
¿Dónde buscar troglobiontes? Ensayo de una cartografía predictiva con MaxEnt en Gran Canaria (islas Canarias)

M. Naranjo, Á. C. Moreno & S. Martín

Naranjo, M., Moreno, Á. C. & Martín, S., 2014. ¿Dónde buscar troglobiontes? Ensayo de una cartografía predictiva con MaxEnt en Gran Canaria (islas Canarias). *Arxiu de Miscel·lània Zoològica*, 12: 83–92.

Abstract

Where should we search for troglobionts? A study of predictive cartography using MaxEnt in Gran Canaria (Canary Islands, Spain).— A total of, 160 terrestrial troglobiont species are known to date in the Canary Islands. These species are mainly located on the youngest islands that have abundant volcanic tubes (Tenerife, La Palma and El Hierro). On Gran Canaria, an older island with few volcanic caves, the hypogean fauna was considered poor until recent explorations in the mesocavernous shallow substratum and water mines were carried out, with remarkable results. The island covers an area of 1,560 km² and has a maximum height of 1,949 m. As ecological diversity is high, it is fundamental to identify the best areas to conduct effective sampling. Software for species habitat modelling such as MaxEnt, can be useful to select such areas, creating species distribution maps from environmental data. We obtained a potential distribution map using MaxEnt and including all the known troglobiont species of the island. This predictive map is statistically significant and accurately classifies a high percentage of the observed data. Lithology and average rainfall are the two variables that best predict the presence of these species. Basaltic materials —preferably modern— and gravitational landslides are good places for finding subterranean fauna. Locations with high average rainfall appear to be the most appropriate for this purpose.

Key words: Troglobionts, Fauna, Modelling, SDM, Habitat, Gran Canaria, Canary Islands.

Resumen

¿Dónde buscar troglobiontes? Ensayo de una cartografía predictiva con MaxEnt en Gran Canaria (islas Canarias).— En las islas Canarias se conocen actualmente 160 especies de troglobiontes, localizadas principalmente en las islas más recientes y con más tubos volcánicos (Tenerife, La Palma y El Hierro). En Gran Canaria, una isla más antigua y con escasas cavidades volcánicas, la fauna hipogea se consideraba pobre hasta la exploración reciente del medio subterráneo superficial (MSS) y de las minas de agua, con resultados notables. La isla, con 1.560 km² y 1.949 m de altitud, tiene una elevada diversidad ecológica, por lo que resulta fundamental identificar cuáles son las mejores zonas para realizar muestreos. Algunos programas de modelado, como MaxEnt, pueden ayudar a seleccionar dichas zonas, al construir mapas de distribución de especies a partir de variables ambientales. Aplicando dicha herramienta al conjunto de especies troglobiontes de la isla, se ha

obtenido un mapa de distribución potencial que clasifica correctamente un elevado porcentaje de los datos de presencia observada y que ha resultado significativo. La litología y la precipitación media son las variables que mejor pronostican la presencia de las especies. En este caso los materiales basálticos —preferentemente modernos— y los deslizamientos gravitacionales son los lugares más adecuados para localizar troglobiontes. Estos lugares resultan óptimos cuando tienen una elevada precipitación media.

Palabras clave: Troglobiontes, Fauna, Modelado, SDM, Hábitat, Gran Canaria, Islas Canarias.

Resum

On buscar troglobis? Assaig d'una cartografia predictiva amb MaxEnt a Gran Canària (illes Canàries).— Actualment, a les illes Canàries es coneixen 160 espècies de troglobis, localitzades principalment a les illes més recents i amb més tubs volcànics (Tenerife, La Palma i El Hierro). A Gran Canària, una illa més antiga i amb escasses cavitats volcàniques, la fauna hipogea es considerava pobra fins a l'exploració recent del medi subterrani superficial (MSS) i de les mines d'aigua, amb resultats notables. L'illa, amb 1.560 km² i 1.949 m d'altitud, té una elevada diversitat ecològica, raó per la qual resulta fonamental identificar quines són les millors zones per fer mostres. Alguns programes de modelatge, com ara MaxEnt, poden ajudar a seleccionar aquestes zones mitjançant la construcció de mapes de distribució d'espècies a partir de variables ambientals. Aplicant aquesta eina al conjunt d'espècies de troglobis de l'illa, s'ha obtingut un mapa de distribució potencial que classifica correctament un percentatge elevat de les dades de presència observada que ha resultat significatiu. La litologia i la precipitació mitjana són les variables que pronostiquen millor la presència de les espècies. En aquest cas els materials basáltics —preferentment moderns— i els lliscaments gravitacionals són els llocs més adequats per localitzar troglobis. Aquests llocs resulten òptims quan tenen una precipitació mitjana elevada.

