



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

**Evaluación de las condiciones ambientales sobre el éxito de eclosión
de *Sceloporus aeneus* (Squamata: Phrynosomatidae) en un ambiente
templado.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

P r e s e n t a

Gabriela Esquivel Pineda

Codirectores:

Dr. Fausto Roberto Méndez de la Cruz

Dr. Aníbal Helios Díaz de la Vega Pérez

Tlaxcala, Tlax.

Enero, 2024



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Evaluación de las condiciones ambientales sobre el éxito de eclosión de *Sceloporus aeneus* (Squamata: Phrynosomatidae) en un ambiente templado.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Gabriela Esquivel Pineda

Comité Tutorial

Dr. Fausto Roberto Méndez de la Cruz

Dr. Aníbal Helios Díaz de la Vega Pérez

Dra. Norma Leticia Manríquez Morán

Dr. Amando Bautista Ortega

Dr. Rafael Alejandro Lara Reséndiz

Tlaxcala, Tlax.

Enero, 2024

Financiamiento

- 1) Proyecto de Cátedras CONAHCYT: Aproximación ecofisiológica para la conservación del Parque Nacional La Malinche (Número de proyecto: 883).
- 2) Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT-UNAM) por el apoyo económico otorgado (Número de proyecto: IN 212119).
- 3) Beca de maestría CONAHCYT (Número: 1151048).

La Maestría en Ciencias Biológicas pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) en la categoría de programa consolidado.



**COORDINACIÓN MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
P R E S E N T E**

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que Gabriela Esquivel Pineda realiza para la obtención del grado de Maestro en Ciencias Biológicas, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es "Evaluación de las condiciones ambientales sobre el éxito de eclosión de *Sceloporus aeneus* (Squamata: Phrynosomatidae) en un ambiente templado".

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
TLAXCALA, TLAX., A 18 DE NOVIEMBRE DEL 2023

DRA. NORMA LETICIA MANRÍQUEZ MORÁN

DR. FAUSTO ROBERTO MÉNDEZ DE LA CRUZ

DR. AMANDO BAUTISTA ORTEGA

DR. JORGE VÁZQUEZ PÉREZ

DR. MIGUEL ADRIÁN DOMÍNGUEZ GODOY



CENTRO TLAXCALA DE BIOLOGÍA DE LA CONDUCTA
Coordinación de la División de Ciencias Biológicas
Secretaría de Investigación Científica y Posgrado

**COMITÉ ACADÉMICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Sirva este medio para describir el proceso de revisión de la tesis realizada por la estudiante **Gabriela Esquivel Pineda** titulada “Evaluación de las condiciones ambientales sobre el éxito de eclosión de *Sceloporus aeneus* (Squamata: Phrynosomatidae) en un ambiente templado” para optar por su grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**.

El documento de la tesis de Gabriela Esquivel Pineda fue revisado por los codirectores de tesis antes de presentarse en cada examen tutorial, y posteriormente a los exámenes tutorales, los miembros del comité tutorial realizaron sus respectivas observaciones. De manera que el documento, llevó un proceso de revisión por el comité tutorial y el jurado de examen, los cuales son expertos en el tema. En el mes de diciembre del 2023, el documento final de la tesis fue procesado con el programa de Turnitin, dando como resultado 6% de similitud con textos publicados. Procedí a evaluar cada una de las coincidencias y los textos detectados con similitud fueron “frases de uso común” e “instrucciones o plantillas”. Posterior a descartar las coincidencias de estos dos tipos, el programa Turnitin arrojó un resultado de 0% de similitudes con textos previamente publicados.

Por lo anterior, confirmo que la estudiante **no incurrió en ninguna práctica no deseable** en la escritura de la tesis basándome en el análisis de Turnitin.

Sin más por el momento, reciban atentos saludos.

CORDIALMENTE
Tlaxcala, Tlax., a 7 de diciembre del 2023

Dr. Anibal Helios Diaz de la Vega Pérez
Director de tesis



Sistema Institucional de Autogestión de la Calidad Certificado bajo la Norma:
ISO 9001:2015-NMX-CC-9001-DMNC-2015

Agradecimientos

A la Maestría en Ciencias Biológicas del Programa para el Fortalecimiento del Posgrado Nacional. Padrón Nacional de Posgrados (PNP) y al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, por las facilidades otorgadas durante mi formación académica.

A mis directores de tesis el Dr. Fausto R. Méndez de la Cruz y el Dr. Aníbal H. Díaz de la Vega Pérez. A mi comité tutor: Dra. Norma L. Manríquez Moran, Dr. Amando Bautista Ortega y Dr. Rafael A. Lara Reséndiz.

A las familias que integran el centro ecoturístico Finca Ayacahuite, Árboles de Navidad Huitzilac, al Sr. Refugio Castelán Juárez y su familia por las facilidades y el apoyo durante la fase de campo.

Al laboratorio de Edafología de la FES Iztacala, al M. en C. Francisco López Galindo y al Dr. Fernando Ayala Niño por la asesoría y el préstamo de las instalaciones y del equipo para los análisis de suelo.

Al M. en C. Felipe Correa Sánchez por su ayuda en los análisis de suelo.

Agradecimientos personales

A mis padres, quienes siempre han sido los mejores guías de vida, gracias por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles y en las horas de estudio. A mis hermanas quienes me ayudaron y estuvieron pendientes.

A mis amigos Alberto Acosta y Omar Ramírez por todos los consejos, su gran apoyo en los momentos de estrés y alegría, gracias por seguir conmigo. A Sandra Arias, Felipe Correa y Raúl Rivera por su amistad, sus consejos y apoyo a lo largo de mi formación. A Gerry y a Delfino por siempre darme ánimo.

A mis directores de tesis, el Dr. Fausto Méndez y el Dr. Aníbal Díaz de la Vega, por su experiencia compartida, su paciencia y la disposición que siempre tuvieron para ayudarme. Al comité tutorial Dra. Norma Manríquez, Dr. Amando Bautista y al Dr. Rafael Lara por todos los comentarios y sugerencias dados para mejorar este proyecto.

A mis compañeras Mirna y Cynthia quienes me apoyaron con equipo y software.

Al Sr. Refugio Castelán y a la Sra. Gloria, quienes dedicaron su tiempo en ayudarme en el muestreo y la toma de datos y de quienes me llevo una bonita amistad.

1. Resumen

En organismos ovíparos, la etapa de huevo dentro del nido es el periodo más vulnerable para el embrión, por lo tanto, la elección de la temporada y el sitio de anidación son fundamentales para asegurar el éxito de eclosión de las crías. Esto es trascendental para especies semélparas, las cuales, solo tienen una oportunidad de preservar su genoma. Este estudio abordó el efecto de la temperatura y humedad ambiental sobre el periodo de incubación y el éxito de eclosión de *Sceloporus aeneus*. Además, se determinó la temporada y el periodo de oviposición, así como los factores microambientales y estructurales de los nidos en un bosque templado de la localidad de Tres Marías, Morelos. Se caracterizaron las condiciones térmicas e hídricas del ambiente a lo largo de la temporada de anidación, así como las características estructurales y térmicas de los nidos. El incremento en la humedad ambiental, asociado a la temporada de lluvias, promueve el inicio de la temporada de anidación, la cual se desarrolla en los meses de junio a septiembre con dos picos de oviposición. En total se localizaron 91 nidos de los cuales seis fueron comunales. Los sitios preferidos para anidar fueron los montículos de tierra franco-arenosa. Los periodos de incubación van desde los 13 a los 175 días de forma exitosa, el tiempo promedio de incubación fue de 67.12 ± 30.9 días y no fue diferente entre los dos picos de anidación. El éxito de eclosión promedio fue de $95.1 \pm 10.1\%$ y se mantuvo constante a pesar de los diferentes tiempos de incubación. Las condiciones ambientales presentes durante la anidación permiten la eclosión exitosa de las crías. La temperatura en la que se incuban los huevos está influenciada de forma positiva por la temperatura del ambiente, por lo que, las hembras de *S. aeneus* previenen la exposición de los huevos a temperaturas o condiciones hídricas letales al elegir adecuadamente sitios para construir el nido, los cuales se favorecen por la radiación solar diaria y la poca pérdida de agua. En conclusión, tanto las hembras como los embriones dentro del huevo han podido adaptarse a las diferentes condiciones de anidación, es por ello que a pesar de los diferentes tiempos de incubación el éxito de eclosión se mantiene alto.

Índice

1. Resumen	vi
2. Introducción	11
3. Antecedentes	12
4. Justificación.....	14
5. Hipótesis.....	15
6. Objetivo general	16
7. Objetivos particulares.....	16
8. Materiales y métodos	16
8.1. Modelo de estudio	16
8.2. Área de estudio	17
8.3. Trabajo de campo.....	18
8.3.1. Caracterización de los sitios de anidación.....	19
8.3.2. Caracterización de los nidos.....	19
8.4. Éxito de eclosión.....	22
8.5. Análisis de datos	23
9. Resultados	24
9.1. Caracterización de los sitios de anidación	24
9.2. Caracterización de los nidos	27
9.3. Tiempo de incubación.....	32
9.4. Éxito de eclosión.....	35

9.5. Efecto de las condiciones ambientales sobre el periodo de incubación y el éxito de eclosión.	35
10. Discusión.....	38
11. Conclusiones	45
12. Bibliografía citada.....	45
Anexo 1. Escala de tamaños y nomenclatura de Wentworth, Diagrama ternario y nomenclatura de sedimentos y nomenclatura de gravas, arenas y lodos.	53
Anexo 2. Triángulo de texturas.	56
Anexo 3. Análisis estadísticos realizados para buscar diferencias en la temperatura y humedad ambiental, el número de nidos, número de huevos y porcentaje de vegetación.	56
Índice de Figuras	
Figura 1. Sitio de muestreo en Tres Marías, Huitzilac, Morelos.....	18
Figura 2. Ejemplificación de la toma de altura total de árboles.	21
Figura 3. Fotografía de 120° de observación tomada a la vegetación que rodea al nido.	22
Figura 4. Temperatura ambiental de febrero 2022 a febrero 2023 en el sitio de anidación.	25
Figura 5. Humedad ambiental de febrero 2022 a febrero 2023 en el sitio de anidación.	25
Figura 6. Climograma que muestra las diferencias ambientales observadas en el sitio de estudio durante los meses de febrero 2022 a febrero 2023.	26
Figura 7. Nidos de <i>S. aeneus</i>	28
Figura 8. Número de nidos localizados y eclosionados por día de muestreo.	28
Figura 9. Temperatura de incubación promedio durante los dos picos de anidación.....	31
Figura 10. Tiempo de incubación durante los dos picos de anidación.	32
Figura 11. Temperatura de incubación promedio por día de incubación durante los dos picos de anidación.....	33

Figura 12. Climograma que muestra el % de humedad ambiental, la temperatura ambiental y la temperatura de incubación de <i>S. aeneus</i> durante los meses de febrero 2022 a febrero 2023. .	34
Figura 13. Exito de eclosión de <i>S. aeneus</i> en los dos picos de anidación.	35
Figura 14. Relación de la temperatura ambiental promedio y la temperatura de incubación promedio.	36
Figura 15. Relación de la humedad ambiental promedio y la temperatura de incubación promedio.	36
Figura 16. Efecto de la temperatura de incubación promedio sobre el tiempo de incubación. .	37
Figura 17. Efecto de la temperatura de incubación promedio sobre el éxito de eclosión.	38
Figura 18. Diagrama ternario y nomenclatura de sedimentos terrígenos.	54
Figura 19. Triángulo de textura.	56
Figura 20. Diferencias en la temperatura y humedad ambiental de los dos picos de anidación.	57
Figura 21. Número de nidos construidos por pico de anidación.	58
Figura 22. Número de huevos ovipositados por pico de anidación.	58
Figura 23. Porcentaje de vegetación en los nidos durante los dos picos de anidación.	59
Figura 24. Pendiente registrada en los nidos durante el primer y segundo pico de anidación. .	60
Figura 25. Orientación en la cual se encontraron los nidos durante el primer y segundo pico de anidación.	60

Índice de Tablas

Tabla 1. Número de nidos y número de huevos por pico de anidación.	29
Tabla 2. Efecto de la temperatura y humedad ambiental sobre la profundidad y el tamaño del nido durante los dos picos de anidación.	30
Tabla 3. Escala de tamaños y nomenclatura de Wentworth.	53
Tabla 4. Nomenclatura para gravas, arenas y lodos de acuerdo con el diagrama ternario.	55
Tabla 5. Resultado de los análisis estadísticos realizados a cada variable para buscar diferencias entre los dos picos de anidación.	56

Tabla 6. Medidas de los nidos y resultado de la prueba estadística de las diferencias entre los dos picos de anidación.....	59
Tabla 7. Distancias del nido a la vegetación.	61

2. Introducción

Los reptiles no aviares ovíparos regularmente depositan sus huevos en nidos totalmente expuestos a los factores ambientales y en algunos casos sin cuidados parentales (Doody y cols. 2009; Zabaleta-Lizárraga 2013; Ma 2023). Es por ello que la etapa de huevo dentro del nido es el periodo más vulnerable para el embrión (Andrews 1982; Shine y Harlow 1996; Shine 2005; Du y cols. 2023) y, por lo tanto, la elección de la temporada y el sitio de anidación se vuelven fundamentales para asegurar el éxito de eclosión (Lara-Reséndiz y cols. 2013; Hernández-Gallegos y cols. 2021). Particularmente, en especies que producen pocas nidadas se incrementa el riesgo de que los huevos no sobrevivan y su genoma quede eliminado de la población (Andrews 1982; Doody y cols. 2009; Ma 2023). De esta forma, las hembras no solo tienen que obtener los recursos para producir huevos (Parker y Andrews 2007; Manríquez-Morán y cols. 2013; Ma y cols. 2022), también deben tener la capacidad de evaluar la idoneidad de los sitios de anidación disponibles y elegir el mejor para promover el correcto desarrollo embrionario (Resetarits 1996; Telemeco 2009; Ma 2014; Beltrán y cols. 2020). Por lo tanto, la adecuada elección del sitio en la temporada apropiada ayuda a incrementar el éxito de eclosión y la sobrevivencia de las crías recién eclosionadas (Shine y Harlow 1996; Shine 2005; Hernández-Gallegos y cols. 2021). Al mismo tiempo, el momento de la reproducción y la puesta de huevos pueden estar determinados por la estacionalidad ambiental (García-Collazo 2015; Hernández-Gallegos y cols. 2021). Por esta razón, en zonas templadas existen especies con patrones reproductivos estacionales, en donde se presentan periodos alternos de actividad e inactividad gonadal, por lo que, la actividad reproductiva se establece en determinada época del año (Manríquez-Morán y cols. 2013; Manríquez-Morán y cols. 2023). Sin embargo, entre especies o poblaciones ovíparas, los patrones reproductivos también pueden estar influenciados por el periodo de actividad reproductiva, el tamaño de la nidada y la frecuencia de la nidada, por lo cual, la temporada de apareamiento es determinada por las hembras (Manríquez-Morán y cols. 2023). Por ende, el entorno de cada sitio de anidación e incluso cada nido, pueden presentar diferentes condiciones, factores y riesgos (e.g. temperatura, humedad, vegetación,

depredadores), que afectan la puesta de huevos y su desarrollo (Resetarits 1996; Warner y Andrews 2002; Beltrán y cols. 2020).

En este sentido, las hembras son capaces de construir nidos de diferentes profundidades (Li y cols. 2019) y así amortiguar la alta o baja temperatura ambiental que se presente durante la incubación (Beltrán y cols. 2020; Hernández-Gallegos y cols. 2021) la cual puede retardar o detener el desarrollo embrionario (Angilletta y cols. 2000). Esta selección también ayuda a evitar el exceso de humedad que provoca infecciones por hongos o microorganismos (Warner y Andrews 2002; Lara-Reséndiz y cols. 2013) y la desecación que afecta el tiempo que dura la incubación y el porcentaje de eclosión (Hernández-Gallegos y cols. 2021) debido a que el embrión en desarrollo no puede seguir absorbiendo agua y por ende no puede continuar con su crecimiento (Warner y Andrews 2002). De esta forma, las hembras apuestan a que la temperatura y la humedad interna del nido se mantendrá estable durante la incubación (Ma 2023), especialmente en especies que solo tienen un evento reproductivo (i.e. semélparas), por lo tanto solo una oportunidad de preservar su genoma (Rodríguez-Romero y cols. 2011).

