

Densidad de poblaciones de *Gallotia galloti eisentrauti* en dos localidades con características ecológicas diferentes de la isla de Tenerife

Population density of *Gallotia galloti eisentrauti* in two localities with different ecological characteristics on the island of Tenerife



Trabajo de Fin de Grado

Nicolás Del Cristo García Afonso

Tutorizado por Deiene Rodríguez Barreto y Miguel Molina Borja
Grado en Biología. Julio 2024.

ÍNDICE

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción.	2
1.1 Especie de estudio	3
2. Objetivos.....	5
3. Material y métodos.....	5
3.1 Área de estudio	5
3.2 Técnica de estimación de densidad	7
3.3 Conversión de datos.....	9
3.4 Aplicación del programa Distance	10
3.5 Correlación entre la temperatura y la densidad de individuos.	12
4. Resultados.....	13
4.1 Población del Puerto de la Cruz.....	13
4.2 Población de Icod de los Vinos	15
4.3 Temperatura ambiental y densidad de población.....	17
5. Discusión	17
5.1 Densidades de <i>Gallotia galloti</i>	17
5.2 Densidades de otras especies de lagartos usando el muestreo de distancias.	20
5.3 Otros métodos de estima de densidad.....	21
5.4 Ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos de estimación de densidades.	22
5.5 Futuras líneas de investigación.	23
Conclusiones	24
Conclusions.....	24
Agradecimientos	25
Bibliografía:	25

Resumen

Este estudio tiene como objetivo realizar una estima de la densidad de población de *G. g. eisentrauti* en dos lugares ecológicamente diferentes, situados en el norte de la isla de Tenerife, concretamente en el municipio de Icod de los Vinos y en el municipio del Puerto de la Cruz. Para ello se han recogido datos de los especímenes mediante un muestreo intensivo en cada zona realizando transectos lineales con el método de distancias. El cálculo de la densidad se realizó mediante el programa Distance, usando como datos las distancias perpendiculares de los ejemplares detectados a la línea central de cada transecto, la longitud del mismo, así como el área cubierta.

Los resultados muestran que en la zona del Puerto de la Cruz, lugar que sufre una antropización actual, existe una mayor densidad de *G. g. eisentrauti* que en Icod de Los Vinos, lugar con una fuerte antropización en el pasado pero que se encuentra en recuperación.

Hipotetizamos que hay tres posibles factores que pueden explicar los resultados obtenidos: el clima en las diferentes zonas, la relación entre la cobertura vegetal y la disponibilidad de alimentos, y el grado de antropización de cada una de las zonas, los cuales podrían actuar de forma conjunta.

Abstract

This study aims to estimate the population density of *G. g. eisentrauti* in two ecologically different locations in the north of the island of Tenerife, specifically in the municipality of Icod de los Vinos and in the municipality of Puerto de la Cruz. To this aim, data were collected from the specimens by means of sampling along linear transects. Subsequently, the different data obtained were processed with the Distance program in order to carry out the analyses.

The results showed that in the area of Puerto de la Cruz, a place that suffers a current anthropization, there is a higher density of *G. g. eisentrauti* compared to the area of Icod de los Vinos, a place with a strong anthropization in the past which is currently recovering.

We hypothesize that there are three main drivers of the differences observed: climatic differences between zones, vegetation cover, food availability, and anthropization degree, which could be acting simultaneously.

Palabras clave: Antropización, densidad, *Gallotia*, Islas Canarias, población.

1. Introducción.

Una población se define como un grupo de individuos de la misma especie que viven en una misma área geográfica y tienen la capacidad de cruzarse entre sí, compartiendo un pool genético común. La densidad de las poblaciones, es un parámetro que indica el número de individuos de una especie en un área o volumen específico, y nos aporta gran cantidad de información sobre la población de estudio, contribuyendo a la estructura y funcionamiento del ecosistema e influyendo en la biomasa, la productividad y los ciclos de nutrientes (Begon et al. 2006).

Se conocen diversos métodos para poder estimar las densidades de poblaciones en los vertebrados. Algunos de ellos pueden ser las cámaras trampa que son útiles para especies nocturnas, crípticas o difíciles de observar. Para su uso se colocan cámaras en áreas estratégicas y se analiza la frecuencia de captura de imágenes para estimar la densidad (Rowcliffe et al. 2004).

Otros métodos de análisis se basan en huellas y rastros, identificando y contando huellas o rastros dejados por animales para estimar su densidad. Es particularmente útil para mamíferos en bosques densos o áreas donde es difícil la observación directa (Smallwood et al. 1995).

Los lagartos en islas tienen gran importancia ecológica debido a su papel crucial en redes tróficas desempeñando el rol de depredador y presa, actuando como dispersores de semillas y polinizadores, influenciando por tanto la estructura y dinámica de las comunidades insulares. Además, sus adaptaciones y especiación en entornos aislados nos brindan información muy valiosa sobre la evolución (Schoener & Spiller 1996, Case & Bolger 1991). Sin embargo, la cantidad de estudios sobre la densidad de población de estos reptiles sigue siendo relativamente limitada (Rodda et al. 2001).

Sus poblaciones a nivel global muestran una densidad local significativamente más alta en las islas comparadas con el continente, incluso cuando se consideran los recursos disponibles en ambos lugares. En las zonas continentales, la cantidad de depredadores y competidores tiene una correlación débil con la densidad de lagartos. En contraste, en las islas, la disminución considerable en la cantidad de depredadores y competidores es el factor principal que determina la abundancia de lagartos (Buckley et al. 2007).

Analizar la densidad de individuos no sólo aporta conocimiento básico sobre los ejemplares de un determinado ecosistema, sino que también aporta información importante para poder predecir la evolución de las poblaciones en peligro de extinción.

Estimar la densidad de individuos de forma precisa es relativamente difícil, teniendo en cuenta que todos los ejemplares no pueden detectarse con exactitud en el medio natural (Yoccoz et al. 2001). Los mismos autores han afirmado que es necesario tener en cuenta esta detección imperfecta y ha surgido un notable interés en integrar y combinar métodos de estudio menos intensivos con el desarrollo de modelos alternativos de estimación que consideren la detección imperfecta y continúen proporcionando estimaciones fiables de abundancia o densidad. Dos ejemplos de estos son el muestreo a distancia y los modelos de ocupación basados en abundancia.

Por un lado, el muestreo de distancias es una técnica ampliamente reconocida basada en la probabilidad de detectar individuos a diferentes distancias y que se recopilan mediante transectos lineales o parcelas (Thomas et al. 2010). Por otro lado, los modelos de ocupación estiman de manera explícita la abundancia (k), como el modelo de heterogeneidad inducida por la abundancia de Royle-Nichols (Royle y Nichols 2003; Royle 2004). Estos modelos de ocupación basados en la abundancia pueden utilizar datos de conteo o de presencia-ausencia obtenidos a través de varios métodos de detección en campo y no requieren un historial de captura único para cada espécimen observado (Ariefiandy et al. 2014).

Estimar la densidad de poblaciones de lagartos puede ser un desafío debido a su comportamiento y a las características de su hábitat. A continuación, se analizan las ventajas y desventajas de varios métodos comúnmente utilizados para este fin:

El método de Captura-Marcaje-Recaptura permite estimar con precisión la densidad poblacional mediante modelos matemáticos que consideran las probabilidades de captura y recaptura y también proporciona datos sobre tasas de supervivencia, crecimiento y movimientos de los individuos. Pero requiere múltiples capturas y un esfuerzo considerable para marcar y recapturar a los individuos. Y la manipulación frecuente puede causar estrés y posibles lesiones en los lagartos (Otis et al. 1978).

El método de cámara trampa no requiere la captura física de los lagartos, reduciendo el estrés y el riesgo de lesiones. Además, permite la recolección de datos durante largos períodos sin la presencia constante de investigadores, pero las cámaras trampa pueden ser costosas y requieren mantenimiento regular (Rowcliffe et al. 2008).

1.1 Especie de estudio.

El género *Gallotia* es uno de los géneros de vertebrados más importante y representativo de las Islas Canarias ya que se trata de un género endémico, cuenta con siete especies vivas actuales

(entre las cuáles se diferencian doce subespecies) y dos especies extintas (*Gallotia auaritae* y *Gallotia goliath*). (Fig. 1)

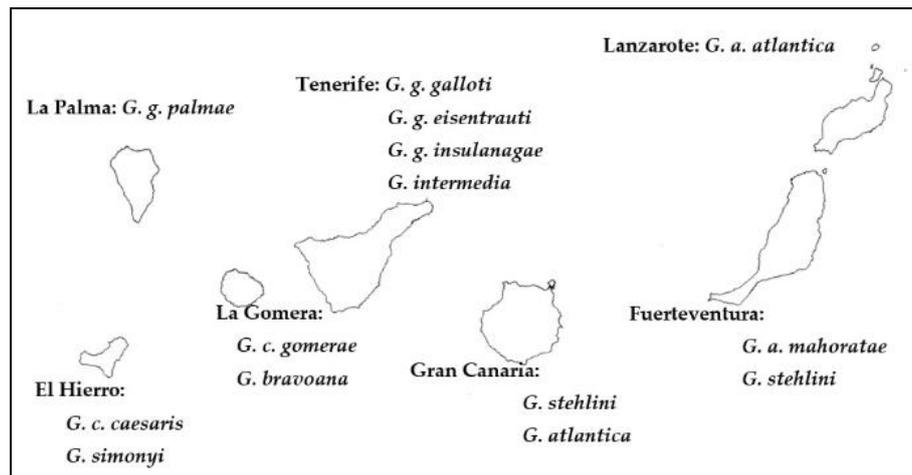


Figura 1, Distribución de especies del género *Gallotia* en las islas canarias. Sacado de *Morphology, Behaviour and Evolution of Gallotia Lizards from the Canary Islands* (Miguel Molina-Borja y Martha L. Bohórquez-Alonso, 2023).