Paraules clau: Troglobis, Fauna, Modelatge, SDM, Hábitat, Gran Canària, Illes Canàries.

Rebut: 09/01/14; Acceptació condicional: 19/05/14; Acceptació definitiva: 02/06/14

Manuel Naranjo, Àngel C. Moreno & Sonia Martín, Sociedad Entomológica Canaria Melansis, c/ Guaydil 3, 1º A, Las Palmas de Gran Canaria, 35016 Islas Canarias.

E-mail: melansis@hotmail.com

Introducción

Las islas Canarias constituyen un territorio de origen volcánico con una alta biodiversidad de invertebrados terrestres. En la actualidad se conocen en el archipiélago unas 160 especies de artrópodos troglobiontes (Oromí et al., 2012), localizados principalmente en las islas más recientes y con mayor número de cavidades (caso de Tenerife, La Palma y El Hierro). Gran Canaria es una isla antigua con escasos tubos volcánicos, por cuya razón la exploración del medio hipogeo ha sido limitada. De hecho, hasta la presente década tan solo se conocían dos especies hipogeas: *Spermophorides flava* Wundelirch, 1992 y *Symploce microphthalmal* Izquierdo & Medina, 1992. Sin embargo, en los últimos años se han descubierto nuevas grutas (Fernández & Naranjo, 2011) y se ha comenzado a muestrear el medio subterráneo superficial (MSS) y las cavidades artificiales (minas de extracción de agua) obteniéndose excelentes resultados (Naranjo et al., 2009). Estas nuevas opciones de muestreo han abierto enormes posibilidades de exploración puesto que en Gran Canaria se calcula la existencia de más de 400 galerías/minas de agua (Suárez Moreno, F., com. pers.), lo que supone un número elevado de localidades potencialmente prospectables. En este contexto, la utilización de herramientas que nos permitan seleccionar las mejores localidades de muestreo resulta de gran utilidad porque permite optimizar esfuerzos y recursos.

El uso de modelos de distribución de especies (SDM) para predecir la probabilidad de presencia de una especie determinada en un área de estudio es cada vez más frecuente en trabajos de investigación ecológica. Mediante la relación de localizaciones conocidas y la información de una serie de variables explicativas se pueden elaborar mapas predictivos de distribución de especies, de cambio climático o modelos de riesgos, como en el caso de la gripe aviar (Illera et al., 2010; Moriguchi et al., 2013; Cornuault et al., 2013; McFarland et al., 2013). Estos modelos establecen relaciones entre la presencia de las especies y las condiciones ambientales y biofísicas, existiendo varios métodos capaces de predecir el hábitat potencial de dichas especies. Una de las herramientas para elaborar SDM es el modelado de máxima entropía (MaxEnt, acrónimo en inglés de Maximun Entropy), un algoritmo que ha sido adaptado para la construcción de modelos de distribución potencial de especies (Phillips et al., 2004, 2006).

