



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA BIOLÓGICA**

**TÍTULO DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**Análisis de la dimensión fractal del moteado de los huevos de una población de Carbonero Común (*Parus major*) criando en un bosque pobre en calcio**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**AUTORA:** Guevara Betancur, Ana María

**DIRECTOR:** Ordóñez Delgado, Leonardo Yamhil, Dr.

**CO- DIRECTOR:** Tomás Gutiérrez, Gustavo, Dr.

**CENTRO UNIVERSITARIO QUITO**

**2016**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2018

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Doctor.

Leonardo Yamhil Ordóñez Delgado

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Análisis de la dimensión fractal del moteado de los huevos de una población de Carbonero Común (*Parus major*) criando en un bosque pobre en calcio”, realizado por Ana María Guevara Betancur, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, junio de 2016

f. ....

Dr. Leonardo Yamhil Ordoñez Delgado

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Ana María Guevara Betancur, declaro ser autora del presente trabajo de titulación: “Análisis de la dimensión fractal del moteado de los huevos de una población de Carbonero Común (*Parus major*) criando en un bosque pobre en calcio”, de la Titulación de Gestión Ambiental, siendo el Dr. Leonardo Yamhil Ordóñez Delgado director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f. ....

Autor: Ana María Guevara Betancur

Cédula: 172232735-8

## DEDICATORIA

Juan Camilo, nunca permitas que detengan tu capacidad de soñar,

“Las personas mayores me aconsejaron abandonar el dibujo de serpientes boas, ya fueran abiertas o cerradas, y poner más interés en la geografía, la historia, el cálculo y la gramática. De esta manera a la edad de seis años abandoné una magnífica carrera de pintor”.

Antoine de Saint-Exupéry (1943)

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanos por su constante apoyo y motivación para concluir mis metas y objetivos académicos, impulsándome a superarme personal y profesionalmente.

Al Dr. Leonardo Ordóñez Delgado, director del Trabajo de Fin de Titulación, por su apoyo para el desarrollo de esta investigación y su ayuda para que mis esfuerzos no fueran en vano. A la Ing. Rosa Armijos, Coordinadora de Gestión Ambiental, por brindarme soluciones y colaboración para que mi trabajo pudiera finalizarse.

Al Dr. Gustavo Tomás Gutiérrez por su tiempo y contribución para sentar las bases de este estudio y permitirme adentrarme en este campo de investigación tan complejo como fascinante.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, por haberme brindado la oportunidad de cursar la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental en este importante y destacado centro de estudios, permitiéndome formarme como un profesional capaz y responsable.

A Andrés Calero por ser siempre mi guía y compañero en todos estos años de diversos retos y obstáculos que juntos hemos superado, por su infinita paciencia y voluntad para ayudarme a culminar este desafío que muchas veces tuvimos que enfrentar como equipo.

Finalmente, a mi hijo Juan Camilo, por ser la luz y motor de mis caminos, dándome la fuerza para ser un ejemplo de vida del que pueda sentirse orgulloso cada día.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN EJECUTIVO .....	- 1 -
ABSTRACT.....	- 2 -
INTRODUCCIÓN.....	- 3 -
CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL .....	- 5 -
1.1 Selección sexual en aves.....	- 6 -
1.1.1. Variables reproductivas en aves.....	- 7 -
1.1.2. Éxito reproductor. ....	- 8 -
1.2. Huevos de las aves.....	- 8 -
1.2.1. Formación y morfología de los huevos.....	- 9 -
1.2.2. Coloración de los huevos. ....	- 10 -
1.2.3. Coloración y calidad de la hembra.....	- 12 -
1.3. Especie de estudio.....	- 13 -
1.4. Fractales.....	- 14 -
1.4.1. Geometría fractal.....	- 15 -
1.4.2. Dimensión fractal. ....	- 16 -
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 18 -
2.1. Área de estudio.....	- 19 -
2.2. Colección de muestras.....	- 20 -
2.3. Análisis fotográfico de la dimensión fractal.....	- 21 -
2.4. Análisis estadístico de la dimensión fractal.....	- 22 -
2.4.1. Variables de correlación.....	- 22 -
2.4.2. Correlaciones lineales.....	- 24 -
2.4.3. Regresiones lineales.....	- 25 -
2.4.4. ANOVA y MANOVA.....	- 26 -
CAPÍTULO 3. RESULTADOS .....	- 28 -
3.1 Estructura poblacional.....	- 29 -
3.2 Variables morfológicas de los huevos.....	- 29 -

3.3	Variables fisiológicas de las hembras.....	- 30 -
3.4	Variables de éxitos de eclosión, vuelo y reproducción.....	- 31 -
3.5	Repetibilidad de la Dimensión Fractal.....	- 33 -
CAPITULO 4. DISCUSIÓN.....		- 34 -
CONCLUSIONES.....		- 40 -
RECOMENDACIONES .....		- 41 -
BIBLIOGRAFÍA.....		- 42 -
FIGURAS.....		- 50 -
TABLAS.....		55

## ÍNDICE DE GRÁFICOS, FIGURAS Y TABLAS

<b>GRAFICOS</b>	<b>PÁGINAS</b>
Gráfico 1. Localización geográfica Buunderkamp	20
<b>FIGURAS</b>	<b>PÁGINAS</b>
Figura 1. Nido 316	50
Figura 2. Ejemplo de metodología de selección en Nido 316	50
Figura 3. Nido 64	51
Figura 4. Ejemplo de metodología de selección en Nido 64	51
Figura 5. Nido 152	52
Figura 6. Ejemplo de metodología de selección en Nido 152	52
Figura 7. Nido 284	53
Figura 8. Ejemplo de metodología de selección en Nido 284	53
Figura 9. Nido 287	54
Figura 10. Ejemplo de metodología de selección en Nido 287	54
<b>TABLAS</b>	<b>PÁGINAS</b>
Tabla 1. Datos de los nidos	55
Tabla 2. Correlación de Pearson para variables morfológicas de los huevos	61
Tabla 3. Regresión Lineal variables morfológicas de los huevos	62
Tabla 4. Correlación de Pearson variables fisiológicas de las hembras	64
Tabla 5. Regresión Lineal de las variables fisiológicas de las hembras	65



---

<b>Tabla 6. Correlación de Pearson para variables de éxitos de eclosión, vuelo y reproducción</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 7. Modelo lineal general MANOVA para variables de éxitos de eclosión, vuelo y reproducción</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 8. Análisis de repetibilidad de la Dimensión Fractal de los nidos</b>	<b>76</b>

---

## RESUMEN

Los patrones de coloración animal han sido objeto de diversos estudios que buscan determinar cómo su variabilidad y funcionalidad influye en los procesos ecológicos de las especies. Para comprender la relación entre el moteado de los huevos del Carbonero común (*Parus major*) con variables morfológicas de los huevos, de calidad y reproductivas de la hembra, el presente estudio analizó 78 nidos en el bosque de Buunderkamp. Para el efecto, se calculó por medio del análisis fotográfico de los huevos, la Dimensión fractal de cada uno de ellos. De esta manera, fue posible determinar una moderada correlación positiva entre el Promedio de la Dimensión Fractal de los nidos y el Promedio de Área de las Manchas de los huevos. Por otro lado, se determinó que posible encontrar una ínfima correlación positiva entre el Promedio de la Dimensión Fractal y el Tamaño de Puesta, así como con la medida de Condición de la Hembra. Además, fue posible determinar que las variables de Éxito de Eclosión, Vuelo y Reproducción son homogéneas en todos los grupos de categorías del Promedio de Dimensión Fractal.

**PALABRAS CLAVES:** Fractales, dimensión fractal, huevos, Carbonero Común (*Parus major*).

## ABSTRACT

Animal coloration patterns have been the subject of several studies that seek to determine how their variability and functionality influences the ecological processes of species. To understand how the eggshell pigmentation of the Great Tit (*Parus major*) relates with morphological variables of eggs, quality and reproductive variables of females, the present study analyzed 78 nests sampled in the forest Buunderkamp. For this purpose, we calculate through photographic analysis of the eggshell pigmentation, the fractal dimension for each of the eggs. We were able to determine a moderate positive correlation between the Average Fractal Dimension of nests and the average of the Eggshell Pattern Area. On the other hand, it was possible to find a tiny positive correlation between the Average Fractal Dimension of nests and the Clutch Size, and also with the measure of the Female Condition. In addition, it was possible to determine that de variables Hatching Success, Flight Success and Reproduction Success are homogeneous in all category groups of the Average Fractal Dimension.

**KEYWORDS:** Fractals, fractal dimension, eggs, Great tit (*Parus major*).

## INTRODUCCIÓN

Darwin describe a la selección sexual como la “forma de selección que depende, no de una lucha por la existencia en relación con otros seres orgánicos o condiciones externas, sino de una lucha entre los ejemplares del mismo sexo, generalmente los machos, por la posición del otro sexo. El resultado para el competidor que no ha tenido éxito no es la muerte, sino el tener poca o ninguna descendencia” (Darwin, 1859).

Según Moreno & Osorno (2003), una señal de la selección sexual en las aves es la coloración de los huevos, la cual se podría relacionar con la condición física y la calidad genética de las hembras. Estos autores propusieron que el color de los huevos podría funcionar como una señal de las hembras para atraer un mayor cuidado parental por parte de los machos. Es así que, los huevos con colores más vibrantes pueden ser encontrados en especies con cuidado parental conjunto o solo por parte del macho. Diversos estudios afirman que las hembras que presentan huevos más coloridos se encuentran en mejor estado de salud, con mejor sistema inmunológico, y menor nivel de estrés fisiológico, mientras que huevos menos coloridos reflejan hembras de menor calidad (Moreno & Osorno, 2003).

La investigación sobre la relación entre la coloración de los huevos y el estado fisiológico o la calidad fenotípica de las aves podría abordarse mediante el análisis del moteado de los huevos por medio del cálculo de su dimensión fractal, la cual describe objetos matemáticamente similares con forma compleja, integrando parámetros como número, longitud, tortuosidad y conectividad (Pérez, *et al.*, 2013).

El objeto del presente estudio es analizar la dimensión fractal del moteado de los huevos del Carbonero Común (*Parus major*), para establecer posibles asociaciones con variables morfológicas de los huevos, variables de calidad de la hembra, así como con variables reproductivas como éxito de eclosión, éxito de vuelo y éxito reproductor.

En la actualidad este tipo de estudios ecológicos poseen gran importancia para la ciencia, pues es mediante ellos que podemos entender cómo se relacionan las aves con su ambiente, con sus semejantes, y cuáles son los cambios a los que se encuentran expuestos al interaccionar entre ellos. Este conocimiento nos brinda información para entender cómo conservar de forma sostenible a nuestras especies, poblaciones, comunidades y ecosistemas (Larrinaga, 2013).

De manera más específica, la aportación de la presente investigación se basa en la evaluación del análisis de la dimensión fractal como metodología para entender la información contenida en patrones de coloración complejos que abundan en la naturaleza, como el moteado de los huevos de las aves, lo cual contribuirá a incrementar el conocimiento de la aplicación de la geometría a los fenómenos naturales y ecológicos.

De igual manera, nuestro estudio contribuirá a incrementar el conocimiento científico sobre la relación entre el moteado de los huevos y variables morfológicas de los huevos, variables de calidad de la hembra, así como variables reproductivas en especies de aves ponedoras de huevos moteados (Martínez-de la Puente, *et al.*, 2007). Así, incrementará nuestro conocimiento sobre el significado funcional de la coloración de los huevos de las aves, tema de gran actualidad entre la comunidad científica dada su relevancia para entender la evolución de señales de comunicación en el reino animal.

El presente documento se encuentra desarrollado en cuatro capítulos, mismos que describen de forma clara y ordenada cada uno de los componentes que estructuran la investigación.

En este sentido, el primer capítulo describe el marco conceptual sobre el cual se fundamenta el presente estudio, permitiendo establecer las bases y conceptos claves para entender el tratamiento de los temas posteriores.

El segundo capítulo describe el área de estudio de la investigación, y posteriormente los materiales y métodos utilizados, donde es posible identificar de manera detallada la forma como se llevará a cabo el análisis fotográfico y estadístico de la dimensión fractal del moteado de los huevos del Carbonero Común.

El tercer capítulo describe los resultados de la presente investigación, y posteriormente el cuarto capítulo conlleva a la discusión del documento. Finalmente, se presentarán las conclusiones, recomendaciones, documentos anexos y bibliografía.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO REFERENCIAL**

## 1.1 Selección sexual en aves.

Según Ginnobili (2011), la selección sexual se basa específicamente en la capacidad de los animales para conseguir pareja, lo cual en muchas ocasiones no constituye una ventaja para su supervivencia. En el caso de las aves, esta capacidad para emparejarse puede verse reflejada en las características que les permiten luchar con organismos del mismo sexo, también llamada selección intrasexual; o, el desarrollo de un dimorfismo sexual, es decir rasgos atractivos que les permitan tener mayor éxito al momento de conseguir pareja para reproducirse, llamada selección intersexual (Ginnobili, 2011).

Dentro de este contexto debemos referirnos al dimorfismo sexual en las aves como un fenómeno que demuestra notables diferencias morfológicas, de comportamiento y fisiológicas entre los machos y las hembras; características como plumajes vistosos y extravagantes, o elaborados cantos son muy costosos en términos de gasto energético, así como en relación a la supervivencia, puesto que hacen a las aves más vulnerables ante depredadores (Martín- Vivaldi & Cabrero, 2002).

Figuerola & Jordá (2004), explican que en muchas especies de aves las hembras muestran preferencia por aparearse con machos con plumajes más brillantes o con ornamentos de mayor tamaño, ya que estos rasgos indican el estado de salud del macho y su capacidad de evitar a los depredadores o a los parásitos. En el caso del Carbonero Común, se ha encontrado una relación entre una mayor superficie e intensidad en el color de su plumaje y un mejor estado de salud (Figuerola & Jordá, 2004).

Según Williams (1992), estos caracteres sexuales secundarios en aves expresan la mejora genética de los machos, lo cual indica a la hembra que sus descendientes tendrán más probabilidades de supervivencia; también pueden constituir un indicador de su rendimiento en relación al cuidado parental o defensa del territorio (Williams, 1992),

En cuanto al cuidado parental en aves se puede mencionar la preparación de los nidos por parte de las hembras o machos, el cuidado de la puesta de huevos con la finalidad de evitar su depredación, o la provisión de alimento y sustancias nutritivas a la progenie; lo cual incrementa las probabilidades de supervivencia de la descendencia (Ruiz-Gutiérrez *et al.*, 2006).

Como se mencionó anteriormente, este tipo de conductas traen consigo una serie de costos para los progenitores, los cuales se verán perjudicados en oportunidades de alimentación, cópulas, y pueden generar un aumento de la mortalidad (Ruiz-Gutierrez *et al.*, 2006).

Finalmente, se debe enunciar que para Kisel & Barraclough. (2010), la selección sexual incrementa el rango de divergencia reproductiva entre poblaciones, lo que puede incrementar la diversidad de un clado. En el caso de las aves paseriformes, existe una correlación positiva entre la prevalencia del dicromatismo sexual y la diversidad taxonómica de la especie (Kisel & Barraclough, 2010).

### **1.1.1. Variables reproductivas en aves.**

Según Carrillo (2005), durante la reproducción es posible evidenciar la complejidad y variedad de comportamiento de las aves, mismas que han desarrollado variabilidad en diversas estrategias reproductivas tales como duración del periodo reproductivo, variación de las fechas de puestas, número y dimensión de los huevos, o periodos de incubación. Durante este ciclo la selección natural favorece aquellas puestas que producen el mayor número de crías posible, optimizando el gasto de energía de los padres invertido en la reproducción (Carrillo, 2005).

Las aves utilizan una serie de elaborados rituales para reproducirse, así como para preparar los nidos donde se realizará la puesta de los huevos (SEO/Birdlife, 2008). Para la reproducción utilizan la fecundación interna y ponen huevos provistos de una cubierta calcárea dura que es el cascarón (SEO/Birdlife, 2008). El periodo de incubación varía en relación a las especies, donde para los paseriformes como el Carbonero Común dura entre doce y trece días, mientras que para especies de tamaño mayor el ciclo dura varias semanas (SEO/Birdlife, 2008).