El presente estudio se centrará en la especie *G. g. eisentrauti*, especie endémica de las islas de Tenerife y La Palma, y de los islotes de Roques de Anaga y Roque de Garachico.

Su rango altitudinal es amplio, desde las zonas costeras hasta las cumbres de las islas, superando los 3.000 metros en Tenerife. Habita una amplia gama de hábitats. Pero su presencia es limitada en los bosques de laurisilva, donde solo se encuentra en los bordes de las pistas forestales. En los bosques de pinos, su presencia es menos común, aunque la densidad varía según la cantidad de árboles presentes (Delgado et al., 2007). En otros hábitats, como zonas de cultivo, es muy común, llegando a densidades notables, con registros de hasta 1.500 individuos por hectárea (Báez, 2002).

Su dieta es omnívora, incluyendo hojas, flores y frutos de diversas plantas locales, así como algunos insectos (Rodríguez et al., 2008).

Muestra preferencia por hábitats rocosos y es especialmente abundante en muros de piedra contruidos por humanos en áreas agrícolas. A menudo excava madrigueras en la base de arbustos, especialmente en hábitats secos o con poca roca.

Aunque su conservación es óptima en la mayoría de los hábitats mencionados, su densidad en áreas agrícolas puede llevar a conflictos con los agricultores, que a menudo recurren a venenos o trampas para controlar su población (Báez, 2002).

Se han identificado cuatro subespecies morfológicas, algunas específicas de ciertas áreas de Tenerife y La Palma. A nivel molecular, la subespecie de La Palma está claramente diferenciada de las de Tenerife (Harris et al. 1998).

La importancia de este grupo de reptiles se debe a varios factores como son: su posición filogenética, al ser un grupo basal dentro de los lacértidos (Harris et al. 1998), ser uno de los pocos géneros de lagartos totalmente insulares y sus problemas de conservación. (Molina & Bohórquez, 2023).

Los problemas de conservación vienen ligados a la pérdida de hábitat, debido al gran aumento demográfico y uso del territorio por parte de los humanos en las Islas Canarias, a la introducción de especies invasoras, como es el gato cimarrón o asilvestrado, y al posible efecto del cambio climático; es necesario estudiar cómo puede afectar este último factor (aumento excesivo de las temperaturas) a este género (Ravelo & Reyes, 2021).

Conocer y entender el estado actual de las poblaciones del género *Gallotia*, específicamente de *G. g. eisentrauti*, es importante para mejorar los esfuerzos de conservación de esta especie. Estudiar la densidad de diferentes poblaciones infra-estudiadas como pueden ser las poblaciones de la vertiente norte de la isla de Tenerife, puede aportar información relevante para su conservación y sentar las bases, para en un futuro, entender mejor cómo diferentes factores pueden afectar a las dinámicas poblacionales de esta especie.

2. Objetivos

El presente trabajo de fin de grado tiene como objetivo principal realizar una estima de la densidad de población de *G. g. eisentrauti* en dos lugares ecológicamente diferentes del norte de la isla de Tenerife: uno de ellos en una zona antropizada y otro en una zona previamente antropizada en proceso de recuperación.

Adicionalmente se analizará si una estima más simplificada de densidad tiene relación significativa con la temperatura ambiental en cada una de las zonas.

3. Material y métodos

3.1 Área de estudio

Se estudió a *G. g. eisentrauti* en dos zonas ecológicamente diferentes: una primera zona situada en la localidad del Puerto de la Cruz, concretamente en el barranco de la playa del Bollullo (28° 24'N, 16° 31'W), cubriendo un área aproximada de 48.829,4 m², y en una altitud comprendida entre los 30 y 60 metros sobre el nivel del mar.

El lugar cuenta con un paseo que atraviesa una serie de parcelas abandonadas (Figura 2), en las que se va a realizar este estudio, por lo que habrá cierta antropización debido a los transeúntes que se dirigen a pasear animales o realizar actividad física. La vegetación potencial que nos ofrece esta zona es *Artemisia thuscula*, *Euphorbia lamarckii*, *Lavandula canariensis* o *Kleinia neriifolia*. Además, durante el estudio se pudo visualizar como en la zona predominaban herbívoros como *Oryctolagus cuniculus* o especies depredadoras como *Felis catus*.

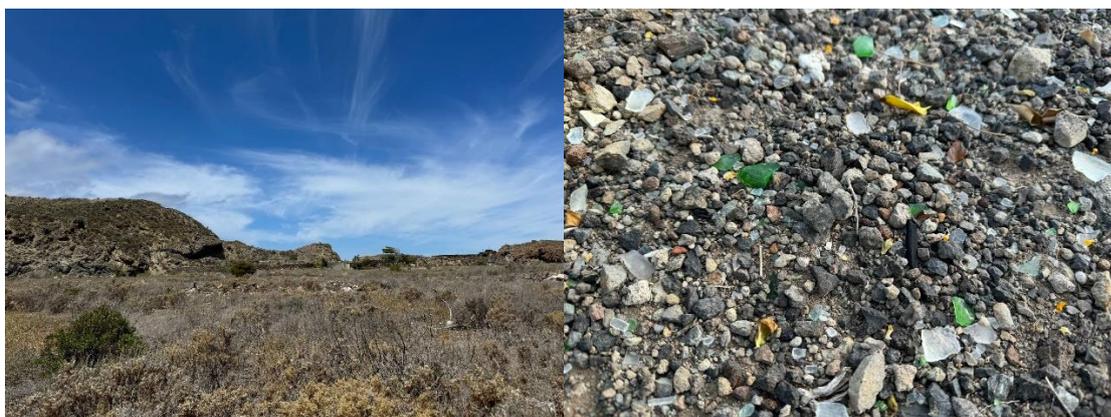


Figura 2: Zona de muestreo Puerto de la Cruz.

La segunda zona de muestreo se sitúa en la localidad de Icod de Los Vinos, en un antiguo vertedero próximo a la playa de San Marcos (Fig. 3a) ($28^{\circ} 23'N$, $16^{\circ} 43'W$), cubriendo aproximadamente un área de 250.694,99 m² y abarcando una altitud entre los 20 a los 80 metros sobre el nivel del mar.

A diferencia de la primera zona de muestreo este lugar no contaba con una excesiva antropización actual, pero al tratarse de un antiguo vertedero se podían encontrar residuos como cristales, neumáticos o plásticos (Fig. 3b). No obstante, en esta zona la vegetación potencial o real consta de *Artemisia thuscula*, *Periploca laevigata*, *Lavandula canariensis* o *Argyranthemum sp.*, además de encontrarse en algunos lugares especies invasoras como *Pennisetum setaceum* o *Nicotiana glauca*.

Se aprecia que, aunque la zona estuviera fuertemente antropizada en un pasado, se está recuperando poco a poco la vegetación natural de la misma.



*Figura 3: a) Zona de muestreo Icod de los Vinos
b) Suelo de la zona de muestreo de Icod de los Vinos*

Las labores de muestreo se realizaron entre los meses de abril y mayo de 2024, acudiendo a los lugares mencionados en horario de 10:00 am a 15:00 pm. La temperatura y humedad relativa fue obtenida a partir de un medidor electrónico (Fig. 4) cuyo sensor externo se colocaba sobre el suelo en una zona con sombra a la hora de llegada, recogiénolo a la hora en la que se finalizaba el muestreo, permitiendo llevar un seguimiento diario de estas variables, obteniendo luego las medias de cada parámetro. En la zona del Puerto de la Cruz hubo una temperatura media de $27,8 \pm 4,01^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa media del $42 \pm 6,07\%$. Por otro lado, en la zona de Icod de los Vinos hubo una temperatura media de $27 \pm 1,50^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa media de $53 \pm 5,95\%$.



Figura 4: Medidor de temperatura y humedad relativa.

3.2 Técnica de estimación de densidad

Para la estimación de densidad se usó la técnica de muestreo de distancias a través de transectos lineales (Thomas et al. 2010). El observador se desplazaba a lo largo de una línea de longitud

variable y se registraba la distancia perpendicular a la línea central del transecto de los ejemplares que se iban detectando.