Dado que las condiciones ambientales de los sitios de anidación y las características de los nidos pueden influenciar el fenotipo y la historia de vida de las crías, (e.g. talla, proporción de sexos, tasa de crecimiento, preferencias térmicas, desempeño locomotor y escape de depredadores; Ma 2014; Li y cols. 2019; Beltrán y cols. 2020); en este estudio se evaluó el efecto de las condiciones del ambiente sobre el periodo de incubación y el éxito de eclosión de una especie de lagartija ovípara.

3. Antecedentes

Gran parte del conocimiento acerca de la elección del sitio de anidación y sus efectos sobre el desarrollo de los embriones provienen de los estudios realizados en aves (Ferrer y cols. 2010; Barba-Bedolla y Mendoza-Cuenca 2017). Se ha observado que, como parte de su comportamiento de cuidado parental, las hembras invierten energía para mantener la estabilidad térmica del nido durante la incubación y el empollamiento, pues así incrementan la probabilidad

de supervivencia y el buen desarrollo de la progenie (Farmer 2000; Barba-Bedolla y Mendoza-Cuenca 2017). Sin embargo, en los reptiles no aviares, algunas especies ovíparas no presentan comportamientos que impliquen el cuidado de la progenie, por lo que dependen totalmente de las condiciones del ambiente para mantener la supervivencia y el desarrollo de los embriones dentro del nido (Warner y Andrews 2002; Doody y cols. 2009). En este caso, la temperatura y la humedad ahí presentes son los factores ambientales que intervienen principalmente en el éxito de eclosión (Warner y Andrews 2002). Del mismo modo, la composición granulométrica del sustrato y en algunos casos la salinidad interviene en el desarrollo embrionario de los huevos y en algunas especies en la proporción sexual, debido a que estos factores interactúan con la temperatura y humedad dentro del nido (Medina-Cruz y cols. 2010; Sandoval-Espinoza 2012).

Bajo manipulación experimental, simulando el calentamiento global y las actividades humanas que cambian el uso de suelo, se ha reconocido que, en algunas especies de lagartijas, las hembras pueden modificar su comportamiento para elegir el sitio, la profundidad y el largo del nido que construyen para el adecuado desarrollo de los embriones (Shine y Harlow 1996; Beltrán y cols. 2020). Estos cambios provocan variación térmica entre los nidos e influyen en el periodo de incubación en el cual se desarrolla el embrión, pues huevos incubados a temperaturas frías tardan más tiempo en desarrollarse dentro del huevo en comparación con los incubados a temperaturas altas (Shine y Harlow 1996; Shine 1999). A su vez, estas condiciones microambientales internas del nido influyen en la adecuación, el crecimiento y el desarrollo de las crías al eclosionar (Ma y cols. 2014; Li y cols. 2018; Beltrán y cols. 2020; Pruett y cols. 2020). Por ejemplo, huevos incubados a temperaturas altas resultan en crías más pequeñas, con tasas de crecimiento más bajas y con problemas en su desempeño locomotor que las incubadas a temperaturas frías (Shine 1999; Beltrán y cols. 2020). Sin embargo, se cree que una forma en la que las hembras pueden responder a este problema es adelantando la época de anidación, construyendo nidos más profundos o anidando en sitios sombreados (Telemeco y cols. 2009).

El comportamiento de las hembras para elegir el sitio y la temporada de anidación está influenciado por la temporalidad de diversos factores ambientales y las condiciones de los sitios

en donde habitan (García-Pareja 2017). Se ha observado que en sitios cálidos y de baja elevación las hembras de *Aspidoscelis costatus* anidan bajo rocas al comienzo de la temporada de lluvias (Lara-Reséndiz y cols. 2013; Hernández-Gallegos y cols. 2021). De este modo las hembras evitan los efectos letales de las altas temperaturas que hay en esos sitios y aseguran el éxito de eclosión. Mientras que las hembras de *Phrynosoma asio* construyen su nido a mayores profundidades (111 mm) en sitios que carecen de vegetación y asociados a hormigueros expuestos directamente a la radiación solar. De esta manera, evitan el impacto del sitio por el pastoreo y permiten que al eclosionar las crías se desarrollen en un ambiente térmico e hídrico favorable y con alimento suficiente, sin embargo, el éxito de eclosión puede verse afectado por la presencia de depredadores como las larvas de mosca (García-Pareja 2017).

Dentro del género *Sceloporus*, algunas hembras pueden llegar a retener los huevos hasta que las condiciones ambientales de los sitios sean adecuadas para su incubación (Warner y Andrews 2002; García-Collazo y cols. 2015). Por ejemplo, bajo condiciones controladas *S. aeneus*, puede responder a los diferentes regímenes temporales y espaciales del ambiente, seleccionando activamente microclimas específicos para anidar (Jiménez-Arcos 2013; Li y cols. 2018; Pruett y cols. 2020). Al ser una especie semélpara y de esperanza de vida corta (promedio 8 meses; Rodríguez-Romero 2004), *S. aeneus* inicia el periodo de incubación con la temporada de lluvias, cuando la humedad del ambiente es más alta (Gómez 2005), de este modo, las condiciones ambientales disponibles cuando las crías eclosionan son favorables (julio-septiembre, Gómez 2005; julio-agosto, Manríquez-Morán y cols. 2013) para poder llegar a la etapa adulta y reproductiva (Ma y cols. 2022).

4. Justificación

Actualmente existe una gran cantidad de estudios realizados con *Sceloporus aeneus* ya que, al ser una especie con amplia distribución en las zonas montañosas del centro del país, esta se ha caracterizado por ser un buen modelo para evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre su fenología reproductiva, en la cual se describe un patrón reproductivo estacional y la facultad de las hembras para producir una o dos nidadas por temporada (Manríquez-Morán y

cols. 2023). Además, esta especie presenta una gran capacidad de retención de huevos y un alto desarrollo embrionario intrauterino en poblaciones de baja elevación, por lo que estas características se consideran un paso intermedio a la viviparidad (Guillette 1982; Méndez-de la Cruz y cols. 1998; García-Collazo y cols. 2012). Estos aspectos han ayudado a comprender y evaluar su demografía con la cual se determinó que presenta estrategias de tipo semélparo con madurez sexual temprana y tiempo generacional corto (Rodríguez-Romero 2004). Por otro lado, esta especie es un termorregulador eficiente en zonas abiertas y en elevaciones cercanas a los 3 530 msnm, sin embargo, algunos autores sugieren que su distribución altitudinal se ve limitada por los requerimientos de los huevos dentro del nido y no de los adultos, de modo que, se encuentra en el límite de la distribución altitudinal de las lagartijas ovíparas en México (Lara-Reséndiz 2008; Lara-Reséndiz y cols. 2014). Debido a que se desconoce el efecto de las condiciones ambientales sobre el tiempo de incubación y el éxito de eclosión, la descripción detallada de la temperatura y la humedad ambiental en los sitios de anidación y las características estructurales y microambientales de los nidos *in situ*, brindarán una mejor comprensión de las condiciones que las hembras eligen para asegurar la supervivencia de la prole y consecuentemente de su población. Por otra parte, con la crisis ambiental y las actividades humanas que modifican el hábitat, se producen efectos negativos en las poblaciones (Lara-Reséndiz y cols. 2019), por lo que, la información recabada también aportará información sobre la capacidad de resistencia de los embriones a los entornos de anidación, con el fin de mantener poblaciones estables y posibles estrategias de conservación.

5. Hipótesis

La temperatura ambiental y de incubación influyen positivamente en el desarrollo y eclosión de los huevos de las lagartijas ovíparas semélparas de ambientes templados. Por lo tanto, la temperatura ambiental alta presente durante la incubación de los huevos de *Sceloporus aeneus* promueve periodos cortos de incubación y mayor éxito de eclosión.

6. Objetivo general

Evaluar el efecto de las condiciones ambientales sobre el periodo de incubación y el éxito de eclosión de *Sceloporus aeneus*.

7. Objetivos particulares

- Determinar la temporada y el periodo de oviposición e incubación de *S. aeneus*.
- Identificar los factores ambientales que intervienen en la eclosión de las crías de *S. aeneus*.
- Identificar los factores microambientales y estructurales del nido que intervienen en la eclosión de las crías de *S. aeneus*.

8. Materiales y métodos

8.1. Modelo de estudio

Sceloporus aeneus, es una especie ovípara de la familia Phrynosomatidae, que habita en un intervalo de elevación de los 1 800 a los 3 600 msnm (Lara-Reséndiz y cols. 2014), aunque es posible encontrarla hasta los 4 000 msnm (Chávez-León y Lemos-Espinal 2021). Esta especie es pequeña, la longitud hocico-cloaca (LHC) promedio de las hembras es de 51 mm y en machos de 52 mm. Presenta un ciclo reproductor de tipo primaveral con cópulas durante los meses de marzo a mayo y con nidadas depositadas en la tierra entre mayo y junio, con la eclosión de las crías entre julio y agosto (Manríquez-Morán y cols. 2013; Méndez-de la Cruz y cols. 2018). Es una especie endémica de México, que habita en bosques de pino-encino, zacatones y zonas alteradas de bosque de pino y pastizales inducidos (Rodríguez-Romero y cols. 2023) en las zonas altas y montañosas de los estados de Guanajuato, Michoacán, Morelos, Hidalgo, Querétaro, Estado de México y Ciudad de México, mismos que se encuentran dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (Bryson y cols. 2021). Son organismos diurnos y termorreguladores activos con temperatura corporal promedio de 34.2 °C; se mantienen activos con temperaturas ambientales superiores a los 14 °C durante un periodo de actividad desde las 8:00 hasta las 18:00

h. (Lara-Reséndiz 2008). No tiene estatus de protección nacional (NOM 059, SEMARNAT 2010).

8.2. Área de estudio

La localidad de Tres Marías se ubica en el municipio de Huitzilac en el Estado de Morelos (Figura 1). Pertenece a la cadena montañosa de la Faja Volcánica Transmexicana ubicándose en las coordenadas 19° 03' 18.56" de latitud Norte y los 99° 15' 15.38" de longitud Oeste, con alturas entre los 2 250 y 3 650 msnm (Contreras-Macbeath y Urbina 2015, INAFED sin fecha). Limita al norte con el Estado de México y la Ciudad de México, al sur con los municipios de Cuernavaca y Tepoztlán (Acosta 2018).

De acuerdo con la modificación al sistema de clasificación climática de Köppen realizada por García (1988), el clima presente en el municipio de Huitzilac por debajo de los 3 000 msnm es templado húmedo C (w2) (w) big, presentando una temperatura media anual de 12.3 °C, con temperaturas medias mensuales de 10 a 13 °C, siendo los meses de mayo y junio los más calientes (INEGI, 2022). El tipo de vegetación predominante comprende bosques de pino, encino, oyamel y roble, además de pastizales naturales e inducidos y sitios de cultivo. Mientras que las especies de fauna que se pueden encontrar son mayormente de afinidades neárticas como musarañas, conejo y teporingo (Vega y cols. 2010; INAFED sin fecha).



Figura 1. Sitio de muestreo (polígonos rosas) en la localidad de Tres Marías en el municipio de Huitzilac, Morelos (polígono amarillo).

8.3. Trabajo de campo

Se realizaron muestreos semanales constantes durante el periodo de cópulas (febrero-mayo), durante el periodo de anidación e incubación (mayo-julio) y en la eclosión (agosto-hasta no tener nidos activos) en el sitio de estudio (Manríquez-Morán y cols. 2013; Méndez-de la Cruz y cols. 2018). Se realizó una búsqueda directa y aleatoria de los nidos de *S. aeneus* en los montículos de tierra que las tuzas expulsan cuando construyen sus túneles (Sánchez-Herrera 1980; Gillette 1986; García-Collazo 2015), para localizar el mayor número de nidos en el sitio, también se buscaron bajo pasto, hojarasca y aserrín, excavando o levantando el sustrato según el caso y con ayuda de instrumentos para jardinería. El esfuerzo de muestreo fue de 5 h/ persona/ día.

Cada nido localizado se registró geográficamente con un receptor GPS y fue marcado con una estaca con una cinta indicando la fecha de localización, número de nido y número de huevos. Cada nido se monitoreó semanalmente hasta la eclosión de las crías. Se consideraron como nidos comunales aquellos en los que se encontraron más de nueve huevos dentro del nido, de acuerdo

con el rango del tamaño de nidada (5-9 huevos; Manríquez-Morán y cols. 2023) y que además hayan eclosionado de manera asincrónica (más de siete días de diferencia).

8.3.1. Caracterización de los sitios de anidación

Para obtener la temperatura y humedad ambiental del sitio de anidación, se colocó un data-logger (HOBO Pro V2) a 30 cm de altura en una zona descubierta por dosel y en el centro del sitio de muestreo (García-Pareja 2017), programado para registrar las variables ambientales cada 30 min durante un ciclo anual (febrero 2022 - febrero 2023).

8.3.2. Caracterización de los nidos

Cada nido localizado fue descubierto parcialmente procurando su alteración al mínimo para contar el número de huevos. Posteriormente con un calibrador vernier (0.1 mm de precisión) se tomaron medidas de la profundidad (Casas 2003; Lara-Reséndiz y cols. 2013) y el diámetro mayor y menor de cada nido (López-Luna y cols. 2011). También se registró la pendiente de inclinación en grados con un clinómetro y la orientación cardinal en la cual se encontraron con una brújula de bolsillo (García-Pareja 2017). Dentro de cada nido, a un costado de los huevos (Pruett 2020) y a la misma profundidad en la que se encontraron, se colocó un data-logger (iButton DS1921G) el cual se programó para registrar la temperatura de incubación cada 30 min hasta no tener huevos activos en cada nido (Telemeco y cols. 2009; Beltrán y cols. 2020).

Dado que las características del suelo en los nidos son importantes para mantener la permeabilidad de agua, la aireación y la temperatura dentro de ellos (Romero-Álvarez); una vez localizado cada nido, se tomaron muestras de suelo de un montículo de tierra aledaño (no más de 30 cm de distancia) y se pesaron en una báscula digital (SF-400, Kitchen scale) junto con un recipiente de aluminio un total de 250 g, de este modo, la muestra de suelo tomada fue de 174 g, siendo representativa de acuerdo con el tamaño de las partículas y suficiente para análisis posteriores (Bowles 1981). Todas las muestras fueron transportadas en bolsas plásticas al

Laboratorio de Edafología de la FES Iztacala en donde se secaron en un horno a 100° C hasta que el peso de la muestra fue constante (Casas 2003; Arzola-González 2007). El tipo de suelo se determinó con base en el tamaño de sus partículas, para ello, se realizó un análisis granulométrico con 100 g de suelo de cada nido previamente recolectado y secado para ser pasados por una torre de tamices instalados en un agitador. Una vez terminado el tiempo de agitación (10 min), cada fracción de suelo retenida en los tamices fue pesada en una balanza granataria para determinar la clase de suelo consultando la escala de tamaños y nomenclatura de Wentworth (Tablas 5 y 6) y el diagrama terciario representados en el Anexo 1 (Muñoz y cols. 2018). El número de apertura de malla de cada tamiz utilizado en este análisis se encuentran señalados en el Anexo 1.

Se utilizó el método de Bouyoucos (1962) para determinar la textura del suelo de cada nido, este método consiste en calcular la velocidad de sedimentación de las partículas más finas del suelo y su densidad. Para ello se pesaron 50 g de suelo libre de materia orgánica, se colocaron en el vaso de una batidora mecánica (Oster 002523-013-00) junto con 10 ml de hexalacetato de sodio (Calgón) para ser agitada durante 10 min. Una vez agitada la muestra, se transfirió a una probeta de 1 L y se aforó, la solución en la probeta se agitó por 1 min y se dejó reposar por 40 segundos para tomar la primera lectura de densidad con un densímetro de Bouyoucos y la temperatura con un termómetro de mercurio, la segunda lectura de densidad y temperatura se tomó después de dos horas de reposo. De acuerdo con la temperatura registrada se agregó 0.2 a las lecturas por cada grado después de 20 °C y se restaron en el caso contrario (Muñoz y cols. 2018). Al finalizar se realizaron los cálculos correspondientes con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas} = \frac{\text{primera lectura}}{\text{g de suelo}} \times 100$$

$$\% \text{ arenas} = 100 - (\% \text{ de limos} + \% \text{ de arcillas})$$

$$\% \text{ arcillas} = \frac{\text{segunda lectura}}{\text{g de suelo}} \times 100$$

$$\% \text{ de limos} = (\% \text{ limos} + \% \text{ de arcillas}) - \% \text{ arcillas}$$

Con los porcentajes obtenidos se determinó la clase textural que corresponde al suelo de cada nido de acuerdo con el triángulo de texturas (Anexo 2).