Para Carrillo (2005), la época de nidificación y el tamaño de la puesta se encuentran entre las características que definen la ecología reproductiva de las aves, y que marcan el éxito reproductivo de los individuos. La duración del periodo reproductivo varía y depende del tiempo que dura cada fase del proceso y la época en la que se encuentra. Es así que las aves pequeñas de regiones templadas como los Paseriformes, pueden producir entre dos a tres puestas durante la estación reproductora, mientras que especies más grandes o de regiones frías realizan una única puesta por año (Carrillo, 2005). De



forma complementaria, se debe mencionar que factores como la edad de los individuos, el esfuerzo reproductivo y su incidencia en la mortalidad de hembras y machos, la disponibilidad de áreas propicias para la reproducción y anidación, la estación durante la que se realiza la puesta, la densidad poblacional y el tipo de nido, condicionan la reproducción en las aves (Cody, 1985).

### **1.1.2. Éxito reproductor.**

Para las hembras de las aves, el éxito reproductivo no se basa solo en la capacidad de que sus huevos sean fertilizados, sino en su capacidad de producir huevos; mientras que, en el caso de los machos, su éxito reproductivo se basa en su capacidad de fertilizar los huevos (Trivers, 1972).

Por otro lado, según Salgado-Ortiz *et al.* (2008), la calidad del hábitat, es decir la disponibilidad de recursos como alimento, sitios de reproducción y refugio, el número de competidores y enemigos naturales, tiene efectos significativos en el éxito reproductivo de las aves. De manera general, se puede afirmar que una baja calidad de hábitat repercute en un menor éxito reproductivo de las especies (Salgado-Ortiz *et al.*, 2008).

En cuanto a los sitios de reproducción y refugio, se debe mencionar que una de las estrategias más reconocidas en distintos grupos de aves para evitar la depredación es la de nidificar en lugares cubiertos, aunque este tipo de refugios también pueden ocultar a los predadores terrestres, facilitando su acceso a los nidos; es así que el éxito reproductivo puede verse afectado por las características y la ubicación del nido (Gandini *et al.*, 1997).

## **1.2. Huevos de las aves.**

Según Bonino & Canet (1999), los huevos han sido desarrollados por las aves para proteger y mantener los embriones de los polluelos hasta la eclosión. La cáscara y membranas internas dan a los embriones una protección antibacteriana y mantiene además su integridad física. La formación de los huevos comprende desde la ovulación hasta la puesta, donde el éxito de este proceso se basa en la alimentación que reciba la hembra, las situaciones de confort ambiental y el estado sanitario de su hábitat (Bonino & Canet, 2009).

El huevo es un organismo que contiene todos los nutrientes, a excepción del oxígeno, que son necesarios para desarrollar el embrión; el tipo de huevo varía en cada especie en color, forma y tamaño (Perrins, 1996). En el caso del Carbonero Común, los huevos más grandes tienen mayor éxito de eclosión y producen crías con mayores posibilidades de sobrevivir. Sin embargo, huevos más grandes requieren que la hembra adquiera mayores nutrientes para ellos y grandes polluelos suelen ser en ocasiones una desventaja (Perrins, 1996).

Según Barrionuevo *et al.* (2010), el tamaño de los huevos en aves Paseriformes se ve afectado por factores como la condición física de la hembra, las condiciones ambientales, abundancia de alimento, las fechas de puesta y la cantidad de huevos por puesta. Estudios en especies como la Golondrina Ceja Blanca (*Tachycineta leucorrhoa*) y la Golondrina Bicolor (*Tachycineta bicolor*), han demostrado que las hembras con mejor condición física y donde el hábitat tenía una mayor temperatura promedio el peso de los huevos fue mayor (Barrionuevo *et al.*, 2010).

El desarrollo y crecimiento de los pichones se relaciona directamente con la inversión parental en ellos, es así que huevos más grandes poseen un contenido energético mayor del cual se alimentan los embriones, mismos que tienen mayores tasas de crecimiento, éxito de eclosión y reproductivo (Barrionuevo *et al.*, 2010).

### **1.2.1. Formación y morfología de los huevos.**

Según Piquer & Ibérica (1999), en cuanto a la formación de la cascara de los huevos, las aves en puesta y reproductoras han desarrollado estrategias nutricionales encaminadas a conseguir la mayor cantidad de calcio para el proceso de formación de la cáscara durante las horas de calcificación. La correcta disposición de calcio en la cáscara influye directamente en su espesor, por lo cual la necesidad de este mineral se asocia a la resistencia ante rotura en los huevos (Piquer & Ibérica, 1999). Para este proceso de almacenamiento de calcio, las aves poseen una estructura ósea especial llamada hueso medular, formado por la acción de estrógenos en la madurez sexual y por medio de una depresión del hueso estructural. Este fenómeno se observa como una de las causas de osteoporosis en las aves después de la puesta (Piquer & Ibérica, 1999)

Para Uribe & Robles (1985), existen dos factores que varían la morfología externa de los huevos en las aves, los factores genéticos y los ambientales, mismos que deben

encontrarse en equilibrio para que exista una mayor probabilidad de supervivencia de las crías. El factor ambiental puede suponer una capacidad de transformación en la morfología de los huevos, donde una posible adaptación a rugosidades en el terreno podría estar relacionada con su tamaño y esfericidad (Uribe & Robles, 1985).

Por otro lado, según Barrionuevo *et al.* (2010) las condiciones climáticas pueden determinar en el tamaño de los huevos, esto debido a que incide en la capacidad de las hembras para regular la temperatura. En el caso del Carbonero Común, los huevos son 14% más pequeños cuando al inicio de la puesta se enfría experimentalmente el nido. De igual manera, las condiciones ambientales pueden afectar la cantidad de alimento que consumen las hembras reproductivas, por lo que el éxito reproductor es afectado (Barrionuevo *et al.*, 2010).

En las aves paseriformes la formación del huevo requiere un equivalente del 45 al 50% del metabolismo diario basal de la hembra, lo cual supone un incremento del 15% del total del requerimiento de energía diario (Perrins, 1996). Se debe considerar que esta estimación no toma en cuenta el gasto energético para recolectar comida extra o para el metabolismo dentro del huevo (Perrins, 1996).

### **1.2.2. Coloración de los huevos.**

Según Navarro & Benítez (2013), en las aves la cantidad de pigmento es una de las características importantes del cascarón del huevo. Especies como las gallinas o búhos ponen huevos totalmente blancos, los tinamúes ponen huevos color pastel con una superficie brillante, pero la mayoría de las aves ponen huevos pigmentados de un color sólido o densamente moteado. Es necesario mencionar que cada huevo tiene un patrón y coloración individual aún dentro de la misma especie, lo que puede permitir a los padres reconocer los propios (Navarro & Benítez, 2013).

En los huevos de color azul- verde el pigmento que utilizan las aves es llamado biliverdina el cual posee fuertes propiedades antioxidantes (Moreno & Osorno, 2003). Por otro lado, los huevos con color café, pardo o rojizo son producto de la protoporfirina, un pro- oxidante, por lo cual su deposición en los huevos se ha sugerido como una señal de tolerancia de las hembras ante el estrés oxidativo (Moreno & Osorno, 2003).

Según Uribe & Robles (1985), la menor pigmentación en los huevos más grandes puede deberse a un aumento de cripticismo, así como a que una misma cantidad de pigmento se ve distribuida en una mayor superficie (Uribe & Robles, 1985).

Se han estudiado una variedad de factores que se relacionan con la pigmentación de los huevos en las aves, entre los cuales podemos mencionar: primero, la relación del moteado con la disponibilidad de calcio, donde las áreas pigmentadas actuarían como un refuerzo en la superficie más delgada del huevo (hipótesis de función estructural; Gosler et al. 2005); segundo, la pigmentación de los huevos puede afectar la permeabilidad, pérdida de agua durante la incubación y el esfuerzo de la hembra durante la incubación (Gosler & Higham, 2005); tercero, el moteado permite a la hembra identificar sus propios huevos y rechazar huevos parásitos (Davies & Brooke, 1989); cuarto, el moteado de los huevos funciona como una señal de selección sexual que induce el cuidado parental por parte de los machos (Moreno & Osorno, 2003); quinto, una mayor pigmentación de los huevos se relaciona con hembras anémicas afectadas por el estrés nutricional asociado a la reproducción (De Coster *et al.*, 2012).

En cuanto a la última relación mencionada, debemos argumentar que la alimentación de las aves puede afectar la calidad de la cáscara y el moteado de los huevos, esto en concordancia a factores como la calidad del agua, electrolitos, carga bacteriana, o algunos micro minerales como Sodio, Cloro, ácido base, Zinc, los cuales actúan como cofactores en la formación de la cáscara (Huyghebaert, 2006).

De esta manera, el aporte de los minerales principales como Calcio, Fósforo, la relación Calcio- Fósforo, el tamaño de la partícula de Calcio, la solubilidad intestinal del Calcio, la dieta de prepuesta y el carbonato derivado del bicarbonato sanguíneo o de síntesis a partir de CO<sub>2</sub>, por la acción de anhidrasa carbónica en el oviducto, son factores determinantes de la calidad de la cáscara y el moteado de los huevos (Huyghebaert, 2006).

De manera complementaria es necesario mencionar que según Moreno *et al.* (2003) y Gosler *et al.* (2005), la coloración de los huevos en aves puede ser un rasgo sujeto a selección sexual, señalando el estado fisiológico de las hembras, así como su nivel de estrés e inmunocompetencia. Una premisa básica para que la coloración de los huevos

pueda funcionar como un rasgo de selección sexual es que las hembras deben ser consistentes en el moteado de sus huevos (Moreno *et al.*, 2003 y Gosler *et al.*, 2005).

Finalmente, en cuanto a los rasgos reproductivos, la pigmentación y patrones de coloración de los huevos han sido relacionados con la duración del periodo de incubación, éxito de eclosión, propiedades de la cáscara del huevo como grosor y peso, y como se mencionó anteriormente el esfuerzo parental por parte del macho en la etapa final del periodo de incubación (García- Navas *et al.*, 2011).

### **1.2.3. Coloración y calidad de la hembra.**

Diversos estudios apuntan a que, si la coloración de los huevos se puede definir como una señal real de la condición de la hembra, esto estaría relacionado con la edad de la hembra, su condición física y la posición del huevo dentro de la puesta (Siefferman *et al.*, 2006).

Dentro de este contexto, la intensidad de coloración de los huevos ha sido relacionada positivamente con variados rasgos de las hembras como la edad, masa corporal, condición física, capacidad de provisión para las crías y capacidad antioxidante, lo cual establece que hembras de mayor calidad producen huevos de mayor calidad debido básicamente a su capacidad de asignar mayores y mejores recursos para ellos (Riehl, 2011).

Según De Coster & De Neve (2013), para el Carbonero Común las hembras de mayor calidad producen huevos con pigmentos más oscuros, lo cual se relaciona con una mayor cantidad de pigmentos antioxidantes en la sangre y una mayor tolerancia oxidativa en las hembras o la capacidad de deshacerse de pigmentos dañinos de protoporfirina (De Coster & De Neve, 2013).

Por otro lado, para Martínez de la Puente y colaboradores (2007), los huevos más pigmentados reflejan hembras con mayores niveles de protoporfirina, moléculas que causan estrés oxidativo, que se refleja en su respuesta y condición fisiológica, lo cual se traduce en hembras de menor calidad y salud, así como huevos de menor tamaño (Martínez de la Puente *et al.*, 2007).

Según Moreno & Osorno (2003), una mayor cantidad de pigmentación en los huevos puede relacionarse también con una deficiencia de calcio en la hembra, debido a condiciones ambientales o a enfermedad en la hembra. Además, una mayor cantidad de moléculas de protoporfirina en la sangre puede causar daños en el hígado y comprometer otros aspectos de su salud y condición (Moreno & Osorno, 2003).

De manera complementaria debemos mencionar que la inversión química para dar color a los huevos es costosa para las hembras, ya que durante el periodo de puesta existen altos niveles de progesterona que pueden inducir estrés oxidativo lo cual reduce las defensas antioxidantes, causando un costo para la reproducción (Moreno & Osorno, 2003).

### **1.3. Especie de estudio.**

El Carbonero Común es un ave del orden de los Paseriformes, perteneciente a la familia Paridae, que se distribuye por Europa, Asia y norte de África, se extiende hacia el este por Oriente Medio, la mayor parte de Asia Central, Siberia al sur del paralelo 65° N, Himalaya, Extremo Oriente hasta las islas de Japón y Formosa, sur de la India, Indochina y archipiélagos indonesios desde Sumatra a Timor (Cramp & Perrins, 1993).

Mide aproximadamente de 12 a 14 cm, su envergadura oscila entre los 22,5 y los 25,5 cm, sus alas son cortas y su peso se encuentra entre los 17 a 19 g. Es una de las especies de páridos más identificables por su distintivo pecho amarillo, su cabeza y "corbata" negro azabache, el verde oliváceo de sus alas y cola, así como sus mejillas blancas, excepto por los juveniles quienes las tienen algo amarillentas (Fauna Ibérica, 2014). Los machos poseen una conspicua banda negra que recorre su cuerpo desde la base de la garganta hasta la cola, mientras que las hembras tienen esta banda muy poco marcada, la cual desaparece en el vientre (SEO/BirdLife, 2008).

Esta especie forestal troglodita nidifica en huecos de árboles, cajas- nido o en agujeros de casas viejas, esta particularidad de ocupar casi cualquier tipo de agujero y su capacidad generalista en cuanto a su alimentación le permite habitar cualquier tipo de medio mínimamente arbolado (Atiénzar, Álvarez & Barba, 2012).

Habita bosques de todo tipo, desde coníferas hasta caducifolios; para construir su nido usa agujeros en los árboles, muros de piedra, ramas huecas o cajas de anidación. Se

alimenta de insectos y arácnidos que habitan la vegetación arbórea, en especial orugas folívoras, además come frutos, yemas y semillas (Naturaleza Nazari SL, 2007).

En cuanto a su reproducción, según Gosler *et al.* (2005), el Carbonero Común inicia su ciclo reproductivo en marzo, y tiene la capacidad de criar hasta tres veces en cada estación reproductora; cada puesta se compone de 8 a 13 huevos los cuales son blancos con pequeñas motas pardo-rojizas formando una corona alrededor del extremo más ancho del huevo mismos que son incubados exclusivamente por la hembra dentro de un periodo de 12 a 14 días. Durante la puesta la hembra cubre los huevos con material del nido el cual los oculta eficazmente, evitando así la necesidad de crípsis (Gosler *et al.*, 2005). Una vez que eclosionan los huevos, los polluelos son alimentados por la hembra y el macho, vuelan una vez que han transcurrido tres semanas y entre la sexta y séptima semana se independizan (SEO BirdLife, 2008).

#### **1.4. Fractales.**

Un fractal se define como un objeto geométrico que posee una estructura que se repite en diferentes escalas, generada por un proceso recursivo o iterativo (García, 2009). Está formado por partes que son auto semejantes, es decir que son semejantes al conjunto total de la figura o forma que representan y su construcción se basa en un algoritmo simple o sencillo (Reyes, 1989).

El término fractal se deriva de la palabra latina *fractus* que quiere decir quebrado o fracturado, y fue acuñado por Benoit Mandelbrot en 1975. A pesar de que existen una serie de debates sobre cómo definir un fractal, podemos concluir que es un objeto cuya estructura se repite independientemente de la escala de visualización (Mandelbrot, 1977).

Según Luque & Agea (2011), este tipo de figura geométrica está compuesta por fragmentos en una infinita variedad de tamaños, donde cada uno de ellos es una copia reducida del total (la parte que contiene el todo). Haciendo referencia a esta propiedad, los fractales están caracterizados por la presencia de detalle infinito, longitud infinita y una ausencia de suavidad o derivabilidad (Luque & Agea, 2011).

