



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

ORGANISMO
AUTÓNOMO
PARQUES
NACIONALES

ISLAS
CHAFARINAS
REFUGIO NACIONAL DE CAZA

Efectos de la degradación del suelo sobre la abundancia y estado de salud de la culebrilla mora (*Trogonophis wiegmanni*) en las Islas Chafarinas



Informe final. Abril 2012.

El equipo investigador, las personas que además del investigador principal han participado en este proyecto, bien directamente en las campañas o como asesores o colaboradores, bien a través de la facilitación de información o asesoramiento en la consecución de los objetivos propuestos, ha estado compuesto por:

INVESTIGADOR PRINCIPAL:

Dr. José Martín Rueda

Profesor de Investigación del CSIC
Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)
Departamento de Ecología Evolutiva
c/ José Gutiérrez Abascal, 2.
28006, Madrid
Teléfono: 914111328, Ext. 1221
e-mail: jose.martin@mncn.csic.es

Dra. Pilar López Martínez

Investigadora Científica del CSIC
Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)
Departamento de Ecología Evolutiva
c/ José Gutiérrez Abascal, 2.
28006, Madrid
e-mail: pilar.lopez@mncn.csic.es

Jesús Ortega Giménez

Becario predoctoral JAE-Pre
Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)
Departamento de Ecología Evolutiva
c/ José Gutiérrez Abascal, 2.
28006, Madrid

COLABORADORES:

Dr. Emilio Civantos Calzada

C/ Estación de Atocha 1, Portal 1, bajo A.
28770, Colmenar Viejo, Madrid
Teléfono: 610984701
e-mail: emilio.civantos@gmail.com

Dr. Luis Ventura García

Departamento de Geoecología, Biogeoquímica y Microbiología ambiental
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (CSIC)
Av. Reina Mercedes, 10
41012 Sevilla
e-mail: ventura@cica.es

Madrid 4 de Abril de 2012

ÍNDICE

1.- ANTECEDENTES	- 4 -
2.- OBJETIVOS	- 6 -
3.- METODOLOGÍA	- 8 -
3.1.- Muestras	- 8 -
3.2.- Selección de tipos de suelos y cobertura de piedras y vegetación asociados.....	- 8 -
3.2.1.- Compactación del suelo.....	- 10 -
3.2.2.- Textura del suelo.....	- 11 -
3.2.3.- Clases texturales.....	- 12 -
3.2.4.- Análisis químicos del suelo.....	- 13 -
3.3.- Características morfológicas y condición de las culebrillas moras.....	- 17 -
3.4.- Tratamiento estadístico de los datos	- 18 -
3.4.- Referencias para la metodología.....	- 18 -
4.- RESULTADOS	- 20 -
4.1.- Uso de microhábitats y suelos	- 20 -
4.1.1.- Cobertura de vegetación.....	- 20 -
4.1.2.- Cobertura de rocas.....	- 22 -
4.1.3.- Uso de tipos de suelos.....	- 23 -
4.1.4.- Textura del suelo.....	- 28 -
4.1.5.- Clases texturales.....	- 29 -
4.1.6.- Compactación del suelo.....	- 31 -
4.1.7.- Profundidad del suelo.....	- 32 -
4.1.8.- Características químicas del suelo.....	- 32 -
4.1.9.- Metales pesados del suelo.....	- 38 -
4.2.- Uso de suelos y estado de salud de las culebrillas	- 40 -
4.2.1.- Alteraciones naturales.....	- 41 -
4.2.2.- Alteraciones antropógenas.....	- 45 -
4.3.- Resumen de los resultados más relevantes	- 47 -
5.- ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN	- 49 -
6.- BIBLIOGRAFÍA	- 53 -

1. ANTECEDENTES



FIG. 1. Ejemplar adulto típico de *T. wiegmanni* de las Islas Chafarinas.

La culebrilla mora (*Trogonophis wiegmanni*) es una especie de anfisbenio (Clase Reptilia, Suborden Amphisbaenia) endémica del Norte de África (Fig. 1). Es una especie totalmente adaptada a la vida subterránea (cuerpo alargado, ausencia de extremidades, visión reducida) cuya ecología es muy poco conocida debido a que viven bajo tierra y sólo se

encuentran ocasionalmente al levantar piedras o excavar. En el ámbito de la Unión Europea sólo se

localiza en los territorios españoles de Ceuta, Melilla e Islas Chafarinas, Se trata de una especie catalogada como de “*Datos insuficientes*” en el Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España (Pleguezuelos et al. 2002), y definida como “*De interés Especial*” en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas.

Actualmente parece localmente abundante en el Norte de África, y presenta densidades aparentemente altas en algunas zonas de las Islas Chafarinas (Civantos, 2000, 2004; Martín et al. 2010, 2011a). Sin embargo, sus hábitos subterráneos hacen que sea difícil conocer sus requerimientos ecológicos y valorar su estado de conservación. Sólo unos pocos estudios han considerado la ecología de estos animales entre ellos algunos trabajos concretos realizados en las Islas Chafarinas que examinaron la biología térmica y la selección de hábitat de *T. wiegmanni* (López et al. 2002; Civantos et al. 2003), y los resultados de un estudio reciente sobre la ecología, distribución y estado de conservación de la especie en las Islas Chafarinas (Martín et al. 2010, 2011a) que incluyen datos sobre la estructura de la población (Martín et al. 2011b), patrones de agregación social (Martín et al. 2011c) y el dimorfismo sexual en varios caracteres morfológicos (Martín et al. En prensa). Estos estudios demostraron que la especie puede tener requerimientos ecológicos estrictos y sugieren que alteraciones del medio pueden afectar gravemente a sus poblaciones.

En las Islas Chafarinas, el estado de conservación actual de las poblaciones de culebrilla mora es aparentemente aceptable, pues la especie mantiene poblaciones de alta densidad en algunas zonas. Sin embargo, su distribución no es homogénea en toda la

superficie de las Islas, probablemente debido a los distintos microhábitats y tipos de suelos presentes y al distinto estado de alteración, natural o antropógena, de estos suelos (Martín et al. 2010, 2011a). En particular, en la Isla de Congreso, está ausente o es poco abundante, por razones de momento desconocidas, en muchas áreas “aparentemente” favorables. En la Isla de Isabel, la elevada presencia y actividad humana restringe el hábitat disponible para la especie, pero existen todavía buenas poblaciones en los restos de zonas naturales o seminaturales de la isla. En la Isla de Rey, los hábitats parecen más favorables y mejor conservados y la culebrilla mantiene aquí sus mejores poblaciones (Martín et al. 2010, 2011a). En general, la pérdida de hábitat -en especial la alteración y degradación del suelo y piedras, y la pérdida de cobertura arbustiva con el consiguiente aumento de la erosión y el arrastre de suelos – parecen representar la mayor amenaza para la especie en las Islas Chafarinas en el futuro.

El examen de la microdistribución de la culebrilla en las Islas Chafarinas indica la existencia de poblaciones fragmentadas y más o menos aisladas de culebrillas (Martín et al. 2010, 2011) (Fig. 2). Estas metapoblaciones pequeñas tienen más probabilidad de extinguirse, y debido a la baja capacidad de dispersión de la especie (que requiere hábitats con suelos fáciles de excavar y cobertura favorable para desplazarse bajo tierra) serían difíciles de recolonizar. Esto explicaría la ausencia de la especie en zonas aparentemente favorables de las Islas, y podría llevar a una disminución progresiva de las poblaciones de culebrilla en las Islas Chafarinas.

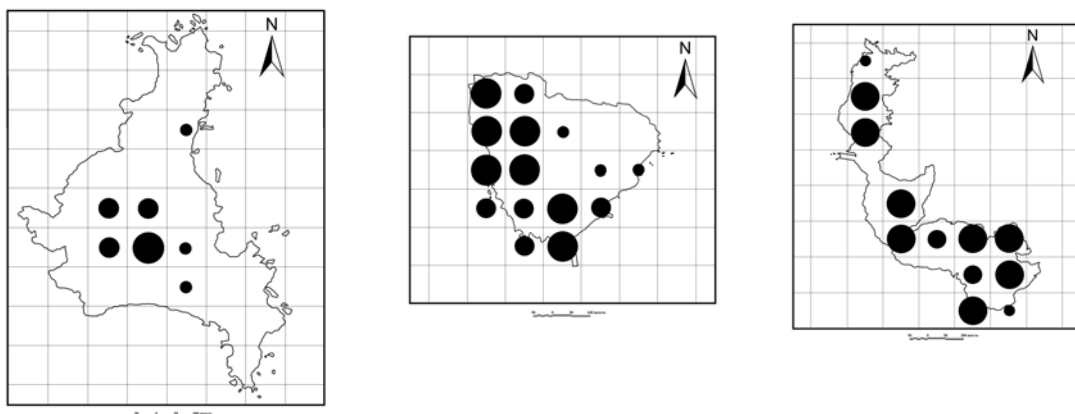


FIG. 2. Distribución detallada en cuadrículas de 100 x 100 m de *T. wiegmanni* en las Islas Chafarinas: (a) Congreso, (b) Isabel II, (c) Rey Francisco. La abundancia relativa de individuos en una cuadrícula es proporcional al tamaño de los puntos en tres categorías.

(● escasa, ● frecuente y ● abundante).

El interés de conservación y científico de las poblaciones de esta especie en las Islas Chafarinas, y la amenaza de la pérdida de hábitat sobre la persistencia de la especie en las Islas, demandan el desarrollo de un programa de seguimiento, conservación y gestión de dicha población. Así, con el fin de contribuir a esta demanda, se ha realizado este estudio para analizar en detalle las características de los suelos y microhábitats ocupados por las culebrillas, no sólo en zonas favorables para la especie, sino también en hábitats marginales y zonas con distintos estados de conservación del suelo, bien sean debido a efectos naturales (erosión, deposiciones de gaviotas) (García et al. 2002a,b) o antrópicos. Se trata de analizar como la progresiva degradación del suelo podría afectar a las poblaciones de culebrillas.

Para ello se analizan y comparan las características de los hábitats y los suelos disponibles y ocupados por *Trogonophis wiegmanni* y su estado de salud,

2. OBJETIVOS

Con el susodicho objetivo general de profundizar en el conocimiento de la ecología de la especie, y en especial del uso de suelos, y así poder elaborar un programa de gestión y conservación de la especie a largo plazo que asegure su supervivencia, los objetivos concretos de este proyecto han sido:

2.1.- Selección de tipos de suelos y cobertura de piedras y vegetación asociados

Se han realizado transectos por las tres islas levantando piedras para localizar culebrillas, relacionando la abundancia relativa de individuos encontrados en cada transecto con las características del suelo (ver abajo). Estos censos han cubierto zonas representativas de los tipos de suelos presentes en las tres islas (Clemente et al. 1999; García 2005; ver Fig. 3), prestando especial atención a zonas en buen estado de conservación pero también a zonas alteradas donde la especie es poco abundante.

Se han realizado muestreos de suelos en localizaciones al azar repartidas por las tres islas, y en localizaciones donde se encuentren culebrillas, con el fin de comparar las características del tipo de suelo utilizado por las culebrillas con los disponibles en cada isla.

2.2.- Estado de salud de los individuos en función de las características del suelo ocupado

No sólo es importante conocer la abundancia de individuos sino también su estado de salud. Así, se han tomado medidas biométricas indicadoras del estado de salud como la condición corporal. Se ha relacionado luego el estado de salud de los individuos con las características de los suelos ocupados por esos individuos.

2.3.- Identificación de las áreas concretas con problemas de degradación del suelo que afectan a las poblaciones de culebrilla mora

Como resultado final del estudio se pretende utilizar la información de los requerimientos de usos de suelo de las culebrillas para localizar las áreas de las islas que presentan problemas de conservación para las poblaciones de culebrillas derivados de la degradación del suelo o del tipo de suelo. Esto permitiría diseñar medidas de restauración de los suelos, e incluso plantear la posibilidad de realizar reintroducciones de culebrillas, una vez resueltos los problemas del estado del hábitat, para reforzar las poblaciones menos abundantes.

3. METODOLOGÍA

3.1. MUESTREOS

Las Islas Chafarinas han sido visitadas, durante este proyecto, por el equipo de investigación en dos campañas de una semana de duración cada una, realizadas del 30 de marzo al 4 de abril de 2011, y del 21 al 26 de marzo de 2012. Durante estas visitas se han muestreado las tres islas, se han recogido datos de microhábitat y muestras de suelo en 40 puntos al azar y en 40 puntos donde se encontraron culebrillas moras, y se han localizado y estudiado más de 150 individuos de *T. wiegmanni*.

Durante estos periodos de estudio se han recorrido exhaustivamente las tres islas. Se efectuaron recorridos sistemáticos por las tres islas, buscando culebrillas moras bajo las piedras debajo de las cuales se colocan para termorregular y buscar alimento (López et al. 2002; Civantos et al. 2003). Este método es la única forma efectiva de localizar ejemplares con facilidad sin alterar el medio. Las piedras eran levantadas y luego recolocadas con sumo cuidado en la misma posición en que se encontraban, sin alterar el hábitat, con el fin de no modificar las condiciones microclimáticas del medio subterráneo. Se ha procurado realizar muestreos cubriendo toda la superficie de las islas que pueden albergar potencialmente culebrillas moras. Es decir, se han excluido aquellas áreas con roca desnuda (“cantera”, acantilados y afloramientos rocosos) o pavimentadas (muelles y calles, y la superficie ocupada por construcciones) donde no hay suelo y por tanto no puede haber culebrillas. En el resto de la superficie las piedras son lo suficientemente abundantes para que no se produzcan sesgos en los muestreos. La localización de cada individuo encontrado se determinaba con precisión mediante un GPS Garmin GPSmap 60CSx.

3.2. SELECCIÓN DE TIPOS DE SUELOS Y COBERTURA DE PIEDRAS Y VEGETACIÓN ASOCIADOS

Se han realizado transectos por las tres islas levantando piedras para localizar culebrillas, relacionando las características de los microhábitats y suelos donde se encontraban individuos con las características de los microhábitats y suelos disponibles (ver abajo). Estos censos han cubierto zonas representativas de todos los tipos de suelos presentes en las tres islas (Clemente et al. 1999; García 2005; ver Fig. 3), prestando especial atención a zonas en

buen estado de conservación pero también a zonas alteradas donde la especie es poco abundante.

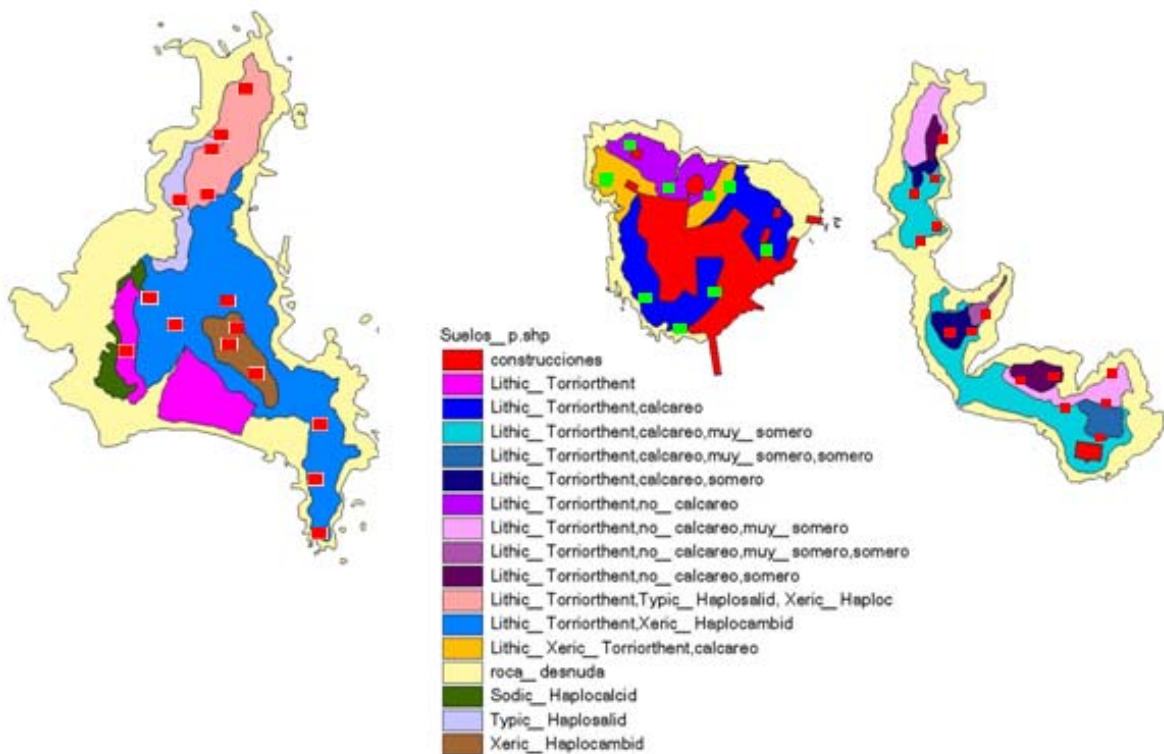


FIG. 3. Distribución de los tipos de suelos identificados en las Islas Chafarinas, con la localización (cuadrados rojos o verdes) de los puntos de muestreo para estimar la disponibilidad de microhábitats y suelos.

Para cada punto de muestreo se han medido las siguientes variables:

Datos de referencia:

- Fecha y coordenadas GPS del centro del cuadrado de muestro (un área de 2 x 2 m).
- Pendiente, altitud, orientación.

Vegetación:

- Estrato arbustivo: Altura media (cm), Cobertura (% aproximado por especie)
- Estrato herbáceo: Altura media, Cobertura (%) de las especies dominantes.

Superficie del suelo:

- Afloramientos rocosos (% aprox. de la superficie de referencia).
- Geología (basalto, andesita, costra calcárea, piroclastos porosos).

- Cobertura de rocas: Fracción (%) de la superficie cubierta por piedras medianas (20-60 cm), y pequeñas (6-20 cm).
- Influencia atropozoógena: Evidencias de influencia aviaria (particularmente deposiciones de gaviotas, plumas...) y abundancia de caracoles en superficie (ausencia, pocos, muchos, muy abundantes).
- Presencia de necromasa (restos vegetales muertos, hojarasca).

Muestreo / medidas en suelos

- Profundidad del suelo (tierra fina) hasta encontrar una capa dura (roca o similar).
- Compactación del suelo: medido con un penetrómetro (ver abajo)
- Evidencias de erosión (cárcavas por escorrentías, arrastre por gravedad) o acumulación
- Presencia de materiales de origen antrópico o naturales removidos y sacados a la superficie por el hombre.

3.2.1. Compactación del suelo

La compactación resulta de la compresión mecánica de partículas de suelo y agregados (muchas partículas de suelo juntas en un solo grupo o trozo). La compactación tiene como resultado el rompimiento de los agregados de suelo más grandes, y la reducción o eliminación de espacios (o poros) entre las partículas de suelo. Mientras más grandes y numerosos sean los agregados del suelo, mayores serán los espacios (poros) dentro del suelo. Esto facilita mayor movimiento de aire y agua, requerido tanto por las raíces de las plantas como por los organismos vivos en el suelo, y afecta directamente a la capacidad de excavar de las culebrillas.