Se realizaron un total de 13 transectos, de aproximadamente 50 metros de longitud, en cada una de las localizaciones, separados entre sí por otros 50 metros para así cubrir el máximo área posible y evitar la posible repetición de ejemplares de transectos previos. Al comienzo y al final de cada transecto se tomó nota de las coordenadas para georeferenciarlas y poder obtener a posteriori su longitud en el software Google Earth.

Todos los transectos fueron realizados por el mismo observador, cubriendo un ancho de visión hacia cada lado de la línea principal de 10 metros aproximadamente. Se tardó alrededor de 15 minutos en realizar cada uno de los transectos.

Los datos fueron recopilados con un medidor láser de distancias GLM 120 C de BOSCH (Fig. 5a), colocado a la altura abdominal del observador (1,25 metros). Tras la observación de un individuo (Fig. 5b) y efectuar el disparo láser a su posición se tomaban dos medidas, la distancia perpendicular a la línea central del transecto y el ángulo con el que se realizó el disparo para posteriormente calcular las distancias a nivel del suelo de los individuos.

Uno de los requisitos del programa es que se disponga de un tamaño de la muestra mínimo (n) de entre 60-80 individuos detectados en cada lugar de muestreo. Además no deben considerarse los ejemplares que se encontraron en movimiento y no se hace distinciones entre ejemplares en estadio adulto o juvenil. Se detectaron un total de 178 individuos en la zona del Puerto de la Cruz y de 143 individuos en la zona de Icod de los Vinos.



*Figura 5a: Medidor láser de distancias.
b: Individuo al que se le van a tomar los datos de distancia.*

3.3 Conversión de datos

Para calcular las distancias reales de los individuos a nivel del suelo es necesario conocer la distancia perpendicular del espécimen al observador “*dist. Medidor*” y el ángulo con el que se ha disparado el láser “*ángulo*” (Fig. 6). A partir de estas medidas se obtiene la distancia real a nivel del suelo (fórmula bajo estas líneas) la cuál es igual el seno del ángulo complementario en radianes multiplicado por la distancia obtenida con el medidor a la altura del observador. La conversión de los datos se ha realizado creando un fichero en Excel (Fig. 7) en base a las medidas tomadas en el campo.

$$\text{sen}((90 - \text{"ángulo"}) \times 180) \times \text{"dist. medidor"}$$

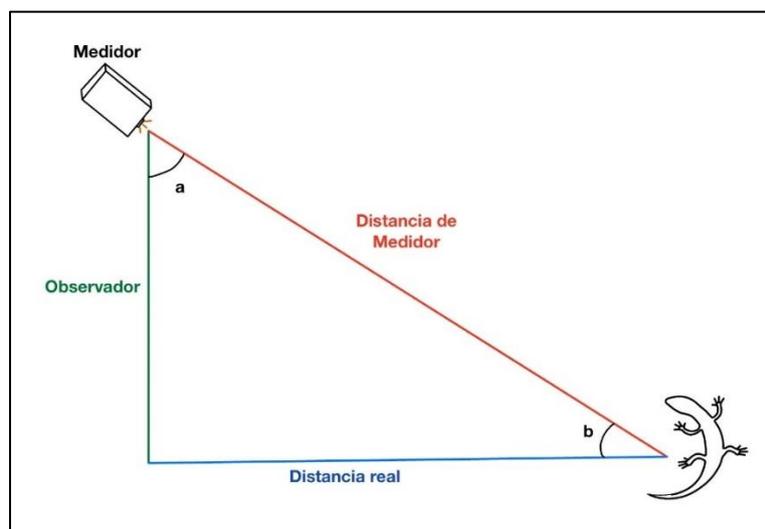


Figura 6. Esquema básico para el cálculo de la distancia real de un individuo, donde (a) es el “ángulo del medidor respecto al suelo” y (b) es el ángulo complementario.

dist. Medidor (m)	ángulo	áng. Complementario	Valor radianes	seno (L)	Distancia Real suelo	TRANSECTO	Distancia transecto (m)
3,271	7,3	82,7	1,443386991	0,9918944044	3,244486597	1	65,2
3,715	17	73	1,274090089	0,9563046785	3,55267188	1	65,2
4,503	10	80	1,396263111	0,9848077026	4,434589085	1	65,2
2,765	21	69	1,204276933	0,9335803367	2,581349631	1	65,2
1,545	45	45	0,785398	0,7071066656	1,092479798	1	65,2
2	29	61	1,064650622	0,8746195998	1,7492392	1	65,2
3,706	13	77	1,343903244	0,9743700019	3,611015227	1	65,2
2,703	31	59	1,029744044	0,8571671904	2,316922916	1	65,2
1,308	34	56	0,9773841778	0,8290374588	1,084380996	1	65,2
0,909	47	43	0,7504914222	0,6819982459	0,6199364055	1	65,2
0,909	47	43	0,7504914222	0,6819982459	0,6199364055	1	65,2
3,904	7,6	82,4	1,438151004	0,9912155007	3,869705315	1	65,2
1,784	38	52	0,9075710222	0,7880106374	1,405810977	2	50,8
2,046	24	66	1,151917067	0,9135453602	1,869113807	2	50,8

Figura 7: Ejemplo de tabla Excel para el cálculo de distancias reales desde el observador a cada lagarto, a nivel del suelo.

El fichero de datos obtenido se pasó a formato de texto (.txt) que se importó luego al programa Distance. Este archivo contiene información sobre: el estrato que se estudia que corresponde con la zona muestreada, el identificador de cada transecto, el área cubierta en cada transecto, la longitud total de cada uno y la distancia real previamente calculada. (Fig. 8)

Stratum	Area	Transect	Length	Distance
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	1,28152
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	0,52280
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	3,05716
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	1,27579
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	1,30327
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	6,13917
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	1,56323
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	2,20079
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	1,57714
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	2,65683
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	2,62620
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	2,65186
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	2,46899
Stratum 1	1072	Line 1	53,6	1,22511

Figura 8. Bloc de notas con los datos obtenidos del fichero Excel para su incorporación en el programa Distance.

3.4 Aplicación del programa Distance

Una forma simplificada para realizar el cálculo de la densidad es dividir el número de individuos observados (n) por el área total muestreada (a). El software DISTANCE utiliza una versión mejorada de esta fórmula para proporcionar estimaciones más precisas teniendo en cuenta la diferente probabilidad de detectar ejemplares con la distancia a la línea central del transecto.

DISTANCE determina la función de detección ($g(x)$) a partir de la distribución de las distancias perpendiculares de los individuos detectados. Este programa considera que no todos los individuos de la muestra serán detectados y que la probabilidad de detección disminuye con la distancia desde la línea central del transecto. La función de detección ($g(x)$) indica la probabilidad de encontrar un individuo a una distancia x del centro del transecto, y generalmente esta probabilidad disminuye con el aumento de la distancia. La función de detección también puede verse afectada por factores como el sexo, tamaño, comportamiento, y estado reproductivo de los individuos, y estas características pueden ser utilizadas como covariables para mejorar las estimaciones (Buckland et al. 2001).

Para asegurar la fiabilidad de las estimaciones, se deben cumplir las siguientes suposiciones:

1. Todos los individuos presentes en la línea del transecto tienen la mayor probabilidad de ser detectados ($g(0)=1$).
2. Los individuos son detectados en su posición original (excluyendo los que estén en movimiento en el momento de detectarlos).
3. Las distancias se miden con precisión y exactitud.

El software DISTANCE utiliza la siguiente ecuación para estimar la densidad en los transectos lineales:

$\hat{D} = \frac{n}{a} \rightarrow \hat{D} = \frac{n}{2wL} \rightarrow \hat{D} = n \frac{n}{2wLPa}$, siendo n es el número de observaciones, L la longitud total de los transectos, w la anchura de los transectos, a el área total analizada ($2wL$), y \hat{Pa} la probabilidad de detección (Buckland et al. 2001). Luego, teniendo en cuenta que $Pa = \int_0^w \frac{g(x)dx}{w}$, que $f(x) = \frac{g(x)}{\int_0^w g(x)dx}$, que $\mu = \int_0^w g(x)dx$ y, asumiendo que cuando $g(0)=1$ $f(0) = \frac{1}{\mu}$, entonces:

$\hat{D} = \frac{n \cdot f(0)}{2L} \rightarrow \hat{D} = \frac{n}{2L\hat{\mu}}$, siendo \hat{D} la ecuación para la estima de densidad y donde $f(0)$ es la función de densidad; $\hat{\mu} = w \cdot \hat{Pa}$, n el número total de observaciones y L la longitud total de los transectos (Buckland et al. 2001).

La función $g(x)$ consta de dos partes, la función llave y la serie de ajustes, usadas para mejorar la eficiencia del modelo (Fig. 9).

Función llave	Parámetros	Forma	Serie de ajustes	Forma
Uniforme	0	1/w	Coseno	$\sum_{o=1}^0 a_o \cos(o\pi y/w)$
			Polinomio simple	$\sum_{o=1}^0 a_o (y/w)^{2o}$
Half-Normal	1	$\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)$	Coseno	$\sum_{o=2}^0 a_o \cos(o\pi y/w)$
			Polinomio Hermite	$\sum_{o=2}^0 a_o H_2(y/\sigma)$
Hazard-Rate	2	$1 - \exp\left[-\left(\frac{y}{\sigma}\right)^{-b}\right]$	Coseno	$\sum_{o=2}^0 a_o \cos(o\pi y/w)$
			Polinomio Simple	$\sum_{o=2}^0 a_o (y/w)^{2o}$

Figura 9: Combinaciones posibles de las funciones llave y sus series de ajustes

(Buckland et al. 2001).