En cuanto a sus propiedades, KJ. Falconer (2003), define las siguientes:

- Demasiado irregular para ser descrito en términos geométricos euclídeos tradicionales.
- Posee detalle a cualquier escala de observación, por lo que la fractalización o detalle de la geometría tiende al infinito, siendo imposible de medir.
- Su dimensión de Hausdorff- Besicovitch es estrictamente mayor que su dimensión topológica. Esto quiere decir que su tamaño (en longitud o superficie) es mayor que lo que se podría esperar de una forma euclídea.
- Posee autosimilaridad ya sea exacta o estadística.
- Se crea a partir de un método recursivo.

El estudio de los fractales se puede aplicar a los modelos de la naturaleza de manera relativamente fácil, puesto que su geometría propia es la geometría fractal, esto debido a sus diseños extremadamente complejos. Su capacidad de analizar fenómenos y sintetizar imágenes es útil en áreas como la medicina, biología, botánica, física, matemáticas, economía y computación.

#### **1.4.1. Geometría fractal.**

Este tipo de geometría nace en la década de los setenta, enmarcada dentro de áreas de análisis matemático, geometría euclidiana (geometría clásica que se toma como punto de partida para el estudio de las otras clases de geometría), topología y matemática aplicada (Sabogal & Arenas, 2011). Tiene como objeto abstraer las formas de la naturaleza, por lo que es comúnmente llamada geometría de la naturaleza, haciendo una combinación entre la matemática y el arte (Pool- Domínguez, 2014).

La geometría fractal proporciona modelos matemáticos que permiten estudiar formas geométricas complejas e irregulares a través de algoritmos matemáticos y computacionales, reemplazando a los puntos, rectas, circunferencias y demás figuras que provienen de la geometría tradicional (Braña, 2003). Este tipo de geometría proporciona métodos que permiten estudiar procesos físicos, químicos, biológicos, geológicos y astronómicos (Llorente *et al.*, 2015).

Es una herramienta que se ha tornado cada vez más popular entre ecologistas, debido a que por medio del cálculo de la dimensión en sus diferentes formas brinda un punto de referencia para describir patrones encontrados en la naturaleza (Palmer, 1988). Puntos, líneas y otros patrones heterogéneos con diferentes formas, tamaños, colores y



distribución son comúnmente hallados en el reino animal, por lo que la geometría fractal provee nuevas oportunidades para el estudio de complejos patrones como son la coloración de los animales y como esta se vincula con su rol en la comunicación animal (Pérez *et al.*, 2013).

Según Pérez, Jovani & Mougeot (2013), patrones de coloración animal pueden ser analizados por medio de métodos geométricos que proveen una medida integral de la complejidad de todo un patrón explorado a diferentes escalas, contribuyendo de esta manera al estudio de su variabilidad y funcionalidad. Por lo cual, algunas recientes técnicas desarrolladas dentro de la geometría fractal poseen la capacidad de describir el orden espacial y el patrón de complejos parches de color presentes en la naturaleza (Pérez *et al.*, (2013).

#### **1.4.2. Dimensión fractal.**

Según Sabogal & Arenas (2011), el parámetro numérico más importante en la teoría de los fractales es la dimensión fractal, la cual permite cuantificar la irregularidad y fragmentación de un objeto natural o conjunto geométrico. Este tipo de dimensión se expresa numéricamente y puede ser entera o fraccionaria (Sabogal & Arenas, 2011).

En el caso de los fractales la longitud pasa a ser algo más complejo, puesto que estos están compuestos por elementos cada vez más pequeños entre sí, por lo que debemos medir los fractales por su dimensión. (García, 2009).

La dimensión fractal permite conocer, a través de la observación en escalas más y más finas, cuan completamente parece llenar la figura el espacio que la contiene; el cálculo de este tipo de dimensión de un objeto nos permite conocer si este es un fractal o no (Pool-Domínguez, 2014).

Según Cazás *et al.* (2004), para la determinación de la dimensión fractal se utilizan los siguientes conceptos: límite, logaritmo, escalas, medidas, computadoras, fórmulas matemáticas. Para su medición es necesario considerar que entre más rugoso o irregular sea un objeto más rápido crece su longitud (Cazás *et al.*, 2004).

El cálculo de la dimensión fractal aplicado a patrones de la naturaleza puede realizarse a partir del método de conteo de cajas (box-counting method), donde se utiliza una rejilla de

celdas de lado  $r$  las cuales cubren el objeto estudiado, posteriormente se contabilizan las celdas  $N$  ocupadas por el objeto y se repite el cálculo para otro tamaño de celda de lado  $r$ . Para determinar la dimensión fractal del objeto se debe ajustar los datos a la ley de potencias:  $N(r) = \text{cte} * r^{-D}$  (Luque & Agea, 2011).

De igual manera, es posible realizar el cálculo de la dimensión fractal por medio de la expresión matemática  $S = L^D$ , de la cual  $S$  es la cantidad de segmentos o su longitud,  $L$  es la escala de dimensión y  $D$  es la dimensión (García, 2009).

## **CAPÍTULO 2**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

## 2.1. Área de estudio.

Buunderkamp (52° 02' N, 5° 48' E), está localizado en la parte central de la región "Veluwe" en los países bajos. Se encuentra en la provincia de Güeldres, una de las doce provincias del Reino de los Países Bajos, al sureste del lago de Veluwe y de los demás lagos de Veluwerand. Parte de este territorio se encuentra protegido por el parque natural llamado De Hoge Veluwe (Tietema, 1993).

El bosque de Buunderkamp es parte de una gran zona boscosa ubicada en los países bajos, mayormente compuesta por robles de 60 años de edad (*Quercus robur*); el suelo se clasifica como Fimic Anthrosol y se encuentra en buenas condiciones de drenaje, es arenoso y ácido (Van Wijk & Bouten, 2001). Aproximadamente a 40 cm de profundidad se encuentra una capa arenosa rica en materia orgánica sustentada por una capa de gruesa arena angular, el suelo contiene depósitos fluviales del río Rhine y el agua freática es muy profunda (Van Wijk & Bouten, 2001).

Según Halfwerk, Holleman, Lessells & Slabbekoom (2010), el área está delimitada al norte por una autopista de cuatro carriles y al sur por una línea ferroviaria. El hábitat es considerado un bosque templado mixto, con parcelas de distintos tamaños. Las especies vegetales dominantes son *Pinus sylvestris* y *Quercus rubra* (Halfwerk, W *et al.*, 2010).

El área de estudio se encuentra dividida en dos sub áreas: un mosaico de parcelas de bosque de coníferas con un pequeño número de Abedules (*Betula spec.*) a lo largo de los caminos; y, un mosaico de parcelas de un rico bosque mixto con coníferas y árboles caducifolios como el Haya Común (*Fagus sylvatica*) y Abedules (*Betula spec.*), así como pequeños robles (*Quercus sprec.*) mismos que se encuentran dispersos (Drent, 1987)



Gráfico 1. Localización geográfica Buunderkamp

Fuente: Google Map data, 2015

## 2.2. Colección de muestras.

La presente investigación se fundamenta en el análisis fotográfico de la dimensión fractal del moteado de los huevos del Carbonero común. Para el efecto se utilizaron fotografías de 78 nidos muestreados, mismos que se componen de un promedio de 8 huevos por nido. Cada una de las fotografías de los nidos fue recortada para contar con información individual de cada huevo, lo cual constituyó un total de 656 fotografías digitales.

Las muestras fueron colectadas en el bosque de Buunderkamp, Países Bajos, en las coordenadas  $05^{\circ}45' E$ ;  $52^{\circ}01' N$ , por el Dr. Gustavo Tomás Gutiérrez, durante la primavera del 2008, entre el 27 de abril y el 07 de mayo.

Las fotografías fueron tomadas con una cámara Canon EOS 350D Digital con resolución de 72 dpi, a una velocidad ISO 400. La distancia estándar utilizada fue de 50 mm y bajo condiciones de luz natural. Para cada una de las fotos se utilizó la misma referencia y escala.

De manera complementaria se trabajó con la recolección de información referente a los nidos y las hembras de cada uno de ellos, para lo cual se colectó la siguiente información:

- Fecha de puesta (LDATE)
- Fecha de eclosión (HDATE)

- Número de huevos de la puesta (CS)
- Número de pollos nacidos vivos (nPoll)
- Pollos que volaron (PV)
- Condición de la hembra (CH)
- Longitud de los huevos (LH)
- Ancho de los huevos (AH)
- Área de las manchas de los huevos (AMH)
- Medida del tarso de la hembra (T)
- Medida de la pluma primaria tercera del ala (P3)
- Peso de la hembra (W)

### **2.3. Análisis fotográfico de la dimensión fractal.**

Para la ejecución del análisis fotográfico se partió por trabajar en las imágenes de cada uno de los nidos de forma separada, para el efecto se utilizó el programa informático Adobe Photoshop CS3 (Adobe Systems, 2006). Mediante la herramienta Selección de Gama de Color, fue posible identificar en cada uno de los nidos la gama de color más alta y baja del moteado de los huevos, posteriormente se creó una selección con una tolerancia estándar del 20%, que permitió separar el moteado del resto del huevo y de esta manera descartar el fondo. Una vez creada la selección del moteado o patrón de interés, en una capa individual de Photoshop, esta fue modificada en ajustes de imagen para oscurecer el color hasta lograr un tono negro (Ver Figura 1 a 10).

Las imágenes procesadas en blanco y negro fueron analizadas por medio del método de "box-counting" en el programa FracTop v. 0.3b, cálculo que permitió cuantificar la dimensión fractal del moteado de cada uno de los huevos, metodología que fue tomada de la publicación: "Fractal geometry of a complex plumage trait reveals bird's quality" (Pérez- Rodríguez, *et al.*, 2013).

El método de "box-counting" coloca una rejilla de cuadrados de tamaño característico sobre la imagen del fractal y posteriormente contabiliza el número de celdas ocupadas por al menos un pixel negro de la imagen. Por medio del análisis del  $\log(s)$  versus el  $\log(1/N)$  se estima la Dimensión fractal del objeto (Pérez- Rodríguez, *et al.*, 2013).

## **2.4. Análisis estadístico de la dimensión fractal.**

Por medio del análisis realizado con el programa FracTop v. 0.3b, fue posible determinar la Dimensión fractal (DF) de cada uno de los huevos identificados, para posteriormente realizar el cálculo del promedio de la DF para cada uno de los nidos. De esta manera, fue posible correlacionar el valor de la DF con la información levantada en el campo.

Para el análisis estadístico se utilizaron correlaciones lineales, regresiones lineales, análisis de varianza ANOVA y análisis multivariado de varianza MANOVA, en el programa IBM SPSS Statistics 21 (Norušis y SPSS Inc., 2012), con el objetivo de determinar si el valor de la DF del moteado de los huevos puede ser utilizado como un indicador de variables morfológicas de los huevos, las condiciones de calidad de la hembra o de variables reproductivas como éxito de eclosión, éxito de vuelo y éxito reproductor.

Se debe mencionar que para el presente estudio y con finalidades de comparación, se ha realizado un análisis donde se ha duplicado la información de 3 de los nidos muestreados (nido 1, n57 y n291), esto con el objetivo de determinar si la Dimensión Fractal de los huevos varía en relación a los estándares con los que fueron tomadas las fotografías.

### **2.4.1. Variables de correlación.**

Para la determinación de las correlaciones estadísticas de los nidos se trabajó con las siguientes variables:

- Promedio de la dimensión fractal (PROM DF). - se calculó el valor de la DF para cada uno de los huevos y posteriormente se determinó el promedio de la DF por nido, esto con la finalidad de poder realizar las comparaciones estadísticas con los demás datos muestreados.
- Fecha de puesta (LDATE). - indica el día en que la hembra puso el primer huevo en el nido, este dato se encuentra en un rango de 1 a 30, es decir el 1ro al 30 de abril del 2008.

- Número de huevos de la puesta (CS). - se refiere a la cantidad de huevos por nido que puso la hembra.
- Longitud de los huevos (LH). - medida que fue tomada en centímetros e indica la medida de dimensión del huevo considerando su extensión en línea recta.
- Ancho de los huevos (AH). - medida que fue tomada en centímetros e indica la dimensión horizontal del huevo tomada desde los laterales.
- Área de las manchas de los huevos (AMH). - medida tomada en centímetros e indica el área total que ocupan las manchas dentro de los huevos.
- Condición de la hembra (CH). - se calculó la condición de cada una de las hembras por medio de la división de las medidas Peso de la hembra (valor que fue cuantificado en gramos y que determina el estado de salud de la hembra y sus condiciones de alimentación) y Tarso de la hembra (valor que fue cuantificado en milímetros y que indica el tamaño esquelético del ave, es decir si es grande o pequeña).
- Medida de la pluma primaria tercera del ala (P3). - valor que fue cuantificado en milímetros y que determina la calidad del ave la última vez que ha cambiado las plumas.
- Éxito de eclosión (EX ECLO). - se calculó el éxito de eclosión para cada uno de los nidos por medio de la siguiente expresión ( $nPoll/CS$ ), es decir el número de pollos que nacieron en relación al número de huevos del nido.
- Éxito de vuelo (EX VUELO). - se calculó el éxito de vuelo para cada uno de los nidos por medio de la siguiente expresión ( $PV/nPoll$ ), es decir el número de pollos que volaron en relación al número de pollos que nacieron.
- Éxito reproductor (EX REPROD). - se calculó el éxito reproductor para cada uno de los nidos por medio de la siguiente expresión ( $PV/CS$ ), es decir el número de pollos que volaron en relación al número de huevos del nido.



### 2.4.2. Correlaciones lineales.

Las variables fueron correlacionadas linealmente de forma bivariada con el promedio de la DF cada uno de los nidos, utilizando el método de Pearson para determinar el grado de correlación entre ellas.

El coeficiente de correlación de Pearson se define por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

La correlación de Pearson mide el grado de relación lineal entre dos variables. Este índice hace referencia a la media de los productos cruzados de los valores de X y Y, operando con puntuaciones estandarizadas libre de escala de medida, cuyo valor oscila en términos absolutos entre '1.0 y 1.0. (Dagnino, 2014).

Existen tres tipos de correlaciones según Pearson:

- Positivas:** puntuaciones altas de X están asociadas con puntuaciones altas en Y.
- Negativas:** puntuaciones altas en X están asociadas con puntuaciones bajas en Y.
- Sin relación:** no existe una relación predecible entre X y Y. (Dagnino, 2014)

El método Pearson indica los siguientes índices de correlación:

Índices R y Rho	Interpretación
0,00 – 0,20	Ínfima correlación
0,20 – 0,40	Escasa correlación
0,40 – 0,60	Moderada correlación
0,60 – 0,80	Buena correlación
0,80 – 1,00	Muy buena correlación

Para determinar la significancia de la correlación de Pearson es necesario seguir la siguiente regla de decisión:

- Si  $p < .01$ , la prueba es significativa y existe una relación entre las dos variables.
- Si  $p > 0.1$ , la prueba no es significativa y no existe correlación entre las dos variables (Dagnino, 2014)

### 2.4.3. Regresiones lineales.

Una regresión lineal permite conocer el efecto que tiene una variable sobre otra, donde una es considerada como la variable dependiente X y otra como la variable independiente Y. Una vez relacionadas las variables es posible conocer si existe una dependencia significativa o no (Montgomery *et al.*, 2006).

La estructura del modelo de la regresión lineal es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Para la interpretación de la tabla Modelo de Resumen del análisis de regresión lineal se debe considerar los siguientes valores:

- R = coeficiente de correlación múltiple, en regresión lineal simple este valor es igual al de la correlación de Pearson.
- R Cuadrado ( $R^2$ ) = la cantidad de varianza en la variable dependiente es explicada por la variable independiente (Montgomery *et al.*, 2006).

Por otro lado, para la interpretación de resultados de la tabla ANOVA o la tabla de Coeficientes es necesario seguir la siguiente regla de decisión:

Si  $p < 0.5$ , la prueba es significativa y la variable independiente predice significativamente a la variable dependiente.

Si  $p > 0.5$ , la prueba no es significativa y la variable independiente no predice significativamente a la variable dependiente (Montgomery *et al.*, 2006).