La compactación del suelo se midió con un penetrómetro de suelos de bolsillo de Eijkelkamp-Analab en cinco puntos al azar alrededor del punto central en cada área de muestreo. Con el penetrómetro se determina la resistencia a la penetración de las capas superiores del suelo (profundidad de medición 5 mm). Al presionar el penetrómetro contra el suelo, la punta se encuentra con la resistencia de la fuerza de la tierra. El muelle es comprimido por esta fuerza. El anillo se desliza y nos muestra en la escala la fuerza máxima que ha encontrado (medido en Kg/cm^2). Mientras la sonda del penetrómetro de suelo penetre con más con facilidad el suelo, menor la compactación. Una fuerza baja significa que el suelo no está muy compactado. Menos compactación permite el desarrollo de raíces profundas, fácil flujo vertical de agua y aumento de los espacios (poros) del suelo. El aumento de los espacios del suelo, también, se correlaciona con una mayor estructura de agregados y un

contenido de materia orgánica más elevado. Si el penetrómetro no penetra en el suelo fácilmente, existe compactación de las capas superficiales. Tal compactación restringirá el crecimiento de las raíces y el flujo vertical del agua, y hará más difícil la excavación para las culebrillas.

A continuación se recogió una muestra de suelo (unos 300 g) en la capa de suelo de 0 a 10 cm de profundidad, la que utilizan las culebrillas. Estas muestras de suelo fueron enviadas al *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC*, para su posterior análisis edafológico. En el laboratorio se han determinado la textura del suelo y se han realizado diversos análisis químicos (Westerman 1990; Bigham 1996; García et al. 2002; ver abajo).



3.2.2. Textura del suelo

La fracción mineral del suelo, o fase sólida inorgánica, está constituida por un conjunto de partículas (de formas muy variables e irregulares) procedentes de la fragmentación y alteración de la roca madre y/o del aporte de materiales transportados por el agua o por el viento. La granulometría o textura se define como la proporción relativa de las distintas partículas minerales individuales, menores a 2 mm de diámetro, agrupadas por clases de tamaños en fracciones granulométricas. Es decir, es un estudio de la fase sólida inorgánica del suelo, que consiste en determinar las proporciones relativas de **arena gruesa** (2.00-0.20 mm), **arena fina** (0.20-0.05 mm), **limo** (0.05-0.002 mm) y **arcilla** (<0.002 mm) de una muestra de suelo previamente desagregada y tamizada por 2 mm. Las partículas mayores de 2 mm (y hasta 60 mm) se definen como **grava** y se consideran por separado. El porcentaje de gravas se calcula respecto a toda la muestra de suelo mientras que el porcentaje de arena, limos y arcillas se mide respecto a la tierra tamizada (muestra de suelo sin la fracción de partículas mayores de 2 mm de diámetro).

Para determinar la textura se ha utilizado el método del densímetro de Bouyoucos (Bouyoucos 1962; MAPA 1994). Este método se fundamenta en la ley de Stockes que relaciona la velocidad de caída de las partículas sólidas esféricas en el seno de un líquido, con su diámetro y la densidad de la suspensión en la que caen. El método consiste en dispersar las partículas minerales del suelo mediante una solución del producto comercial "Calgón" y en

medir indirectamente el porcentaje de cada fracción mediante el densímetro de Bouyoucos. Las medidas de textura se han llevado a cabo sin eliminar carbonatos ni materia orgánica.

3.2.3. Clases texturales

Las proporciones variables de las fracciones texturales arena, limo y arcilla, dentro de determinados límites, establecen una clase textural. Las distintas clases texturales se representan en el triángulo de textura (Fig. 4) presentado por el Departamento de Agricultura de EEUU (USDA), en el cual se definen 12 clases texturales. Cada una de estas clases agrupa suelos con comportamiento similar frente al agua del suelo y a la respuesta de las plantas; de modo que no son límites arbitrarios.

CLASIFICACIÓN USDA DE LOS SUELOS SEGÚN SU TEXTURA					
Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	
Textura gruesa	86-100	0-14	0-10	Arenoso	Suelos arenosos
	70-86	0-30	0-15	Arenoso franco	
Textura moderadamente gruesa	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	Suelos francos
Textura media	23-52	28-50	7-27	Franco	Suelos francos
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	
	0-20	88-100	0-12	Limoso	
Textura moderadamente fina	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	Suelos francos
	45-80	0-28	20-35	Franco arcillo arenoso	
	0-20	40-73	27-40	Franco arcillo limoso	
Textura fina	45-65	0-20	35-55	Arcillo arenoso	Suelos arcillosos
	0-20	40-60	40-60	Arcillo limoso	
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	

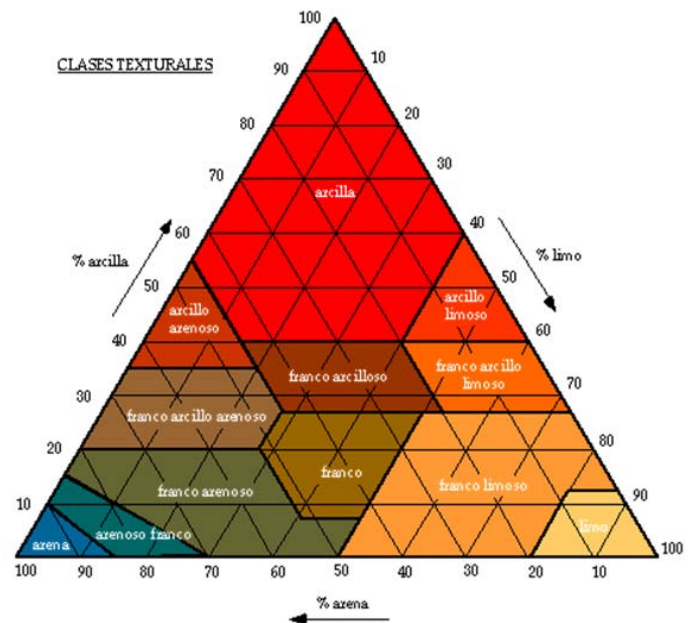


FIG. 4. Triángulo de clases texturales.

3.2.4. Análisis químicos del suelo

Antes de los análisis, las muestras de suelo fueron secadas al aire, disgregadas y tamizadas (2 mm). A continuación se realizaron análisis para caracterizar las siguientes variables:

- **Carbonatos inorgánicos totales (TIC)** del suelo se determinaron usando un calcímetro de presión para medir el volumen de CO₂ desprendido al atacar los carbonatos (CaCO₃) que contiene el suelo con HCl, en un depósito cerrado. Según la proporción de carbonatos se clasifican los suelos como:

<1% CaCO ₃	No se considera calcáreo
2-5%	Moderadamente calcáreo
5-10%	Calcáreo
>10%	Fuertemente calcáreo

- **Carbono orgánico (CO)** se determinó mediante el método de Walkley y Black (1934) modificado (Nelson y Sommers 1996), el cual consiste en una oxidación parcial del carbono orgánico por la adición de una mezcla ácida de dicromato de potasio, sin la aplicación externa de calor, y la determinación por espectrofotometría. La determinación del Carbono total se realiza fundamentalmente para conocer el contenido de materia orgánica (m.o.) de la muestra:

Suelos < 1% de C	Muy mineralizados
Suelos 1-1.5 % de C	Mineralización media
< 3% de m.o.	Contenido bajo de m.o.
3-6% de m.o.	Contenido medio de m.o.
> 6% de m.o.	Contenido alto de m.o.

- **Nitrógeno total (N)** determinado mediante una digestión Kjeldahl y valoración de la destilación de amonio producido (McKenzie 1994; Bremner 1996). El estudio del nitrógeno en suelos tiene doble importancia, primero, porque es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas y segundo, porque su contenido total se relaciona con el de C (C/N), lo que permite valorar distintas características biológicas de los suelos, como por ejemplo la humificación de la materia orgánica. Para interpretar el resultado utilizamos la siguiente clasificación:

0–0.05% de N total	Muy bajo
0.05–0.1% de N total	Bajo
0.1–0.2% de N total	Normal
0.2–0.4% de N total	Alto
>0.4% de N total	Muy alto

- **La relación C/N** define el tipo de humus que tiene el suelo, en base a esta tabla:

Humus Mull	C/N 5–15
Humus Moder	C/N 15–23
Humus Mor	C/N > 25

Valores elevados indican una mineralización incompleta de la materia orgánica y también un bajo estado de nutrientes. Valores bajos indican que la materia orgánica y mineral están muy bien unidas, estableciendo uniones de tipo químico, relacionado con una buena humificación.

- **Nitrógeno mineral (NH_4^+ y NO_3^-)**, mediante extracción con KCl 1 M y medidos mediante espectrofotometría. Constituyen las formas de nitrógeno normalmente disponibles para las plantas y pueden ser tóxicas cuando exceden ciertos umbrales.

- **Fósforo disponible (P_{Olsen})** extraído siguiendo el Método de Olsen et al. (1954) con bicarbonato de sodio (0.5M, pH 8.5) y medido mediante espectrofotometría visible usando molibdato de amonio y ácido ascórbico. Se consideran los valores obtenidos por el Método Olsen según la siguiente tabla:

0–1 mg de P/Kg de suelo	Suelo muy deficiente en P asimilable
1–3 mg de P/Kg de suelo	Suelo deficiente en P asimilable
3–6 mg de P/Kg de suelo	Suelo normal en P asimilable
6–10 mg de P/Kg de suelo	Suelo alto en P asimilable
>10 mg de P/Kg de suelo	Suelo muy alto en P asimilable

- **Conductividad eléctrica (C.E.)** se midió ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en extracto acuoso suelo:agua 1:5 utilizando un conductímetro, calibrado con una solución de KCl 0,01 M siguiendo el procedimiento de Rhoades (1996), y corrigiendo el valor para expresarlo a la temperatura a

25 °C (Richards 1954). La medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene:

CE 0-2 dS/m	No salino
CE 2-4 dS/m	Ligeramente salino
CE 4-8 dS/m	Moderadamente salinos
CE 8-16 dS/m	Fuertemente salinos
CE >16 dS/m	Muy fuertemente salinos

- **Iones solubles (Na_s, K_s, Ca_s, Mg_s, Cl_s, y SO_{4s})** fueron medidos en extracto acuoso suelo:agua 1:5. Na⁺⁺ y K⁺ se midieron por fotometría de llama, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ por espectrofotometría de absorción atómica, Cl⁻ por valoración con AgNO₃ y espectrofotometría, y SO₄⁼ por espectrofotometría visible (turbidimetría).

- **pH_{H2O}** Medido con electrodo combinado en sobrenadante de suspensión suelo:agua destilada 1:2.5 (Thomas 1996). Con este método obtenemos la acidez activa o actual del suelo (concentración de protones existentes en la disolución del suelo).

- **pH_{KCl}** -Medido con electrodo combinado en sobrenadante de suspensión suelo:KCL 1M 1:2.5 (Thomas 1996). Con esta medida obtenemos la acidez potencial o de cambio del suelo. La medida del pH en KCl suele ser del orden de 0.5–1 unidades de pH inferior al pH en agua. Esta disminución se debe a que el KCl desplaza a los cationes acidificantes (H, Al) del complejo de cambio, que son desplazados por el K hacia la disolución del suelo. El pH lo que refleja es la concentración de protones que había en la disolución junto a los procedentes del complejo de cambio y a los generados tras la hidrólisis del Al (a esto se debe el carácter ácido del Al), debido al aumento de la concentración de protones, el pH disminuye. En función del pH del suelo podemos clasificar:

pH<3.5	Hiperácido
pH 3.5–5	Muy ácido
pH 5–6.5	Ácido
pH 6.5–7.5	Neutro
pH 7.5–8.7	Básico
pH >8.7	Muy básico

La diferencia entre pH medido en KCl (pH_{KCl}) y pH medido en agua (pH_{H_2O}) se define como **delta pH** ($DpH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$). En suelos no salinos: i) $DpH > 0$ indica predominio de carga positiva. ii) $DpH = 0$ indica carga neutra. iii) $DpH < 0$ indica predominio de carga negativa. En suelos salinos y/o con $pH > 7$, el DpH tiene un significado distinto. Si pH_{KCl} es similar a pH_{H_2O} , indica que el suelo está saturado de bases.

- **Oligoelementos y Metales Pesados.** En el suelo existen unos elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones y al evolucionar la vida adaptándose a estas disponibilidades, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los organismos. Dentro de este grupo de elementos son muy abundantes los denominados metales pesados. Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 gr cm^{-3} cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%.

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

Oligoelementos o micronutrientes, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Los metales pesados incorporados al suelo pueden quedar retenidos en el suelo o pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Sb, Bi.

En las Islas Chafarinas se sabe que los metales pesados de los excrementos de gaviotas tienen un efecto contaminante sobre el suelo en el que se asientan las colonias (García et al. 2002, 2007). Estos metales pueden incorporarse a la cadena trófica y afectar gravemente a las poblaciones de los animales que viven bajo el suelo como la culebrilla,

En este estudio **la disponibilidad de micronutrientes y metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn)** se determinó mediante un dispositivo de ICP-OES (espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente), después de la extracción con una solución de EDTA 0.05 M a pH 7.0 (Scott et al. 1971; Westerman, 1990).

Las medidas de microelementos (EDTA) se refieren a contenidos que se estiman disponibles para las plantas.

3.3. Características morfológicas y condición de las culebrillas moras

Cuando se localizaba un ejemplar de culebrilla mora en los recorridos por las Islas, se le capturaba vivo para tomarle en el campo las siguientes **medidas biométricas**:

-**Longitud cabeza-cuerpo (LCC)**: longitud desde la punta del hocico hasta el inicio de la cloaca, medida con una regla metálica con una precisión de ± 1 mm.

-**Longitud de la cola**: longitud desde el inicio de la cloaca hasta la punta final de la cola, medida con una regla metálica con una precisión de ± 1 mm.

-**Longitud total**: suma de la longitud cabeza-cuerpo y la longitud de la cola.

-**Anchura, altura y longitud de la cabeza**: medidas con un calibre digital con una precisión de ± 0.01 mm.

-**Peso**: medido con una balanza electrónica con una precisión de ± 0.01 g.

Además, se ha calculado una medida biométrica indicadora del estado de salud como es la **condición corporal**. Esta medida se utiliza habitualmente como un índice de las reservas de grasa y una estimación de la condición física o estado nutricional de los individuos (Bonnet y Naulleau 1994). La condición



corporal se calcula estadísticamente a partir de los residuos de la regresión lineal entre la longitud del cuerpo y el peso (ambas variables transformadas logarítmicamente). Así, los individuos con residuos positivos, son aquellos que tienen un peso mayor de lo esperado para su tamaño corporal y tienen por tanto una condición corporal más elevada, lo que en reptiles puede considerarse como una condición física más favorable.

Los individuos adultos eran sexados mediante la apertura con cuidado de la cloaca, determinándose la presencia/ausencia de dos pequeños hemipenes en el interior de la cloaca de los machos (Martín et al. 2010). Los individuos fueron liberados, sin causarles daño alguno, en el mismo lugar de su captura inmediatamente después de tomar estas medidas (aprox. 1-2 min. después de la captura).

3.4. Tratamiento estadístico de los datos

Los datos de uso del hábitat, biometría y estado de salud fueron analizados con tests estadísticos convencionales paramétricos (MANOVA, ANOVA, regresión lineal, etc.; Sokal y Rohlf 1995) y no-paramétricos (test de la χ^2 , test de la U de Mann-Whitney; Siegel y Castellan 1988), utilizando los programas Statistica 7.0 y StatXact 3.1. En muchos casos, los datos fueron transformados logarítmicamente para cumplir con los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas que exigen los tests paramétricos utilizados. Las comparaciones por pares a posteriori se realizaron mediante tests de Tukey. En todos los casos el nivel de significación estadística se estableció en $P < 0.05$. En las gráficas los valores de las variables se indican como la media $\pm 1SE$.

3.5. Referencias para la metodología

- BIGHAM, J.M. (ed.). 1996. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. ASA SSSA, Madison, Wisconsin.
- BONNET, X., y NAULLEAU, G. 1994. Utilisation d'un indice de condition corporelle (BCI) pour l'étude de la reproduction chez les serpents. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences- Series II Biologies* 317: 34-41.
- BOUYOUCOS, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465.
- BREMNER, J.M. 1996. Nitrogen-Total. En: J.M. Bigham (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. ASA SSSA, Madison, Wisconsin. Pp. 1085-1121.
- CLEMENTE, L., GARCÍA, L.V. y RODRÍGUEZ, A. 1999. Los Suelos de la Isla del Congreso (Chafarinas). En: Pallí Buxó, L. y Roque Pau, C. (eds.) *Avances en el estudio del Cuaternario español*, Gerona. Pp. 201-206.
- GARCÍA, L.V. 2005. Suelos de las Islas Chafarinas y sus relaciones ecológicas. *Ecosistemas* 14 (3): 135-139.
- GARCÍA, L.V., MARAÑÓN, T., OJEDA, F., CLEMENTE, L. y REDONDO, R. 2002. Seagull influence on soil properties, chenopod shrub distribution, and leaf nutrient status in semi-arid Mediterranean islands. *Oikos* 98: 75-86.
- GARCÍA, L.V., GUTIÉRREZ, E., MARAÑÓN, T., REDONDO, R. y CLEMENTE, L. 2007. Acumulación de metales pesados en el suelo mediada por aves marinas: evidencias derivadas del análisis isotópico. *Actas III Simposio Nacional sobre el Control de la Degradación de Suelos y la Desertificación*. Pp. 255-256.

- MAPA. 1994. Textura. Densímetro de Bouyoucos, En: *Métodos oficiales de análisis. Tomo 3*, MAPA, Madrid. Pp. 290-297.
- MARTÍN, J., GONZALO, A., POLO-CAVIA, N., LÓPEZ, P. y CIVANTOS, E. 2010. Ecología y Estado de Conservación de la Culebrilla Mora (*Trogonophis wiegmanni*) en las Islas Chafarinas. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Mto. Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Informe Inédito.
- MCKENZIE, H.A. 1994. The Kjeldahl determination of nitrogen: retrospect and prospect *Trends in Analytical Chemistry* 13:138-144.
- NELSON, D.W. y SOMMERS, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: J.M. Bigham (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. ASA SSSA, Madison, Wisconsin. Pp. 961-1010.
- OLSEN, S.R., COLE, C.V., WATANABE, F.S. y DEAN, L.A. 1954. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. USDA Circ. 939. USDA, Washington, DC.
- RICHARDS, L.A. (ed.) 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Department of Agriculture USDA Handbook no. 60, Washington.
- RHOADES, J.D. 1996. Salinity. Electrical conductivity and total dissolved solids. En: J.M. Bigham (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. ASA SSSA, Madison, Wisconsin. Pp. 417-435.
- SCOTT, R.O., MITCHELL, R.L., PURVES, D. y VOSS, R.C. 1971. *Spectrochemical methods for the analysis of soil, plant and other agricultural materials*. Inst. for Soil Research, Aberdeen, C.C.D.S.W. Bulletin no. 2. 87 p.
- SIEGEL, S. y CASTELLAN, N.J. 1988. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. McGraw Hill, New York.
- SOKAL, R.R. y ROHLF, F.J. 1995. *Biometry*. Freeman, New York.
- THOMAS, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. En: J.M. Bigham (ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. ASA SSSA, Madison, Wisconsin. Pp 475-489
- WALKLEY, A. y BLACK, A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- WESTERMAN, R.L. 1990. *Soil testing and plant analysis. 3rd ed.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.