De igual forma, la sombra proyectada por los árboles y/ arbustos y la cobertura vegetal presente en los sitios de anidación ayuda a mantener la temperatura dentro de los nidos y en algunos casos protege a los nidos de depredadores (López-Luna y cols. 2011). Por ello, se tomó la distancia de cada nido al árbol o arbusto más cercano con una cinta métrica de 30 m y su altura (Casas 2003) con un clinómetro y utilizando la siguiente fórmula (Cerdea y Andrade 2022, Figura 2):

$$h = \frac{\theta_2 - \theta_1}{100} D$$

Donde:

h = Altura total

θ_2 = Pendiente a la base

θ_1 = Pendiente total al ápice

D = Distancia al árbol

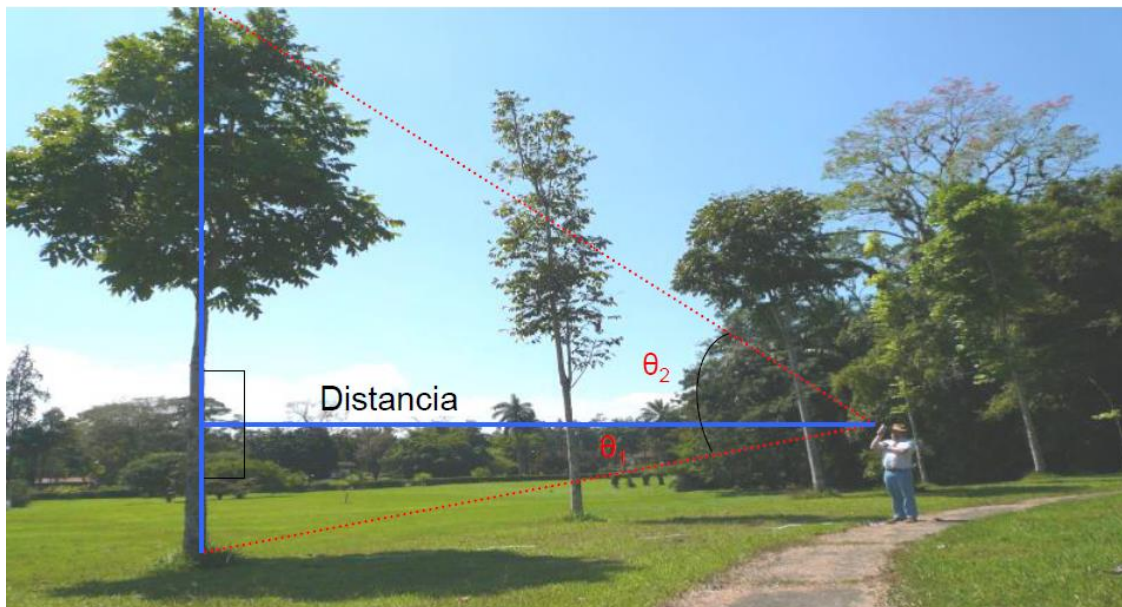


Figura 2. Ejemplificación de la toma de altura total de árboles (Cerdea y Andrade 2022).

Para obtener el porcentaje de cobertura vegetal en el suelo se colocó un cuadrante de 1 m² con el nido en el centro (Figura 3), a cada cuadrante se le tomó una fotografía (Zagonel y cols. 2009) con una cámara deportiva de lente angular de 120° de observación (Steren, CAM-KIDS). Posteriormente, y debido a que los nidos de *S. aeneus* son pequeños, a cada imagen se le modificó la escala, de modo que, el cuadrante evaluado fue de 30 cm². Las imágenes se analizaron en el software SamplePoint, el cual determina de forma manual la proporción de cobertura vegetal dentro del cuadrante por medio de la elección y clasificación de píxeles en imágenes digitales (Booth y cols. 2006).



Figura 3. Fotografía de 120° de observación tomada a la vegetación que rodea al nido.

8.4. Éxito de eclosión

El éxito de eclosión hace referencia al número de crías vivas que eclosionaron, lo que es igual al número de cascarones vacíos dentro del nido, estimando la diferencia entre el número de cascarones observados y el número de huevos no eclosionados, posteriormente se dividió este valor entre el número total de huevos (Arzola-González 2017).

$$\frac{\text{Número de cascarones} - \text{Número de huevos no eclosionados}}{\text{Número total de huevos}}$$

8.5. Análisis de datos

A cada grupo de datos se les aplicaron pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Brown Forsythe) para conocer la naturaleza de los datos.

Se estimaron las diferencias en la temperatura y humedad del ambiente entre los meses de anidación. Los resultados obtenidos sirvieron para identificar los picos de anidación. A partir de ello, se buscaron las posibles diferencias en el número de nidos, número de huevos, tiempo de incubación, temperatura de incubación, medidas del nido (profundidad, largo y ancho) y el éxito de eclosión entre los picos de anidación. Para cada caso se utilizaron pruebas estadísticas de comparación de medias o medianas según la distribución encontrada (t-Student y U de Man Whitney; Anexo 3), todos los análisis se realizaron en el software Sigma Plot 15.0.

Para conocer el efecto de la temperatura y humedad ambiental sobre la temperatura de incubación y el éxito de eclosión, se realizaron pruebas de correlación paramétrica y no paramétrica según el caso. De este modo, al encontrar relación entre las variables se realizó un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución gaussiana para evaluar si la temperatura de incubación tiene efecto sobre el tiempo de incubación y el éxito de eclosión. Se utilizó como variable explicativa la temperatura de incubación y la temporada en la cual se ovipositó el nido y como variable de respuesta el tiempo de incubación. Los análisis se realizaron con el software R versión 4.2.0.

Además, se evaluó la posibilidad de que la temperatura y humedad ambiental del sitio de estudio influyera en la profundidad y el tamaño del nido construido por las hembras de *S. aeneus* mediante regresiones lineales en el software Sigma Plot 15.0.

9. Resultados

9.1. Caracterización de los sitios de anidación

Los registros de temperatura y humedad ambiental durante 12 meses de muestreo (febrero 2022 a febrero 2023) dieron a conocer las condiciones ambientales durante la temporada de no anidación y anidación de *S. aeneus*. Dichos registros son presentados como promedio mensual y desviación estándar (Figura 4 y 5).

Con los registros ambientales térmicos e hídricos obtenidos antes, durante y después de la temporada de anidación se observaron dos temporadas con diferentes condiciones ambientales de acuerdo con el análisis estadístico t-Student y U de Man Whitney (Temperatura: $t=10.681$, $gl=120$, $P<0.001$; Humedad: $U=399$, $P<0.001$; Figura 6; Anexo 3). Las dos temporadas ambientales permitieron identificar que, con el incremento en la humedad ambiental ($>70\%$) asociado a la temporada de lluvias, se promueve el inicio de la temporada de anidación, la cual se desarrolla en los meses de junio a septiembre y en los cuales se registran dos picos de anidación, por lo que, los nidos localizados se analizaron según el pico en el que se encontraron y entre ambos picos de anidación (Anexo 3).

Los dos picos de anidación identificados, ocurren durante el inicio y el desarrollo de la temporada de lluvias. El primer pico de anidación se da en los meses de junio y julio, caracterizado por ser el inicio de la temporada de lluvias, con 78.7% de humedad promedio y 15.2°C de temperatura promedio. El segundo pico es de agosto a septiembre, el cual fue más húmedo y frío con 88.7% de humedad promedio y 13.5°C de temperatura promedio.

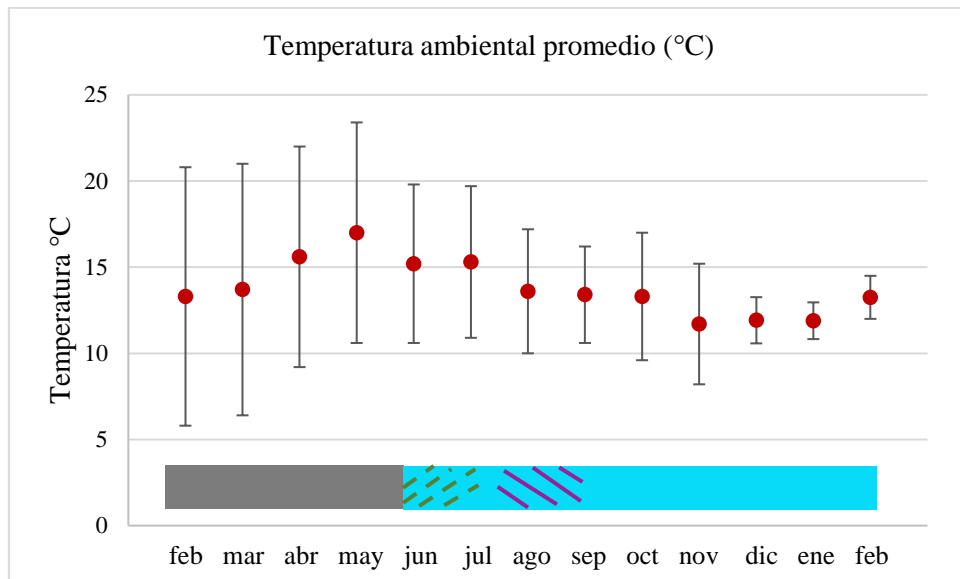


Figura 4. Promedio y desviación estándar de la temperatura ambiental (°C) de febrero 2022 a febrero 2023 en el sitio de anidación. En gris los meses sin nidos, en turquesa los meses con nidos incubando (líneas punteadas representan el Primer pico de anidación y las líneas continuas el Segundo pico de anidación).

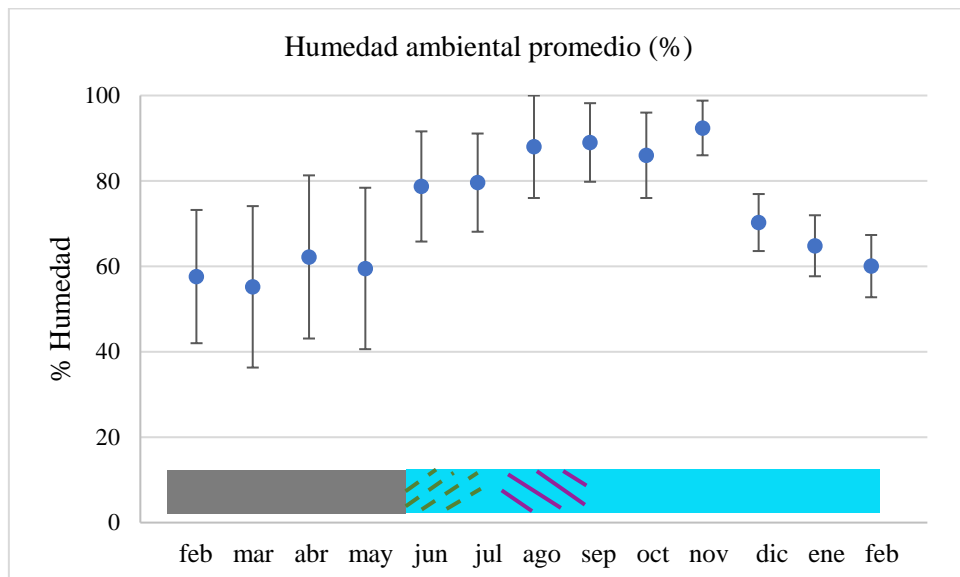


Figura 5. Promedio y desviación estándar de los porcentajes de humedad ambiental de febrero 2022 a febrero 2023 en el sitio de anidación. En gris los meses sin nidos, en turquesa los meses con nidos incubando (líneas punteadas representan el Primer pico de anidación y las líneas continuas el Segundo pico de anidación).

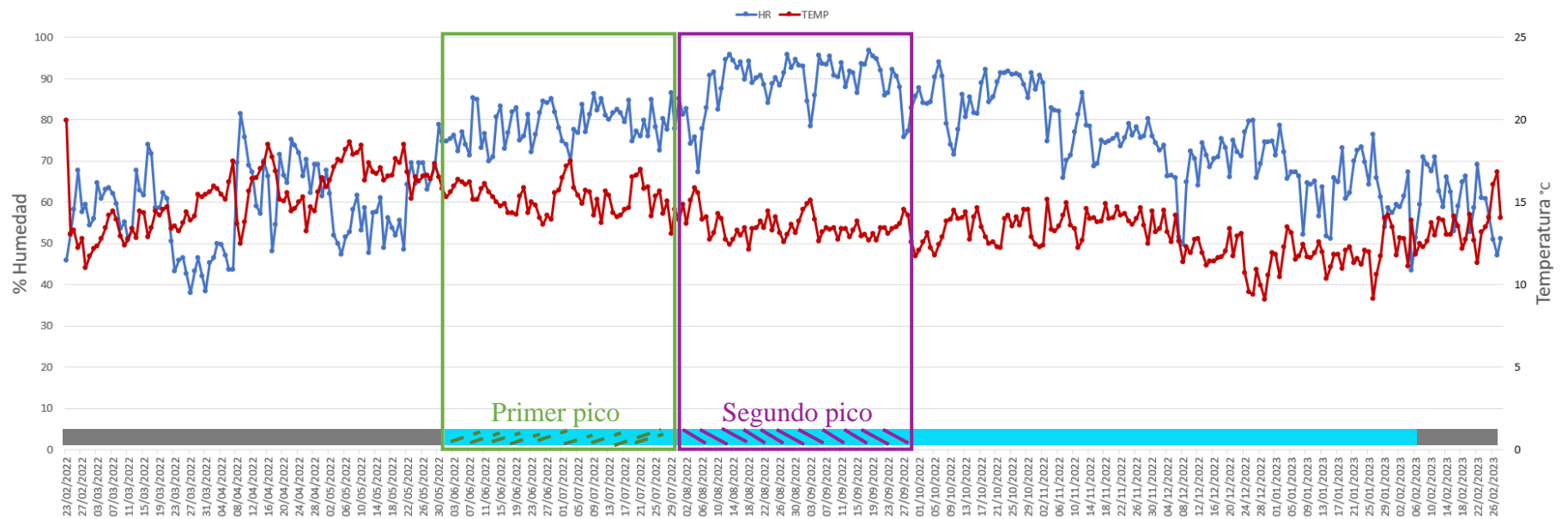


Figura 6. Climograma que muestra las diferencias ambientales observadas en el sitio de estudio durante los meses de febrero 2022 a febrero 2023. Se identifican el periodo sin nidos (gris), el periodo con nidos (turquesa) y dos picos de anidación, el primero de junio a julio (líneas punteadas en verde) y el segundo de agosto a septiembre (líneas continuas en morado).

9.2. Caracterización de los nidos

Los nidos de *S. aeneus* fueron cavidades de poca profundidad con una cámara de incubación expandida hacia los lados y donde los huevos se ovipositaron para su incubación (Figura 7), estos se encontraron predominantemente en los montículos de tierra que expulsan las tuzas (85 %) y en menor cantidad debajo del pasto (11 %), hojarasca (2 %) y aserrín (2 %).

Se localizaron 78 nidos de *S. aeneus* durante los meses de junio a septiembre de 2022, de los cuales seis contenían más de una nidada, por lo que se consideraron como nidos comunales, es decir, nidos que incubaron más de ocho huevos, el cual fue el mayor número de huevos observados dentro de un nido individual y que eclosionaron al mismo tiempo (Figura 7, E). Dichos nidos se separaron conforme a la fecha en la que los huevos fueron eclosionando y se contabilizaron como nidos individuales, por lo tanto, el número total de nidos fue de 91. La máxima actividad de anidación se presentó durante los meses del primer pico de anidación (junio-julio), ya que se ovipositaron 51 nidos, mientras que, en el segundo pico (agosto-septiembre), se localizaron 40 (Figura 8). Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre el número de nidos localizados en cada pico de anidación ($t=1.669$, $P=0.110$; Anexo 3).