#### **2.4.4. ANOVA y MANOVA.**

El análisis de varianza ANOVA sirve para realizar comparaciones de varios grupos en una variable cuantitativa, la variable categórica es llamada independiente (define los grupos que deseamos comparar); la variable cuantitativa es llamada dependiente (en la que deseamos comprar los grupos) (Moore, 1998).

Según Moore (1998), el ANOVA permite determinar por medio del nivel de significación (Sig.), la probabilidad de obtener valores superiores o bajo de la hipótesis de igualdad de medias. Para determinar si se debe o no rechazar la hipótesis es necesario seguir el siguiente criterio:

Si  $P < 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula, es decir que todas las medias de la población son iguales.

Si  $P > 0,05$ , se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias.

Por otro lado, el análisis multivariado de varianza MANOVA, usa el modelo lineal general para realizar un análisis de variancia y co variancia univariado y multivariado, con la posibilidad de usar hasta ocho variables independientes o factores (Johnson, 1996).

Cuando se utiliza el MANOVA se presume que hay una correlación entre las variables dependientes, y que esta correlación es significativa. Este análisis posee más de un índice o estadístico para contrastar la hipótesis de nulidad multivariante, la cual plantea que los K grupos tendrán la misma media poblacional para cada una de las variables dependientes (Martín-Guzmán, 1991).

Según Johnson (1996), por medio de la prueba de Box sobre la igualdad de las matrices de covarianzas en el MANOVA es posible evaluar el nivel de significancia, donde se debe seguir la siguiente regla de decisión:

Si  $P > 0,05$  se rechaza la hipótesis nula, es decir que las matrices de covarianza observadas para las variables dependientes son iguales en todos los grupos.

Si  $P < 0,05$  se acepta la hipótesis nula y se define una homogeneidad entre las medias poblacionales para las variables dependientes.

Por otro lado, según Martín-Guzmán (1991), la tabla de Contrastes multivariados explica la forma en que las variables difieren entre sí, siguiendo el siguiente criterio de decisión:

Si  $P > 0,05$  se acepta la hipótesis nula, es decir que las matrices de covarianza observadas para las variables dependientes son iguales en todos los grupos y estas son homogéneas.

Si  $P < 0,05$  se rechaza la hipótesis nula y las variables difieren entre sí.

**CAPÍTULO 3**  
**RESULTADOS**

### **3.1 Estructura poblacional.**

Durante los periodos de muestreo (abril – mayo 2008), se encontraron y fotografiaron 78 nidos en el bosque de Buunderkamp, Países Bajos. El tamaño total de la población de hembras se estimó en 78, las cuales pusieron un total de 656 huevos (un promedio de 8 huevos por nido) (Ver Tabla 1).

De los 656 huevos, nacieron 559 pollos, es decir el 85,21% de la población tuvo éxito al nacer. Por otro lado, de estos 559 pollos vivos, 540 volaron y abandonaron el nido, es decir un 96,60% de ellos tuvo éxito al volar (Ver Tabla 1).

En cuanto a la información fisiológica de las hembras, 28 de ellas eran jóvenes (valor establecido como 5), 41 eran hembras viejas (valor establecido como 6), y para 9 de ellas no fue posible determinar la edad. Por lo cual, podemos decir que el 35,90% de las hembras del estudio eran jóvenes, y el 52,56% eran viejas, mientras que para el 11,54% no fue posible determinar la edad (Ver Tabla 1).

Los periodos de puesta (fecha entre la puesta del primer huevo y la eclosión del primer huevo), comprendieron un promedio de 21 días, siendo 15 días el periodo de tiempo más bajo presentado y 46 días el más alto (Ver Tabla 1).

### **3.2 Variables morfológicas de los huevos.**

Los análisis de correlación de Pearson para la variable dependiente Promedio de la Dimensión Fractal y las variables independientes Promedio de Longitud de los Huevos, Promedio del Ancho de los Huevos y Promedio de Área de las Manchas de los Huevos, arrojaron valores P de 0,022; 0,112; y, 0,448 respectivamente. Los valores determinan que las variables Promedio de Longitud de los Huevos y Promedio de Ancho de los Huevos, en relación a la Variable Promedio de Dimensión Fractal, se encuentran dentro de los índices de ínfima correlación; mientras que para las variables Promedio de Área de las Manchas y Promedio de Dimensión Fractal el índice de R y Rho determinan una moderada correlación (Ver Tabla 2).

En cuanto a la prueba de significación bilateral de la correlación entre el Promedio de la Dimensión Fractal con las variables Promedio de Longitud de los Huevos, Promedio del

Ancho de los Huevos y Promedio de Área de las Manchas de los Huevos, se obtuvieron valores de significancia de 0,850; 0,330; y, 0,000. Por lo cual, únicamente el Promedio de Área de las Manchas de los Huevos y el Promedio de la Dimensión Fractal representan una relación positiva y significativa donde,  $r(78) = 0,022; 0,112; 0,448,$   $P = 0,850; 0,330; 0,000$  (Ver Tabla 2).

Los datos obtenidos luego del análisis estadístico de regresión lineal para la variable dependiente, Promedio de la Dimensión Fractal, y las variables independientes Promedio de Longitud del Huevo, Promedio de Anchura del Huevo y Promedio del Área de las Manchas de los Huevos, presentan un valor R de 0,454 y un valor de  $R^2$  de 0,206. El coeficiente de correlación múltiple (R) indica un índice de moderada correlación entre las variables, mientras que la cantidad de varianza ( $R^2$ ) demuestra que las variables Promedio de Longitud del Huevo, Promedio de Anchura del Huevo y Promedio del Área de las Manchas explican en un 20% la varianza del Promedio de la Dimensión Fractal (Ver Tabla 3).

Los resultados de la tabla ANOVA y de coeficientes definen un valor de significancia de 0,001, por lo que la prueba se encuentra dentro del valor significativo, es decir que las variables independientes de manera conjunta si predicen a la variable dependiente (Ver Tabla 3).

Sin embargo, la tabla de coeficientes para cada una de las variables Promedio de Longitud del Huevo, Promedio de Anchura del Huevo y Promedio del Área de las Manchas de los Huevos reflejan valores de significancia 0,512; 0,533; y, 0,000, por lo que es posible afirmar que la prueba es significativa para la última variable, es decir que el Promedio del Área de las Manchas de los huevos es la variable que predice significativamente al Promedio de la Dimensión Fractal (Ver Tabla 3).

### **3.3 Variables fisiológicas de las hembras.**

Para los análisis de las variables correspondientes a la Fecha de Puesta (LD), Tamaño de Puesta (CS), Medida de la Pluma del Ala Tercera Primaria (P3), Condición de la Hembra (Peso/ Tarso) y Promedio de la Dimensión Fractal, los coeficientes de correlación de Pearson registraron valores de -0,112; 0,117; 0,038; y, -0,061. Las variables Fecha de Puesta (LD) y Medida de la Pluma del Ala Tercera Primaria (P3)

demuestran un índice de ínfima correlación negativa. Por otro lado, las variables Tamaño de Puesta (CS) y Condición de la Hembra indican una ínfima correlación positiva (Ver Tabla 4).

En relación a la significancia de la correlación entre el Promedio de la Dimensión Fractal y las variables la Fecha de Puesta (LD), Tamaño de Puesta (CS), Medida de la Pluma del Ala Tercera Primaria (P3) y Condición de la Hembra (Peso/ Tarso), los valores del análisis 0,329; 0,312; 0,755; y, 0,612 demuestran que para ninguna de las variables la prueba es significativa,  $r(78) =$  de -0,112; 0,117; 0,03; -0,061,  $P =$  0,329; 0,312; 0,755; 0,612 (Ver Tabla 4).

En cuanto al análisis de Regresión lineal para las variables Fecha de Puesta (LDATE), Tamaño de Puesta (CS), Condición de la Hembra y Medida de la Pluma del Ala Tercera Primaria (P3), como variables independientes, en relación a la variable dependiente Promedio de Dimensión Fractal, la regresión presenta un valor R de 0,205 y un valor de  $R^2$  de 0,042. El coeficiente de correlación múltiple (R) indica un índice de escasa correlación entre las variables, mientras que la cantidad de varianza ( $R^2$ ) determina que el 42% de varianza en la variable Promedio de Dimensión Fractal es explicada por las variables independientes (Ver Tabla 5).

Por medio del ANOVA, es posible analizar el nivel de significancia de 0,587, el cual indica que la relación no es significativa y las variables Fecha de Puesta (LDATE), Tamaño de Puesta (CS), Condición de la Hembra y Medida de la Pluma del Ala Tercera Primaria (P3) no predicen al Promedio de la Dimensión Fractal (Ver Tabla 5).

Finalmente, los valores individuales de significancia obtenidos en la tabla de coeficientes se encuentran en un rango entre 0,476 y 0,543, lo cual confirma lo presentado en el ANOVA, donde se define que las variables independientes no se relacionan ni predicen significativamente al Promedio de Dimensión Fractal (Ver Tabla 5).

### **3.4 Variables de éxitos de eclosión, vuelo y reproducción.**

El análisis de Correlación de Pearson entre el Promedio de la Dimensión Fractal y las variables Éxito de Eclosión, Éxito de Vuelo y Éxito de Reproducción indican los valores 0,026; 0,089; y, 0,030, respectivamente. Es decir, que el índice de R y Rho determinan



una ínfima correlación entre estas tres variables y el Promedio de la Dimensión Fractal (Ver Tabla 6).

La significancia de correlación entre el Promedio de la Dimensión Fractal y el Éxito de Eclosión, Éxito de Vuelo y Éxito de Reproducción reflejan los valores 0,822; 0,439; y, 0,797, lo cuales se encuentran muy por encima de  $p < 0,05$ , por lo que es posible afirmar que no existe ningún tipo de relación entre estas variables,  $r(78) = 0,026; 0,089; 0,030$ ,  $P = 0,822; 0,439; 0,797$  (Ver Tabla 6).

Por otro lado, se realizó un MANOVA (Análisis Multivariante de la Varianza), con la finalidad de comprobar la hipótesis de homogeneidad de las muestras. En este caso las variables Éxito Reproductor, Éxito de Vuelo y Éxito de Eclosión se consideran como dependientes, y el Promedio de Dimensión Fractal se considera como independiente (Ver Tabla 7).

La prueba de Box sobre la igualdad de las matrices de covarianzas en el MANOVA nos presenta un nivel de significancia de 0,000, lo cual indica que las matrices de covarianza observadas para las variables dependientes son iguales en todos los grupos, es decir que son homogéneas (Ver Tabla 7).

Por medio de la información brindada por la tabla de Contrastes multivariados se puede evidenciar que el coeficiente de significancia obtenido para las variables dependientes es de 0.554, es decir que las variables no difieren entre sí y son homogéneas en todos los grupos de Categorías del Promedio de Dimensión Fractal (independiente) (Ver Tabla 7).

En el caso de las Pruebas de los efectos inter- sujetos en el MANOVA, es posible evidenciar valores de Significancia de 0,647, para el Éxito de Eclosión; 0,900 para el Éxito de Vuelo; y, 0,835 para el Éxito de Reproducción. Estos tres resultados son mayores que el valor 0.025 del nivel de ajuste de Bonferroni, lo cual indica que las categorías de Promedio de Dimensión Fractal no difieren significativamente en los éxitos o variables dependientes (Ver Tabla 7).

### **3.5 Repetibilidad de la Dimensión Fractal.**

Por medio de un ANOVA (Análisis de Varianza Univariante) se analizaron dos medidas repetidas de la Dimensión Fractal para 3 nidos de la muestra total, los cuales fueron tomados al azar de la muestra total de 78, esto con la finalidad de determinar si la forma en que han sido tomadas las fotografías influye en el valor del Dimensión Fractal calculada para cada uno de los huevos (Ver Tabla 8).

En los resultados obtenidos en la Prueba de los efectos inter- sujetos del ANOVA, es posible evidenciar que el nivel de significancia del Promedio de la Dimensión Fractal es de 0,729; mientras que para los Nidos es de 0,077. Estos resultados al ser mayores a 0,05 indican que las medidas son homogéneas, es decir que la repetibilidad es efectiva y no existen mayores diferencias en relación a la forma como se han tomado las fotografías para el presente estudio (Ver Tabla 8).

## **CAPITULO 4**

### **DISCUSIÓN**

El conocimiento de la ecología de las aves es necesario para comprender los factores que han moldeado sus patrones de comportamiento, reproducción, crianza, alimentación, entre otros. Sin embargo, esta información no se encuentra disponible para gran parte de las especies de aves registradas (Mezquida, 2001). Nuestra investigación contribuye a la comprensión de las relaciones existentes entre los patrones de coloración de los huevos y las variables de calidad y reproducción de las hembras de una de las especies más estudiadas del orden Passeriformes, el Carbonero Común.

En el contexto de biometría animal, una herramienta de investigación con potenciales usos que está siendo explorada en distintas especies de animales es la geometría fractal, la cual además de describir patrones que son autosimilares, puede analizar y describir patrones naturales con configuraciones complejas, intrincadas y heterogéneas. Estudios pioneros han demostrado la utilidad de la Dimensión Fractal como una herramienta para medir la complejidad de patrones de coloración animal (Jovani *et al.*, 2013), el presente estudio contribuye al conocimiento sobre el uso de esta nueva herramienta, al analizar la Dimensión Fractal del moteado de los huevos del Carbonero Común con variables fisiológicas y reproductivas de las hembras.

El estudio realizado por Pérez- Rodríguez (2013), propone a la geometría fractal como un método para analizar patrones de coloración animal de diversas especies, proveyendo una medida que captura la complejidad de las formas cuando son exploradas a diferentes escalas. Los resultados del análisis de la Dimensión fractal en base a evidencia correlacional y experimental demostró que la geometría fractal provee información biológica significativa codificada en el plumaje del babero de la Perdiz roja (*Alectoris rufa*); sin embargo, los resultados proporcionados por el presente estudio no demuestran relaciones significativas en cuanto a la medida de la Dimensión Fractal de los huevos del Carbonero Común con las variables de de las hembras, este hecho puede deberse a la falta de evidencia experimental.

Investigadores como De Coster, De Neve & Lens (2013), han demostrado para la especie del Carbonero Común que huevos con pigmentos más oscuros se relacionan con hembras de mayor calidad, reflejando su capacidad de tolerancia oxidativa. A pesar de que la pigmentación se relaciona directamente con el cálculo de la Dimensión Fractal, en el presente estudio no fue posible encontrar una relación significativa entre esta variable y los indicadores de calidad y reproducción de las hembras. Sin embargo, los análisis arrojaron

un resultado de moderada correlación entre el Promedio de Área de las Manchas y el Promedio de Dimensión Fractal (variable morfológica de los huevos), esto se debe a que el cálculo de la Dimensión Fractal para cada uno de los huevos está estrechamente ligado al área del moteado y como se indicó anteriormente a su pigmentación.

Las relaciones entre el tamaño de los huevos, pigmentación y estado de salud de las hembras, cuando estas se encuentran bajo condiciones de alimentación suplementaria, han sido demostradas en diversos estudios, por lo que Martínez de la Puente y colaboradores (2007) afirman que existe una asociación positiva entre la condición de la hembra (capacidad antioxidante e inmunocompetencia) y la coloración de los huevos. Aún así, el presente estudio no encontró asociaciones significativas entre las variables fisiológicas de las hembras y el cálculo de la Dimensión Fractal de los huevos, y como se indicó anteriormente únicamente se cuenta con un resultado positivo en la relación entre el Promedio de la Dimensión Fractal y el Promedio del Área de las Manchas de los huevos.

El análisis de la respuesta inmune de los individuos es considerado como una variable que se relaciona directamente con mejores condiciones fisiológicas en los individuos, y es precedida de mejor manera por la DF de los patrones de coloración que por el tamaño (Perez-Rodriguez *et al.*, 2013); a pesar de la información presentada por estos autores, el presente estudio no tomó como variable de análisis la respuesta inmune de los individuos, lo cual se considera como un factor determinante para el hallazgo de correlaciones entre el promedio de la Dimensión Fractal y las variables fisiológicas y reproductivas de las hembras.