4. RESULTADOS

4.1. USO DE MICROHÁBITATS Y SUELOS

4.1.1. Cobertura de vegetación

Las culebrillas utilizan microhábitats que no difieren en las proporciones de cobertura de **vegetación herbácea**, y dentro de ésta no seleccionan ni la cobertura de gramíneas, ni las de *Lavatera* (aunque esta cobertura varía mucho entre años) (Tabla 1; Fig. 5). La cobertura de plantas herbáceas varía entre islas, siendo más abundantes en Isabel que en las otras dos islas (Test de Tukey: $P=0.026$) que no difieren entre sí ($P=0.84$), mientras que las gramíneas en particular son más abundantes en Isabel, seguidas de Congreso y menos abundantes en Rey ($P<0.001$ en todos los casos). En el año de estudio (2011) *Lavatera* era más abundante en Rey que en las otras dos islas ($P=0.002$), que no diferían y tenían coberturas bajas, aunque en 2012 hubo un incremento muy notable de la cobertura de *Lavatera* en Congreso.

La cobertura y distribución de especies de **plantas leñosas** (Tabla 1; Fig. 5) varía significativamente entre islas, presentando Isabel una cobertura menor que Rey (Test de Tukey: $P<0.05$) y Congreso ($P=0.016$), que no difieren entre sí ($P=0.85$). Las culebrillas se encuentran en microhábitats con una cobertura significativamente menor de leñosas en Rey ($P=0.028$), pero no en Isabel ($P=0.78$) ni en Congreso ($P=0.99$). La **altura media de matorral** no varía entre islas, ni entre microhábitats disponibles y usados por las culebrillas.

TABLA 1	Disponible vs. Uso		Isla		Interacción	
	$F_{1,73}$	P	$F_{2,73}$	P	$F_{2,73}$	P
<i>ANOVAs bifactoriales</i>						
Herbáceas	0.22	0.64	4.14	0.02	0.63	0.53
Gramíneas	0.22	0.64	29.54	<0.0001	0.53	0.59
<i>Lavatera</i>	0.02	0.87	12.11	<0.0001	1.27	0.29
Leñosas	5.53	0.02	3.96	0.02	2.61	0.08
<i>Salsola</i>	2.93	0.09	3.10	0.051	1.95	0.15
<i>Lycium</i>	0.67	0.41	4.65	0.013	0.24	0.79
<i>Atriplex</i>	0.59	0.44	2.84	0.06	0.63	0.53
Altura matorral	0.78	0.38	2.72	0.07	1.20	0.31

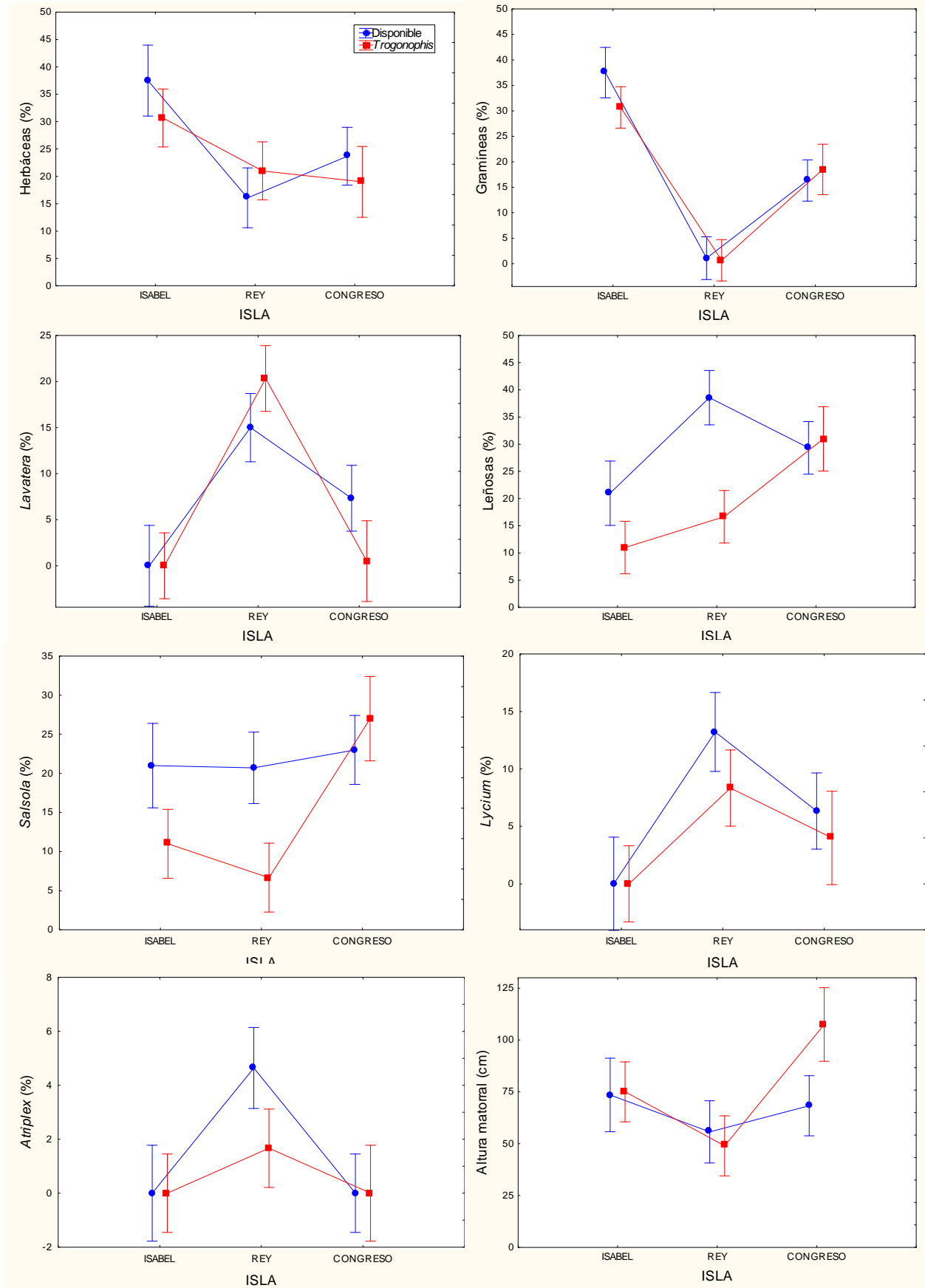


FIG. 5. Variación entre islas en las características de la vegetación en los microhábitats disponibles y utilizados por *T. wiegmanni*.

4.1.2. Cobertura de rocas

Las culebrillas utilizan microhábitats que difieren en la cobertura de rocas en relación a lo esperado por su disponibilidad (Tabla 2; Fig. 6). Por un lado, seleccionan microhábitats con una proporción significativamente mayor de **rocas medianas**. Por otro, la disponibilidad de **rocas pequeñas** o piedras varía significativamente entre islas, siendo mayor (Tests de Tukey: $P < 0.05$) en Isabel que en las otras dos islas que no difieren entre sí ($P = 0.84$), pero las culebrillas utilizan microhábitats con coberturas de rocas pequeñas similares a lo disponible en Rey y Congreso ($P > 0.90$), pero con menor cobertura de lo disponible en Isabel ($P = 0.036$).

TABLA 2	Disponible vs. Uso		Isla		Interacción	
	$F_{1,73}$	P	$F_{2,73}$	P	$F_{2,73}$	P
Rocas medianas (20-60 cm)	65.29	<0.0001	2.50	0.09	0.89	0.41
Rocas pequeñas (< 20 cm)	1.78	0.19	4.45	0.015	4.31	0.017

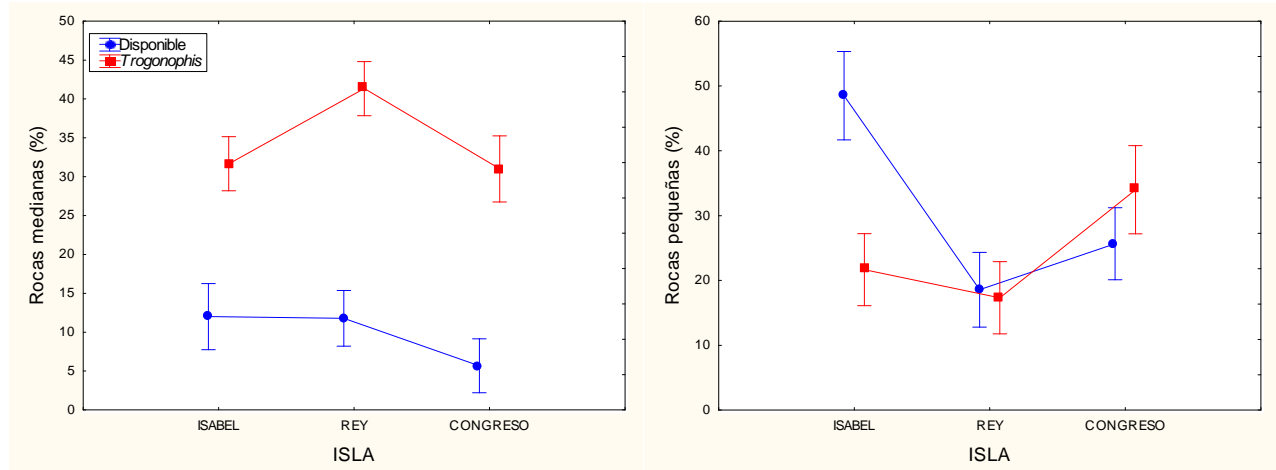


FIG. 6. Variación entre islas en la cobertura de rocas en los microhábitats disponibles y utilizados por *T. wiegmanni*.

4.1.3. Uso de tipos de suelos

Los suelos de las Islas Chafarinas son poco desarrollados e inmaduros y presentan una fuerte influencia litológica (litosuelos), con un régimen de humedad límite entre xérico y arídico, que define un clima mediterráneo árido (Clemente et al. 1999; García 2005). Se caracterizan por presentar una capa superficial poco profunda rica en materia orgánica, seguida casi directamente por la roca original volcánica (andesita o, a veces, basalto). Es frecuente que aparezcan costras calcáreas que se formaron por la precipitación de carbonatos en épocas secas.

La distribución de las culebrillas en las Islas Chafarinas no es homogénea y no ocupan por igual todos los tipos de suelos presentes (Figs. 7, 8 y 9). Una comparación del área de cada tipo de suelo disponible en cada isla (área edáfica, excluyendo las áreas de roca desnuda y las zonas pavimentadas) con el porcentaje de localizaciones de culebrillas en cada tipo de suelo revela diferencias en el uso de suelos según las islas:

Congreso: Los suelos de esta isla aparecen relativamente bien conservados. El suelo dominante es el *Xeric_Haplocambid*, que representa más del 50% de la superficie edafizada. Les siguen en importancia cuantitativa los *Lithic_Torriorthents* (25%), que dominan en zonas más escarpadas en las que la roca madre se halla próxima a la superficie y en las que la inestabilidad del sustrato es incompatible con una ulterior evolución del suelo. Una importancia cuantitativa algo inferior (aprox. 20%) presentan los suelos hipersalinos (*Typic_Haplosalids*), que dominan en el extremo norte de la isla. El acúmulo de agua y sales solubles evacuadas de las cotas superiores, junto a la menor pendiente y a la presencia de materiales finos de espesor suficiente, determinan una acumulación diagnóstica de sales en el perfil y la aparición de suelos hipersalinos (*Salids*). A ello se añade la presencia frecuente de aves marinas que también puede contribuir a la salinización del sustrato. En muchos de los suelos profundos de zonas bajas la acumulación de sales solubles no llega a ser diagnóstica, pero los contenidos salinos y de sodio intercambiable son elevados, y el suelo predominante es el *Sodic_Xeric_Haplocalcid*.

Las culebrillas no utilizan por igual todos los tipos de suelos de Congreso ($\chi^2=30.29$, 5 g.l., $P=0.00001$), se encuentran en suelos *Lithic_Torriorthent* y *Xeric_Haplocambid* con una frecuencia significativamente mayor de lo esperado, pero evitan completamente usar, y están por tanto ausentes en suelos *Typic_Haplosalid* y *Sodic_Haplocalcid* (Fig. 7).

Isabel: Más del 60% de la superficie total de la isla carece de suelo, bien por no haber llegado a desarrollarlos o por haber sido directamente destruidos por la acción humana (áreas construidas). En las zonas que conservan el suelo predominan los suelos líticos *Lithic_Torriorthent* (>85% de la superficie edafizada) y dentro de éstos los calcáreos (80 %) frente a los no calcáreos. La acusada influencia humana en los suelos de la isla ha producido alteraciones (signos de erosión, remoción y escasa diferenciación de horizontes) no coherentes de la distribución original de los materiales del suelo.

Las culebrillas se encuentran en todos los tipos de suelos disponibles en Isabel pero tienden a no utilizarlos por igual ($\chi^2=4.85$, 2 g.l., $P=0.089$), existiendo una pequeña tendencia, aunque no significativa, a utilizar más los suelos *Lithic_Torriorthent, calcáreos* que los *Lithic_Torriorthent, no_calcáreos*, y a encontrarse menos frecuentemente en los *Lithic_Xeric_Torriorthent, calcáreos* que ocupan áreas más degradadas (Fig. 8).

Rey: Destaca, en primer lugar, la elevada proporción de “roca desnuda”, (más del 47% de la superficie de la isla). En cuanto a las zonas donde hay suelo, existe un predominio absoluto de los suelos líticos *Lithic_Torriorthent* (100%) que son generalmente muy someros (<15 cm de profundidad en más del 75% de la superficie edáfica). Tanto en los suelos someros, como en los algo más profundos (15-50 cm), el predominio de suelos calcáreos sobre los no calcáreos es absoluto (75 vs. 25%, respectivamente). En términos generales los suelos de la isla del Rey, pese a ser más someros, aparecen mejor conservados que los de la isla del Isabel.

Las culebrillas se encuentran en todos los tipos de suelos disponibles en Rey pero no los utilizan por igual ($\chi^2=6.90$, 1 g.l., $P<0.01$), encontrándose culebrillas con una frecuencia significativamente mayor de lo esperado por su disponibilidad en los suelos *Lithic_Torriorthent, calcáreos* que en los *Lithic_Torriorthent, no_calcáreos*. Las diferencias en la profundidad de los suelos no afectan a su uso por las culebrillas, pues éstas se sitúan siempre en las capas más superficiales del suelo (Fig. 9).

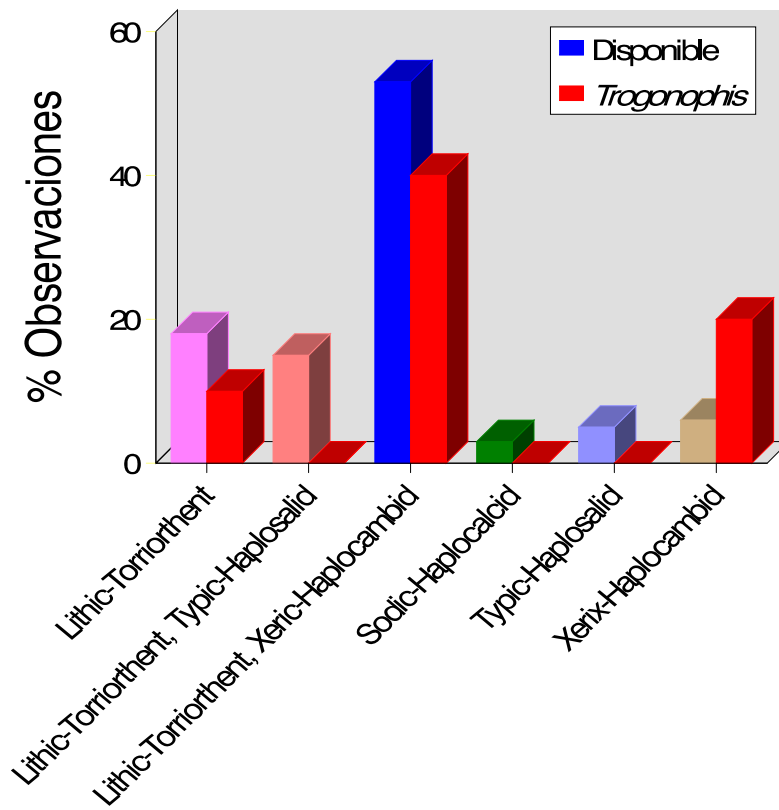
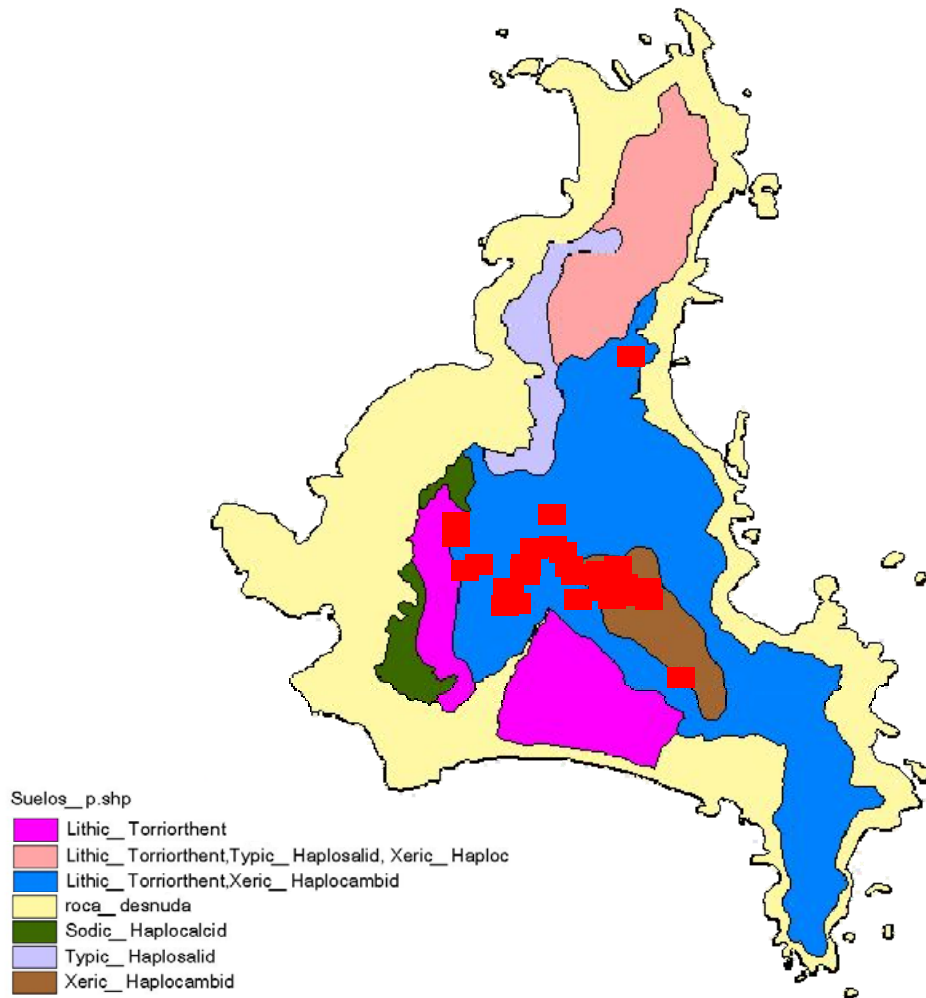


FIG. 7. Distribución de *Trogonophis wiegmanni* (cuadrados rojos) en los distintos tipos de suelo disponibles en la Isla del Congreso.

