal variation, related with quality and quantity of resources, which can influence movements and home range of animals. Currently, information concerning body temperature, habitat use, and home range on *Kinosternon integrum* is scarce. In this study we evaluated the thermal ecology, habitat use, and home range on *K. integrum*. Samplings were performed from December 2012 to May 2016, in an area of 1.127 Km<sup>2</sup>, which include 1.3 Km of the Zapote river, in Tonatico, Estado de México. We obtained information from home range of 37 adult turtles fitted with transmitters and information about thermal ecology and home range were obtained from 20 adult turtles fitted with transmitters and electronic thermometers. The result showed that *K. integrum* has a broad thermal range, from 4°C to 43.6°C. The mean body temperature ( $T_c^{\text{med}}$ ), the mean basking temperature ( $T_a^{\text{med}}$ ), basking time and days of the month with basking, differs between sexes throughout the year. The  $T_c^{\text{med}}$  of *K. integrum* was  $19.34 \pm 0.23^\circ\text{C}$ , females presented higher  $T_c^{\text{med}}$  than males between July and October. The  $T_a^{\text{med}}$  was  $26.84 \pm 0.16^\circ\text{C}$  and females had higher  $T_a^{\text{med}}$  than males during October and November. The  $T_a^{\text{med}}$  varies according to interaction sex\*month\*year. During basking events, *K. integrum* can reach up to 24°C above mean water temperature, and 15.9°C above mean environmental temperature. The basking time and days of the month with basking had variation between sexes throughout the months. The mean duration of basking events was  $3.88 \pm 0.16$  hours, *K. integrum* showed longer basking time between March and May; the basking time of females during January-February and October-December were higher than males, the longest time of basking by males was recorded between March-May. The mean days of the month with basking events were  $12.3 \pm 0.78$  days, the males showed more days with basking events during May and August. The  $T_c$  of *K. integrum* varied according to the microhabitat use and season, during rainy season the  $T_c$  was higher. *Kinosternon integrum* used five microhabitats in Tonatico, Estado de México, the

---

---

microhabitat most used by both sexes was the river, nevertheless, the habitat use between sexes varied along the year. Some turtles left the river for a few months for a different reason; aestivation or seasonal migration to artificial ponds. The home range of *K. integrum* was  $0.151 \pm 0.051$  ha using 50% kernel density estimator (KDE), and  $0.657 \pm 0.214$  ha using 95% KDE; the home range did not vary between sexes. *Kinosternon integrum* showed low distances traveled  $51.44 \pm 4.50$  m, where 87.3% of movements were <100 m. The distance traveled differed by season, and movement category (aquatic and terrestrial movements). The shortest distance occurred during the dry season, during which some individuals move to estivation sites, and these movements were shorter than movements to artificial ponds (cattle ponds). Overall, the results indicate that *K. integrum* are highly dependent on aquatic habitats, but also utilize the terrestrial habitats for different biological activities, and to maintain viable populations. Therefore, the conservation of the entire inhabited area is fundamental. This is the first study that evaluate by long term the Tc, movements and habitat use of a specie form Kinosternon family. This study highlights the need to increase the studies, in Central México, concerning these topics in order to increase the efficiency of conservation strategies.

**Keywords:** Kinostenidae, thermoregulation, basking, home range, microhábitat, ibutton.

---

## Introducción

### Ecología térmica

La temperatura es el factor ambiental más importante para la distribución de los reptiles, ya que su actividad está limitada en tiempo y espacio por las condiciones ambientales presentes (Huey, 1982; Angilleta, 2009), por lo cual, la regulación de la temperatura corporal ( $T_c$ ) es parte esencial de la ecología de los ectotermos. El comportamiento más habitual para la regulación de la  $T_c$  en tortugas es el asoleo temporal (Meek y Avery, 1988; Grayson y Dorcas, 2004). El principal beneficio de la termorregulación es mantener la  $T_c$  dentro de un intervalo óptimo (Huey y Slatkin, 1976; Dubois *et al.*, 2009), en el cual los reptiles maximizan su consumo de energía con la mayor eficiencia, mejorando así su rendimiento fisiológico en un hábitat particular (Huey y Slatkin 1976; Huey y Kingsolver, 1989; Angilleta, 2009; Bulté y Blouin-Demers, 2010) y cada especie presenta un intervalo de  $T_c$  para un rendimiento fisiológico óptimo (Huey, 1982).

Los factores abióticos que influyen en la obtención de calor de las tortugas son similares a los que afectan a los reptiles terrestres y diurnos, los cuales incluyen la intensidad de la luz, el fotoperiodo, el viento, el tipo de sustrato, la humedad relativa, la temperatura del aire (Boyer, 1965); y en el caso de los organismos semiacuáticos, la temperatura del agua es una variable importante que determina si se presentarán eventos de asoleo (Auth, 1975), y va a establecer la temperatura inicial del asoleo (Boyer, 1965; Hutchison y Kosh, 1965). En ambientes acuáticos, los organismos tienen un intercambio de calor por medio de conducción y convección; debido al alto calor específico del agua, los ambientes acuáticos presentan escasa variación en la temperatura (Angilleta, 2009), lo que causa que la  $T_c$  de las tortugas se mantenga muy cerca de la temperatura del agua ( $T_w$ ), mientras se encuentran sumergidas (Spotila *et al.*, 1992). Lo anterior, se ha registrado en individuos colectados en campo de *Dermatemys mawii* (Legler y Vogt, 2013), *Sternotherus odoratus* (Edgren y Edgren, 1955), *Staurotypus salvinii* (Legler y Vogt,

---

2013) y *Kinosternon integrum* (Pérez-Pérez, 2011), y también ha sido probado en laboratorio para *Sternotherus odoratus*, *Sternotherus carinatus*, *Kinosternon flavescens* y *Kinosternon subrubrum*, donde la diferencia entre la temperatura cloacal y la  $T_w$  es menor a un  $1^\circ\text{C}$  (Mahmoud, 1969). Por otra parte, Mahmoud (1969) demostró que cuando las tortugas son expuestas a temperaturas extremas dentro del agua (muy alta  $40^\circ\text{C}$  o muy baja  $0.1^\circ\text{C}$ ) alcanzan un equilibrio térmico dentro del agua en un tiempo de 15 – 30 min.

Los factores biológicos que afectan la obtención de calor en tortugas son, el tamaño y peso corporal (pueden existir diferencias entre sexos debido al dimorfismo sexual; Bulté y Blouin-Demers, 2010), y la forma del caparazón. Por ejemplo, Boyer (1965) documentó que *Sternotherus carinatus* que tiene un caparazón en forma triangular, presenta una tasa de calentamiento más baja respecto a *Trionyx ferox* que tiene un caparazón aplanado. Algunos factores que pueden afectar el aumento de temperatura durante los eventos de asoleo son la selección de la hora, la duración y el lugar donde se asolean (Boyer, 1965); una vez que las tortugas se asolean directamente al sol, su  $T_c$  puede aumentar considerablemente dependiendo de las condiciones ambientales, tal es el caso de *Trachemys scripta elegans* que alcanza una  $T_c$  de hasta  $15^\circ\text{C}$  sobre la  $T_w$  (Cagle, 1946); por su parte *Chrysemys picta* aumenta su  $T_c$  de 3 a  $8^\circ\text{C}$  por encima de la  $T_w$  y 1 a  $7^\circ\text{C}$  sobre la temperatura del aire (Grayson y Dorcas, 2004).

En general, los hábitats no suelen ser térmicamente estables, presentan variaciones diarias y/o estacionales en la temperatura ambiental ( $T_{amb}$ ). Para hacer frente a estos cambios, las tortugas pueden presentar cambios temporales en el esfuerzo de termorregulación, como incrementar en el tiempo de asoleo durante alguna temporada (Huey y Slatkin, 1976; Huey, 1982; Angilleta, 2009). Este comportamiento se ha registrado en algunas especies de tortugas como *Chrysemys picta* (Grayson y Dorcas, 2004; Plummer et al., 2005; Edwards y Blouin-Demers, 2007) y *Malaclemys terrapin* (Akins et al., 2014).

---

---

Por otra parte, se ha registrado que existe una fuerte relación entre la termorregulación y la selección de hábitats en reptiles (Blouin-Demers y Weatherhead, 2002; Row y Blouin-Demers, 2006; Picard *et al.*, 2011), ya que pueden seleccionar hábitats con mejor calidad térmica para aumentar su  $T_c$ , incluso en ocasiones pueden evitar los eventos de asoleo. Algunas especies en las que se ha registrado este comportamiento son *Sternotherus odoratus* (Brattstorm, 1965; Picard *et al.*, 2011), *Macrolemys temminckii* (Fitzergard y Nelson, 2011), *Glyptemys muhlenbergii* (Feaga y Haas, 2015) y *Glyptemys insculpta* (Tuttle 1997; Arvisais *et al.*, 2004; Compton *et al.* 2002; Dubois *et al.* 2009). Además de la termorregulación, las necesidades de forrajeo (Compton *et al.*, 2002) y el riesgo de depredación (Downes, 2001; Webb y Withing, 2005) son factores que influyen en la selección del hábitat.

Los aspectos de ecología térmica se han determinado para un gran número de lagartijas y anfibios, y para algunas especies de tortugas, principalmente de la familia Emydidae; sin embargo, aún es escasa la información que existe sobre termorregulación en la familia Kinosternidae, ya que únicamente se han registrado temperaturas corporales (en campo y/o laboratorio) en 7 de las 28 especies de la familia (Tabla 4).

Anteriormente resultaba complicado medir la  $T_c$  de tortugas en campo por un tiempo prolongado, por lo que muchos estudios de termorregulación utilizaban la  $T_c$  del momento de captura (Grayson y Dorcas, 2004). Actualmente la miniaturización de los termómetros electrónicos (dataloggers), nos proporciona un método alternativo para el registro de la  $T_c$  de animales en libertad. Además, el monitoreo constante de la temperatura de los individuos puede revelar periodos de actividad y/o inactividad durante el día y la noche (Avery, 1982; Peterson *et al.*, 1993; Dorcas y Peterson 1998). Se ha demostrado que el registro de  $T_c$  por medio de dispositivos externos no invasivos (ibutton) es un método eficaz para el monitoreo constante de la  $T_c$  evitando así los riesgos de los procedimientos quirúrgicos (implantes)

---

(Grayson y Dorcas, 2004; Camarasa *et al.*, 2015). Algunos estudios han demostrado una correlación positiva entre la Tc interna (implante) y la temperatura del caparazón (termómetro adherido al caparazón) en *Trachemys scripta elegans* (Camarasa *et al.*, 2015), y en *Chrysemys picta* donde la mayor diferencia se da durante eventos de asoleos ( $1.3^{\circ}\text{C}$  Tc caparazón > Tc interna; Grayson y Dorcas, 2004).

## Uso de hábitat

El uso del hábitat es la forma en que un animal utiliza los recursos físicos y biológicos de un área específica (Krausman, 1999), algunas de las actividades diarias (*i. e.*, alimentación, anidación, asoleos, sitios de estivación, reproducción, forrajeo, entre otros) pueden llevarse a cabo dentro de la misma área (Litvaitis *et al.*, 1996), y cada actividad requiere componentes ambientales específicos, los cuales pueden variar de manera estacional o anual (Hutto, 1985; Morrison *et al.*, 1992; Krausman, 1999). La preferencia del hábitat es consecuencia de una selección, la cual resulta del uso desproporcionado de los recursos disponibles (Krausman, 1999); la selección del hábitat es un proceso que puede involucrar decisiones conductuales innatas y aprendidas por el animal, sobre que sitios de su entorno usar en diferentes temporadas (Hutto, 1985).

Conocer cómo los individuos se mueven dentro de su hábitat nos revela información acerca de la historia natural (Stark *et al.*, 2005), y es esencial para entender las razones ecológicas de la dispersión, migración y los movimientos a otros hábitats (Gibbons *et al.*, 1990). En reptiles que habitan sistemas acuáticos, se han identificado diferentes factores extrínsecos que pueden afectar el ámbito hogareño y sus movimientos, los cuales incluyen, periodos de sequía, estacionalidad, tamaño de los humedales, variación ambiental, y la distribución de los recursos (Bennett *et al.*, 1970; Plummer *et al.*, 1997; McIntyre y Wiens, 1999; Milam y Melvin, 2001; Roe y Georges, 2008); además de algunos factores intrínsecos como sexo, talla, madurez sexual, dominancia, rasgos fisiológicos y de comportamiento (Swingland, 1984; Morreale *et al.*,

---

1984; Stone, 2001; Litzgus y Mousseau, 2004; Hall y Steidl, 2007; Roe y Georges, 2008).

La calidad y cantidad de recursos varía temporal y espacialmente (Roe y Georges, 2007), ejemplo de ello son los sistemas acuáticos, donde las condiciones pueden cambiar drásticamente entre pozas, o dentro de una misma poza a través del tiempo (Euliss *et al.*, 2004) especialmente en las pozas temporales, las cuales ocasionalmente se secan (Kennett y Georges, 1990; Bauder, 2005). En hábitats donde se registran temperaturas altas y condiciones de sequía durante alguna temporada del año, los recursos como agua o alimento pueden ser escasos (Pinder *et al.*, 1992; Storey, 2001; Ligon y Stone, 2003; Litzgus y Mousseau, 2004); por lo que los individuos se ven obligados a desarrollar estrategias para sobrevivir (Hall y Steidl, 2007) como: a) migración hacia otros cuerpos de agua, b) congregación en hábitat acuático local (Ligon y Stone, 2003), y/o c) estivación, hasta que la cantidad de agua se reestablezca (Wygoda, 1979; Iverson, 1990; Ligon y Stone, 2003).

Algunos estudios han registrado una alta variación intra e interespecífica en el ámbito hogareño y los movimientos de las tortugas (Gibbons *et al.*, 1990; Slavenko *et al.*, 2016); algunas especies dulceacuícolas muestran una alta fidelidad por sus hábitats (Cagle, 1944). La fidelidad de hábitat se define como el retorno y reuso de un sitio ocupado previamente (Switzer, 1993). Por ejemplo, las tortugas de la familia Kinosternidae, presentan ámbitos hogareños pequeños, y una baja movilidad respecto a otras especies de tortugas acuáticas o semiacuáticas (Ennen y Scott, 2008; Cordero y Swarth, 2010; Slavenko *et al.*, 2016). En tortugas acuáticas, los movimientos dependen en gran medida del acceso al agua en su entorno (Stone, 2001; Hall y Steidl, 2007). Se ha documentado que algunas especies e incluso algunos individuos dentro de una población suelen realizar migraciones a otros cuerpos de agua (Powell, 2000; Smar y Chambers, 2005; Hall y Steidl, 2007), los cuales pueden encontrarse a grandes distancias (2.7 km en línea recta; Hall y Steidl, 2007), para satisfacer sus necesidades de alimentación, reproducción, o bien como refugio durante una temporada de sequía (Roe y Georges, 2007). Dentro de la familia Kinosternidae este tipo de actividad se ha registrado para *Kinosternon*

---

*baurii* (Wygoda, 1979), *Kinosternon flavescens* (Mahmoud, 1969), *Kinosternon sonoriense* (Ligone y Stone, 2003; Hall y Steidl, 2007), *Kinosternon leucostomum* (Moll, 1990), *Kinosternon scorpioides* (Moll, 1990) y *Kinosternon subrubrum* (Gibbons et al., 1990; Aresco, 2005).

Es necesario considerar un análisis temporal en la selección de hábitat, sobre todo en especies que presentan movimientos estacionales (*i. e.*, hibernación, estivación, anidación, migración). De no ser así, se podría omitir la selección de alguno de los hábitats indispensables para las especies (Rasmussen y Litzgus, 2010). Determinar las preferencias espaciales en el uso del hábitat, nos permite entender y explicar las interacciones ecológicas entre los organismos y su ambiente (Neu et al., 1974), y al mismo tiempo nos permite evaluar el estado de conservación y la disponibilidad de los hábitats que la especie necesita para su supervivencia (Johnson, 2000).

### ***Kinosternon integrum***

*Kinosternon integrum* es una especie endémica de México (Lemos-Espinal y Smith, 2009), está considerada como especie de “preocupación menor” por la IUCN Red List, y se encuentra “bajo protección especial” por la SEMARNAT (2010); de acuerdo con Wilson et al., (2013) *Kinosternon integrum* está clasificada con 11 puntos dentro de la Puntuación de Vulnerabilidad Ambiental (EVS), colocándola como una especie de vulnerabilidad media. A pesar de ser la tortuga dulceacuícola con encuentros más comunes y de distribución más amplia en México (Iverson, 1999), no está excluida de los problemas que afectan a las tortugas acuáticas a nivel mundial (*i.e.* contaminación del agua, degradación del hábitat; Dudgeon et al., 2006). Actualmente, es escasa la información acerca de termorregulación del género *Kinosternon* en México (Pérez-Pérez, 2011); y sobre ámbito hogareño y movimientos sólo existen registros para tres especies dentro del género: *Kinosternon leucostomum* (Morales-Verdeja y Vogt, 1997), *Kinosternon integrum* (Pérez-Pérez, 2011; Pérez-Pérez, 2014; Pérez-Pérez et al., 2017; Aparicio et al., 2018) y *Kinosternon hirtipes murrayi* (Enríquez-Mercado et al., 2018).

---

## Objetivos

### Objetivo general

- Determinar la ecología térmica y el uso de hábitat de *Kinosternon integrum* en Tonalico, Estado de México.

### Objetivos particulares

- Determinar la temperatura corporal de *Kinosternon integrum* durante eventos de asoleo y dentro del agua.
- Analizar la variación de la Tc de *Kinosternon integrum* de acuerdo al sexo, al mes y entre individuos.
- Analizar el uso de hábitat de *Kinosternon integrum*.
- Comparar la Tc de *Kinosternon integrum* de acuerdo a los microhábitats utilizados.
- Evaluar la relación de la Tc de *Kinosternon integrum* de acuerdo al uso de hábitat.

---

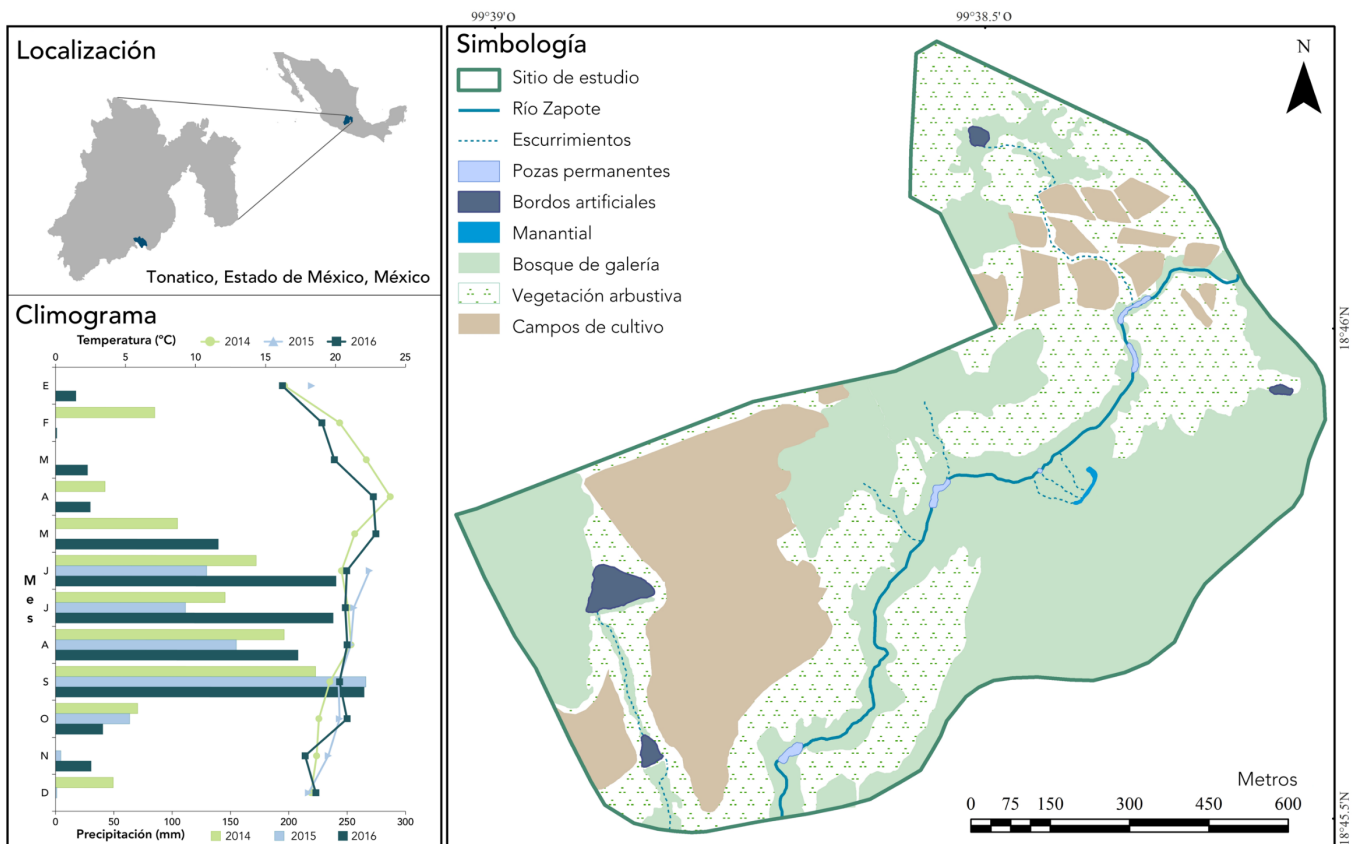
## Material y Método

### Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Río Zapote, localizado en Tonicato, Estado de México, México (18° 45' N, 99° 38' W, 1500 msnm; Fig. 1). La zona presenta un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A)Cw1, con una temperatura media anual de 18 a 22°C, y una precipitación media anual de 1000 a 1200 mm (Luna *et al.*, 2007). En el sitio de estudio existe una marcada estacionalidad, la estación de lluvias se presenta de mediados de junio a mediados de septiembre, debido a las variaciones interanuales, puede incluir la mitad de mayo e inicios de octubre, la temporada de sequía ocurre en los meses restantes (Hernández-Gallegos y Domínguez-Vega, 2012). El río Zapote es alimentado por agua de escurrimientos y diversos manantiales; el nivel de agua se modifica considerablemente debido a la variación estacional y anual en la precipitación. La mayor parte del río se seca completamente durante la temporada de máxima sequía (abril - mayo). Durante este periodo sólo quedan algunas pozas permanentes (Fig. 1); una vez que inician las lluvias de verano la cantidad de agua aumenta y el flujo de agua se vuelve continuo. El río presenta un fondo principalmente de arena y rocas; la vegetación aledaña es bosque de galería y vegetación arbustiva; en el área de estudio se encuentran bordos artificiales, un manantial y campos de cultivo (Fig. 1).

Se realizaron muestreos quincenales y/o mensuales de diciembre 2012 a mayo 2016 en un área de 1.127 Km<sup>2</sup> (Fig. 1), la cual comprende 1.3 km del río Zapote. Las tortugas fueron capturadas manualmente, de cada una se registró: fecha, hora de captura, peso, sexo, largo curvo y recto del caparazón, así como su ubicación con ayuda de GPS; todos los individuos fueron marcados permanentemente por medio de muescas en los escudos marginales con un código de 4 letras (Cagle, 1939). Se consideraron individuos adultos a partir de 120 mm de largo curvo del caparazón (Macip-Ríos, 2005; Brauer-Robleda, 2009).

Durante el estudio, 47 tortugas adultas (21 hembras, 26 machos; peso > 300 g) fueron equipadas con transmisores (LL Electronics, Mahomet IL, modelo LF2 CR2477, batería 1 año, peso 16.5 g; Telenax TXE-315IH, batería 2 años, peso 30 g), de las cuales 30 individuos (13 hembras, 17 machos) también fueron equipados con un termómetro electrónico (Thermochron iButton, DS1922L-F5 Dallas, Semiconductor; peso 3 g; Fig. 2a) programado para registrar la temperatura cada 60 min. Debido a que los termómetros electrónicos no son impermeables, se colocaron dentro de un guante de nitrilo y fueron sellados con cera, para reducir la pérdida de datos por daño del dispositivo (Fig. 2b). Los transmisores y los termómetros electrónicos fueron adheridos con silicón en la parte posterior derecha del caparazón (J.B. Iverson, pers. comm.); para evitar que las tortugas se enredaran con diferentes objetos (*i. e.*, ramas, rocas, algas, etc.). El silicón se moldeó de forma redondeada, similar al caparazón (Fig. 2c), mientras el silicón aún se encontraba fresco se cubrió con tierra para obscurecerlo y evitar llamar la atención de depredadores (Fig. 2d) (J.B. Iverson, pers. comm.). El peso de los dispositivos no



**Figura 1.** Mapa del área estudio en Tonalico, Estado de México y climograma (2014 - 2016) con base en datos de la estación meteorológica Coatepequito.

excedió el 10% del peso corporal. Las tortugas fueron mantenidas en laboratorio durante 72 horas antes de ser regresadas al sitio exacto de captura. En los muestreos posteriores, las tortugas fueron localizadas por medio de una antena yagi y un receptor (LL Electronics MN4000 Mahomet IL). Se registró la ubicación por medio de un GPS (Oregon 550T, Garmin, Corp. Olathe Kansas, error estimado de 1–7 m). Los movimientos del río a otros hábitats (sitios de estivación, bordos artificiales, manantial) fueron considerados como movimientos terrestres, los movimientos dentro del río, y dentro de bordos artificiales, se consideraron movimientos acuáticos. Se estimó la distancia total de los movimientos entre localizaciones consecutivas, por medio de Xtool Pro, extensión de ArcGis 10.3 (Environmental Systems Research). Es importante mencionar que no todos los individuos se monitorearon simultáneamente, debido a la pérdida y/o daño de termómetros y/o transmisores y reemplazo de individuos. De todas



**Figura 2.** Colocación de transmisor LL Electronics y termómetro electrónico en *Kinosternon integrum*.

---

las tortugas equipadas se obtuvieron datos de movimientos de 37 individuos (19 hembras, 18 machos), y datos de temperatura de 20 individuos (9 hembras, 11 machos).

Adicionalmente se registró la temperatura ambiental ( $T_{amb}$ ), por medio de un termómetro electrónico (intervalos de 60 min; HOBO U23 Pro v2, Onset Computer Corp); además, se consultaron la  $T_{amb}$  media ( $T_{amb}^{med}$ ) y máxima ( $T_{amb}^{máx}$ ) de la estación meteorológica más cercana (5.2 Km, Coatepequito, Tonalico, Estado de México; <http://clicom-mex.cicese.mx>) para el periodo de muestreo de noviembre 2013 - mayo 2016. Por medio de termómetros electrónicos (Thermochron iButton, DS1922L-F5 Dallas, Semiconductor) dentro de una cápsula impermeable (DS9107 Waterproof iButton Capsule) se registró la temperatura de diferentes microhábitats utilizados por las tortugas dentro de la zona de estudio.

A partir de los registros de  $T_c$  de cada individuo se obtuvo la  $T_c$  media ( $T_c^{med}$ ),  $T_c$  máxima ( $T_c^{máx}$ ) y  $T_c$  mínima ( $T_c^{mín}$ ) por semana. Con ayuda de los registros de  $T_w$  obtenidos en los microhábitats y las observaciones de campo, se realizó una clasificación de la  $T_c$  de cada individuo de acuerdo con el microhábitat utilizado; de los cuales se calculó la  $T_c^{med}$ ,  $T_c^{mín}$  y  $T_c^{máx}$  semanal en cada microhábitat. Por otra parte, se calculó el tiempo (horas) por mes de utilización de cada microhábitat en ambos sexos, para obtener el porcentaje de uso de cada microhábitat.