Figura 7. A: Nidos de *S. aeneus*. B: Nido descubierto, se observa la cámara de incubación poco profunda. C: Nido cubierto por un montículo de tierra, D: Nido debajo del pasto, E: Nidos comunales.

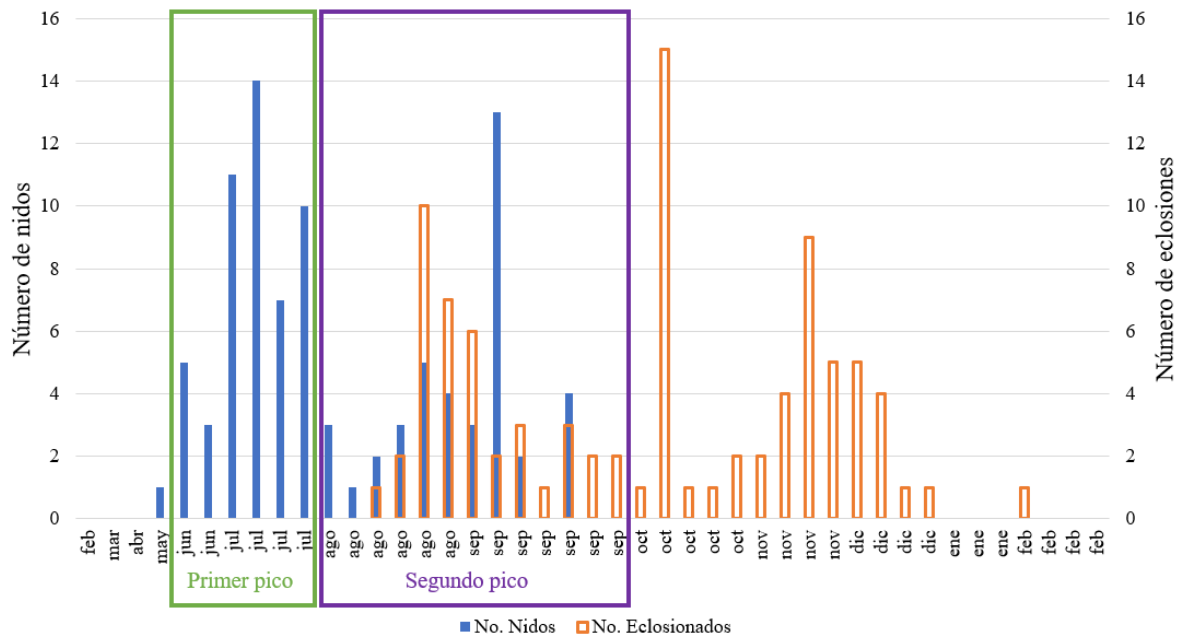


Figura 8. Número de nidos localizados y número de nidos eclisionados por día de muestreo.

Se contabilizaron 460 huevos durante toda la temporada de anidación, en el primer pico el número promedio de huevos dentro de los nidos fue de 5.3 ± 2 y en el segundo pico de 4.8 ± 1.3 (Tabla 1), estos promedios no fueron diferentes estadísticamente entre los dos picos ($U= 797$, $P=0.07$; Anexo 3). Sin embargo, fue notable la mayor cantidad de huevos ovipositados durante el mes de julio.

Tabla 1. Número de nidos y número de huevos por pico de anidación.

Época	Número total de nidos	Número total de huevos	Promedio de huevos por nido \pm D.E.
Primer pico			
junio	9	53	5.9 ± 1.2
julio	42	216	5.1 ± 2.1
Total	51	269	5.3 ± 2.0
Segundo pico			
agosto	18	92	5.1 ± 1.4
septiembre	22	99	4.5 ± 1.3
Total	40	191	4.8 ± 1.3

Medidas del nido

Los nidos encontrados presentaron profundidades similares (3.3 ± 1.0 y 3.1 ± 1.0 cm; Anexo 3). El primer pico de anidación se caracterizó por tener nidos más largos (5.8 ± 4.1 cm) y anchos (4.6 ± 1.3 cm) que los nidos encontrados en el segundo pico (Largo: 4.1 ± 1.9 ; Ancho: 3.1 ± 0.9) por lo cual se encontraron diferencias significativas en ambas características (Largo: $U=395.5$, $P<0.001$; Ancho: $t=6.4$, $gl=89$, $P<0.001$). Por otra parte, no se encontraron efectos significativos

de la temperatura y humedad del ambiente sobre la profundidad, largo y ancho de los nidos en ambos picos de anidación (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de la temperatura (°C) y humedad (%) ambiental sobre la profundidad y el tamaño del nido (cm) durante los dos picos de anidación.

	Primer pico			Segundo pico		
	Profundidad	Largo	Ancho	Profundidad	Largo	Ancho
Temperatura ambiental (°C)	R ² =0.01, P=0.4	R ² =0.01, P=0.9	R ² =0.6, P=0.9	R ² =0.02, P=0.4	R ² =0.1, P=0.5	R ² =0.3, P=0.3
Humedad ambiental (%)	R ² =0.01, P=0.4	R ² =0.01, P=0.7	R ² =0.02, P=0.3	R ² =0.04, P=0.2	R ² =0.06, P=0.1	R ² =0.03, P=0.3

Pendiente y orientación de los nidos

Durante toda la temporada de anidación se encontraron nidos con pendientes predominantemente de 3 y 4 ° (Anexo 3). Por otra parte, la ubicación de los nidos se encontró orientada hacia el sureste y el sur durante el primer pico y al sureste y al noroeste en el segundo (Anexo 3).

Tipo y textura del suelo

De acuerdo con los resultados de los análisis granulométricos y de textura de 20 muestras de suelo tomadas en las distintas profundidades de los nidos construidos por las hembras, estos son conformados por arenas de textura franco-arenosa.

Distancia del nido a la vegetación y porcentaje de cobertura vegetal

Los nidos localizados se ubicaron en sitios lejanos a algún árbol o arbusto en cualquiera de las distintas orientaciones (Anexo 3). Sin embargo, durante el primer pico la distancia más corta fue 26 cm hacia una planta herbácea en orientación al este, la más distante fue de 362 cm a un

pino orientado hacia el noreste. En el segundo pico la distancia más corta se presentó a 21 cm en orientación al noreste y la más larga hacia el sur con 472 cm.

La cobertura vegetal presente en los nidos osciló entre el 10.75 y el 96.79 % (promedio: 56.79 ± 23.86). Durante el primer pico de anidación el promedio en la cobertura vegetal fue de 52.3 ± 25.2 %, el valor más bajo fue de 10.75 % y el más alto de 96.79 %. Para el segundo pico de anidación el promedio fue de 56.85 ± 21.33 %, siendo el porcentaje más bajo de 12.99 % y el más alto de 92.26 %, por lo que no hubo diferencia en el porcentaje de cobertura vegetal entre los dos picos de anidación (Anexo 3).

Temperatura del nido

La temperatura promedio dentro de 83 nidos evaluados fue de $16.3^\circ \pm 1.5^\circ$ C. La temperatura más alta fue de 24° C, la cual se registró durante el primer pico y la más baja de 9.1° C, registrada durante el segundo pico de anidación. Las temperaturas dentro de los nidos durante los dos picos fueron diferentes ($U=2699296.5$, $P<0.001$; Figura 9) siendo mayor durante el primer pico, ya que presentó un promedio de $16.6^\circ \pm 1.5^\circ$ C, mientras que en el segundo pico el promedio fue de $15.9^\circ \pm 1.3^\circ$ C.

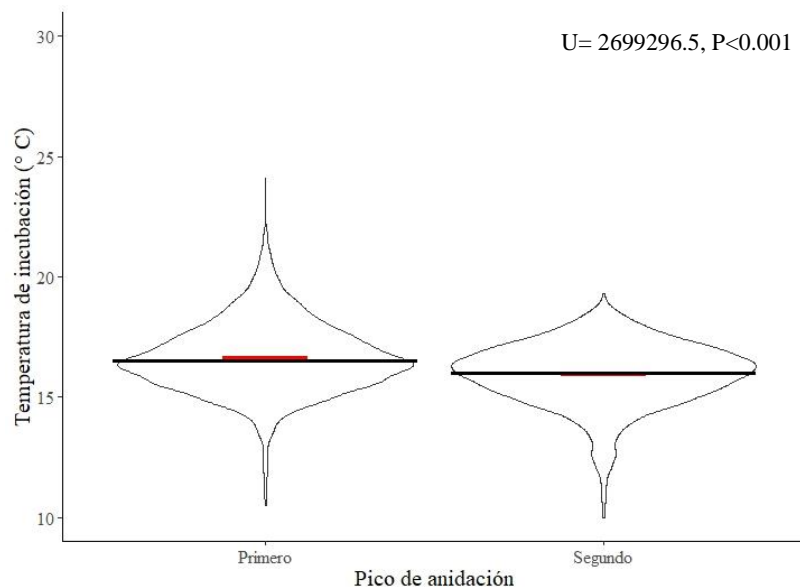


Figura 9. Variación en la temperatura (°C) de incubación promedio durante los dos picos de anidación. Primero= junio-julio; Segundo= agosto-septiembre; línea roja representa la media y la línea negra la mediana de cada conjunto de datos.

9.3. Tiempo de incubación

El tiempo promedio de incubación de los nidos exitosos fue de 67.12 ± 30.9 días. El periodo máximo de incubación de los huevos depositados durante el primer pico fue de 131 días y el más corto de 19 días. Mientras que, durante el segundo pico, el periodo más largo fue de 175 días durante los meses de agosto 2022 a febrero 2023 y el más corto de 13 días en agosto 2022 (Figura 11 y 12). Sin embargo, el tiempo promedio de incubación entre los dos picos de anidación no fue diferente ($t=0.0789$, $gl=89$, $P=0.93$; Figura 10).

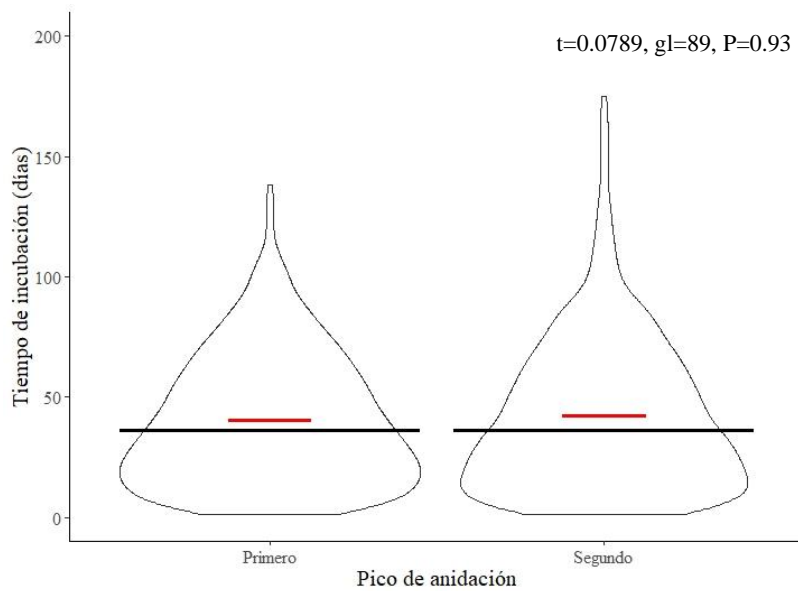


Figura 10. Variación en el tiempo de incubación (días) durante los dos picos de anidación. Primero= junio-julio; Segundo= agosto-septiembre. Línea roja representa la media y la línea negra la mediana de cada conjunto de datos.

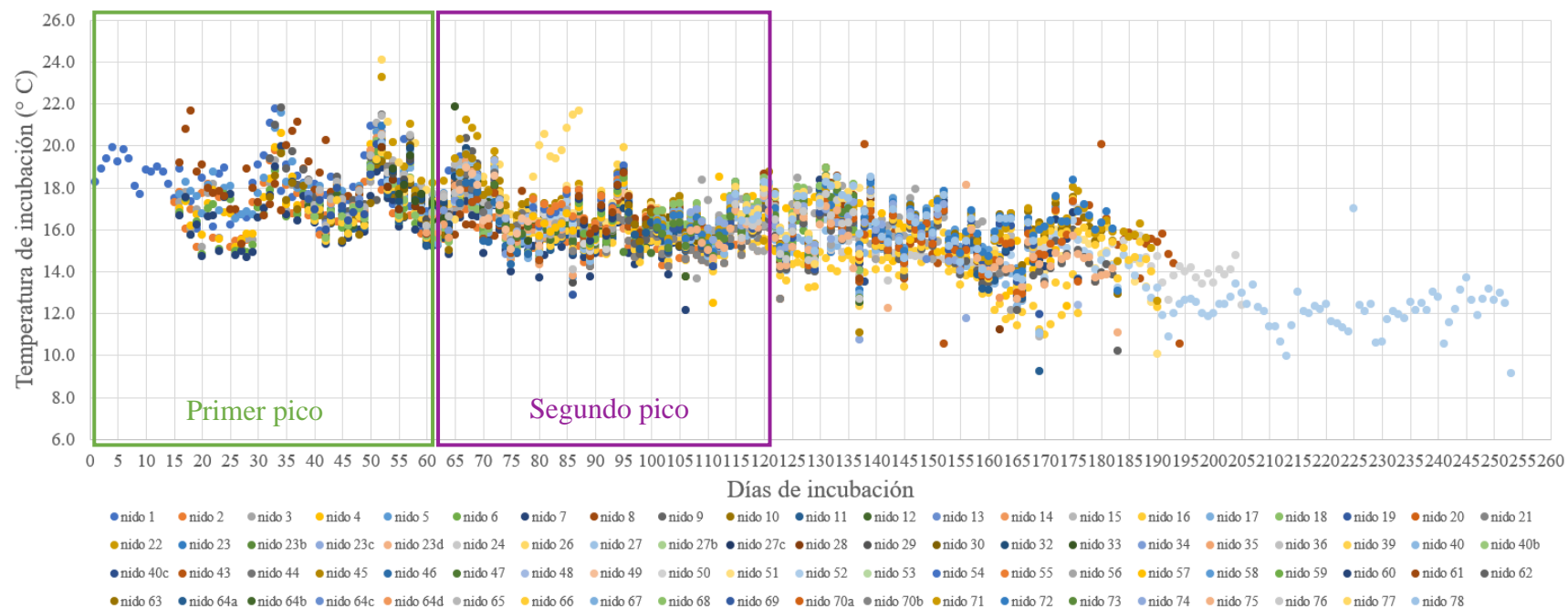


Figura 11. Temperatura de incubación (°C) promedio por día de incubación (puntos de colores) durante los dos picos de anidación.

