

Nuevo método para simplificar la estimación de la proporción sexual en crías de tortuga marina utilizando datos de temperatura en corrales de incubación

New method of estimating sex proportion in sea turtle hatchlings using temperature data in hatcheries

Sarahi Sandoval*, Víctor Manuel Gómez-Muñoz**, Miguel Ángel Porta-Gándara***✉

Sandoval, S., Gómez-Muñoz, V. M., & Porta-Gándara, M. A. (2020). Nuevo método para simplificar la estimación de la proporción sexual en crías de tortuga marina utilizando datos de temperatura en corrales de incubación. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 14-21.

RESUMEN

La temperatura de incubación en los huevos de tortuga marina determina el sexo de las crías y en los últimos años se ha documentado un sesgo de la proporción sexual hacia hembras, por lo que se propone y comparte un modelo matemático práctico que se desarrolló con el programa MATLAB que utiliza la ecuación de Girondot para estimar la proporción de machos de la nidada. El programa necesita como datos de entrada el registro de la temperatura diario del corral de incubación con un sensor digital similar al del estudio propuesto, así como datos de la bitácora de anidación en archivos Excel como fecha de desove, fecha de eclosión y número de huevos o crías vivas. Este modelo puede ser aplicado en las

Palabras clave: temperatura del nido; proporción sexual en crías; tortuga marina; determinación de sexo; *Lepidochelys olivacea*.

Keywords: nest temperature; sex ratio in hatchlings; sea turtle; sex determination; *Lepidochelys olivacea*.

Recibido: 27 de junio de 2019, Aceptado: 14 de febrero de 2020

* Conacyt-Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Durango (CIIDIR). Sigma 119, 20 de Noviembre II, C. P. 34220, Durango, Dgo., México. Correo electrónico: sarahisandoval@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7221-5498>

** Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). PO Box 592, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23000, México. Correo electrónico: vgomez@ipn.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7577-0996>

*** Engineering Group, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR S. C.). PO Box 128, La Paz, Baja California Sur, C. P. 23000, México. Correo electrónico: maporta@cibnor.mx. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1647-2649>

✉ Autor para correspondencia

diferentes especies y playas de anidación. Se presenta un caso de estudio de *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina) en el campamento tortuguero Playa Ceuta Sinaloa, México.

ABSTRACT

The incubation temperature of sea turtle eggs determines the sex of the offspring. In recent years a bias towards females has been documented, so an easy and practical mathematical model was developed in MATLAB that uses the Girondot equation to estimate the proportion of males in a clutch. The program takes as input Excel files containing daily temperature records from the hatchery measured with a digital sensor similar to that of the proposed study, and laying date, hatching date, and number of eggs or live offspring from the nesting log. This model can be applied to different species of sea turtles and nesting beaches. A case study is presented for *Lepidochelys olivacea* (olive ridley turtle) at Playa Ceuta turtle rookery located in Sinaloa, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Las tortugas marinas tienen determinación sexual dependiente de la temperatura (TSD, por sus siglas en inglés) y no se ha encontrado una característica morfológica externa que permita determinar el sexo de las crías (Yntema & Mrosovsky, 1979). Diversos estudios han alertado sobre el sesgo hacia una proporción feminizante de crías en las playas de anidación (Gibbons, 1970; Jensen et al., 2018; Mrosovsky, Dutton, & Whitmore, 1984; Valenzuela et al., 2019). En la tortuga marina *Lepidochelys olivacea* (golfina) los huevos incubados a temperaturas de 28 °C producirán 100%

de machos y los huevos incubados a 32 °C producirán 100% de hembras (McCoy, Vogt, & Censky, 1983; Wibbels, Rostal, & Byles, 1998). Girondot (1999) propuso un modelo matemático para predecir la proporción sexual de machos en las crías en función de la temperatura media del nido durante el segundo tercio del periodo de incubación.