Al contrastar la  $T_c$  de cada individuo con la  $T_w$  de los microhábitats y la  $T_{amb}$ , se obtuvo:

- a) la temperatura media de asoleo ( $T_a^{med}$ ) y temperatura máxima de asoleo ( $T_a^{máx}$ ) por semana,
- b) el tiempo de asoleo (horas) por día y c) el número de días al mes que se presentan eventos de asoleo. Para propósitos de este estudio se consideró un evento de asoleo cuando la  $T_c$  de la tortuga supera la  $T_w$  por al menos  $5^\circ\text{C}$  (siguiendo el criterio de Grayson y Dorcas, 2004). Se realizó una evaluación de la  $T_w$  de siete microhábitats dentro del río (5 pozas y 2 oquedades), donde la mayor diferencia en la  $T_w$  entre microhábitats de el río en una hora determinada es  $4.5^\circ\text{C}$ . Considerando este criterio y el intervalo de tiempo en el que se registra la  $T_c$  de las

---

tortugas (cada 60 min), la estimación de los eventos de asoleo puede ser menor al número de eventos de asoleo reales, ya que es posible que no se tenga registro de asoleos cortos (menores a 59 min), así como asoleos donde la  $T_c$  no supera los 5°C sobre la  $T_w$ ; a pesar de esto, la evaluación constante de la  $T_c$  nos permitió conocer con gran detalle los patrones térmicos de *Kinosternon integrum* los cuales son prácticamente desconocidos.

---

## Análisis estadísticos

### Ecología térmica

Para evaluar el efecto de el sexo y mes en la  $T_c^{med}$  se usó un modelo lineal generalizado mixto (GLMM), en el cual se incluyó a los individuos como factor aleatorio, para tener en cuenta la no independencia de los datos. Analizamos los factores que afectan la  $T_a^{med}$  por medio de un modelo lineal general mixto (LMM) con el sexo, mes ( $n = 9$ , no se incluyen enero, abril y diciembre; debido a la ausencia de datos de algún sexo) y año como factores fijos, los individuos se incluyeron como un efecto aleatorio. Para evaluar la frecuencia de los asoleos con  $T_a^{máx}$  mayor o igual a los  $38^\circ\text{C}$  a través del tiempo para ambos sexos se utilizó un Serial Run Test (Serial-Randomnes, Zar,1999). El tiempo de asoleo (horas) y los días de asoleo se analizaron con un GLMM con distribución binomial negativa (para considerar la sobredispersión de los datos; Zuur, *et al.*, 2009), se incluyó el sexo y mes como factores fijos y los individuos como efecto aleatorio. La relación del tiempo de asoleo con la  $T_a^{máx}$  alcanzada por evento de asoleo se analizó a través de una correlación de Spearman.

La  $T_c^{med}$  de acuerdo al microhábitat se analizó por medio de un GLMM con el microhábitat y estación como factores fijos y los individuos como factor aleatorio. Los análisis de GLMM y LMM se realizaron en R software (versión 4.0.3, R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria); a partir de los modelos completos se generaron modelos simples y se utilizó el Criterio de Información de Akaike corregido (AICc) para seleccionar el modelo más parsimonioso, es decir con el más bajo AICc (Burnham y Anderson, 2002). Probamos la importancia de los efectos fijos del mejor modelo ( $\Delta\text{AICc} < 5$ ) utilizando la prueba Wald chi-square Tipo II.

La temperatura de los microhábitats fue analizada por medio de un ANOVA de dos vías usando como factores el microhábitat y la estación. Por medio de análisis de regresión lineal

---

---

simple se evaluó la relación de la  $T_c^{\text{med}}(\text{río}) - T_w^{\text{med}}(\text{río})$  y de la  $T_a^{\text{med}} - T_{\text{amb}}^{\text{med}}$ , para este análisis se calculó una temperatura media por semana para cada variable. Además, se determinó la frecuencia de uso de hábitat de acuerdo al mes para ambos sexos, y fue analizada por medio de un Serial Run Test (Serial-Randomnes, Zar, 1999). Estos análisis se realizaron en SPSS con un alpha de 0.05.

### Uso de hábitat

Se calculó el ámbito hogareño por medio de un análisis de densidad de Kernel (KDE) en R software (R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), únicamente para tortugas con 15 o más localizaciones (6 hembras, 6 machos). El 50% de KDE representa el área núcleo y el 95% representa el área de alta intensidad de uso y el tamaño del ámbito hogareño (Donaldson y Echternacht, 2005). Por otra parte, para fines comparativos con otras especies se calculó el ámbito hogareño por medio de polígono mínimo convexo (100%), para todos los animales con al menos tres relocalizaciones.

El área del ámbito hogareño (50% y 95% KDE) se comparó por medio de un ANOVA de dos vías, usando como factor el sexo, la movilidad de los animales (dos niveles: tortugas que permanecen en el río todo el tiempo y tortugas que realizaron movimientos terrestres). La relación del ámbito hogareño con el tamaño del caparazón (largo recto) y el peso de las tortugas fue analizado por medio de regresión lineal simple. Se evaluó la relación de los días entre recapturas respecto a la distancia de los movimientos por medio de un análisis de regresión simple; la relación de la distancia de los movimientos con el peso y tamaño de las tortugas se analizó por medio de una correlación de Spearman.

Por medio de un modelo lineal mixto (LME) se comparó la distancia de los movimientos tomando el sexo, año, estación y categoría de los movimientos (acuáticos o terrestres) como factores fijos, y se incluye a los individuos como factor aleatorio; de acuerdo con von Ende

---

(1993) y Schafer y Graham (2002), este análisis considera la autocorrelación temporal entre estaciones o años, así como los datos faltantes debido a la pérdida o reemplazo de individuos, este análisis se ha realizado en otros estudios de reptiles (*Tiliqua rugosa*, Kerr y Bull, 2006) incluyendo tortugas de agua dulce (*Sternotherus odoratus*, Rowe et al., 2009; *Chrysemys picta marginata*, Rowe y Dalgarn, 2010; *Sternotherus minor peltifer*, Ennen y Scott, 2013). Por otra parte, se realizó una comparación entre los movimientos terrestres (movimientos del río a bordos artificiales, movimientos del río a sitios de estivación) mediante un análisis t-Student. Estos análisis se realizaron en SPSS con un alpha de 0.05 para todas las pruebas.

La variable distancia de los movimientos se transformó a ln, para cumplir con el supuesto de normalidad (Kolmogorov-Smirnov,  $p > 0.05$ ); de acuerdo al test de Levene, el 75% de los factores (sexo, año, estación) son homocedásticos ( $p > 0.05$ ), y el 25% (categoría de movimiento) no son homocedásticos ( $p < 0.001$ ). Para todos los resultados se muestra la n, media  $\pm$  1 EE (error estándar) e intervalo.

---

# Resultados

## Artículo publicado

### Decision Letter (ECE-2017-01-00112.R2)

**From:** ecoevo@wiley.com

**To:** ailed.perez.perez@gmail.com, anath\_elm@yahoo.com.mx, biol.osr.herp@gmail.com, rheubert@findlay.edu, ohg@uaemex.mx

**CC:** allen.moore@ecolevol.org

**Subject:** Ecology and Evolution - Decision on Manuscript ID ECE-2017-01-00112.R2 [email ref: DL-RW-1-a]

**Body:** 20-Jul-2017

Dear Mr. Hernández-Gallegos:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "How far do adult turtles move? Home range and dispersal of *Kinosternon integrum*" in its current form for publication in Ecology and Evolution.

We appreciate your efforts and attention to detail raised by the referees and associate editor. You have treated them with the care and attention we expect.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of Ecology and Evolution, we look forward to your continued contributions to the Journal. Enjoy the benefits of an OA paper.

Sincerely,  
Prof. Allen Moore  
Editor in Chief, Ecology and Evolution  
allen.moore@ecolevol.org

--Instruction Summary--

Please note that although your manuscript has been accepted, the files will now be checked to ensure that everything is ready for publication and you may be contacted if final versions of the files are required. You will also receive an email from the editorial office confirming the next steps towards publication of your manuscript, which includes information about the Article Publication Fee. Once your article has been received by the Production Team, you will then receive an invitation from Wiley's Author Services system, which will ask you to log in and sign the appropriate license.

Associate Editor Comments to Author:


Associate Editor  
Comments to the Author:  
(There are no comments.)

Reviewer(s)' Comments to Author:

Keep up to date with Ecology and Evolution's new content by signing up for the journal's email alerts at [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)2045-7758/homepage/get\\_email\\_alerts.htm](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)2045-7758/homepage/get_email_alerts.htm)

**Date Sent:** 20-Jul-2017

# How far do adult turtles move? Home range and dispersal of *Kinosternon integrum*

Ailed Pérez-Pérez<sup>1</sup> | Ana Esthela López-Moreno<sup>1</sup> | Orlando Suárez-Rodríguez<sup>1</sup> | Justin Lloyd Rheubert<sup>2</sup> | Oswaldo Hernández-Gallegos<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, Mexico

<sup>2</sup>College of Sciences, The University of Findlay, Findlay, OH, USA

## Correspondence

Oswaldo Hernández-Gallegos, Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, Mexico.  
Email: ohg@uaemex.mx

## Funding information

This study was funded by the Theodore Roosevelt Memorial Fund of the American Museum of Natural History (grants 2013 and 2014), CONACYT and Posgrado en Ciencias de Facultad de Ciencias by Doctoral Scholarship 464685/289846 to Pérez-Pérez A. and Universidad Autónoma del Estado de México with the project 3587/2013

## Abstract

We describe the home range and movements of a population of *Kinosternon integrum* in Tonicato, Estado de México, México, over 3.5 years (during rainy and dry season months) using radiotelemetry in 37 adult turtles. The results showed that the home range of *K. integrum* was  $0.151 \pm 0.051$  ha using 50% kernel density estimator (KDE), and  $0.657 \pm 0.214$  ha using 95% KDE; the home range did not vary between sexes. *Kinosternon integrum* showed low distances traveled  $51.44 \pm 4.50$  m, where 87.3% ( $n = 373$ ) of movements were  $<100$  m. The distance traveled differed by season, and movement category (aquatic and terrestrial movements). The shortest distance occurred during the dry season, during which some individuals move to estivation sites, and these movements were shorter than movements to artificial ponds (cattle ponds). In this population, home range and movement are similar to other species of the genus *Kinosternon*. Overall, the results indicate that *K. integrum* are highly dependent on aquatic habitats, but also utilize the terrestrial habitats for different biological activities, and to maintain viable populations. Therefore, the conservation of the entire inhabited area is fundamental. This study highlights the need to increase the studies, in Central México, concerning habitat use of freshwater turtles in order to increase the efficiency of conservation strategies.

## KEYWORDS

activity, freshwater turtles, kernel density, México, minimum convex polygons, movement patterns, telemetry

## 1 | INTRODUCTION

In turtles, knowledge about how individuals move within their habitat is essential to understanding the ecological rationale of dispersion, migrations, and movements to other habitats (Gibbons, Greene, & Congdon, 1990). Within turtles in general, high variation in home ranges and movements have been documented both inter- and intraspecifically (Gibbons et al., 1990; Slavenko, Itescu, Ihlw, & Meiri, 2016). Different extrinsic factors have been identified that influence the movements of reptiles that inhabit

freshwater systems including the following: periodic droughts, weather, season, size of wetlands, environmental variation, and distribution of resources (Bennett, Gibbons, & Franson, 1970; McIntyre & Wiens, 1999; Milam & Melvin, 2001; Plummer, Mills, & Allen, 1997; Roe & Georges, 2008). However, intrinsic factors such as sex, size, sexual maturity, dominance, and physiological and behavioral traits (Gibbons et al., 1990; Hall & Steidl, 2007; Litzgus & Mousseau, 2004; Morreale, Gibbons, & Congdon, 1984; Roe & Georges, 2008; Stone, 2001; Swingland, 1983) can also influence the home range and movement patterns.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2017 The Authors. *Ecology and Evolution* published by John Wiley & Sons Ltd.

Some species of freshwater turtles exhibit high fidelity for their habitats (Cagle, 1944); in particular, turtles of the family Kinosternidae present small home ranges and low mobility compared with other freshwater turtles (Cordero & Swarth, 2010; Ennen & Scott, 2008; Slavenko et al., 2016). Nevertheless, some individuals of the populations are prone to long-distance movements, perhaps to explore available habitat and resources (Hall & Steidl, 2007; Powell, 2000; Smar & Chambers, 2005). In freshwater turtles, movements depend strongly on the access to water in their habitat (Hall & Steidl, 2007; Stone, 2001). Water systems are highly variable environments and conditions can change dramatically between different ponds or within the same pond over time (Euliss et al., 2004), especially in temporary ponds, which occasionally dry (Bauder, 2005; Kennett & Georges, 1990).

The quality and quantity of resources varies temporally and spatially, and variation in the use of resources can influence the movement patterns and space use by animals (Roe & Georges, 2007). In habitats where extremely high temperatures or drought conditions occur during any season of the year, resources such as water or food may be scarce (Ligon & Stone, 2003; Litzgus & Mousseau, 2004; Pinder, Storey, & Ultsch, 1992; Storey, 2001). Therefore, individuals have developed different strategies to survive (Hall & Steidl, 2007) such as a) migration toward permanent water bodies, b) congregation in the local aquatic habitat (Ligon & Stone, 2003), or c) estivation until the water supply is restored (Iverson, 1990; Ligon & Stone, 2003; Wygoda, 1979); the use of these strategies manifest the necessity of identifying variations in home range, movements, and habitat requirements of freshwater turtles in order to effectively design and implement conservation strategies (Pittman & Dorcas, 2009; Rizkalla & Swihart, 2006), as well as improve management plans of endemic species, especially those inhabiting highly urbanized and polluted areas (Harden, Price, & Dorcas, 2009).

*Kinosternon integrum* is endemic to México (Lemos-Espinal & Smith, 2009; Figure 1), and, although considered least concern by the IUCN Red List, is under special protection by Mexican laws (SEMARNAT, 2010). Vulnerability was assessed using an Environmental Vulnerability Score (EVS) ranking *K. integrum* an 11, placing it as a medium vulnerability species (Wilson, Mata-Silva, & Johnson, 2013). Although it is the most widely distributed and the most commonly encountered freshwater turtle in México (Iverson, 1999), it is not excluded from the issues that affect freshwater turtles worldwide (e.g., water pollution, habitat degradation; Dudgeon et al., 2006). Currently, data concerning home range and movements in the genus *Kinosternon* in México are sparse and, to our knowledge, movement patterns have only been reported for one species in México (*Kinosternon leucostomum*; Morales-Verdeja & Vogt, 1997). Therefore, the purpose of this study was to evaluate the home range of *K. integrum*, as well as the movements and their variations according to sex, season, and category (aquatic and terrestrial movements), across years and estimate which of these factors affect the movements. Finally, the home range and movements were compared with other species of family Kinosternidae.



**FIGURE 1** Adult female of *Kinosternon integrum* from Tonatico, Estado de México, México (Photograph by Ailed Pérez-Pérez)

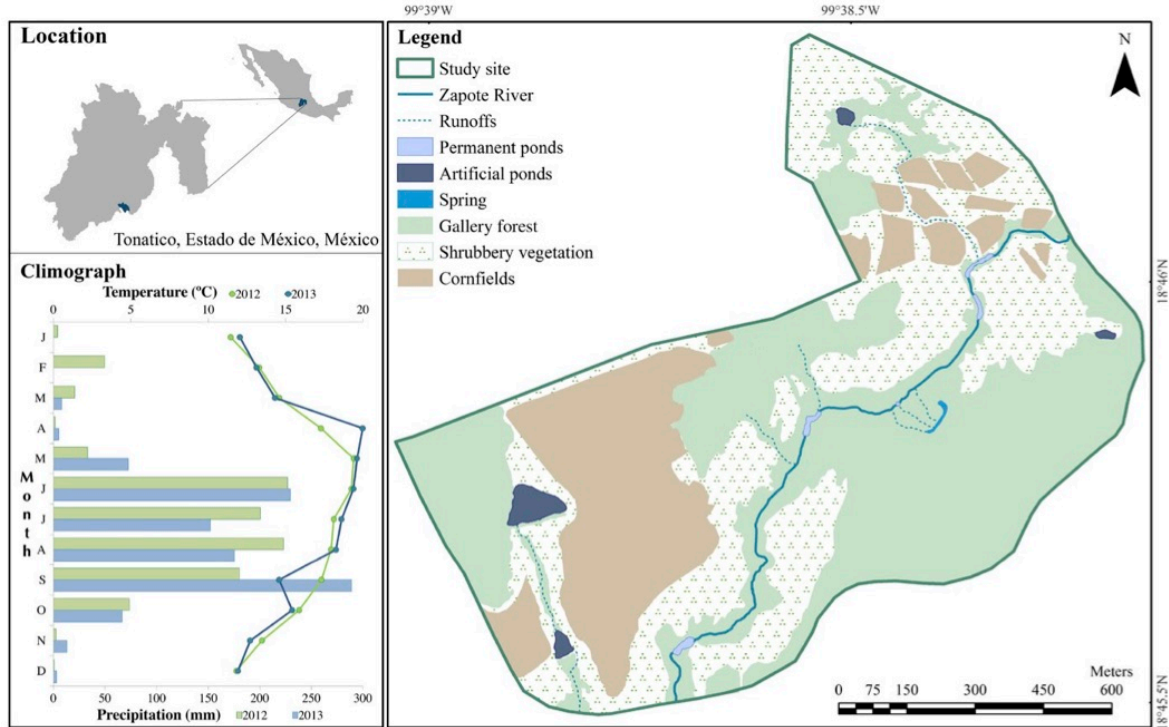
## 2 | MATERIALS AND METHODS

### 2.1 | Study site

This study was carried out in Zapote River, located in Tonatico, Estado de México, México (18°45' N, 99°38' W; 1,500 m.a.s.l. Figure 2). The area has a semiwarm humid climate with summer rains with average annual temperature ranging from 18 to 22°C, and annual precipitation ranging from 1,000 to 1,200 mm (INEGI, 2008; Luna, Morrone, & Espinosa, 2007). The rainy season typically occurs from mid-June to mid-September but sometimes is extended and includes the end of May and beginning of October, and the dry season occurs during the remaining months (Hernández-Gallegos & Domínguez-Vega, 2012; Figure 2). The Zapote River is fed by springs and runoffs, and the water level in the river changes considerably due to seasonal and annual variations in rainfall. Most of the river dries prior to the rainy season during April and May (the warmer and drier months of the year), and only a few permanent ponds remain (Figure 2). When the summer rains begin, the amount of water increases, and the water flow becomes continuous. Sand and rocks dominate the substratum, and the dominant vegetation in the riverbank is gallery forest (trees and shrubs).

### 2.2 | Sampling methods

Samplings were performed from December 2012 to May 2016, and turtles were captured by hand and snorkeling along 1.25 km of the Zapote River. All turtles were sexed and weighed, and their straight carapace length and curved carapace length were measured. All



**FIGURE 2** Study site and climograph (2012–2013) of Tonatico, Estado de México, México

turtles were marked using shell notching following Cagle (1939). Individuals measuring more than 120 mm of curved carapace length were considered adults (Brauer-Robleda, 2009; Macip-Ríos, 2005). Thirty-seven adult turtles (18 females, 19 males; carapace length >120 mm; weight >300 g) were fitted with radiotransmitters (LL Electronics, Mahomet IL, model LF2 CR2477; weight 16.5 g, did not exceed 7% of body mass), which were attached to the posterior marginal scutes with silicon sealer. Turtles were held in the laboratory for 48 hr before being released at their exact capture locations. Turtles were monitored by a yagi antenna and a receiver (LL Electronics MN4000); the locations were recorded using a global positioning system unit (GPS, Garmin Oregon). Turtles were tracked at different periods throughout the sampling period (Table 1); the relocations were performed fortnightly; the sampling area of relocations included 1.12 km<sup>2</sup> (Figure 2), due the movements of the turtles to other habitats (estivation sites, spring, artificial ponds, and runoffs). Movements from the river to other habitats (estivation sites, artificial ponds, and marsh) were considered terrestrial movements, whereas movements within the river and within artificial ponds were considered aquatic movements.

In studies concerning movements and home range, independence is not biologically possible (Blundell, Maier, & Debevec, 2001); animals typically move in a nonrandom fashion and will return repeatedly to important areas (e.g., foraging sites, or locations that provide shelter or other important resources); this causes strong autocorrelation (Powell, 2000; de Solla, Bonduriansky, & Brooks, 1999; Swihart &

Slade, 1985). de Solla et al. (1999) and Blundell et al. (2001) demonstrated that the kernel densities do not require serial independence of observations; the autocorrelation had no apparent effect on linear estimates of home ranges with any kernel method. Due to this, to estimate home range, we calculated 50% and 95% kernel density estimator (KDE) (only for turtles with more than 15 locations; 6 females and 6 males), using R software (R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Most locations were highly clustered; thus, we used least-squares cross-validation for optimum bandwidth selection (Bowman, 1984). Kernel method is one of the least biased and most precise home estimator (Seaman, Griffith, & Powell, 1998; Worton, 1989); 50% KDE reflected core area of home range, where the high intensity of use of 95% indicated size of home range (Donaldson & Echternacht, 2005). We calculated the home ranges size of all animals with at least three captures or relocations, using 100% minimum convex polygon method (MCP), and estimate total distance of the movements between locations using the Xtool Pro extension in ArcGis 10.3 (Environmental Systems Research).

### 2.3 | Statistical analyses

The size of home range (50% and 95% KDE) was compared separately by two-way ANOVA using as a factor sex and mobility of the animals (two levels; animals that remain in the river all time and individuals that performed terrestrial movements) as cofactors. The correlations of the home range with straight carapace length and weight of turtles

**TABLE 1** Characteristics of tracking, home range, and movements of 37 adult turtles of *Kinosternon integrum* in Tonicato, Estado de México, México. Females (H), Males (M). \*movements into the river, †movements to estivation sites, ‡movements to artificial ponds, and ††movements to spring

Turtle ID	No. of Weeks tracked	No. of locations	Kernel (ha)		Area	Mean of distance (m)	Range of movements (m)	Date of tracked
			50%	95%	MCP (ha)			
H 4 <sup>*†</sup>	174.6	48	0.080	0.281	2.99	70.9	0.0–327.2	01/13–05/16
H 6 <sup>*</sup>	119.6	31	0.035	0.173	0.176	20.7	0.0–70.3	03/13–06/15
H 7 <sup>*</sup>	25.2	8			0.207	43.9	0.0–249.1	03/13–09/13
H 9 <sup>*</sup>	36.5	9			0.029	12.3	1.5–25.8	10/13–06/14
H 10 <sup>*</sup>	90.1	3			0.037	157.2	43.3–271.1	06/14–01/15
H 11 <sup>*‡</sup>	90.6	8			1.049	100.5	0.0–303.6	06/14–01/15
H 13 <sup>*</sup>	23	3			0.066	45.2	40.9–49.6	05/13–10/13
H 15 <sup>*†‡</sup>	116.4	15	0.385	1.730	2.386	101.3	0.0–343.7	05/13–07/15
H 19 <sup>†</sup>	27.6	3			0.202	236.0	40.8–431.1	07/14–10/14
H 21 <sup>*</sup>	29.4	6			0.117	30.8	3.9–53.2	04/14–11/14
H 22 <sup>†</sup>	22.3	3			0.007	331.2	0.0–662.4	07/14–09/14
H 28 <sup>*‡</sup>	61.4	16	0.099	0.494	0.696	67.7	0.0–425.7	05/15–05/16
H 29 <sup>*</sup>	54	22	0.015	0.058	0.076	20.5	2.5–58.0	04/15–04/16
H 34 <sup>*</sup>	51.6	19	0.022	0.129	0.371	26.6	1.1–135.3	04/15–04/16
H 36 <sup>*</sup>	5.1	3			0.003	14.7	2.5–26.8	04/15–05/15
H 37 <sup>†</sup>	12.7	4			0.225	243.7	10.2–568.3	05/15–06/15
H 41 <sup>*</sup>	17	7			0.019	10.5	0.0–26.4	12/15–04/16
H 45 <sup>*</sup>	20.6	9			0.095	21.7	0.0–76.1	11/15–04/16
M 1 <sup>*†‡</sup>	57.9	21	0.255	1.273	3.808	59.4	0.0–509.2	01/13–02/14
M 3 <sup>*</sup>	14.6	8			0.060	25.9	2.5–86.0	01/13–04/13
M 5 <sup>*</sup>	87.6	17	0.006	0.028	0.030	10.8	0.0–53.4	02/13–09/14
M 12 <sup>*†</sup>	159.6	16	0.407	1.630	2.507	91.2	0.0–387.2	05/13–05/16
M 14 <sup>*</sup>	60.6	9			0.049	33.3	5.3–62.8	01/14–12/14
M 17 <sup>*†</sup>	92.6	20	0.013	0.071	0.400	24.1	0.0–97.1	09/13–06/15
M 20 <sup>*†‡</sup>	104	30	0.469	1.878	14.969	91.5	0.0–425.4	04/14–04/16
M 24 <sup>*</sup>	20	3			0.034	62.1	30.6–93.6	05/13–09/13
M 25 <sup>*</sup>	100.1	13			1.167	50.7	3.2–234.0	09/14–05/16
M 26 <sup>*‡</sup>	23.4	11			1.785	107.6	0.0–428.8	04/15–09/15
M 27 <sup>*</sup>	15.7	9			0.659	38.0	0.0–105.7	03/15–06/15
M 30 <sup>*</sup>	16.1	9			0.049	21.2	7.0–52.1	04/15–07/15
M 31 <sup>*†</sup>	23.4	4			0.305	98.5	7.5–256.8	04/15–09/15
M 33 <sup>*</sup>	25.4	12			1.013	81.4	4.9–203.0	04/15–09/15
M 35 <sup>*</sup>	51.6	22	0.036	0.136	0.156	18.2	1.1–63.2	04/15–04/16
M 42 <sup>*</sup>	17	7			0.007	6.1	1.1–11.3	12/15–04/16
M 43 <sup>*</sup>	28.6	9			0.302	50.6	8.1–124.8	09/15–04/16
M 44 <sup>*</sup>	27.6	12			0.070	13.4	0.0–86.3	10/15–04/16
M 46 <sup>*</sup>	34.6	13			0.033	10.2	0.0–33.9	09/15–05/16

were analyzed by linear regression. The correlation of the days between captures with distance of the movements was tested by simple regression; the correlation of the distance of movements with weight and carapace length was tested by means of the Spearman's rank test.