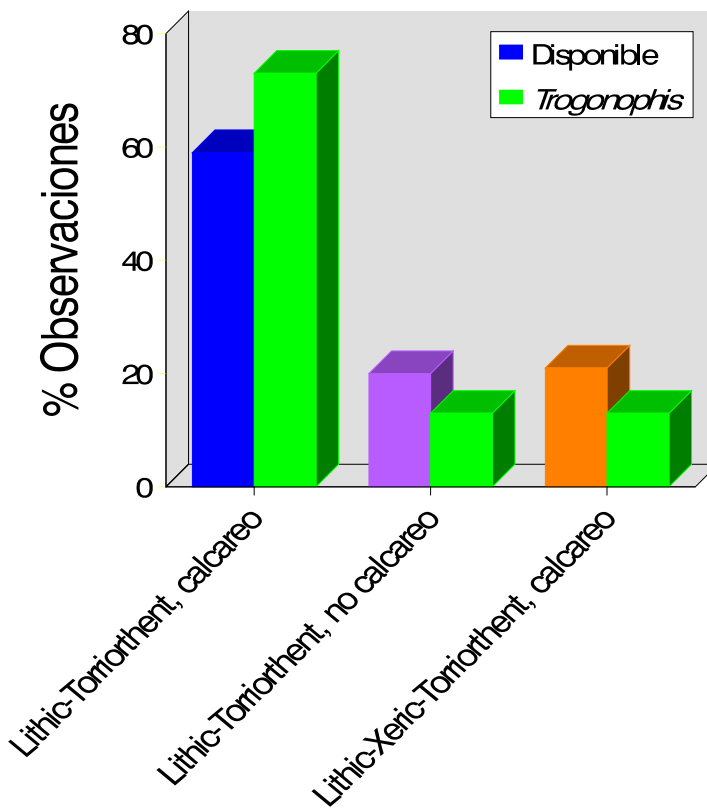
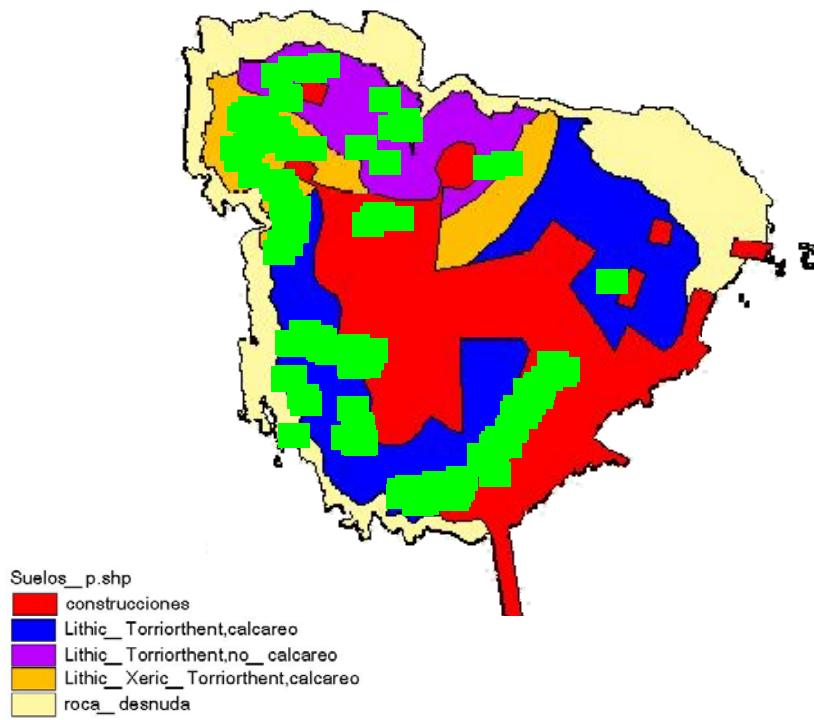


FIG. 8. Distribución de *Trogonophis wiegmanni* (cuadrados verdes) en los distintos tipos de suelo disponibles en la Isla de Isabel II.

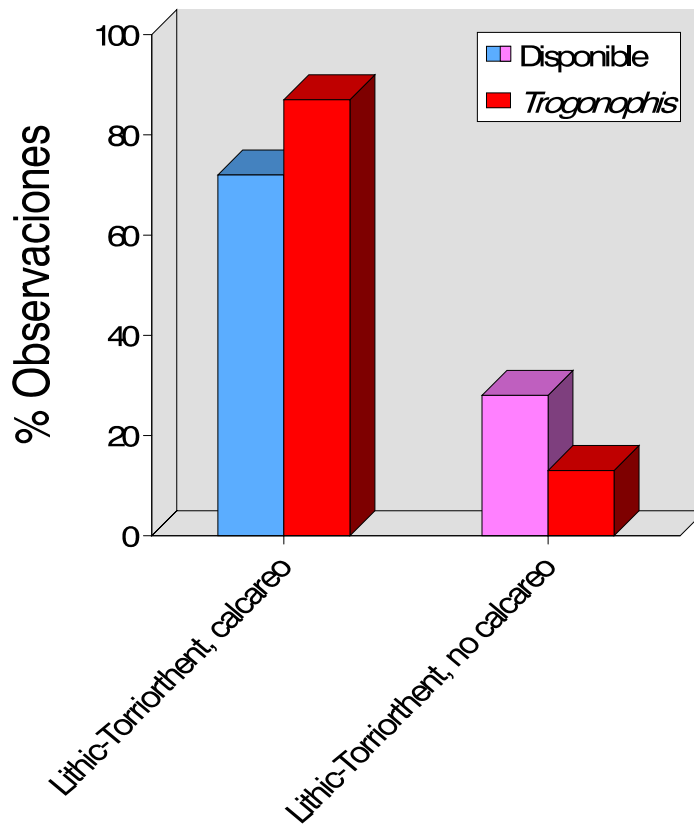
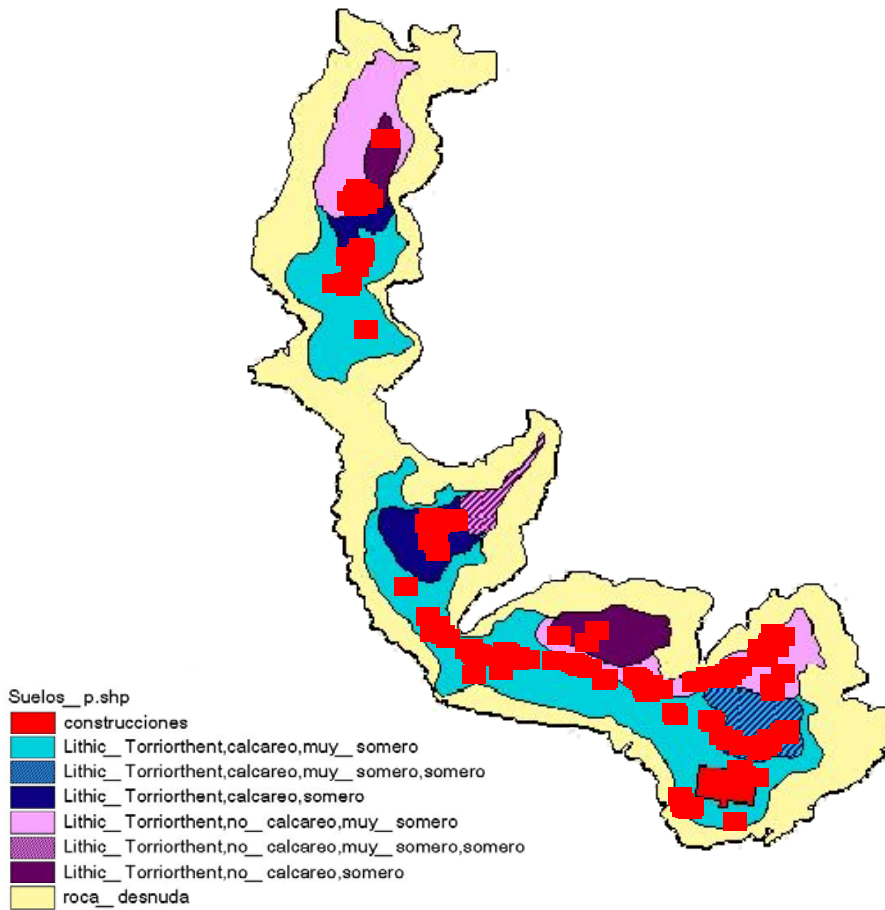


FIG. 9. Distribución de *Trogonophis wiegmanni* (cuadrados rojos) en los distintos tipos de suelo disponibles en la Isla del Rey Francisco.

4.1.4. Textura del suelo

Las culebrillas seleccionaron suelos que, en relación a los disponibles, tenían porcentajes significativamente mayores de arena y limo, y significativamente menores de arcilla, pero que no variaron en el porcentaje de grava (MANOVA para los cuatro porcentajes: λ de Wilks=0.52, $F_{3,75}=23.15$, $P<0.0001$; ANOVAs “protegidas”: Grava: $F_{1,77}=0.17$, $P=0.67$; Arena: $F_{1,77}=7.67$, $P=0.007$; Limo: $F_{1,77}=4.77$, $P=0.03$; Arcilla: $F_{1,77}=28.70$, $P<0.0001$).

Si consideramos las tres islas por separado (Tabla 3; Fig. 10), la grava es significativamente más abundante en los suelos de Congreso que en las otras dos islas (Tests de Tukey: $P<0.01$ para todas las comparaciones), pero las culebrillas no seleccionan suelos con porcentajes de grava distintos de lo disponible en ninguna isla ($P>0.84$ en todos los casos) (Fig. 10).

La arena es más abundante en los suelos de Isabel, que en los de Rey, y es menos abundante en Congreso (Tests de Tukey: $P=0.0001$ en todos los casos). Las culebrillas seleccionan suelos más arenosos de lo disponible en Isabel ($P=0.0002$) y en Rey ($P=0.017$), pero no en Congreso ($P=0.24$) (Tabla 3; Fig. 10).

El limo es menos abundante en los suelos de Isabel que en las otras dos islas (Tests de Tukey: $P=0.0001$ para las dos comparaciones), que no difieren entre sí ($P=0.56$). Las culebrillas seleccionan suelos con más limo en todas las islas, pero la diferencia es significativa sólo en Congreso ($P=0.012$), pero no en Isabel ($P=0.46$) ni en Rey ($P=0.75$) (Tabla 3; Fig. 10).

La arcilla es más abundante en los suelos de Congreso, tienen niveles intermedios en los de Rey y es menos abundante en los de Isabel (Tests de Tukey: $P=0.0001$ en todas las comparaciones). Las culebrillas seleccionan suelos con menos arcilla de los esperado en Isabel y Rey ($P=0.00013$ en ambos casos), pero no en Congreso ($P=0.99$) (Tabla 3; Fig. 10).

TABLA 3	Disponible vs. Uso		Isla		Interacción	
	$F_{1,73}$	P	$F_{2,73}$	P	$F_{2,73}$	P
<i>ANOVAs bifactoriales</i>						
Grava	1.05	0.31	13.79	<0.0001	0.74	0.48
Arena	6.94	0.01	60.08	<0.0001	10.53	<0.0001
Limo	14.89	0.0002	25.23	<0.0001	1.38	0.26
Arcilla	44.09	<0.0001	49.16	<0.0001	13.08	<0.0001

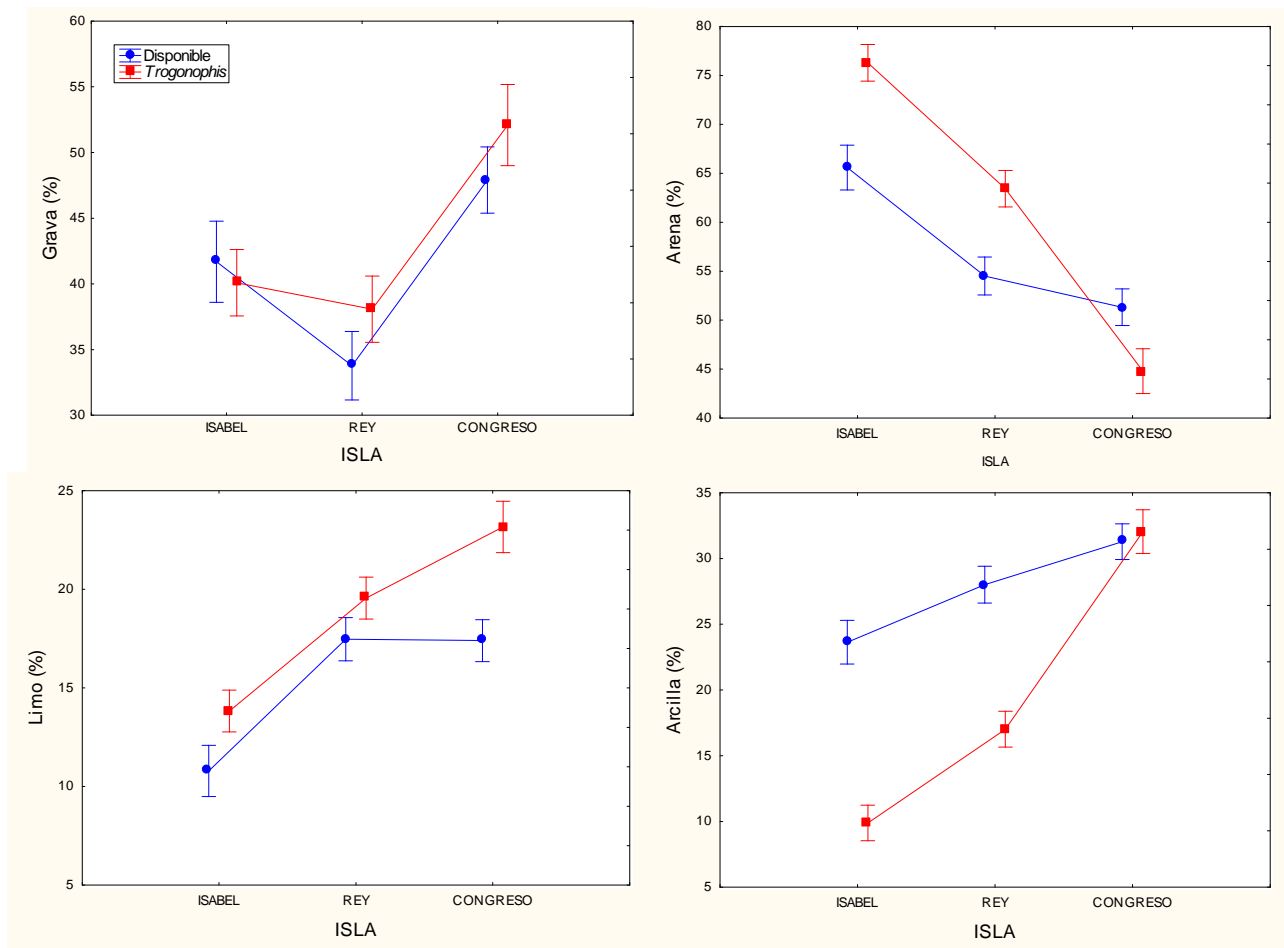


FIG. 10. Variación entre islas en las características texturales del suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

4.1.5. Clases Texturales

Los suelos presentes en las islas van desde los *Arenoso-francos* a los *Arcillosos*, pero los suelos predominantes tienen una textura *Franco-arcillo-arenosa*, moderadamente fina. En general, las culebrillas utilizan significativamente más de lo esperado por su disponibilidad ($\chi^2=29.62$, 4 g.l., $P<0.0001$) los suelos de clases texturales más arenosas (>60% de arena) (*Arenoso-franco* y *Franco-arenoso*) y con texturas gruesas o moderadamente gruesas, y utilizan menos de lo esperado los que tienen un componente arcilloso importante (>20% de arcilla) (*Franco-arcillo-arenoso*) y texturas moderadamente finas. Las culebrillas son poco abundantes, pero también hay una similar baja disponibilidad, en suelos más arcillosos (>30% de arcilla) (*Franco-arcillosos* y *Arcilloso*) y de texturas finas (Fig. 11).