El presente estudio tuvo como objetivo presentar el procedimiento de un modelado matemático en el programa MATLAB para predecir la proporción de machos en función de las temperaturas del nido, teniendo en cuenta el número total de nidos del corral de incubación en un campamento tortuguero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo del método

La ecuación de Girondot (1999) propuesta para predecir la proporción sexual de machos P_m está en función de la temperatura media T durante el segundo tercio del periodo de incubación de cada nido:

$$P_m = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{P-T}{S}\right]}, \quad (1)$$

donde P es la temperatura pivote (50% machos y hembras) y S es un parámetro de forma que define que tan rápido cambia la proporción de sexos con la temperatura ($S < 0$).

Para conocer la P se recolecta un nido y se incuban los huevos a temperaturas constantes de 28, 29, 30, 31 y 32 °C, respectivamente, con arena del sitio de desove y se registra cada minuto la temperatura durante todo el periodo de incubación siguiendo el método de López-Correa, Porta-Gándara, Gutiérrez y Gómez-Muñoz (2010). Posteriormente, el día de la eclosión las crías se sacrifican con cloroformo, se extraen las gónadas y se fijan con Davidson, se montan en resina sintética (Humason, 1979) y se conoce el sexo de las crías usando un microscopio compuesto de acuerdo con el criterio de Merchant-Larios (2000).

Se utilizaron los valores de los parámetros S y P estimados por Sandoval, Gómez-Muñoz y Porta-Gándara (2017), donde se estimaron a partir del ajuste del modelo de regresión no lineal de Marquardt (1963) a los datos experimentales de la temperatura del nido durante el segundo tercio del periodo de incubación y la proporción observada de machos a todos los datos disponibles de la literatura (López-Correa et al., 2010; McCoy et al., 1983; Pauksis & Janzen, 1990; Sandoval, 2012; Wibbels et

al., 1998) para ajustar el modelo utilizaron la función *nlinfit.m* de MATLAB Statistics Toolbox, R2006a. La curva de la regresión no lineal obtenida fue significativa ($R^2 = 0.84$, $p = 1.97e-26$) y las estimaciones de los parámetros del modelo fueron: temperatura pivote $P = 29.95$ °C y factor de forma $S = -0.63$.

El programa MATLAB propuesto en este estudio permite usar otros valores de los parámetros del modelo Girondot (ecuación 1) en la línea de argumentos de la función *MaleProportion* (Apéndice). A partir de la bitácora del campamento tortuguero para cada nido i se tomaron los datos de día de desove $des(i)$, fecha de eclosión de las crías $eclo(i)$ y número de huevos $h(i)$ sembrados en el nido. Para estimar la proporción de machos en cada nidada es necesario calcular el periodo termosensitivo (segundo tercio del periodo de incubación) individualmente.

Para cada nido i se calcularon el día inicial $ini(i)$ y final $fin(i)$ del periodo termosensitivo (ecuaciones 2 y 3) que definen el segundo tercio del periodo total de incubación:

$$ini(i) = des(i) + \frac{1}{3}(eclo(i) - des(i)) \quad (2)$$

$$fin(i) = des(i) + \frac{2}{3}(eclo(i) - des(i)) \quad (3)$$

Con los datos de anidación del corral de incubación y los datos de temperatura del sensor colocado en la arena a 30 cm de profundidad en el corral de incubación promedio $Tmean(i)$ durante el periodo termosensitivo para cada uno de los nidos sembrados se calculó a partir de los datos de temperatura de arena $T(t)$ del corral de incubación entre los días inicial y final (ecuaciones 4 y 5):

$$Tmean(i) = Promedio(T(t); \quad ini(i) \leq t \leq fin(i)) \quad (4)$$

La proporción de machos, $P_m(i)$, se calculó a partir de la ecuación 1 utilizando $T = Tmean(i)$. La proporción global de machos, P_m , se calculó a partir de las estimaciones para cada nido individual i , $pm(i)$ y el número total de crías supervivientes, $e(i)$, que corresponde a los criterios de agrupación (criadero, estación o mes), como sigue:

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^N pm(i) \cdot e(i)}{\sum_{i=1}^N e(i)} \quad (5)$$

Preparación de archivos de datos

Se requieren dos archivos de datos: (1) datos de temperatura de arena del corral de incubación y (2) datos de la bitácora. El primer archivo contiene dos columnas: (1) día del año con una fracción decimal que representa la hora del día; y (2) datos de temperatura. En ambos archivos, el número del día del año se calcula de la siguiente manera: se convierte la fecha en un número y se resta el número correspondiente al 31 de diciembre del año anterior. Por ejemplo, el 21 de junio corresponde al día número 172 del año porque (para la serie de números de 2018): $43272 - 43100 = 172$. Por ejemplo la fila 172.5, 32.8 significa que la temperatura de la arena del 21 de junio a las 12 h fue de 32.8 °C. El segundo archivo contiene tres columnas con datos de incubación: (1) día de desove, (2) día de eclosión, y (3) número de huevos o crías sobrevivientes.