The best analysis to evaluate distance of the movements can be a linear mixed effect model (LME), which includes individuals

as a random factor, as has been performed in other reptile studies, including freshwater turtles (*Tiliqua rugosa*, Kerr & Bull, 2006; *Sternotherus odoratus*, Rowe, Lehr, McCarthy, & Converse, 2009; *Chrysemys picta marginata*, Rowe & Dalgarn, 2010; *Sternotherus minor peltifer*, Ennen & Scott, 2013). According to von Ende (1993) and Schafer and Graham (2002), this form of analysis accommodated

**TABLE 2** Results of linear mixed effects analyses for movement distance (log nat) of *Kinosternon integrum* in Tonatico, Estado de México, México, with Sex, Year, Season, and Category as fixed variables

Source	df	F	p
Sex	1	0.737	.397
Year	3	0.445	.721
Season	1	29.712	<.001*
Category	1	24.932	<.001*
Sex × Year	3	0.792	.500
Sex × Season	1	2.415	.121
Sex × Category	1	0.806	.370
Year × Season	3	3.225	.023*
Year × Category	3	0.603	.614
Category × Season	1	5.505	.019*
Sex × Year × Season	3	4.527	.004*
Sex × Year × Category	1	2.461	.087
Sex × Season × Category	1	2.828	.093
Year × Season × Category	2	0.546	.580
Sex × Year × Season × Category	1	0.927	.336

\*Indicates significant test differences.

temporal autocorrelation among seasons or years as well as missing data because of loss and replacement of individuals. Due to this, to analyze differences in distance of movements, a linear mixed effect model was used that included individual turtles as a random effect; fixed factors included sex, year, season, and category of movements (aquatic or terrestrial). A Student's *t* test was used to evaluate differences between terrestrial movements (river/artificial ponds and river/estivation sites). Before analyses, variable distance of the movements was natural log-transformed, to address assumptions of normality (Kolmogorov–Smirnov,  $p > .05$ ). According to a Levene's test, 75% of the factors (sex, year, and season) were homoscedastic ( $p > .05$ ), only 25% (category of the movements) were not homoscedastic ( $p < .001$ ). All statistics were performed in SPSS version 20.0, means were presented  $\pm 1$  standard error (unless otherwise noted) and results were deemed significant if  $p < .05$ .

### 3 | RESULTS

#### 3.1 | Home range of *Kinosternon integrum*

The average tracking time was  $52.3 \pm 7.04$  weeks (range 5.1–174.6 weeks; Table 1); the mean of number of relocations was  $12.5 \pm 1.5$  per turtle (range 3–48 relocations; Table 1). The home range size for *K. integrum* for 50% KDE was  $0.151 \pm 0.051$  ha and for 95% KDE was  $0.657 \pm 0.214$  ha (Table 1). Home range did not differ between sexes (50% KDE,  $F = 0.279$ ,  $p = .612$ ; 95% KDE,  $F = 0.207$ ,  $p = .662$ ). The mobility of turtles affects the home range, turtles that remain in the river have a smaller home range than turtles that perform terrestrial movements (50% KDE,  $F = 5.68$ ,

$p < .05$ ; 95% KDE,  $F = 6.08$ ,  $p = .039$ ); and in both cases, there is not an interaction of the Sex × Mobility (50% KDE,  $F = 0.315$ ,  $p = .590$ ; 95% KDE,  $F = 0.309$ ,  $p = .593$ ). The home range size (95% KDE) was not correlated with weight ( $R^2 = 18.44$ ,  $p = .164$ ) or straight carapace length ( $R^2 = 0.008$ ,  $p = .983$ ). The mean of home range using MCP (37 turtles) was  $0.977 \pm 0.418$  ha; in this study, we report the home range of *K. integrum* by MCP (Table 1), for comparisons to other turtles; however, MCP was not used in statistical analyses and comparisons between MCP and KDE were not performed.

#### 3.2 | Distance of the movements of *Kinosternon integrum*

The mean distance traveled by turtles was  $51.44 \pm 4.50$  m (range 0–662.4 m), and 87.3% ( $n = 373$ ) of movements were  $< 100$  m. Of the 37 turtles tracked, 13 individuals (35.1%) performed terrestrial movements at some point during the study (which represented 15.2% of the movements). The distance traveled by turtles was weakly correlated with the number of days between recaptures ( $R^2 = 0.148$ ,  $p < .001$ ). The mean distance traveled was not correlated to straight length of carapace ( $R_s = -0.121$ ,  $p = .663$ ), or weight ( $R_s = -0.2759$ ,  $p = .320$ ).

The distance traveled by turtles was mainly affected by season and by movement category (Tables 2 and 3). The movements during the rainy season were greater than the dry season (Table 3, Figure 3a), and terrestrial movements were greater than aquatic movements (Table 3, Figure 3b). When turtles moved from the river to artificial ponds (and return to the river) they traveled greater distances than those traveling to/from estivation sites (Table 3; Figure 3c). Only the interactions Year × Season, Season × Category, and Sex × Year × Season have an affect on the distance of the movements (Table 2). Differences in mean movement distance among years (Figure 4a) or category (Figure 4b) are not independent of the season. Moreover, differences in mean movement distance between sexes are not independent of the season or year (Figure 5).

### 4 | DISCUSSION

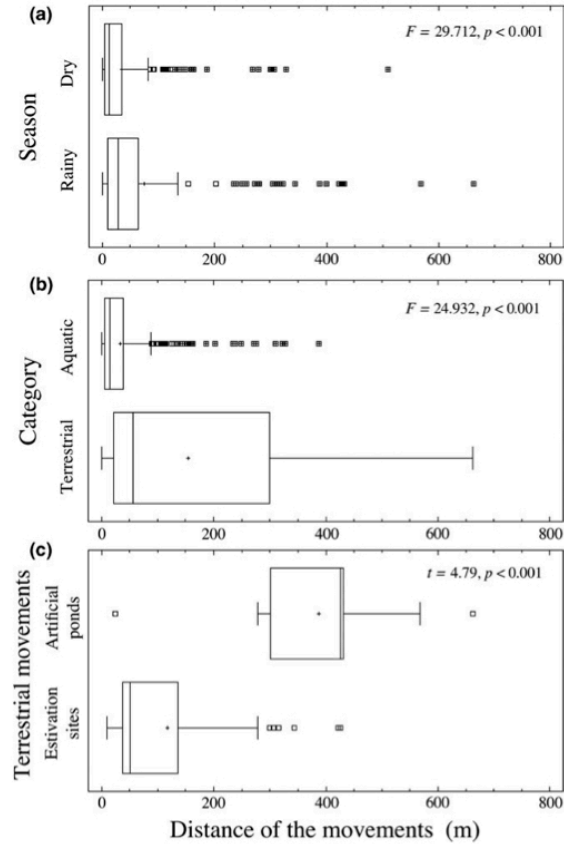
The movements of *K. integrum* in Tonatico, Estado de México, México, depend remarkably on the seasonality, especially rainfall. This population has high individual variation in the movements and did not exhibit a single movement pattern; while some individuals remain in the river continuously, others carry out seasonal migrations.

According to our results, the size of the home range in *K. integrum* was relatively large in respect to other species within the Kinosternidae family. However, compared with other species of freshwater turtles (Table 4), members of the Kinosternidae family have smaller home range sizes (Slavenko et al., 2016). Slavenko et al. (2016) reported that *Sternotherus odoratus* (a highly aquatic kinosternid) had a large home range concluding that aquatic turtles have larger home range than semiaquatic turtles; and *K. integrum*, considered a semiaquatic species, has the third largest home

**TABLE 3** Distance (m) moved by *Kinosternon integrum* according to Sex, Season, Year, Category, and Terrestrial movements in Tonicato, Estado de México, México

Sex	Season*		Year				Category*		Terrestrial movements*			
	Males	Females	Dry	Rainy	2013	2014	2015	2016	Aquatic	Terrestrial	To/from artificial ponds	To/from estivation sites
Mean	47.93	56.1	35.07	74.33	45.55	61.89	54.81	36.06	34.11	154.71	387.48	117.81
SE	10.94	7.2	3.97	8.93	8.89	11.78	6.82	9.17	2.81	22.22	43.85	21.84
Range	0–509.2	0–662.4	0–509.2	0–622.4	0–509.2	0–662.4	0–568.3	1–425.7	0–387.2	1–662.4	24.4–662.4	10–425.7
n	227	200	247	180	81	91	188	67	365	62	13	34

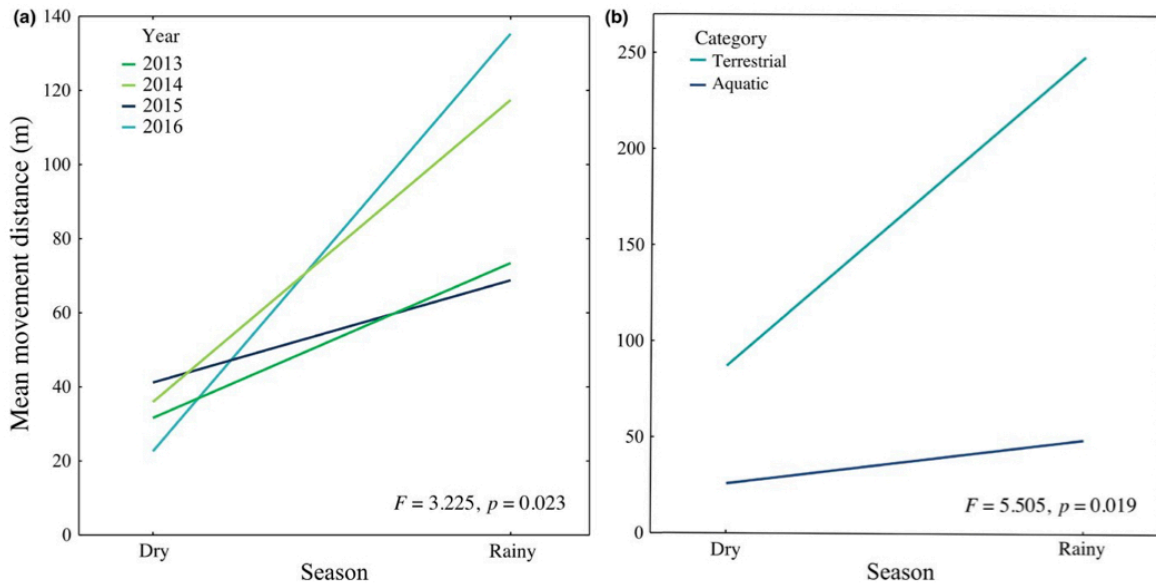
\*p < .001.



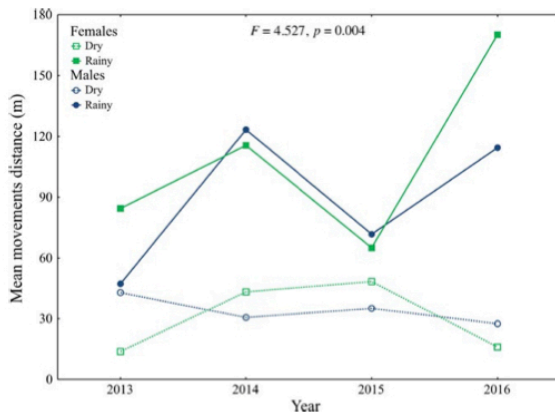
**FIGURE 3** Comparison of the distance traveled by *Kinosternon integrum* between: a) Seasons, b) Category, and c) Terrestrial movements in Tonicato, Estado de México, México

range in the family Kinosternidae (considering 95% KDE; Table 4). However, it is important to note that the information concerning home range in Kinosternidae is still scarce, as there is only information of home range for nine of the 25 species. Furthermore, most studies have estimated home range using the MCP method, which has been criticized due to its sensitivity to extreme outlying locations, and generally can cause an overestimation of the home range (Powell, 2000). In this study, the results of MPC include habitats in which individuals of *K. integrum* were never observed (e.g., crops, uncovered soil).

In turtles, intra- and interspecific variation on home range and patterns of movements of turtles has been reported (Slavenko et al., 2016). Home range and movements can be more influenced by extrinsic factors (i.e., weather, season, size of wetlands, environmental variation, and distribution of resources and food) than intrinsic factors (i.e., sex, size, and sexual maturity.) (Slavenko et al., 2016). The movements of *K. integrum* were influenced by extrinsic factors such as season and distance between microhabitats essential for survival (estivation sites and artificial ponds), but the distance traveled is consistent among years. The intrinsic factors such as size or sex did not affect the movement distance, which has been reported in other species



**FIGURE 4** Mean movement distance of *Kinosternon integrum* according to: a) interaction between Year and Season, and b) interaction between Category and Season



**FIGURE 5** Mean of distance of movements of *Kinosternon integrum* according to three-way interaction among Sex, Year, and Season

(*K. subrubrum*, Bennett et al., 1970; *K. baurii*, Wygoda, 1979). Hence, identification of factors that promote the movements within a population could improve future conservation plans.

Most of the individuals of *K. integrum* in Tonatico presented low mobility and high fidelity for their aquatic habitat within the river (25.1% of the movements were <5 m). *K. integrum* exhibited both aquatic (within the river) and terrestrial movements (toward artificial ponds and estivation sites), which have been recorded in other species of Kinosternidae. According to Ennen and Scott (2008), and our field observations, some turtles did not show constant movements and remained in the same site for multiple days. Additionally, the movements of *K. integrum* were sudden and brief (especially

long-distance terrestrial movements). For example, in a range of three days, one male (M 5) did not move (0 m), and another male (M 20) moved 299 m (both during dry season). Previous research has suggested that turtles can migrate and later return to the same site with great accuracy (Morales-Verdeja, 1991). This behavior was also observed in *K. integrum*, for example, one female (H 28) was estivating near the river, then migrated to an artificial pond (398.9 m), and next year returned at the same estivation site. Similarly, a male (H 5) was recaptured after 329 days (after 19 samplings) in the same pond in the river. These results strongly support the hypothesis that most individuals of *K. integrum* show a high fidelity for their habitats, and similar patterns have been observed in other Kinosternids (Tables 4 and 5). The high fidelity presented in turtles has been related to the availability of resources in the environment. The low mobility of *K. integrum* suggests that the Zapote River offers optimal environmental conditions to obtain resources locally that adequately satisfy the different energy demands of individuals. Interestingly, a similar situation has also been suggested by previous studies (Milam & Melvin, 2001).

Terrestrial movements have been recorded in other species within the *Kinosternon* genus, and long-distance movements are rare. Nevertheless, some organisms within populations can perform large-scale movements within the same habitat or among habitats (Bowne, 2008; Gibbons, Greene, & Congdon, 1983; Hall & Steidl, 2007; Ligon & Stone, 2003; Pittman & Dorcas, 2009; Smar & Chambers, 2005; Stone, 2001). In environments where the water is scarce, the number of terrestrial movements by turtles should be relatively high as turtles may need to move to ephemeral pools when they become available and to more permanent pools or to estivation sites when ephemeral pools dry (Stone, 2001). Herein, we present a similar result, because during the

**TABLE 4** Mean of home range of some species of family Kinosternidae (including *Kinostemon integrum*) calculated by: minimum convex polygon (▷), 50% KDE (●), and 95% KDE (○). Data expressed in scientific notation  $^{\diamond} 10^{-1}$ ;  $^{\diamond\diamond} 10^{-2}$ ;  $^{\diamond\diamond\diamond} 10^{-3}$ 

Species	Home range (ha)				Source	
	Females	Males	All	Range		
<i>Sturotypus salvini</i>			12 <sup>◇◇</sup>		Legler and Vogt (2013)	
<i>Kinosternon acutum</i>			1.2 <sup>◇◇</sup>	2 <sup>◇◇◇</sup> –3.1 <sup>◇◇</sup>	Vogt, Daht, Espejel-González, and López-Luna (2000)	
			2 <sup>◇◇</sup>	1 <sup>◇◇</sup>	Iverson and Vogt (2011)	
<i>Sternotherus odoratus</i>	▷	4.9 <sup>◇◇</sup>	2.4 <sup>◇◇</sup>		Mahmoud (1969)	
		9.4 <sup>◇</sup>	1.7	1.2	Ernst (1986)	
	▷	25.4	20.9	23.9	Belleau (2008)	
	●			1.5	2.6 <sup>◇</sup> –7.4	Rowe et al. (2009)
	○			2.8	"	
	▷			6.6	62.2 <sup>◇◇</sup> –22.1	Picard, Carrière, and Blouin-Demers (2011)
	▷	8.2	11.6	9.9		Banning (2012)
	●	5.3	5.0			"
	○	1.0	0.9			"
	▷				1–5.2	Attum, Cutshall, Eberly, Day, and Tietjen (2013)
▷	25.5	105.9	65.7	6.8–204.9	Bennett, Keevil, and Litzgus (2015)	
<i>Sternotherus minor peltifer</i>	▷	5.2 <sup>◇</sup>	5.2 <sup>◇</sup>	51.8 <sup>◇◇</sup>	Ennen and Scott (2013)	
<i>Sternotherus depressus</i>	▷		8 <sup>◇◇</sup>		Dodd, Enge, and Stuart (1988)	
<i>Kinosternon subrubrum</i>	▷	4.8 <sup>◇◇</sup>	5.2 <sup>◇◇</sup>	5 <sup>◇◇</sup>	Mahmoud (1969)	
	▷	10.2	26.0	17.5	Cordero, Reeves, and Swarth (2012)	
<i>Kinosternon flavescens</i>	▷	12.5 <sup>◇◇</sup>	10.5 <sup>◇◇</sup>		Mahmoud (1969)	
<i>Kinosternon integrum</i>	▷	48.6 <sup>◇◇</sup>	14.4 <sup>◇</sup>	97.7 <sup>◇◇</sup>	3 <sup>◇</sup> –149.7 <sup>◇</sup>	<b>This study</b>
	●	10.6 <sup>◇◇</sup>	19.8 <sup>◇◇</sup>	15.2 <sup>◇◇</sup>	6 <sup>◇◇</sup> –46.9 <sup>◇◇</sup>	"
	○	47.8 <sup>◇◇</sup>	83.7 <sup>◇◇</sup>	65.7 <sup>◇◇</sup>	2.8 <sup>◇◇</sup> –18.8 <sup>◇</sup>	"
<i>Kinosternon scorpioides</i>			4.5 <sup>◇◇</sup>		Berry and Iverson (2011)	

Species are mentioned according to Iverson, Le, and Ingram (2013). Text in bold indicates the results of this paper

samplings we found that turtles migrate temporally to other sites. The terrestrial movements performed by *K. integrum* were carried out between river and estivation sites, and between river and artificial ponds. These strategies are present to avoid periods of droughts presented during the dry season (November–May) in the habitat of this population of *K. integrum*. The largest terrestrial movements carried out between river and artificial pond were recorded during the onset of the rainy season. This indicates that some individuals of *K. integrum* use permanent ponds of the river as a refuge during the dry season, but during the beginning of the rainy season migrate to temporal ponds (artificial ponds).

Roe and Georges (2007) revealed that the movements between water bodies were not species-specific and some species of turtles use more than one wetland, normally traveling between two and three bodies of water. In the study site, it is common that some individuals of *K. integrum* perform seasonal migrations between river and artificial ponds; this ability to move between

water bodies allows them to have a better survival condition and body condition, as the permanent pools can offer different resources and benefits, while others have dried (Roe & Georges, 2007, 2008). Because of this, the maintenance of landscape connectivity can be an important issue in the management of habitats adjacent to water bodies (ground safety zone). The conservation of the whole area is very important, as these environmental changes can be detrimental on the natural history of these organisms. Anthropogenic barriers (i.e., crops, roads) have a profound effect upon the survival of the turtles, mainly on those that perform overland movements (Myfsud & Myfsud, 2008; Pittman & Dorcas, 2009). It has been documented that in areas where disturbances occur in their habitat, turtles move greater distances (Plummer & Mills, 2008). Hence, conservation plans should include actions to maintain natural characteristics of the rivers and promote land corridors, in order to ensure that turtle populations are not negatively impacted.

**TABLE 5** Mean of distance of the movements of some species of family Kinosternidae (including *Kinosternon integrum*). The estimation of the movements by <sup>+</sup> linear home range, <sup>■</sup> total daily distance movement, <sup>\*</sup> mean distance, <sup>\*</sup> minimum movement distance, <sup>□</sup> distance between captures

Species	Movement (m)				Source	
	Females	Males	All	Range		
<i>Kinosternon leucostomum</i>	*		296 <sup>a</sup>	0–600	Morales-Verdeja and Vogt (1997)	
	*		277 <sup>b</sup>			
	+		105.8			
<i>Sternotherus odoratus</i>	*		320	0–1175	Smar and Chambers (2005)	
	■		27	0–314	Rowe et al. (2009)	
	□	44.7	67.57	44.5	1.8–525.5	Mahmoud (1969)
	□	89.5	117.3	93.6		Ernst (1986)
<i>Sternotherus carinatus</i>	□	17.4	38.6		4.5–93.8	Mahmoud (1969)
<i>Sternotherus minor peltifer</i>	+		341			Ennen and Scott (2013)
<i>Sternotherus depressus</i>		19.2	31.2			Dodd et al. (1988)
<i>Kinosternon baurii</i>	*		12	1.1–48.8		Wygoda (1979)
<i>Kinosternon subrubrum</i>	□	61.9	52.2		0.6–408	Mahmoud (1969)
	□				1–600	Bennett et al. (1970)
	□	82.9 <sup>a</sup>	127.3 <sup>a</sup>	119.2 <sup>a</sup>	36.3–581.3	Harden et al. (2009)
				106 <sup>a</sup>	40–198	Steen, Sterrett, Miller, and Smith (2007)
<i>Kinosternon flavescens</i>	□	213.5	651.5	213	3.3–435.2	Mahmoud (1969)
<i>Kinosternon sonoriense</i>	*		19 <sup>a</sup>	1.0–79		Ligon and Stone (2003)
	□	57.6	127.1		0–720	Hall and Steidl (2007)
	*	172.6	75.6		0–1540	Hensley, Jones, Maxwell, Adams, and Nedella (2010)
<i>Kinosternon integrum</i>	□	<b>56.1</b>	<b>47.93</b>	<b>51.44</b>	<b>0–662.4</b>	<b>This study</b>
<i>Kinosternon scorpioides</i>	*		68.27		?–380	Forero-Medina and Castaño-Mora (2011)

<sup>a</sup>Movements to estivation sites.

<sup>b</sup>Movements to nesting sites. Species are mentioned according to Iverson et al. (2013). Text in bold indicates the results of this paper.

*Kinosternon integrum* living in the Zapote River in Tonatico remained active throughout year. Although their activity decreased considerably during the colder months of the year (December–February), activity did not stop completely which differs from what was reported by Macip-Ríos et al. (2009) in a nearby population of *K. integrum*. However, these differences may be due to the type of environment the turtles occupy. For this study, permanent ponds formed during the dry season along the river, which provided an adequate environment for some individuals to remain active, in comparison with artificial and temporal ponds in study area of Macip-Ríos et al. (2009).

The present study increases our knowledge of turtle home range size, habitat use, and movement patterns of *K. integrum* turtles. The methodology utilized in this study examined 37 turtles using radiotelemetry; most recent studies have utilized under 25 individuals (Ennen & Scott, 2013; Ghaffari et al., 2014; Kapfer, Muñoz, Groves, & Kirk, 2013). Furthermore, the current study was conducted for 3.5 years, whereas previous studies have only monitored movements for 1 calendar year or less (Belleau, 2008; Rowe et al., 2009). Lastly, this study provides a thorough examination of

the home range and movement patterns of *K. integrum* and provides invaluable data that can be used in future conservation practices and protection plans.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank Theodore Roosevelt Memorial Fund of the American Museum of aid received for obtaining field material. We are thankful to Universidad Autónoma del Estado de México for financing the project 3587/2013CHT and CONACyT by the doctoral scholarship 464685/289846 to Pérez Pérez A. Several teachers and students (especially Gabriel Suárez Varón) from the Universidad Autónoma del Estado de México for their help in the field, and especially to Mr. Fernando Ordorica, Mr. Gildardo Rea, and Mr. Urbano Acosta that allowed us to work on their properties.

#### CONFLICT OF INTEREST

None declared.

