

## Índice

Resumen .....	3
1.- Introducción.....	4
2.- Objetivos .....	6
3.- Metodología y desarrollo de la propuesta.....	7
4.- Resultados y discusión.....	9
4.1. Comunidades liquénicas .....	9
4.2. Poblaciones de <i>Rocella</i> .....	14
5.- Conclusiones.....	22
6.- Referencias bibliográficas .....	23
Anexo I: Cobertura de especies a nivel de inventario .....	26
Anexo II: Variables ambientales a nivel de inventario .....	42
Anexo III: Algunas imágenes del muestreo.....	57

# **Efecto de las deposiciones de nitratos procedentes del guano sobre las poblaciones de líquenes costeros y estructura poblacional de las especies del género *Roccella***

por

Gregorio ARAGÓN, María HERRERA, María PRIETO y Rocío BELINCHÓN

Área de Biodiversidad y Conservación, Dpto. Biología y Geología, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos. C/ Tulipán s.n., 28933 Móstoles (Madrid).

## ***Resumen***

El estudio realizado trata de esclarecer la influencia que tienen una serie de variables ambientales sobre la riqueza y diversidad de especies y sobre la distribución de las comunidades de líquenes costeros. Se ha trabajado sobre un total de 360 puntos de muestreo, repartidos en 30 zonas correspondientes a las tres islas. Las variables utilizadas a nivel de inventario fueron las siguientes: altitud, orientación, inclinación y tamaño de la superficie rocosa, distancia al suelo, textura, nº de grietas, nº fisuras, nº de oquedades y cobertura de guano. Para el desarrollo de la propuesta se utilizan Modelos Lineares Generalizados (proc. GENMOD) y Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA). Como principal resultado, destacamos que la riqueza y diversidad de especies disminuye considerablemente con un aumento de los depósitos de guano. Otras variables significativas fueron la pendiente y la altitud. Las especies más afectadas por la presencia de guano fueron *Ramalina rosacea*, *R. breviscula*, *Opegrapha lutulenta*, *Lecanora schistina*, *Lecanographa grumulosa*, *Roccella canariensis* y *R. phycopsis*.

Las especies del género *Roccella* son las más afectadas por la presencia de estos depósitos, por ello, se ha realizado un detallado estudio para determinar el tamaño, densidad y óptimo ecológico del género en las islas Chafarinas. Para ello se han establecido 7 áreas de muestreo en las que se han contabilizado hasta 2180 individuos. Se han modelizado el tamaño, densidad y número de individuos de las poblaciones mediante Modelos Lineares Generalizados. El óptimo ecológico para las poblaciones de *Roccella* se sitúa en los acantilados más elevados, sobre superficies desde muy inclinadas hasta verticales, por encima de los 100 m de altitud, con numerosas oquedades, en orientaciones norte y noroeste, y lejos de la nitrificación producida por los depósitos de guano. Sólo unos pocos enclaves de la isla de Congreso presentan condiciones óptimas para el desarrollo de *Roccella*.

## ***1. Introducción***

Durante el año 2006 y fruto de la colaboración con Parques Nacionales, se ha llevado a cabo el estudio de los líquenes en las tres islas que conforman el archipiélago de las Chafarinas. Como principal resultado, se ha elaborado un catálogo que asciende a las 92 especies de líquenes, muchas de ellas con una distribución restringida a las costas del SO de Europa y norte de África (ARAGÓN *et al.* 2006)

En dicho informe se resalta la importancia que tiene el archipiélago de Chafarinas en el intercambio genético entre ambos continentes, y cómo sus acantilados constituyen un refugio indiscutible para muchas especies.

Una vez concluido el estudio sobre diversidad, con los resultados y conclusiones que han surgido del trabajo, como tarea prioritaria, parece adecuado determinar el efecto que tienen los depósitos de guano sobre las comunidades de líquenes. De esta forma, podremos priorizar la conservación de ciertos enclaves de interés y realizar un seguimiento continuado de las poblaciones de líquenes más sensibles a la nitrificación. Así, podremos tener información sobre el estado de salud de la isla, siempre dependiendo del punto de vista de los líquenes.