La función MATLAB MaleProportion calcula la proporción de machos a partir de la temperatura promedio de la ecuación 4. El programa lee los dos archivos de datos descritos anteriormente. El de Excel con los datos de temperatura se debe leer primero, y luego el de datos de anidación. En el último archivo, para cada nido, la proporción de machos se calcula aplicando la ecuación de Girondot (1) que promedia las temperaturas de incubación durante el segundo tercio del período de incubación (ecuación 4). Además, la proporción de machos global (GMP) para toda la temporada de incubación calculada a partir de la ecuación 5.

Caso de estudio

Se usaron la temperatura de la arena y los datos de anidación de la tortuga *L. olivacea* del campamento tortuguero Playa Ceuta, ubicado en Sinaloa, México, que cubre 30 km a lo largo de la costa ($24^{\circ} 10''$ N, $107^{\circ} 20''$ W; $23^{\circ} 52''$ N, $106^{\circ} 57''$ W; figura 1). El campamento se encuentra en un área natural protegida (ANP) bajo la categoría de Zona de reserva y sitio de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y monitoreo de algunas especies de tortugas marinas, en la categoría de santuario (SEMARNAT-CONANP, 2016).

Los registros térmicos se realizaron cada 30 min con un sensor (Hobo UA-001-08) colocado a una profundidad de 30 cm en una ubicación que fuera representativa de todos los nidos durante la temporada de anidación 2009. Con el fin de mostrar las tendencias generales de la temperatura de los nidos se calcularon los promedios móviles de la respectiva a la arena en el corral de incubación (figura 2).

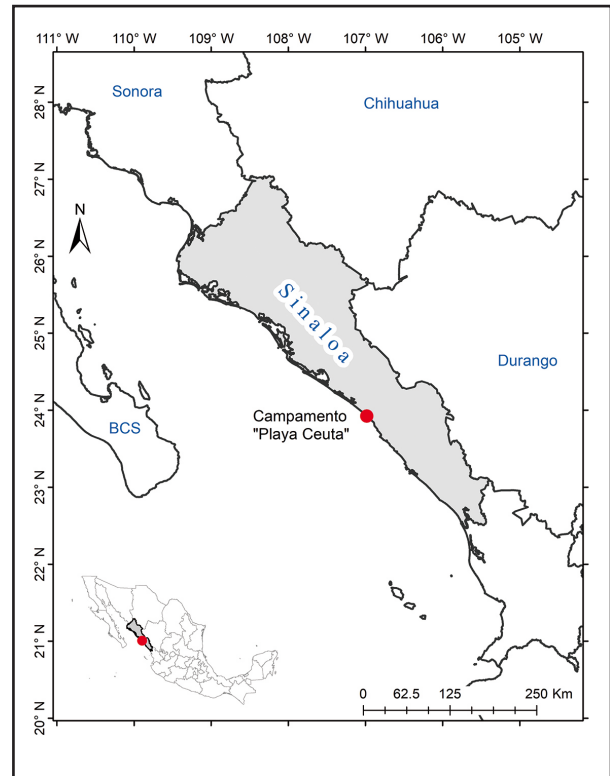


Figura 1. Ubicación del campamento tortuguero Playa Ceuta en Sinaloa, México. Elaboración propia.