La investigación realizada por Perez-Rodriguez y colaboradores (2013), considera relevante incluir evidencia experimental de la calidad de las hembras para que la geometría fractal pueda reflejar evidencia biológica significativa codificada en patrones de coloración animal, por lo que el enfoque a partir de únicamente el análisis fotográfico de la Dimensión Fractal de los huevos de una población de Carbonero Común y la medición de variables fisiológicas de las hembras, sin tomar en cuenta información experimental, no contribuye de manera suficiente para revelar resultados de relaciones significativas.

Por otro lado, los resultados obtenidos por los análisis estadísticos de repetibilidad del promedio de la Dimensión Fractal en tres de los nidos del Carbonero Común y el análisis MANOVA para los éxitos de eclosión, reproducción y vuelo, demostraron que hay una alta homogeneidad entre las medidas, por lo cual su repetibilidad es efectiva. Este hecho se

relaciona con una de las limitaciones principales del uso de la Dimensión Fractal para determinar aspectos de calidad de los individuos, y es que pueden hallarse valores similares para los patrones compartidos por varios individuos, siendo necesario que la Dimensión Fractal se utilice como un filtro inicial para descartar improbables relaciones o como un rasgo que debe ser complementado por otras variables ecológicas (Jovani et al., 2013).

Según López de Hierro y De Neve (2010), la pigmentación de los huevos en las hembras del orden de los passeriformes desciende con la edad, lo cual indica que hembras más viejas ponen huevos menos pigmentados. Sin embargo, durante el presente estudio se encontró que las hembras más jóvenes poseían un valor de Dimensión Fractal promedio para sus nidos entre 0,95 y 1,56; mientras que las hembras más viejas se encontraban entre 0,99 y 1,54; es decir que los valores en ambas edades son muy similares y la edad no es un factor determinante para diferenciar el valor de Dimensión Fractal encontrado en los huevos de las hembras del Carbonero Común.

El estudio de Martínez de la Puente y colaboradores (2007), indica que las hembras que ponen huevos más manchados demostraron peores condiciones físicas, mayores concentraciones de la proteína de estrés HSP70 y marginalmente menores niveles de inmunoglobulina en la sangre. Por lo cual, las hembras que presentan mayores valores de Dimensión Fractal promedio en sus nidos deberían encontrarse en menor condición de calidad que las hembras con menores valores de Dimensión Fractal en sus huevos; sin embargo, esto no pudo ser demostrado durante el presente estudio puesto que las correlaciones entre las variables fisiológicas de las hembras relacionadas y la Dimensión Fractal no fueron significativas.

Por otro lado, el éxito reproductivo del Carbonero Común en la presente investigación registró un valor promedio de 80,66%, donde un 38,46% de los nidos contó con un 100% de éxito, sin embargo, a pesar de estos porcentajes la correlación con el promedio de la DF fue ínfima y negativa, este hecho puede deberse a la evidencia de Gandini y colaboradores (1997), los cuales demostraron que este éxito se encuentra relacionado directamente con las características del hábitat, más no con las características de la coloración de los huevos.

En relación a este último apartado, Santamaría *et al.*, 1997 establece que el éxito reproductivo de las colonias de aves se relaciona directamente con factores externos; por lo que cambios drásticos en el clima, molestias generadas por los seres humanos pueden

llegar a influir de forma negativa en esta variable, siendo el grado de amenaza de la especie un factor fundamental al analizar las condiciones del hábitat y las probabilidades de éxito para la especie.

Para el éxito de eclosión, nuestro estudio determinó que la correlación entre esta variable y el Promedio de la Dimensión Fractal es escasa, este hecho se apoya en la evidencia de Pugsek & Diem (1983), los cuales afirman que la ubicación de los nidos actúa como un factor determinante para aumentar la supervivencia de los pichones, siendo los factores del huevo como el moteado o coloración una variable que no influye directamente en la eclosión de los huevos.

Otro factor determinante que influye en la probabilidad de supervivencia de los polluelos presentes en un nido es el momento de eclosión de los huevos, ya que los dos primeros en nacer tienen mayores posibilidades de vivir y volar que los terceros y cuartos (Alfaro y Russi, 1986; Custer, 1989; Parker et al., 1989; Guster y Peterson, 1991); esta afirmación concuerda positivamente con nuestro estudio, donde el valor más pequeño de la muestra para el Éxito de eclosión fue de 14,29%, lo que indica la supervivencia de al menos uno de los polluelos del nido.

Por otro lado, según Rebores et al., (2003) factores como el parasitismo son fundamentales para el éxito de eclosión y supervivencia de los pichones, estudios realizados en siete especies de aves entre nidos no parasitados y parasitados han demostrado que en seis de siete casos se redujo la supervivencia de los huevos del hospedador, y el éxito de eclosión se redujo en dos de siete casos, demostrando una asociación entre la intensidad del parasitismo y la destrucción de los huevos. Este tipo de variables externas podrían ser analizadas de forma complementaria a la Dimensión Fractal para determinar correlaciones con el éxito de eclosión de los huevos del Carbonero Común.

Otra de las variables fundamentales para analizar el éxito de eclosión de las aves está en relación a que su supervivencia depende directamente del desarrollo de un programa de tiempo eficiente que permita un ajuste a las funciones fisiológicas, por lo que las crías que han eclosionado en épocas no aptas pueden llegar a ser eliminadas o reducidas por la selección natural (Odgen, 1994); este factor ha sido un determinante positivo para los polluelos de nuestro estudio, los cuales al eclosionar durante la primavera del 2008 contaron con características ecológicas favorables para su supervivencia.

Finalmente, en relación al éxito de vuelo de la población de Carbonero Común estudiada, se pudo evidenciar que un 96,60% de los polluelos abandonó el nido y voló, lo cual nos indica la presencia de factores como el aporte óptimo de espacio para ubicar los nidos, buen suministro de alimento para los polluelos, baja competencia por recursos y protección contra predadores (Rodríguez-Barrios & Troncoso 2006). A pesar de contar con excelentes porcentajes de éxito de vuelo, esta variable arrojó una relación ínfima con el promedio de la Dimensión Fractal de los nidos.



## CONCLUSIONES

Estudios sobre la ecología reproductiva de las aves permiten conocer el funcionamiento de la dinámica de las diversas poblaciones, por lo que los resultados planteados por el presente estudio se establecen como un paso para contribuir a incrementar la información existente sobre la ecología del Carbonero Común e iniciar la discusión en relación a la factibilidad uso de la Dimensión Fractal como una herramienta que brinda datos ecológicos.

Por otro lado, es ampliamente reconocido que los aspectos reproductivos en las aves pueden ser indicadores del estado del ambiente, por lo que conocer y estimar la Dimensión Fractal del moteado de los huevos para correlacionar esta información con variables ecológicas nos puede ayudar a comprender el medio ambiente en el cual se están desarrollando las poblaciones del Carbonero Común.

La relación positiva encontrada entre el Promedio de la Dimensión Fractal y el Promedio del Área de las Manchas de los huevos, demuestran la aplicabilidad del método para entender patrones de coloración complejos como el moteado de los huevos en las aves, sin embargo es necesario que las variables fisiológicas en el presente estudio sean complementadas con información experimental que permita encontrar relaciones significativas entre la Dimensión Fractal y las variables de calidad y reproducción de las hembras.

Datos fisiológicos de las aves en relación a la inmuno-competencia y su capacidad antioxidante se definen como factores importantes para la determinación de la salud de las hembras, mismos que correlacionados con la Dimensión Fractal se podrían establecer como herramientas útiles para la determinación de correlaciones.

El presente estudio demostró la aplicación de la geometría fractal para extraer información de coloración animal, la cual ofrece múltiples posibilidades para comprender los aspectos ecológicos sobre la relación existente entre los patrones del moteado de los huevos del Carbonero Común y las variables ecológicas de la especie. Por lo que futuros estudios que contemplen variables experimentales en relación al estado fisiológico de las hembras y condiciones del hábitat podrán revelar resultados más significativos para el conocimiento científico de las poblaciones del Carbonero Común.

El uso del software FracTop v. 0.3b y el método de "box-counting" son herramientas útiles para la determinación de la Dimensión Fractal de los huevos del Carbonero Común, mismos

que pueden ser utilizados en estudios futuros en especies de America y del Ecuador en las que no existen estudios alrededor de esta temática.

## **RECOMENDACIONES**

Es importante realizar experimentos para determinar la capacidad antioxidante e inmunocompetencia de las hembras que permitan complementar las variables fisiológicas y reproductivas evaluadas en el presente estudio.

Se considera importante contar con datos en relación a la dieta y estado alimenticio de las hembras, lo cual puede realizarse por medio de experimentos con alimentación suplementaria, con la finalidad de comparar a las hembras con grupos de control y determinar su estado de salud y calidad.

La información respecto a los aspectos ambientales y del hábitat de la especie se consideran fundamentales para la determinación del estado de salud de la población y por tanto de las hembras del presente estudio, por lo que la colección de estos datos aportaría con información valiosa que puede ser correlacionada con la Dimensión Fractal.

Los estudios de Dimensión Fractal deben ser complementados con experimentos realizados exsitu, esto con el fin de poder controlar las variables ambientales y de esta forma realizar comparaciones fiables de los resultados.

La geometría fractal es una herramienta abarcativa que puede extrapolarse a características físicas de los polluelos y de esta forma presentar datos significativos en relación a la Dimensión Fractal del moteado de los huevos.

Finalmente se deben realizar estudios similares en especies americanas y ecuatorianas con el fin de recabar información ecológica sobre especies importantes para la conservación y aportar al conocimiento sobre la aplicación de la geometría fractal para entender fenómenos de la naturaleza.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adobe Systems Incorporated. (2006). Adobe Photoshop CS3 Standard. Estados Unidos, California.
- Alfaro M & Russi D. (1986). Estimación del éxito de anidamiento de la garza morena *Egretta tricolor* (Gosse, 1847) en la laguna de San Lorenzo, Cartagena (Colombia). *Boletín Ecotrópica*; 19:3-25.
- Atiénzar, F., Álvarez, E & Barba, E. (2012). *Carbonero común- Parus major* (Linnaeus, 1785). Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Madrid. Recuperado de <http://www.vertebradosibericos.org/aves/pdf/parmaj.pdf>
- Barrionuevo, M., Bulit, F., & Massoni, V. (2010). Variables que afectan el peso de los huevos en la golondrina ceja blanca (*Tachycineta leucorrhoa*). *El hornero*, 25(1), 1-7.
- Braña, J. (2003). Resumen del curso de "Introducción a la Geometría Fractal". Recuperado de <http://www.docentes.unal.edu.co/cibermudezs/docs/CursoGeometriaFractal.pdf>
- Bonino, M. F., & Canet, Z. E. (1999). El pollo y el huevo Campero. INTA.[Links].
- Carrillo Hidalgo, J. (2005). Factores determinantes del éxito reproductivo del Cernícalo vulgar *Falco tinnunculus* en la isla de Tenerife.
- Cazás, P., Souto, P., Teijeiro, C., Vilar, C. (2004). Fractales. Recuperado de <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/Imagenyvideo/fractales/index.htm>
- Riehl, C. (2011) Paternal Investment and the "Sexually Selected Hypothesis" for the Evolution of Eggshell Coloration: Revisiting the Assumptions. *The Auk*: January 2011, Vol. 128, No. 1, pp. 175-179.
- Cody, ML. (1985). *Habitat selection in birds*. Academic Press, Nueva York.

- Cramp, S. & Perrins, C.M. (1993). Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. Oxford University Press, Oxford
- Custer T. (1989). Egg Size and Laying Order in Black-Crowned Night-Herons, Snowy Egrets, and Great Egrets. Pacific Seabird Group Bulletin Baxter; 16:24.
- Dagnino, J. (2014). Coeficiente DE correlación lineal de Pearson. *Rev Chil Anest*, 43, 150-153.
- Darwin, C. (1859). El origen de las especies. Primera edición. Ediciones Esquilo Ltda. Colombia.
- Davies, NB & Brooke, MD. (1989) An experimental-study of coevolution between the Cuckoo, *Cuculus-Canorus*, and its hosts. 2. Host egg markings, chick discrimination and general discussion. *J Anim Ecol* 58:225–236
- De Coster, G., De Neve, L., & Lens, L. (2013). Intra-clutch variation in avian eggshell pigmentation covaries with female quality. *Journal of Ornithology*, 154(4), 1057-1065.
- De Hierro, M. D. G. L., & De Neve, L. (2010). Pigment limitation and female reproductive characteristics influence egg shell spottiness and ground colour variation in the house sparrow (*Passer domesticus*). *Journal of Ornithology*, 151(4), 833-840.
- Drent, P. J. (1987). The importance of nestboxes for territory settlement, survival and density of the great tit. *Ardea*, 75.
- Falconer, K. J. (2003). Fractal geometry: mathematical foundations and applications. Wiley.
- Fauna Ibérica. (2014). Carbonero común. *Parus major*. Recuperado de <http://www.faunaiberica.org/?page=carbonero-comun>
- Figuerola, J., & Señar, J. C. (2004). ¿Qué nos indica el color de las plumas? *Quercus*, 224, 45-47. [http://www.csun.edu/~dgray/Speciation/Barraclough\\_etal\\_1995.pdf](http://www.csun.edu/~dgray/Speciation/Barraclough_etal_1995.pdf)

- Gandini, P., Frere, E., & Boersma, P. D. (1997). Efectos de la calidad de hábitat sobre el éxito reproductivo del pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) en Cabo Vírgenes, Santa Cruz, Argentina. *Ornitología Neotropical*, 8(1), 37-48.
- García, J. (2009). Fractales. Recuperado de <http://es.slideshare.net/Mandalera/fractales-1675582>
- García-Navas, V., Sanz, J. J., Merino, S., Martínez-de la Puente, J., Lobato, E., del Cerro, S., & Moreno, J. (2011). Experimental evidence for the role of calcium in eggshell pigmentation pattern and breeding performance in Blue Tits *Cyanistes caeruleus*. *Journal of Ornithology*, 152(1), 71-82.
- Ginnobili, S. (2011). Selección artificial, selección sexual, selección natural. *Metatheoria—Revista de Filosofía e Historia de la Ciencia*, 2(1), 61-78.
- Gosler, A. G., Higham, J. P., & James Reynolds, S. (2005). Why are birds' eggs speckled? *Ecology Letters*, 8(10), 1105-1113.
- Guster, T & Peterson, D. (1991). Growth Rates of Great Egret, Snowy Egret and BlackCrowned Night-Heron Chicks. *Colonial Waterbirds*; 14:46-50.
- Halfwerk, W., Holeman, L., Lessells, M., Slabbehoorn, H. (2010). *Negative impact of traffic noise on avian reproductive success*. *Journal of Applied Ecology*.
- Huyghebaert, G. (2006). Fisiología de la puesta con énfasis en la calidad de la cascara. *Selecciones avícolas*, 48(4), 227-230.
- Johnson, R. R. (1996). *Elementary statistics*. Belmont.
- Jovani, Roger, Lorenzo Pérez-Rodríguez, and François Mougeot. "Fractal geometry for animal biometrics: a response to Kühl and Burghardt." *Trends in ecology & evolution* 9.28 (2013): 499-500.
- Kisel, Y., & Barraclough, T. G. (2010). Speciation has a spatial scale that depends on levels of gene flow. *The American Naturalist*, 175(3), 316-334.