Los líquenes, por su biología y modo de vida, se constituyen como excelentes indicadores ambientales. Presentan un metabolismo lento, carecen de mecanismos de defensa, tiene un ciclo de vida largo y acumulan sustancias disueltas en la atmósfera. En definitiva, su crecimiento está supeditado a la función clorofilica que lleva a cabo el alga dentro de la simbiosis. De esta forma, se ven directamente afectados por presiones físicas y químicas como el incremento de contaminantes, la intensificación agrícola o ganadera, la fragmentación de hábitats o la **excesiva nitrificación** (p.e.: RICHARDSON 1992; SOCHTING, 1995; FUERTES *et al.* 1997; KIVISTÖ & KUUSINEN 2000; DAHLMAN *et al.* 2004; PYKÄLÄ 2004; ARAGÓN *et al.* 2005; BELINCHÓN *et al.* 2006).

Las colonias nidificantes de gaviota de Audouin, con cerca de 3500 parejas, y de pardela cenicienta, con una cifra cercana al millar (SERRA 2006), producen la eutrofización y nitrificación del sustrato por depósitos de guano y restos animales. Los líquenes, por sus características ya comentadas, no son ajenos a este hecho, y reaccionan de forma diferente,

dependiendo de la sensibilidad a los compuestos nitrogenados (SOCHTING 1995; DAHLMAN *et al.* 2004).

De esta forma, una excesiva acumulación de nitratos procedentes del guano, afecta al intercambio de nutrientes que viene regulado por la diferencia de potencial entre la membrana y el exterior y, por tanto, inciden directamente sobre su permeabilidad, produciendo en muchos casos la muerte celular. Afecta también, al transporte de agua que se realiza a través de las células del córtex y, en última instancia a la fotosíntesis. La diferente sensibilidad de los líquenes a estos compuestos está estrechamente relacionada con la velocidad de reacción de la nitrato reductasa, encargada de transformar estas moléculas inorgánicas en orgánicas para el metabolismo liquénico.

Teóricamente uno de los géneros más afectados por la presencia de nitratos es el género *Roccella*. Se trata de un género fruticuloso, de querencias anitrófilas y aerohigrófilas que incluye alrededor de 70 especies ligadas a zonas costeras de todo el planeta. En las islas Chafarinas está representado por 3 especies (*R. canariensis*, *R. fuciformis* y *R. phycopsis*) que presentan un área de distribución restringida a algunas zonas costeras del SW de Europa, norte de África y la Macaronesia, y que actualmente se encuentran en franco retroceso debido a la degradación de las costas. Son especies de fácil identificación, cuya forma de crecimiento nos indica un estado de sucesión climácica en la colonización rupícola. La propia morfología del liquen nos facilita evaluar el tamaño de sus poblaciones y medir con mayor exactitud el tamaño de sus individuos.

En este sentido, se pretende establecer las relaciones y consecuencias entre la concentración de nitratos y el crecimiento, desarrollo y metabolismo de estas especies; los efectos de las deposiciones sobre el tamaño y densidad de las poblaciones de líquenes; y establecer el óptimo ecológico para dichas especies. De esta forma podremos gestionar las poblaciones liquénicas en zonas costeras sin influencia humana.

La finalidad del estudio va dirigida a gestionar y conservar aquellas especies cuyas poblaciones podrían verse afectadas por estos compuestos nitrogenados. De esta manera, se podrían controlar aquellas zonas con mayor riqueza de especies sensibles a los depósitos de guano y aquellos enclaves que constituyan el óptimo ecológico para las especies del género *Roccella*.

## 2. *Objetivos*

La pérdida de diversidad vegetal constituye una de las principales preocupaciones medioambientales de la sociedad en nuestros días. En este contexto, una de las causas que, en mayor medida, compromete la viabilidad de las poblaciones es la degradación que están sufriendo las costas en las últimas décadas. En este sentido, los acantilados de Chafarinas se constituyen como un refugio indiscutible para muchas especies, lejos de la influencia humana.

En coherencia con las líneas de actuación que se vienen desarrollando en las islas, conocer la respuesta de las diferentes especies frente a la concentración de nitratos provenientes de los depósitos de guano, aportará una información muy valiosa para la conservación de las especies y comunidades. Tengamos en cuenta, que muchas de las especies presentan un ámbito de distribución mundial muy restringido a costas del SO de Europa. Por otro lado, cada vez son más numerosas las especies del género *Roccella* que están siendo incluidas en listas rojas y catálogos de especies amenazadas en diferentes países.