Una vez se elige el modelo de la función de detección, se utiliza el Criterio de Información de Akaike (AIC): $AIC = -2\ln(L) + 2q$, donde L es el valor máximo de la función de verosimilitud

($L=L1/L2$) y q el número de parámetros del modelo. El test de verosimilitud valora si la adición de otra serie de ajuste mejora significativamente la idoneidad del modelo, interesando tener un modelo con el AIC lo más bajo posible ya que es el que nos va a proporcionar información para su selección.

El primer término ($-2 \cdot \ln(L)$) mide qué tan bien se ajusta el modelo a los datos, mientras que el segundo término ($2q$) actúa como una penalización por la adición de parámetros.

Aumentar el número de parámetros mejora el ajuste y reduce la desviación del modelo. Sin embargo, la inclusión de demasiados parámetros aumenta la varianza y disminuye la precisión. Por tanto, el AIC proporciona una forma objetiva de encontrar un equilibrio entre estos dos conceptos importantes en nuestro modelo (Buckland et al. 2015).

Dentro del programa Distance, existen dos tipos de muestreos y conviene saber en todo momento cual estamos utilizando: el denominado CDS (Muestreos de Distancias Convencionales) y el de MCDS (Muestreos de Distancias con Múltiples Covariables). Los CDS son aquellos modelos en los cuales la función de detectabilidad depende únicamente de la distancia. En cambio, los MCDS son modelos en los que la función de detectabilidad está influenciada tanto por la distancia como por otras covariables, como el sexo, el hábitat, el comportamiento y las condiciones ambientales (Ariefiandy et al. 2014). En el presente trabajo usó el CDS por no disponer de las covariables.

Para reducir la desviación en la estimación de la densidad se usa el truncamiento, que consiste en establecer una distancia w por encima de la cual no se considerarán las observaciones, usualmente eliminándose el 5-10% de aquellas a mayor distancia (Buckland et al. 2001).

Teniendo en cuenta todo esto, para el tratamiento de los datos con el software DISTANCE en el presente trabajo se realizaron 2 análisis diferentes: En el primero se estima la densidad de lagartos teniendo en cuenta todos los datos muestreados en el lugar que corresponde en cada caso, y en el segundo la densidad se estimó mediante el truncamiento del 5% de los más altos, para así eliminar las observaciones más lejanas y obtener un mayor ajuste.

3.5 Correlación entre la temperatura ambiental y la densidad de individuos

Teniendo en cuenta que con la aplicación del programa Distance se obtiene solo una estima de densidad de lagartos para cada zona, no es posible relacionar esos dos datos con la temperatura ambiental (factor crucial que puede condicionar la actividad de los animales) en cada una de ellas. Por ello, para poder aplicar un análisis de correlación entre ambos

parámetros, se obtuvo una medida simple de densidad para cada transecto, dividiendo el número de ejemplares detectados por la superficie cubierta en cada uno de ellos. Esos datos se relacionaron después con las temperaturas medias en cada transecto, mediante una correlación de Spearman, dado que los datos no cumplieron los requisitos de normalidad. Se estableció un nivel de significación $\alpha= 0.05$.

4.Resultados

4.1 Población del Puerto de la Cruz

El total de ejemplares observados en el Puerto de la Cruz fue de 178, en un total de 13 transectos. Al realizar el truncamiento del 5% de las detecciones más lejanas, quedaron en 169.

Una vez realizado el análisis total de los datos se obtuvieron los siguientes resultados:

Los histogramas de probabilidad (Figuras 10 y 11) permiten visualizar la probabilidad de detección de un ejemplar a medida que aumenta la distancia perpendicular de los mismos a la línea central del transecto. La función de detección (en rojo) y el histograma de distancias observadas (en azul) muestran la adecuación del ajuste del modelo. Así, en la figura 10 se puede observar como la gran mayoría de los especímenes se encontraban entre los 1,0 y 2,50 metros. Tras el truncamiento (fig. 11), se observan una mayor agrupación entre los 1,0 y 3,5 metros.

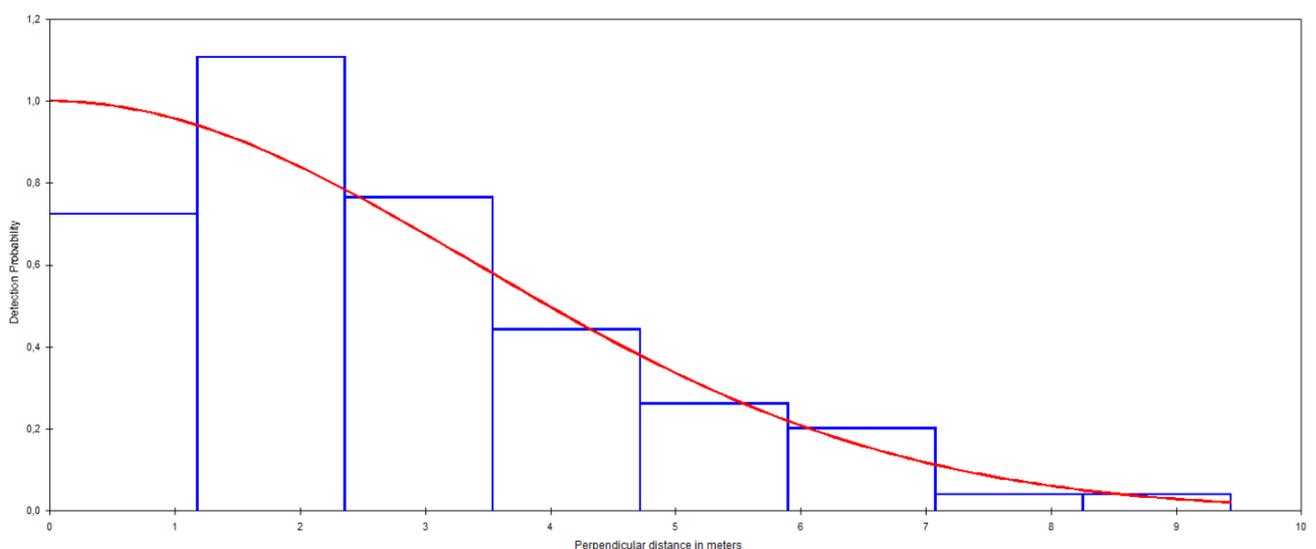


Figura 10: Histogramas de la probabilidad de detección (en azul). En rojo se representa la función de detección de una Half-Normal. Se encuentra la función de detección con todos los datos.

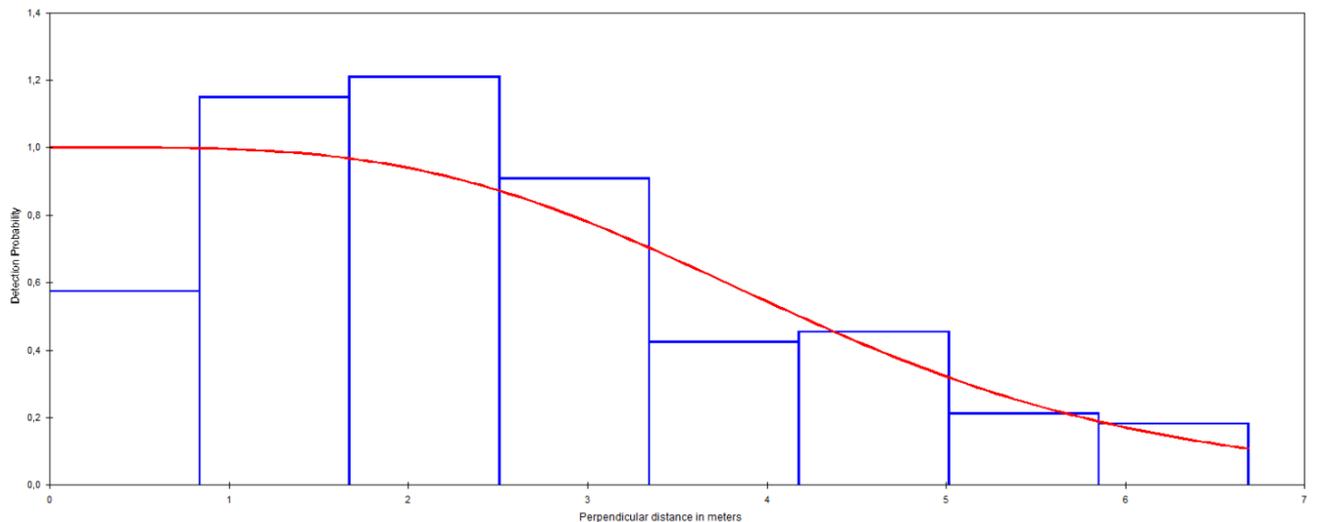


Figura 11: Histograma de la probabilidad de detección (en azul) cuando se truncaron el 5% de las detecciones más lejanas. En rojo se representa la función de detección de una Half-Normal usando la serie de ajuste del coseno.