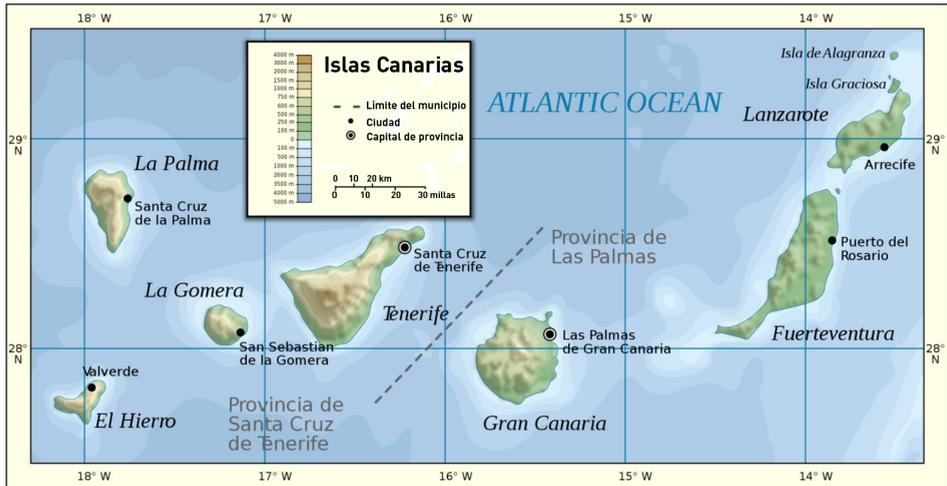
El objetivo de este trabajo es elaborar un mapa de distribución potencial de invertebrados troglobiontes en Gran Canaria mediante la herramienta MaxEnt con el propósito de determinar, a modo de ensayo, qué zonas de la isla son las más adecuadas para este grupo de especies, de manera que se puedan seleccionar y priorizar las más idóneas en futuros trabajos de investigación.

Área de estudio y método

El área de estudio es la isla de Gran Canaria, islas Canarias (27° 37' y 29° 25' N; 13° 20' y 18° 10' W), con una superficie de 1.560 km² y una altitud de 1.950 m (fig. 1). Es la tercera isla más antigua del archipiélago, con 14,5 m.a. (Carracedo, 2011), después de Fuerteventura y Lanzarote. Destaca por la diversidad de materiales volcánicos de distintas fases eruptivas que abarcan desde el Mioceno hasta las más recientes del Holoceno (Rodríguez-González et al., 2008). El clima es de naturaleza subtropical con temperaturas suaves gracias a la influencia de los vientos alisios. Las precipitaciones varían notablemente con la orientación y el gradiente altitudinal oscilando entre los 100 mm de media anual, en la costa, a más de 800 mm en sectores montañosos de la vertiente norte (varios autores, 2012).

La elaboración del modelo de distribución de fauna troglobionte se realizó mediante MaxEnt (Maximun Entropy Modelling of Species Geographical Distribution, versión 3.3.3 k, <http://www.cs.Princeton.edu/~schapire/maxent>), a partir de datos de presencia de especies. MaxEnt compara los valores del conjunto de variables explicativas en formato GIS de cada localidad con presencia, con los valores de esas mismas variables en una muestra de 10.000 puntos seleccionados al azar en el área de estudio (ver Phillips et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008). El resultado es un valor comprendido entre 0 y 1 para cada píxel del área de estudio, que más que la probabilidad de presencia indica el grado de idoneidad del hábitat. La ventajas de esta aproximación son: 1) que permite trabajar con datos de solo presencia, 2) es poco sensible a pequeños errores relacionados con la localización espacial, 3) se puede utilizar con escaso número de localidades de presencia, y 4) permite incorporar variables explicativas continuas y categóricas conjuntamente (McFarland et al., 2013). Las variables explicativas utilizadas fueron la precipitación media anual (www.climaimpacto.com), la altitud sobre el nivel del mar según un modelo digital de elevaciones (DEM), el mapa geológico, el mapa de permeabilidades del sustrato geológico y el mapa de vegetación, en el cual se establecieron las siguientes clases: matorral, cañaverales-saucedas, comunidades de malpaíses, cultivos, formaciones boscosas, herbazales, suelos desnudos, suelos urbanos y caseríos. Estas capas GIS fueron elaboradas o modificadas mediante GRASS 6.4.2 (GRASS Development Team, 2012) con una resolución de 50 metros/píxel.

Para la elaboración del modelo se ejecutaron 10 réplicas de MaxEnt utilizando en cada submuestra el 70% de los datos de presencia (n = 49) seleccionados al azar, y el 30% restante para la validación del modelo resultante. La importancia de las variables en el



Fuente: <http://www.zonu.com/Africa/Canarias/Fisicos.html>

Fig. 1. Mapa físico de las islas Canarias.

Fig. 1. Physical map of the Canary Islands.

modelo se determinó mediante el test de Jackknife implementado en MaxEnt. Para el resto de los parámetros de MaxEnt se mantuvieron los valores establecidos por defecto en el programa. La capacidad predictiva del modelo se evaluó mediante el análisis de las curvas ROC (receiving operating characteristics) y el cálculo del valor promedio de AUC (area under the curve).