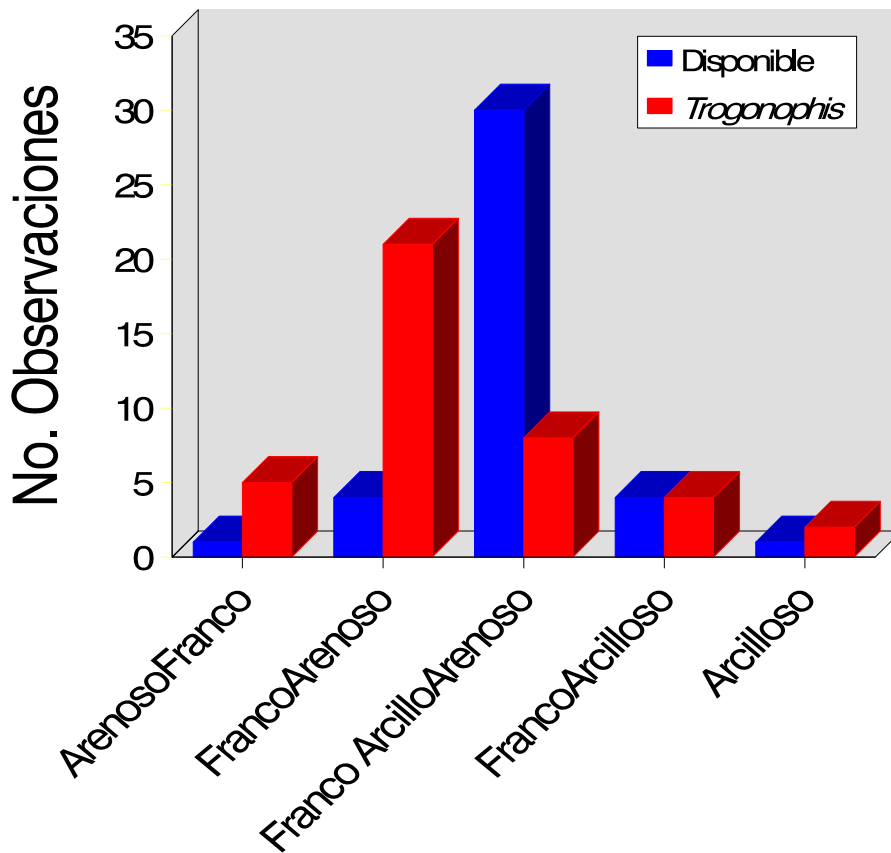
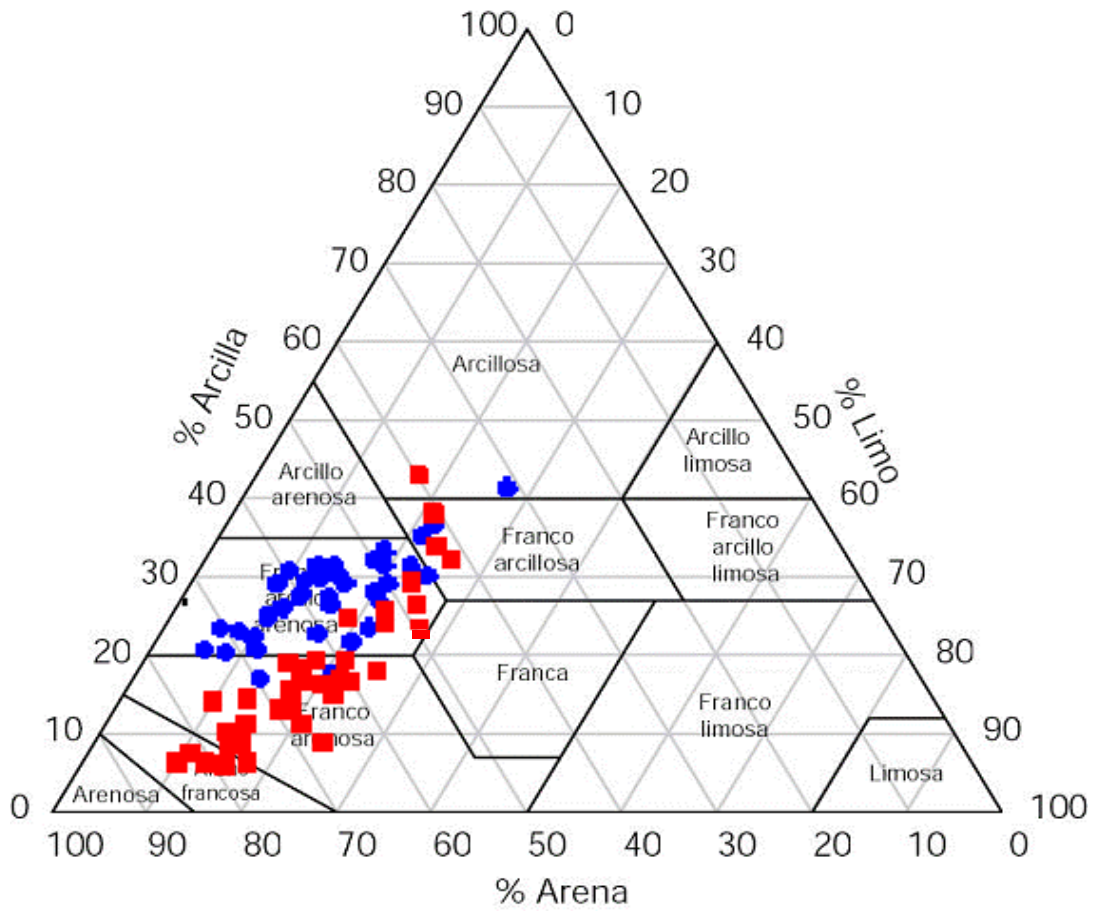


FIG. 11. Diponibilidad y observaciones de *T.wiegmanni* en los distintos tipos de clases texturales de suelo.

4.1.6. Compactación del suelo

La compactación del suelo varía significativamente entre islas (ANOVA bifactorial: $F_{2,73}=8.38$, $P=0.0005$), siendo los suelos significativamente más compactos en Congreso que en Rey (Test de Tukey: $P=0.00026$), y marginalmente más compactos en Congreso que en Isabel ($P=0.076$), pero no difieren entre Isabel y Rey ($P=0.12$) (Fig. 12). No existen diferencias significativas en la compactación de los suelos disponibles y los utilizados por las culebrillas ($F_{1,73}=0.59$, $P=0.44$) y la interacción no es significativa ($F_{2,73}=0.30$, $P=0.74$), (Fig. 12), lo que indica que las culebrillas tienen que usar los suelos que hay disponibles en cada isla independientemente de su grado de compactación.

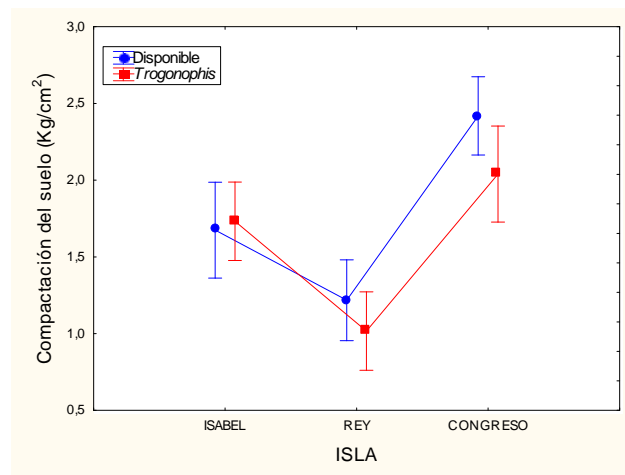


FIG. 12. Variación entre islas en la compactación del suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

La compactación del suelo depende de la textura del mismo, de modo que son significativamente más compactos los suelos con más grava ($r=0.37$, $F_{1,77}=12.44$, $P=0.0007$), con menos arena ($r=-0.32$, $F_{1,77}=8.69$, $P=0.004$) y con más arcilla ($r=0.31$, $F_{1,77}=8.17$, $P=0.005$) (Fig. 13)

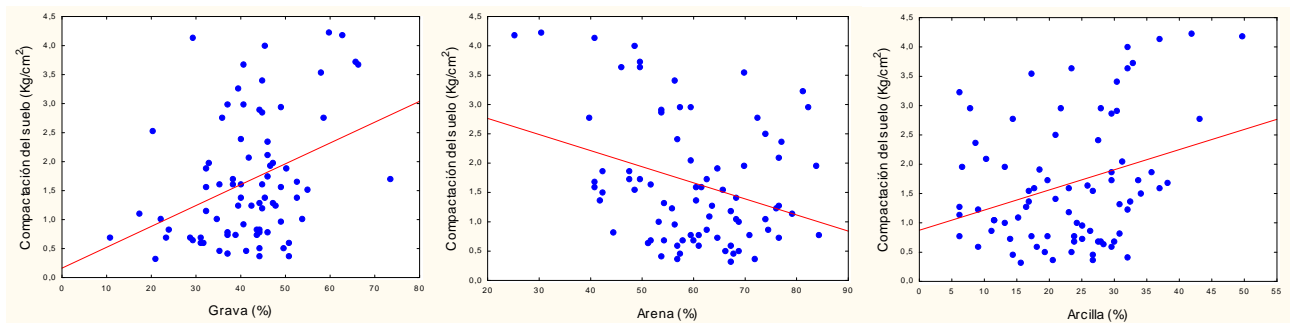


FIG. 13. Relación entre la compactación y la textura del suelo.

4.1.7. Profundidad del suelo

Los suelos en general son poco profundos en las Islas Chafarinas, y la profundidad del suelo varía significativamente entre islas (ANOVA bifactorial, $F_{2,73}=5.91$, $P=0.004$), siendo significativamente más profundos en Congreso que en Isabel (Test de Tukey, $P=0.014$) y que en Rey ($P=0.0027$), pero no difieren entre Isabel y Rey ($P=0.89$) (Fig. 14).

No existen diferencias significativas en la profundidad de los suelos disponibles y los utilizados por las culebrillas ($F_{1,73}=0.95$, $P=0.33$) y la interacción no es significativa ($F_{2,73}=0.31$, $P=0.74$) (Fig. 14).

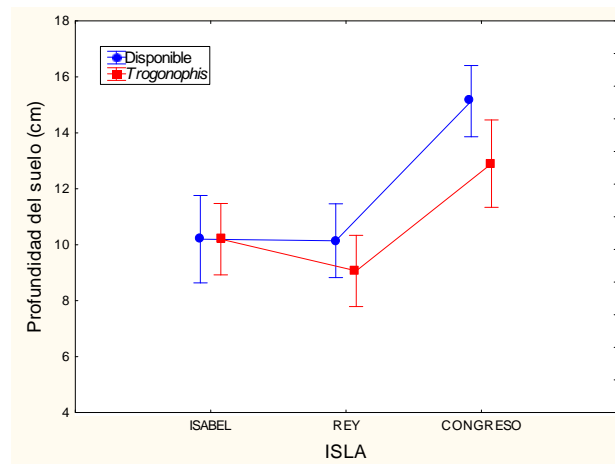


FIG. 14. Variación entre islas en la profundidad del suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

4.1.8. Características químicas del suelo

Considerando las 24 variables químicas medidas en el suelo en su conjunto, existen diferencias significativas entre islas (MANOVA: λ de Wilks=0.02, $F_{48,100}=11.73$, $P<0.0001$), las culebrillas seleccionan suelos con algunas características químicas significativamente diferentes de lo esperado por su disponibilidad (λ de Wilks=0.23, $F_{24,50}=7.11$, $P<0.0001$), y la interacción es significativa (λ de Wilks=0.22, $F_{48,100}=2.37$, $P<0.0001$) indicando que los patrones de selección de suelos de las culebrillas varían entre islas.

- El porcentaje total de **carbonatos inorgánicos (TIC)** en el suelo (Tabla 4; Fig. 15) indica que el suelo en Chafarinas es de naturaleza calcárea, pero la proporción de TIC varió significativamente entre islas, siendo más elevada en Isabel que en Rey (Test de Tukey: $P=0.0003$) o Congreso ($P=0.00012$), y similar en estas dos islas ($P=0.61$). Las culebrillas utilizaron suelos con significativamente más carbonatos de lo esperado en Isabel ($P=0.00013$), pero no en Rey ($P=0.65$) ni en Congreso ($P=0.92$).

- La proporción de **carbono orgánico (C)** en el suelo (Tabla 4; Fig. 15) varió significativamente entre islas, siendo menor en Isabel, con un contenido bajo en materia orgánica, que en Rey (Test de Tukey: $P=0.00011$) o Congreso ($P=0.0006$), y similar en estas dos islas ($P=0.11$) que tienen contenidos medios en materia orgánica. Las culebrillas utilizaron suelos con proporciones de C similar a lo disponible en cada isla.

- La proporción de **nitrógeno (N)** en el suelo (Tabla 4; Fig. 15) varió significativamente entre islas, siendo menor en Isabel, con contenidos bajos de N, que en Rey o Congreso (Test de Tukey: $P=0.00011$ en los dos casos), y menor en Congreso que en Rey ($P=0.006$), ambas con contenidos muy altos de N. Las culebrillas utilizaron suelos con proporciones de N similar a lo disponible en cada isla.

- La **relación carbono/nitrógeno (C/N)** (Tabla 4; Fig. 15) no varió significativamente entre islas, y las culebrillas utilizaron suelos con proporciones de C/N significativamente más altas (i.e. suelos menos humificados) de los esperado por la disponibilidad.

- La cantidad de **iones amonio (NH_4^+)** en el suelo (Tabla 4; Fig. 15) no varió entre islas, y las culebrillas usaron suelos con cantidades de NH_4^+ similares a lo disponible.

- La cantidad de **nitratos (NO_3^-)** en el suelo (Tabla 4; Fig. 15) varió significativamente entre islas, siendo menor en Isabel que en Rey (Test de Tukey: $P=0.00011$) o Congreso ($P=0.016$), que no difieren ($P=0.71$). Las culebrillas utilizaron suelos con proporciones de NO_3^- similar a lo disponible.

- La cantidad de **fósforo (P)** en el suelo (Tabla 4; Fig. 15) varió significativamente entre islas, siendo mayor en Rey que en Isabel (Test de Tukey: $P=0.022$) o Congreso ($P=0.049$), y similar en estas dos islas ($P=0.65$), pero en las tres islas alcanzando valores muy altos. Las culebrillas utilizaron suelos con proporciones de P similar a lo disponible.

TABLA 4	Disponible vs. Uso		Isla		Interacción	
	$F_{1,73}$	P	$F_{2,73}$	P	$F_{2,73}$	P
ANOVAs bifactoriales						
Carbonatos	48.94	<0.0001	6.57	0.002	22.94	<0.0001
C	0.02	0.89	19.62	<0.0001	0.66	0.52
N_{Kjeldahl}	3.39	0.07	39.20	<0.0001	0.12	0.89
C/N	5.54	0.02	1.35	0.27	0.52	0.60
NH₄⁺	2.88	0.09	1.63	0.20	0.72	0.49
NO₃⁻	0.64	0.42	7.49	0.001	1.00	0.37
P_{Olsen}	1.62	0.21	4.29	0.017	0.25	0.78

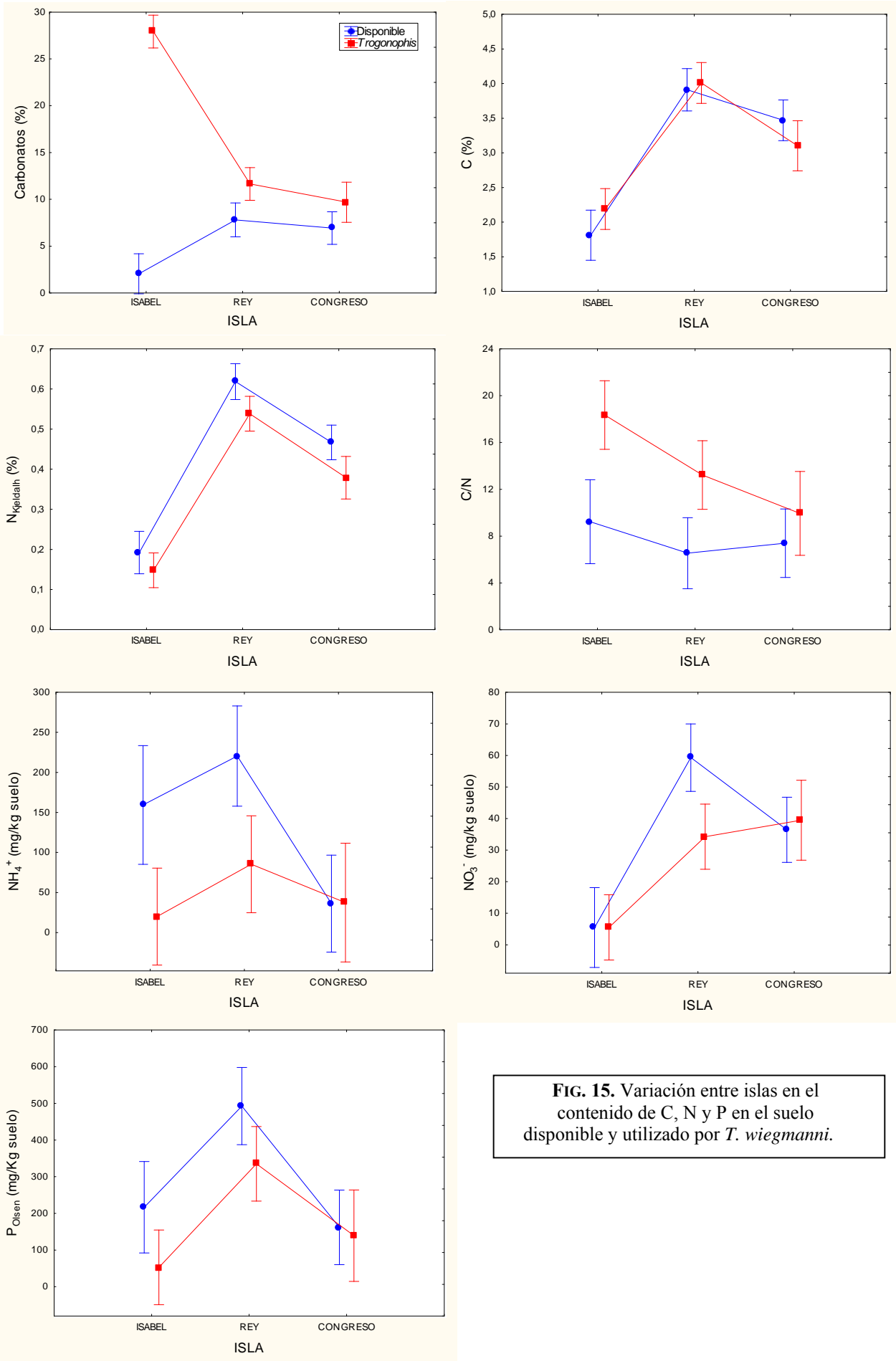


FIG. 15. Variación entre islas en el contenido de C, N y P en el suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

- El **pH de los suelos** de las Islas Chafarinas (Tabla 5; Fig. 16) es básico en general pero varió entre islas, siendo el pH menos básico en los suelos de Rey que en Isabel (Tests de Tukey: $P=0.00012$) o Congreso ($P<0.0004$), y similar en estas dos islas ($P>0.40$). Las culebrillas utilizaron suelos con pH más básico de lo esperado por la disponibilidad en todas las islas (Tabla 5; Fig. 16).