- Larrinaga, H. (2013). Principios Básicos de la Ecología. Colegio de Bachilleres del Estado de Baja California. Recuperado de <http://es.slideshare.net/diesl20/ecologia-y-medio-ambiente-16817894>
- Llorente, M., Ruiz, V., Morán, M. (2015). Geometría Fractal. Recuperado de [http://grupoecofractal.com/es/investigacion/geometria\\_fractal](http://grupoecofractal.com/es/investigacion/geometria_fractal)
- Luque, B & Agea, A. (2011). Fractales en la red. Recuperado de <http://matap.dmae.upm.es/cursosfractales/index.htm>
- Mandelbrot, B. B. (1977). Fractals. John Wiley & Sons, Inc.
- Martínez-de la Puente, J., Merino, S., Moreno, J., Tomás, G., Morales, J., Lobato E., & Martínez, J. (2007). Are eggshell spottiness and colour indicators of health and condition in blue tits *Cyanistes caeruleus*? *Journal of Avian Biology*, 38(3), 377-384.
- Martín-Guzmán, P. (1991). Curso básico de estadística económica. Madrid.
- Martín-Vivaldi & Cabrero, J. (2002). Selección sexual. In *Evolución: la base de la biología* (pp. 235-260). Proyecto Sur.
- Mezquida, E. T. (2001). La reproducción de algunas especies de Dendrocolaptidae y Furnariidae en el desierto del monte central, Argentina. *Hornero*, 16(1), 23-30.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2006). Introducción al análisis de regresión lineal. *Editorial Continental, Tercera Edición, México*.
- Moreno, J., & Osorno, J. L. (2003). Avian egg colour and sexual selection: does eggshell pigmentation reflect female condition and genetic quality? *Ecology Letters*, 6(9), 803-806.
- Moore, David S. (1998): "Estadística aplicada básica". Antoni Bosch, Barcelona.
- Naturaleza Nazari SL. (2007). Parus major- Carbonero común. Recuperado de [http://www.granadanatural.com/ficha\\_fauna.php?cod=184](http://www.granadanatural.com/ficha_fauna.php?cod=184)

- Navarro, A. & Benitez, H. (2013). *El Dominio del Aire*. Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa ILCE. México.
- Odgen, J. (1994). A Comparison of Wading Bird Nesting Colony Dynamics (1931-1946 and 1974-1989) as an Indication of Ecosystem Condition in the Southern Everglades. *Everglades Ecosystem and its Restoration*. Edit. St. Lucie Press. Florida, the United States; 533-568.
- Palmer, M.W. (1988) Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities. *Vegetation*, 75, 91-102.
- Parker G, Mock D, Lamey T. (1989). How Selfish Should Stronger Sibs Be? *Am Nat*; 133(6):846-868.
- Pérez-Rodríguez, L., Jovani, R., & Mougeot, F. (2013). Fractal geometry of a complex plumage trait reveals bird's quality. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 280(1755), 20122783.
- Perrins, C. M. (1996). Eggs, egg formation and the timing of breeding. *Ibis*, 138(1), 2-15.
- Piquer, F. J., & Ibérica, P. (1999). Interacción nutrición-reproducción en aves. XVII Curso de especialización Avances en nutrición y alimentación animal. Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal (FEDNA). (4), 93, 104.
- Pool-Domínguez, S. (2014). Introducción a la Geometría fractal y su relación con la naturaleza. *Abstraction and Application Magazine*, 7.
- Pugsek, B. H., & Diem, K. L. (1983). A multivariate study of the relationship of parental age to reproductive success in California Gulls. *Ecology*, 829-839.
- Reboreda, J. C., Mermoz, M. E., Massoni, V., Astié, A. A., & Rabuffetti, F. L. (2003). Impacto del parasitismo de cría del Tordo Renegrado (*Molothrus bonariensis*) sobre el éxito reproductivo de sus hospedadores. *El hornero*, 18(2), 77-88.

- Reyes, M. (1989). An analytic study on the self-similar fractals: Differentiation of integrals. *Collectanea Mathematica*, 40(2), 159-168.
- Rodríguez-Barrios, J., & Troncoso, F. (2006). Nesting Success of the Great-White Heron (*Egretta alba*) in the Departament of Córdoba, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 111-121.
- Ruiz-Gutiérrez, V., Doherty Jr, P. F., Martínez, S. C., Schondube, J., Munguía, H. V., & Iñigo-Elias, E. (2012). Survival of resident neotropical birds: considerations for sampling and analysis based on 20 years of bird-banding efforts in Mexico. *The Auk*, 129(3), 500-509.
- Sabogal, S., & Arenas, G. (2008). Una introducción a la geometría fractal. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Salgado-Ortiz, J., Marra, P. P., Sillett, T. S., & Robertson, R. J. (2008). Breeding ecology of the Mangrove Warbler (*Dendroica petechia bryanti*) and comparative life history of the Yellow Warbler subspecies complex. *The Auk*, 125(2), 402-410.
- Santamaría, J., Santamaría, T., & Serrano, R. (1997). Efectos de la actividad humana en el éxito reproductivo de la gaviota patiamarilla (*Larus cachinnans michahellis*) en la isla de Benidorm. In *Actas de las XII Jornadas Ornitológicas Españolas: Almerimar (El Ejido-Almería), 15 a 19 de septiembre, 1994* (pp. 229-237). Instituto de Estudios Almerienses.
- Sanz, J. J., & García-Navas, V. (2009). Eggshell pigmentation pattern in relation to breeding performance of blue tits *Cyanistes caeruleus*. *Journal of Animal Ecology*, 78(1), 31-41.
- SEO/Bird Life. (2008). Carbonero Común (*Parus major*). España. Recuperado de <http://www.seo.org/ave/carbonero-comun-2/>
- Siefferman, L., Navara, K. J., & Hill, G. E. (2006). Egg coloration is correlated with female condition in eastern bluebirds (*Sialia sialis*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59(5), 651-656.



- Tietema, A. (1993). *Mass loss and nitrogen dynamics in decomposing acid forest litter in the Netherlands at increased nitrogen deposition*. Laboratory of Physical Geography and Soil Science. University of Amsterdam. The Netherlands.
- Trivers, R. (1972). Parental investment and sexual selection.
- Uribe, F. & Robles, L. (1985). Variabilidad en la morfología externa de los huevos de *Larus cachinnans* (Aves, Laridae) en las Islas Medes (Costa catalana). *Misc. Zool.*, 9: 331-337.
- Van Wijk, M. T., & Bouten, W. (2001). Towards understanding tree root profiles: simulating hydrologically optimal strategies for root distribution. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 5(4), 629-644.
- Williams G. C. 1992. *Natural selection: domains, levels, and challenges*. Oxford Univ. Press. Oxford