## ORCID

Oswaldo Hernández-Gallegos  <http://orcid.org/0000-0002-7850-3033>

## REFERENCES

- Attum, O., Cutshall, C. D., Eberly, K., Day, H., & Tietjen, B. (2013). Is there really no place like home? Movement, site fidelity, and survival probability of translocated and resident turtles. *Biodiversity and Conservation*, 22, 3185–3195.
- Banning, A. W. (2012). *Spatial ecology, habitat use, genetic diversity, and reproductive success: Measures of connectivity of a sympatric freshwater turtle assemblage in a fragmented landscape*. PhD Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Bauder, E. T. (2005). The effects of an unpredictable precipitation regime on vernal pool hydrology. *Freshwater Biology*, 50, 2129–2135.
- Belleau, P. (2008). Habitat selection, movement patterns, and demography of common musk turtles (*Stemotherus odoratus*) in southwestern Quebec. MS Thesis. McGill University.
- Bennett, D. H., Gibbons, J. W., & Franson, J. C. (1970). Terrestrial activity in aquatic turtles. *Ecology*, 51, 738–740.
- Bennett, A. M., Keevil, M. G., & Litzgus, J. D. (2015). *Stemotherus odoratus* (Eastern musk Turtle). *Home Range. Herpetological Review*, 46, 245–246.
- Berry, J. F., & Iverson, J. B. (2011). *Kinosternon scorpioides* (Linnaeus 1766)—Scorpion Mud Turtle. In A. G. J. Rhodin, P. C. V. Pritchard, P. P. van Dijk, R. A. Saumure, K. A. Buhlmann, J. B. Iverson, & R. A. Mittermeier (Eds.), *Conservation biology of freshwater turtles and tortoises: A compilation project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group*. Chelonian Research Monographs, 5(4):063.1–15.
- Blundell, G. M., Maier, J. A., & Debevec, E. M. (2001). Linear home ranges: Effects of smoothing, sample size, and autocorrelation on kernel estimates. *Ecological Monographs*, 71, 469–489.
- Bowman, A. W. (1984). An alternative method of cross-validation for the smoothing of density estimates. *Biometrika*, 17, 353–360.
- Bowne, D. R. (2008). Terrestrial activity of *Chrysemys picta* in Northern Virginia. *Copeia*, 2008, 306–310.
- Brauer-Robleda, P. (2009). *Variación en la ecología e historia de vida de Kinosternon integrum, en un gradiente altitudinal en la cuenca del Río Balsas*. Bs Thesis. UNAM. México, pp 77.
- Cagle, F. R. (1939). A system of marking turtles for future identification. *Copeia*, 1939, 170–173.
- Cagle, F. R. (1944). *Home range, homing behavior, and migration in turtles* (pp. 1–34). USA: Miscellaneous Publications Museum of Zoology University of Michigan.
- Cordero, G. A., Reeves, R., & Swarth, C. W. (2012). Long distance aquatic movement and home-range size of an Eastern Mud Turtle, *Kinosternon subrubrum*, population in the mid-Atlantic region of the United States. *Chelonian Conservation and Biology*, 11, 121–124.
- Cordero, G. A., & Swarth, C. W. (2010). Notes on the movement and aquatic behavior of some kinosternid turtles. *Acta Zoologica Mexicana*, 26, 233–235.
- Dodd, C. K., Enge, K. M., & Stuart, J. N. (1988). Aspects of the biology of the flattened musk turtle, *Stemotherus depressus*, in northern Alabama. *Bulletin of the Florida State Museum, Biological Sciences*, 34, 1–64.
- Donaldson, B. M., & Echternacht, A. C. (2005). Aquatic habitat use relative to home range and seasonal movement of eastern box turtles (*Terrapene carolina carolina*: Emydidae) in eastern Tennessee. *Journal of Herpetology*, 39, 284–287.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81, 163–182.
- von Ende, C. N. (1993). Repeated-measures analysis: Growth and other time-dependent measures. In S. M. Scheiner, & J. Gurevitch (Eds.), *Design and analysis of ecological experiments* pp. (113–137). Melbourne: Chapman & Hall.
- Ennen, J. R., & Scott, A. F. (2008). Diel movement behavior of the stripe-necked musk turtle (*Stemotherus minor peltifer*) in middle Tennessee. *American Midland Naturalist*, 160, 278–288.
- Ennen, J. R., & Scott, A. F. (2013). Home range characteristics and overwintering ecology of the Stripe-Necked Musk turtle (*Stemotherus minor peltifer*) in Middle Tennessee. *Chelonian Conservation and Biology*, 12, 199–203.
- Ernst, C. H. (1986). Ecology of the turtle, *Stemotherus odoratus*, in southeastern Pennsylvania. *Journal of Herpetology*, 20, 341–352.
- Euliss, N. H., Labaugh, J. W., Fredrickson, L. H., Mushet, D. M., Laubhan, M. K., Swanson, G. A., ... Nelson, R. D. (2004). The wetland continuum: A conceptual framework for interpreting biological studies. *Wetlands*, 24, 448–458.
- Forero-Medina, G., & Castaño-Mora, O. V. (2011). *Kinosternon scorpioides albogulare* (Duméril and Bocourt 1870)—White-Throated Mud Turtle, Swanka Turtle. In A. G. J. Rhodin, P. C. H. Pritchard, P. P. Van Dijk, R. A. Saumure, K. A. Buhlmann, J. B. Iverson, & R. A. Mittermeier (Eds.), *Conservation biology of freshwater turtles and tortoises: A compilation project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group*, Chelonian Research Monographs, 5(6):064.1–5.
- Ghaffari, H., Ihlou, F., Plummer, M. V., Karami, M., Khorasani, N., Safaei-Mahroo, B., & Rödder, D. (2014). Home range and habitat selection of the endangered Euphrates Softshell Turtle *Rafetus euphraticus* in a fragmented habitat in Southwestern Iran. *Chelonian Conservation and Biology*, 13, 202–215.
- Gibbons, J. W., Greene, J. L., & Congdon, J. D. (1983). Drought-related responses of aquatic turtle populations. *Journal of Herpetology*, 17, 242–246.
- Gibbons, J. W., Greene, J. L., & Congdon, J. D. (1990). Temporal and spatial movement patterns of sliders and other turtles. In J. W. Gibbons (Ed.), *Life history and ecology of the slider turtle* (pp. 201–215). Washington, DC: Smithsonian Institution Press.
- Hall, D. H., & Steidl, R. J. (2007). Movements, activity, and spacing of Sonoran Mud Turtles (*Kinosternon sonoriense*) in interrupted mountain streams. *Copeia*, 2007, 403–412.
- Harden, L. A., Price, S. J., & Dorcas, M. E. (2009). Terrestrial activity and habitat selection of Eastern Mud Turtles (*Kinosternon subrubrum*) in a fragmented landscape: Implications for habitat management of golf courses and other suburban environments. *Copeia*, 2009, 78–84.
- Hensley, F. R., Jones, T. R., Maxwell, M. S., Adams, L. J., & Nedella, N. S. (2010). Demography, terrestrial behavior, and growth of Sonora Mud Turtles (*Kinosternon sonoriense*) in an extreme habitat. *Herpetological Monographs*, 24, 174–193.
- Hernández-Gallegos, O., & Domínguez-Vega, H. (2012). Cambio estacional en la coloración dorsal de la lagartija *Aspidoscelis costata costata* (Squamata: Teiidae). *Revista de Biología Tropical*, 60, 405–412.
- INEGI (2008). *Anuario Estadístico del Estado de México*. México: Gobierno del Estado de México- INEGI.
- Iverson, J. B. (1990). Nesting and parental care in the mud turtle, *Kinosternon flavescens*. *Canadian Journal of Zoology*, 68, 230–233.
- Iverson, J. B. (1999). Reproductive in the Mexican Mud Turtle *Kinosternon integrum*. *Journal of Herpetology*, 33, 144–148.
- Iverson, J. B., Le, M., & Ingram, C. (2013). Molecular phylogenetics of the mud and musk turtle family Kinosternidae. *Molecular Phylogenetic Evolution*, 69, 929–939.
- Iverson, J. B., & Vogt, R. C. (2011). *Kinosternon acutum* Gray 1831—Tabasco Mud Turtle, Montero, Chechagua de Monte. In A. G. J. Rhodin, P. C. H. Pritchard, P. P. Van Dijk, R. A. Saumure, K. A. Buhlmann, J. B. Iverson, & R. A. Mittermeier (Eds.), *Conservation biology of freshwater turtles and*

- tortoises: A compilation project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group, *Chelonian Research Monographs*, 5(4):062.1–6.
- Kapfer, J. M., Muñoz, D. J., Groves, J. D., & Kirk, R. W. (2013). Home range and habitat preferences of Eastern Box Turtles (*Terrapene carolina* Linnaeus, 1758) in the Piedmont Ecological Province of North Carolina (USA). *Herpetology Notes*, 6, 251–260.
- Kennett, R. M., & Georges, A. (1990). Habitat utilization and its relationship to growth and reproduction of the eastern long-necked turtle, *Chelodina longicollis* (Testudinata: Chelidae), from Australia. *Herpetologica*, 46, 22–33.
- Kerr, G. D., & Bull, C. M. (2006). Movement patterns in the monogamous sleepy lizard (*Tiliqua rugosa*): Effects of gender, drought, time of year and time of day. *Journal of Zoology*, 269, 137–147.
- Legler, J., & Vogt, R. C. (2013). *The turtles of México: Land and freshwater forms* (p. 402). California: University of California Press.
- Lemos-Espinal, J. A., & Smith, H. M. (2009). *Anfibios y Reptiles del Estado de Chihuahua/Amphibians and Reptiles of the State of Chihuahua, México* (p. 613). México: CONABIO.
- Ligon, D. B., & Stone, P. A. (2003). Radiotelemetry reveals terrestrial estivation in Sonoran Mud Turtles (*Kinosternon sonoriense*). *Journal of Herpetology*, 37, 750–754.
- Litzgus, J. D., & Mousseau, T. A. (2004). Home range and seasonal activity of southern spotted turtles (*Clemmys guttata*): Implications for management. *Copeia*, 2004, 804–817.
- Luna, I., Morrone, J. J., & Espinosa, D. (2007). *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana* (p. 514). México: UNAM.
- Macip-Ríos, R. (2005). Ecología poblacional e historia de vida de la tortuga *Kinosternon integrum* en la localidad de Tonatico, Estado de México. MS Thesis. UNAM. México.
- Macip-Ríos, R., Arias-Cisneros, M. L., Aguilar-Miguel, X. S., & Casas-Andreu, G. (2009). Population ecology and reproduction of the Mexican Mud Turtle (*Kinosternon integrum*) in Tonatico, Estado de México. *Western North American Naturalist*, 69, 501–510.
- Mahmoud, I. Y. (1969). Comparative ecology of the Kinosternid turtles of Oklahoma. *Southwestern Naturalist*, 14, 31–66.
- McIntyre, N. E., & Wiens, J. A. (1999). Interactions between landscape structure and animal behavior: The roles of heterogeneously distributed resources and food deprivation on movement patterns. *Landscape Ecology*, 14, 437–447.
- Milam, J. C., & Melvin, S. M. (2001). Density, habitat use, movements, and conservation of Spotted Turtles (*Clemmys guttata*) in Massachusetts. *Journal of Herpetology*, 35, 418–427.
- Morales-Verdeja, S. A. (1991). Estudio de los movimientos e historia de vida natural de *Kinosternon leucostomum*, Dumeril, Bibron and Dumeril en el sur de Veracruz, México. Bs Thesis. UNAM.
- Morales-Verdeja, S. A., & Vogt, R. C. (1997). Terrestrial movements in relation to aestivation and the annual reproductive cycle of *Kinosternon leucostomum*. *Copeia*, 1997, 123–130.
- Morreale, S. J., Gibbons, J. W., & Congdon, J. D. (1984). Significance of activity and movement in the yellow-bellied slider (*Pseudemys scripta*). *Canadian Journal of Zoology*, 62, 1038–1042.
- Myfsud, A. D., & Myfsud, R. (2008). Golf courses as refuge for herpetological in an urban river floodplain. In J. C. Mitchell, R. E. Brown, & B. Bartholomew (Eds.), *Urban herpetology. Herpetological conservation* (pp. 321–323). Salt Lake City: Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Picard, G., Carrière, M. A., & Blouin-Demers, G. (2011). Common musk turtles (*Sternotherus odoratus*) select habitats of high thermal quality at the northern extreme of their range. *Amphibia-Reptilia*, 32, 83–92.
- Pinder, A. W., Storey, K. B., & Ultsch, G. R. (1992). Estivation and hibernation. In M. E. Feder, & W. W. Burggren (Eds.), *Environmental biology of the amphibia* (pp. 250–274). Chicago: University of Chicago Press.
- Pittman, S. E., & Dorcas, M. E. (2009). Movements, habitat use, and thermal ecology of an isolated population of Bog Turtles (*Glyptemys muhlenbergii*). *Copeia*, 2009, 781–790.
- Plummer, M. V., & Mills, N. E. (2008). Structure of a population of Softshell turtles (*Apalone spinifera*) before and after severe stream alteration. In J. C. Mitchell, R. E. Brown, & B. Bartholomew (Eds.), *Urban herpetology. Herpetological conservation* (pp. 95–105). Salt Lake City: Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Plummer, M. V., Mills, N. E., & Allen, S. L. (1997). Activity, habitat, and movement patterns of softshell turtles (*Trionyx spiniferus*) in a small stream. *Chelonian Conservation and Biology*, 2, 514–520.
- Powell, R. A. (2000). Animal home ranges and territories and home range estimators. In L. Boitani, & T. Fuller (Eds.), *Research techniques in animal ecology: Controversies and consequences*, Vol. 442 (pp. 65–110). New York: Columbia University Press.
- Rizkalla, C. E., & Swihart, R. K. (2006). Community structure and differential responses of aquatic turtles to agriculturally induced habitat fragmentation. *Landscape Ecology*, 21, 1361–1375.
- Roe, J. H., & Georges, A. (2007). Heterogeneous wetland complexes, buffer zones, and travel corridors: Landscape management for freshwater reptiles. *Biological Conservation*, 135, 67–76.
- Roe, J. H., & Georges, A. (2008). Terrestrial activity, movements and spatial ecology of an Australian freshwater turtle, *Chelodina longicollis*, in a temporally dynamic wetland system. *Austral Ecology*, 33, 1045–1056.
- Rowe, J. W., & Dalgarn, S. F. (2010). Home range size and daily movements of Midland painted turtles (*Chrysemys picta marginata*) in relation to body size, sex, and weather patterns. *Herpetological Conservation and Biology*, 5, 461–473.
- Rowe, J. W., Lehr, G. C., McCarthy, P. M., & Converse, P. M. (2009). Activity, movements and activity area size in stinkpot turtles (*Sternotherus odoratus*) in a southwestern Michigan lake. *American Midland Naturalist*, 162, 266–275.
- Schafer, J. L., & Graham, J. W. (2002). Missing data: Our view of the state of the art. *Psychological Methods*, 7, 147–177.
- Seaman, D. E., Griffith, B., & Powell, R. A. (1998). KERNELHR: A program for estimating animal home ranges. *Wildlife Society Bulletin*, 26, 95–100.
- SEMARNAT (2010). *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*. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Slavenko, A., Itescu, Y., Ihlow, F., & Meiri, S. (2016). Home is where the shell is: Predicting turtle home range sizes. *Journal of Animal Ecology*, 85, 106–114.
- Smar, C. M., & Chambers, R. M. (2005). Homing behavior of musk turtles in a Virginia Lake. *Southeastern Naturalist*, 4, 527–532.
- de Solla, S. R., Bonduriansky, R., & Brooks, R. J. (1999). Eliminating autocorrelation reduces biological relevance of home range estimates. *Journal of Animal Ecology*, 68, 221–234.
- Steen, D. A., Sterrett, S. C., Miller, S. A., & Smith, L. L. (2007). Terrestrial movements and microhabitat selection of overwintering subadult Eastern Mud Turtles (*Kinosternon subrubrum*) in southwest Georgia. *Journal of Herpetology*, 41, 532–535.
- Stone, P. A. (2001). Movements and demography of the Sonoran Mud Turtle, *Kinosternon sonoriense*. *Southwestern Naturalist*, 46, 41–53.
- Storey, K. B. (2001). *Molecular mechanisms of metabolic arrest. Life in Limbo*. Oxford: Bios Scientific.
- Swihart, R. K., & Slade, N. A. (1985). Testing for independence of observations in animal movements. *Ecology*, 66, 1176–1184.
- Swingland, I. R. (1983). Intraspecific differences in movement. In I. R. Swingland, & P. J. Greenwood (Eds.), *The ecology of animal movement* (pp. 102–115). New York, NY: Oxford University Press.
- Vogt, R. C., Daht, M., Espejel-González, V., & López-Luna, N. (2000). *Demography of Kinosternon acutum in Veracruz México*. Joint meeting of ASIH/HL/SSAR, La Paz, Baja California Sur, México, Abstracts, p. 363.

- Wilson, L. D., Mata-Silva, V., & Johnson, J. D. (2013). A conservation re-assessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian and Reptile Conservation*, 7, 1–47.
- Worton, B. J. (1989). Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, 70, 164–168.
- Wygoda, M. L. (1979). Terrestrial activity of Striped Mud Turtles, *Kinostemon baurii* (Reptilia, Testudines, Kinosternidae) in West-Central Florida. *Journal of Herpetology*, 13, 469–480.

**How to cite this article:** Pérez-Pérez A, López-Moreno AE, Suárez-Rodríguez O, Rheubert JL, Hernández-Gallegos O. How far do adult turtles move? Home range and dispersal of *Kinostemon integrum*. *Ecol Evol*. 2017;7:8220–8231. <https://doi.org/10.1002/ece3.3339>



ailed perez <ailed.perez.perez@gmail.com>

---

**CCB-1357 Manuscript Acknowledgement and Items Needed**

3 mensajes

CCB Journal <ccbjournal@gmail.com>  
Para: ailed perez <ailed.perez.perez@gmail.com>  
Cc: CCB Journal <ccbjournal@gmail.com>

15 de septiembre de 2018, 20:58

**CHELONIAN CONSERVATION AND  
BIOLOGY**

*International Journal of Turtle and Tortoise Research*

Published by Chelonian Research Foundation and Turtle Conservancy via Allen Press  
168 Goodrich Street, Lunenburg, MA 01462 USA  
Phone: 978-582-9668; Fax: 978-582-6279  
E-mail: ccbjournal@gmail.com  
Web: www.chelonian.org, www.chelonianjournals.org

Manuscript received on: **12 September 2018**

Ailed Pérez-Pérez  
Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias  
Universidad Autónoma del Estado de México  
Instituto Literario # 100 Centro  
Toluca, Estado de México, C. P. 50000, México.

Dear Dr. Pérez-Pérez,

Thank you for your submission of the manuscript entitled **Non-effect of transmitters on movements of Mexican Mud Turtle, *Kinostemon integrum*** for consideration of publication in Chelonian Conservation and Biology. I also appreciate your submission of the Copyright Form and especially your fantastic photo of a Mexican mud turtle hatchling for consideration as cover art for an upcoming CCB Issue. Your submission number is CCB-1357.

Prior to assigning this to a Handling Editor, I have two requests that I hope you can promptly complete. Please refer to the attached author guidelines for more information:

1. Include all pertinent information relating to research permits and Institutional Animal Use and Care Committee authorization, including permit and authorization numbers. This manuscript will not be accepted unless the necessary information on animal care and research permits is included.
2. Properly format the manuscript as per CCB Guidelines. The area that needs attention on your manuscript is: 1) format literature cited such that all author names are in Small Caps format.

Please note that I am asking for these items to ensure the maximum likelihood that the reviewers will look favorably upon this paper and recommend acceptance. Thank you for your understanding!

Once I get the updated manuscript I will assign this paper to a Handling Editor to begin the review process. In the meantime, please carefully read the submission guidelines and provide the requested information. Thanks again for your submission and for choosing CCB for submitting your interesting manuscript!

Yours kindly,

Jeff Seminoff  
CCB Executive Editor

---

1 **Non-effect of transmitters on movements of Mexican Mud Turtle, *Kinosternon***

2 ***integrum.***

3 Ailed Pérez-Pérez<sup>1</sup>, Justin Lloyd Rheubert<sup>2</sup>, and Oswaldo Hernández-Gallegos<sup>1</sup>

4 <sup>1</sup>Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de  
5 México, Instituto Literario # 100 Centro, Toluca, Estado de México, C. P. 50000, México.

6 (ailed.perez.perez@gmail.com; ohg@uaemex.mx)

7 <sup>2</sup>College of Sciences, The University of Findlay, 1000 N. Main St., C.P. 45840, Findlay,

8 Ohio, USA (rheubert@findlay.edu)

9 Corresponding author: Ailed Pérez Pérez

10 <sup>1</sup>Laboratorio de Herpetología, Facultad de Ciencias, Universidad  
11 Autónoma del Estado de México, Instituto Literario # 100 Centro, Toluca, Estado de  
12 México, C. P. 50000, México.

13 Email: ailed.perez.perez@gmail.com

14 Phone: +52 (722) 2965556 Ext. 194

---

15 Abstract –Radiotelemetry has been used in a variety of reptilian studies (e.g. home range,  
16 movements, migration); nevertheless, information concerning the effects (or lack thereof)  
17 and failures of the attached transmitters in animals is scarce, especially in freshwater  
18 turtles. We analyzed the movements of *Kinosternon integrum* in a one km section of the  
19 Zapote River in Tonalico, Estado de México, México, for five years, with two different  
20 methods of tracking (capture-mark-recapture and telemetry). The results indicated that the  
21 movements of turtles were not affected by the use of transmitters, and no visible physical  
22 damage was observed to individuals caused by attached transmitters. Furthermore, the data  
23 suggest that the use of radio transmitters is a more effective methodology for monitoring  
24 movement patterns. Evaluation of the effects of the transmitters in animals is essential, due  
25 to the effects transmitters may have on any collected data and its biological meaning.  
26 Key words– Activity, Capture-mark-recapture, Movements, Telemetry, Central Mexico,  
27 Kinosternidae.

---

28           Gaining a deeper understanding of how individuals move within their habitat has  
29 aided in our knowledge of the controls of activities and has bettered our understanding of  
30 dispersion, migrations, and movements to other habitats (Gibbons et al. 1990). Specifically  
31 in turtles, several studies have used telemetry to evaluate various aspects of their biology  
32 (Tuma 2006; Hall and Steidl 2007; Steen et al. 2007; Ennen and Scott 2008; Harden et al.  
33 2009; Rowe et al. 2009). Monitoring using telemetry techniques can be a valuable method  
34 for obtaining accurate information concerning: habitat use, movements, and conservation  
35 issues (Pérez-Pérez et al. 2017). According to White and Garrott (1990) “most of radio-  
36 tracking studies assume that equipped animals are moving through the environment,  
37 responding to stimuli, and behaving in a manner similar to non-instrumented animals”.  
38 Although evaluating the effects of transmitters is essential, testing this assumption and  
39 demonstrating that attaching a transmitter to an animal has no effect, is difficult without a  
40 control (White and Garrott 1990).

41           The effects caused by transmitters could be from subtle and temporary behavioral  
42 changes, to long-term changes that affect an animal’s overall life history (White and Garrott  
43 1990). Boarman et al. (1998) reviewed 113 publications and found that 23% did not  
44 mention how or where transmitters were attached, so it was not possible to assess if the  
45 transmitters could affect the animals. Withey et al. (2001) reviewed five journals that often  
46 publish telemetry articles, only 23% in the 28 years assessed investigated the effects of  
47 radiotransmitters on animals. They found that 78% of them compared tagged animals to  
48 untagged controls, and 53% of the studies did not find effects in animals. Godfrey and  
49 Bryant (2003) reviewed 836 studies that used tracking devices and the majority of studies  
50 (83.3%) ignored the effects with only 10.4% of the studies directly addressing the effects of

---

51 radiotransmitters in animals. Although studies within conservation areas are the least  
52 investigated, they have more reports of no significant effects on the animals.

53         A majority of studies that investigated the effects of transmitters focus on birds and  
54 mammals, with a limited amount performed on reptiles (Kenward 1987; White and Garrott  
55 1990; Withey et al. 2001; Godfrey and Bryant 2003; Jarvie et al., 2014); Withey et al.  
56 (2001) did not find any studies in the five journals they investigated that reported effects in  
57 amphibians or reptiles. Only a few studies specifically address effects of transmitters in  
58 squamates and tuatara (Godfrey and Bryant 2003; Weatherhead and Blouin-Demers 2004;  
59 Jarvie 2014), and turtles (Boarman et al. 1998; Watson and Granger 1998; Rittenhouse et  
60 al. 2005). Boarman et al. (1998) found only 6 studies reporting problems, transmitter  
61 failure/malfunctions, during field studies with sea turtles (Timko and De Blanc 1981;  
62 Schubauer 1981; Stonebumer 1982; Timko and Kolz 1982; Renaud and Carpenter 1994),  
63 however there are limited studies that reported the loss of transmitters in freshwater turtles  
64 (Timko and De Blanc 1981; EG&G 1993).

65         The Mexican Mud Turtle, *Kinosternon integrum*, is endemic to México (Lemos-  
66 Espinal and Smith 2009), and according to Iverson (1999), is the most widely distributed  
67 and most commonly encountered freshwater turtle in México. This turtle is considered as  
68 least concern and under special protection, by the IUCN Red List and Mexican laws  
69 (SEMARNAT 2010), respectively. Additionally, it also was assessed an Environmental  
70 Vulnerability Score of 11, placing it as a medium vulnerability species (Wilson et al. 2013).  
71 Recently the movement patterns, using telemetry, of *K. integrum* at Central Mexico were  
72 described (Pérez-Pérez et al. 2017). However, the effects of the transmitters on their  
73 movements were not evaluated. In this study, we investigated the effect of the externally  
74 attached transmitters on the movements of Mexican Mud Turtle, *K. integrum*.

---

---

## 75 MATERIALS AND METHOD

76 Spatial movements of *K. integrum* in Tonatico, Estado de México, in central México  
77 (18° 45' N, 99° 38' W; 1500 m.a.s.l.) were analyzed for five years. From October 2008 to  
78 June 2011, samplings were performed monthly along one km of the Zapote river and  
79 capture-mark-recapture (CMR) technique was used; turtles were captured by hand and/or  
80 snorkeling; during this period, we did not perform terrestrial sampling therefore most of the  
81 turtles were captured in the water or at the edge of the river. During 2013 and 2014 we used  
82 radiotelemetry techniques. We only used telemetry data from movements within the river,  
83 at the same transect at which CMR data was collected to assure both techniques were  
84 utilized within the same area.

85 All turtles were sexed and weighed, and their straight carapace length and curved  
86 carapace length were measured. All turtles were marked using shell notching following  
87 Cagle (1939). Individuals measuring more than 120 mm of curved carapace length were  
88 considered adults (Brauer-Robleda 2009; Macip-Ríos 2005).

89 During samplings with telemetry, eleven adult turtles (4 females, 7 males; carapace  
90 length > 120 mm; weight > 300 g) were fitted with radiotransmitters (LL Electronics,  
91 Mahomet IL, model LF2 CR2477, with an internal loop antenna; weight 16.5 g) which  
92 were attached to the posterior left marginal scutes with silicon sealer according to J.B.  
93 Iverson (pers. comm.). To avoid turtles getting caught on objects (sticks, rocks, algae, etc.),  
94 the silicone was reshaped on the back of the shell to match the curvature of the shell as  
95 closely as possible, and wet silicone was covered with dirt to decrease its visibility (Iverson  
96 pers. comm.; Fig. 1). The weight of transmitter and dry silicone did not exceed 6% of body  
97 mass. Turtles were held in the lab for 72 h before being released at their exact capture  
98 locations. Turtles were monitored by a Yagi antenna and a receiver (LL Electronics

---

99 MN4000); in both methods, the locations were recorded using a global positioning system  
100 unit (GPS, Garmin Oregon).

101 Sampling with telemetry was more frequent (fortnightly), therefore, the total  
102 distance traveled by month by turtle was calculated, to ensure that the data were  
103 comparable with CRM technique (monthly sampling). For both methods, we estimated  
104 distance of the movements (straight line) and the days between consecutive locations; the  
105 distance (m) was calculated using the Xtool Pro extension in ArcGis 10.3 (Environmental  
106 Systems Research). The correlation of the days between captures with distance of the  
107 movements was tested by simple regression. The distance of the movements, and the days  
108 between captures were compared between techniques (CMR, and telemetry) by Mann-  
109 Whitney U test. The 21.8% of telemetry data used in Pérez-Perez et al. (2017) was used in  
110 this study.

## 111 RESULTS

112 During CMR sampling, 138 different individuals were captured and marked, 32  
113 (23.2% of the turtles marked) of which were recaptured 42 times; with telemetry sampling  
114 54 movements was obtained on 11 turtles. The distance traveled by turtles was not  
115 correlated with the number of days between recaptures ( $r^2 = 0.0536$ ,  $p > 0.05$ ). When  
116 comparing the movements of turtles with two different methods of tracking, we found that  
117 the distance traveled (m) was not affected by the use of the radiotransmitters (CMR,  
118 median = 15.75 m, SE = 8.74 m, range 0 - 330 m,  $n = 42$ ; Telemetry, median = 25.95 m, SE  
119 = 13.46 m, range 0 - 648.2 m,  $n = 54$ ;  $U = 1357.5$ ,  $p = 0.099$ ; Fig. 2a). However, the  
120 number of the days between recaptures was significantly lower with use of telemetry (CMR  
121 median = 196.5 days, SE = 25.62 days, range 28 - 648 days,  $n = 42$ ; Telemetry median =  
122 37.4 days, SE = 8 days, range 1 - 345.1 days,  $n = 54$ ;  $U = 263$ ,  $p < 0.001$ ; Fig. 2b).

---

---

## 123 DISCUSSION

124 The activity of *Kinosternon integrum* in Tonatico, Estado de México was not  
125 affected by the use of telemetry. Our data strongly suggest that the use of transmitters is  
126 safe for *K. integrum*, moreover, it is a tool that allows us to recapture the turtles in a shorter  
127 time period, reducing the capture effort and gathering more data samples. Although  
128 samplings were done twice as frequently using telemetry, the average time between  
129 captures was over five times shorter.

130 Despite the many studies that use telemetry (Hall and Steidl 2007; Steen et al. 2007;  
131 Ennen and Scott 2008; Harden et al. 2009; Hensley et al. 2010; Cordero et al. 2012; Ennen  
132 and Scott 2013; Bennett et al. 2015), information concerning effects of transmitters on  
133 turtles is scarce, especially in family Kinosternidae. The current study uses both a non-  
134 telemetry (CMR) and radiotelemetry techniques to evaluate the effects of transmitters,  
135 which has only been done in a few previous studies on reptiles (Weatherhead and Blouin-  
136 Demers 2004; Jarvie 2014). One of the most important considerations when using  
137 telemetry, is that the reproduction of individuals was not affected (White and Garrott 1990).  
138 During samplings of this study, we observed a mating between a male with transmitter and  
139 a female without transmitter; furthermore, two females equipped with transmitters were  
140 recaptured with oviductal eggs (determined by inguinal palpation) during July and August.  
141 Because of these findings, we are confident that the technique of attached the transmitter  
142 used in this study does not interfere with reproduction of individuals (i.e., fitness). These  
143 observations are similar to previous reports in turtles including successful foraging, mating,  
144 and nesting in *Clemmys muhlenbergii* (Eckler et al., 1990), and self-righting and mating in  
145 *Gopherus agassizii* (Boarman et al. 1998). It is important to mention, however, that the  
146 negative effects may be caused by different transmitter attachment methods (glue, body

---

147 implant, bolted). Kennett et al. (1993) reported negative effects of transmitters on  
148 reproduction, as implanting transmitters into the oviducts of *Chelodina rugosa* caused  
149 oviductal adhesion, reducing reproductive output in the year studied.