TABLA 5	Disponible vs. Uso		Isla		Interacción	
	$F_{1,73}$	P	$F_{2,73}$	P	$F_{2,73}$	P
pH_{KCl}	9.73.	0.0026	3.28	<0.0001	0.01	0.99
pH_{H2O}	11.59	0.001	22.05	<0.0001	1.72	0.18
DpH	0.31	0.58	2.83	0.066	5.60	0.005

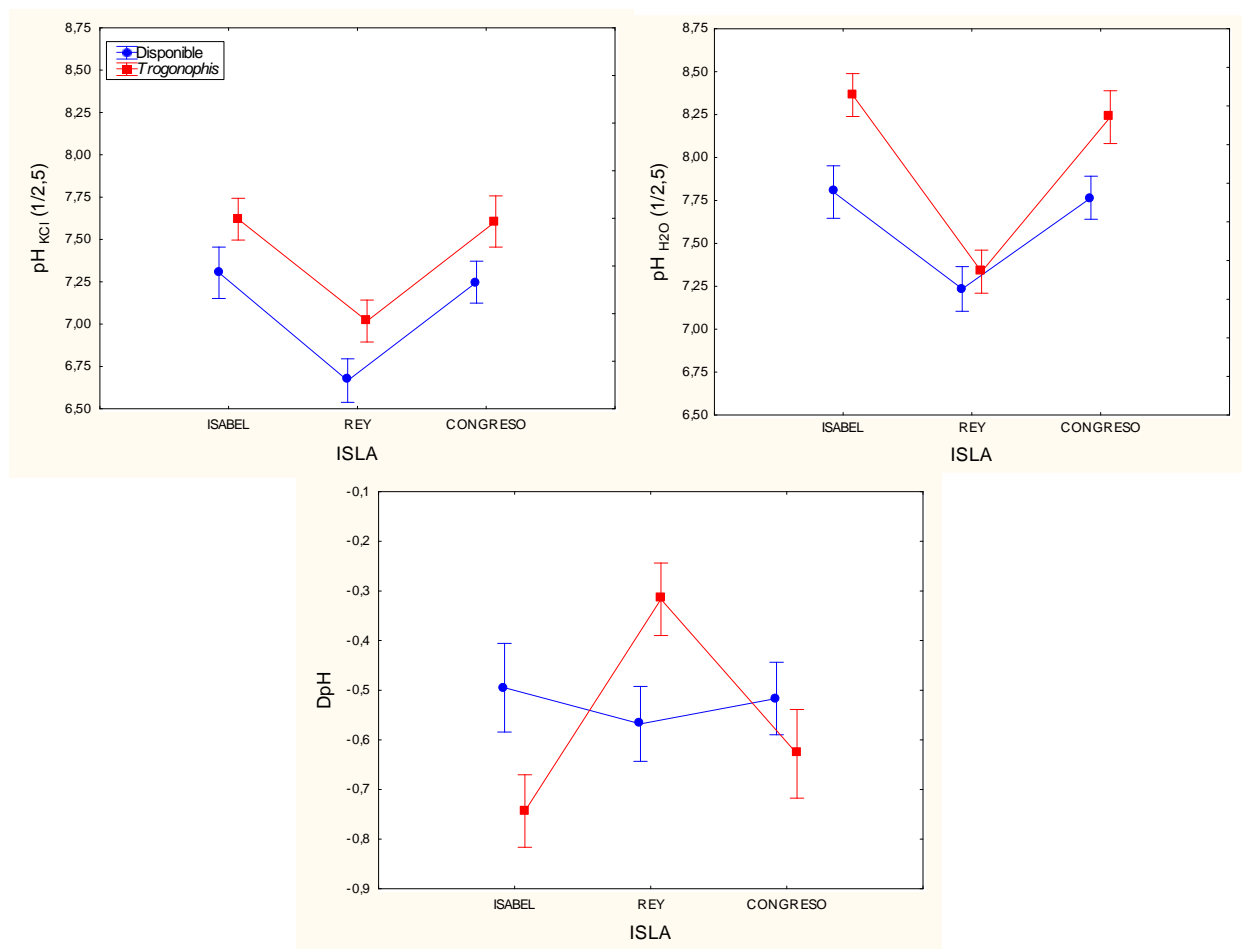


FIG. 16. Variación entre islas en el pH del suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

Iones solubles

- Los valores de **conductividad eléctrica (CE)** (Tabla 6; Fig. 17) indican que los suelos son en general no salinos, aunque en algunos puntos son moderadamente salinos, existiendo diferencias significativas entre islas, con valores de CE menores en Isabel que en Rey (Tests de Tukey: $P=0.0016$), y en Congreso ($P<0.05$). Los suelos utilizados por las culebrillas no difieren en CE de los disponibles.

- La cantidad de **iones cloruro (Cl⁻)** en el suelo (Tabla 6; Fig. 17) varió significativamente entre islas, siendo menor en Isabel que en Congreso que tiene los valores más altos (Tests de Tukey: $P=0.003$), y Rey tiene valores intermedios ($P>0.13$ en los dos casos). Las culebrillas utilizaron suelos con significativamente menos Cl⁻ de lo esperado.

- La cantidad de **iones sulfato (SO₄⁼)** en el suelo (Tabla 6; Fig. 17) no varió significativamente entre islas, ni entre los suelos disponibles y utilizados por las culebrillas.

- La cantidad de **iones de calcio (Ca⁺⁺)** (Tabla 6; Fig. 17) no varió significativamente entre islas, pero las culebrillas utilizaron suelos con menos Ca⁺⁺ de lo esperado.

- La cantidad de **iones de potasio (K⁺)** en el suelo (Tabla 6; Fig. 17) difirió significativamente entre islas, siendo menor en Isabel, intermedia en Rey y mayor en Congreso (Tests de Tukey: $P<0.01$ en todos los casos). Las culebrillas utilizan suelos con significativamente menos K⁺ de lo esperado.

- La cantidad de **iones de magnesio (Mg⁺⁺)** en el suelo (Tabla 6; Fig. 17) no varió entre islas, pero las culebrillas utilizaron suelos con menos Mg⁺⁺ de lo esperado.

- La cantidad de **iones de sodio (Na⁺⁺)** (Tabla 6; Fig. 17) varió significativamente entre islas, siendo menor en Isabel que en Rey (Tests de Tukey: $P=0.001$) o Congreso ($P=0.004$), que no difieren ($P=0.94$).

TABLA 6	Disponible vs. Uso		Isla		Interacción	
	$F_{1,73}$	P	$F_{2,73}$	P	$F_{2,73}$	P
<i>ANOVAs bifactoriales</i>						
C.E. _{1/5}	1.65	0.20	6.63	0.002	0.65	0.52
Cl⁻ _{1/5}	13.55	0.0004	3.88	0.025	1.66	0.20
SO₄⁼ _{1/5}	0.51	0.48	0.85	0.43	0.31	0.74
Ca⁺⁺ _{1/5}	8.22	0.005	0.32	0.72	0.76	0.47
K⁺ _{1/5}	8.75	0.004	20.60	<0.0001	1.06	0.35
Mg⁺⁺ _{1/5}	26.68	<0.0001	0.67	0.51	1.07	0.34
Na⁺⁺ _{1/5}	1.53	0.22	7.63	<0.001	0.07	0.93

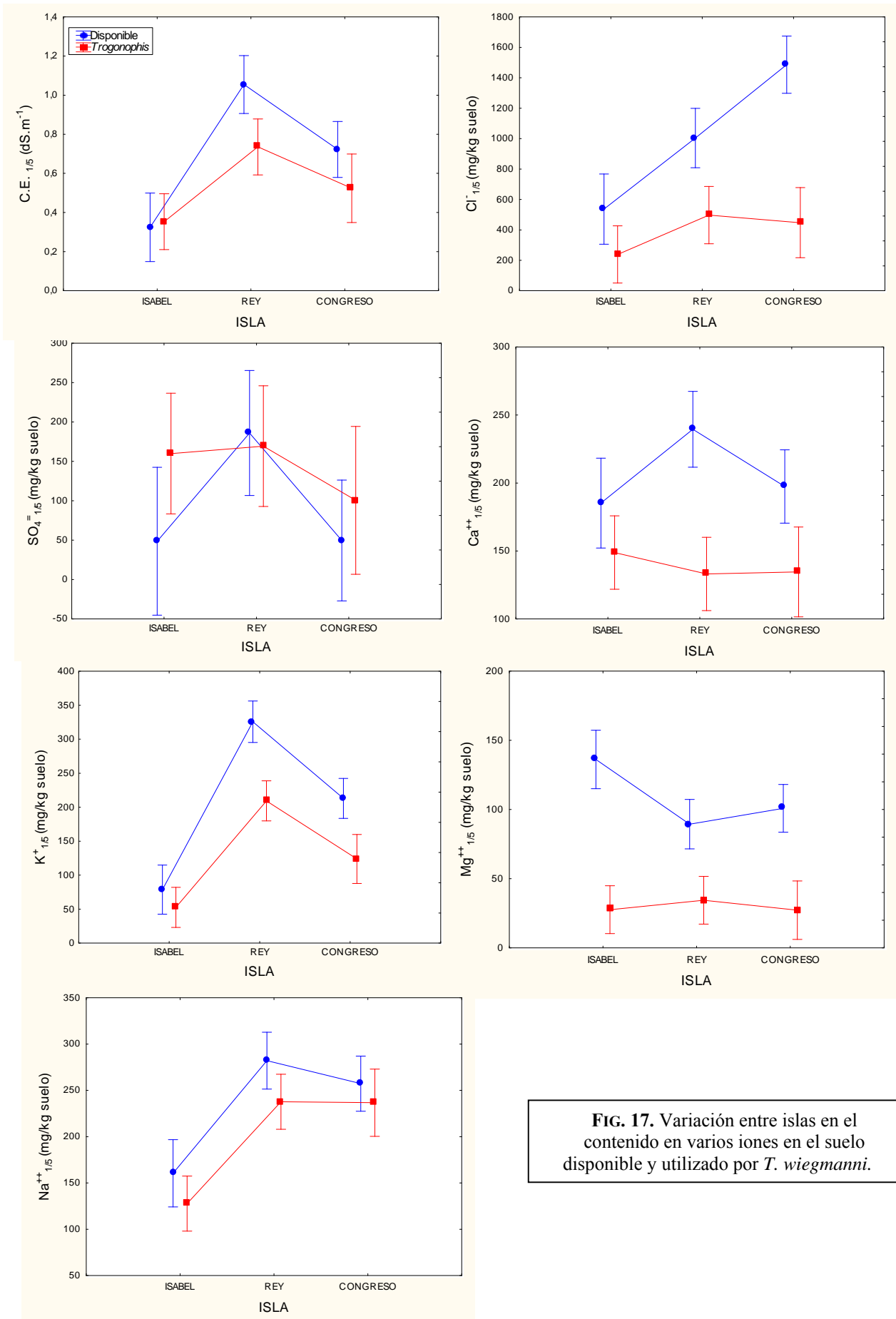


FIG. 17. Variación entre islas en el contenido en varios iones en el suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

4.1.9. Metales pesados del suelo

Los niveles de metales pesados en los suelos utilizados por las culebrillas no difieren significativamente en ningún caso de los suelos disponibles (Tabla 7; Fig. 18). Sin embargo, hay diferencias significativas entre islas. Hay varios patrones, en el caso del **Cd**, **Co**, **Mn**, y **Ni**, Isabel tiene valores significativamente menores (Tests de Tukey: $P < 0.01$) que Rey y Congreso que no difieren entre sí ($P > 0.10$ en todos los casos) (Tabla 7; Fig. 18). Para el contenido en **Cr**, **Cu**, **Fe** y **Zn**, Rey tiene valores significativamente mayores (Tests de Tukey: $P < 0.001$) que Isabel y Congreso que no difieren entre sí ($P > 0.10$ en todos los casos). Por último, en el caso del **Pb**, Isabel tiene valores significativamente más altos ($P < 0.001$) que Rey y Congreso que no difieren ($P = 0.24$) (Tabla 7; Fig. 18).

TABLA 7	Disponible vs. Uso		Isla		Interacción	
	$F_{1,73}$	P	$F_{2,73}$	P	$F_{2,73}$	P
<i>ANOVAs bifactoriales</i>						
Cd EDTA	0.06	0.80	6.63	<0.0001	0.19	0.83
Co EDTA	1.49	0.22	10.92	<0.0001	0.41	0.67
Cr EDTA	2.09	0.15	16.92	<0.0001	0.75	0.48
Cu EDTA	0.82	0.37	15.71	<0.0001	0.11	0.90
Fe EDTA	1.31	0.26	17.19	<0.0001	0.40	0.67
Mn EDTA	0.12	0.73	15.84	<0.0001	0.35	0.70
Ni EDTA	0.60	0.44	7.58	0.001	0.46	0.63
Pb EDTA	0.38	0.54	13.12	<0.0001	0.48	0.63
Zn EDTA	0.16	0.69	32.00	<0.0001	0.16	0.85

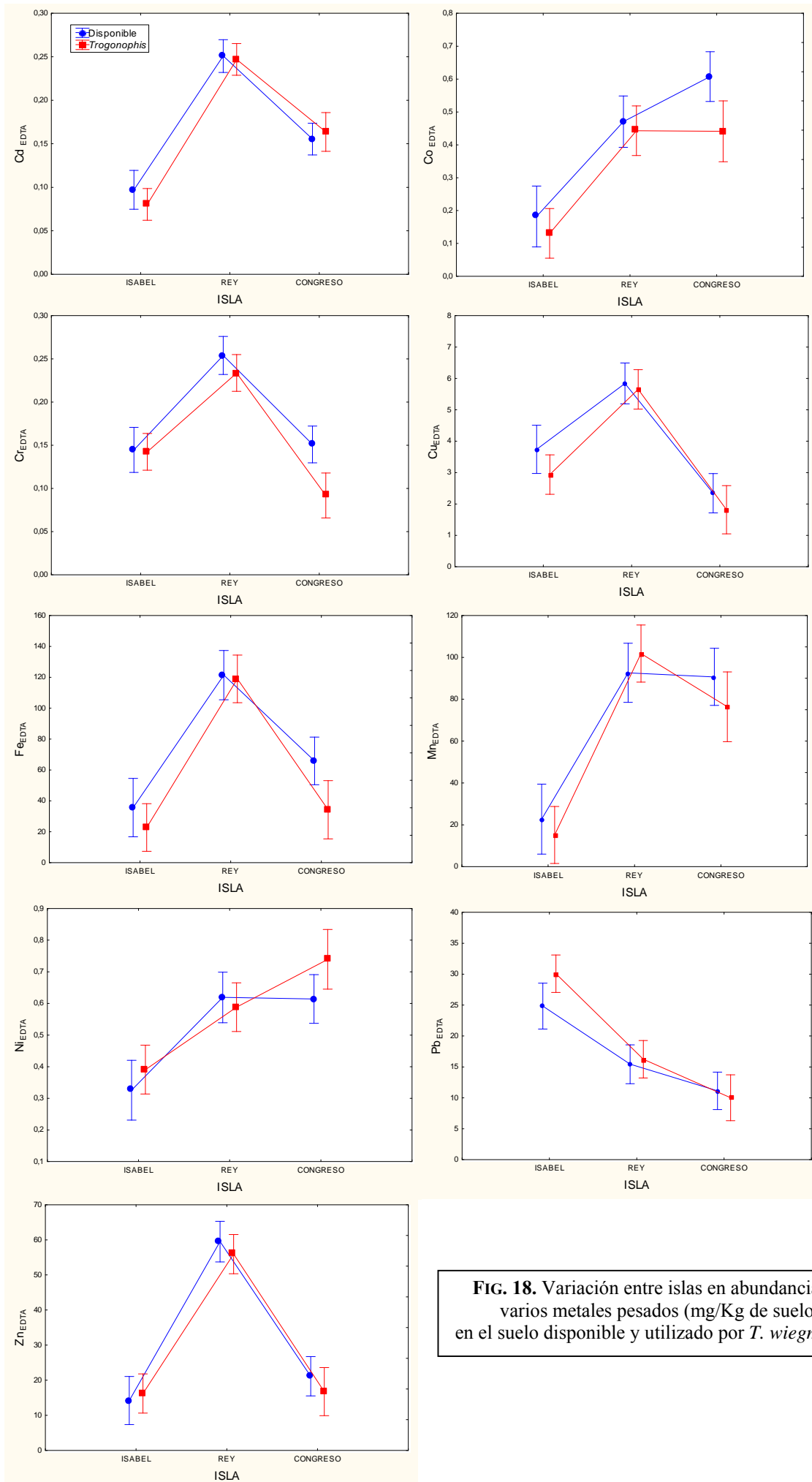
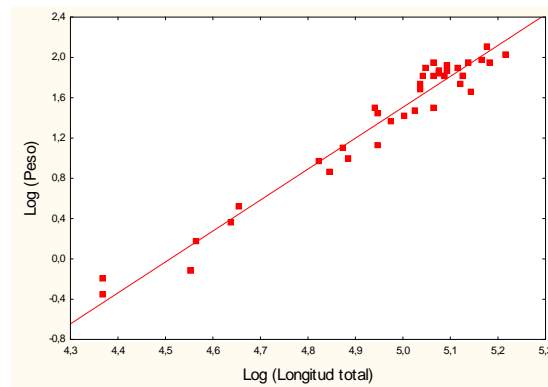


FIG. 18. Variación entre islas en abundancia de varios metales pesados (mg/Kg de suelo) en el suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

4.2. USO DE SUELOS Y ESTADO DE SALUD DE LAS CULEBRILLAS

Hemos utilizado los valores de condición corporal de las culebrillas como un indicador fácil de estimar en muestreos futuros, incluso por personal no especializado, de la condición y las reservas de grasa de las culebrillas, y por tanto de su estado de salud. El peso depende estrechamente de la longitud corporal de los individuos ($r=0.98$, $F_{1,38}=917.04$, $P<0.0001$), de modo que se puede predecir en la población el peso a partir del tamaño (Fig. 19). Sin embargo, existen individuos cuyo peso es superior a lo esperado por su tamaño (i.e. puntos por encima de la línea de regresión) que se encuentran con condiciones corporales positivas (mejores de lo esperado), y otros individuos con pesos menores de lo esperado (i.e. puntos por debajo de la línea de regresión) que tienen condiciones corporales negativas (peores de lo esperado). Las condiciones corporales positivas indican un mejor estado de salud de las culebrillas.

FIG. 19. Relación entre Longitud total y Peso (ambas transformadas logarítmicamente) en *T. wiegmanni*. La recta de regresión indica el peso esperado para cada tamaño.



En su conjunto, no existen diferencias significativas entre islas en la condición corporal de las poblaciones de culebrillas (ANOVA bifactorial: $F_{2,31}=1.16$, $P=0.33$), no hay variaciones significativas entre sexos y edades ($F_{2,31}=0.57$, $P=0.57$) y la interacción no es significativa ($F_{4,31}=0.66$, $P=0.62$) (Fig. 20). Sin embargo, la variación interindividual en la condición de las culebrillas se relaciona significativamente con algunos parámetros indicadores del estado de conservación o degradación, natural o antropogénica, del suelo.

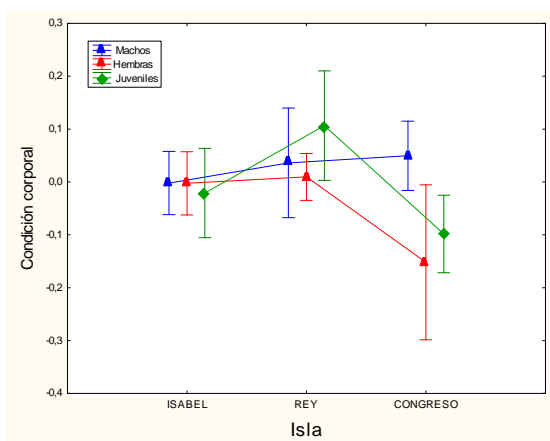


FIG. 20. Variaciones entre islas, y entre sexos y edades en la condición corporal de *T. wiegmanni*.