La función MATLAB se aplicó utilizando los parámetros del modelo Girondot de una adaptación general del modelo utilizando conjuntos de datos de incubación a temperaturas controladas en el mundo (Sandoval et al., 2017). Los archivos Excel de los datos térmicos y los de anidación se prepararon de acuerdo con la metodología y se guardaron en el mismo directorio donde se carga el script de funciones. En la ventana de comandos (*command window*) de los paneles de MATLAB, la función se llama con la siguiente declaración:

```
[GMP, N, MonthProp, Males, T] = MaleProportion  
(29.9961, -0.6301, 110, 'TableResults')
```

RESULTADOS

Los registros de temperatura del corral de incubación durante la temporada 2009 en el campamento de tortugas Playa Ceuta en Sinaloa, México, mostró que al inicio de la temporada (julio y agosto) la temperatura fluctuó por arriba de 33 °C, y durante el segundo tercio del periodo de incubación se registró

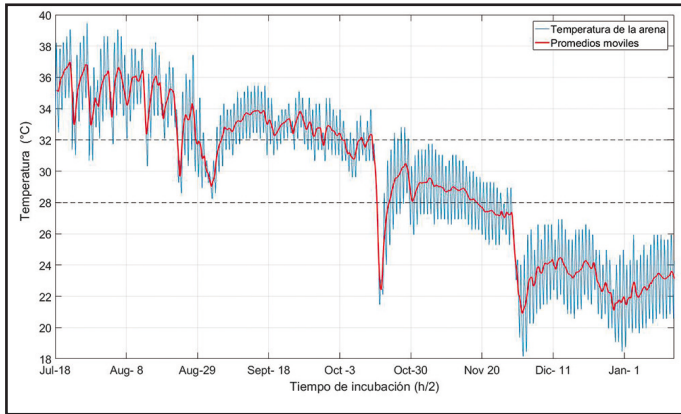


Figura 2. Registros de temperatura de la arena a lo largo de la temporada de anidación 2009 en el campamento tortuguero Playa Ceuta, Sinaloa, México. Elaboración propia.

por arriba de 34 °C, esperando 100% de hembras. La temperatura descendió a partir del mes de septiembre de 32 °C a 24 °C, pero durante el periodo termosensitivo estuvo arriba de 32 °C, por lo que se marca un sesgo hacia las hembras. Para los huevos sembrados en el mes de noviembre la temperatura descendió por debajo de 28 °C y durante el segundo tercio del periodo de incubación se mantuvo alrededor de 24 °C, entendiéndose así que a partir de noviembre para este campamento tortuguero hubo un sesgo hacia los machos y en los meses de julio a octubre hacia las hembras (figura 2).

El programa MATLAB genera un gráfico múltiple con distribuciones estadísticas de frecuencia de proporciones y frecuencia de machos por nido (por número de huevos), así como las distribuciones mensuales de la proporción y número de machos (figura 3). La salida numérica mostrada en la pantalla fue $GMP = 0.2859$ (proporción de machos estimada para toda la temporada de anidación del campamento tortuguero); $N = 22,498$ (número total de huevos procesados);

MonthProp = [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0002, 0.0403, 0.0128, 0.5012, 0.9707, 1.0]

(proporción de machos para cada mes del año en el campamento); Machos= 6,432 (número total de machos producidos el campamento); y una tabla de Excel titulada TableResults con el número estimado de días (inicial y final) del periodo termosensitivo utilizado para la temperatura media de la arena y la proporción de machos para cada nido.

En el campamento de Sinaloa, de un total de 232 nidos, 125 se concentraron en la frecuencia de

0%, 32 nidos en la de 10% de machos y solo 29 nidos mostraron un 100% de machos (figura 3a). La distribución del número de huevos de toda la temporada de anidación indica que la moda fue el intervalo de 0 a 10 machos por nido (figura 3b).

La distribución mensual de la proporción de machos reflejó para octubre 50% de machos, noviembre 98% y hasta el mes de diciembre 100%, pero se ha observado (figura 3c). El número total de machos fue de 6,432, octubre fue el mes con mayor número de los mismos con 43%, noviembre con 25% y diciembre con 26%. En esta área se encontraron a partir de agosto con solo 3%.