Además, la aplicación del programa permitió encontrar el modelo con menor AIC que nos informara de la densidad de individuos, así como el número de individuos en el área especificada (suma de todas las áreas de los transectos).

Se realizó un análisis para los datos sin truncar, encontrándose que el modelo con la función Half-Normal (AIC: 684.79), obtuvo una densidad de animales de $0,0314 \pm 0,0043$ por m^2 (314 ± 43 individuos por hectárea, IC 95%: 314 - 565 lagartos / ha), estimándose en 421 el número de individuos en el área total analizada. El test de Chi-cuadrado para la bondad del ajuste mostró un buen ajuste ($p = 0.18562$). La probabilidad de detección fue de 15,9% y la tasa de encuentro del 84,1%. Esto quiere decir que, en promedio, se detectaron 84.1 grupos o individuos por kilómetro de transecto muestreado. Ello nos ofrece información sobre la abundancia relativa ya que una mayor tasa de encuentro sugiere una mayor abundancia de individuos, y de patrones de distribución pudiendo identificar patrones espaciales en la distribución de la población. Por ejemplo, una tasa de encuentro constante puede sugerir una distribución uniforme.

Por otro lado, se realizó un análisis con los datos truncados el 5%; en este caso el modelo usado es el modelo Half-normal usando la serie de ajuste del coseno (AIC: 597,38), y obteniendo por lo tanto un resultado diferente al que teníamos en el primer modelo. En este caso la densidad estimada fue de $0,029 \pm 0,0057$ lagartos por m^2 (290 ± 57 individuos por hectárea, IC 95%: 269 - 582 lagartos / ha) y el número estimado de individuos en el área total analizada fue de 395. El test de Chi-cuadrado mostró ($p = 0.01841$), este valor de p sugiere que el modelo no muestra un buen ajuste es decir, que el modelo propuesto no es adecuado para

describir los datos observados. La probabilidad de detección, en este caso de 55,9% y la tasa de encuentro de 44,1%, esto quiere decir que el modelo utilizando los datos truncados es más eficiente para detectar individuos dentro del área de estudio, ya que la probabilidad de detección aumenta de un 15.9% a un 55.9 %, sin embargo y en contraposición, el número de individuos por kilómetro de transecto muestreado disminuye, lo que supone que sería necesario un esfuerzo de muestreo mayor.

4.2 Población de Icod de los Vinos

El total de ejemplares observados en Icod de los Vinos fue de 143 individuos, también distribuidos en 13 transectos; una vez ejecutado el truncamiento del 5%, el número de observaciones fue de 136. La aplicación del programa obtuvo los siguientes resultados:

En el histograma de probabilidad para los datos sin truncar (Fig. 12) se observa que la mayoría de lagartos se detectaron entre los 1,0 y 3,0 metros.

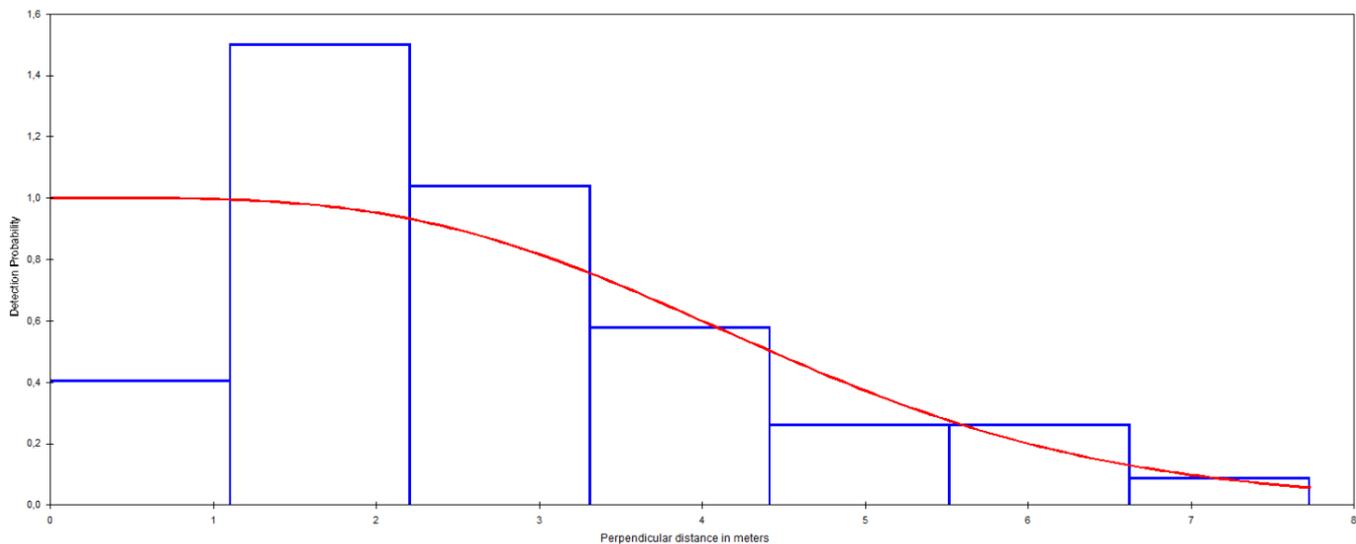


Figura 12: Histograma de la probabilidad de detección (en azul). En rojo se representa la función de detección de una Half Normal usando la serie de ajuste del coseno.

Por otro lado, el histograma de probabilidad para los datos truncados (Figura 13) contiene una mayor agrupación de los datos entre los 1,0 y 2,5 metros.

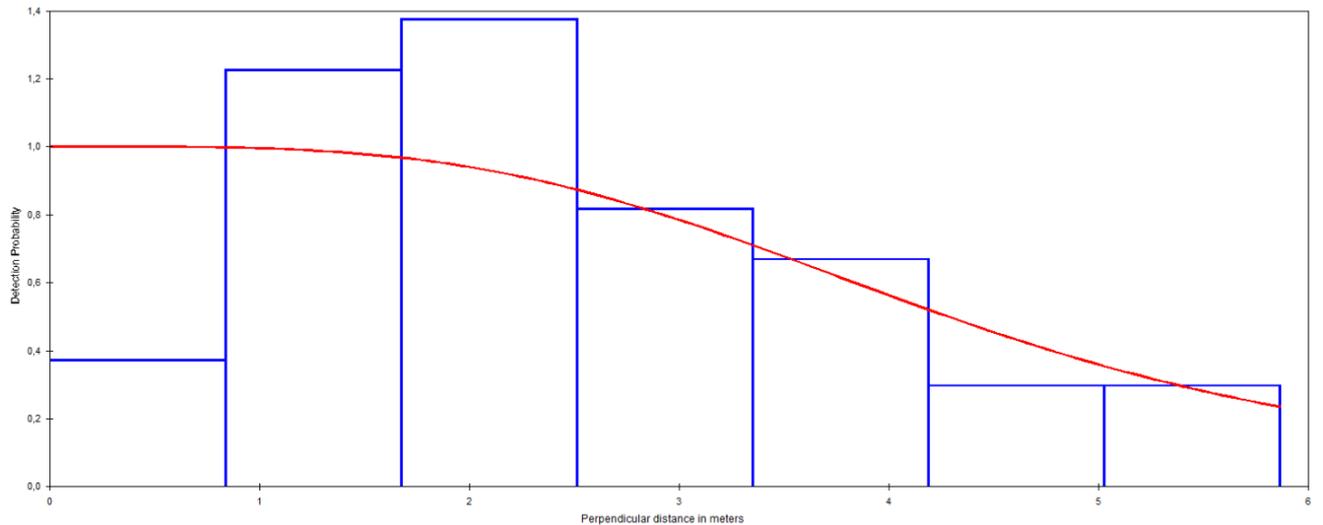


Figura 13: Histograma de la probabilidad de detección (en azul). En rojo se representa la función de detección de una Half Normal usando la serie de ajuste del coseno. Se encuentra la función de detección después de eliminar el 5% de las muestras más lejanas.

Primeramente se realizó un análisis para los datos sin truncar, el modelo Half-normal usando la serie de ajuste del coseno (AIC: 529,82) nos devuelve que la densidad estimada de animales en este caso es de $0,023 \pm 0,0040$ por m^2 (230 ± 40 individuos por hectárea, IC 95%: 225 - 438 lagartos / ha) y el número total estimado de individuos en el área es de 314. En este análisis el test de Chi-cuadrado mostró ($p = 0.00736$), esto sugiere que el modelo no muestra un buen ajuste. La probabilidad de detección es del 88,6% y la tasa de encuentro del 11,4%. Estos valores indican, una alta probabilidad de detección y una tasa de encuentro suficiente para obtener estimaciones precisas, asegurando que el diseño del muestreo es efectivo y que las estimaciones de densidad poblacional son precisas y confiables.