En el modelo se tuvo en cuenta la presencia de invertebrados troglobiontes independientemente de la especie que se tratara. Los datos se obtuvieron de los muestreos realizados en distintas campañas por la Sociedad Entomológica Canaria Melansis (SEC) y el Dr. Heriberto López Hernández (tabla 1). Los muestreos englobaron cuevas naturales, minas de agua y trampas de MSS distribuidas en 17 localidades, que abarcaron un rango altitudinal comprendido entre 140–1.900 m (fig. 2). La mayor parte de las localidades se concentraron en la vertiente norte de la isla, que se caracteriza por presentar un vulcanismo más moderno, mayor pluviometría y cobertura vegetal. Dichas localidades englobaron la práctica totalidad de los pisos de vegetación existentes (tabaibal-cardonal, bosque termófilo, laurisilva, fayal-brezal y pinar), a excepción del matorral costero (fig. 2). Los sustratos litológicos analizados han comprendido lavas basálticas (no hay localidades analizadas sobre lavas traquíticas o fonolitas), lapillis, materiales aluviales, coluviales y tobas volcánicas de todos los ciclos eruptivos.

Resultados

El modelo obtenido clasifica correctamente un alto porcentaje (83%) de los datos de presencia observada, con una capacidad predictiva aceptable (AUC = 0,786). La calidad de las predicciones realizadas en el presente estudio ha dependido de la disponibilidad, en formato GIS, de variables de interés para predecir la presencia de especies troglobiontes y del grado de resolución espacial de las mismas, en algunos casos con un nivel de detalle más bien bajo. La litología y la precipitación media anual son las variables que

Tabla 1. Especies troglobiontes incluidas en el modelo: Np. Número de localidades con presencia.

Table 1. Troglobionts species included in the model: Np. Number of localities with presence.

Orden	Familia	Especie	Np
Julida	Julidae	<i>Dolichoziulus typhlocanaria</i>	4
		<i>Dolichoziulus oromii</i>	3
		<i>Dolichoziulus longunguis</i>	1
Araneae	Syarinidae	<i>Microcreagrina cavicola</i>	1
	Chthoniidae	<i>Lagynochthonius microdentatus</i>	1
		<i>Lagynochthonius subterraneus</i>	1
	Gnaphosidae	<i>Scotophaeus</i> sp. n.	3
	Linyphiidae	<i>Troglohyphantes</i> sp. n.	5
	Pholcidae	<i>Spermophorides flava</i>	1
Zygentoma	Nicoletiidae	<i>Canariletia holosterna</i>	2
Blattaria	Blattellidae	<i>Symploce microphthalma</i>	13
		<i>Symploce</i> sp. n.	1
Hemiptera	Meenoplidae	<i>Meenoplus roddenberryi</i>	1
Coleoptera	Carabidae	<i>Lymnastis</i> sp. n.	2
		<i>Parazuphium</i> sp. n.	1
	Staphylinidae	<i>Medon</i> sp. n.	2
		Curculionidae	<i>Oromia</i> sp. n. 1
	<i>Oromia</i> sp. n. 2		1
	<i>Laparocerus lopezi</i>		1
			<i>Laparocerus</i> sp. n.

más contribuyen a la capacidad predictiva del modelo (50,9% y 24%, respectivamente), mientras que el tipo de vegetación, la permeabilidad del sustrato geológico y la altitud tuvieron menor peso (< 12%). De acuerdo con los resultados obtenidos se obtiene una representación cartográfica (fig. 4) de las áreas con mayor potencial para detectar fauna hipogea (las probabilidades más altas indicarían un mayor grado de idoneidad). El modelo predice una idoneidad de hábitat mayor para los valores de precipitación media anual superiores a 300 mm en zonas que coinciden con coladas basálticas, conos volcánicos y deslizamientos gravitacionales.

También se pueden elaborar mapas predictivos binarios mediante la selección de un umbral a partir del cual se considera segura la presencia de especies troglobiontes. En este sentido, para un umbral (arbitrario) de idoneidad elevado (0,75) se puede obtener un mapa de polígonos superficiales de menores dimensiones, que pueden designarse como zonas prioritarias de muestreo en futuras investigaciones (fig. 5).