150         During this study, only adult turtles were utilized. Due to this, turtles do not show  
151 visible damage in the carapace, a condition that is more likely in hatchlings or juvenile  
152 turtles, due to growth, as reported by Bulter et al. (1995) in hatchlings of *Gopherus*  
153 *polyphemus*. Boarman et al. (1998), reported that another cause of the damage in the  
154 carapace which may be due to the transmitter or antenna being adhered over two or more  
155 shields, is shield deformation. The use of transmitters with an internal loop antenna has two  
156 advantages, 1) reduction in the area in which it adheres, so the area of probable damage is  
157 reduced, 2) decrease in the probability of turtles getting stuck under water or in vegetation  
158 during migrations; J. Congdon (pers. comm. to Boarman et al. 1998) reported difficulties  
159 with transmitters attached to *Chrysemys picta*, where turtles got stuck in algae and  
160 prevented them from submerging. During this study, no turtles were observed stuck in the  
161 water or during terrestrial movements (estivation, or migration; Pérez-Pérez et al. 2017). A  
162 disadvantage of the use of internal loop antenna, is that location range can decrease,  
163 especially when turtles are under water, or within the natural hollows under the water;  
164 nevertheless, the benefits of using internal loop antennae are greater.

165         With use of telemetry, it was determined that excessive time between captures  
166 during CMR technique is due to different factors including: a) during the rainy season, the  
167 quantity and turbidity of the water make it difficult to observe and capture turtles, b) the  
168 large number of hollows (e.g. roots of trees) in the river provide adequate refuges which  
169 prevent the visibility of the turtles under the water (even using telemetry turtles were

---

170 difficult to locate), and c) migration to artificial ponds or estivation sites (Pérez-Pérez et al.  
171 2017).

172 Reports about the failures, problems or loss of transmitters in telemetry studies of  
173 freshwater turtles are scarce (Boarman et al. 1998). During this study, some problems with  
174 transmitters did occur. Initially 14 turtles were equipped with transmitters, of which 14.3%  
175 (2 of 14) were dislodged and one transmitter malfunctioned (7.1%); therefore, movements  
176 of these turtles were not recorded. Subsequently, another transmitter fell of turtle after 29.4  
177 weeks; and another turtle was depredated after 36.6 weeks. The absence of reports of  
178 failures, makes it seem that these do not occur, the troubles with transmitters has been a  
179 rather ignored issue during telemetry studies in freshwater turtles.

180 Currently, the use of technology in many studies concerning the biology of species  
181 is essential, and has many benefits since it provides researchers with information that would  
182 otherwise be difficult to obtain. In reptiles, the use of technology (transmitters and  
183 thermometers) is very common. Therefore, it is imperative to carefully evaluate the  
184 possible effects in order to ensure that the results obtained are reliable and the effects in the  
185 reptiles are minimal.

#### 186 ACKNOWLEDGMENTS

187 We would like to thank Theodore Roosevelt Memorial Fund of the American Museum of  
188 aid received for obtaining field material. We are thankful to Universidad Autónoma del  
189 Estado de México for financing the project 3587/2013CHT and CONACyT by the doctoral  
190 scholarship 464685/289846 to Pérez Pérez A. We also thank to J. B. Iverson; and Several  
191 teachers and students (especially Ana E. López Moreno, Orlando Suárez Rodríguez and  
192 Gabriel Suárez Varón) from the Universidad Autónoma del Estado de México for their help  
193 in the field, and especially to Mr. Fernando Ordorica, Mr. Gildardo Rea, and Mr. Urbano

---

---

194 Acosta that allowed us to work on their properties. The turtles in this study were collected  
195 with Scientific Collector Permit SEMARNAT FAUT 0186.

196 **LITERATURE CITED**

- 197 BENNETT, A.M., KEEVIL, M.G., AND LITZGUS, J.D. 2015. *Sternotherus odoratus* (Eastern  
198 musk Turtle): Home range. *Herpetological Review* 46:245–246.
- 199 BOARMAN, W., GOODLETT, T., GOODLETT, G., AND HAMILTON, P. 1998. Review of radio  
200 transmitter attachment techniques for turtle research and recommendations for  
201 improvement. *Herpetological Review* 29:26–33.
- 202 BRAUER-ROBLEDA, P. 2009. Variación en la ecología e historia de vida de *Kinosternon*  
203 *integrum*, en un gradiente altitudinal en la cuenca del Río Balsas. Bs Thesis.  
204 UNAM. México.
- 205 BUTLER, J., BOWMAN, R., HULL, T., AND SOWELL, S. 1995. Movements and home range of  
206 hatchling and yearling gopher tortoises, *Gopherus polyphemus*. *Chelonian*  
207 *Conservation and Biology* 1:173–180.
- 208 CAGLE, F.R. 1939. A system of marking turtles for future identification. *Copeia* 1939:170–  
209 173.
- 210 CORDERO, G.A., REEVES, R., AND SWARTH, C.W. 2012. Long distance aquatic movement  
211 and home-range size of an Eastern Mud Turtle, *Kinosternon subrubrum*, population  
212 in the mid-Atlantic region of the United States. *Chelonian Conservation and*  
213 *Biology* 11:121–124.
- 214 ECKLER, J.T., BREISCH, A.R., AND BEHLER, J.L. 1990. Radio telemetry techniques applied  
215 to the bog turtle (*Clemmys muhlenbergii* Schoepff 1801). In: Sheviak, C.J.,  
216 Mitchell, R.S., and Leopold, D.J. (eds.). *Ecosystem Management: Rare Species and*  
217 *Significant Habitats*. New York State Museum, Albany, New York. 69–70.

- 
- 218 EG&G. 1993. Yucca Mountain: biological resources monitoring program. Annual report  
219 FY92. EG&G Energy Measurements, Inc., Santa Barbara Operations, Goleta,  
220 California. viii + 77 pp.
- 221 ENNEN, J.R. AND SCOTT, A.F. 2008. Diel movement behavior of the stripe-necked musk  
222 turtle (*Sternotherus minor peltifer*) in middle Tennessee. The American Midland  
223 Naturalist 160:278–288.
- 224 ENNEN, J.R. AND SCOTT, A.F. 2013. Home range characteristics and overwintering ecology  
225 of the Stripe-Necked Musk turtle (*Sternotherus minor peltifer*) in Middle  
226 Tennessee. Chelonian Conservation and Biology 12:199–203.
- 227 GIBBONS, J.W., GREENE, J.L., AND CONGDON, J.D. 1990. Temporal and spatial movement  
228 patterns of sliders and other turtles. In: Gibbons, J.W. (ed.). Life History and  
229 Ecology of the Slider Turtle. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 201–  
230 215.
- 231 GODFREY, J.D. AND BRYANT, D.M. 2003. Effects of radio transmitters: Review of recent  
232 radio-tracking studies. In: Williams, M. (ed.). Conservation applications of  
233 measuring energy expenditure of New Zealand birds : assessing habitat quality and  
234 costs of carrying radio transmitters. Science for Conservation. 83–95.
- 235 HALL, D.H. AND STEIDL, R.J. 2007. Movements, activity, and spacing of Sonoran mud  
236 turtles (*Kinosternon sonoriense*) in interrupted mountain streams. Copeia 2007:403–  
237 412.
- 238 HARDEN, L.A., PRICE, S.J., AND DORCAS, M.E. 2009. Terrestrial activity and habitat  
239 selection of eastern mud turtles (*Kinosternon subrubrum*) in a fragmented  
240 landscape: implications for habitat management of golf courses and other suburban  
241 environments. Copeia 2009:78–84.

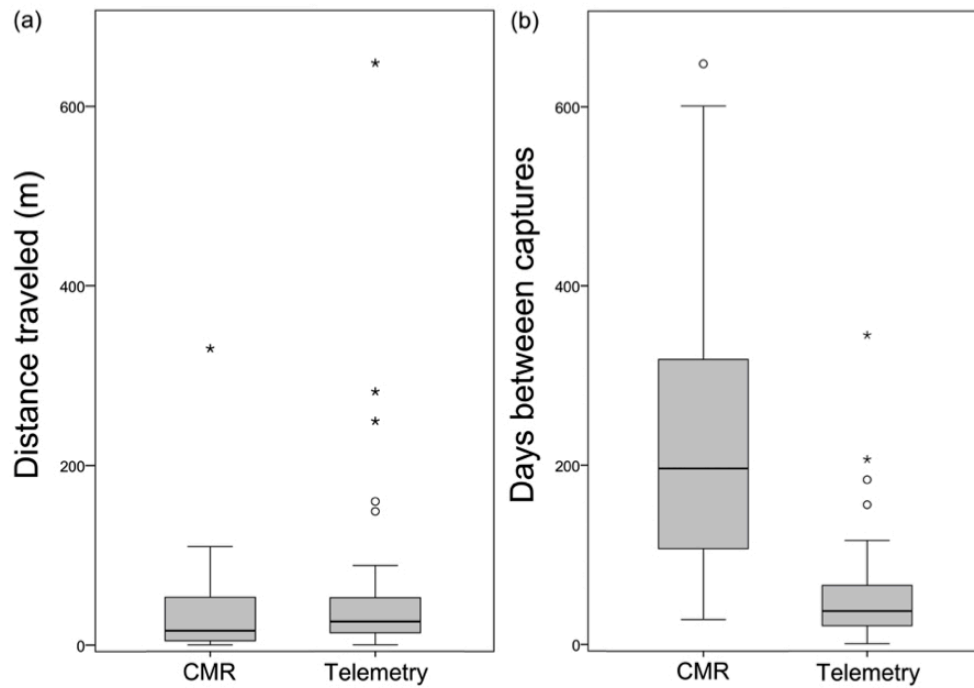
- 
- 242 HENSLEY, F.R., JONES, T.R., MAXWELL, M.S., ADAMS, L.J., AND NEDELLA, N.S. 2010.  
243 Demography, terrestrial behavior, and growth of Sonora mud turtles (*Kinosternon*  
244 *sonoriense*) in an extreme habitat. *Herpetological Monographs* 24:174–193.
- 245 IVERSON, J.B. 1999. Reproduction in the Mexican mud turtle *Kinosternon integrum*.  
246 *Journal of Herpetology* 33:144–148.
- 247 JARVIE, S., RAMIREZ, A., DOLIA, J., ADOLPH, S.C., SEDDON, P.J., AND CREE, A. 2014.  
248 Attaching radio-transmitters does not affect mass, growth or dispersal of  
249 translocated juvenile tuatara (*Sphenodon punctatus*). *Herpetological Review*  
250 45:417–421.
- 251 KENNETT, R., CHRISTIAN, K.A., AND PRITCHARD, D. 1993. Underwater nesting by the  
252 tropical fresh-water turtle, *Chelodina rugosa* (Testudinata, Chelidae). *Australian*  
253 *Journal of Zoology* 41:47–52.
- 254 KENWARD, R. 1987. *Wildlife radio tagging: equipment, field techniques and data analysis*.  
255 Academic Press. London.
- 256 LEMOS-ESPINAL, J.A. AND SMITH, H.M. 2009. *Anfibios y Reptiles del Estado de*  
257 *Chihuahua/Amphibians and Reptiles of the State of Chihuahua, México*.  
258 CONABIO. México.
- 259 MACIP-RÍOS, R. 2005. *Ecología poblacional e historia de vida de la tortuga Kinosternon*  
260 *integrum* en la localidad de Tonatico, Estado de México. MS Thesis. UNAM.  
261 México.
- 262 PÉREZ-PÉREZ, A., LÓPEZ-MORENO, A.E., SUÁREZ-RODRÍGUEZ, O., RHEUBERT, J.L., AND  
263 HERNÁNDEZ-GALLEGOS, O. 2017. How far do adult turtles move? Home range and  
264 dispersal of *Kinosternon integrum*. *Ecology and evolution* 7:8220–8231.

- 
- 265 RENAUD, M.L. AND CARPENTER, J.A. 1994. Movements and submergence patterns of  
266 loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the Gulf of Mexico determined through  
267 satellite telemetry. *Bulletin of Marine Science* 55:1–15.
- 268 RITTENHOUSE, C.D., MILLSPAUGH, J.J., WASHBURN, B.E., AND HUBBARD, M.W. 2005.  
269 Effects of radiotransmitters on fecal glucocorticoid metabolite levels of three-toed  
270 box turtles in captivity. *Wildlife Society Bulletin* 33:706–713.
- 271 ROWE, J.W. AND DALGARN, S.F. 2009. Effects of sex and microhabitat use on diel body  
272 temperature variation in midland painted turtles (*Chrysemys picta marginata*).  
273 *Copeia* 2009:85–92.
- 274 SCHUBAUER, J.P. 1981. A reliable radio-telemetry tracking system suitable for studies of  
275 chelonians. *Journal of Herpetology* 15:117–120.
- 276 SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010, Protección  
277 ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de  
278 riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en  
279 riesgo. Ciudad de México, México: Diario Oficial de la Federación
- 280 STEEN, D.A., STERRETT, S.C., MILLER, S.A., AND SMITH, L.L. 2007. Terrestrial movements  
281 and microhabitat selection of overwintering subadult eastern mud turtles  
282 (*Kinosternon subrubrum*) in southwest Georgia. *Journal of Herpetology* 41:532–  
283 535.
- 284 STONEBURNER, D. 1982. Satellite telemetry of loggerhead sea turtle movement in the  
285 Georgia Bight. *Copeia* 1982:400–408.
- 286 TIMKO, R.E. AND DEBLANC, D. 1981. Radio Tracking Juvenile Marine Turtles. *Marine*  
287 *Fisheries Review* 43:20–24.

- 
- 288 TIMKO, R.E. AND KOLZ, A.L. 1982. Satellite sea turtle tracking. *Marine Fisheries Review*  
289 44:19–24.
- 290 TUMA, M.W. 2006. Range, habitat use, and seasonal activity of the yellow mud turtle  
291 (*Kinosternon flavescens*) in Northwestern Illinois: implications for site-specific  
292 conservation and management. *Chelonian Conservation and Biology* 5:108–120.
- 293 WATSON, K.P. AND GRANGER, R.A. 1998. Hydrodynamic effect of a satellite transmitter on  
294 a juvenile green turtle (*Chelonia mydas*). *Journal of Experimental Biology*  
295 201:2497–2505.
- 296 WEATHERHEAD, P.J. AND BLOUIN-DEMERS, G. 2004. Long-term effects of radiotelemetry  
297 on black ratsnakes. *Wildlife Society Bulletin* 32:900–906.
- 298 WHITE, G.C. AND GARROTT, R.A. 1990. Effects of Tagging on the Animal. In: White, G.C.  
299 and Garrott, R.A. (eds.). *Analysis of Wildlife Radio-Tracking Data*. Academic  
300 Press, EE.UU. 27–40.
- 301 WITHEY, J.C., BLOXTON, T.D., AND MARZLUFF, J.M. 2001. Effects of tagging and location  
302 error in wildlife radiotelemetry studies. In: Millsaugh, J.J. and Marzluff, J.M.  
303 (eds.). *Radio tracking and animal populations*. Academic Press, EE.UU. 43–75.



304 Figure 1. Adult male of *Kinosternon integrum* fitted with radiotransmitter in Tonicato,  
305 Estado de México, México (Photograph by Hernández-Gallegos Oswaldo)



306 Figure 2. Comparison of the distance traveled (m) and days between captures with two  
 307 different methods of tracking (CMR and telemetry) in *Kinosternon integrum* in Tonicato,  
 308 Estado de México, México. ° Outliers, \* Extreme values. CMR - capture-mark-recapture.

---

---

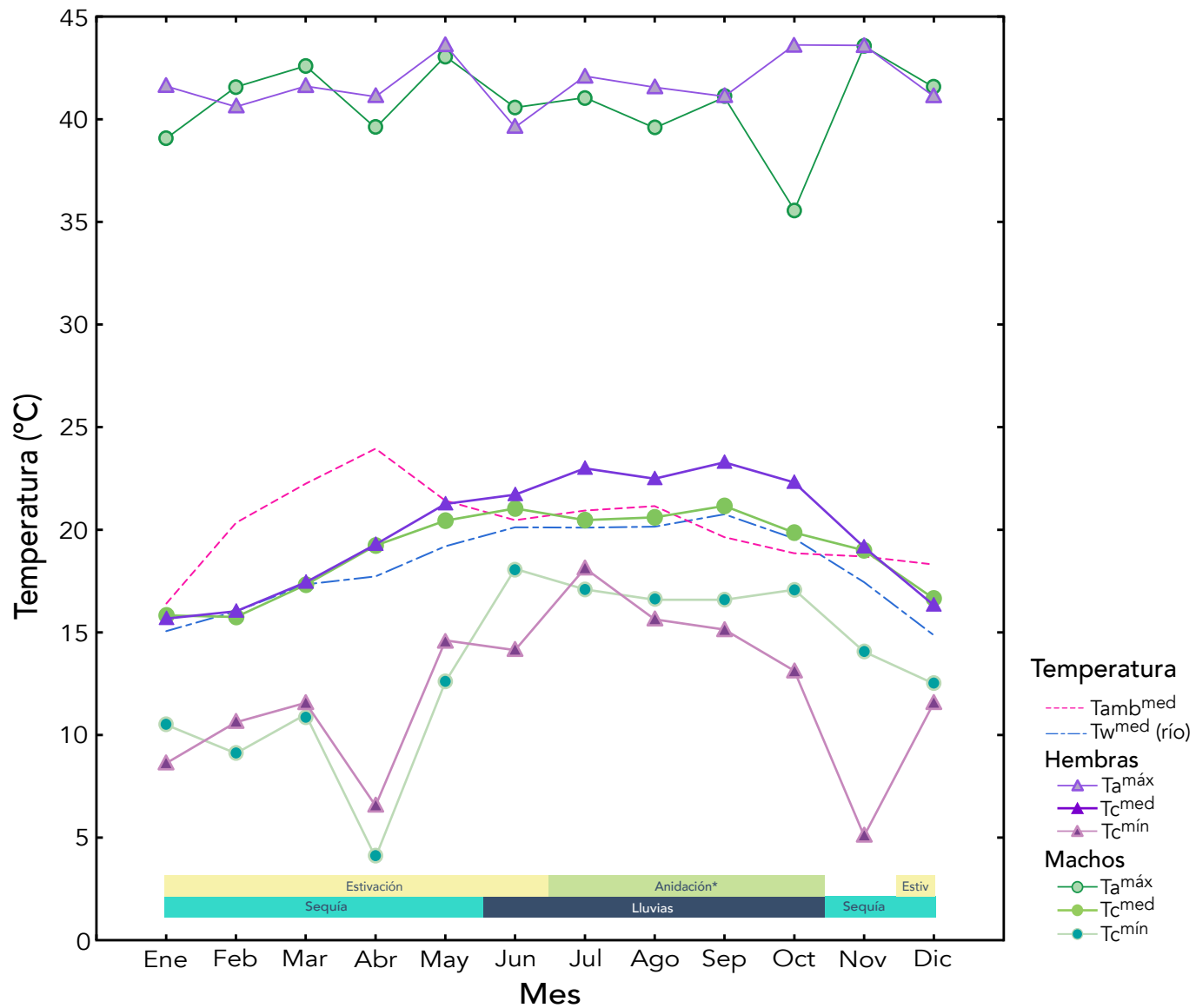
## Ecología térmica

### Temperatura corporal media ( $T_c^{med}$ )

Se obtuvieron un total de 109 078 registros de  $T_c$ , de las 20 tortugas monitoreadas de noviembre 2013 a mayo 2016, a partir de los cuales se consideraron las temperaturas correspondientes para los análisis. El peso promedio de las tortugas equipadas con transmisor y termómetro electrónico fue de  $475.53 \pm 11.8$  gr (intervalo 370 – 620 gr), el largo curvo del caparazón promedio fue  $176.46 \pm 2.41$  mm (intervalo 153 – 205 mm). La  $T_c$  media ( $T_c^{med}$ ) de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México fue de  $19.34 \pm 0.23^\circ\text{C}$ . Se registró un intervalo térmico muy amplio, que va de 4 a  $43.6^\circ\text{C}$  (Fig. 3). La  $T_c^{med}$  está influenciada por la interacción de sexo y mes del año ( $X^2 = 73.855$ ,  $df = 11$ ,  $p < 0.001$ ; Tab. 1), las hembras presentan  $T_c^{med}$  más altas que los machos de julio a octubre; en ambos sexos la  $T_c^{med}$  más baja se registró en enero y la más alta en septiembre. Por otra parte, durante abril y noviembre se registraron las menores  $T_c$  ( $T_c^{min}$ ) de todo el estudio,  $4^\circ\text{C}$  y  $5.1^\circ\text{C}$  respectivamente (Fig. 3).

**Tabla 1.** Selección de los modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) utilizados para describir la temperatura corporal media ( $T_c^{med}$ ), tiempo de asoleo y días de asoleo y  $T_c$  de acuerdo con el microhábitat de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México.  $K$  número de parámetros estimados, AICc criterio de información de Akaike corregido para el tamaño de muestra,  $\Delta\text{AICc}$  diferencia de AICc entre el modelo considerado y el modelo con el más bajo AICc.

	$K$	AICc	$\Delta\text{AICc}$
<b>Temperatura corporal media (<math>T_c^{med}</math>)</b>			
Sexo x Mes	26	2325.6	0
Sexo + Mes	15	2374	48.4
Mes	14	2374.1	48.5
Null	3	3201.6	876
Sexo	4	3202.8	877.2
<b>Tiempo de asoleo (horas)</b>			
Sexo x Mes	26	7792.1	0
Mes	14	7800.4	8.3
Sexo + Mes	15	7801.7	9.6
Null	3	7883.1	91
Sexo	4	7884.9	92.8
<b>Días de asoleo</b>			
Sexo x Mes	26	1013.8	0
Mes	14	1018.6	4.8
Sexo + Mes	15	1019	5.2
Null	3	1038	24.2
Sexo	4	1039.2	25.4
<b><math>T_c</math> microhábitat</b>			
Microhábitat x Estación	12	5423.2	0
Microhábitat + Estación	8	5483.6	60.4
Microhábitat	7	5789.7	366.5
Estación	4	7222	1798.8
Null	3	7394.3	1971.1

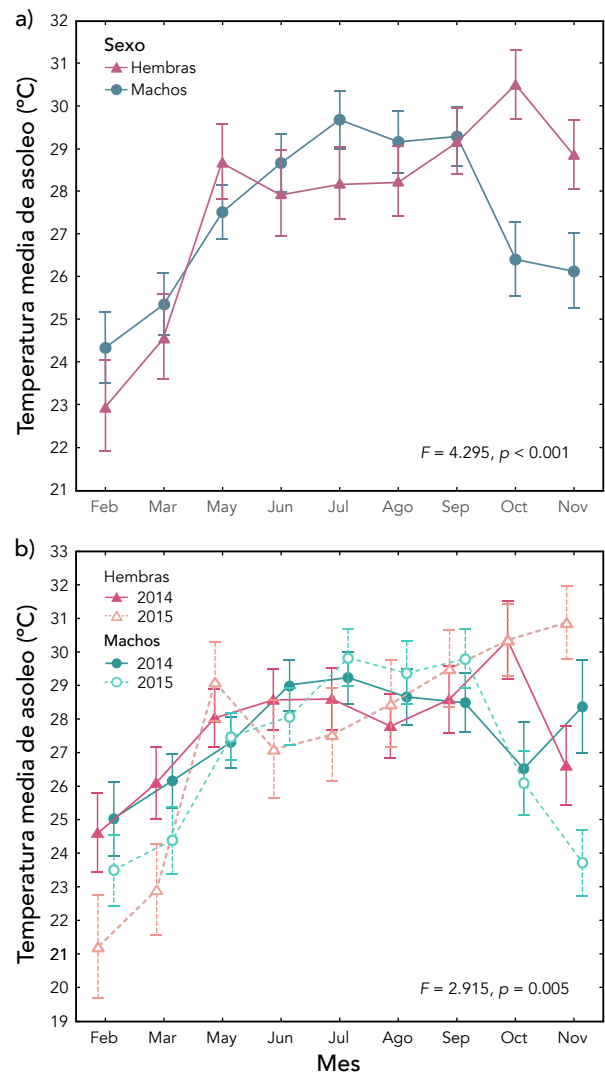


**Figura 3.** Variación mensual de la temperatura corporal ( $T_c$ ) de hembras y machos de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México (periodo 2013 - 2016). Se muestra la  $T_c$  media ( $T_c^{med}$ ),  $T_c$  mínima ( $T_c^{mín}$ ), temperatura máxima de asoleo ( $T_a^{máx}$ ), la temperatura media ambiental ( $T_{amb}^{med}$ ; año 2014, datos obtenidos de la estación meteorológica Coatepequito) y la temperatura media del agua del río ( $T_w^{med}$  (río)). Se muestra la temporada de Lluvias y sequía, así como el periodo de estivación (Pérez-Pérez, 2014, y datos de este estudio) y \*anidación (Macip-Ríos, 2005).

## Temperatura de asoleo (Ta)

Los individuos de *Kinosternon integrum* presentaron eventos de asoleo únicamente cuando se encuentran a lo largo del río; durante el tiempo que las tortugas permanecen dentro de los bordos artificiales no se indentificaron eventos de asoleo. La Ta de *Kinosternon integrum* presenta un intervalo de 17.1 a 43.6°C, la temperatura media de asoleo ( $Ta^{med}$ ) es de  $26.84 \pm 0.16^\circ\text{C}$ . La  $Ta^{med}$  se modifica de acuerdo al sexo y el mes del año (Tab. 2, Fig. 4a), durante febrero se presentan las menores  $Ta^{med}$  en ambos sexos, las hembras presentan una  $Ta^{med}$  más alta que los machos durante los meses de octubre y noviembre.

La  $Ta^{med}$  presento variaciones de acuerdo al sexo, mes y año (Tab. 2, Fig. 4b), durante febrero y marzo del 2015 la  $Ta^{med}$  de ambos sexos fue más baja respecto a 2014, la  $Ta^{med}$  de las hembras supera la de los machos únicamente durante mayo y octubre en los dos años, así como en noviembre de 2015; los machos alcanzaron las  $Ta^{med}$  más altas entre julio y septiembre, mientras que las hembras durante octubre 2014 y noviembre 2015.