Por último, se realizó un análisis para los datos truncados al 5%, el número de observaciones respecto a los datos sin truncar disminuyen en 7 unidades. En este caso se selecciona la misma función básica y serie de ajuste para el modelo que en el caso anterior, un Half-normal usando la serie de ajuste del coseno (AIC: 464,90). La densidad es de $0,024 \pm 0,0046$ por m^2 (240 ± 46 individuos por hectárea, IC 95%: 221 - 466 lagartos / ha) con un número estimado de lagartos en el área de 321. En este caso el test de Chi-cuadrado mostró ($p = 0.00302$), esto sugiere que el modelo no muestra un buen ajuste. El porcentaje de detección de individuos es del 90,3% y la ratio de encuentro es del 9,7%.

En la Tabla 1, que se presenta a continuación, se resumen los datos de número de individuos detectados, modelo usado, estima de la densidad y número de individuos estimados en el área total muestreada.

	Número de individuos muestreados	Modelo	Densidad (individuo por hectárea)	Individuos estimados en el área
Puerto sin truncar	178	Half-Normal	314±43	421
Icod sin truncar	143	Half-Normal Cosine adjustments	230±40	314
Puerto truncado	169	Half-Normal Cosine adjustments	290±57	395
Icod truncado	136	Half-Normal Cosine adjustments	240±46	321

Tabla 1. Resumen de Análisis de datos comparando las dos localidades muestreadas.

4.3 Temperatura ambiental y densidad de población.

La temperatura ambiental se correlacionó negativa y significativamente con la densidad de lagartos en el Puerto de la Cruz. El coeficiente de correlación calculado fue de $r=-0.625$. En Icod de los Vinos también se observó una correlación negativa entre la temperatura y la densidad de lagartos, si bien esta fue débil, con un coeficiente de correlación de $r=-0.159$ (Tabla 2), y no significativa.

Este resultado sugiere que no hay evidencia suficiente para afirmar que la temperatura tiene un impacto directo y significativo sobre la densidad de lagartos en esta localidad.

	R DE SPEARMAN	p-valor
PUERTO DE LA CRUZ	-0,615	0,025
ICOD DE LOS VINOS	-0,159	0,604

Tabla 2. Datos extraídos del software SPSS.

5. Discusión

5.1 Densidades de *Gallotia galloti*

Los resultados han mostrado que la estima de la densidad de lagartos en la localidad del Puerto de la Cruz es mayor (290 ± 57 ind/ha) que en la zona de Icod de los Vinos (240 ± 46 ind/ha). Si bien estos resultados hay que tomarlos con cautela, ya que existe un alto grado de

solapamiento entre las estimas de ambas poblaciones, y los modelos seleccionados muestran un mala bondad de ajuste según el test de chi-cuadrado (es decir, no se ajusta adecuadamente a los datos observados), a excepción del modelo de análisis para los datos sin truncar para la población de Puerto de la Cruz. Además, existe una marcada diferencia en la probabilidad de detección en el muestreo de Puerto de la Cruz con respecto a Icod, por lo que es posible que las estimaciones obtenidas para ambas poblaciones no sean comparables. La baja probabilidad de detección en Puerto de la Cruz podría indicar la necesidad de revisar y posiblemente mejorar las técnicas de muestreo (combinándola con otros métodos), o la ubicación de los transectos. Pese a las limitaciones de las estimas obtenidas, y a falta de estudios posteriores que complementen estas estimas y que confirmen la mayor densidad de lagartos en la localidad del Puerto de la Cruz e Icod de los Vinos, se van a discutir estos datos asumiendo el mayor valor medio obtenido para las estimas de densidad en la localidad del Puerto de la Cruz con respecto a Icod como estimas válidas.

Martinez-Enrich (2018, no publicado) evaluó la estima de densidad en una población de *Gallotia galloti* en El Chorrillo (localidad del Sureste de Tenerife) , obteniendo una densidad de una densidad de 220,14 ind/ha. Se observa cómo el número de individuos detectados en El Chorrillo es menor al número de individuos detectados en el presente trabajo de fin de grado en la vertiente norte de la isla. Esto se puede deber a que la zona de Icod de Los Vinos y del Puerto de la Cruz cubren una mayor área que la analizada en El Chorrillo (4,5 ha analizadas) y/o a diferentes factores ecológicos y ambientales que puedan diferir entre las poblaciones de estudio.

Aunque no es posible evaluar estadísticamente las diferencias en las densidades de *Gallotia galloti* entre estas tres poblaciones muestreadas hasta el momento en Tenerife, proponemos algunas de las posibles hipótesis que podrían explicar las tendencias observadas:

1. Clima: La temperatura es un factor que puede afectar a muchos parámetros directa o indirectamente relacionados con la densidad poblacional (metabolismo, disponibilidad de recursos, comportamiento reproductivo, entre otros) existiendo evidencias en la literatura tanto de una correlación positiva como de una correlación negativa entre el incremento de la temperatura y la densidad de poblaciones de lagartos, y de la complejidad e interacción entre diversos factores ecológicos y ambientales (Sinervo et al. 2010).

Partimos de la hipótesis de que en la localidad del Puerto de la Cruz puede haber una mayor densidad de individuos porque las condiciones climatológicas son más favorables para el

asentamiento de poblaciones de *Gallotia galloti*. En el rango temporal de muestreo, la temperatura media del Puerto de la Cruz fue de $27,8 \pm 4,01^{\circ}\text{C}$ con una humedad relativa media de $42 \pm 6,07\%$, mientras que en la zona de Icod de los Vinos hubo una temperatura media de $27 \pm 1,50^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa media de $53 \pm 5,95\%$. Para poder confirmar esta hipótesis será necesario realizar un estudio exhaustivo que permita relacionar las temperaturas con las densidades de lagartos. Esto se podría realizar con una regresión lineal entre la abundancia de lagartos y la temperatura (Pérez Cabrera, 2000).

Martinez Enrich (2018) encontró que sí existía una correlación positiva y significativa entre el número de lagartos detectados en sus transectos y la temperatura ambiental. El presente estudio revela que la relación entre la temperatura y la densidad de lagartos varía entre las dos localidades estudiadas. En Puerto de la Cruz, la correlación negativa significativa quiere decir que cuando aumenta la temperatura disminuye el número de lagartos detectados. Es conocido que los lagartos disminuyen su actividad con temperaturas altas (Bohórquez-Alonso et al., 2011), mientras que en Icod de los Vinos, la débil correlación y la falta de significancia estadística indica que otros factores podrían estar influyendo en la densidad de lagartos, o que la relación con la temperatura no es tan fuerte en esta localidad. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar las variaciones locales y contextuales en los estudios ecológicos y de comportamiento animal.

2. La disponibilidad de alimento y de hábitats: Teniendo en cuenta que los hábitats con una mayor complejidad estructural proporcionan más nichos y recursos, permitiendo que una mayor número de individuos de una especie coexistan (MacArthur et al. 1961), la mayor cantidad de vegetación y fincas circundantes en la zona de muestreo del Puerto de la Cruz podría ser uno de los factores importantes asociados a la mayor densidad de lagartos allí, en comparación con la de Icod de los Vinos, donde la disponibilidad de alimento es mucho menor y hay un menor número de refugios. Para comprobar esta hipótesis habría que realizar un estudio complementario que abordara una cuantificación de la cobertura vegetal y características del hábitat en ambas zonas.

3. La antropización: Sugerimos que como la zona de Icod de los Vinos ha sufrido una antropización muy fuerte en el pasado, en ella encontraremos menos individuos. Al encontrarse en recuperación se espera que en un futuro trabajo esta zona tenga una abundancia de *Gallotia galloti* mayor que la que se estima en este trabajo. Además, se espera que en la zona del Puerto

de la Cruz las densidades disminuyan por el efecto antrópico. Pero para poder comprobar que esto se cumple se tendría que volver a realizar en unos años este estudio en las mismas localidades.

Según datos del catálogo canario de especies, el estado de conservación de *Gallotia galloti* se considera de preocupación menor. No obstante, sería recomendable continuar con muestreos puntuales para monitorizar la evolución de las poblaciones estudiadas y de otras poblaciones. Teniendo en cuenta las ventajas que presenta el método de distancias en comparación con el método de marcaje y recaptura, se ha recomendado que futuros estudios sobre la densidad poblacional de *Gallotia galloti* o de cualquier otro lagarto utilicen este método (Salvador, 2009).

5.2 Densidades de otras especies de lagartos usando el muestreo de distancias.

Garden et al. (2007) realizaron un estudio cuyo objetivo principal era entender cómo la estructura del hábitat y la composición de la vegetación influyen la biodiversidad local, específicamente la densidad de lagartos, en fragmentos urbanos de vegetación. Realizaron censos de lagartos en estos fragmentos utilizando el método de muestreo de distancia, implementado con el software R. Se encontró que la densidad de lagartos varió significativamente dependiendo de la estructura del hábitat. En áreas con una estructura de hábitat más compleja, que ofrecían más refugios y recursos, la densidad de lagartos fue más alta (28 individuos por hectárea). En comparación, en áreas con una estructura de hábitat más simple, la densidad de lagartos fue menor (12 individuos por hectárea). Teniendo en cuenta que, como ya se ha comentado anteriormente, la zona elegida del Puerto de la Cruz está estructurada por fincas delimitadas por pequeños muros que pueden servir como refugio para los lagartos, estos datos concordarían con las estimaciones de este estudio, y apoyan la hipótesis de que una mayor complejidad estructural proporcionan más nichos y recursos, lo que favorecería una mayor abundancia/densidad de lagartos.