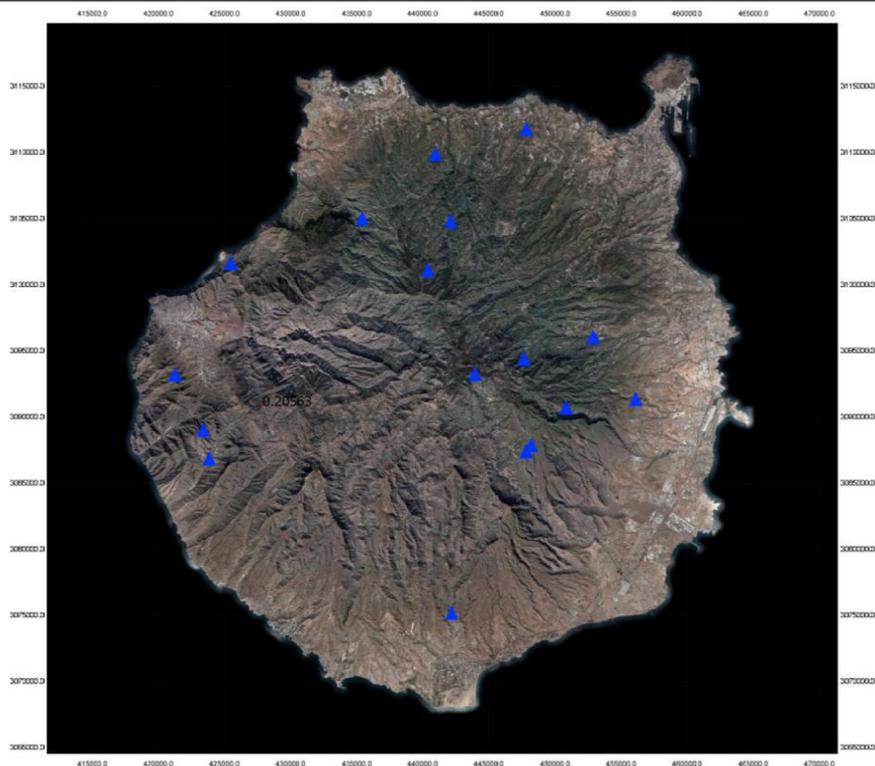


Fig. 2. Localidades con troglóbionts incluídas en el modelo.

Fig. 2. Localities with troglóbionts included in the model.

Discusión

El uso de MaxEnt para realizar modelos de distribución de especies ha sido ampliamente utilizado con resultados muy consistentes, incluso con pequeños tamaños muestrales (Pearson et al., 2007). Sin embargo, se desconoce su uso como herramienta predictiva para inferir la distribución potencial de fauna hipogea. En este sentido, el modelo obtenido en el presente análisis ilustra como, a partir de variables ambientales cartográficas, se puede obtener un mapa de hábitat potencial de especies hipogreas con una capacidad predictiva aceptable ($AUC = 0,786$) y que clasifica correctamente un 83% de los datos de presencia observada. No obstante, la incorporación de información cartográfica más precisa de las variables, así como la inclusión de otras, podría contribuir a obtener un mapa de distribución más preciso y robusto. Además, la incorporación de nuevas especies al modelo también podría aportar un mayor grado de representatividad. No obstante, y siguiendo el criterio de algunos autores (por ejemplo, McFarland et al., 2013), la utilización del percentil 10 (que indica la probabilidad de que el 10% de los puntos de presencia pueden caer fuera del área de predicción del área de distribución potencial) se puede utilizar como punto de corte para determinar cuándo se puede observar alguna especie troglóbionte; en el caso de nuestro modelo esto equivale a valores de idoneidad iguales o mayores a 0,34, lo que supone que más del 50% de la superficie insular sería apta para la presencia de algún troglóbionte (ver

rangos en figs. 3 y 4). Hay que destacar que las especies de cucarachas subterráneas englobadas en el género *Symploce* son, con diferencia, las especies troglobiontes mejor distribuidas en la isla y aunque sus requerimientos ecológicos no sean tan estrictos como los de otras especies cavernícolas, su mera presencia puede servir de bioindicador del medio subterráneo. Tan solo en tres localidades no se han encontrado ejemplares de *Symploce*, curiosamente aquellas que se situaban en cotas superiores a 1.000 m.