## **ANEXOS**

## FIGURAS



Figura 1. Nido 316

Fuente: Gutiérrez, 2015

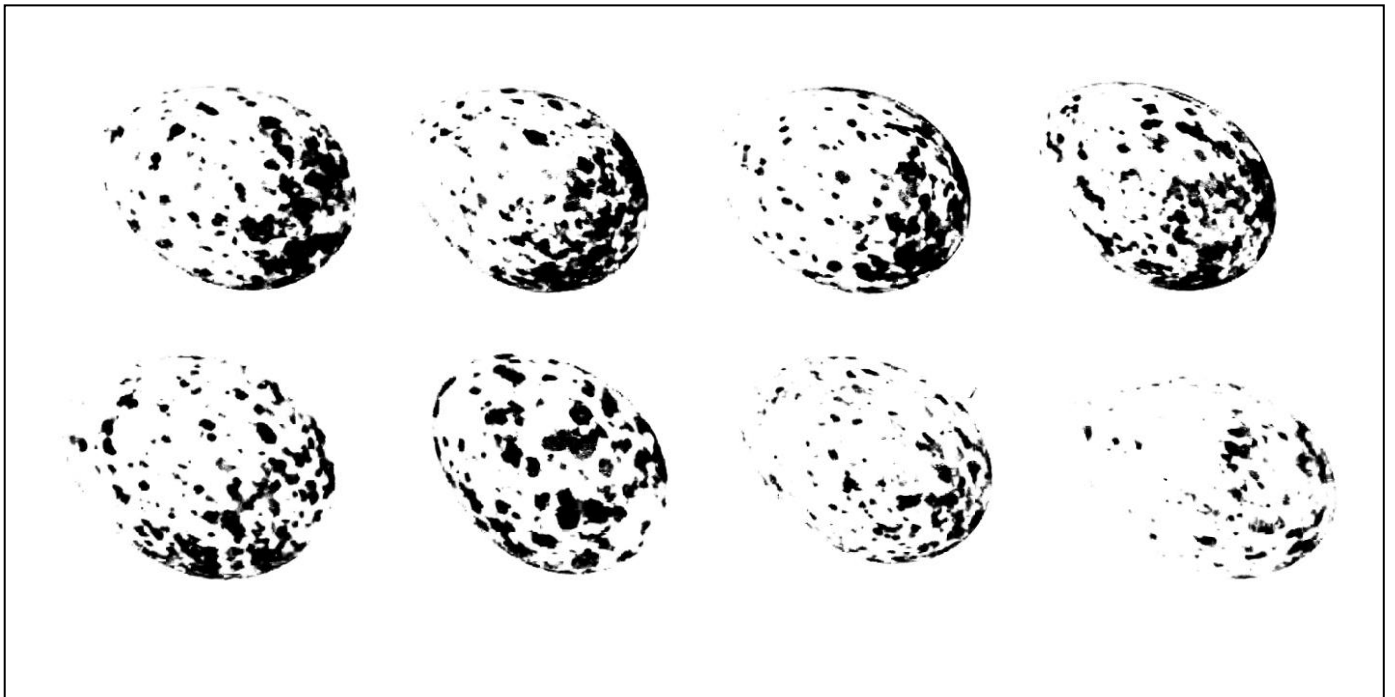


Figura 2. Ejemplo de metodología de selección en Nido 316

Fuente: Guevara, 2016

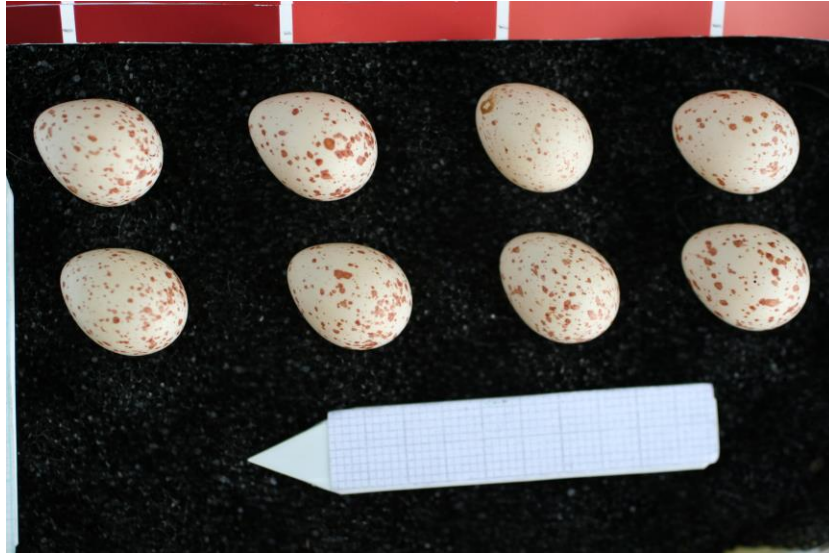


Figura 3. Nido 64

Fuente: Gutiérrez, 2015

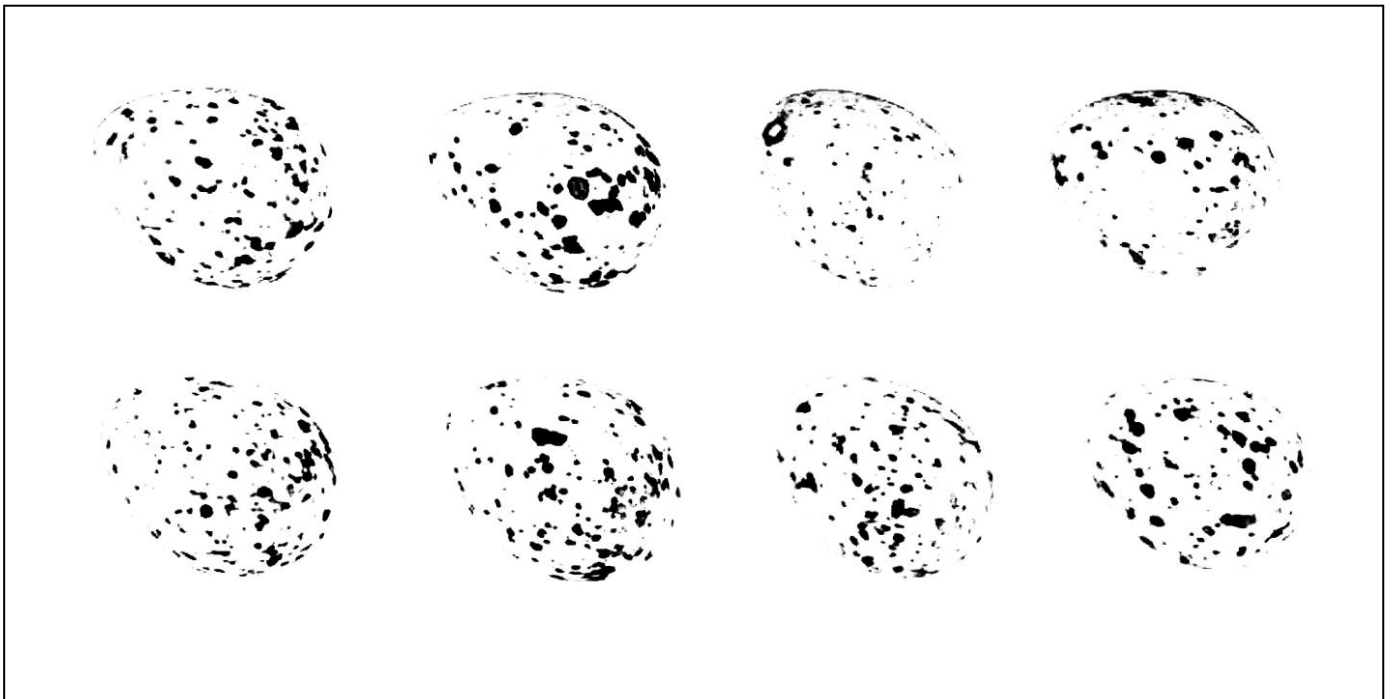


Figura 4. Ejemplo de metodología de selección en Nido 64

Fuente: Guevara, 2016



Figura 5. Nido 152

Fuente: Gutiérrez, 2015

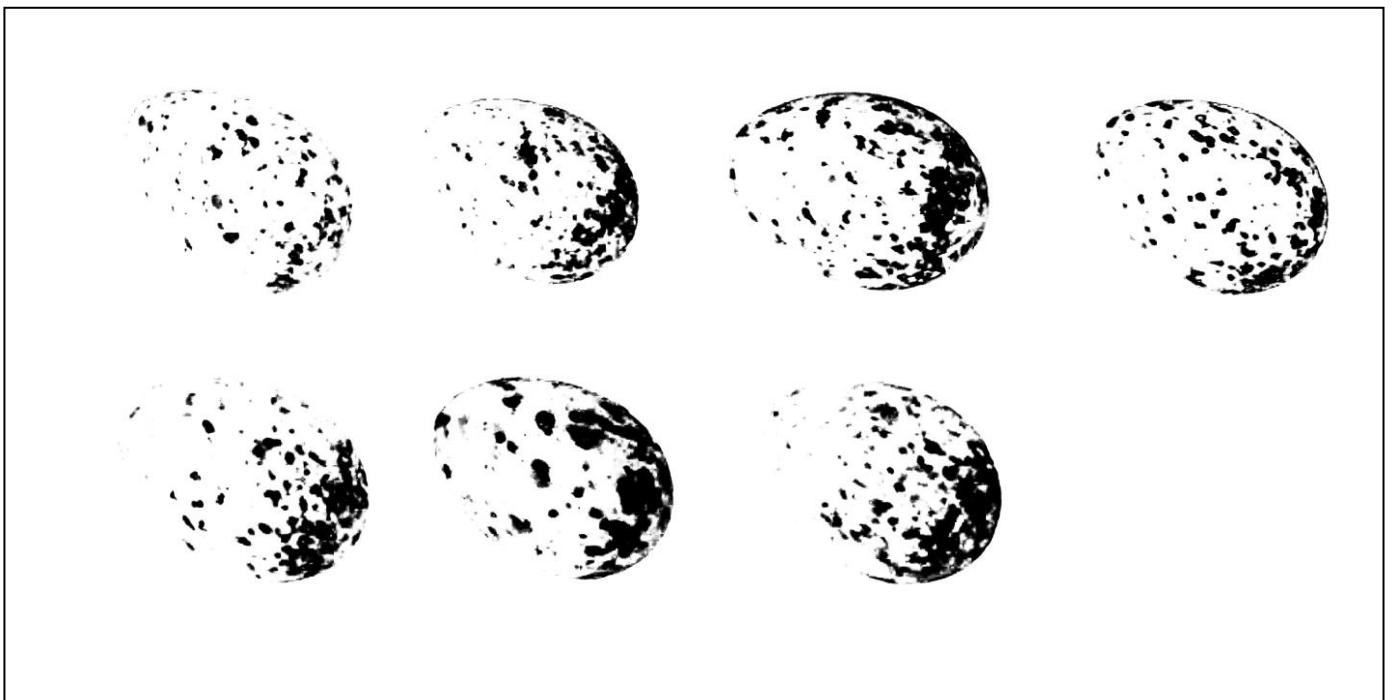


Figura 6. Ejemplo de metodología de selección en Nido 152

Fuente: Guevara, 2016



Figura 7. Nido 284

Fuente: Gutiérrez, 2015

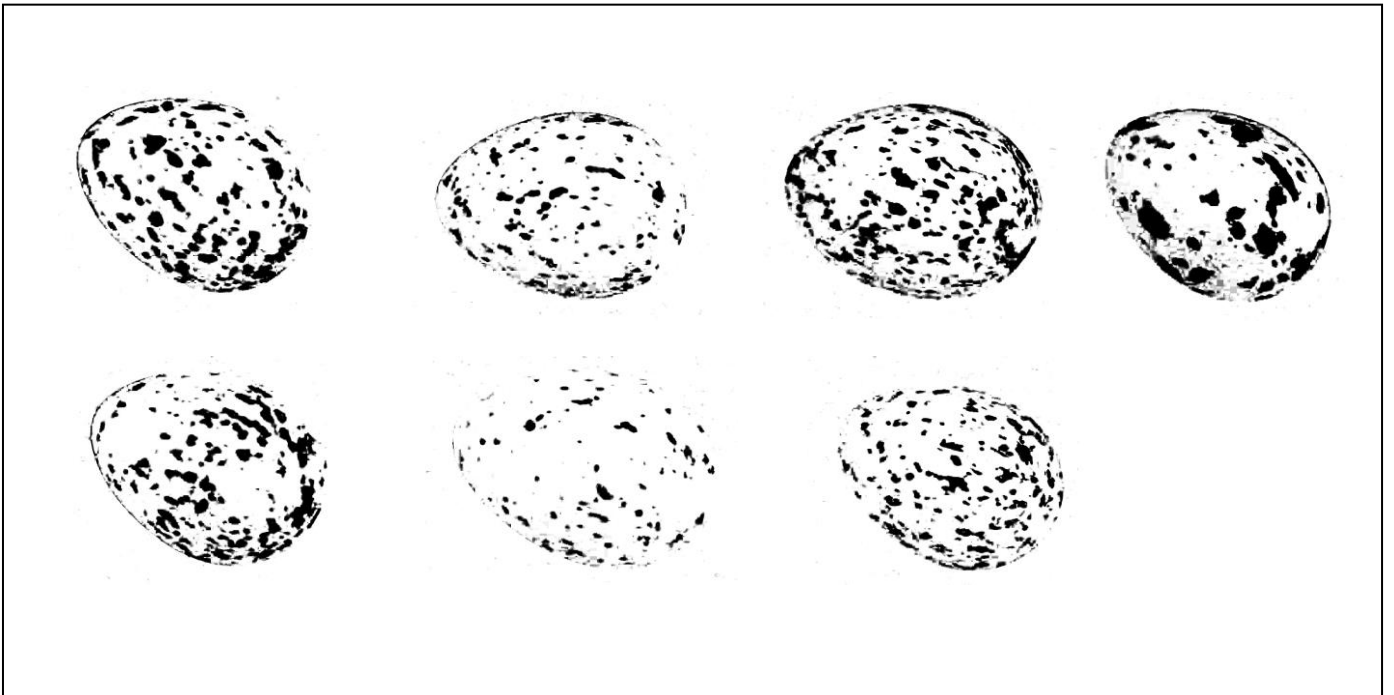


Figura 8. Ejemplo de metodología de selección en Nido 284

Fuente: Guevara, 2016



Figura 9. Nido 287

Fuente: Gutiérrez, 2015

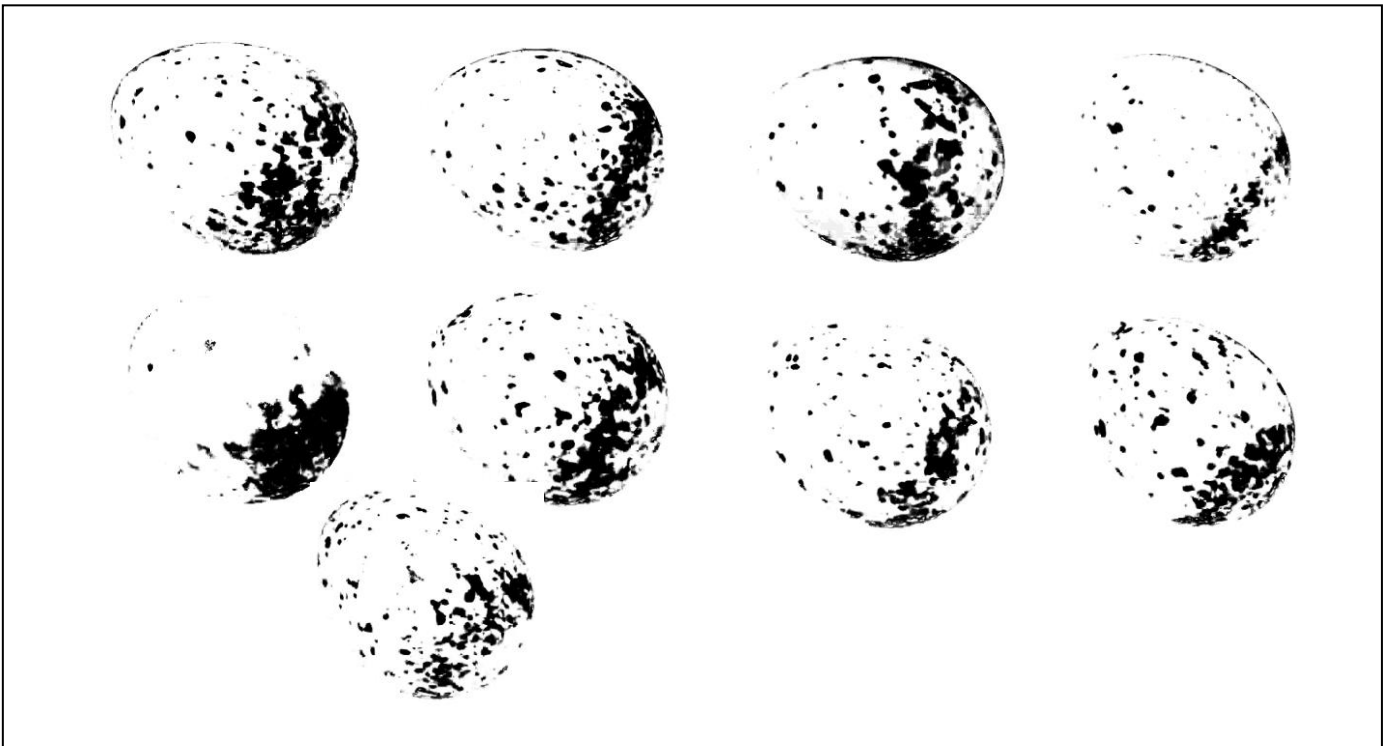


Figura 10. Ejemplo de metodología de selección en Nido 287

Fuente: Guevara, 2016

## TABLAS

Tabla 1. Datos de los nidos

NIDO	LDATE	CS	nPoll	EDAD H	PV	T	P3	W	COND H	PROM DF	CATEGORIA PROM DF	EX ECLO	EX VUELO	EXT REPROD	PERIOD PUEST	PROM LONG	PROM ANCH	PROM AREA
1	16	8	6	6	6	19,50	56,50	17,20	0,88	1,3068	2,00	75,00	100,00	75,00	20	1,83	1,31	0,10
2	19	8	6	5	6	19,47	53,00	16,50	0,85	1,4463	3,00	75,00	100,00	75,00	19	1,75	1,37	0,36
19	10	10	2	6	2	19,30	54,00	17,20	0,89	1,4380	3,00	20,00	100,00	20,00	23	1,78	1,33	0,37
20	18	6	4	5	4	19,21	55,00	17,30	0,90	1,3127	2,00	67,00	100,00	67,00	18	1,82	1,39	0,36
25	22	6	6	5	6	19,37	55,00	17,70	0,91	1,2997	2,00	100,00	100,00	100,00	19	1,68	1,33	0,12
29	19	11	8	5	8	19,80	55,00	16,20	0,82	1,5462	3,00	73,00	100,00	73,00	21	1,64	1,31	0,36
30	19	9	9	6	9	19,40	55,00	17,00	0,88	1,4269	3,00	100,00	100,00	100,00	19	1,84	1,34	0,28
40	16	8	7	6	7	19,50	55,00	18,00	0,92	1,4365	3,00	88,00	100,00	88,00	21	1,59	1,27	0,21
43	19	9	8	5	8	19,60	57,50	18,00	0,92	1,5568	3,00	89,00	100,00	89,00	19	1,53	1,58	0,44
44	25	6	6	6	6	18,95	56,50	17,80	0,94	1,5298	3,00	100,00	100,00	100,00	18	1,78	1,42	0,35
51	17	11	9	6	9	19,58	57,00	18,60	0,95	1,4490	3,00	82,00	100,00	82,00	21	1,68	1,27	0,26
52	21	8	7	5	7	19,84	55,00	16,40	0,83	1,4815	3,00	88,00	100,00	88,00	19	1,69	1,37	0,33



NIDO	LDATE	CS	nPoll	EDAD H	PV	T	P3	W	COND H	PROM DF	CATEGORIA PROM DF	EX ECLO	EX VUELO	EXT REPROD	PERIOD PUEST	PROM LONG	PROM ANCH	PROM AREA
54	22	7	7	6	7	19,64	53,00	18,60	0,95	1,3334	2,00	100,00	100,00	100,00	18	1,90	1,34	0,27
57	20	8	8	6	8	19,60	55,00	18,30	0,93	1,4423	3,00	100,00	100,00	100,00	19	1,78	1,39	0,27
60	24		6		6	17,40	59,50	11,70	0,67	1,24	1,00	0,00	100,00	0,00		1,76	1,31	0,08
61	21	10	9	6	9	19,20	57,50	16,40	0,85	1,2996	2,00	90,00	100,00	90,00	20	1,68	1,27	0,10
64	24	8	8	5	8	19,70	57,00	17,20	0,87	1,3276	2,00	100,00	100,00	100,00	20	1,70	1,32	0,14
65	22	11	10	6	10	19,70	55,00		0,00	1,3946	3,00	91,00	100,00	91,00	21	1,71	1,30	0,17
67	25	8	6	5	6	18,61	52,00	16,20	0,87	1,3629	2,00	75,00	100,00	75,00	20	1,64	1,31	0,28
70	17	10	9	5	9	18,70	54,00	15,90	0,85	1,22	1,00	90,00	100,00	90,00	21	1,65	1,30	0,19
75	16	8	4	6	4	18,93	53,00	16,70	0,88	1,3989	3,00	50,00	100,00	50,00	21	3,27	2,56	0,44
78	16	10	8		8	19,64	52,00	16,10	0,82	1,3448	2,00	80,00	100,00	80,00	22	1,63	1,26	0,21
86	22	9	9		9					1,3954	3,00	100,00	100,00	100,00	21	1,76	1,34	0,20
89	19	10	7	6	7	19,70	55,00	18,20	0,92	1,4223	3,00	70,00	100,00	70,00	23	1,87	1,38	0,18
95	22	11	11	5	11	19,23	55,00	16,70	0,87	1,4157	3,00	100,00	100,00	100,00	22	1,86	1,39	0,32
104	24	9	7		0					1,3526	2,00	78,00	0,00	0,00	22	1,67	1,62	0,21
109	26	11	11	6	11	19,70	53,00	16,80	0,85	1,4631	3,00	100,00	100,00	100,00	21	1,71	1,31	0,33

NIDO	LDATE	CS	nPoll	EDAD H	PV	T	P3	W	COND H	PROM DF	CATEGORIA PROM DF	EX ECLO	EX VUELO	EXT REPROD	PERIOD PUEST	PROM LONG	PROM ANCH	PROM AREA
111	22	6	6	6	6	19,90	56,00	17,00	0,85	1,4670	3,00	100,00	100,00	100,00	21	1,80	1,38	0,33
115	22	8	8	6	8	19,90	53,00	17,30	0,87	0,99	1,00	100,00	100,00	100,00	18	1,78	1,37	0,20
119	14	12	8	6	8	19,50	55,50	18,20	0,93	1,3771	3,00	67,00	100,00	67,00	23	1,64	1,29	0,32
125	22	10	10		10					1,11	1,00	100,00	100,00	100,00	22	1,75	1,30	0,06
130	25	11	9	6	9	18,90	54,00	18,10	0,96	1,2840	2,00	82,00	100,00	82,00	21	1,67	1,32	0,19
132	22	9	7	6	7	20,02	56,00	17,90	0,89	1,3904	3,00	78,00	100,00	78,00	20	1,70	1,34	0,42
137	21	7	4	5	4	19,90	56,00	17,70	0,89	1,18	1,00	57,00	100,00	57,00	46	1,73	1,31	0,26
140	22	10	9	6	9	20,00	57,00	18,50	0,93	1,18	1,00	90,00	100,00	90,00	20	1,89	1,43	0,15
161	22	7	7	6	7	19,82	55,00	16,10	0,81	1,3287	2,00	100,00	100,00	100,00	18	1,70	1,28	0,25
162	25	6	4		0					1,3850	3,00	67,00	0,00	0,00	18	1,80	1,34	0,13
168	19	10	8	6	8	19,70	57,00	17,70	0,90	1,5419	3,00	80,00	100,00	80,00	20	1,73	1,35	0,37
173	16	6	6		6					1,3727	3,00	100,00	100,00	100,00	18	1,66	1,31	0,37
175	20	8	8	5	8	19,90	54,50	17,90	0,90	1,3651	3,00	100,00	100,00	100,00	23	1,79	1,34	0,21
176	21	9	5	5	5	19,00	54,00	16,50	0,87	1,11	1,00	56,00	100,00	56,00	22	1,67	1,26	0,15
177	21	8	5		5					1,3191	2,00	63,00	100,00	63,00	20	1,70	1,33	0,22

NIDO	LDATE	CS	nPoll	EDAD H	PV	T	P3	W	COND H	PROM DF	CATEGORIA PROM DF	EX ECLO	EX VUELO	EXT REPROD	PERIOD PUEST	PROM LONG	PROM ANCH	PROM AREA
180	22	8	6	5	3	19,73	53,00	17,70	0,90	1,3867	3,00	75,00	50,00	38,00	20	1,63	1,32	0,27
184	18	9	6	6	6	20,50	57,00	20,30	0,99	1,23	1,00	67,00	100,00	67,00	27	1,79	1,35	0,11
185	14	6	5	5	5	19,80	54,00	17,60	0,89	1,3340	2,00	83,00	100,00	83,00	21	1,80	1,34	0,18
187	23	10	8	6	8	20,20	56,50	19,70	0,98	1,20	1,00	80,00	100,00	80,00	21	1,89	1,39	0,15
191	17	10	10	5	10	19,60	55,50	18,30	0,93	1,3727	3,00	100,00	100,00	100,00	21	1,72	1,31	0,20
193	26	8	7	5	7	19,00	54,00	18,10	0,95	1,3106	2,00	88,00	100,00	88,00	19	1,69	1,36	0,20
195	19	10	6	6	6	19,77	53,00	16,80	0,85	1,3839	3,00	60,00	100,00	60,00	21	1,78	1,33	0,22
197	22	9	9	6	9	19,20	56,50	18,40	0,96	1,4064	3,00	100,00	100,00	100,00	20	1,79	1,34	0,17
200	14	9	9		9					1,2798	2,00	100,00	100,00	100,00	21	1,78	1,31	0,27
273	15	7	1	5	0	19,84	52,00	18,20	0,92	1,20	1,00	14,00	0,00	0,00	19	1,69	1,38	0,12
275	21	9	8	6	8	19,20	53,50	17,80	0,93	1,2954	2,00	89,00	100,00	89,00	20	1,80	1,35	0,28
276	16	9	9	6	9	19,40	55,50	17,80	0,92	1,4679	3,00	100,00	100,00	100,00	21	1,71	1,33	0,29
283	26	7	7	6	7	20,37	55,50	17,50	0,86	1,22	1,00	100,00	100,00	100,00	18	1,81	1,31	0,16
284	26	7	7	6	7	19,60	54,50	17,30	0,88	1,4366	3,00	100,00	100,00	100,00	19	1,90	1,40	0,23
286	23	4	3	5	3	19,92	53,00	18,40	0,92	1,20	1,00	75,00	100,00	75,00	15	1,76	1,34	0,15