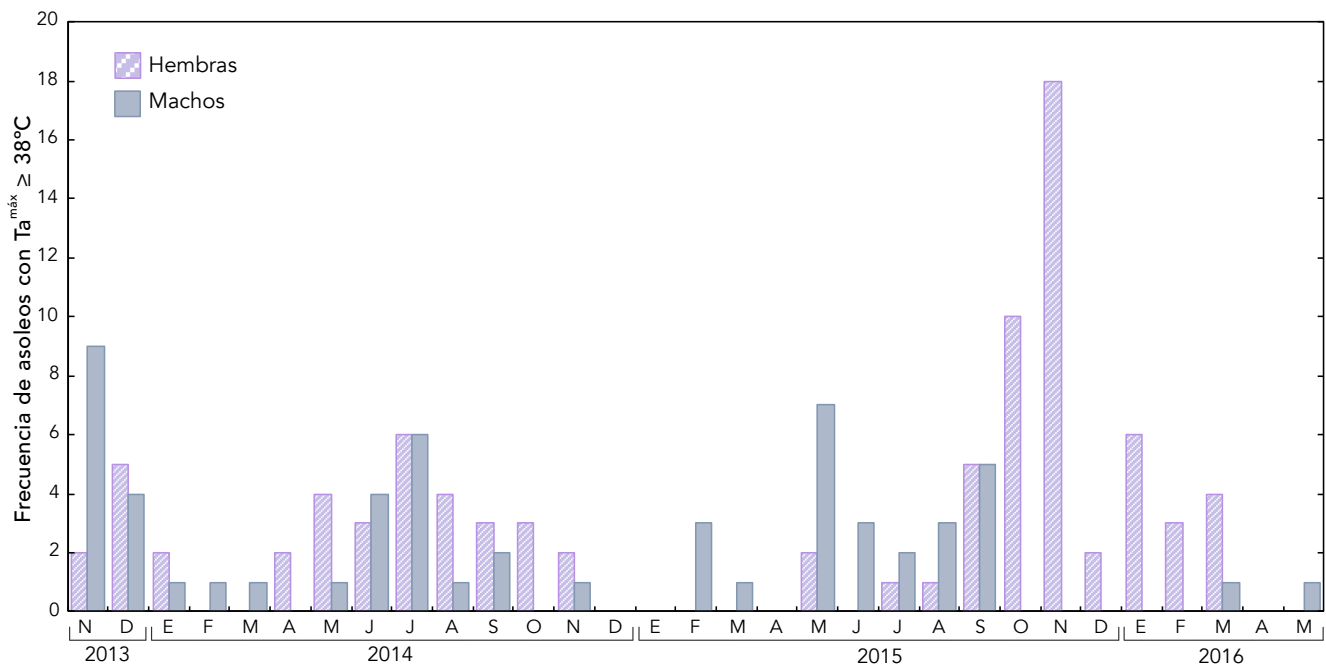
**Figura 4.** Variación de la temperatura media de asoleo ( $\pm$  EE) de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México de acuerdo con la interacción a) Sexo x Mes y b) Sexo x Mes x Año.

**Tabla 2.** Resultados del modelo lineal general mixto (LMM) de la temperatura media de asoleo ( $Ta^{med}$ ) de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México.

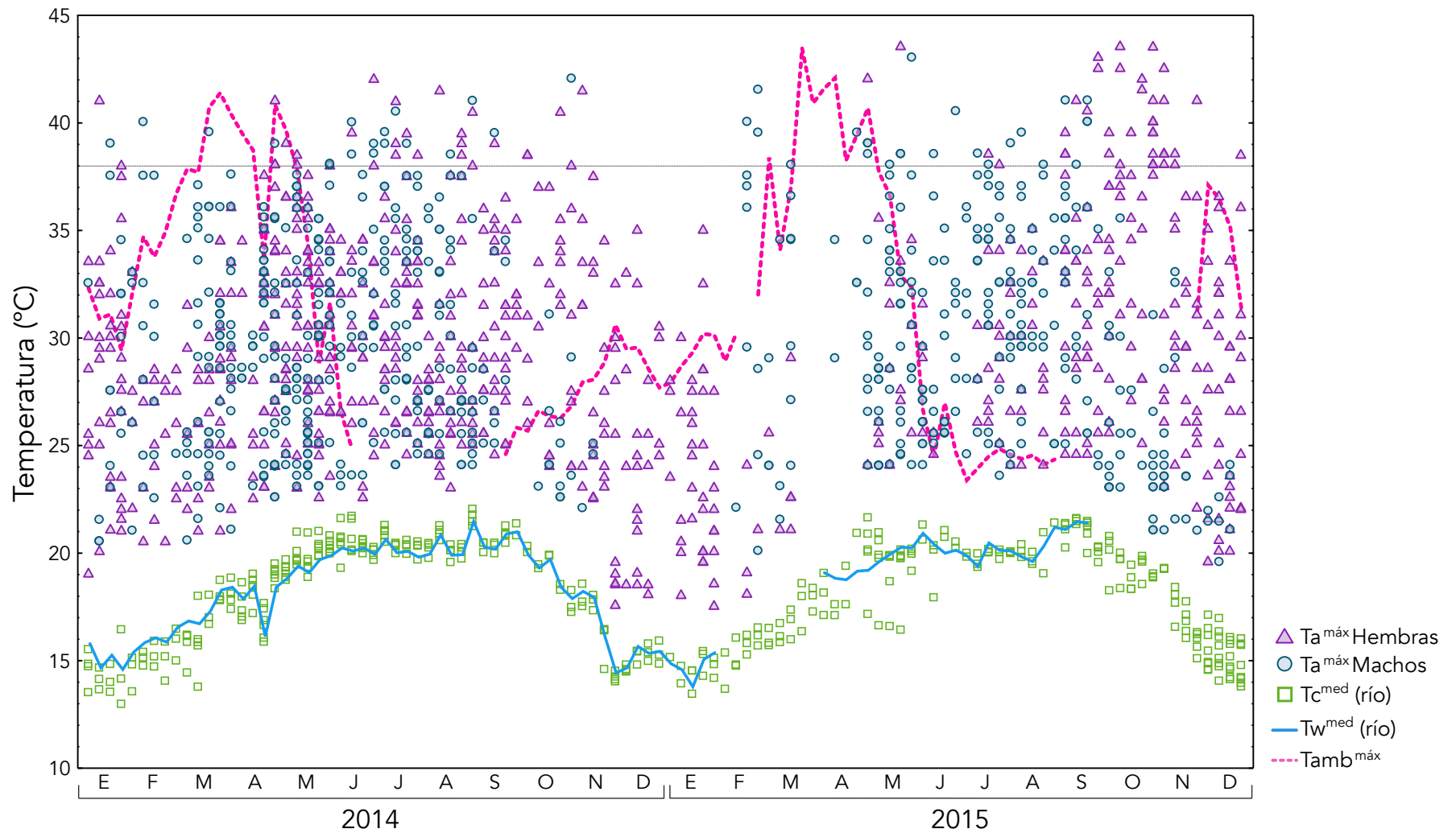
Temperatura media de asoleo (2014 - 2015)	df	F	p
Sexo	1	0.146	0.716
Mes	8	11.924	< 0.001
Año	1	1.08	0.316
Sexo x Mes	8	4.295	< 0.001
Sexo x Año	1	0.27	0.611
Mes x Año	8	1.822	0.080
Sexo x Mes x Año	8	2.915	0.005

Durante los eventos de asoleo los individuos de *Kinosternon integrum* pueden alcanzar una  $Ta^{m\acute{a}x}$  hasta  $24^{\circ}C$  sobre la  $Tw^{med}$  (enero 2014, Fig. 6) y de  $15.9^{\circ}C$  sobre de la  $Tamb^{m\acute{a}x}$  (junio 2015, Fig. 6). Durante el estudio se registraron 145 eventos de asoleo con una  $Ta^{m\acute{a}x}$  igual o superior a  $38^{\circ}C$  (Fig. 5), en 14 tortugas de ambos sexos (7 hembras, 7 machos);  $38^{\circ}C$  es la  $Tc$  mínima promedio a la que se ha registrado pérdida de la respuesta coporal en algunas especies de la familia Kinosternidae (Tab. 4).

La frecuencia de la  $Ta^{m\acute{a}x} \geq 38^{\circ}C$  de los machos presenta una distribución homogénea a través del tiempo (Serial Run test  $Z = -0.851$ ,  $p = 0.395$ ), sin embargo, la frecuencia de las hembras presenta una distribución no aleatoria (Serial Run test  $Z = -2.581$ ,  $p = 0.010$ ), con una tendencia de agrupación, de abril a noviembre del 2014 y de septiembre 2015 a marzo 2016 (Fig. 5).



**Figura 5.** Frecuencia de eventos de asoleo con temperatura máxima ( $Ta^{m\acute{a}x}$ ) igual o superior a  $38^{\circ}C$  de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México, en el periodo noviembre 2013 - mayo 2016.



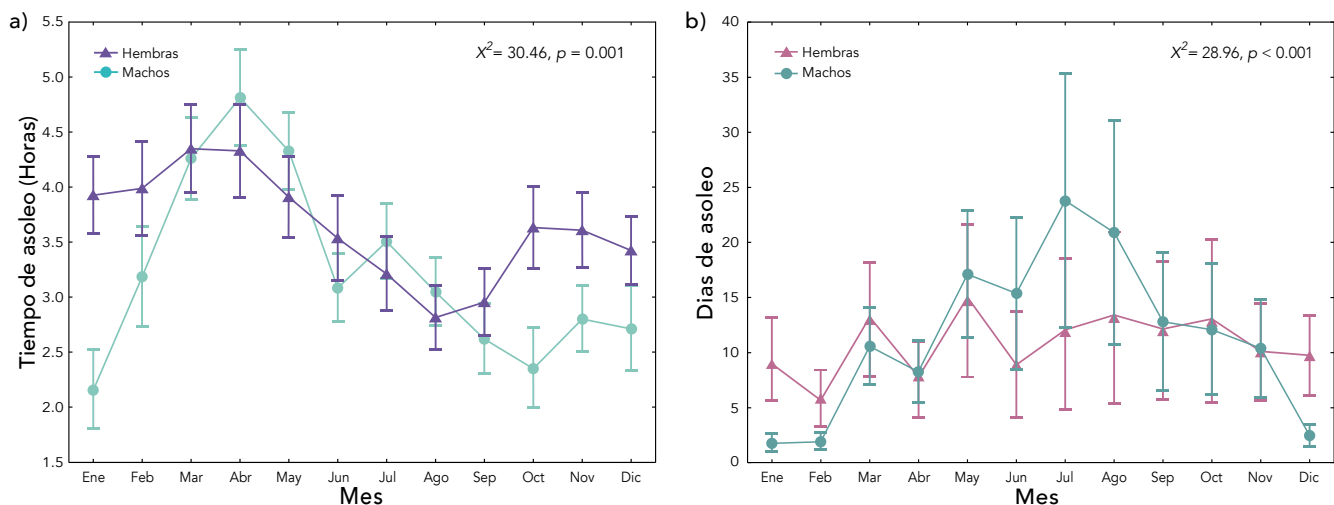
**Figura 6.** Variación de la temperatura corporal media ( $T_c^{med}$ ) dentro del río (promedio semanal) y la temperatura máxima por evento de asoleo ( $T_a^{máx}$ ) de hembras y machos de *Kinosternon integrum* en Tonicato, Estado de México, durante los años 2014 y 2015. Se muestra la temperatura media del agua del río ( $T_w^{med}$  (río)), y la temperatura máxima ambiental ( $T_{amb}^{máx}$ ) registrada en el sitio de estudio. La línea horizontal gris es la marca de 38°C.

## Tiempo de asoleo (horas)

El tiempo promedio por evento de asoleo de *Kinosternon integrum* es de  $3.88 \pm 0.16$  horas, mediana = 4 horas, y un intervalo de 1 – 11 horas. El tiempo de asoleo está influenciado por el sexo y el mes del año ( $X^2 = 30.46$ ,  $df = 11$ ,  $p = 0.001$ ; Tab. 1, Fig. 7a), las hembras presentan un mayor tiempo de asoleo durante los meses de enero-febrero y octubre-diciembre. El mayor tiempo de asoleo de los machos se registró entre marzo y mayo. El tiempo de asoleo presenta una correlación positiva moderada con la  $Ta^{\text{máx}}$  alcanzada por evento de asoleo ( $R_s = 0.408$ ;  $p < 0.001$ ).

## Días de asoleo

Los individuos de *Kinosternon integrum* se asolean un promedio de  $12.3 \pm 0.78$  días al mes, mediana = 10.5 días, con un intervalo de 0 – 30 días. El número de días de asoleo presenta variación significativa de acuerdo a la interacción de sexo y mes del año ( $X^2 = 28.96$ ,  $df = 11$ ,  $p < 0.001$ ; Tab. 1, Fig. 7b). Los machos presentan un mayor número de días de asoleo entre mayo y agosto, durante los meses de enero, febrero y diciembre el número de días con asoleos en los machos se reduce significativamente respecto a las hembras. Las hembras presentan más días de asoleo durante marzo y mayo



**Figura 7.** Variación mensual del a) tiempo de asoleo (horas) ( $\pm$  EE) por evento de asoleo y b) días de asoleo ( $\pm$  EE) de acuerdo con el sexo de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México.

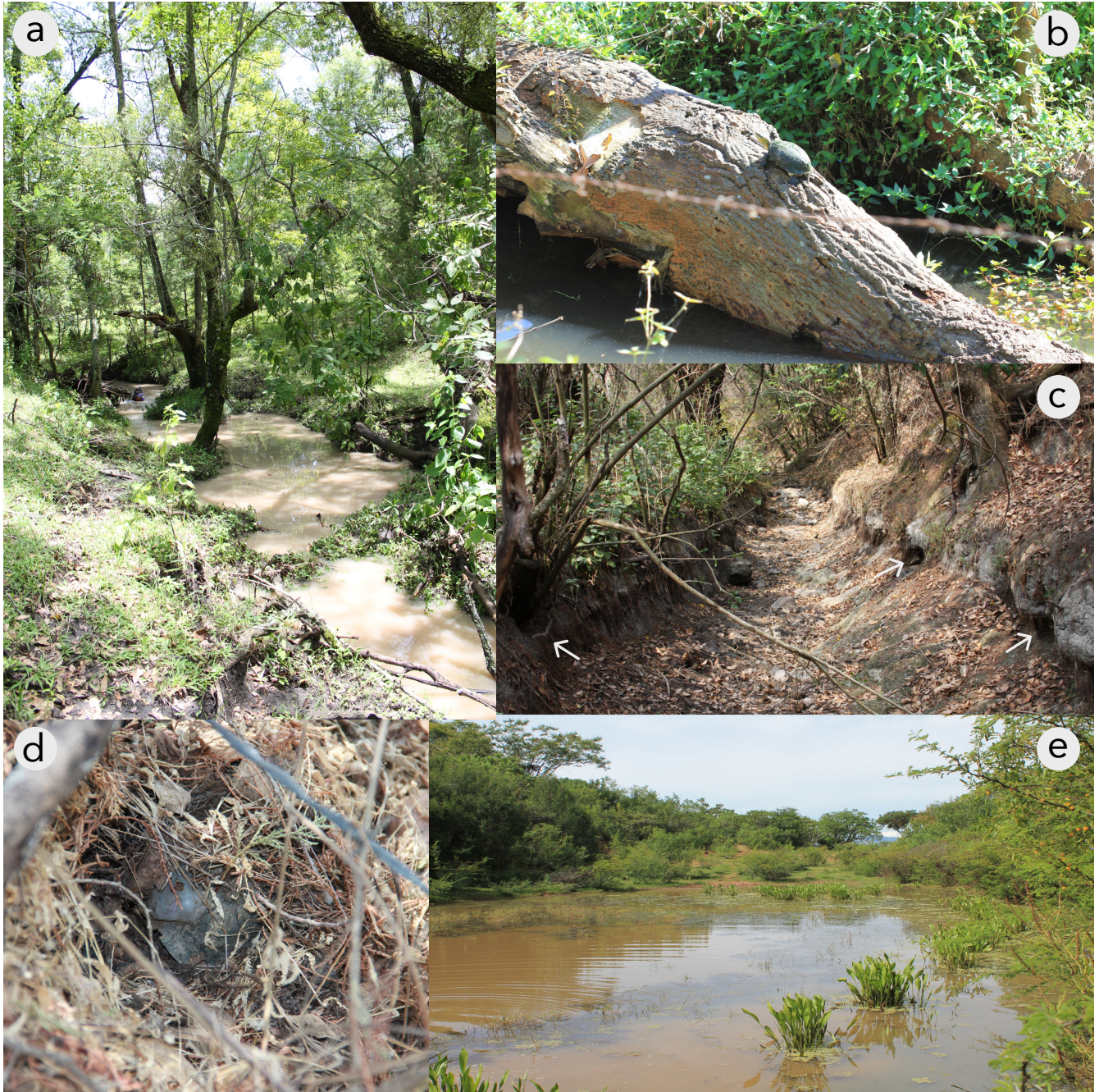
---

## Temperatura de acuerdo al microhábitat

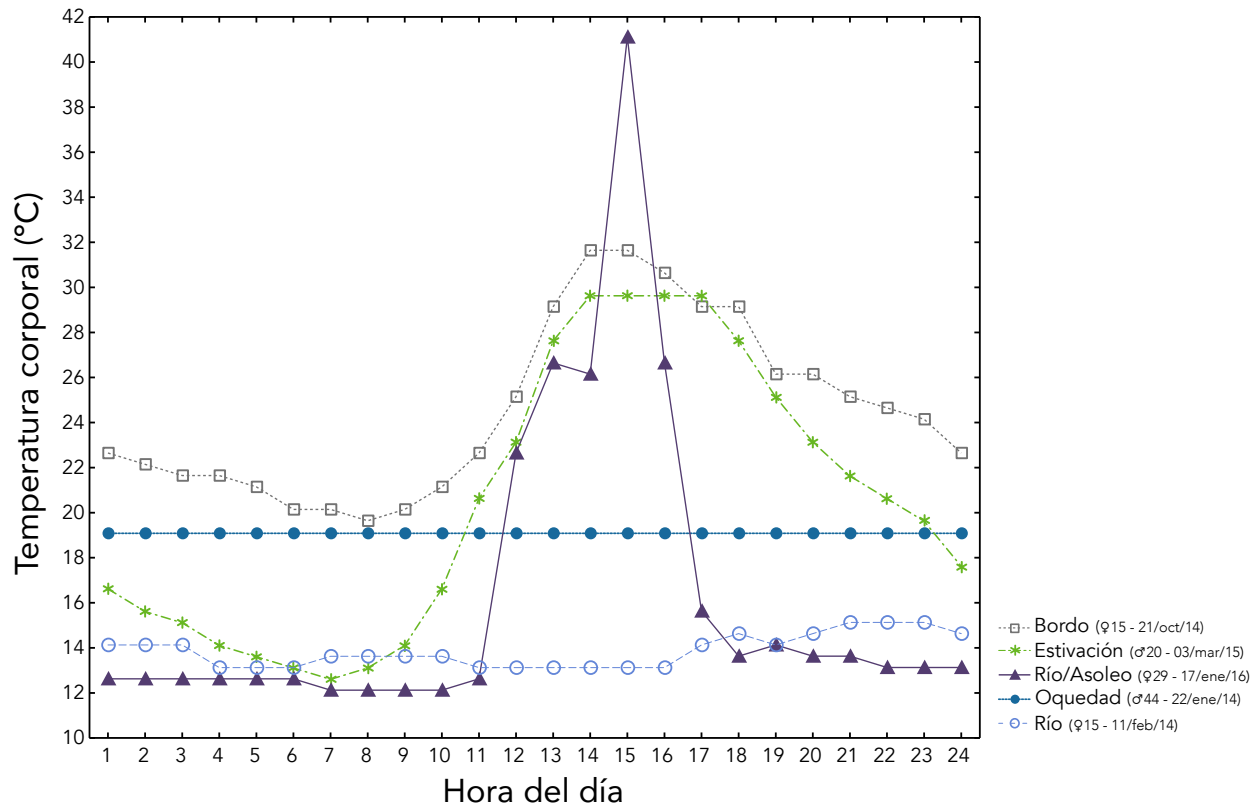
**Temperatura corporal** – De acuerdo con las observaciones/localizaciones en campo y la evaluación de la  $T_c$  obtenida por medio de los termómetros electrónicos, se encontraron cinco diferentes microhábitats que son utilizados por *Kinosternon integrum* en la zona de estudio, los cuales son: el cauce del río (Fig. 8a), sitios de asoleo (i.e. margen del río, rocas, troncos en el cauce del río; Fig. 8b), oquedades naturales en el margen del río (bajo el nivel del agua, Fig. 8c), sitios de estivación (bajo hojarasca, Fig. 8d), y bordos artificiales (Fig. 8e). La figura 9 muestra la fluctuación diaria de la  $T_c$  en cada microhábitat, para cuatro individuos diferentes. Los resultados muestran que la  $T_c$  de *Kinosternon integrum* se modifica significativamente de acuerdo al microhábitat y la estación del año ( $X^2 = 70.99$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0.001$ ; Tab. 1; Fig. 10a), las  $T_c$  en todos los microhábitats son significativamente más altas durante la temporada de lluvias; en el río y las oquedades se registran las menores  $T_c$  en ambas temporadas, y durante los eventos de asoleo se registraron la  $T_c$  más altas.

**Temperatura del microhábitat** – La temperatura de los microhábitats que utiliza *Kinosternon integrum* presentan diferencias de acuerdo al microhábitat y la estación del año ( $F = 442.79$ ,  $p < 0.001$ ; Fig. 10b), durante la temporada de lluvias todos los microhábitats presentan temperaturas más altas; durante la temporada de sequía el río es el microhábitat más frío, pero durante la temporada de lluvias la temperatura media ambiental es menor a la temperatura del río y de las oquedades, los bordos artificiales presentan la mayor temperatura ambiental en ambas temporadas.

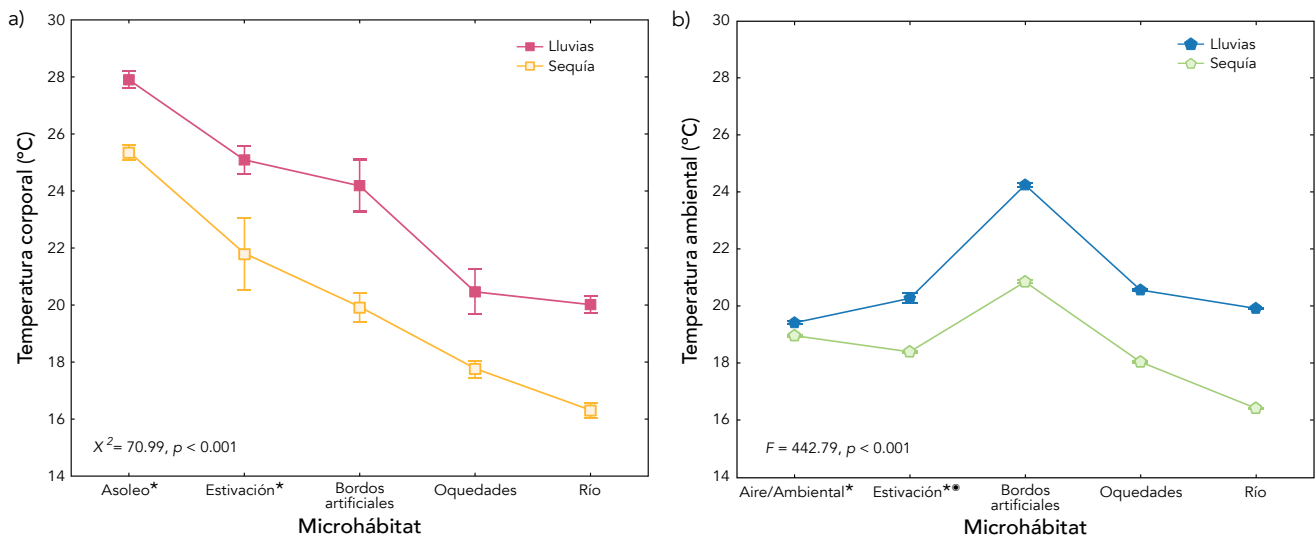
Por otra parte, encontramos que la  $T_c^{med}$  (río) presenta una fuerte relación lineal positiva con la  $T_w^{med}$  (río) ( $p < 0.001$ , Fig. 11a); sin embargo, la  $T_a^{med}$  presenta una débil relación lineal positiva con la  $T_{amb}^{med}$  ( $p < 0.001$ , Fig. 11b).



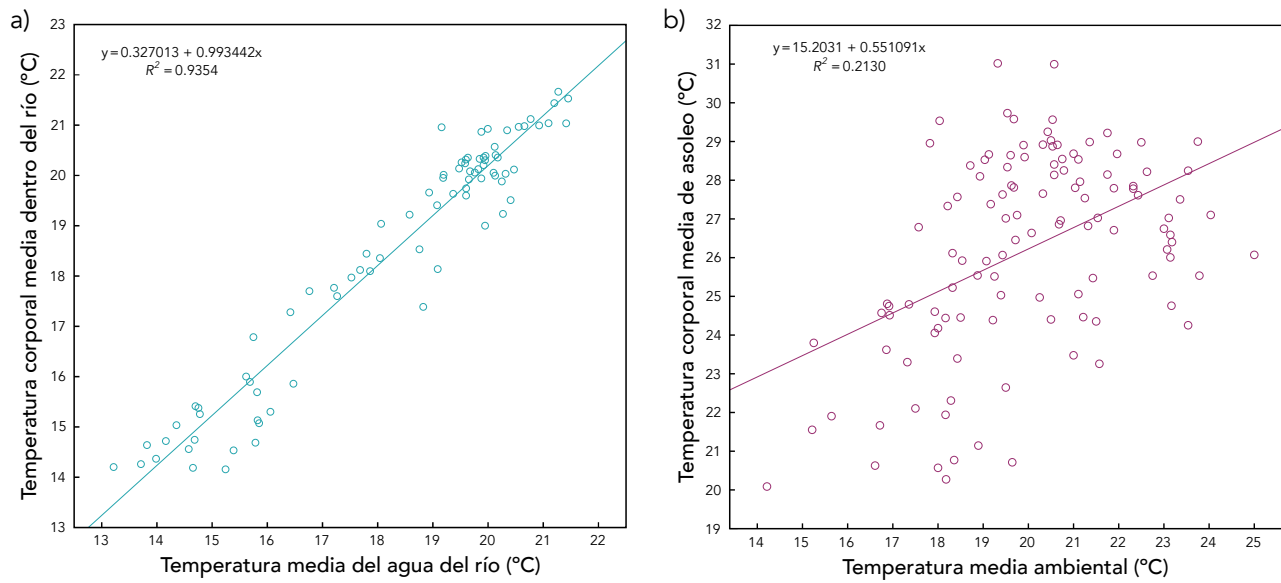
**Figura 8.** Microhábitats utilizados por *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México. a) cauce del río (agosto), b) sitios de asoleo, c) oquedades naturales al margen del río (señaladas con una flecha), foto tomada durante la temporada de sequía (marzo), d) sitios de estivación (bajo hojarasca), e) bordos artificiales.



**Figura 9.** Variación diaria de la Tc de cuatro individuos de *Kinosternon integrum* en cinco diferentes microhábitats en Tonalco, Estado de México. Entre paréntesis se muestra el sexo, número de individuo y fecha de registro de Tc.