El mapa resultante de aplicar un umbral arbitrario de idoneidad superior a 0,75 permite filtrar y seleccionar las áreas prioritarias de muestreo; en el mapa obtenido (fig. 5) se pueden agrupar ocho grandes sectores de elevada idoneidad. Todos destacan por ser terrenos relativamente modernos que favorecen la presencia de cavernas, cavidades de moderado tamaño o un MSS desarrollado. En líneas generales se trata de coladas, conos basálticos y deslizamientos gravitacionales (grandes avalanchas y desprendimientos), en áreas con precipitaciones medias anuales superiores a 300 mm. Este tipo de medios presenta un elevado grado de intersticios o cavernas que facilita la percolación y que, por lo tanto, propicia la habitabilidad y el tránsito de fauna hipogea. Sin embargo, existe una elevada heterogeneidad ambiental (orientación, precipitación media, vegetación, edad geológica, etc) entre los sectores indicados. Por ejemplo, entre dichas áreas podemos encontrar deslizamientos gravitacionales datados en el Pleistoceno y recubiertos por subarbustos xéricos, zonas con pinares que cubren coladas volcánicas recientes o escorias y lapillis



Fig. 3. Troglobiontes más conspicuos de Gran Canaria: 1. *Oromia* sp. n. (foto: M. Naranjo); 2. *Symploce microphthalma* (foto: H. López). 3. *Troglohyphantes* sp. n. (foto: M. Naranjo).
 Fig. 3. Most conspicuous troglobionts in Gran Canaria: 1. *Oromia* n. sp. (photo: M. Naranjo); 2. *Symploce microphthalma* (photo: H. López). 3. *Troglohyphantes* n. sp. (photo: M. Naranjo).

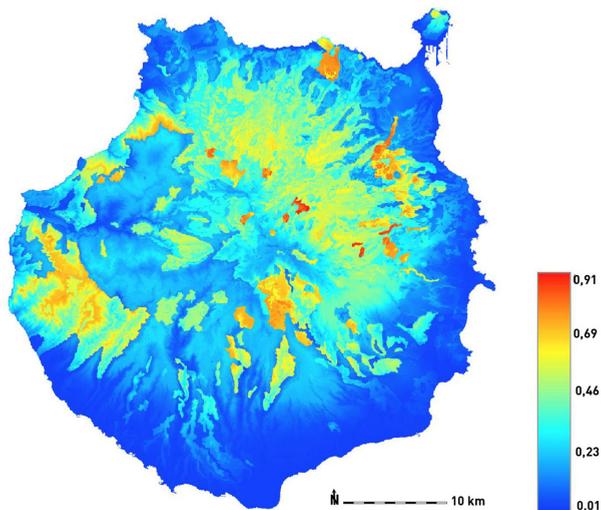


Fig. 4. Mapa de distribución potencial de especies troglobiontes en Gran Canaria. Los valores de probabilidad próximos a cero indican escasa idoneidad de hábitat y los próximos a uno una alta idoneidad.

Fig. 4. Potential distribution map of troglobiont species from Gran Canaria. Values close to zero indicate low probability of habitat suitability and close to one upcoming high suitability.

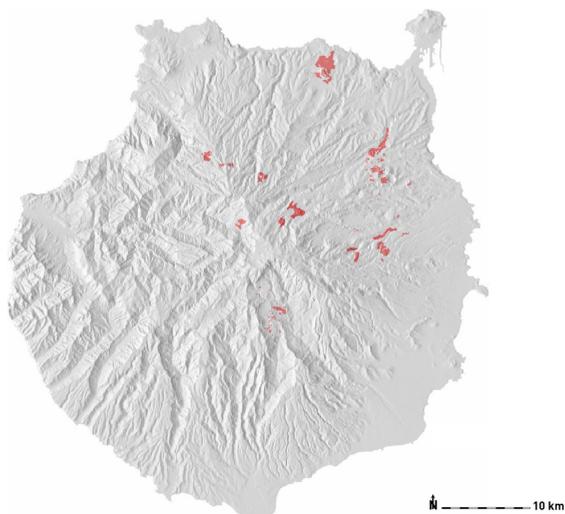


Fig. 5. Áreas con probabilidad de idoneidad de hábitat superior a 0,75. Dichas zonas se pueden considerar prioritarias para prospectar especies troglobiontes.