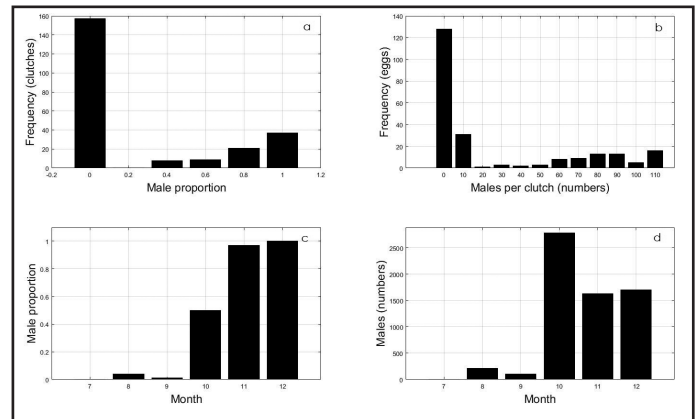


Figura 3. Salida gráfica de la función MATLAB para datos de anidación y temperatura de Sinaloa 2009. Los intervalos de agrupación se identifican por el valor del lado izquierdo. Elaboración propia.

DISCUSIÓN

La temperatura de la arena es uno de los factores que influyen en la proporción de sexos y probablemente en la mortalidad de las crías (Mrosovsky & Yntema, 1980).

Ackerman (1997) menciona que el rango de tolerancia óptimo para el desarrollo de los embriones en las tortugas marinas es de 25 °C a 35 °C, de acuerdo con esta información para el campamento del área de estudio (figura 4) las temperaturas fluctuaron entre 37 °C y 21 °C, por lo que se encontraron temperaturas por arriba de 34 °C, así como por debajo de 22 °C, por tanto, se esperó un bajo éxito de eclosión, tanto a inicio como a fin de temporada.

Mrosovsky (1980) menciona que la temperatura mínima requerida para el desarrollo es de aproximadamente 23 °C, y ya que el desarrollo embrionario es normal, pero lento, con más de 65 días para que las crías emerjan; en el área de estudio los nidos

con más de 45 días de incubación fueron los sembrados a finales de octubre.



Figura 4. Ejemplar de tortuga golfinia.
Fotografía proporcionada por el equipo de investigación.

CONCLUSIONES

En el campamento tortuguero Playa Ceuta, en Sinaloa, al inicio de temporada de anidación (junio-julio) y fin de temporada de anidación (diciembre o enero) es cuando menos hembras se presentan en las playas de anidación, por tanto, aunque la proporción de machos es alta a fin de temporada, debido al bajo porcentaje de nidos en esa época, la proporción final total de machos es baja. La proporción sexual total de la temporada de anidación (julio-diciembre) fue de 28% de machos a lo largo de toda la temporada de anidación.

Fuentes, Hamann y Limpus (2010) establecieron que a pesar de que las temperaturas están aumentando y se espera en un futuro un sesgo hacia las hembras, el modelo de predicción establece que se seguirán obteniendo machos, o como encontró Limpus (2008), hay una serie de variables de temperatura que ejercen una presión selectiva sobre la biología de anidación de tortugas marinas: playas de arena blanca son más frías que las de oscura, playas templadas son más frías que las playas tropicales, las playas son más frías en invierno que en verano.

No se puede afirmar que sucederá o está sucediendo en México, por lo que se debe poner énfasis en las áreas donde anteriormente no había anidaciones, en el registro de regímenes térmicos continuos, así como en la toma de muestras genéticas, para ver cómo se están moviendo las poblaciones en el Pacífico mexicano.

La función MATLAB propuesta que utiliza el modelo Girondot (1999) se puede aplicar a diferentes especies de tortugas marinas, gracias a que los parámetros P (Temperatura pivote) y S se pueden editar en el programa. El último es un parámetro de forma que define qué tan rápido cambia la proporción de sexos con la temperatura y ayuda a conocer de manera práctica la proporción sexual de machos, dato necesario para comprender el estado de conservación de las tortugas marinas.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal del campamento tortuguero Playa Ceuta en Sinaloa, México, por el permiso otorgado para llevar a cabo este estudio.