La aplicación del programa Distance a datos de otras especies de lagartos ha mostrado densidades variables en distintos tipos de hábitat. Por ejemplo, Pérez-Mellado et al. (2008) estudiaron las densidades de lagartos en 43 poblaciones insulares en el archipiélago de Cabrera y alrededor de las islas de Mallorca y Menorca, utilizando el método de transectos lineales. Los resultados reflejaron un promedio de 1500 lagartos por ha, densidad muy superior a la que hemos estimado en nuestro estudio. Además, en dicho estudio no encontraron ninguna correlación significativa entre la densidad de lagartos y la biomasa de artrópodos terrestres

(presas) ni predadores (ej. Gaviotas), si bien sí que encontraron que las islas sin la especie *Rattus rattus* mostraron una densidad de lagartos significativamente mayor.

En otros estudios sí se ha observado una disminución de la densidad de lagartos en áreas con una alta biomasa de serpientes, debido a la mayor presión de depredación. (Piquet et al. 2021)

En resumen, tanto la biomasa de presas como la de depredadores juegan roles cruciales en determinar la densidad de lagartos en un ecosistema. Los cambios en estos factores pueden tener efectos directos e indirectos sobre las poblaciones de lagartos, y las interacciones entre estos elementos pueden ser bastante complejas.

Por su parte, Menezes et al. (2022) realizaron un estudio mediante muestreo de distancias que relaciona la cobertura vegetal con la densidad de lagartos en el paisaje agrícola del Cerrado brasileño. La investigación mostró que la estructura local de la vegetación y la cobertura agrícola influyen significativamente en la abundancia y riqueza de los lagartos. Los modelos utilizados indicaron que la cantidad de vegetación era una variable clave que explicaba la diversidad de las comunidades de lagartos, mostrando que un mayor número de árboles estaba asociado con una mayor diversidad de especies de lagartos en diferentes sitios.

Otro análisis realizado por los mismos autores mostró el impacto del venado moteado invasor (*Axis axis*) en las comunidades de lagartos en el archipiélago de Andamán. Este estudio encontró que la reducción de la cobertura vegetal por el pastoreo del venado disminuía significativamente la densidad de los lagartos nativos. La presencia de estos herbívoros invasores alteró la estructura del hábitat, reduciendo la disponibilidad de refugio y recursos para los lagartos, lo que resultó en una disminución de sus poblaciones. La vegetación no solo proporciona refugio y lugares para termorregulación, sino que también afecta la disponibilidad de presas y la estructura del microhábitat, factores cruciales para la supervivencia de los lagartos.

5.3 Otros métodos de estima de densidad.

La densidad de lagartos se ha estimado en otros trabajos mediante métodos de muestreo diferentes al realizado en este estudio. Por ejemplo, Fariña et al. (2002) calcularon la densidad de una población de *Gallotia galloti* en el roque de Fasnía (costa sureste de Tenerife) utilizando el método de la captura-recaptura mediante trampas de caída cebadas con tomate. Obtuvieron una densidad de 1.300 individuos por hectárea, en un área total de 3,34 ha. Valores muy

superiores a los encontrados en las zonas muestreadas en el presente trabajo de fin de grado. Esta diferencia podría deberse a que el Roque de Fasnía no cuenta con depredadores como es el caso de *Rattus rattus* presente en las zonas de Icod y del Puerto, ni tampoco presenta efecto antrópico. Otros trabajos sugieren que la densidad poblacional de lagartos en islas no parece estar significativamente afectada por la riqueza de competidores o depredadores sino más bien por la disponibilidad de recursos o la capacidad de colonización (Novosolov et al. 2015).

Por otro lado, en el trabajo de Thompson et al. (2018) se utilizaron cámaras trampa para monitorear la población de la lagartija de cola azul (*Tiliqua scincoides*) en Australia. Las cámaras se colocaron en puntos estratégicos y funcionaron continuamente durante tres meses. Los investigadores lograron estimar una densidad de 20 individuos por hectárea, pero al tratarse de la familia Scincidae no es comparable con nuestra especie de estudio.

5.4 Ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos de estimación de densidades.

Ariefiandy et al. (2014) realizaron un estudio en la especie *Varanus komodoensis* (Komodo National Park) implementando diferentes métodos de muestreo como son: el método de distancias usado en nuestro trabajo, el método de abundancia mediante trampas y el método de cámaras-trampa. Obtuvieron resultados de densidad diferentes según el método usado:

0 - 0,1713 ind/ha para el de distancias, 0,01 - 0,3847 ind/ha para las trampas y 0,0054 - 0,2516 ind/ha para las cámaras. Por lo tanto, el método de muestreo influye en la estimación de la densidad, siendo el método usando el muestreo de distancias, el que menor número de individuos detectó comparado con los otros métodos utilizados por dichos autores. En nuestro estudio se seleccionó el método de transectos lineales, ya que es relativamente fácil de implementar y no requiere la captura de animales; además, permite cubrir grandes áreas en un tiempo relativamente corto. No obstante, se debe considerar que la precisión depende de la capacidad de detectar a los lagartos, lo que puede verse afectado por la vegetación densa o el comportamiento críptico de los mismos (Buckland et al. 1993).

La elección del método de estima de densidad para lagartos debe basarse en una evaluación cuidadosa de las características del hábitat, el comportamiento de los lagartos y los recursos disponibles. Cada método tiene sus propias ventajas y desventajas, y en muchos casos, la combinación de varios métodos puede proporcionar una estimación más robusta y precisa. (Ruiz de Infante-Anton et al. 2013).

El método utilizado asume que todos los individuos que se encuentren en la línea central del transecto van a ser detectados. La aplicación de Distance en nuestro caso mostró que esto no se cumplió totalmente (ver Fig. 11 y Fig. 13). Esto se pudo dar por varias razones, una de ellas la alta cobertura vegetal que se presentaba en la zona del Puerto de la Cruz, que podía llegar a impedir ocasionalmente la observación de los especímenes en la línea central del transecto.

En la localidad de Icod de los Vinos por otro lado, las cantidades de basura acumulada en algunas zonas también pudieron influir en ese error, ya que podían llegar a impedir la observación si algunos individuos se encontraban debajo de la misma. Estas fuentes de error, podrían estar afectando al ajuste del modelo, pero una vez identificadas nos ayudarán a mejorar el método. Por lo tanto, nuestras estimas realizadas en ambas zonas son provisionales y deberán hacerse nuevos muestreos con datos que sí cumplan con el mencionado requerimiento. En este sentido, enfatizar que la elección del método de estima de densidad para lagartos debe basarse en una evaluación cuidadosa de las características del hábitat, el comportamiento de los lagartos y los recursos disponibles. Cada método tiene sus propias ventajas y desventajas, y en muchos casos, la combinación de varios métodos puede proporcionar una estimación más robusta y precisa, lo que se tendrá en cuenta en futuros estudios.

5.5 Futuras líneas de investigación

Sería interesante para una línea de investigación futura analizar la densidad de lagartos en otras zonas de la isla con distintas características ecológicas para comprobar si existen diferencias de densidades y poder estudiar a qué se deben esas diferencias.

A lo largo de esta memoria se han mencionado diversos métodos que enriquecerían los resultados de este trabajo como pueden ser estudios sobre el efecto de la cobertura vegetal (fotografías de satélite o cuadrículas en el campo), o la presencia y densidad de depredadores (ej. *Rattus rattus*) sobre la densidad de lagartos.

Este trabajo puede dar pie a investigaciones futuras que no solo ayudarán a validar las hipótesis propuestas, sino que también proporcionarán una comprensión más profunda de los factores que afectan a la densidad de *Gallotia galloti* en Tenerife, contribuyendo así a su conservación y manejo en diferentes entornos.

Conclusiones

- 1) La aplicación del programa Distance ha permitido estimar que la densidad de *Gallotia galloti* parece mayor en la zona de Puerto de la Cruz (290 ± 57 ind/ha) en comparación con la zona de Icod de los Vinos (240 ± 46 ind/ha).
- 2) El rango de temperatura en el Puerto de la Cruz estuvo entre los 23,4°C y 35°C, en Icod de los Vinos estuvo entre 23,9°C y 30°C en los días muestreados.
- 3) Existió una relación negativa y significativa de la temperatura ambiental medida en los transectos realizados y un cálculo simplificado de la densidad para cada uno de ellos en la localidad del Puerto de la Cruz.
- 4) Una estimación visual cualitativa detectó que en la zona del Puerto de la Cruz existe una mayor cobertura vegetal que en Icod de los Vinos, sugiriéndose que este podría ser uno de los factores que afecten a la densidad de lagartos estimada.
- 5) Se ha sugerido que las diferencias climáticas entre las dos zonas podrían influir en la distribución y densidad de *Gallotia galloti*, ya que factores como la temperatura, la humedad y la disponibilidad de refugios pueden afectar su supervivencia y reproducción.