4.2.1. Alteraciones naturales

Efecto de la salinidad de los suelos

Aunque las culebrillas evitan ocupar suelos muy salinos como algunos de los presentes en la zona norte de la isla de Congreso (Ver apartado 4.1.3. y Fig. 7). Las pocas culebrillas que se encuentran en suelos con más conductividad eléctrica (i.e., más salinos) tienen peores condiciones corporales ($r=-0.34$, $F_{1,38}=5.01$, $P=0.03$) (Fig. 21). Esto puede deberse a la relación negativa que existe entre Ph del suelo y conductividad ($r=-0.30$, $F_{1,77}=7.62$, $P=0.007$) (Fig. 22).

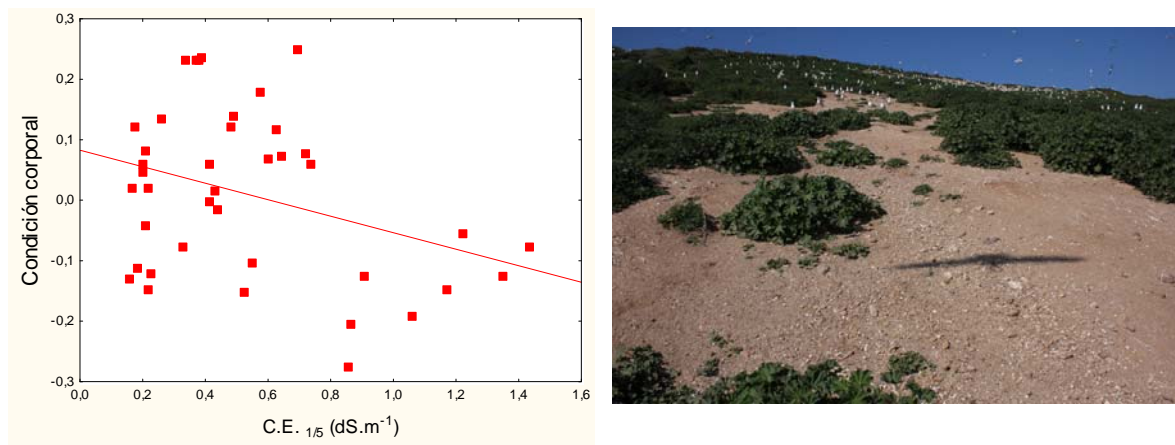


FIG. 21. Efectos de la salinidad del suelo (CE) sobre la condición corporal de *T. wiegmanni*.

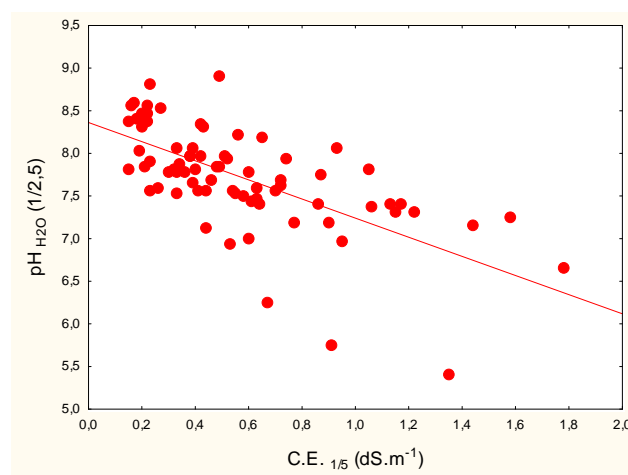


FIG. 22. Relación entre pH y salinidad del suelo (CE).

Efectos de la presencia de gaviotas

La presencia de colonias de nidificación o posaderos de gaviotas afecta, a través de los excrementos, a las características químicas del suelo (García et al. 2002a,b). Por ejemplo, en este estudio las muestras de suelo en puntos con influencia de las gaviotas presentan pH más ácidos, conductividad eléctrica más alta, niveles mucho más altos de C, N, NO_3^- , P, Cl^- , K^+ , y Na^{++} , y, lo que es peor, niveles más altos de metales pesados como Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni y Zn (Tabla 8; Fig. 23).

TABLA 8	Disponible vs. Uso		Influencia gaviotas		Interacción	
	$F_{1,75}$	<i>P</i>	$F_{1,75}$	<i>P</i>	$F_{1,75}$	<i>P</i>
<i>ANOVAs bifactoriales</i>						
pH H₂O	7.17	0.009	5.07	<0.0001	3.85	0.053
C.E.	0.35	0.55	8.24	0.005	1.45	0.23
C (%)	0.78	0.38	30.96	<0.0001	0.92	0.34
N (%)	0.78	0.38	60.79	<0.0001	0.08	0.77
NO₃⁻	0.15	0.69	13.00	<0.0006	0.46	0.50
Cl⁻	8.43	0.0048	6.24	0.015	2.24	0.14
K⁺	2.99	0.088	23.70	<0.0001	2.14	0.15
Na⁺⁺	0.79	0.38	11.89	<0.001	0.16	0.69
Cd	0.06	0.80	35.30	<0.0001	0.33	0.56
Co	0.66	0.42	20.66	<0.0001	0.23	0.63
Cr	0.27	0.60	4.68	0.03	0.06	0.81
Fe	0.22	0.64	15.01	0.0002	0.08	0.78
Mn	0.01	0.97	29.68	<0.0001	0.01	0.91
Ni	0.07	0.77	11.92	<0.001	0.26	0.61
Zn	0.13	0.72	15.69	0.00017	0.01	0.98

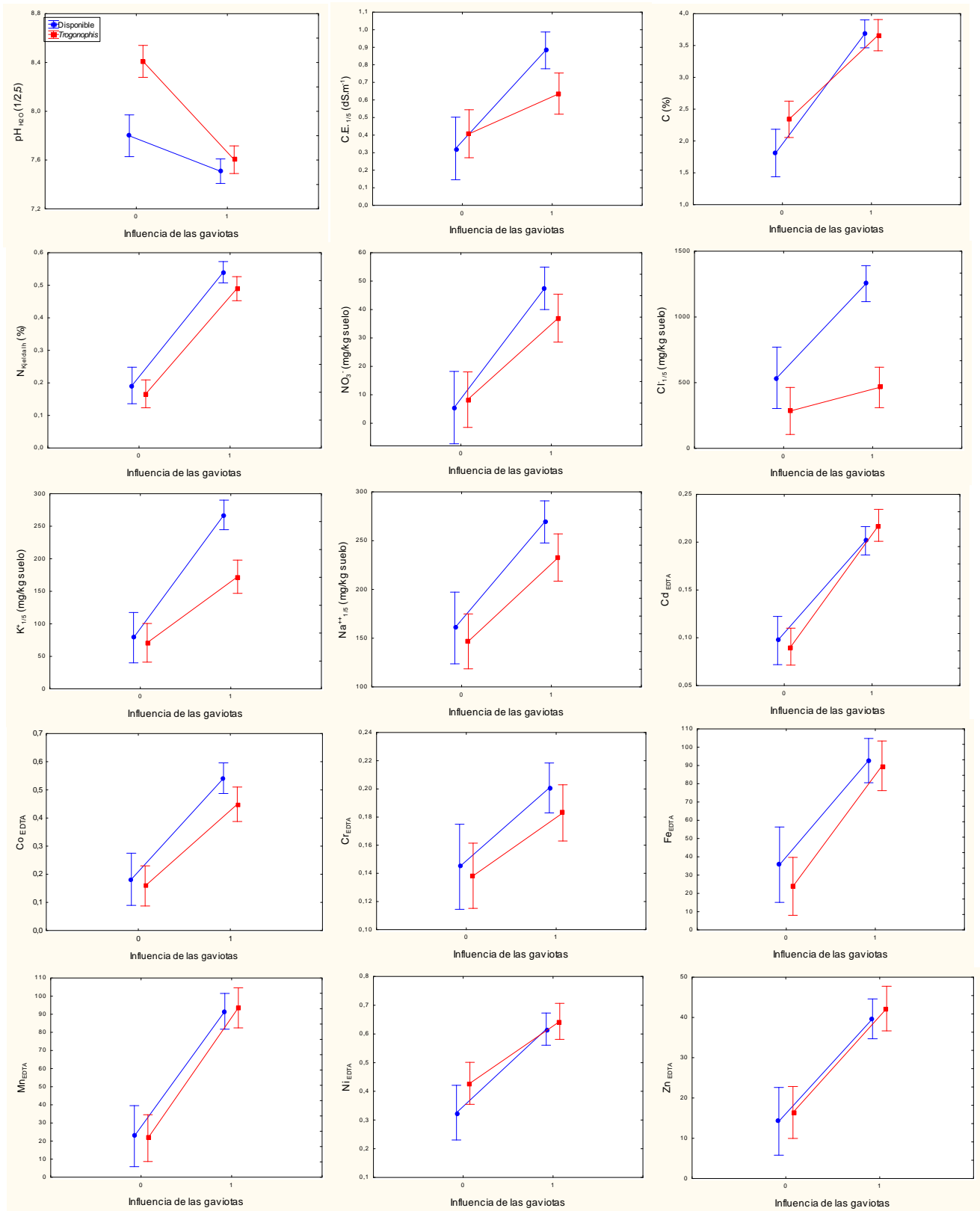


FIG. 23. Efectos significativos de la influencia de las gaviotas en el suelo disponible y utilizado por *T. wiegmanni*.

Este aumento de la materia orgánica y de contaminantes debido a la presencia de las gaviotas puede afectar a la condición de los animales a través de la transferencia de éstos en la cadena trófica. Sin embargo, la condición corporal de las culebrillas en suelos con influencia de las gaviotas no difiere de las localizaciones donde no existía esta influencia (ANOVA: $F_{1,38}=0.06$, $P=0.80$) (Fig. 24). Esta falta de efecto sobre la condición de las culebrillas puede deberse a que la inmensa mayoría de localizaciones de culebrillas en Congreso y Rey están afectadas por la presencia de gaviotas, mientras que las zonas sin efectos de las gaviotas se concentran en Isabel, y aquí las culebrillas pueden sufrir otros efectos antropógenos (ver más adelante), con lo que se confundirían al mezclarse varios efectos.

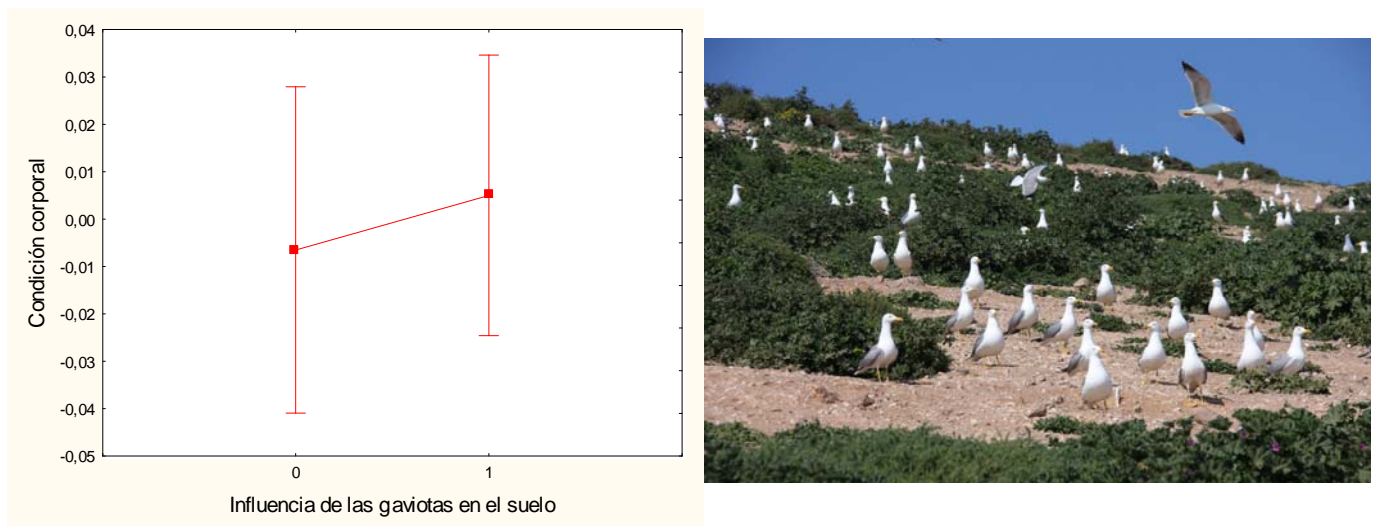


FIG. 24. Efectos de la influencia de las gaviotas en el suelo sobre la condición corporal de *T. wiegmanni*.

4.2.2. Alteraciones antropógenas

Los suelos con indicaciones de alteraciones antropógenas tienen un contenido significativamente mayor de grava (ANOVA: $F_{1,23}=5.21$, $P=0.03$) (Fig. 24). En la Isla de Isabel esta grava procede en muchos casos de restos de actividades antropógenas (restos de ladrillos, baldosas, o roca triturada artificialmente en suelos removidos o depósitos de “cascotes”). Las culebrillas que ocupan suelos con más grava tiene peores condiciones corporales ($r=-0.48$, $F_{1,38}=11.57$, $P=0.0016$) (Fig. 24), probablemente porque los suelos con más grava son más compactos y difíciles de excavar (ver apartado 4.1.6 y Fig. 13), lo que aumentaría el gasto energético de las culebrillas que viven allí, disminuyendo su condición corporal.



FIG. 24. Efectos del porcentaje de grava en el suelo sobre la condición corporal de *T. wiegmanni*.

Estas relaciones pueden explicar que en la isla de Isabel II, las culebrillas encontradas en suelos alterados con restos de actividades antropógenas tengan una condición corporal significativamente menor que las encontrados en suelos más naturales (Test de Mann-Whitney: $U=5.00$, $Z=2.59$, $N=15$, $P<0.01$) (Fig. 25).

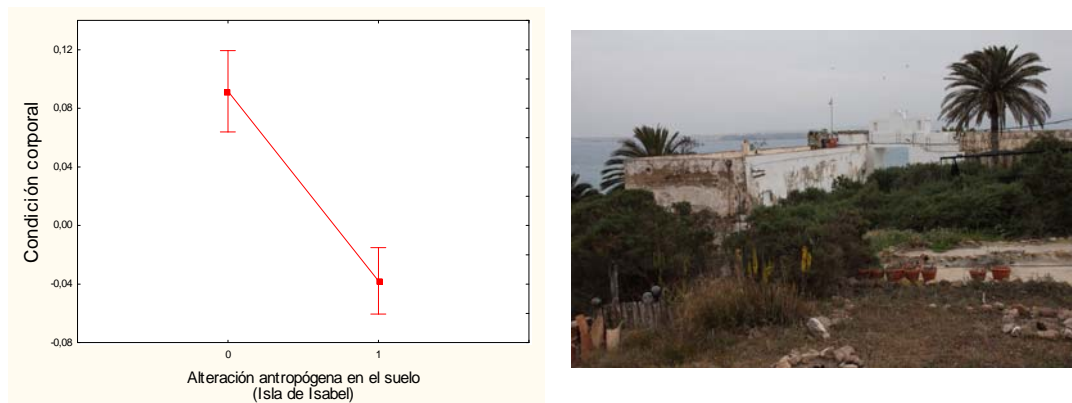


FIG. 25. Efectos de la alteración antropógena del suelo sobre la condición corporal de *T. wiegmanni*.

Piedras encaladas

En la Isla de Isabel, las culebrillas se encuentran con facilidad y son abundantes bajo las “piedras encaladas” que marcan el camino circular que rodea a la isla. Los suelos bajo piedras encaladas tienen una proporción significativamente mayor de carbonatos inorgánicos que bajo piedras sin encalar (ANOVA: $F_{1,37}=35.03$, $P<0.0001$) (Fig. 26), y la condición corporal de las culebrillas encontradas bajo piedras encaladas es menor, aunque no significativamente, que la de las encontradas bajo piedras no encaladas (Test de Mann-Whitney: $U=11.00$, $Z=-1.71$, $N=15$, $P=0.086$) (Fig. 26), lo que puede explicarse porque la condición corporal de las culebrillas decrece significativamente en suelos con más carbonatos ($r=-0.43$, $F_{1,38}=8.42$, $P=0.006$) (Fig. 27).

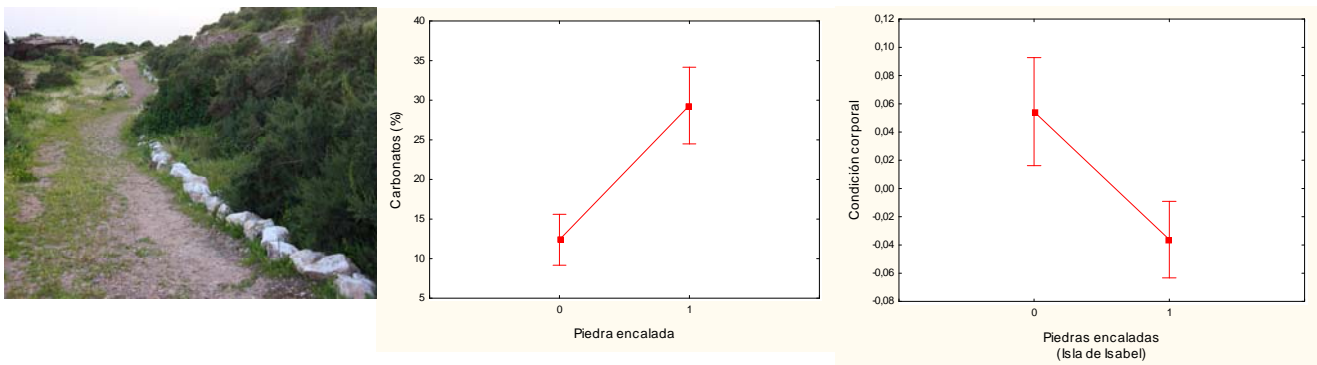


FIG. 26. Efectos de las “piedras encaladas” sobre los carbonatos en el suelo y sobre la condición corporal de *T. wiegmanni*.

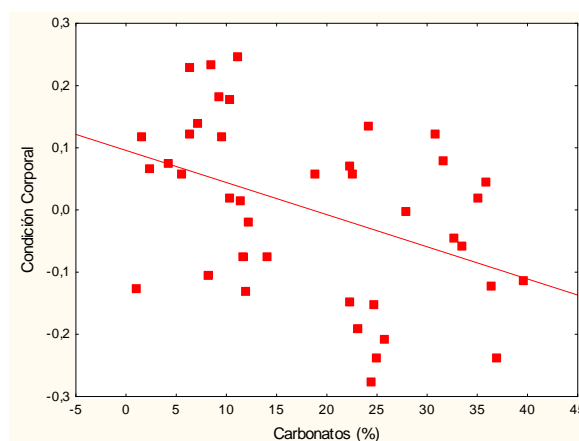


FIG. 26. Efectos del porcentaje de carbonatos en el suelo sobre la condición corporal de *T. wiegmanni*.

4.3. RESUMEN DE LOS RESULTADOS MÁS RELEVANTES

- Durante dos visitas (marzo de 2011 y 2012) se han muestreado las tres islas, y se han localizado y estudiado más de 150 individuos de *T. wiegmanni*, y analizado en detalle las características del suelo ocupado por las culebrillas y disponible en las Islas en 80 puntos de muestreo.