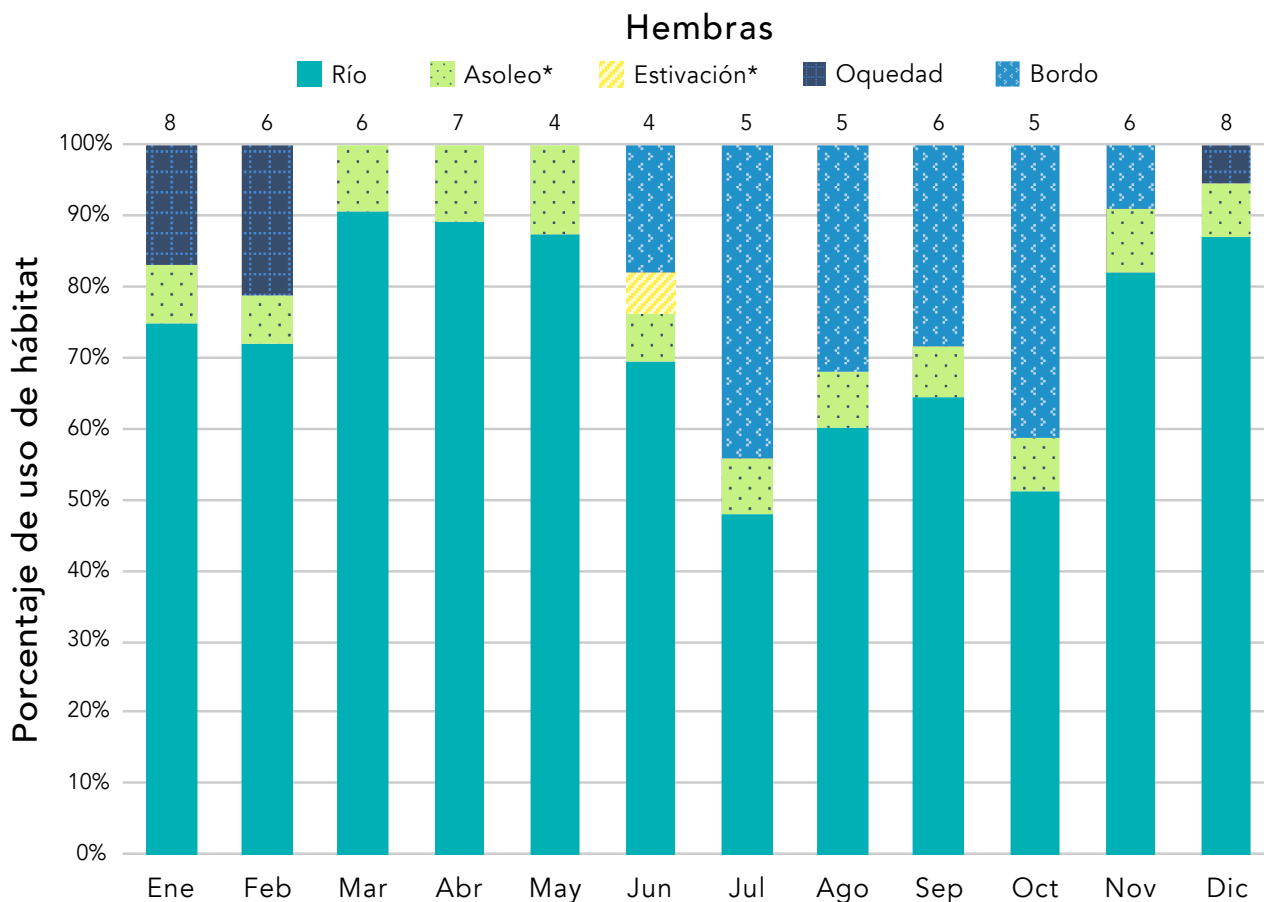
**Figura 10.** Comparación de a) la temperatura corporal ( $\pm$  EE) de *Kinosternon integrum* y b) la temperatura ambiental ( $\pm$  EE) en los diferentes microhábitats acuerdo a la estación. \*Microhábitats terrestres. © Temperatura de sitios de estivación del año 2013.



**Figura 9.** Relación entre a) la  $Tc^{med}$  (río) de *Kinosternon integrum* con la  $Tw^{med}$  (río); y b) la temperatura corporal media de asoleo de *Kinosternon integrum* con la temperatura media ambiental en Tonatico, Estado de México. Cada círculo representa una semana.

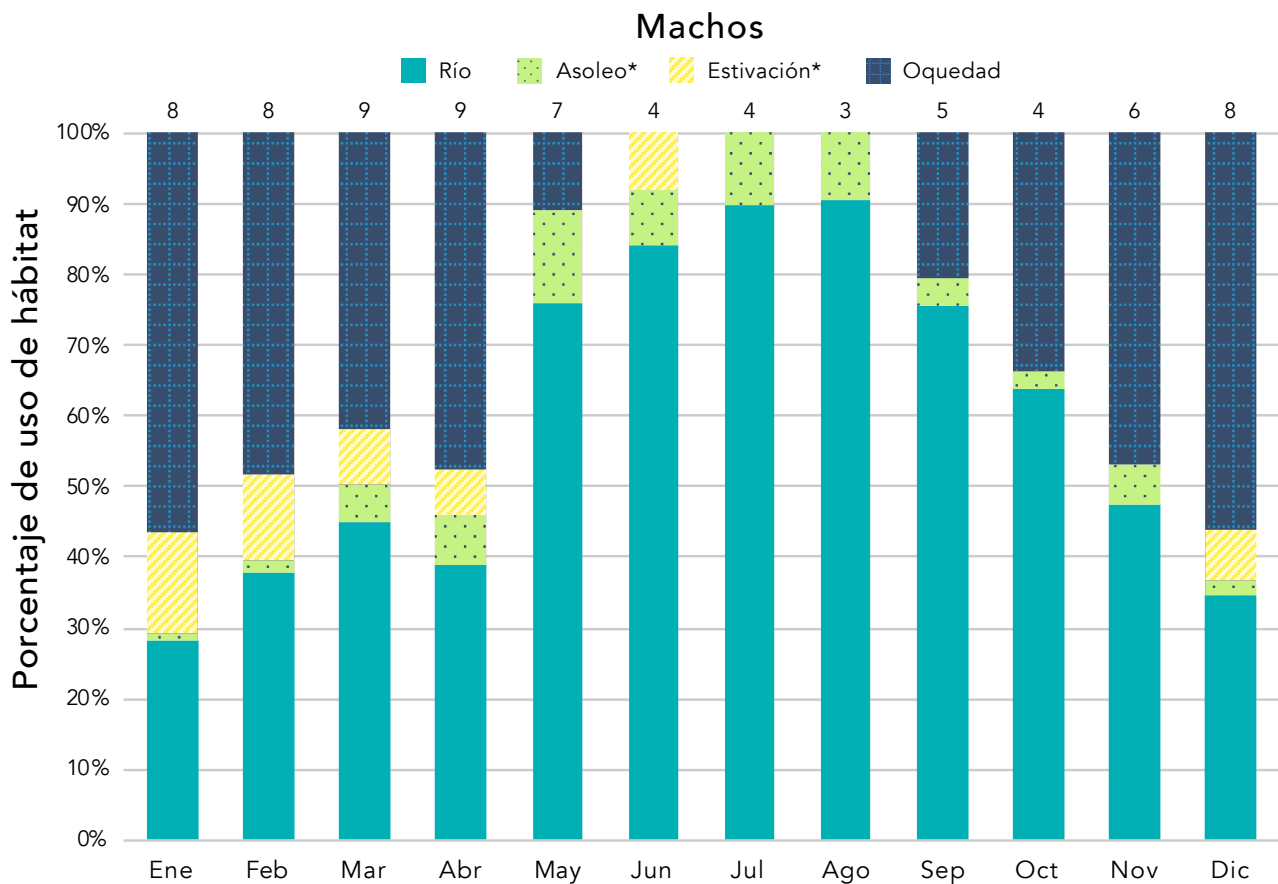
## Uso de hábitat a partir de la Tc

Al analizar el uso de hábitat con base en el monitoreo de la Tc, encontramos que las hembras utilizan los microhábitats en el siguiente porcentaje: río 73.0%, bordo 14.44%, asoleo 8.47%, oquedad 3.61%, sitios de estivación 0.45%. El uso de las oquedades está restringido a los meses más fríos del año (enero, febrero y diciembre; Fig. 12). De acuerdo con los análisis Serial Run Test, el uso de los bordos artificiales presenta diferencias significativas durante el año ( $p < 0.05$ ), con una marcada preferencia durante la temporada de lluvias. No se encontraron diferencias significativas en el uso del río, sitios de asoleo, y oquedades a lo largo del año (todas las  $p > 0.05$ ; Fig. 12). Las hembras equipadas con termómetros estuvieron únicamente en junio, sin embargo, otras hembras equipadas solo con transmisor fueron observadas estivando entre mayo y junio.



**Figura 10.** Porcentaje de uso de hábitat de acuerdo con la Tc de las hembras de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México. El número de tortugas por mes se muestra sobre la barra. \*Hábitat terrestre.

Al igual que las hembras, el microhábitat más usado por los machos es el río con un 59.27% del tiempo, seguido de las oquedades 30.16%, sitios de asoleo 5.90%, sitios de estivación 4.66% y bordo 0%. El uso del río y las oquedades presentan diferencias significativas a lo largo del año (ambas  $p < 0.05$ ), el uso del río muestra una tendencia de mayor uso durante los meses mayo a septiembre, y las oquedades presentan una disminución de uso entre mayo y agosto. La preferencia de sitios de asoleo y sitios de estivación presenta una distribución aleatoria ( $p > 0.05$ ; Fig. 13). Los machos equipados con termómetros no migraron a los bordos artificiales, sin embargo, se observaron machos equipados únicamente con transmisor entre noviembre – febrero y mayo – julio.



**Figura 11.** Porcentaje de uso de hábitat de acuerdo con la Tc de los machos de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México. El número de tortugas por mes se muestra sobre la barra. \*Hábitat terrestre.

Las oquedades son utilizadas por periodos prolongados, principalmente por los machos, entre finales de noviembre e inicios de marzo, durante este periodo las tortugas pueden permanecer en las oquedades hasta 131 días ininterrumpidos, en la Tabla 3 se muestra a los individuos que permanecieron el mayor tiempo dentro de oquedades durante el estudio.

**Tabla 3.** Individuos de *Kinosternon integrum* que permanecieron mayor tiempo dentro de las oquedades. Se muestra sexo y número de identificación, fechas y número de días dentro de las oquedades.

Individuo	Fechas	Número de días en oquedades
M17	06/12/2013 - 03/02/2014	59
	11/02/2014 - 17/ 03/2014	34
M42	15/12/2015 - 14/01/2016	30
	15/01/16 - 06/03/2016	51
M40	24/12/2015 - 15/01/2016	22
	17/01/2016 - 03/03/2016	46
M25	27/11/2015 - 6/04/2016	131
M44	17/10/2015 - 27/11/2015	41
	29/11/2015 - 24/03/2016	116
M46	12/11/2015 - 7/03/2016	116
H41	16/12/2015 - 13/03/2016	88

---

## Discusión

### Ecología térmica

La temperatura corporal de *Kinosternon integrum* en Tonatico, Estado de México, presenta importantes variaciones mensuales e intersexuales, como ha sido registrado en otras especies de tortugas (Brattstorm, 1965; Tuttle y Carroll, 1997; Arvisais *et al.*, 2004; Compton *et al.*, 2002; Dubois *et al.*, 2009; Fitzergard y Nelson, 2011; Picard *et al.*, 2011). *Kinosternon integrum* regula la  $T_c$  por medio de la selección de los microhábitats que tiene disponibles a lo largo del año, los cuales presentan condiciones térmicas heterogéneas. *Kinosternon integrum* presenta el intervalo térmico más amplio registrado para la familia Kinosternidae (4 - 43°C), así como una mayor  $T_a^{med}$  que la registrada para *Sternotherus odoratus* (Tab. 4), no se encontraron registros de  $T_a$  para otra especie de la familia.

El asoleo en tortugas es un comportamiento complejo que se ve afectado por el estatus nutricional y reproductor, la estacionalidad y el sexo de los individuos (Hammond *et al.*, 1988). De acuerdo con los resultados obtenidos, el comportamiento de asoleo y las  $T_a^{med}$  de *K. integrum* presenta diferencias entre sexos a lo largo del año. En el caso de los machos, durante los meses de marzo a mayo (meses más cálidos) presentan el mayor tiempo de asoleo del año, sin embargo, el mayor número de días de asoleo al mes y la  $T_a^{med}$  son mayores durante los meses de junio – septiembre, estos meses corresponden a la temporada de lluvias ( $T_w$  más alta del año), durante esta temporada los machos de *K. integrum* presentan una mayor actividad en el río y en los sitios de asoleo. En otras especies de tortugas como *Chrysemys picta* (Grayson y Dorcas, 2004), *Clemmys guttata* (Ernst, 1982) y *Emydoidea blandingii* (Sajwaj y Lang, 2000) se ha registrado una disminución de los eventos de asoleo durante el verano. Por último, durante los meses más fríos del año (noviembre - febrero) la  $T_a^{med}$ , la frecuencia y duración de los eventos de asoleo de los machos disminuyen considerablemente, debido a que en esta temporada utilizan con mayor frecuencia las oquedades y sitios de estivación.

Mientras tanto, las hembras presentan el mayor tiempo de asoleo durante marzo y abril, el cual disminuye paulatinamente durante los meses de la temporada de lluvias. Sin embargo, durante los meses más fríos del año (noviembre - febrero), y contrario a lo que realizan los machos, las hembras prefieren permanecer en el río y aumentar la cantidad y el tiempo de los asoleos. A lo largo del año, el número de días con asoleos es más constante respecto al de los machos. Ambos sexos presentan diferencias interanuales en la  $T_a^{med}$ , las cuales están relacionadas a la variación intersexual de uso de hábitat, además de la variación anual en las  $T_{amb}$  y  $T_w$ .

Las diferencias sexuales en los comportamientos de asoleo han sido registradas en otras especies de tortugas, en el caso de *Sternotherus odoratus* las hembras presentan una  $T_a$  ligeramente mayor a la de los machos y presentan un aumento de  $T_a$  entre junio y agosto

**Tabla 4.** Temperatura corporal de diferentes especies de la familia Kinosternidae (incluida *K. integrum*). Se muestra la media e intervalo de temperatura corporal, temperatura corporal de pérdida de respuesta y máximo térmico crítico.

Especie	Temperatura		Tc pérdida de respuesta •		Máximo térmico crítico (CTM) •		Fuente
	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	
<i>Staurotypus salvinii</i> ★		(27 - 34) ▶ 20❖					Legler y Vogt (2013)
<i>Sternotherus odoratus</i>	21.6	(17.2 - 28.8) ▶ ○				42.1±	Edgren y Edgren (1955)
	19.3	(16.2 - 21.8) ▶ ○			41	(40.1 - 41.7)	Boyer (1965); Brattstrom (1965)
	24.1	(10 - 34) ○ (13 - 35) ●	38.6	(37.9 - 39)	41.6	(39.8 - 42.0)	Hutchison et al. (1966) Mahmoud (1969)
		(20.7 - 22.4) ●					Graham y Hutchison (1979)
	20	(14 - 27) ▷ ○					Ernst (1986)
	20.6	(17 - 30) ▶ ○ (3.7 - 29.3) ▶					Rowe et al. (2009)
<i>Sternotherus carinatus</i>	24.5 ▶ ○						Picard et al. (2011)
	33.2	(14 - 34) ○ (16 - 34) ●	38.7	(38.4 - 39)	40.2	(39.5 - 41.9)	Mahmoud (1969)
<i>Sternotherus minor</i>			38.3	(37.8 - 38.7)	40.4	(39.7 - 41.4)	Boyer (1965) Hutchison et al. (1966)
<i>Kinostemon baurii</i>			39.1	(38.2 - 40.4)	40.6	(39.9 - 41.2)	Hutchison et al. (1966)
<i>Kinostemon subrubrum</i>	23.6	(16 - 36) ○ (13 - 38) ●	38.8	(38.1 - 39.4)	40.9	(39 - 42.5)	Mahmoud (1969)
<i>Kinostemon flavescens</i> ★	25	(18 - 32) ○ (16 - 38) ●	39.7	(38.1 - 40.1)	43.2	(39.2 - 43.7)	Mahmoud (1969)
<i>Kinosternon integrum</i> ★	26.8	(18.1 - 43.6) ▷ ○					Este estudio
	17.4	(4.0 - 24.6) ▶ ○					

○ Tc en campo, ● Tc en laboratorio, ▷ Tc asoleo, ▶ Tc dentro del agua, ❖ Tc estivación, ✦ Temperatura letal, ★ Especies con distribución en México.

Las especies son mencionadas de acuerdo con Iverson et al. (2013)

---

(Picard *et al.*, 2011), por su parte las hembras de *Trachemys scripta* se asolean más tiempo que los machos (Hammond *et al.*, 1988). Sin embargo, existen variaciones interespecificas en los comportamientos ya que los machos de *Chrysemys picta* presentan mayor tiempo de asoleo respecto a las hembras (Grayson y Dorcas, 2004). Las diferencias registradas están relacionadas con las necesidades fisiológicas específicas, como alimentación u obtención de energía para la reproducción (Shine, 1980; Hammond *et al.*, 1988); en *Sternotherus odoratus* se ha registrado que durante el mes de mayo, cuando las hembras tienen huevos, se presenta la mayor diferencia entre sexos en la Ta (la Ta de hembras es mayor a la de los machos, Picard *et al.*, 2011). En cambio, durante este estudio se encontraron hembras con huevos durante los meses de julio y agosto, temporada en la que la Ta de las hembras es inferior a la de los machos, cabe señalar que *Sternotherus odoratus* y *K. integrum* pueden presentar diferentes estrategias de termorregulación.

El río es el microhábitat más frío la mayor parte del año, debido al tiempo que *K. integrum* permanece dentro del río y la fuerte relación de la Tc con la Tw (río), la Tc<sup>med</sup> es muy baja, respecto a las otras especies de la familia Kinosternidae (Tab. 4). El equilibrio térmico de las tortugas dentro del agua ha sido registrado para otras tortugas semi-acuaticas (Edgren y Edgren, 1955; Mahmoud, 1969; Rowe, 2003; Grayson y Dorcas, 2004, Pérez-Pérez, 2011); sin embargo, una vez que se asolean, pueden alcanzar Tc muy altas (Fig. 5), tal es el caso de *K. integrum* que aún durante los meses más fríos del año (diciembre- febrero), puede alcanzar temperaturas que para otras especies resultan letales (> 38°C; Tab. 4). Estas temperaturas se registraron en diferentes individuos mientras se encuentran a lo largo del río; por su parte, las tortugas que se encuentran en los bordos artificiales (microhábitat más expuesto al sol) no registraron Tc tan altas; debido a esto podemos constatar que no se trata de un error de lectura de los termómetros electrónicos. Además las tortugas del género *Kinosternon* parecen tener una gran tolerancia a las altas temperaturas; debido a que algunos individuos de *Kinosternon alamosae* fueron colectados en agua poco profunda con una Tw de 42°C (Legler y Vogt, 2013);

---

también se han registrado observaciones de individuos de *Kinosternon arizonense* asoleándose mientras la Tamb es muy cercana a los 45°C (Iverson, 1989b). Por su parte, *Kinosternon subrubrum* y *Kinosternon flavescens* muestran en laboratorio mayor tolerancia a altas temperaturas que en el campo (Tab. 4). *Kinosternon flavescens*, considerada como la especie menos acuática dentro de la Familia Kinosternidae (Rose, 1980), presenta un máximo térmico crítico (CTM) más alto respecto a las demás especies (Tab. 4). Se ha registrado que existe una relación entre el CTM, el hábitat y distribución geográfica (Hutchison *et al.*, 1966). En general las tortugas acuáticas presentan CTM más bajos respecto a las tortugas semiacuáticas o terrestres; las tortugas del género *Sternotherus* (acuáticas) prefieren aguas más profundas y son menos tolerantes a altas temperaturas (Mahmoud, 1969, Tab. 4), por su parte, para *Chelydra serpentina* (acuática, familia Chelydridae) una temperatura de 38°C resulta letal (Hutchison *et al.*, 1966). Las temperaturas letales más altas en tortugas se han registrado para *Gopherus polyphemus* con 43.9°C, *Testudo graeca* con 44°C (terrestres, familia Testudinidae; Hutchison *et al.*, 1966) y *Trachemys scripta elegans* con 44.5°C (semiacuática, familia Emydidae; Boyer 1965). Es importante continuar con el estudio de la tolerancia a altas temperaturas y los mecanismos por los cuales *K. integrum* alcanza Tc tan elevadas aún en los meses más fríos del año.

La Tc más baja registrada fue de 4°C en el mes de abril (2014), el más cálido del año, como consecuencia de una fuerte tormenta con granizo, la cual dejó como resultado una disminución drástica de la Tamb (de 31°C a 6°C en 60 min), la Tw y la Tc; de acuerdo con los registros de los termómetros, las tortugas se refugiaron dentro de las oquedades, para elevar su Tc entre 2 - 3°C. Las Tw menores a 10°C no son comunes en el sitio de estudio incluso en los meses más fríos del año, por lo que al parecer los individuos de *K. integrum* en Tonatico, Estado de México no se sienten cómodos con Tw y/o Tc tan bajas, ya que los días posteriores a la tormenta todas las tortugas equipadas presentaron eventos de asoleo. Por otra parte, la Tc<sup>min</sup> de 5°C en noviembre, se registró en una hembra, que durante su recorrido entre un bordo

---

y el río permaneció fuera del agua durante la noche, situaciones como esta son muy poco comunes, por lo regular los movimientos entre sitios son breves y repentinos (Pérez-Pérez *et al.*, 2017). De acuerdo con el registro de la Tc las tortugas generalmente permanecen dentro del río y/o las oquedades durante la noche (excepto durante el periodo de estivación), ya que la Tamb disminuye considerablemente y las temperaturas más bajas se registran durante la mañana (entre 5 y 9 am). De acuerdo con Dubois *et al.* (2009) el uso del río como refugio térmico durante la noche les permite mantener una mayor Tc y les permite incrementar su tasa metabólica, en comparación con las tortugas que durante la noche permanecen fuera del agua, este comportamiento es equivalente al que presentan serpientes y lagartijas al usar durante la noche rocas calientes (Huey *et al.*, 1989; Webb y Shine, 1998; Blouin-Demers y Weatherhead, 2001).

La temperatura de las oquedades es más elevada respecto al agua del río, principalmente en la temporada de sequía, por lo que el uso constante y continuo durante los meses más fríos y secos del año nos muestra que este microhábitat ofrece las condiciones adecuadas para sobrevivir (*i.e.* protección contra depredadores, probablemente oxígeno disponible y alimento) sin necesidad de salir al río o asolearse. Ernst (1972) y Peterson (1987) registraron conductas similares en *Chrysemys picta*, durante el invierno se puede mantener enterrada en el lodo (hasta 45 cm) que es más caliente que el agua, aprovechando así el gradiente térmico disponible. El uso de las oquedades forma parte de las estrategias que presenta *K. integrum* para sobrevivir a condiciones ambientales menos favorables, esto explicaría el bajo número de individuos que eligen estar en Tonatico, Estado de México (Pérez-Pérez, 2014), ya que durante la estivación los riesgos de deshidratación y/o depredación son más altos (Christiansen y Brickham, 1989; Peterson y Stone, 2000; Ligon y Peterson, 2002; Roe y Georges, 2008). Los sitios de estivación de *K. integrum* suelen presentar menor temperatura y mayor humedad respecto al ambiente (Pérez-Pérez, 2014). La Tc de *K. integrum* durante el periodo de estivación presenta la mayor fluctuación diaria, la Tc de estivación es menor que la Ta, pero mayor a Tc dentro de los hábitats acuáticos. Durante el mes de junio

---

se encontraron algunos individuos estivando cerca del margen de río, a pesar de que ya había iniciado la temporada de lluvias y el río ya presenta un flujo continuo de agua, este comportamiento se ha documentado también en *Kinosternon flavescens*, donde algunos individuos estivan a pesar de tener agua y alimento disponible (Christiansen *et al.*, 1985; Christiansen y Brickman, 1989).

La migración temporal a otros cuerpos de agua (pozas efímeras o bordos artificiales) ha sido registrada en diversas especies de tortugas (Roe y Georges, 2007). De acuerdo con Pérez *et al.* (2014) y los resultados de este estudio algunos individuos de *K. integrum* migran del río a bordos artificiales durante los meses de lluvia, de acuerdo con los registros la  $T_w$  de los bordos artificiales es la más alta de los sitios acuáticos. Los bordos presentan una escasa cobertura vegetal, por lo que el agua se encuentra expuesta a los rayos directos del sol, sumado a la baja o nula corriente del agua, esto genera una elevada  $T_w$ , así como una importante fluctuación de la  $T_w/T_c$  a lo largo del día, en comparación con la  $T_w/T_c$  del río (Fig. 9). Las ventajas que tienen los individuos al usar estos cuerpos de agua es que pueden incrementar el tiempo de otras actividades como el forrajeo, ya que debido a las altas  $T_w$  el esfuerzo de termorregulación disminuye; mientras las tortugas permanecieron dentro de los bordos, no se identificaron eventos de asoleo.

Este es el primer estudio que monitorea a largo plazo la  $T_c$  en campo de una especie de la familia Kinosternidae. La información de la ecología térmica de muchas especies de la familia es anecdótica, en algunas se han observado eventos de asoleo en campo pero se consideran raros o esporádicos (Ernst, 1986; Legler y Vogt, 2013; Tab. 5), y otras especies se consideran acuáticas por que no se ha observado eventos de asoleo en campo (Tab. 5), este es el caso de las tortugas del género *Claudius*, *Staurotypus* y *Sternotherus* (Legler y Vogt, 2013). Sin embargo, es importante considerar el comportamiento tímido de las tortugas mientras se asolean, ya que ante cualquier perturbación regresan inmediatamente al agua, lo cual dificulta

observar y cuantificar en observaciones de campo eventos de asoleo. Durante los muestreos de este estudio únicamente se observaron/colectaron tortugas equipadas asoleándose en el margen del río en 9 ocasiones, pero el registro constante de la Tc nos muestra que los eventos de asoleo son mucho más frecuentes de que lo que se pueden observar directamente en campo.

Es importante continuar con la investigación acerca de la ecología térmica y uso de hábitat en la familia Kinosternidae, para poder definir la cantidad de actividad acuática y/o terrestre de cada especie, así como sus variaciones ontogenéticas, poblacionales o geográficas. El monitoreo constante y simultáneo de las Tc y Tamb nos permitió conocer con gran detalle la ecología térmica de la especie y la relación con los microhábitats que son fundamentales para su sobrevivencia, además, podemos conocer con gran precisión el tiempo que permanecen en cada uno de ellos y las restricciones ambientales a las que se enfrentan dentro de su hábitat.

**Tabla 5.** Especies de la familia Kinosternidae con reporte de asoleo o no asoleo.

	Especie	Fuente
Asoleos observados	<i>Kinosternon leucostomum</i> *	Legler y Vogt (2013)
	<i>Sternotherus depressus</i>	Dodd (1988)
	<i>Kinosternon arizonense</i> *	Iverson (1989b)
	<i>Kinosternon alamosae</i> *	Iverson (1989a)
	<i>Kinosternon sonoriense</i> *	Legler y Vogt (2013)
	<i>Kinosternon hirtipes</i> *	Iverson (1981)
	<i>Kinosternon hirtipes murrayi</i> *	Legler y Vogt (2013)
	<i>Kinosternon scorpioides</i> *	Lacher et al. (1986); Hofer (1999)
	<i>Kinosternon oaxacae</i> *	Iverson (1986)
Asoleos observados en crías	<i>Kinosternon leucostomum</i> *	Vogt pers. comm. en Lindeman (1993)
	<i>Sternotherus odoratus</i>	Janzen et al. (1992)
	<i>Sternotherus carinatus</i>	Vogt pers. comm. en Lindeman (1993)
	<i>Sternotherus minor</i>	Zappalorti y Iverson (2006)
No se han observado asoleos	<i>Staurothypus salvinii</i> *	Legler y Vogt (2013)
	<i>Staurothypus triporcatus</i> *	Legler y Vogt (2013)
	<i>Sternotherus odoratus</i>	Brattstrom (1965); Picard et al. (2011)
	<i>Kinosternon herrerae</i> *	Carr y Mast (1988)

★ Especies con distribución en México

---

## Uso de Hábitat

Los movimientos de *K. integrum* en Tonatico, Estado de México, dependen de la estacionalidad, principalmente de la temporada de lluvias. Esta población presenta una alta variación individual en los movimientos y no exhibe un patrón de movimientos, mientras algunos individuos permanecen en el río continuamente, otros realizan migraciones estacionales. De acuerdo con los resultados, el tamaño del ámbito hogareño en *K. integrum* es relativamente más grande respecto a otras especies dentro de la familia Kinosternidae; sin embargo, comparadas con otras especies de tortugas semiacuáticas, las especies de la familia Kinosternidae, presentan ámbitos hogareños pequeños (Slavenko et al. 2016).