NIDO	LDATE	CS	nPoll	EDAD H	PV	T	P3	W	COND H	PROM DF	CATEGORIA PROM DF	EX ECLO	EX VUELO	EXT REPROD	PERIOD PUEST	PROM LONG	PROM ANCH	PROM AREA
287	14	9	7	6	7	19,30	55,50	17,80	0,92	1,4428	3,00	78,00	100,00	78,00	20	1,67	1,35	1,01
290	21	8	7	6	7	19,70	57,50	18,30	0,93	1,4169	3,00	88,00	100,00	88,00	18	1,74	1,32	0,35
291	17	8	5	5	5	18,77	54,00	15,90	0,85	1,3423	2,00	63,00	100,00	63,00	19	1,78	1,33	0,35
298	22	10	8	6	8	19,60	55,00	18,30	0,93	1,3971	3,00	80,00	100,00	80,00	20	1,83	1,38	0,23
304	23	8	8	6	8	19,10	54,00	17,90	0,94	1,17	1,00	100,00	100,00	100,00	19	1,84	1,37	0,17
306	22	8	8	5	8	19,90	54,50	16,80	0,84	1,4974	3,00	100,00	100,00	100,00	19	1,72	1,30	0,33
307	18	8	8	6	6	20,20	54,00	17,25	0,85	1,3673	3,00	100,00	75,00	75,00	20	1,87	1,40	0,18
312	22	9	6	5	4	20,70	54,50	18,00	0,87	0,95	1,00	67,00	67,00	44,00	27	1,62	1,31	0,10
314	17	8	8	6	8	18,80	56,00	17,20	0,91	1,16	1,00	100,00	100,00	100,00	20	1,80	1,36	0,11
315	20	6	6	6	6	19,47	56,00	16,20	0,83	1,16	1,00	100,00	100,00	100,00	18	1,77	1,22	0,15
316	15	8	7	5	7	19,50	54,50	17,20	0,88	1,4836	3,00	88,00	100,00	88,00	21	1,80	1,33	0,41
350	15	8	6	6	6	17,20	57,00	17,40	1,01	1,3663	3,00	75,00	100,00	75,00	21	1,70	1,36	0,27
354	22	8	8	5	8	19,75	54,00	17,40	0,88	1,12	1,00	100,00	100,00	100,00	20	1,81	1,39	0,18
360	27	6	6	5	6	19,90	56,00	17,30	0,87	1,2858	2,00	100,00	100,00	100,00	17	1,76	1,38	0,16
362	24	8	6	6	6	20,10	56,50	17,40	0,87	1,3634	3,00	75,00	100,00	75,00	19	1,77	1,31	0,15

NIDO	LDATE	CS	nPoll	EDAD H	PV	T	P3	W	COND H	PROM DF	CATEGORIA PROM DF	EX ECLO	EX VUELO	EXT REPROD	PERIOD PUEST	PROM LONG	PROM ANCH	PROM AREA
363	24	9	9	6	9	20,20	54,00	16,60	0,82	1,3698	3,00	100,00	100,00	100,00	20	1,78	1,31	0,22
364	23	7	6	5	6	19,42	56,00	17,80	0,92	1,2681	2,00	86,00	100,00	86,00	18	1,70	1,34	0,15
370	16	11	8	5	8	19,50	52,50	14,10	0,72	1,4457	3,00	73,00	100,00	73,00	22	1,53	1,24	0,16
371	15	10	10	5	10	20,50	56,00	18,60	0,91	1,11	1,00	100,00	100,00	100,00	27	1,70	1,33	0,10
372	17	10	9	6	9	20,30	57,00	17,90	0,88	1,17	1,00	90,00	100,00	90,00	23	1,79	1,37	0,11
373	15	10	10	6	10	19,70	56,00	17,40	0,88	1,3049	2,00	100,00	100,00	100,00	23	1,65	1,24	0,17

Fuente: Guevara, 2016

Tabla 2. Correlación de Pearson para variables morfológicas de los huevos

		PROMDF	PROMLONGNORMAL	PROMANCHNORMAL
PROMDF	Correlación de Pearson	1	,022	,112
	Sig. (bilateral)		,850	,330
	N	78	78	78
PROMLONGNORMAL	Correlación de Pearson	,022	1	,870**
	Sig. (bilateral)	,850		,000
	N	78	78	78
PROMANCHNORMAL	Correlación de Pearson	,112	,870**	1
	Sig. (bilateral)	,330	,000	
	N	78	78	78
PROMAREANORMAL	Correlación de Pearson	,448**	,101	,226*
	Sig. (bilateral)	,000	,378	,047
	N	78	78	78

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* . La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Guevara, 2016

Tabla 3. Regresión Lineal variables morfológicas de los huevos

**Variables introducidas/eliminadas<sup>a</sup>**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PROMAREANORMAL, PROMLONGNORMAL, PROMANCHNORMAL <sup>b</sup>	.	Introducir

a. Variable dependiente: PROMDF

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,454 <sup>a</sup>	,206	,174	,1745

a. Variables predictoras: (Constante), PROMAREANORMAL,

Modelo	Suma de	Gl	Media	F	Sig.	
1	Regresión	,583	3	,194	6,390	,001 <sup>b</sup>
	Residual	2,252	74	,030		
	Total	2,836	77			

a. Variable dependiente: PROMDF

b. Variables predictoras: (Constante), PROMAREANORMAL, PROMLONGNORMAL, PROMANCHNORMAL

**Coefficientes<sup>a</sup>**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes	T	Sig.	
	B	Error típ.	Beta			
1	(Constante)	1,304	,020		66,011	,000
	PROMLONGNORMAL	-,027	,041	-,141	-,659	,512
	PROMANCHNORMAL	,026	,042	,137	,626	,533
	PROMAREANORMAL	,083	,021	,432	3,978	,000

a. Variable dependiente: PROMDF

Fuente: Guevara, 2016



Tabla 4. Correlación de Pearson variables fisiológicas de las hembras

		LDATE	CS	P3	CONDH	PROMDF
LDATE	Correlación de Pearson	1	-,233*	,045	-,094	-,112
	Sig. (bilateral)		,041	,708	,434	,329
	N	78	77	71	71	78
CS	Correlación de Pearson	-,233*	1	,072	-,184	,117
	Sig. (bilateral)	,041		,553	,128	,312
	N	77	77	70	70	77
P3	Correlación de Pearson	,045	,072	1	,056	,038
	Sig. (bilateral)	,708	,553		,640	,755
	N	71	70	71	71	71
CONDH	Correlación de Pearson	-,094	-,184	,056	1	-,061
	Sig. (bilateral)	,434	,128	,640		,612
	N	71	70	71	71	71
PROMDF	Correlación de Pearson	-,112	,117	,038	-,061	1
	Sig. (bilateral)	,329	,312	,755	,612	
	N	78	77	71	71	78

\*. La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Guevara, 2016

Tabla 5. Regresión Lineal de las variables fisiológicas de las hembras

**Variables introducidas/eliminadas<sup>a</sup>**

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	P3, LDATE, CONDH, CS <sup>b</sup>	.	Introducir

a. Variable dependiente: PROMDF

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,205 <sup>a</sup>	,042	-,017	,129448873242 577

a. Variables predictoras: (Constante), P3, LDATE, CONDH, CS

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo	Suma de	gl	Media	F	Sig.	
1	Regresión	,048	4	,012	,711	,587 <sup>b</sup>
	Residual	1,089	65	,017		
	Total	1,137	69			

a. Variable dependiente: PROMDF

b. Variables predictoras: (Constante), P3, LDATE, CONDH, CS

**Coeficientes<sup>a</sup>**

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes	t	Sig.	
	B	Error típ.	Beta			
1	(Constante)	1,025	,598		1,714	,091
	LDATE	-,003	,004	-,091	-,716	,476
	CS	,010	,010	,119	,925	,358
	CONDH	-,085	,139	-,077	-,612	,543
	P3	,007	,011	,076	,618	,539

a. Variable dependiente: PROMDF

Fuente: Guevara, 2016

Tabla 6. Correlación de Pearson para variables de éxitos de eclosión, vuelo y reproducción

		PROMDF	EXECLONORMAL	EXVUELONORMAL
PROMDF	Correlación de Pearson	1	,026	,089
	Sig. (bilateral)		,822	,439
	N	78	78	78
EXECLONORMAL	Correlación de Pearson	,026	1	,273*
	Sig. (bilateral)	,822		,016
	N	78	78	78
EXVUELONORMAL	Correlación de Pearson	,089	,273*	1
	Sig. (bilateral)	,439	,016	
	N	78	78	78
EXREPRONORMAL	Correlación de Pearson	,030	,892**	,648**
	Sig. (bilateral)	,797	,000	,000
	N	78	78	78

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 7. Modelo lineal general MANOVA para variables de éxitos de eclosión, vuelo y reproducción

**Factores inter-sujetos**

		N
	1	19
CATEGORIAPROMDF	2	20
	3	39

**Estadísticos descriptivos**

CATEGORIAPROMDF		Media	Desviación típica	N
EXECLONORMAL	1	67,760352632015810	25,625494615910387	19
	2	72,298424487889220	14,307987103785523	20
	3	72,418017501281970	16,688909499041180	39
	Total	71,252793234821550	18,586390876728334	78
EXVUELONORMAL	1	83,417617408852590	21,738464062145250	19
	2	85,499800064275420	20,124564737511726	20
	3	85,769030203929000	16,485140661098683	39
	Total	85,127216794960750	18,587213464799680	78

EXREPRONORMAL	1	65,899449188571900	28,646818881573810	19
	2	69,197036796718540	21,544146597398540	20
	3	69,677467314589300	20,584389298275152	39
	Total	68,633993535720780	22,758617623646870	78

**Prueba de Box sobre la igualdad de las matrices de covarianzas<sup>a</sup>**

M de Box	95,253
F	14,763
gl1	6
gl2	8354,858
Sig.	,000

Contrasta la hipótesis nula de que las matrices de covarianza observadas de las variables dependientes son iguales en todos los grupos.<sup>a</sup>

a. Diseño: Intersección + CATEGORIAPROMDF

Contrastes multivariados<sup>a</sup>

Efecto	Valor	F	GI de la hipótesis	GI del error	
Intersección	Traza de Pillai	,994	3970,709 <sup>b</sup>	3,000	73,000
	Lambda de Wilks	,006	3970,709 <sup>b</sup>	3,000	73,000
	Traza de Hotelling	163,180	3970,709 <sup>b</sup>	3,000	73,000
	Raíz mayor de Roy	163,180	3970,709 <sup>b</sup>	3,000	73,000
CATEGORIAPROMDF	Traza de Pillai	,064	,820	6,000	148,000
	Lambda de Wilks	,936	,822 <sup>b</sup>	6,000	146,000
	Traza de Hotelling	,069	,825	6,000	144,000
	Raíz mayor de Roy	,068	1,690 <sup>c</sup>	3,000	74,000

**Contrastes multivariados<sup>a</sup>**

Efecto	Sig.
Intersección	Traza de Pillai ,000
	Lambda de Wilks ,000
	Traza de Hotelling ,000
	Raíz mayor de Roy ,000
	Traza de Pillai ,556
CATEGORIAPROMDF	Lambda de Wilks ,554
	Traza de Hotelling ,553
	Raíz mayor de Roy ,177

a. Diseño: Intersección + CATEGORIAPROMDF

b. Estadístico exacto

c. El estadístico es un límite superior para la F el cual ofrece un límite inferior para el nivel de significación.



**Contraste de Levene sobre la igualdad de las varianzas error<sup>a</sup>**

	F	gl1	gl2	Sig.
EXECLONORMAL	3,007	2	75	,055
EXVUELONORMAL	,385	2	75	,682
EXREPRONORMAL	1,446	2	75	,242

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.<sup>a</sup>

a. Diseño: Intersección + CATEGORIAPROMDF

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F
	EXECLONORMAL	306,565 <sup>a</sup>	2	153,282	,437
Modelo corregido	EXVUELONORMAL	74,373 <sup>b</sup>	2	37,187	,105
	EXREPRONORMAL	190,882 <sup>c</sup>	2	95,441	,180

	EXECLONORMAL	351956,588	1	351956,588	1003,931
Intersección	EXVUELONORMAL	505682,307	1	505682,307	1429,669
	EXREPRONORMAL	326900,448	1	326900,448	617,700
	EXECLONORMAL	306,565	2	153,282	,437
CATEGORIAPROMDF	EXVUELONORMAL	74,373	2	37,187	,105
	EXREPRONORMAL	190,882	2	95,441	,180
	EXECLONORMAL	26293,388	75	350,579	
Error	EXVUELONORMAL	26527,934	75	353,706	
	EXREPRONORMAL	39691,628	75	529,222	
	EXECLONORMAL	422602,875	78		
Total	EXVUELONORMAL	591840,464	78		
	EXREPRONORMAL	407311,265	78		
	EXECLONORMAL	26599,952	77		
Total corregida	EXVUELONORMAL	26602,307	77		
	EXREPRONORMAL	39882,510	77		

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Origen	Variable dependiente	Sig.
Modelo corregido	EXECLONORMAL	,647 <sup>a</sup>
	EXVUELONORMAL	,900 <sup>b</sup>
	EXREPRONORMAL	,835 <sup>c</sup>
Intersección	EXECLONORMAL	,000
	EXVUELONORMAL	,000
	EXREPRONORMAL	,000
CATEGORIAPROMDF	EXECLONORMAL	,647
	EXVUELONORMAL	,900
	EXREPRONORMAL	,835
Error	EXECLONORMAL	
	EXVUELONORMAL	
	EXREPRONORMAL	
Total	EXECLONORMAL	
	EXVUELONORMAL	
	EXREPRONORMAL	

	EXECLONORMAL	
Total corregida	EXVUELONORMAL	
	EXREPRONORMAL	

- a. R cuadrado = ,012 (R cuadrado corregida = -,015)
- b. R cuadrado = ,003 (R cuadrado corregida = -,024)
- b. R cuadrado = ,005 (R cuadrado corregida = -,022)

Fuente: Guevara, 2016

Tabla 8. Análisis de repetibilidad de la Dimensión Fractal de los nidos

**Factores inter-sujetos**

	Etiqueta del	N
1		2
NIDO		2
291		2
PROM	PROM1	3
2,00	PROM2	3

**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: PROMDF1

Origen		Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
PROM	Hipótesis	,000	1	,000	,158	,729
	Error	,002	2	,001 <sup>a</sup>		
NIDO	Hipótesis	,023	2	,011	11,912	,077
	Error	,002	2	,001 <sup>a</sup>		

**Media cuadrática esperada<sup>a,b</sup>**

Origen	Componente de la varianza		
	Var(PROM)	Var(Error)	Término cuadrático
PROM	3,000	1,000	NIDO
NIDO	,000	1,000	
Error	,000	1,000	

a. Para cada fuente, la media cuadrática esperada es igual a la suma de los coeficientes de las casillas por las componentes de la varianza, más un término cuadrático que incluye los efectos de la casilla Término cuadrático.

b. Las medias cuadráticas esperadas se basan en la suma de cuadrados tipo III.

Fuente: Guevara,