La memoria que presentamos se establece como una continuación del estudio de presentado con anterioridad fruto de la colaboración con Parques Nacionales. Además, pretende ser una parte importante del proyecto de fin de carrera de María Herrera Hernando.

El desarrollo de la propuesta plantea dos objetivos muy concretos:

- Establecer el efecto que tienen los depósitos de nitratos procedentes del guano de las gaviotas sobre las comunidades de líquenes costeros.
- Determinar el tamaño, densidad y óptimo ecológico de las poblaciones del género *Roccella* (*R. canariensis*, *R. fuciformis*, *R. phycopsis*) en el archipiélago de las Chafarinas.

### **3. Metodología y desarrollo de la propuesta**

Para llevar a cabo el primer objetivo, se seleccionaron 10 zonas de muestreo correspondientes a coladas andesíticas en enclaves cercanos a la costa de cada una de las islas. En total 30 zonas de muestreo. De cada una de ellas se tomaron los datos macroambientales: coordenadas con GPS, inclinación, orientación al mar, distancia a la costa, distancia al punto de tierra más cercano y altitud. Para cada una de las 30 zonas, se establecieron 12 puntos de muestreo de 30 x 30 cm<sup>2</sup>, tomando superficies con diferente inclinación, textura, orientación y nitrificación. En cada uno de los 360 puntos de muestreo, se anotó la cobertura de las especies y se tomaron datos ambientales: n° grietas y fisuras, distancia al suelo, inclinación de la superficie de roca, orientación del inventario, tamaño de la roca y cobertura de los depósitos de guano.

#### **Análisis de datos**

En primer lugar se crearon varias matrices de datos. La matriz de variables ambientales contiene la información referente a los valores de las distintas variables en cada parcela y la matriz de especies.

Para determinar el efecto de las variables ambientales sobre la riqueza y cobertura de especies se utilizaron modelos Modelos Lineales Generalizados (proc. GENMOD) (McCULLAG & NELDER 1989). El nivel de significación de cada variable predictora fue estimada por medio del análisis de desviación estándar (GUISAN *et al.* 2002). Las variables predictoras se excluyeron del modelo cuando el nivel de significación fue mayor de 0,05. Para comprobar si las variables cumplían las condiciones de normalidad se contrastaron mediante el test de Kolmogorov-Smirnov con el paquete estadístico SPSS 14.0.

Para determinar las relaciones entre las variables ambientales y la distribución de las especies se utilizaron ordenaciones constreñidas. Con el fin de determinar la técnica de ordenación constreñida más apropiada, las matrices de especies fueron sometidas a un análisis DCA (Detrended Correspondence Análisis, Hill & Gauch 1980). El valor de longitud en el primer gradiente es de 4,34 unidades de DS respectivamente. Siguiendo las recomendaciones de TER BRAAK (1986) y LEGENDRE & ANDERSON (1999), los gradientes

mayores a 3 unidades de DS aconsejan utilizar un Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) como técnica de ordenación constreñida (BELINCHÓN 2005).

Por tanto, realizamos el análisis CCA entre la matriz de variables ambientales y la matriz de especies. Previamente, se testaron la correlaciones entre pares de variables ambientales con el paquete estadístico SPSS 14.0.

Mediante un análisis completo de la matriz de constricción se obtuvo la proporción de la variación total de la matriz principal que es capaz de explicar la matriz ambiental– es decir, la Variación Total Explicada (VTE). Para determinar el ajuste de la relación entre ambos conjuntos de datos, se realizó un test de permutaciones de Monte Carlo (1000 permutaciones). El estadístico F-ratio se construyó con la suma de todos los valores canónicos de propios denominados traza (TER BRAAK 1990; VERDONSTROT & TER BRAAK 1994; LEGENDRE & ANDERSON 1999) y la relación entre ambos conjuntos de datos solamente se consideró significativa cuando  $p < 0,05$ .