Conclusions

- 1) The application of the Distance program has allowed us to estimate that the density of *Gallotia galloti* is higher in the Puerto de la Cruz area (290 ± 57 individuals/ha) compared to the Icod de los Vinos area (240 ± 46 individuals/ha).
- 2) The temperature range in Puerto de la Cruz was between 23.4°C and 35°C, while in Icod de los Vinos it ranged from 23.9°C to 30°C during the sampled days.
- 3) A negative and significant relationship was found between the environmental temperature measured along the transects and a simplified calculation of density for each transect in the Puerto de la Cruz locality.
- 4) A qualitative visual assessment indicated that the Puerto de la Cruz area had greater vegetation cover than Icod de los Vinos, suggesting that this could be one of the factors affecting the estimated lizard density.
- 5) It has been suggested that climatic differences between the two areas could influence the distribution and density of *Gallotia galloti*. Factors such as temperature, humidity, and the availability of shelters may affect their survival and reproduction.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la culminación de este trabajo de fin de grado.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo y sacrificios a lo largo de estos años. Su confianza en mí y sus constantes palabras de ánimo han sido mi principal fuente de motivación y fortaleza.

A mi compañero Adrián, que ha estado a mi lado en cada paso del camino. Gracias por las incontables horas de estudio compartidas y por ser una red de apoyo en los momentos más difíciles. Sus risas y compañía han hecho de esta experiencia algo verdaderamente memorable.

A mis amigos y a mi novia, por su paciencia, comprensión y amor constante. Gracias a todos por creer en mí, incluso cuando yo dudaba, y por estar siempre dispuestos a ofrecerme una palabra de aliento o un abrazo reconfortante.

Y por último a mis profesores, por su dedicación, conocimientos y orientación. Sus enseñanzas han sido la base de mi formación académica y profesional. Agradezco especialmente a mis tutores, por su asesoría y por guiarme con paciencia y sabiduría a lo largo de este trabajo.

Bibliografía:

1. Ariefiandy, Achmad & Seno, Aganto & Jessop, Tim & Purwandana, Deni & Chrismiawati, Marlina & Ciofi, Claudio. (2014). Evaluation of three field monitoring-density estimation protocols and their relevance to Komodo dragon conservation. *Biodiversity and Conservation*. 23. 10.1007/s10531-014-0733-3.
2. Báez, M. (2002). *Gallotia galloti* (Oudart, 1839). Lagarto tizón. Pp. 202-203. En: Pleguezuelos, J. M., Márquez, R., Lizana, M. (Eds.). *Atlas y Libro Rojo de los anfibios y reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetológica Española (2ª impresión). Madrid.
3. Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From individuals to ecosystems* (4th ed.). Blackwell Publishing.
4. Bohórquez-Alonso, M. L., Font, E., & Molina-Borja, M. (2011). Activity and body orientation of *Gallotia galloti* in different habitats and daily times. *Amphibia-Reptilia*, 32(1), 93-103.

5. Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., & Laake, J. L. (1993). *Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Chapman and Hall.
6. Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., & Thomas, L. (2001). *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Oxford University Press.
7. Buckland, S.T., Rexstad. E. A., Marques, T. A., Oedekoven, C. S. (2015). Chapter 5: Modelling Detection Functions. pp 53-103. In: *Distance Sampling: Methods and Applications*. Methods in Statistical Ecology. Springer. New York, USA.
8. Buckley, L. B., & Jetz, W. (2007). Insularity and the determinants of lizard population density. *Ecology letters*, 10(6), 481–489.
9. Case, T. J., & Bolger, D. T. (1991). The role of interspecific competition in the biogeography of island lizards. *Trends in Ecology & Evolution*, 6(4), 135-139.
10. Delgado-García, J.D., Arévalo, J.R. & Fernández-Palacios, J.M. (2007). Road edge effect on the abundance of the lizard *Gallotia galloti* (Sauria: Lacertidae) in two Canary Islands forests. *Biodiversity and Conservation*, 16, 2949-2963.
11. Fariña, B., Aguilar, N. (2002). Nota sobre la población de *Gallotia galloti* (Oudart, 1839) (Lacertidae) de Roque de Fasnía (Tenerife, Islas Canarias). *Revista de la Academia Canaria de Ciencias*, 14 (3-4): 305-309/1961.
12. Garden JG, McAlpine CA, Possingham HP, Jones DN. Habitat structure is more important than vegetation composition for local-level management of native terrestrial reptile and small mammal species living in urban remnants: A case study from Brisbane, Australia. *Austral Ecol.* 2007 Sep;32(6):669-685. doi: 10.1111/j.1442-9993.2007.01750.x. Epub 2007 Aug 6. PMID: 32336942; PMCID: PMC7175953.
13. Harris, D.J.; Arnold, E.N.; Thomas, R.H. Relationships of lacertid lizards (Reptilia: Lacertidae) estimated from mitochondrial DNA sequences and morphology. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.* 1998, 265, 1939-1948.
14. MacArthur, R. H., & MacArthur, J. W. (1961). On bird species diversity. *Ecology*, 42(3), 594-598.
15. Martínez Enrich, Irina (2018). Estimación de densidades en poblaciones de reptiles terrestres canarios. Trabajo de fin de Grado, Universidad de Gerona, sin publicar.
16. Menezes, F. A., Silva, J. R., Costa, T. B., & Colli, G. R. (2022). Agriculture cover and local vegetation structure shape Squamata's diversity in agricultural landscapes in Brazilian Cerrado. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-935945/v1>

17. Molina-Borja, M., & Bohórquez-Alonso, M. L. (2023). Morphology, behaviour and evolution of Gallotia lizards from the Canary Islands. *Animals*, 13(14), 2319.
18. Novosolov, Maria & Rodda, Gordon & Feldman, Anat & Kadison, Amy & Dor, Roi & Meiri, Shai. (2015). Power in numbers. Drivers of high population density in insular lizards. *Global Ecology and Biogeography*. 25. n/a-n/a. 10.1111/geb.12390.
19. Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G. C., & Anderson, D. R. (1978). Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs*, (62), 3-135.
20. Pérez Cabrera, A. (2000). *Estadística multivariante Aplicada con El paquete estadístico STATISTICA*
21. Pérez-Mellado, V., Hernández-Estévez, J. Á., & García-Díez, T. (2008). Population density in Podarcis lilfordi (Squamata, Lacertidae), a lizard species endemic to small islets in the Balearic Islands (Spain). *Amphibia-Reptilia*, 29(1), 49-66.
22. Piquet JC, López-Darias M. 2021 Invasive snake causes massive reduction of all endemic herpetofauna on Gran Canaria. *Proc. R. Soc. B* 288: 20211939.
23. Ravelo, A. J. F., & Reyes, J. C. R. (2021). Trophic ecology of cats (Felis catus) in montaña de Guaza: implications for the conservation of the critically endangered giant lizard of Tenerife (Gallotia intermedia). *Scientia Insularum-Islands Science*, 4(1), 63-80.
24. Rodda, G.H., Perry, G., Rondeau, R.J., Lazell, J. (2001): The densest terrestrial vertebrate. *J. Tropical Ecol.* 17: 331-338.
25. Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T., & Carbone, C. (2008). Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1228-1236.
26. Royle JA (2004) N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. *Bio-metrics* 60:108–115
27. Royle JA, Nichols JD (2003) Estimating abundance from repeated presence-absence data or point counts. *Ecology* 84:777–790
28. Ruiz de Infante Anton, J., Rotger, A., Igual, J. M., & Tavecchia, G. (2013). Estimating lizard population density: an empirical comparison between line-transect and capture–recapture methods. *Wildlife Research*, 40(1), 20-30.
29. Salvador, A. (2009). Lagarto tizón – Gallotia galloti. Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.

30. Schoener, T. W., & Spiller, D. A. (1996). Devastation of prey diversity by experimentally introduced predators in the field. *Nature*, 381(6584), 691-694.
31. Sinervo, B., Méndez-De-La-Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Villagrán-Santa Cruz, M., ... & Sites, J. W. (2010). Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*, 328(5980), 894-899.
32. Smallwood, K. S., & Fitzhugh, E. L. (1995). A track count for estimating mountain lion *Felis concolor* population trend. *Biological Conservation*, 71(3), 251-259.
33. Thomas L, Buckland ST, Rexstad EA, Laake JL, Strindberg S, Hedley SL, Bishop JRB, Marques TA, Burnham KP (2010) Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *J Appl Ecol* 47:5–14
34. Thompson, M. B., Stewart, J. R., & Speake, B. K. (2018). Photographic identification and estimation of population size of the skink, *Tiliqua scincoides*. *Herpetological Journal*, 28(2), 67-72.
35. Yoccoz NG, Nichols JD, Boulinier T (2001) Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends Ecol Evol* 16:446–453