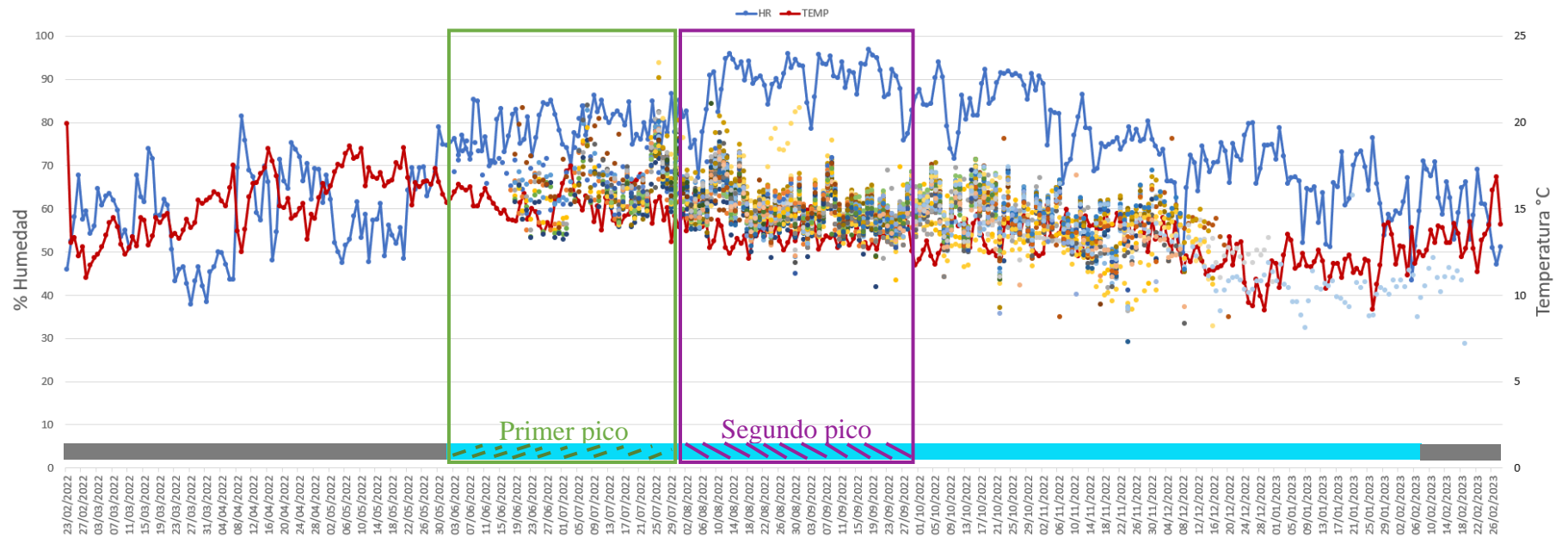


Figura 12. Climograma que muestra el porcentaje de humedad ambiental (línea azul), la temperatura ambiental (°C) (línea roja) del área estudio y la temperatura de incubación (°C) (puntos de colores) de *S. aeneus* durante los meses de febrero 2022 a febrero 2023. Se identifican dos picos de anidación, el primero de junio a julio y el segundo de agosto a septiembre 2022. Cada punto indica la temperatura promedio diaria a la cual estuvieron expuestos los huevos durante su incubación.

9.4. Éxito de eclosión

La temporada de anidación se caracterizó por tener alto porcentaje de eclosión, en el primer pico, el promedio fue de $95.1 \pm 10.1\%$ mientras que, el porcentaje más bajo de este pico se presentó en tres nidos con 66.6% . En el segundo pico, el promedio de eclosión fue de $91.5 \pm 17.2\%$ y el porcentaje más bajo fue de 50% en un nido. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en cuanto al éxito de eclosión entre los dos picos de anidación ($U=962$, $P=0.53$; Figura 13).

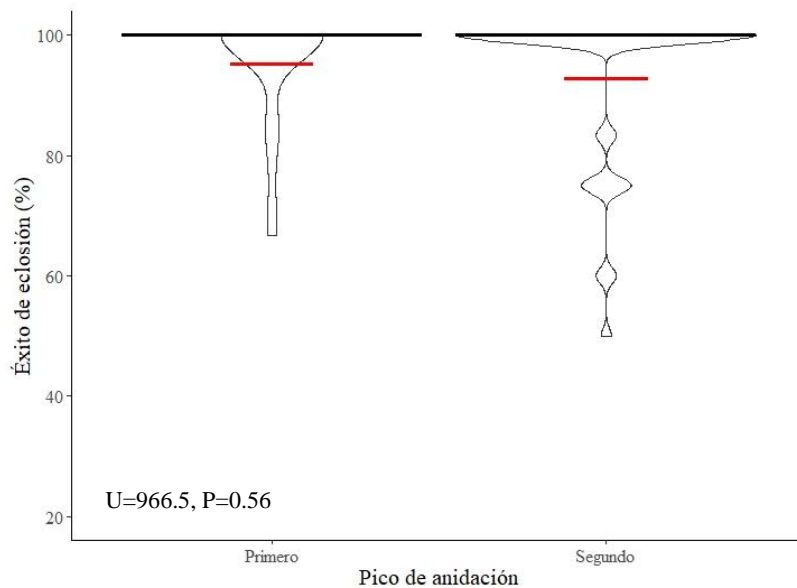


Figura 13. Variación en el éxito de eclosión (%) de *S. aeneus* en los dos picos de anidación. Primero= junio-julio; Segundo= agosto-septiembre; línea roja representa la media de cada conjunto de datos y la línea negra la mediana de cada conjunto de datos.

9.5. Efecto de las condiciones ambientales sobre el periodo de incubación y el éxito de eclosión.

La correlación mostró que la temperatura ambiental y la temperatura de incubación se correlacionan de manera positiva, es decir, mientras la temperatura ambiental aumenta, la temperatura de incubación también incrementa (Pearson, $R=0.27$, $P=0.02$; Figura 14), sin

embargo, la temperatura de incubación también tiende a descender con el incremento en la humedad del ambiente (Spearman, $R=-0.30$, $P=0.01$; Figura 15).

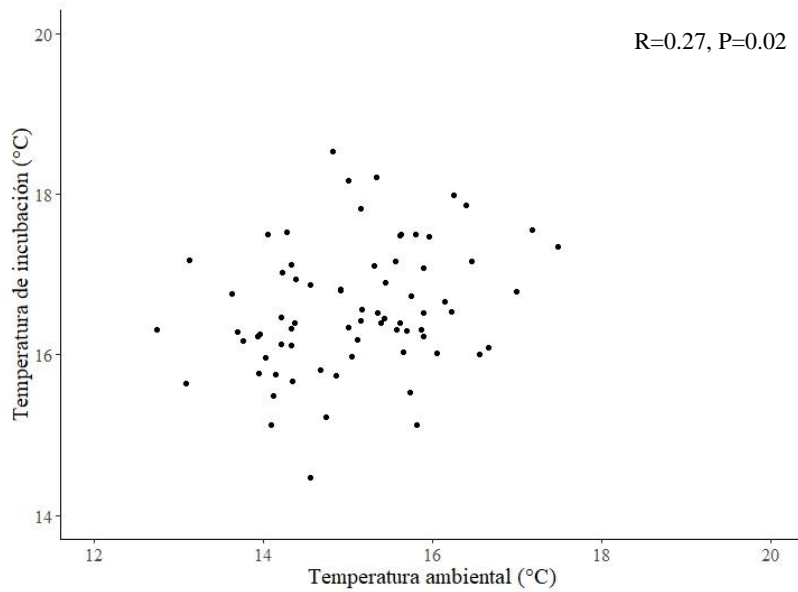


Figura 14. Relación de la temperatura ambiental (°C) promedio y la temperatura de incubación (°C) promedio.

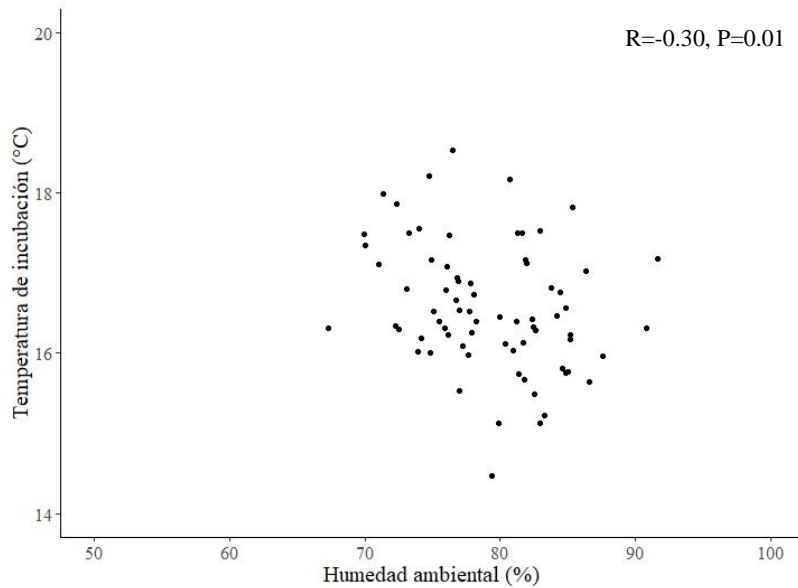


Figura 15. Relación de la humedad ambiental (%) promedio y la temperatura de incubación (°C) promedio.

Periodo de incubación

De acuerdo con el GLM realizado, la temperatura de incubación dentro de los nidos tuvo efecto a lo largo de los diferentes periodos de incubación ($X^2=50.7$, $gl=71$, $P<0.001$; Figura 16), a pesar de que en ambos picos de anidación se registraron periodos de incubación cortos (13 días) y largos (175 días), por lo que al descender la temperatura ambiental (8-12 °C), los periodos de incubación se hicieron más largos, esto de acuerdo con la temporada en la cual fueron ovipositados los huevos ($X^2=0.008$, $gl= 71$, $P<0.001$).

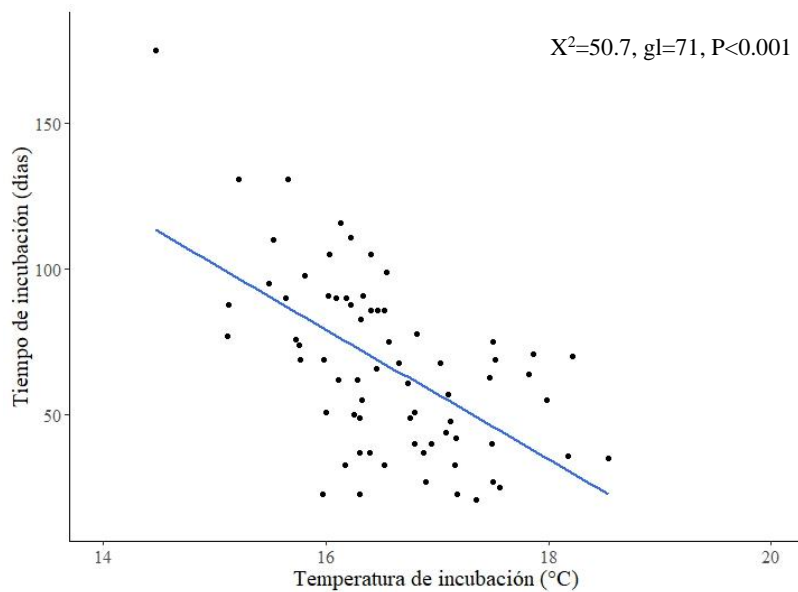


Figura 16. Efecto de la temperatura de incubación (°C) promedio sobre el tiempo de incubación (días).

Éxito de eclosión

La temperatura promedio diaria de incubación se mantuvo estable en un intervalo amplio (10-20 °C), y no afecta en el éxito de eclosión a lo largo de la temporada de incubación ($X^2=3.16$, $gl=71$, $P=0.07$; Figura 17), pues tanto los porcentajes de eclosión altos como los bajos, pueden ocurrir en los mismos intervalos de temperatura de incubación (15-20° C).

septiembre) que coincidieron con la temporada de lluvias y la alta humedad relativa, pues no es hasta que se rebasa el 70% de humedad en el ambiente cuando se inicia la oviposición. Esta humedad ambiental se mantiene estable durante los dos picos de anidación, lo que permite que *S. aeneus* continúe con la oviposición hasta el mes de septiembre. Por lo tanto, consideramos que la alta humedad del ambiente es el factor que promueve la anidación, tal como ocurre en la anidación de otras especies de lagartijas como *Aspidoscelis costatus* en zonas cálidas (Lara-Reséndiz y cols; 2013; Hernández-Gallegos y cols. 2021), *Anolis sagrei* en islas (Pruett y cols. 2020) y con *Sceloporus undulatus*, en condiciones *ex situ* (Warner y Andrews, 2002). La época de lluvias conlleva humedad alta, la cual ayuda a disminuir las altas temperaturas del ambiente, por lo cual las hembras seleccionan estos periodos húmedos y evitan la desecación de los huevos (Hernández-Gallegos y cols. 2021). Además, la humedad ambiental favorece el aumento en volumen y peso de los huevos en desarrollo (Gómez, 2005) y beneficia las condiciones bióticas (disponibilidad de alimento) y abióticas (temperatura y humedad) para las crías al eclosionar (Manríquez-Morán y cols. 2013), promoviendo su supervivencia.

Todos los nidos se encontraron expuestos al sol (sin cubierta de dosel), donde el sustrato preferido por las hembras para anidar fueron los montículos de tierra (85%), los cuales son formados con la tierra que las tuzas expulsan al realizar sus galerías, estos montículos al estar en sitios abiertos tienden a ser más secos que en sitios sombreados (Pruett y cols. 2020). Además, el suelo en el sitio de anidación está conformado principalmente por arenas de textura franco-arenosa, los cuales se caracterizan por presentar menores porcentajes de humedad debido a su permeabilidad (Martínez-González y cols. 2010). Sin embargo, la anidación se presenta durante la temporada de lluvias, por lo que la humedad que se llega a retener en el suelo durante esta temporada puede favorecer el desarrollo de los huevos y la eclosión de las crías. Por lo tanto, el sitio de anidación debe proveer características térmicas e hídricas específicas para el desarrollo embrionario adecuado de *S. aeneus*.

Los 91 nidos localizados durante la temporada de anidación presentaron características que favorecieron la incubación y la eclosión de las crías. Por otra parte, el 7% (seis nidos) del total de nidos localizados se presentó de manera comunal dentro de montículos de tierra. Este fenómeno se ha registrado ante dos escenarios, el primero debido a la escasez de los sitios que

ofrecen condiciones óptimas de incubación, provocando que las hembras estén obligadas a utilizar un mismo sitio (Rajkumar y Shine 2007; Lara-Reséndiz y cols. 2013), y el segundo se relaciona con la obtención de beneficios para los huevos al incubarse en comunidad, incluso si hay sitios disponibles (Doody y cols. 2009; Rajkumar y Shine 2007). En este estudio las hembras que anidaron comunalmente lo hicieron en nidos que ya contenían huevos incubándose, además el sitio de anidación, por sus dimensiones disponía de un gran número de sitios potenciales para ovipositar, por lo cual consideramos que, en este caso, las hembras seleccionan sitios específicos que ofrezcan beneficios a los huevos en incubación y a las crías al eclosionar. Cabe resaltar que, la anidación comunal *in situ* en *S. aeneus* no se había registrado anteriormente.

Los trabajos previos con *S. aeneus* muestran un patrón reproductivo estacional con máxima actividad gonadal durante la primavera y el verano, por lo cual, es posible encontrar hembras gestantes en primavera, oviposiciones en junio y julio, mientras que las eclosiones son de septiembre a octubre (Rodríguez-Romero, 2004; Manríquez-Morán y cols. 2013). Este patrón en general coincide con los resultados de este trabajo, ya que, aunque no se presentaron diferencias significativas en el número de nidos ovipositados entre ambos picos de anidación, la mayor actividad de anidación se encontró durante junio y julio y en menor cantidad, las hembras de la población de Tres Marías continuaron ovipositando durante agosto y septiembre. Por lo que no descartamos la posibilidad de que las hembras de esta población tengan la capacidad de oviponer una segunda nidada como ocurre en poblaciones de Hidalgo a 2 500 msnm (Manríquez-Morán y cols. 2023). Las eclosiones se presentaron desde agosto hasta diciembre sin que el éxito de eclosión fuera afectado, de tal forma que, los huevos dentro del nido mostraron una gran capacidad de resistencia, lo que permitió su eclosión a pesar de las diferentes condiciones del ambiente por las que pasaron durante su incubación (temperaturas altas y bajas).

Dentro del género *Sceloporus* existen diferentes tamaños de camada o nidada (Jiménez-Arcos, 2015), los cuales se han asociado con factores como la latitud, altitud, clima y principalmente con el tamaño de las hembras (Rodríguez-Romero 1998). Sin embargo, estudios realizados en *S. aeneus* demuestran que el tamaño de la nidada no está relacionado con el tamaño de las hembras (Rodríguez-Romero 1998; Manríquez-Morán y cols. 2023) sino que dependen de la

adaptación de la población al ambiente en el que se encuentran (Kratochvíl y Kubicka, 2007). Por esta razón, es posible encontrar diferencias en el tamaño de nidada de la misma especie. Sin embargo, en este caso, el promedio de huevos ovipositados no fue diferente entre los picos de anidación (Primer pico: 5.3 ± 2 ; Segundo pico: 4.8 ± 1.3), pero sí presentó menor promedio (5.05) que otras poblaciones previamente estudiadas (Manríquez-Morán y cols. (2013) con promedio de 6.7 y Gómez (2005) con promedio de 5.5).