En los casos en que el modelo CCA resultó significativo se realizó el proceso de selección de variables paso a paso y hacia delante (forward stepwise procedure), con objeto de detectar la variable de constricción que explicaba más eficientemente la variabilidad de las dos matrices principales (citas en BELINCHÓN 2005). Este procedimiento consistió en el ordenamiento de las variables que constituyeron la matriz de constricción de forma decreciente según sus valores propios. Posteriormente, se incluyeron una a una en el modelo hasta que la nueva variable incluida dejó de ser significativa ( $p > 0,05$ ). La mejora del modelo reducido con cada variable seleccionada estuvo determinada por el test de permutaciones de Monte Carlo (1000 permutaciones) (BELINCHÓN 2005). Estos análisis se realizaron con el programa CANOCO para Windows v. 4.5 (TER BRAAK & SMILAUER 1997).

Para llevar a cabo el 2º objetivo, sobre cada una de las poblaciones de las diferentes especies de *Roccella* (*R. canariensis*, *R. fuciformis* y *R. phycopsis*) identificadas, se establecieron puntos de muestreo de 30 x 30 cm<sup>2</sup>. En cada uno de ellos se analizó la cobertura de las especies, nº de individuos y tamaño de los individuos. Además se tomaron datos sobre las variables ambientales: orientación, textura (rugosidad), inclinación, altitud, distancia al mar, guano, número de grietas, fisuras y oquedades, etc.

Con todos estos datos se originaron dos matrices: ambiental y de especies (tamaño de la población, densidad y tamaño de los mismos). Para determinar el efecto de las variables ambientales sobre la densidad y tamaño de las poblaciones y, en definitiva, conocer el óptimo ecológico del género *Roccella* en Chafarinas, se utilizaron Modelos Lineales Generalizados (GLMs) (McCULLAG & NELDER, 1989).

#### **4. Resultados y Discusión**

##### **4.1. Comunidades liquénicas**

El estudio analiza el efecto que tienen una serie de variables ambientales sobre la riqueza y diversidad de especies y comunidades de líquenes, haciendo especial hincapié sobre las deposiciones de las aves que viven en las islas.

Los líquenes constituyen uno de los organismos más adecuados para evaluar el impacto humano sobre los ecosistemas (WERTH *et al.* 2005). Son organismos de probada sensibilidad frente al manejo forestal (talas, usos del suelo,...) (ESSEN & RENHORN 1998; KUUSINEN & SIITONEN 1998; WIRTH 1999; KIVISTO & KUUSINEN 2000; HEDENAS & ERICSON 2003; PYKÄLÄ 2004; BERGAMINI *et al.* 2005) y frente a la contaminación ambiental (HAWKSWORTH & ROSE 1970; NIMIS *et al.* 1990; RICHARDSON 1992; GOMBERT *et al.* 2004). Esto es debido a la íntima relación fisiológica entre el talo del líquen y el medio ambiente (NASH & OLAFSEN 1995; NASH 1996; BARRENO 2003). No olvidemos que son organismos que carecen de lignina, son estenoicos, por lo que reaccionan frente a las pequeñas variaciones del ambiente, carecen de sistemas de excreción, por lo que no pueden seleccionar las sustancias que absorben, ni pueden regular la pérdida de agua (HAWKSWORTH & HILL 1984; RICHARDSON 1992; PALMQVIST & SUNDBERG 2000; BARRENO 2003). Por todo ello, son organismos que se ven directamente afectados por presiones físicas y químicas, como la emisión de contaminantes, intensificación agrícola o ganadera, deposiciones de nitratos, etc. (NIMIS *et al.* 2002; BARRENO 2003).

Las colonias nidificantes de gaviota de Audouin y de pardela cenicienta producen la eutrofización y nitrificación del sustrato por depósitos de guano y restos animales. Los líquenes, por sus características ya comentadas, no son ajenos a este hecho, y reaccionan de

forma diferente, dependiendo de la sensibilidad a los compuestos nitrogenados (SOCHTING 1995; DAHLMAN *et al.* 2004).

La hipótesis de partida sugiere que dadas las características biológicas que tiene los líquenes, la deposición de compuestos nitrogenados, en forma de deyecciones, podría afectar al ciclo de vida de las especies, propiciando la desaparición de aquellas más sensibles.