La mayoría de los individuos de *K. integrum* en Tonatico presentan baja movilidad y alta fidelidad por el hábitat acuático dentro del río. *Kinosternon integrum* muestra movimientos terrestres y acuáticos, como ha sido registrado para otras especies de Kinosternidae (Ligone y Stone, 2003; Hall y Steidl, 2007). En ambientes donde el agua es escasa, el número de movimientos terrestres que realizan las tortugas puede ser relativamente más alto, ya que los individuos necesitan moverse a pozas temporales cuando están disponibles, y a pozas permanentes o sitios de estivación cuando pozas temporales se secan (Stone, 2001).

Roe y Georges (2007) registraron que los movimientos entre los cuerpos de agua no son específicos de una especie, algunas especies de tortugas usan más de uno y normalmente viajan entre dos o tres cuerpos de agua. En el sitio de estudio, es común que algunos individuos de *K. integrum* realicen migraciones estacionales entre ríos y bordos artificiales; esta capacidad para moverse entre cuerpos de agua les permite tener una mejor condición de supervivencia y condición corporal, ya que las pozas permanentes pueden ofrecer diferentes recursos y beneficios, mientras que las otras se han secado (Roe y Georges, 2007; Roe y Georges, 2008). Debido a esto, el mantenimiento de la conectividad del paisaje es importante en el manejo de hábitats cercanos a cuerpos de agua. La conservación de toda el área es muy

---

importante, ya que estos cambios ambientales pueden ser perjudiciales para la historia natural de *K. integrum* y otras especies. *Kinosternon integrum* es altamente dependiente de los hábitats acuáticos, y depende en gran medida de los hábitats terrestres para completar su ciclo de vida.

La información acerca de los efectos de los transmisores en tortugas es muy escasa, especialmente en la familia Kinosternidae. De acuerdo con los resultados obtenidos, la actividad de *K. integrum* en Tonatico, Estado de México, no se ve afectada por el uso de telemetría. Actualmente, el uso de la tecnología es esencial en estudios acerca de biología de las especies, ya que aporta información que de otra manera sería difícil de obtener, sin embargo, es importante evaluar cuidadosamente los posibles efectos, en orden de asegurar que los resultados obtenidos son confiables y con los mínimos efectos en los individuos.

---

## Conclusiones

### Ecología térmica

- ☛ La Tc de *K. integrum* en Tonatico Estado de México,  $19.34 \pm 0.23^{\circ}\text{C}$ , presenta un intervalo térmico de 4 -  $43.6^{\circ}\text{C}$ . Durante los meses de lluvia las hembras presentan Tc<sup>med</sup> más elevadas respecto a los machos.
- ☛ La temperatura promedio de asoleo es de  $26.84 \pm 0.16^{\circ}\text{C}$  (intervalo 17.1 –  $43.6^{\circ}\text{C}$ ), Ta<sup>med</sup> presenta diferencias entre sexos a lo largo del año. Las menores Ta<sup>med</sup> de ambos sexos se presentan en febrero; la Ta<sup>med</sup> de *K. integrum* presenta variación de acuerdo con el sexo, mes y año.
- ☛ Durante los eventos de asoleo la Tc de *K. integrum*, puede alcanzar hasta  $24^{\circ}\text{C}$  sobre la Tw<sup>med</sup> y de  $15.9^{\circ}\text{C}$  sobre de la Tamb<sup>máx</sup>.
- ☛ Tanto hembras como machos de *K. integrum* pueden alcanzar Ta superiores a  $38^{\circ}\text{C}$ , aún cuando las Tamb son bajas.
- ☛ El tiempo promedio de los eventos de asoleo de *K. integrum* es de  $3.88 \pm 0.16$  horas (intervalo 1 – 11 horas), las hembras presentan el mayor tiempo de asoleo durante enero-febrero y octubre-diciembre.
- ☛ Los individuos de *K. integrum* se asolean un promedio  $12.3 \pm 0.78$  días al mes (intervalo 1 – 30 días), los machos presentan más días de asoleo entre mayo y agosto, y disminuyen durante los meses más fríos del año. El número de días de asoleo en hembras es más constante durante el año, con un ligero incremento en marzo y mayo.
- ☛ *K. integrum* puede regular la Tc por medio de la selección de microhábitats.
- ☛ El río es el microhábitat acuático más frío.

---

## Uso de hábitat

- El ámbito hogareño de *K. integrum* es de  $0.151 \pm 0.051$  ha (50% KDE) y  $0.657 \pm 0.214$  ha (95% KDE). No presenta variaciones entre sexos.
- *K. integrum* presenta distancias de movimiento bajas, con un promedio de  $51.44 \pm 4.50$  m, el 87.3% de los movimientos fue menor a 100 m.
- La distancia recorrida difiere entre estaciones, durante la temporada de sequía los movimientos son más cortos; los movimientos terrestres son mayores que los movimientos acuáticos.
- El río es el microhábitat más utilizado por ambos sexos, seguido de el bordo en el caso de las hembras y las oquedades en el caso de los machos.
- *K. integrum* es altamente dependiente de los hábitats acuáticos. Sin embargo, debido a los movimientos estacionales es importante la conservación de los hábitats terrestres adyacentes.
- La actividad de *K. integrum* en Tonatico, Estado de México no se ve afectada por el uso de telemetría.

---

## Literatura citada

- AKINS, C.D., RUDER, C.D., PRICE, S.J., HARDEN, L.A., GIBBONS, J.W., Y DORCAS, M.E. 2014. Factors affecting temperature variation and habitat use in free-ranging diamondback terrapins. *Journal of Thermal Biology* 44:63-9.
- ANGILLETTA JR, M.J. Y ANGILLETTA, M.J. 2009. *Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis*. Oxford University Press.
- APARICIO, Á., MERCADO, I.E., UGALDE, A.M., GAONA-MURILLO, E., BUTTERFIELD, T., Y MACIP-RÍOS, R. 2018. Ecological Observations of the Mexican Mud Turtle (*Kinosternon integrum*) in the Pátzcuaro Basin, Michoacán, México. *Chelonian Conservation and Biology* 17:284-290.
- ARVISAIS, M., LÉVESQUE, E., BOURGEOIS, J.-C., DAIGLE, C., MASSE, D., Y JUTRAS, J. 2004. Habitat selection by the wood turtle (*Clemmys insculpta*) at the northern limit of its range. *Canadian Journal of Zoology* 82:391-398.
- AUTH, D.L. 1975. Behavioral ecology of basking in the yellow bellied turtle, *Chrysemys scripta scripta* (Schoepff). *Bulletin of the Florida State Museum. Biological Sciences (USA)* 20:1-45.
- AVERY, R. 1982. Field studies of body temperatures and thermoregulation. *Biology of the Reptilia* 12:93-166.
- BENNETT, D.H., GIBBONS, J.W., Y FRANSON, J.C. 1970. Terrestrial activity in aquatic turtles. *Ecology* 51:738-740.
- BLOUIN-DEMERS, G. Y WEATHERHEAD, P.J. 2001. Thermal ecology of black rat snakes (*Elaphe obsoleta*) in a thermally challenging environment. *Ecology* 82:3025-3043.
- BLOUIN-DEMERS, G. Y WEATHERHEAD, P.J. 2002. Habitat specific behavioural thermoregulation by black rat snakes (*Elaphe obsoleta obsoleta*). *Oikos* 59-68.
- BOYER, D.R. 1965. Ecology of the basking habit in turtles. *Ecology* 99-118.
- BRATTSTROM, B.H. 1965. Body Temperatures of Reptiles. *American Midland Naturalist* 73:376-422.
- BRAUER-ROBLEDA, P. 2009. Variación en la ecología e historia de vida de *Kinosternon integrum*, en un gradiente altitudinal en la cuenca del Río Balsas. Tesis de licenciatura . UNAM. México.
- BULTÉ, G. Y BLOUIN-DEMERS, G. 2010. Implications of extreme sexual size dimorphism for thermoregulation in a freshwater turtle. *Oecologia* 162:313-322.
- BURNHAM, K.P. Y ANDERSON, D.R. 2002. *Model selection and multimodel inference*. Springer.
- CAGLE, F.R. 1939. A system of marking turtles for future identification. *Copeia* 1939:170-173.
- CAGLE, F.R. 1946. The growth of the slider turtle, *Pseudemys scripta elegans*. *American Midland Naturalist* 685-729.
- CAMARASA, S., OROMI FARRÚS, N., MARTINEZ-SILVESTRE, A., SOLER, J., Y SANUY, D. 2015. On the relation of body and shell temperatures in a freshwater turtle. *Herpetozoa* 27:172-174.

- 
- CARR, J.L. Y MAST, R.B. 1988. Natural history observations of *Kinosternon herrerae* (Testudines: Kinosternidae). *Trianea* 1:87-97.
- CHRISTIANSEN, J.L. Y BICKHAM, J.W. 1989. Possible historic effects of pond drying and winterkill on the behavior of *Kinosternon flavescens* and *Chrysemys picta*. *Journal of Herpetology* 23:91-94.
- CHRISTIANSEN, J.L., COOPER, J.A., BICKHAM, J.W., GALLAWAY, B.J., Y SPRINGER, M.D. 1985. Aspects of the Natural History of the Yellow Mud Turtle *Kinosternon flavescens* (Kinosternidae) in Iowa: A Proposed Endangered Species. *The Southwestern Naturalist* 30:413-425.
- COMPTON, B.W., RHYMER, J.M., Y MCCOLLOUGH, M. 2002. Habitat selection by wood turtles (*Clemmys insculpta*): an application of paired logistic regression. *Ecology* 83:833-843.
- DODD, C.K., ENGE, K.M., Y STUART, J.N. 1988. Aspects of the biology of the flattened musk turtle, *Sternotherus depressus* in northern Alabama. *Bulletin of the Florida State Museum. Biological Sciences* 34:1-64.
- DONALDSON, B.M. Y ECHTERNACHT, A.C. 2005. Aquatic Habitat Use Relative to Home Range and Seasonal Movement of Eastern Box Turtles (*Terrapene carolina carolina*: Emydidae) in Eastern Tennessee. *Journal of Herpetology* 39:278-284.
- DORCAS, M.E. Y PETERSON, C.R. 1998. Daily body temperature variation in free-ranging rubber boas. *Herpetologica* 88-103.
- DOWNES, S. 2001. Trading heat and food for safety: costs of predator avoidance in a lizard. *Ecology* 82:2870-2881.
- DUBOIS, Y., BLOUIN-DEMERS, G., SHIPLEY, B., Y THOMAS, D. 2009. Thermoregulation and habitat selection in wood turtles *Glyptemys insculpta*: chasing the sun slowly. *Journal of Animal Ecology* 78:1023-32.
- DUDGEON, D., ARTHINGTON, A.H., GESSNER, M.O., KAWABATA, Z.I., KNOWLER, D.J., LÉVÉQUE, C., NAIMAN, R.J., PRIEUR-RICHARD, A.H., SOTO, D., Y STIASSNY, M.L. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews* 81:163-182.
- EDGREN, R.A. Y EDGREN, M.K. 1955. Thermo-Regulation in the Musk Turtle, *Sternotherus odoratus* Latreille. *Herpetologica* 213-217.
- EDWARDS, A. Y BLOUIN-DEMERS, G. 2007. Thermoregulation as a function of thermal quality in a northern population of painted turtles, *Chrysemys picta*. *Canadian Journal of Zoology* 85:526-535.
- ENNEN, J.R. Y SCOTT, A.F. 2013. Home Range Characteristics and Overwintering Ecology of the Stripe-Necked Musk Turtle (*Sternotherus minor peltifer*) in Middle Tennessee. *Chelonian Conservation and Biology* 12:199-203.
- ENRRÍQUEZ-MERCADO, I., MONTIEL-UGALDE, A., APARICIO, Á., MURILLO, E.G., BUTTERFIELD, T., Y MACIP-RÍOS, R. 2018. Population ecology and home range of the Mexican Rough-footed Mud Turtle (*Kinosternon hirtipes murrayi*) in Central Mexico. *Acta Herpetologica* 13:109-115.
- ERNST, C.H. 1972. Temperature-activity relationship in the painted turtle, *Chrysemys picta*. *Copeia* 217-222.

- 
- ERNST, C.H. 1982. Environmental temperatures and activities in wild spotted turtles, *Clemmys guttata*. Journal of Herpetology 112-120.
- ERNST, C.H. 1986. Ecology of the turtle, *Sternotherus odoratus*, in southeastern Pennsylvania. Journal of Herpetology 341-352.
- FEAGA, J.B. Y HAAS, C.A. 2015. Seasonal thermal ecology of bog turtles (*Glyptemys muhlenbergii*) in southwestern Virginia. Journal of Herpetology 49:264-275.
- FITZGERALD, L.A. Y NELSON, R.E. 2011. Thermal biology and temperature-based habitat selection in a large aquatic ectotherm, the alligator snapping turtle, *Macrochelys temminckii*. Journal of Thermal Biology 36:160-166.
- GIBBONS, J.W., GREENE, J.L., Y CONGDON, J.D. 1990. Temporal and spatial movement patterns of sliders and other turtles. En: Gibbons, J.W. (ed.). Life History and Ecology of the Slider Turtle. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 201-215.
- GRAHAM, T.E. Y HUTCHISON, V.H. 1979. Effect of temperature and photoperiod acclimatization on thermal preferences of selected freshwater turtles. Copeia 1979:165-169.
- GRAYSON, K.L. Y DORCAS, M.E. 2004. Seasonal temperature variation in the painted turtle (*Chrysemys picta*). Herpetologica 60:325-336.
- HALL, D.H. Y STEIDL, R.J. 2007. Movements, activity, and spacing of Sonoran mud turtles (*Kinosternon sonoriense*) in interrupted mountain streams. Copeia 2007:403-412.
- HAMMOND, K.A., SPOTILA, J.R., Y STANDORA, E.A. 1988. Basking Behavior of the Turtle *Pseudemys scripta*: Effects of Digestive State, Acclimation Temperature, Sex, and Season. Physiological Zoology 61:69-77.
- HERNÁNDEZ-GALLEGOS, O. Y DOMÍNGUEZ-VEGA, H. 2012. Seasonal changes in the dorsal coloration in the lizard *Aspidoscelis costata costata* (Squamata: Teiidae). Revista de Biología Tropical 60:405-412.
- HOFER, A. 1999. Welterstnanzucht der Weisskwehl-Klappschildkröte *Kinosternon scorpioides albogulare* Duméril y Bocourt. Emys 6:20-26.
- HUEY, R.B. 1982. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. En: Gans, C. y Pough, F.H. (eds.). Biology of the reptilia, ecology and behaviour. Academic Press, London. 25-92.
- HUEY, R.B. Y KINGSOLVER, J.G. 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. Trends in Ecology and Evolution 4:131-135.
- HUEY, R.B., PETERSON, C.R., ARNOLD, S.J., Y PORTER, W.P. 1989. Hot rocks and not-so-hot rocks: retreat-site selection by garter snakes and its thermal consequences. Ecology 70:931-944.
- HUEY, R.B. Y SLATKIN, M. 1976. Cost and benefits of lizard thermoregulation. Quarterly Review of Biology 363-384.
- HUTCHISON, V.H. Y KOSH, R.J. 1965. The effect of photoperiod on the critical thermal maxima of painted turtles (*Chrysemys picta*). Herpetologica 233-238.
- HUTCHISON, V.H., VINEGAR, A., Y KOSH, R.J. 1966. Critical thermal maxima in turtles. Herpetologica 32-41.
-

- 
- 
- HUTTO, R.L. 1985. Habitat selection by nonbreeding, migratory land. Habitat selection in birds Academic Press.
- IVERSON, J.B. 1981. Biosystematics of the *Kinosternon hirtipes* species group (Testudines: Kinosternidae). Tulane Studies in Zoology and Botany 23:1-74.
- IVERSON, J.B. 1986. Notes on the natural history of the Oaxaca mud turtle, *Kinosternon oaxacae*. Journal of Herpetology 20:119-123.
- IVERSON, J.B. 1989a. The Arizona Mud Turtle, *Kinosternon flavescens arizonense* (Kinosternidae), in Arizona and Sonora. The Southwestern Naturalist 34:356-368.
- IVERSON, J.B. 1989b. Natural History of the Alamos Mud Turtle, *Kinosternon alamosae* (Kinosternidae). The Southwestern Naturalist 34:134-142.
- IVERSON, J.B. 1999. Reproduction in the Mexican mud turtle *Kinosternon integrum*. Journal of Herpetology 33:144-148.
- IVERSON, J.B., LE, M., Y INGRAM, C. 2013. Molecular phylogenetics of the mud and musk turtle family Kinosternidae. Mol Phylogenet Evol 69:929-39.
- JANZEN, F.J., PAUKSTIS, G.L., Y BRODIE, E.D. 1992. Observations on basking behavior of hatchling turtles in the wild. Journal of Herpetology 26:217-219.
- KERR, G.D. Y BULL, C.M. 2006. Movement patterns in the monogamous sleepy lizard (*Tiliqua rugosa*): effects of gender, drought, time of year and time of day. Journal of Zoology 269:137-147.
- KRAUSMAN, P.R. 1999. Some basic principles of habitat use. En: Launchbaugh, K.L., Sanders, K.D., y Mosley, J.L. (eds.). Grazing behavior of livestock and wildlife. Idaho Forest, Wildlife and Range Experiment Station. University of Idaho. 85-90.
- LACHER, T.E., ALHO, C.J.R., Y PEREIRA, I.G.T. 1986. The relation between cloacal temperature and ambient temperature in five species of Brazilian turtles. Revista Brasileira de Biologia 46:563-566.
- LEGLER, J. Y VOGT, R.C. 2013. The turtles of Mexico: Land and freshwater forms. Univ of California Press.
- LEMONS-ESPINAL, J.A. Y SMITH, H.M. 2009. Anfíbios y Reptiles del Estado de Chihuahua/Amphibians and Reptiles of the State of Chihuahua, México. CONABIO. México.
- LIGON, D.B. Y PETERSON, C.C. 2002. Physiological and behavioral variation in estivation among mud turtles (*Kinosternon spp.*). Physiological and Biochemical Zoology 75:283-293.
- LINDEMAN, P.V. 1993. Aerial basking by hatchling freshwater turtles. Herpetological Review 24:84-87.
- LITVAITIS, J.A. 2000. Investigating food habits of terrestrial vertebrates. Research techniques in animal ecology: controversies and consequences 165-190.
- LITZGUS, J.D. Y MOUSSEAU, T.A. 2004. Home range and seasonal activity of southern spotted turtles (*Clemmys guttata*): implications for management. Copeia 2004:804-817.

- 
- LUNA, I., MORRONE, J., Y ESPINOSA, D. 2007. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. CONABIO-UNAM. México.
- MACIP-RÍOS, R. 2005. Ecología poblacional e historia de vida de la tortuga *Kinosternon integrum* en la localidad de Tonicato, Estado de México. Tesis de Maestría. UNAM. México.
- MAHMOUD, I. 1969. Comparative ecology of the kinosternid turtles of Oklahoma. *The Southwestern Naturalist* 31:66.
- MCINTYRE, N.E. Y WIENS, J.A. 1999. Interactions between landscape structure and animal behavior: the roles of heterogeneously distributed resources and food deprivation on movement patterns. *Landscape Ecology* 14:437-447.
- MEEK, R. Y AVERY, R. 1988. Mini-review: Thermoregulation in chelonians. *Journal of Herpetology* 1:253-259.
- MILAM, J.C. Y MELVIN, S.M. 2001. Density, habitat use, movements, and conservation of spotted turtles (*Clemmys guttata*) in Massachusetts. *Journal of Herpetology* 418-427.
- MORALES-VERDEJA, S.A. Y VOGT, R.C. 1997. Terrestrial Movements in Relation to Aestivation and the Annual Reproductive Cycle of *Kinosternon leucostomum*. *Copeia* 1997:123-130.
- MORREALE, S.J., GIBBONS, J.W., Y CONGDON, J.D. 1984. Significance of activity and movement in the yellow-bellied slider turtle (*Pseudemys scripta*). *Canadian Journal of Zoology* 62:1038-1042.
- MORRISON, M.L., MARCOT, B., Y MANNAN, W. 1992. Wildlife-habitat relationships: concepts and applications. Island Press.
- PÉREZ-PÉREZ, A. 2011. Movimientos espaciales y termorregulación de *Kinosternon integrum* en Tonicato, Estado de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- PÉREZ-PÉREZ, A. 2014. Actividad terrestre de *Kinosternon integrum* asociada a la estivación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- PÉREZ-PÉREZ, A., LÓPEZ-MORENO, A.E., SUÁREZ-RODRÍGUEZ, O., RHEUBERT, J.L., Y HERNÁNDEZ-GALLEGOS, O. 2017. How far do adult turtles move? Home range and dispersal of *Kinosternon integrum*. *Ecology and evolution* 7:8220-8231.
- PETERSON, C., GIBSON, A., Y DORCAS, M. 1993. Snake thermal ecology: the causes and consequences of body-temperature variation. *Snakes: Ecology and behavior* 241-314.
- PETERSON, C. Y STONE, P. 2000. Physiological capacity for estivation of the Sonoran mud turtle, *Kinosternon sonoriense*. *Copeia* 2000:684-700.
- PETERSON, C.C. 1987. Thermal relations of hibernating painted turtles, *Chrysemys picta*. *Journal of Herpetology* 16-20.
- PICARD, G., CARRIÈRE, M.-A., Y BLOUIN-DEMERS, G. 2011. Common musk turtles (*Sternotherus odoratus*) select habitats of high thermal quality at the northern extreme of their range. *Amphibia-Reptilia* 32:83-92.
-

- 
- PLUMMER, M., MILLS, N., Y ALLEN, S. 1997. Activity, habitat, and movement patterns of softshell turtles (*Trionyx spiniferus*) in a small stream. *Chelonian Conservation and Biology* 2:514-520.
- PLUMMER, M.V., CRABILL, T.L., MILLS, N.E., Y ALLEN, S.L. 2005. Body temperatures of free-ranging softshell turtles (*Apalone spinifera*) in a small stream. *Herpetological Review* 36:371-374.
- ROE, J.H. Y GEORGES, A. 2007. Heterogeneous wetland complexes, buffer zones, and travel corridors: landscape management for freshwater reptiles. *Biological Conservation* 135:67-76.
- ROE, J.H. Y GEORGES, A. 2008. Terrestrial activity, movements and spatial ecology of an Australian freshwater turtle, *Chelodina longicollis*, in a temporally dynamic wetland system. *Austral Ecology* 33:1045-1056.
- ROW, J.R. Y BLOUIN-DEMERS, G. 2006. Thermal quality influences effectiveness of thermoregulation, habitat use, and behaviour in milk snakes. *Oecologia* 1-11.
- ROWE, J.W. 2003. Activity and movements of midland painted turtles (*Chrysemys picta marginata*) living in a small marsh system on Beaver Island, Michigan. *Journal of Herpetology* 37:342-354.
- ROWE, J.W. Y DALGARAN, S.F. 2010. Home range size daily movements of midland Painted Turtles (*Chrysemys picta marginata*) in relation to body size, sex, and weather patterns. *Herpetological Conservation and Biology* 5:461-473.
- ROWE, J.W., LEHR, G.C., MCCARTHY, P.M., Y CONVERSE, P.M. 2009. Activity, Movements and Activity Area Size in Stinkpot Turtles (*Sternotherus odoratus*) in a Southwestern Michigan Lake. *The American Midland Naturalist* 162:266-275.
- ROSE, F. 1980. Turtles in arid and semi-arid regions. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 61, 89.
- SAJWAJ, T. Y LANG, J. 2000. Thermal Ecology of Blanding's Turtle in Central Minnesota. *Chelonian Conservation and Biology* 3:6626-636.
- SCHAFFER, J.L. Y GRAHAM, J.W. 2002. Missing data: our view of the state of the art. *Psychological methods* 7:147.
- SHINE, R. 1980. "Costs" of reproduction in reptiles. *Oecologia* 46:92-100.
- SPOTILA, J., O'CONNOR, M., Y BAKKEN, G. 1992. Biophysics of heat and mass transfer. *Environmental physiology of the amphibians*. The University of Chicago Press, Chicago 59-80.
- STARK, R.C., FOX, S.F., Y LESLIE JR, D.M. 2005. Male Texas Horned Lizards increase daily movements and area covered in spring: A mate searching strategy? *Journal of Herpetology* 39:169-173.
- STONE, P.A. 2001. Movements and demography of the Sonoran mud turtle, *Kinosternon sonoriense*. *The Southwestern Naturalist* 41-53.
- SWINGLAND, I.R. 1984. Intraspecific differences in movement. En I.R. Swingland y P.J. Greenwood (Eds.) *The Ecology of Animal Movement*. (pp.102-115). New York, Oxford University Press.
- SWITZER, P.V. 1993. Site fidelity in predictable and unpredictable habitats. *Evolutionary Ecology*, 7(6), 533-555.

- 
- TUTTLE, S.E. Y CARROLL, D. 1997. Ecology and natural history of the wood turtle (*Clemmys insculpta*) in southern New Hampshire. *Chelonian Conservation and Biology* 2:447-449.
- VON ENDE, C.N. 1993. Repeated-measures analysis: growth and other time-dependent measures. En: Scheiner, S.M. y Gurevitch, J. (Eds.). *Design and analysis of ecological experiments*. Chapman and Hall, New York. 113-137.
- WEBB, J.K. Y SHINE, R. 1998. Using thermal ecology to predict retreat-site selection by an endangered snake species. *Biological Conservation* 86:233-242.
- WEBB, J.K. Y WHITING, M.J. 2005. Why don't small snakes bask? Juvenile broad-headed snakes trade thermal benefits for safety. *Oikos* 110:515-522.
- WILSON, L.D., MATA-SILVA, V., Y JOHNSON, J.D. 2013. A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian and Reptile Conservation* 7:1-47.
- WYGODA, M.L. 1979. Terrestrial activity of striped mud turtles, *Kinosternon baurii* (Reptilia, Testudines, Kinosternidae) in west-central Florida. *Journal of Herpetology* 469-480.
- ZAPPALORTI, R. Y IVERSON, J. 2006. *Sternotherus minor* – Loggerhead Musk Turtle. En: Meylan, P.A. (ed.). *Biology and Conservation of Florida Turtles*. Chelonian Research Monographs. Chelonian Research Foundation, Lunenburg, Massachusetts. 197-206.
- ZAR, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Pearson. New Jersey.
- ZUUR, A., IENO, E.N., WALKER, N., SAVELIEV, A.A., Y SMITH, G.M. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer. New York.