Para mantener constante la temperatura y humedad en el nido durante el periodo de incubación, las hembras eligen entre construir nidos más profundos y largos o anidar a la sombra (Telemeco y cols. 2009; Hernández-Gallegos y cols. 2021) en ubicaciones específicas (Warner y Andrews, 2002). De modo que, las hembras proveen un entorno óptimo para la incubación, ya que la elección puede influir en el desarrollo embrionario y en el fenotipo de las crías (Shine y Harlow, 1996; Li y cols. 2014; Beltrán y cols. 2020), debido a que, las diferentes condiciones físicas que experimenta el embrión están asociadas a las variaciones de temperatura y humedad del ambiente (Shine y Harlow, 1996). En este estudio no se encontró influencia de la temperatura y humedad ambiental sobre el tamaño de los nidos. Sin embargo, sí se mostraron diferencias entre los picos de anidación en el largo y el ancho de los nidos, ya que durante el primer pico se presentaron nidos más largos y anchos puesto que en este pico la temperatura ambiental promedio fue de 15.2°C , siendo 1.7° mayor que en el segundo. Esta situación podría promover que las hembras construyan nidos de mayor tamaño para así prevenir el sobrecalentamiento de los huevos y la exposición a temperaturas extremas que afectan el tiempo de incubación y el desarrollo embrionario (Telemeco 2006; Lara-Reséndiz y cols. 2013; Czaja y cols. 2020).

Los sitios de anidación pueden presentarse con un mismo patrón de ubicación donde los huevos se desarrollen de forma exitosa, estos sitios pueden ser sin vegetación, con una dirección en especial, en lugares planos, con suelo arcilloso o con inundaciones temporales (Rovero y Chelazzi, 1996; García-Pareja, 2017). Aquí se encontró que las hembras prefirieron sitios con pendientes poco pronunciadas ($4-5^{\circ}$) y orientados en su mayoría al sur y sureste, este mismo patrón ha sido observado en la anidación de tortugas dulceacuícolas, cocodrilos y en lagartijas como *Phrynosoma cornutum*, las cuales anidan principalmente en direcciones sur-sureste, en zonas ligeramente inclinadas (Rovero y Chelazzi 1996; Casas-Andreu 2008; Allison y Cepeda

2009; García-Pareja 2017). La pendiente de los sitios de anidación ha sido considerada como un factor importante para el desarrollo del embrión pues influyen en la radiación solar que el nido recibe y en la escorrentía de agua (Shine y Harlow 2002; García-Pareja 2017).

La vegetación presente en los sitios de anidación también puede tener impacto en la selección de la hembra al momento de construir el nido, pues algunas prefieren anidar en sitios asociados o no a la vegetación (Zagonel y cols. 2009). Esto debido a que la vegetación presente en los sitios de anidación puede influir en la variación de temperatura y humedad dentro de los nidos (Czaja y cols. 2020; Du y cols. 2023) y brindar defensa ante depredadores (Li y cols. 2018). A su vez, la cantidad de cobertura vegetal puede cambiar entre las especies que habitan en zonas cálidas, quienes prefieren sitios sombreados y cubiertos totalmente de vegetación, diferente a la preferencia de las hembras en sitios fríos que anidan preferentemente en lugares expuestos (Du y cols. 2023). En este caso, los nidos de *S. aeneus* se localizaron expuestos a la luz solar, alejados de vegetación alta como árboles, arbustos y herbáceas por lo tanto no hubo protección de la sombra proyectada hacia los nidos, por otra parte, los nidos se presentaron con porcentajes de cobertura vegetal variable (10 al 96 %), por lo que consideramos que la vegetación presente en el sitio de anidación no influye en la selección de la hembra al momento de anidar, contrario a lo que eligen otras hembras como *Bassiana duperreyi* para quienes la elección de cobertura vegetal es un comportamiento que puede estar fijado genéticamente (Telemeco y cols. 2009).

La temperatura de incubación es un elemento que repercute en el desarrollo embrionario de tortugas, cocodrilos, lagartijas y serpientes (Renabib-Nisenbaum 1984; Charruau 2012, Beltrán y cols. 2020), pues las altas temperaturas pueden ser letales para el embrión (Angilletta, 2000). Por otro lado, las bajas temperaturas pueden retardar o detener el desarrollo, además este factor tiene efectos importantes en la adecuación y la supervivencia de las crías (Shine y Harlow 1996; Warner y Andrews 2002; Beltrán y cols. 2020). La radiación solar es la fuente principal del calor que incide en la superficie del nido y en consecuencia en su interior (Charruau 2012; García-Pareja 2017). Esta descripción es observable con los datos obtenidos en este trabajo durante la incubación de los huevos, pues, la variación de temperatura de incubación que se registró durante la temporada de anidación fue muy similar a la variación de temperatura en el ambiente, aunque el promedio fue ligeramente diferente entre picos de anidación ($16.6^{\circ}\pm 1.5^{\circ}$ C

en el primer pico y $15.9^{\circ}\pm 1.3^{\circ}$ C en el segundo). La temperatura de incubación también está ligada a la ubicación, la profundidad y tamaño del nido que las hembras eligen (Beltrán y cols. 2020). Por lo que estas características pueden determinar el tiempo de incubación de los huevos, ya que, a baja temperatura, el periodo de incubación será más largo y por el contrario, a temperatura alta el tiempo que tarden en eclosionar las crías será más corto (Shine y Harlow 1996; Warner y Andrews 2002). Sin embargo, durante el estudio realizado aunque no se presentaron diferencias significativas entre los dos picos de anidación en el tiempo de incubación, se encontró el mismo patrón al descrito anteriormente, debido a que, la temperatura y humedad ambiental se relacionaron con la temperatura de incubación y por lo tanto esta influye en el periodo que los huevos tarden en eclosionar. Esta relación es importante para las lagartijas que habitan en zonas templadas, pues cuando la incubación se alarga debido a las bajas temperaturas, se retrasa y/o disminuye la eclosión, el tiempo de actividad de las crías recién nacidas se acorta y además se ve afectado su tamaño y crecimiento (Packard y cols. 1977; Shine 2002; Parker y Andrews 2007; Czaja y cols. 2020).

Anteriormente se había registrado que los huevos ovipositados por las hembras de *S. aeneus* presentan de tres a cuatro meses de incubación, comenzando en junio y julio y finalizando entre septiembre y octubre (Rodríguez-Romero, 2004) a una altitud de 2 500 msnm. Sin embargo, los resultados obtenidos a 2 615 msnm, muestran que el tiempo promedio de incubación fue de poco más de dos meses (68 días), aunque, hubo mayor número de nidos que presentaron un periodo de incubación más largo durante el primer pico de oviposición que aquellos ovipositados en el segundo, posiblemente debido a que durante la temporada reproductiva las hembras que llegan a la madurez sexual se integran al grupo reproductivo asincrónicamente, provocando la presencia de nidos con embriones en diferentes etapas de desarrollo (Manríquez-Morán y cols. 2023). Aunado a ello no se descarta la posibilidad de que la variación en los periodos de incubación también se deba a la retención de huevos en la hembra y los estadios de desarrollo en los cuales se ovipositan, pues la retención prolongada y el estadio embrionario avanzado en la oviposición acortan el período de incubación y reducen el tiempo en el que los embriones pueden estar expuestos a depredadores o a temperaturas extremas y baja o alta humedad (Ma y cols. 2014; Sun y cols. 2013), situación observada con los nidos que se ovipositaron en el

segundo pico de anidación. Por el contrario, en el caso de que las hembras ovipositen huevos en estadios de desarrollo menos avanzados, estos huevos requerirán de mayor tiempo de incubación dentro del nido, lo que los mantiene más expuestos a factores letales, sin embargo, las hembras obtienen la ventaja de poder recuperar energía rápidamente como para generar una segunda nidada. Si bien el estadio de oviposición puede estar influenciado por la elevación del sitio, la temperatura o la precipitación ambiental (Ma y cols. 2014; García-Collazo y cols. 2015), en el caso de *S. aeneus* el factor que determina el estadio de oviposición es la precipitación o humedad en el ambiente (García-Collazo y cols. 2015; Jiménez-Arcos 2015).

Para aumentar el éxito de eclosión, las hembras construyen nidos de tamaños adecuados para anidar acorde a las señales que impliquen amenazas para los embriones y las crías (temperaturas extremas, alta humedad, desecación y depredadores) (García-Pareja 2017; Li y cols. 2018; Ma y cols. 2023). Dado que, en toda la temporada de anidación se encontraron altos porcentajes de eclosión (primer pico 95.1 ± 10.1 y 91.5 ± 17.2 en el segundo), los procedimientos realizados en los nidos para la obtención de datos aparentemente no afectaron el sistema natural, por lo que la contribución de las hembras fue exitosa. Sin embargo, a pesar de no obtener diferencias significativas en los porcentajes de eclosión, la variación más amplia se encontró en el segundo pico, ya que se registraron eclosiones del 50 al 100 % debido a que la humedad del ambiente durante los últimos meses de incubación (diciembre-febrero) mantuvo la temperatura del ambiente y de incubación por debajo de los 12°C , provocando que los embriones no sobrevivan o no logren eclosionar correctamente, como sucede en *S. undulatus* (Angilletta 2000), donde la humedad del ambiente promueve bajas temperaturas de incubación afectando el metabolismo de los embriones y su eclosión (Packard y cols. 1977; Hernández-Gallegos y cols. 2021). En este sentido el momento de la oviposición y el sitio elegido por la hembra, son determinantes para tener mayor éxito de eclosión (Shine y Harlow 1996; Warner y Shine 2007). Recordando que de estas elecciones dependen la temperatura y humedad dentro de los nidos misma que puede influir en el momento de la eclosión y en la probabilidad de supervivencia de las crías, pues al tener una eclosión pronta, las crías se benefician de tener una temporada de actividad más larga y de mejores recursos que las que eclosionan tardíamente (Angilletta 2000; Beltrán y cols. 2020).

Es importante considerar que los huevos de *S. aeneus* poseen la capacidad de sobrevivir a entornos de desarrollo con una gran diversidad de condiciones ambientales (temperatura y humedad alta o baja) y estructurales en los nidos (tamaño y profundidad), que pueden jugar un papel importante en su desarrollo, por lo que también son motivo de estudios en los cuales se determinen los intervalos que pueden enfrentar con éxito y cuales pueden afectar su supervivencia.

11. Conclusiones

El incremento en la humedad ambiental asociado a la temporada de lluvias promueve el inicio de la temporada de anidación con dos picos de oviposición, el primero de junio a julio y el segundo en agosto y septiembre. Los periodos de incubación van desde los 13 a los 175 días de forma exitosa. Los periodos de incubación largos requieren de poco tiempo de retención de huevos en la hembra, por lo que la probabilidad de producir dos nidadas en la temporada es alta. Las condiciones ambientales durante la anidación y la capacidad de los huevos de tolerar las condiciones agrestes permiten la eclosión exitosa de las crías. Por lo que el sitio de anidación de *S. aeneus* ubicado en un bosque templado a 2 600 msnm en Tres Marías, Morelos, presenta condiciones adecuadas para la incubación y la eclosión de los embriones desarrollados.

La temperatura en la que se incuban los huevos está influenciada de forma positiva por la temperatura del ambiente, es por ello que, las hembras de *S. aeneus* previenen la exposición de los huevos a temperaturas extremas altas o bajas, construyendo nidos adecuados en ubicaciones determinadas favoreciéndose así de la radiación solar diaria y la poca pérdida de agua.

Consideramos relevante continuar con el estudio sobre la anidación de *S. aeneus* tomando en cuenta la tolerancia térmica de los embriones y su correlación con la temperatura dentro del nido.

12. Bibliografía citada

- Acosta G. Y. (2018). El uso de los abonos orgánicos en la evaluación de la germinación y calidad de planta de especies forestales para restauración ecológica, en Huitzilac, Morelos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Allison P. S. & Cepeda J. C. (2009). Nesting and hatchling behavior of the Texas horned lizard (*Phrynosoma cornutum*). *The Southwestern Naturalist*. 54(2): 211-213.
- Andrews R. M. (1982). Spatial Variation in Egg Mortality of the Lizard *Anolis limifrons*. *Herpetologica*. 38(1): 165-171.
- Angilletta M. J., Winters R. S. & Dunham A. E. (2000). Thermal effects on the energetics of lizard embryos: Implications for hatchling phenotypes. *Ecology*. 81: 2957-2968.
- Arzola-González J. F. (2007). Humedad y temperatura en nidos naturales y artificiales de tortuga Golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschsholtz 1829). *Revista de Biología Marina y Oceanográfica*. 42: 377-383.
- Barba-Bedolla S. A. & Mendoza-Cuenca L. (2017). Cuidado materno y estabilidad térmica durante la anidación en *Phaethornis longirostris* (ermitaño cola larga). *Huitzil*. 18(1): 123-130.
- Beltrán I., Durand V., Loiseleur R. & Whiting M. J. (2020). Effect of early thermal environment on the morphology and performance of a lizard species with bimodal reproduction. *Journal of Comparative Physiology B*. 190: 795-809.
- Booth D. T., Cox S. E. & Berryman R. D. (2006). Point sampling digital imagery with 'SamplePoint.' *Environmental Monitoring and Assessment*. 123: 97-108.
- Bouyoucos G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soils. *Agronomy Journal*. 54: 464-465.
- Bowles J. E. (1981). Experimento No. 1 Determinación del contenido de humedad. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. McGraw-Hill. 249 pp.
- Bryson R.W. Jr., Grummer J.A., Connors E.M., Tirpak J., McCormack J.E. & Klicka J. (2021). Cryptic diversity across the Trans-Mexican Volcanic Belt of Mexico in the montane bunchgrass lizard *Sceloporus subniger* (Squamata: Phrynosomatidae). *Zootaxa*. 4963(2): 335-353.
- Casas-Andreu G. (2003). Ecología de la anidación de *Crocodylus acutus* (Reptilia: crocodylidae) en la desembocadura del Rio Cutzamala, Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 89: 111-128.
- Cerda R. & Andrade H. J. (2022). Dasimetría y medición de sombra. Soluciones para ambiente y desarrollo.