REFERENCIAS

- Ackerman, R. A. (1997). The nest environment and the embryonic development of sea turtles. En P. L. Lutz, & J. A. Musick (Eds.), *The Biology of Sea Turtles* (pp. 83-106). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Fuentes, M. M. P. B., Hamann, M., & Limpus, C. J. (2010). Past, current and future thermal profiles of green turtle nesting grounds: Implications from climate change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 383(1), 56-64.
- Gibbons, J. W. (1970). Sex ratios in turtles. *Researches on Population Ecology*, 12, 252-254. doi: 10.1007/BF02511569
- Girondot, M. (1999). Statistical description of temperature-dependent sex determination using maximum likelihood. *Evolutionary Ecology Research*, 1, 479-486.
- Humason, G. L. (1979). *Animal tissue techniques* (4a ed., 661 pp.). San Francisco, CA, US: W. H. Freeman and Company.
- Jensen, M. P., Allen, C. D., Eguchi T., Bell, I. P., LaCasella, E. L., Hilton, W. A.,... Dutton, P. H. (2018). Environmental warming and feminization of one of the largest sea turtle populations in the world. *Current Biology: CB*, 28(1), 154-159. doi: 10.1016/j.cub.2017.11.057

- Limpus, C. (2008). Olive ridley turtle, *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz). En L. Fien (Ed.), *A biological review of Australian marine turtles* (Vol. 4, 26 pp.). Queensland, Australia: Queensland Government Environmental Protection Agency.
- López-Correa, J., Porta-Gándara, M. A., Gutiérrez, J., & Gómez-Muñoz, V. M. (2010). A novel incubator to simulate the natural thermal environment of sea turtle eggs. *Journal of Thermal Biology*, 35(3), 138-142. doi: 10.1016/j.jtherbio.2010.01.005
- Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *SIAM Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431-441.
- McCoy, C. J., Vogt, R. C., & Censky, E. J. (1983). Temperature-controlled sex determination in sea turtle *Lepidochelys olivacea*. *Journal of Herpetology*, 17(4), 404-406. doi: 10.2307/1563594
- Merchant-Larios, H. (2000). Determinación del sexo en crías. En K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois, & M. Donnelly (Eds.), *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas* (Trad., pp. 150-155). Suiza: Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE.
- Mrosovsky, N. (1980). Thermal biology of sea turtles. *American Zoologist*, 20(3), 531-547.
- Mrosovsky, N., & Yntema, C. L. (1980). Temperature dependence of sexual differentiation in sea turtles: Implications for conservation practices. *Biological Conservation*, 18(4), 271-280.
- Mrosovsky, N., Dutton, P. H., & Whitmore, C. P. (1984). Sex ratios of two species of sea turtle nesting in Suriname. *Canadian Journal of Zoology*, 62(11), 2227-2239. doi: 10.1139/z84-324
- Paukstis, G. L., & Janzen, F. J. (1990). Sex determination in reptiles: Summary of effects of constant temperature of incubation on sex ratios of offspring. *Smithsonian Herpetological Information Service*, 83, 1-28.
- Sandoval, S. (2012). *Proporción sexual en crías de tortuga Lepidochelys olivacea en corrales de incubación del Pacífico Mexicano* (Tesis de doctorado). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz B. C. S., México.
- Sandoval, S., Gómez-Muñoz, V. M., & Porta-Gándara, M. A. (2017). Expansion of the transitional range of temperature for sea turtle *Lepidochelys olivacea* from sex ratio data at controlled incubation temperatures. *Herpetology Notes*, 10, 63-65.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2016). Prontuario estadístico y geográfico de las áreas naturales protegidas de México [Documento en pdf]. México: Autor. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/03/PRONTUARIO-ANP-2015.pdf>
- Valenzuela, N., Literman, R., Neuwald, J. L., Mizoguchi, B., Iverson, J. B., Riley, J. L., & Litzgus, J. D. (2019). Extreme thermal fluctuations from climate change unexpectedly accelerate demographic collapse of vertebrates with temperature-dependent sex determination. *Scientific Reports*, 9, 4254. doi: 10.1038/s41598-019-40597-4
- Wibbels, T., Rostal, D., & Byles, R. (1998). High pivotal temperature in the sex determination of the olive ridley sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from Playa Nancite, Costa Rica. *Copeia*, 1998(4), 1086-1088. doi: 10.2307/1447364
- Yntema, C. L., & Mrosovsky, N. (1979). Incubation temperature and sex ratio in hatchling loggerhead turtles: A preliminary report. *Marine Turtle Newsletter*, 11, 9-10.