Fig. 5. Areas with a probability of more than 0.75 suitability habitat. These can be considered priority areas for prospecting troglobiont species.

en zonas de dominio potencial del monte verde. Todos estos sectores serían idóneos para la presencia de fauna cavernícola pero sus diferencias ecológicas, evolutivas y climáticas pueden influir notablemente en la composición y estructura de su biota. Por consiguiente, los sectores descritos deben estudiarse pormenorizadamente puesto que su composición y riqueza puede diferir notablemente. Los futuros estudios deben centrarse en dichas áreas, máxime cuando tan solo una localidad de las incluidas en el modelo ha quedado dentro de los sectores prioritarios de muestreo (según el mapa de idoneidad de hábitat superior a 0,75).

Agradecimientos

A Heriberto López, por cedernos información sobre las localidades de MSS muestreadas en Gran Canaria. A todos los que han participado en el proyecto “Fauna invertebrada de las cuevas de Gran Canaria” y, en especial, a la Consejería de Medio Ambiente y Emergencias del Cabildo de Gran Canaria por financiar el proyecto “Un mundo escondido: Fauna hipogea de la Reserva de la Biosfera de Gran Canaria”.

Referencias

- Carracedo, J. C., 2011. *Geología de Canarias I. Origen, evolución, edad y volcanismo*. Ed. Rueda, Madrid.
- Cornuault, J., Khimoun, A., Harrigan, R. J., Bourgeois, Y. X., Milá, B., Thébaud, C. & Heeb, P., 2013. The role of ecology in the geographical separation of blood parasites infecting an insular bird. *Journal of Biogeography*, 70(7): 1313–1323.
- Fernández, O. & Naranjo, M., 2011. Catálogo de cavidades de Gran Canaria. *Vulcania*, 9: 43–49.
- GRASS Development Team, 2012. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.2. Open Source Geospatial Foundation. <<http://grass.osgeo.org>>.
- Illera, J., Von Wehrden, H. & Wehner, J., 2010. Nest site selection and the effects of land use in a multi-scale approach on the distribution of a passerine in an island arid environment. *Journal of Arid Environments*, 74: 1408–1412.
- López, H. & Oromí, P., 2010. A pitfall trap for sampling the mesovivid shallow substratum (MSS) fauna. *Speleobiology Notes*, 2: 7–11.
- McFarland, K. P., Rimmer, C. C., Goetz, J. E., Aubry, Y., Wunderle Jr, J. M., Sutton, A., Townsend, J. M., Sosa, A. L. & Kirkconnell, A., 2013. A winter distribution model for Bicknell's Thrush (*Catharus bicknelli*), a conservation tool for a threatened migratory songbird. *PLoS*, 8: e53986.
- Moriguchi, S., Onuma, M. & Goka, K., 2013. Potential risk map for avian influenza A virus invading Japan *Diversity and Distributions*, 19: 78–85.
- Naranjo, M., Oromí, P., Pérez, A. J., González, C., Fernández, O., López, H. D. & Martín de Abreu, S., 2009. *Fauna cavernícola de Gran Canaria—Secretos del mundo subterráneo*. Sociedad Entomológica Canaria Melansis, Las Palmas de Gran Canaria.
- Oromí, P., Reboleira, A. S. & López, H., 2012. Hotspot within hotspot: subterranean fauna of the Canary Islands. *21st International Conference on Subterranean Biology – Abstracts*.
- Pearson, R. G., Raxworthy, C. J., Nakamura, M. & Townsend Peterson, A., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34: 102–117.
- Phillips, S. J., Dudík, M. & Schapire, R. E., 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In *Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning*: 655–662. Association for Computing Machinery (ACM) Press. ACM Press, New York.

- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190: 231–259.
- Phillips, S. J. & Dudik, M., 2008. Modelling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation *Ecography*, 31: 161–175.
- Rodríguez–González, A., Pérez Torrado, F. J., Fernández–Turiel, J. L., Hansen, A., Gimeno, D., Aulinas, M. & Carracedo, J. C., 2008. El volcanismo Holoceno de Gran Canaria. *Geo–Temas*, 10: 1341–1344.
- Varios autores, 2012. *Plan Territorial Especial Hidrológico de Gran Canaria (PTE–04). Vol. I*. Ed. Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.