- Charruau P. (2012). Microclimate of American crocodile nest in Banco Chinchorro biosphere reserve, México: Effect on incubation length, embryos survival and hatchlings sex. *Journal of Thermal Biology*. 37(1): 6-14.
- Chávez-León G. & Lemos-Espinal J. A. (2021). Anfibios y reptiles de bosques bajo manejo silvicultural. Folleto técnico núm. 32. Ciudad de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias/ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales.
- Contreras-Macbeath T. & Urbina, F. (1995). Historia Natural del Área de Protección de Flora y Fauna Silvestre Corredor Biológico Chichinautzin. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 1-5 pp.
- Czaja R. A., Scholz A. L., Figueras M. P. & Burke R. L. (2020). The role of nest Depth and site choice in mitigating the effects of climate change on an oviparous reptile. *Diversity*. 12(151): 1-12.
- Doody J. S., Freedberg S. & Keogh J. S. (2009). Communal egg-laying in reptiles and amphibians: evolutionary patterns and hypotheses. *The Quarterly Review of Biology*. 84(3): 229-52.
- Du W-G, Li S-R, Sun B-J & Shine R. (2023). Can nesting behavior allow reptiles to adapt to climate change? *Philosophical Transaction B*. 378: 20220153.
- Farmer C. G. (2000). Parental care: the key to understanding endothermy and other convergent features in birds and mammals. *American Naturalist*. 155: 326-334.
- Ferrer S. Y., Denis A. D. & Ruiz C. I. (2010). Caracterización y selección del sitio de anidación de la grulla cubana (*Grus canadensis nesiototes*) en el herbazal del Refugio de Fauna El Venero, Cuba. *Animal Biodiversity and Conservation*. 33(1): 19-29.
- García E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- García-Collazo R. (2015). Ecofisiología de la anidación de *Sceloporus aeneus* en condiciones de alta montaña. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Pareja M. (2017). Ecología de anidación de *Phrynosoma asio* en el límite de su distribución altitudinal en Guerrero, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gómez E. I. M. (2005). Desarrollo y sobrevivencia de la nidada del lacertilio *Sceloporus aeneus* en el Nevado de Toluca, Edo. de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guillette L. J. Jr. (1982). The Evolution of Viviparity and Placentation in the High Elevation, Mexican Lizard *Sceloporus aeneus*. *Herpetologica*. 38(1): 94-103.
- Guillette L. J. Jr. (1986). Notes on oviposition and nesting in the high elevation lizard, *Sceloporus aeneus*. *Copeia*. 1: 232-233.
- Hernández-Gallegos O., Benítez-Dolores E., Pérez A., De la Rosa-Silva E., Granados-González G., Méndez-Sánchez J. F. & Martin W. J. (2021). Characterization of thermal and hydric conditions of nesting sites of female *Aspidoscelis costatus costatus* (Squamata: Teiidae). *Herpetological Conservation and Biology*. 16: 95-103.
- INAFED. (sin fecha). *Estado de Morelos, Huitzilac*. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/1a009a.html>
- INEGI. (2022). Aspectos geográficos, Morelos.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_17.pdf
- Jiménez-Arcos V. H. (2013). Variación fenotípica asociada a la coloración sexual en una población de *Sceloporus aeneus* (Squamata: Phrynosomatidae). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kratochvíl L. & Kubicka L. (2007). Why reduce clutch size to one or two eggs? Reproductive allometries reveal different evolutionary causes of invariant clutch size in lizards. *Functional Ecology*. 21: 171-177.
- Lara-Reséndiz R. A. (2008). Eficiencia de la termorregulación y modelación del nicho ecológico de dos especies hermanas de *Sceloporus* con diferente modo reproductor. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lara-Reséndiz R. A., Díaz de la Vega-Pérez A. H., Jiménez-Arcos V. H. & Méndez-De la Cruz F. R. (2013). Aspectos morfológicos y térmicos del nido de *Aspidoscelis costata* en Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84: 701-704.
- Lara-Reséndiz R. A., Larraín-Barrios B. C., Díaz de la Vega-Pérez A. H. & Méndez-De la Cruz F. R. (2014). Calidad térmica a través de un gradiente altitudinal para una comunidad de lagartijas en

la sierra del Ajusco y el Pedregal de San Ángel. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 885-897.

- Lara-Reséndiz R. A., Galina-Tessaro P., Pérez-Delgadillo A. G., Valdez-Villavicencio J. H., & Méndez-de la Cruz F. R. (2019). Efectos del cambio climático en una especie de lagartija termófila de amplia distribución (*Dipsosaurus dorsalis*): un enfoque ecofisiológico. *Revista mexicana de biodiversidad*. 90: e902888.
- Li S-R., Hao X., Wang Y., Sun B-J., Bi J-H., Zhang Y-P., Janzen F. J., Du W-G. (2018). Female lizards choose warm, moist nests that improve embryonic survivorship and offspring fitness. *Functional Ecology*. 32: 416-423.
- López-Luna M. A., Hidalgo-Mihart M. G., & Aguirre-León G. (2011). Descripción de los nidos del Cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii* en un paisaje urbanizado en el sureste de México. *Acta Zoológica Mexicana*. 27: 1-16.
- Ma L., Sun B.J., Li S.R., Sha W. & Du W.-G. (2014). Maternal thermal environment induces plastic responses in the reproductive life history of oviparous lizards. *Physiological Biochemical Zoology*. 87: 677-683.
- Ma L., Levy O., Buckley L. B., Hou C. & Du W.-G. (2022). Variable impacts on reproductive energetics may render oviparous squamates more vulnerable to climate warming than viviparous species. *Ecography*. e05624.
- Ma L., Hou C., Jiang Z.-W. & Du W.-G. (2023). Divergent effects of climate change on the egg-laying opportunity of species in cold and warm regions. *Conservation Biology*. e14056.
- Manríquez-Morán N. L., Villagrán-Santa Cruz M. & Méndez-de la Cruz F. R. (2013). Reproductive activity in females of the oviparous lizard *Sceloporus aeneus*. *The Southwestern Naturalist*. 58: 325-329.
- Manríquez-Morán N. L., González-Espinoza J. E., Domínguez-Guerrero S. F. & de la Rosa-Cruz G. (2023). Reproductive pattern of the southern bunchgrass lizard (*Sceloporus aeneus*) from Cuauhtepac de Hinojosa, Hidalgo, Mexico. *Acta Zoológica*. 00: 1-10.
- Martínez-González F., Sosa-Pérez F. & Ortiz-Medel J. (2010). Comportamiento de la humedad del suelo con diferente cobertura vegetal en la cuenca La Esperanza. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 1(4): 89-103.

- Medina-Cruz Y., Moncada-Gavilán F. & Nodarse-Abreu G. (2017). Selección del sitio de anidación y éxito de eclosión en nidos de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*). *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*. 27(1): 60-65.
- Méndez-de la Cruz F. R., Villagrán-Santa Cruz M. & Andrews R. M. (1998). Evolution of viviparity in the lizard genus *Sceloporus*. *Herpetologica*. 54 (4): 521-532.
- Muñoz I. D. J, Soler A. A., López G. F. & Hernández M. M. M. (2018). Edafología: Manual de métodos de análisis de suelos. UNAM. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. 139 pp.
- 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. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre, 2010.
- Ochoa-Ochoa L., Flores-Villela O., García-Vázquez U., Correa-Cano M. & Canseco-Márquez L. (2006). Áreas potenciales de distribución de la herpetofauna de México. Especie: *Sceloporus aeneus*, escala 1:1000000. Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Packard G. C., Tracy C. R. & Roth J. J. (1977). The physiological ecology of reptilian eggs and embryos, and the evolution of viviparity within the class Reptilia. *Biological Reviews*. 52: 71-105.
- Parker L. S. & Andrews M. R. (2007). Incubation temperature and phenotypic traits of *Sceloporus undulatus*: Implications for the Northern Limits of Distribution. *Oecología*. 151(2): 218-231.
- Pettijhon F. H. (1970). Rocas sedimentarias. Argentina: Ed. EUDEBA.
- Pruett J. E., Fargevieille A. & Warner D. (2020). Temporal variation in maternal nest choice and its consequences for lizard embryos. *Behavioral Ecology*. 31(4): 902-910.
- Rajkumar R.S. & Shine R. (2007). Why do female lizards lay their eggs in communal nests? *Journal Animal Ecology*. 76(5): 881-7.
- Renabib-Nisenbaum M. (1984). Efecto de la temperatura de incubación, la posición del nido y la fecha de anidación en la determinación del sexo de *Dermochelys coriacea*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Resetarits W. J. (1996). Oviposition Site Choice and Life History Evolution. *American Zoologist*. 36(2): 205-215.

- Rodríguez-Romero F. (2004). Demografía comparada de dos especies de lacertilios emparentados del género *Sceloporus* (Sauria: Phrynosomatidae) con diferente modo reproductor. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez-Romero F., Smith G. R., Méndez-Sánchez F., Hernández-Gallegos O., Sánchez Nava P. & Méndez-de la Cruz F. R. (2011). Demography of a semelparous, high-elevation population of *Sceloporus bicanthalis* (LACERTILIA: PHRYNOSOMATIDAE) from the Nevado de Toluca Volcano, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 56: 71-77.
- Rodríguez-Romero F., Galindo-Gil S. & Moreno-Barajas. (2023). Variación morfológica de las escamas cefálicas en *Sceloporus aeneus* y *Sceloporus bicanthalis*: diferenciación de especies por morfometría geométrica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 94: e943995.
- Romero-Álvarez S. D. (2017). Importancia de la caracterización morfodinámica y textural en la selección del sitio de anidación para la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*): El caso de las playas San Rafael y El Rincón en el Golfo de California, B. C., México. Tesis de Maestría. CICESE.
- Rovero F. & Chelazzi G. (1996). Nesting migrations in a population of the European pond turtle *Emys orbicularis* (L.) (*Chelonia Emydidae*) from central Italy. *Ethology Ecology & Evolution*. 8(3): 297-304.
- Sánchez-Herrera O. (1980). Herpetofauna of the Pedregal de San Angel. *Bulletin Maryland Herpetological Society*. 16: 9-18.
- Sandoval-Espinoza S. (2012). Proporción sexual en crías de tortuga *Lepidochelys olivacea* en corrales de incubación del pacífico mexicano. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN.
- Shine R. & Harlow. P. S. (1996). Maternal manipulation of offspring phenotypes via nest-site selection in an oviparous lizard. *Ecology*. 77: 1808-1817.
- Shine R. (1999). Egg-laying reptiles in cold climates: determinants and consequences of nest temperatures in montane lizards. *Journal of Evolutionary Biology*. 12(5): 918-926.
- Shine R. (2002). Reconstructing an adaptationist scenario: what selective forces favor the evolution of viviparity in montane reptiles? *The American Naturalist*. 160: 582-593.
- Shine R. (2005). Life-history evolution in reptiles. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 36: 23-46.

- Sun B. J., Li S. R., Xu X. F., Zhao W. G., Luo L.G., Ji X. & Du W.G. (2013). Different mechanisms lead to convergence of reproductive strategies in two lacertid lizards (*Takydromus wolteri* and *Eremias argus*). *Oecologia*. 172: 645-652.
- Telemeco R. S., Elphick M. J. & Shine R. (2009). Nesting lizards (*Bassiana duperreyi*) compensate partly, but not completely, for climate change. *Ecology*. 90: 17-22.
- Vega A., López J. & Oliver R. (2010). Biodiversidad, conservación y manejo en el corredor biológico Chichinautzin condiciones actuales y perspectivas. Capítulo 12, Vegetación terrestre y usos de suelo. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigaciones Biológicas, Concejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos, Gobierno del Estado de Morelos. México. 181-192 pp.
- Warner D. A. & Andrews R. (2002). Nest-Site selection in relation to temperature and moisture by the lizard *Sceloporus undulatus*. *Herpetologica*. 58(4): 399-407.
- Zabaleta-Lizárraga L. (2013). Factores que influyen en la anidación de tortuga verde (*Chelonia mydas*) en Veracruz. Tesis de Doctorado. Universidad Veracruzana.
- Zagonel S. T., Gilles L. G. & Bernardo da R. P. L. (2009). Nest site selection and hatching success of hawksbill and loggerhead sea turtles (testudines, Cheloniidae) at Arembepe Beach, northeastern Brazil. *Phylomedusa*. 8: 3-17.

Anexo 1. Escala de tamaños y nomenclatura de Wentworth, Diagrama ternario y nomenclatura de sedimentos y nomenclatura de gravas, arenas y lodos.

Tabla 3. Escala de tamaños y nomenclatura de Wentworth (Pettijhon 1970).

Tamices (número de malla)	milímetros	μm	Phi ø	Clase de tamaño Wentworth	
	4096		-12	Peñasco (Bloque)	Gravas
	1042		-10		
	256		-8		
Se usa una retícula de alambre	64		-6	Guijarro	
5	16		-4	Matatena Canto	
	4		-2		
6	3.36		-1.75	Granulo	
7	2.83		-1.5		
8	2.38		-1.25		
10	2		-1		
12	1.68		-0.75	Arena muy gruesa	Arenas
14	1.41		-0.5		
16	1.19		-0.25		
18	1		0		
20	0.84		0.25	Arena gruesa	
25	0.71		0.5		
30 1/2	0.59		0.75		
35	0.5	500	1		
40	0.42	420	1.25	Arena mediana	
45 1/2	0.35	350	1.5		
50	0.3	300	1.75		
60	0.25	250	2		
70	0.21	210	2.25	Arena fina	
80	0.177	170	2.5		
100 1/8	0.149	149	2.75		
120	0.125	125	3		
140	0.105	105	3.25	Arena muy fina	
170	0.088	88	3.5		

200 ^{1/16}	0.074	74	3.75		
230	0.0625	62.5	4		
270	0.053	53	4.25	Limo grueso	Lodos
325	0.044	44	4.5		
1/32	0.037	37	4.75		
	0.031	31	5		
1/64	0.0156	15.6	6	Limo mediano	
1/128	0.0078	7.8	7	Limo fino	
1/256	0.0039	3.9	8	Limo muy fino	
Análisis por medio del hidrómetro	0.002	2	9	Arcilla	
	0.00098	0.98	10		
	0.00049	0.49	11		
	0.00024	0.24	12		
	0.00012	0.12	13		
	0.00006	0.06	14		

Señalado en verde el número de tamiz utilizado.

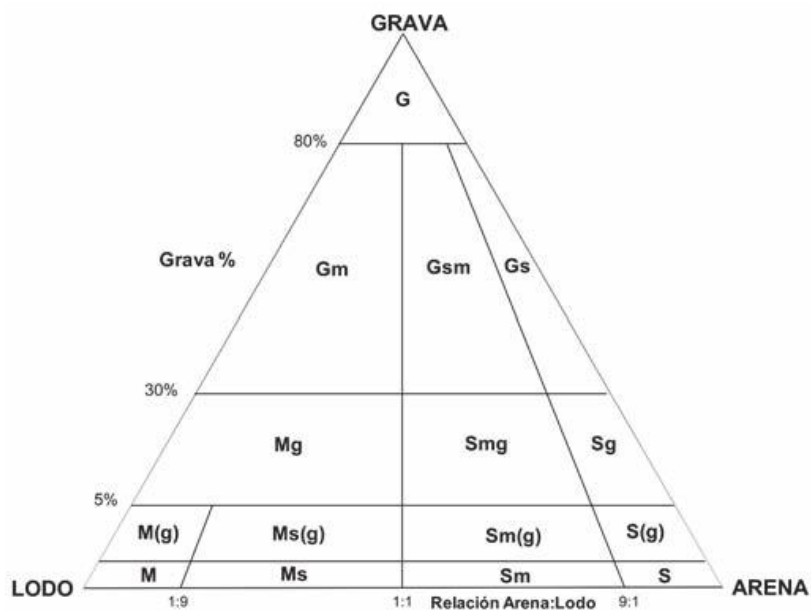


Figura 18. Diagrama ternario y nomenclatura de sedimentos terrígenos.

Tabla 4. Nomenclatura para gravas, arenas y lodos de acuerdo con el diagrama ternario (Pettijhon 1970).

	Clase Textural	Ejemplos
G.	Grava Conglomerados	Grava de guijarros Conglomerado de gránulos
Ga.	Grava arenosa Conglomerado arenoso	Grava de matatenas, arenosa Conglomerado de peñascos, arenoso
Gal.	Grava arenosa con lodo Conglomerado arenoso con lodo	Grava de gránulos, arena, con lodo Conglomerado de matatenas, arenoso con lodo
GL.	Grava lodosa Conglomerado lodoso	Grava de peñascos, limosa Conglomerado de matatenas, limoso
Ag.	Arena con grava Arenisca conglomerática	Arena gruesa con matatenas Arenisca gruesa con peñascos, lodosa
Agl.	Arena con grava lodosa Arenisca conglomerática lodosa	Arena fina con matatenas, limosa Arena gruesa con peñascos, lodosa
Lg.	Lodo con grava Lodolita conglomerática	Arcilla con guijarros Limolita con matatenas
A(g).	Arena con algo de grava Arenisca algo conglomerática	Arena mediana con algo de gránulos Arenisca gruesa con algo de matatenas
Al(g).	Arena con algo de grava Arenisca lodosa algo conglomerática	Arena mediana lodosa con algo de matatenas Arenisca fina limosa con algo de guijarros
La(g).	Lodo arenoso con algo de grava Lodolita arenosa algo conglomerática	Lodo con arena fina y algo de gránulos Arcilla con arena gruesa y algo de matatenas
L(g)	Lodo con algo de grava Lodolita algo conglomerática	Arcilla con algo de matatenas Lodolita con algo de guijarros
A.	Arena (especificar el grado de clase) Arenisca (especificar el grado de clase)	Arena bien clasificada Arenisca mediana mal clasificada
Al.	Arena lodosa Arenisca lodosa	Arena muy fina limosa Arenisca gruesa, lodosa
La.	Lodo arenoso	Arcilla con arena muy fina

Anexo 2. Triángulo de texturas.