APÉNDICE

Se comparte el programa de Matlab (.m) y el ejemplo de los archivos Excel necesarios:
<https://drive.google.com/drive/folders/1beq9keJU6fZB5PHj6KCdXnhUFIdfxaXa?usp=sharing>
 Appendix. MATLAB script

1)

```
function [GMP,N,PropMes,Machos,T]=MaleProportion(P,S,MaxEggs,ResultsTableName)
%[GMP,N,PropMes, Machos,T]=MaleProportion(P,S,MaxEggs,ResultsTableName)
%Output parameters:
%GMP=Proporción global de machos
%N= Total number of hatchlings for extrapolation
%T= Tabla de resultados (complimentary nesting data including initial and final dates of
```

```
%the termostative period, nesting temperature for Girondot model and male proportion for
%each clutch)
%Input variables: P=Temperatura pivote; S=Factor de forma
%Pivote=29.9961; S=-0.6301; Parametros de la especie
%In the graphical output, groups are identified by the lower extreme of the intervale
%MaxEggs Maximum used for graphical outputs
%ResultsTableName: Name for output Excel file, i.e. 'ResultsTable'

if nargin<3,MaxEggs=150;
end
FinMes=[31 59 90 120 151 181 212 243 273 304 334 365 396 424];
archtemp=uigetfile('*.xls');
Dtemp=xlsread(archtemp);
dia=Dtemp(:,1);temp=Dtemp(:,2);

archnido=uigetfile('*.xls');
Dnidos=xlsread(archnido);
diadesove=Dnidos(:,1);
diaeclosion=Dnidos(:,2);
huevos=Dnidos(:,3);

nidos=length(huevos);
T= [];

Mesminimo=12; Mesmaximo=1;

for i=1:nidos
    interv=floor((diaeclosion(i)-diadesove(i)+1)/3);
    if diaeclosion(i)<0, interv=15;end
    inicio=diadesove(i)+interv;
    fin=diadesove(i)+2*interv;
    l=find(dia>=inicio&dia<=fin);size(l);
    tmean=mean(temp(l));
    p(i)=girondot([P S],tmean);
    machos(i)=p(i)*huevos(i);
    T= [T;inicio,fin,tmean,p(i),round(machos(i))];
    M=find(inicio<=FinMes);
    mes(i)=min(M);

end
PropFinal=nansum(machos)/nansum(huevos);
mesini=min(mes);
Mesminimo=min(Mesminimo,mesini);
mesfin=max(mes);
Mesmaximo=max(Mesmaximo,mesfin);
for j=mesini:mesfin
    K=find(mes==j);
    MachosMes(j)=sum(machos(K));
    PropMes(j)=sum(machos(K))/sum(huevos(K));
end
maximomachoscorral=max(MachosMes);
xlswrite(ResultsTableName,T)
GMP=PropFinal;
```

```
N=nansum(huevos);
Machos=nansum(MachosMes);
```

```
hold on
subplot(2,2,1)
frecp=hist(p,0:0.2:1);bar(0:0.2:1,frecp,'k');
xlabel('Male proportion','FontSize',18); ylabel('Frequency (clutches)','FontSize',18);
grid on
```

```
subplot(2,2,2)
frecmachos=hist(machos,0:10:MaxEggs);
bar(0:10:MaxEggs,frecmachos,'k');
xlabel('Males per clutch (numbers)','FontSize',18); ylabel('Frequency (eggs)','FontSize',18)
grid on
```

```
hold on
subplot(2,2,3)
bar(mesini:mesfin,PropMes(mesini:mesfin),'k');
axis([Mesminimo-1 Mesmaximo+1 0 1.1])
xlabel('Month','FontSize',18);ylabel('Male proportion','FontSize',18)
grid on
```

```
hold on
subplot(2,2,4)
grid on
bar(mesini:mesfin,MachosMes(mesini:mesfin),'k');
axis([Mesminimo-1 Mesmaximo+1 0 maximomachoscorral+100])
xlabel('Month','FontSize',18);ylabel('Males (numbers)','FontSize',18)
grid on
```

2)

```
function p=girondot(b,t)
```

```
P=b(1);S=b(2);
p=1./(1+exp(1./S.*(P-t)));
```