- Las culebrillas utilizan **microhábitats** que difieren en sus características de lo esperado por la disponibilidad de éstos en las Islas. Las culebrillas seleccionan microhábitats con una cobertura menor de plantas leñosas (i.e. zonas más abiertas) y con una cobertura mayor de rocas de mediano tamaño. Otras variables como la cobertura de vegetación herbácea y de piedras pequeñas no son seleccionadas por las culebrillas.

- La distribución de las culebrillas en las Islas Chafarinas no es homogénea y no ocupan por igual todos **los tipos de suelos** presentes. En Congreso se encuentran en suelos *Lithic_Torriorthent* y *Xeric_Haplocambid* con una frecuencia mayor de lo esperado, pero evitan completamente usar, y están por tanto ausentes en suelos *Typic_Haplosalid* y *Sodic_Haplocalcid*. En Isabel y en Rey, se encuentran en todos los tipos de suelos disponibles pero utilizan más los suelos *Lithic_Torriorthent*, *calcáreos* que los *Lithic_Torriorthent*, *no_calcáreos*,

- En cuanto a la **textura del suelo**, las culebrillas seleccionan suelos con porcentajes mayores de arena y limo, y menores de arcilla, pero que no varían en el porcentaje de grava de lo disponible. Las culebrillas utilizan más de lo esperado los suelos de clases texturales más arenosas (*Arenoso-franco* y *Franco-arenoso*) y menos los suelos que tienen un componente arcilloso importante (>20% de arcilla) (*Franco-arcillo-arenoso*) que son los más abundantes. Las culebrillas son poco abundantes en suelos más arcillosos (>30% de arcilla) (*Franco-arcillosos* y *Arcilloso*), pero también hay una similar escasez de estos suelos.

- La **compactación del suelo**, que afecta a la capacidad de excavar de las culebrillas, es mayor en suelos con más grava, más arcilla y menos arena, pero las culebrillas tienen que usar los suelos que hay disponibles en cada isla independientemente de su grado de compactación. **La profundidad del suelo** no es seleccionada pues las culebrillas se encuentran siempre en las capas superficiales.

- Las culebrillas seleccionan suelos con algunas **características químicas** diferentes de lo esperado por su disponibilidad. Así, las culebrillas usan suelos con más carbonatos, (sólo en Isabel), proporciones de C/N más altas (i.e. suelos menos humificados), pH más básico, y con menos iones cloruro, calcio, potasio, y magnesio (i.e menos salinos). Sin embargo, las culebrillas usan suelos con proporciones similares a lo disponible de carbono, nitrógeno, iones amonio, nitratos, fósforo, sulfatos, sodio, y similar conductividad eléctrica.

- Los **niveles de metales pesados** en los suelos utilizados por las culebrillas no difieren en ningún caso de los suelos disponibles. Sin embargo, hay diferencias entre islas. Hay varios patrones, en el caso del Cd, Co, Mn, y Ni, Isabel tiene valores menores que Rey y Congreso. Para el contenido en Cr, Cu, Fe y Zn, Rey tiene valores mayores que Isabel y Congreso. Por último, en el caso del Pb, Isabel tiene valores más altos que Rey y Congreso.

- La **condición corporal, como un indicador del estado de salud de las culebrillas**, se ve afectada por las alteraciones naturales y antropógenas en las islas. Las culebrillas que viven en suelos con más conductividad eléctrica (i.e. **suelos más salinos**) tienen peores condiciones corporales, lo que puede explicar su ausencia en las zonas con suelos salinos.

- La presencia de **colonias de nidificación o posaderos de gaviotas** afecta, a través de los excrementos, a las características químicas del suelo, incrementándose los niveles de materia orgánica y metales pesados contaminantes. Esto puede afectar a la condición de los animales a través de la transferencia de éstos metales pesados en la cadena trófica. Sin embargo, la condición corporal de las culebrillas en suelos con influencia de las gaviotas no difiere de las localizaciones donde no existía esta influencia.

- Las culebrillas que viven en suelos con más grava o con más carbonatos tienen peores condiciones corporales, esto hace que en Isabel, las culebrillas que viven en **suelos alterados con restos de actividades antropógenas** (que tienen porcentajes mayores de grava “artificial”) o debajo de **pedras encaladas** (que tienen proporciones mayor de carbonatos inorgánicos) tengan una condición corporal menor que las encontradas en suelos menos alterados.

5. ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

Como se ha puesto de manifiesto en anteriores trabajos (Martín et al. 2010, 2011a,b), este nuevo estudio confirma que el estado de conservación actual de las poblaciones de culebrilla mora en las Islas Chafarinas es aparentemente aceptable, pues la especie mantiene poblaciones de alta densidad, especialmente en las Islas del Rey e Isabel. Los resultados del presente estudio permiten realizar algunas sugerencias sobre las posibles estrategias de conservación de las culebrillas moras derivadas de las variaciones en el estado de degradación del suelo analizadas aquí.



- Los patrones de selección de microhábitats y de tipos de suelos parecen explicar que las culebrillas no estén presentes en determinadas **zonas de la Isla de Congreso que tienen suelos más salinos** (zona norte). La salinidad de estos suelos es natural, aunque también tienen influencia de las gaviotas, y por tanto no parece que deban tomarse ninguna medida, por otra parte muy costosa, para “restaurar” estas zonas que tienen condiciones ecológicas naturales peculiares. Dado que las culebrillas son abundantes en otros tipos de suelos que son mayoritarios en las islas, en cuanto a su superficie ocupada, la ausencia “natural” de culebrillas en suelos salinos no parece ser un problema mayor para su conservación.

- Se han identificado una serie de factores del estado de conservación de los suelos que afectan a la condición corporal de las culebrillas, y por tanto a su estado de salud. Sin embargo, estos efectos no parecen ser demasiado severos (la disminución de condición corporal parece pequeña) como para afectar al mantenimiento de las poblaciones de culebrillas. Por un lado, **los suelos con alteraciones antrópicas de Isabel** (con restos de ladrillos, baldosas, o roca triturada artificialmente en suelos removidos o depósitos de “cascotes”) son más compactos y difíciles de excavar por las culebrillas y esto debe afectar al gasto energético y



por tanto a la condición corporal de las culebrillas. Pensamos que la ausencia o menor abundancia de culebrillas en algunas zonas de Isabel más degradadas puede deberse al estado de alteración antrópica de los suelos, por lo que deberían estudiarse la posibilidad de restaurar estas zonas, mediante la eliminación de materiales artificiales, sobre todo en ciertos depósitos de cascotes y otros restos de construcciones. Las obras deberían realizarse con cuidado (por ej. sin utilizar maquinaria pesada) para no afectar a las posibles culebrillas y otra fauna que pudiera encontrarse allí, y para no alterar más aun el suelo. La restauración de estas áreas podría requerir además la posterior repoblación con matorrales autóctonos y posiblemente la repoblación de culebrillas al final del proceso.

- Las **“piedras encaladas” que marcan el camino circular que rodea a la isla de Isabel,**

y para formar escudos, también afectan al estado de conservación del suelo bajo ellas. El encalado de las piedras parece aumentar notablemente la cantidad de carbonatos inorgánicos en el suelo, posiblemente cuando la cal se va lavando con la



lluvia y depositándose en el suelo. El problema es que las culebrillas que viven en suelos con más carbonatos tienen condiciones corporales peores (aunque las causas concretas de este efecto están por determinar). Como las piedras han sido recolocadas de su posición original y concentradas, en muchos casos son las únicas disponibles para las culebrillas que las tienen que utilizar para termorregular y buscar alimento, y esto afecta a su condición corporal. Habría que estudiar en mayor detalle la magnitud e importancia de los efectos de estos carbonatos sobre la condición y otros aspectos del estado de salud de las culebrillas y otra fauna de reptiles y del suelo (invertebrados) que ocupan estas piedras. La abundancia de culebrillas bajo estas piedras encaladas parece indicar que las poblaciones no están amenazadas seriamente por esta práctica. En cualquier caso, se recomienda que en las otras islas (Rey y Congreso) donde también se utilizan piedras para marcar los caminos no se proceda a su encalado como medida preventiva. Se recomienda además que no se siga alterando la disposición y localización natural de las piedras de mediano tamaño, pues estas son seleccionadas por las culebrillas y otros reptiles y constituyen un recurso ecológico importante que puede afectar a sus poblaciones.



- Este estudio ha vuelto a poner de manifiesto que la **presencia de las gaviotas** altera profundamente la composición química del suelo, aumentando notablemente la cantidad de materia orgánica y de **metales pesados**. Este efecto ya fue detectado en años anteriores en las Islas Chafarinas (García et al. 2002a,b) y ha sido encontrado también en otras islas en condiciones

climáticas muy diferentes (Otero 1998a,b). Los metales pesados procedentes de las heces de las gaviotas, se transfieren a la vegetación, y posiblemente a la fauna. El aumento progresivo de las poblaciones de gaviotas patiamarillas puede hacer que estos efectos se estén incrementando.

La alta presencia de gaviotas en toda la superficie de las islas de Congreso y Rey hacen que una selección por las culebrillas de las pocas zonas de suelos no alteradas, si fuera posible y fueran capaces de discriminar este aspecto, limitaría enormemente la superficie disponible útil. Así, las culebrillas tienen que ocupar suelos que no difieren en la presencia de metales pesados de los disponibles. Sin embargo, no hemos encontrado un efecto significativo de los niveles de metales pesados en el suelo sobre la condición corporal de las culebrillas, por lo que podría pensarse inicialmente que la transferencia a estos reptiles es baja. Pero estos metales pesados podrían afectar más bien a otros aspectos de la salud no estudiados o al funcionamiento del sistema reproductivo (por ej. disminuyendo la fertilidad en una especie que ya de por sí tiene un bajo número de crías). Se recomienda que futuros estudios determinen por un lado las concentraciones de metales pesados en los tejidos de las culebrillas y otros reptiles de las islas, así como en sus presas (insectos), y los posibles efectos de los niveles de estos metales pesados (actuales y futuros si se incrementaran con el aumento de gaviotas) sobre el mantenimiento de las poblaciones de culebrillas.

- Se recomienda, como ya se hizo en el anterior informe, que se establezca un **plan de seguimiento rutinario de la condición corporal de las culebrillas y de la proporción de crías** encontradas, La metodología de censo de la culebrilla mora en las Islas Chafarinas es sencilla (ver Martín et al. 2010), pudiéndose establecer en las tres islas unos transectos de muestreo permanentes que en el futuro puedan ser repetidos regularmente por el equipo de seguimiento, con el fin de obtener datos de variaciones relativas en la abundancia de

individuos observados, que puedan ser comparados entre años y relacionados con datos de variaciones climatológicas, cambios en el estado de conservación del hábitat, etc.

- Como conclusión final, destacamos que probablemente uno de los mayores problemas de conservación para esta especie, que pasa desapercibida en gran medida por sus hábitos subterráneos, es la **falta de conocimiento e información** sobre su ecología y la dificultad de percibir y estimar como se ven afectadas sus poblaciones si no es mediante la realización de estudios específicos. Por ello es necesario dar continuidad a los estudios realizados hasta el momento para generar información a más largo plazo, información imprescindible para conocer la viabilidad de la población de culebrillas en un futuro y, por lo tanto, para la toma de decisiones de manejo oportunas que permitan afrontar los problemas de conservación que puedan surgir.



6. BIBLIOGRAFÍA

- BONNET, X., y NAULLEAU, G. 1994. Utilisation d'un indice de condition corporelle (BCI) pour l'étude de la reproduction chez les serpents. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences- Series II Biologies* 317: 34-41.
- BONS, J. y GENIEZ, P.H. 1996. *Amphibiens et Reptiles du Maroc (Sahara Occidental compris): Atlas Biogéographique*. Asociación Herpetológica Española, Barcelona.
- BONS, J. y SAINT-GIRONS, H. 1963. Ecologie et cycle sexuel des amphisbeniens du Maroc. *Bulletin Société des Sciences Naturelles et physiques du Maroc* 43:117-159.
- CIVANTOS, E. 2000. Catalogación, distribución y abundancia de la herpetofauna de las Islas Chafarinas. En: *Control y seguimiento de ecosistemas en el RNC de las Islas Chafarinas*. Gómez López T. et al. (eds). Libro II. GENA SL– OAPN. Dirección General de la Naturaleza. Informe Inédito.
- CIVANTOS, E. 2004. Catálogo de reptiles de las Islas Chafarinas. En: *Servicio de apoyo al sistema de información, control y soporte logístico del R.N.C. Islas Chafarinas*. Gómez López, T. et al. (eds). GENA SL– OAPN. Dirección General de la Naturaleza. Informe Inédito.
- CIVANTOS, E., MARTÍN, J. y LÓPEZ, P. 2003. Fossorial life constrains microhabitat selection of the amphisbaenian *Trogonophis wiegmanni*. *Canadian Journal of Zoology* 81: 1839-1844.
- CLEMENTE, L., GARCÍA, L.V. y RODRÍGUEZ, A. 1999. Los Suelos de la Isla del Congreso (Chafarinas). En: Pallí Buxó, L.y Roque Pau, C. (eds.) *Avances en el estudio del Cuaternario español*, Gerona. Pp. 201-206..
- DOUMERGUE, F. 1901. *Essai sur le faune herpétologique de l'Oranie*. Fouque Ed. Orán.
- FAHD, S. 1993. *Atlas préliminaire des Reptiles du Rif*. Tesis Doctoral. Univ. Abdelmalek, Essaudi, Tetuan.
- FAHD, S. y PLEGUEZUELOS, J.M. 2001. Los reptiles del Rif (Norte de Marruecos) . II: anfisbenios, ofidios. Comentarios sobre la biogeografía del grupo. *Revista Española de Herpetología* 15: 13-36.
- GANS, C. 2005. Checklist and bibliography of the amphisbaenia of the world. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 289: 1-130.
- GARCÍA, L.V. 2005. Suelos de las Islas Chafarinas y sus relaciones ecológicas. *Ecosistemas* 14 (3): 135-139.

- GARCÍA, L.V., MARAÑÓN, T., OJEDA, F., CLEMENTE, L. y REDONDO, R. 2002a. Seagull influence on soil properties, chenopod shrub distribution, and leaf nutrient status in semi-arid Mediterranean islands. *Oikos* 98: 75-86.
- GARCÍA, L.V., MARAÑÓN T. y CLEMENTE, L. 2002b. Animal influences on soil properties and plant cover in the Chafarinas Islands (NW Africa). En: Rubio, J. L., Morgan, R.P.C. y Asins, S. (Eds.) *Man and soil at the third millennium* Vol. 1, Geoforma Ed., Logroño,. pp. 705-712.
- GARCÍA, L.V., CLEMENTE, L., GUTIÉRREZ, E. y JORDÁN, A. 2007. Factores condicionantes de la diversidad edáfica en las islas Chafarinas. En: Bellinfante, N. y Jordán, A. (Eds.) *Tendencias Actuales de la Ciencia del Suelo*, pp. 828-833.
- LÓPEZ, P. 2003. Culebrilla ciega - *Blanus cinereus*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Carrascal, L. M., Salvador, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
Disponibile online en: <http://www.vertebradosibericos.org/reptiles/blacin.htm>
- LÓPEZ, P., CIVANTOS, E. y MARTÍN, J. 2002. Body temperature regulation in the amphisbaenian *Trogonophis wiegmanni*. *Canadian Journal of Zoology* 80: 42-47.
- MARTÍN, J., GONZALO, A., POLO-CAVIA, N., LÓPEZ, P. y CIVANTOS, E. 2010. Ecología y Estado de Conservación de la Culebrilla Mora (*Trogonophis wiegmanni*) en las Islas Chafarinas. Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Mto. Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Informe Inédito.
- MARTÍN, J., POLO-CAVIA, N., GONZALO, A., LÓPEZ, P. y CIVANTOS, E. 2011a. Distribución, abundancia y conservación de la culebrilla mora (*Trogonophis wiegmanni*) en las Islas Chafarinas. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española* 22: 107-112.
- MARTÍN, J., POLO-CAVIA, N., GONZALO, A., LÓPEZ, P. y CIVANTOS, E. 2011b. Structure of a population of the amphisbaenian *Trogonophis wiegmanni* in North Africa. *Herpetologica* 67: 250-257.
- MARTÍN, J., POLO-CAVIA, N., GONZALO, A., LÓPEZ, P. y CIVANTOS, E. 2011c. Social aggregation behaviour in the North African amphisbaenian *Trogonophis wiegmanni*. *African Journal of Herpetology* 60: 171-176.
- MARTÍN, J., POLO-CAVIA, N., GONZALO, A., LÓPEZ, P. y CIVANTOS, E. En prensa. Sexual dimorphism in the North African amphisbaenian *Trogonophis wiegmanni*. *Journal of Herpetology*.
- MATEO, J.A. 1991. Los anfibios y Reptiles de Ceuta, melilla, Chafarinas, peñón de Vélez de la Gomera, Peñón de Alhucemas e islotes. *Revista Española de Herpetología* 5: 37-41.

- MATEO, J.A. 1997: Los anfibios y reptiles de Ceuta, Melilla, Chafarinas y los peñones de Alhucemas y Vélez de la Gomera. En: *Distribución y Biogeografía de los anfibios y Reptiles en España y Portugal*, J.M. Pleguezuelos (Ed.). Monogr. Herpetol., 3: 451-464.
- MATEO, J.A., JOGER, U., PLEGUEZUELOS, J., SLIMANI, T. y MARTÍNEZ-SOLANO, I. 2008. *Trogonophis wiegmanni*. In: IUCN 2010. *IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2010.1. <www.iucnredlist.org>.
- MENDONÇA, B. y HARRIS, D.J. 2007. Genetic variation within *Trogonophis wiegmanni* Kaup 1830. *Belgian Journal of Zoology* 137: 239-242.
- OTERO, X.L. 1998a. Influencia de la colonia de gaviota patiamarilla (*Larus cachinnans* Pallas) sobre el contenido de nutrientes (amonio y fósforo) en los suelo de los acantilados del Parque Natural de las Islas Cies (SO de Galicia, NO de España). *Thalassas* 14: 57-62.
- OTERO, X.L. 1998b. Effects of nesting yellow legged gulls (*Larus cachinnans* Pallas) on the heavy metal content of soils in the Cies Islands (Galicia, North-west Spain). *Marine Pollution Bulletin* 36: 267-272.
- PLEGUEZUELOS J. M., MÁRQUEZ R.y LIZANA M. 2002. *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetologica Española (2ª impresión), Madrid, 587 pp.
- SCHLEICH, H.H., KÄSTLE, W. y KABISCH, K. 1996. *Amphibians and Reptiles of North Africa*. Koeltz Sci. Books. Koenigstein, Alemania.
- SIEGEL, S. y CASTELLAN, N.J. 1988. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. McGraw Hill. , New York.
- SOKAL, R.R., y ROHLF, F.J. 1995. *Biometry*. Freeman, New York.