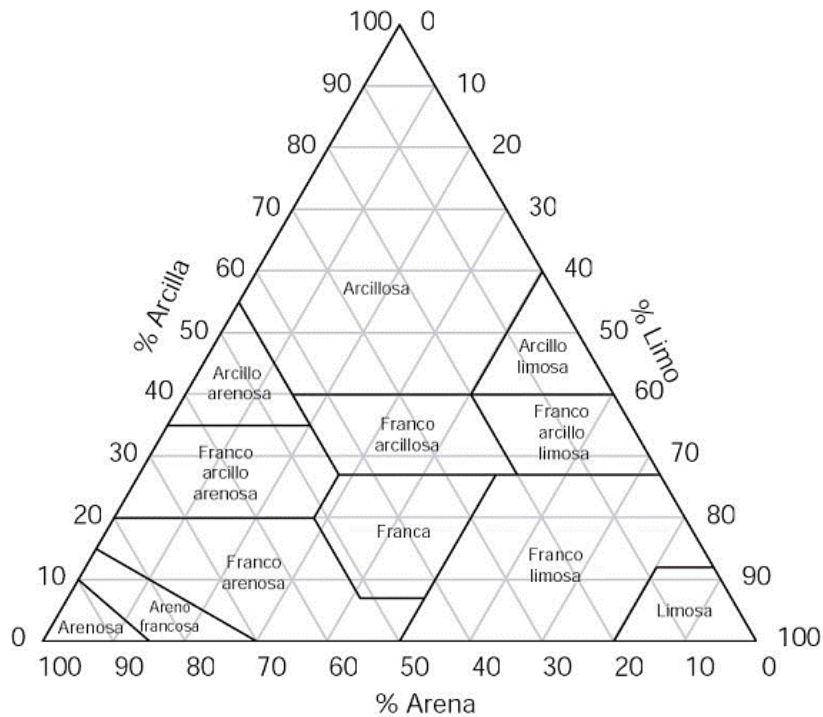


Figura 19. Triángulo de textura. (González-Naranjo y cols. 2012).

Anexo 3. Análisis estadísticos realizados para buscar diferencias en la temperatura y humedad ambiental, el número de nidos, número de huevos, porcentaje de vegetación y en la profundidad, largo y ancho de los nidos en los dos picos de anidación.

Tabla 5. Resultado de los análisis estadísticos realizados a cada variable para buscar diferencias entre los dos picos de anidación.

Variable	Estadístico
Temperatura (°C) y Humedad ambiental (%) (Fig. 20)	t=10.681, gl=120, P<0.001 U=399, P<0.001
Número de nidos (Fig. 21)	t=1.669, gl=15, P=0.110
Número de huevos (Fig. 22)	U= 797, P=0.07
Cobertura vegetal (%) (Fig. 23)	U=855.5, P=0.348

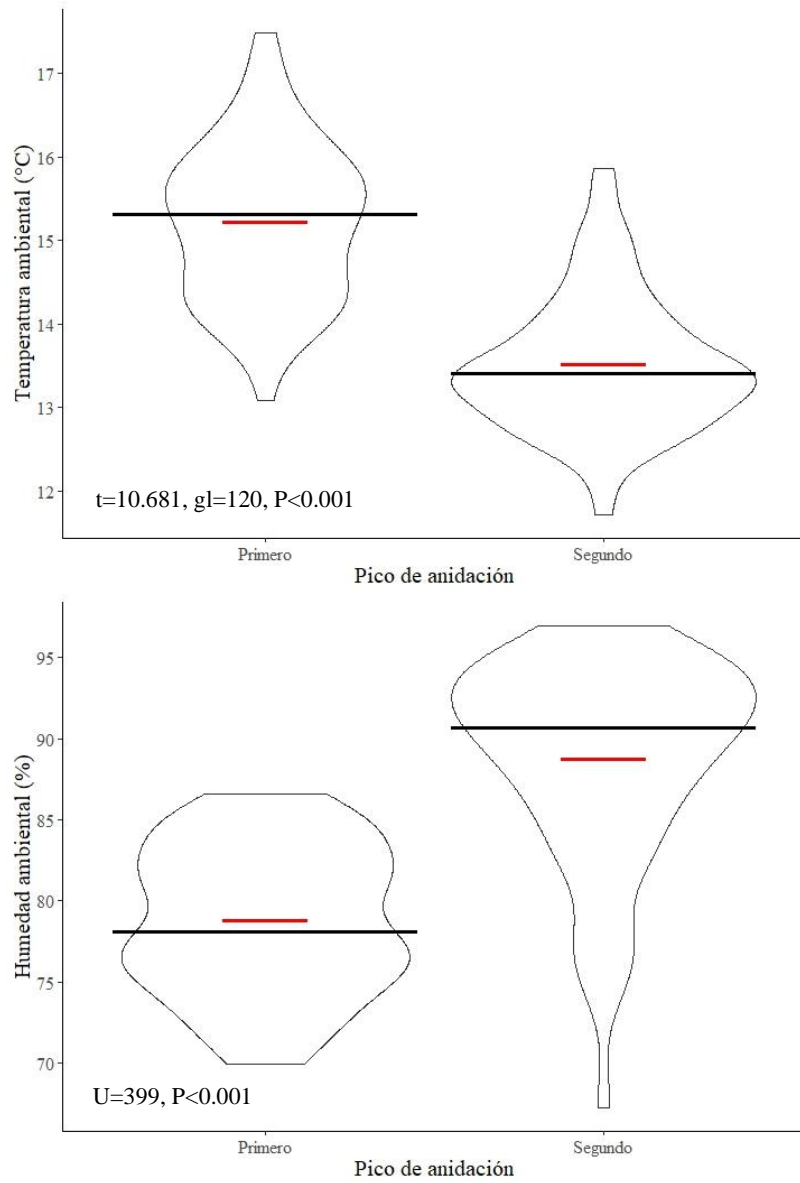


Figura 20. Variación que muestra las diferencias en la temperatura y humedad ambiental de los dos picos de anidación. Primero: junio-julio; Segundo: agosto-septiembre; línea roja representa la media y línea negra la mediana de cada conjunto de datos.

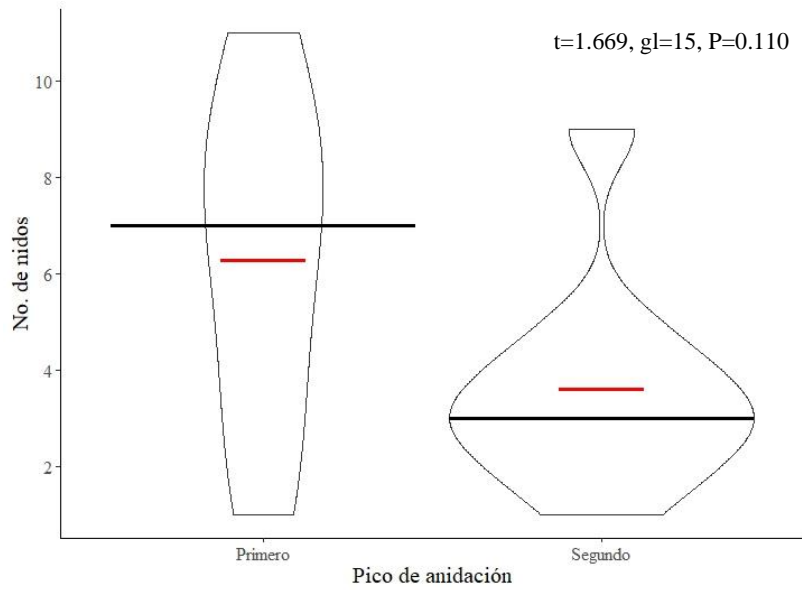


Figura 21. Variación en el número de nidos construidos por pico de anidación. Primer pico: junio-julio; Segundo pico: agosto-septiembre. Línea roja representa la media y la línea negra la mediana de cada conjunto de datos.

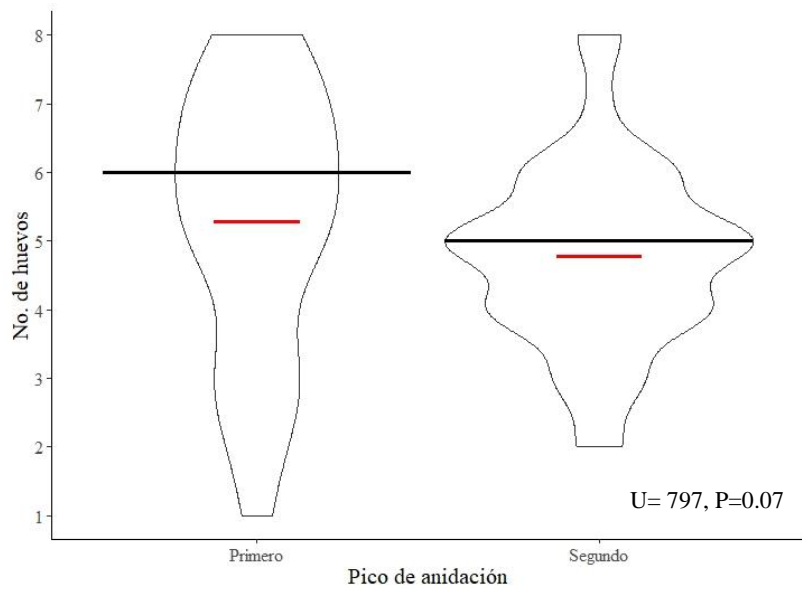


Figura 22. Variación el número de huevos ovipositados por pico de anidación. Primero= junio-julio; Segundo= agosto-septiembre. Línea roja representa la media y la línea negra la mediana de cada conjunto de datos.

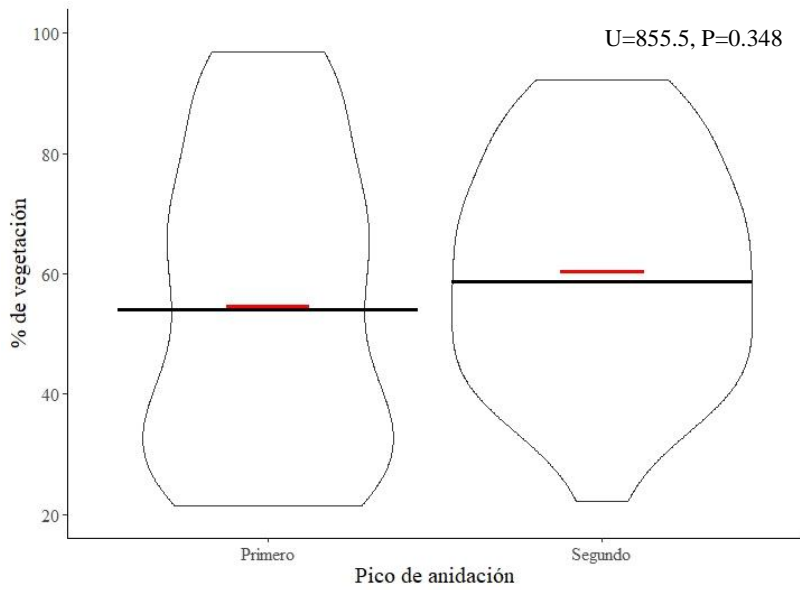


Figura 23. Variación en el porcentaje de vegetación en los nidos durante los dos picos de anidación. Primero= junio-julio; Segundo= agosto-septiembre; línea roja representa la media y la línea negra la mediana de cada conjunto de datos.

Tabla 6. Promedio y desviación estándar de las medidas registradas a los nidos durante los dos picos de anidación y resultado de la prueba estadística de las diferencias entre los dos picos de anidación.

Pico de anidación	Profundidad (cm)	Largo (cm)	Ancho (cm)
Primero	3.3±1.0	5.8±4.1	4.6±1.3
Segundo	3.1±1.0	4.1±1.9	3.1±0.9
Estadístico	t=0.7, gl= 89, P= 0.5	U=395.5, P<0.001	t=6.4, gl=89, P<0.001

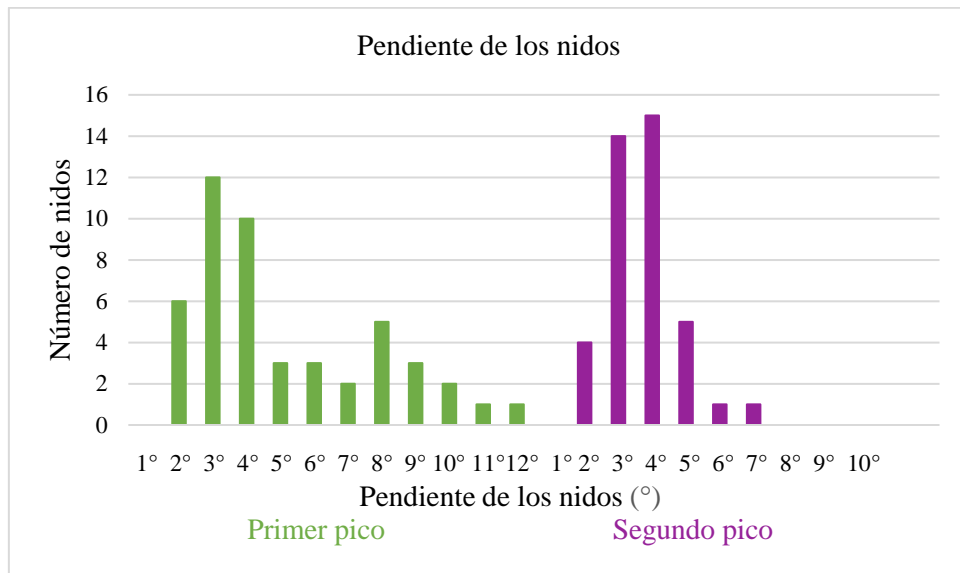


Figura 24. Frecuencias de la pendiente registrada en los nidos durante el primer y segundo pico de anidación.

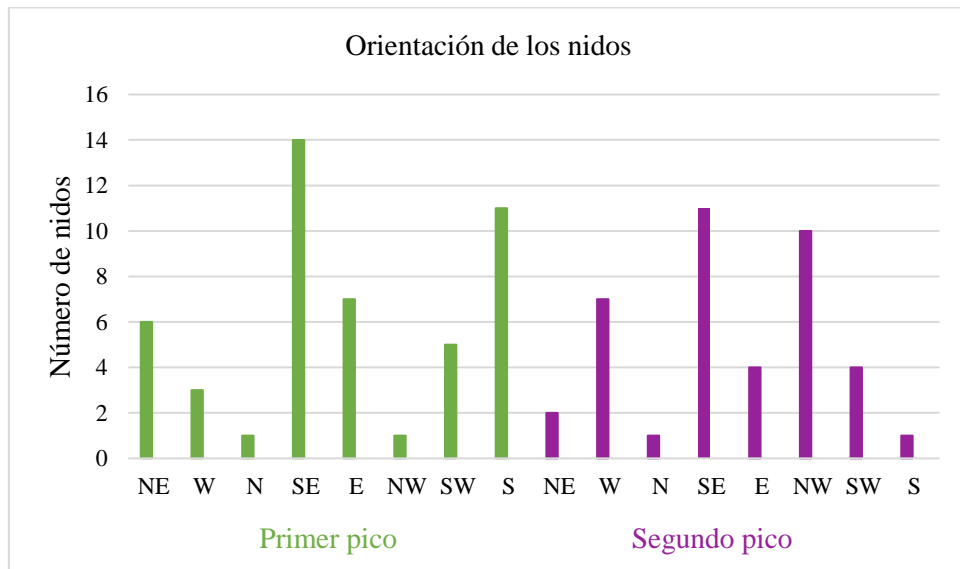


Figura 25. Frecuencia de la orientación en la cual se encontraron los nidos durante el primer y segundo pico de anidación.

Tabla 7. Promedio y desviación estándar de las distancias del nido a la vegetación más cercana.

	NE	W	N	SE	E	NW	SW	S
Ambos picos	175.6±1 16.7	182.6±1 08.7	133.8± 92.4	179.7±1 05.3	156.9±1 01.7	158.4±1 28.9	153.8±1 17.0	178.5±1 00.5
Primer pico	174.3±9 7.1	188.2±9 7.9	159.8± 99.1	180.7±7 0.1	159.5±7 6.8	58.0	129.7±8 8.1	174.5±7 5.2
Segundo pico	177.7±1 51.3	171.9±1 31.4	117.6± 90.8	179.0±1 25.4	152.2±1 45.0	166.8±1 30.8	165.9±1 30.5	183.2±1 29.9