#### 4.1.1. Efecto de las variables ambientales sobre la riqueza de especies.

Con el método de muestreo que hemos seguido, se han identificado 27 especies en 360 inventarios. El total de las especies se muestran en la tabla 1. Las especies más frecuentes fueron *Lecania hutchinsiae*, *Caloplaca littorea*, *C. scoriophila* y *Buellia stellulata*, presentes en más de 170 inventarios, mientras que las más escasas, reconocidas en menos de cinco inventarios fueron *Ramalina clementeana*, *Ramalina rosacea* y *Xanthoria resendei*. Se trata de especies que tienen preferencia por rocas basálticas, que sobre andesitas se desarrollan de forma esporádica. Se ha llegado a identificar hasta 12 especies en un inventario, mientras que los puntos de muestreo con cobertura de guano por encima del 50% de cobertura, carecen de líquenes.

Tabla 1. nº de inventarios en los que aparece cada una de las especies.

<b>Especie</b>	<b>Abr.</b>	<b>Nº inv.</b>	<b>Especie</b>	<b>Abr.</b>	<b>Nº inv.</b>
<i>Buellia dispersa</i>	<i>Bdi</i>	49	<i>Opegrapha lutulenta</i>	<i>Olu</i>	7
<i>Buellia stellulata</i>	<i>Bma</i>	171	<i>Pertusaria pluripuncta</i>	<i>Pga</i>	28
<i>Buellia tesserata</i>	<i>Bte</i>	90	<i>Protoparmelia montagnei</i>	<i>Pmo</i>	12
<i>Caloplaca irrubescens</i>	<i>Cir</i>	123	<i>Ramalina breviscula</i>	<i>Rbr</i>	17
<i>Caloplaca littorea</i>	<i>Cli</i>	196	<i>Ramalina clementeana</i>	<i>Rcl</i>	3
<i>Caloplaca marina</i>	<i>Cma</i>	24	<i>Ramalina rosacea</i>	<i>Rbo</i>	4
<i>Caloplaca microthallina</i>	<i>Cmi</i>	49	<i>Roccella canariensis</i>	<i>Rca</i>	22
<i>Caloplaca scoriophila</i>	<i>Csc</i>	172	<i>Roccella phycopsis</i>	<i>Rph</i>	38
<i>Diploicia subcanescens</i>	<i>Dsu</i>	84	<i>Solenopsora holophaea</i>	<i>Sho</i>	15
<i>Dirina massiliensis</i>	<i>Dma</i>	143	<i>Thelopsis isiaca</i>	<i>Tsi</i>	83
<i>Lecania hutchinsiae</i>	<i>Lhu</i>	176	<i>Toninia cinereovirens</i>	<i>Tsb</i>	7
<i>Lecanographa grumulosa</i>	<i>Lgr</i>	39	<i>Xanthoria resendei</i>	<i>Xre</i>	4
<i>Lecanora helicopsis</i>	<i>Lhe</i>	16	<i>Xanthoria calcicola</i>	<i>Xpa</i>	114
<i>Lecanora schistina</i>	<i>Lsc</i>	26			

Para ver el efecto que tiene las variables ambientales sobre la riqueza y cobertura de especies por punto de muestreo, se llevaron a cabo modelos lineares generalizados (GENMOD) (McCULLAG & NELDER 1989).

Como se desprende de los análisis realizados sobre los 360 inventarios, el número de especies disminuye considerablemente en zonas que se encuentran bajo la influencia de depósitos de guano y aumenta en superficies rocosas muy inclinadas, que están fuera de la influencia de de estas deyecciones (tabla 2). Si analizamos el comportamiento de la cobertura de especies, observamos que el efecto de guano es devastador (tabla 2). En ciertos ambientes, y a un nivel mucho más amplio, los depósitos de guano sobre las rocas (siempre que no sean excesivos) podrían originar un aumento en la riqueza de especies, especialmente de aquellas denominadas ornitocoprófilas, que toleran niveles moderados de nitrificación, en detrimento de otras mucho más sensibles.

En puntos de muestreo que contienen más de un 30% de cobertura de guano, el número de especies y el tamaño de los talos disminuye considerablemente (entre 0 y 3). La cobertura que más se repite es entre 0 y 30%.

Los estudios realizados que comparan riqueza y diversidad de especies líquénicas (saxícolas, epífitas y terrícolas) entre ambientes nitrificados y otros similares en ausencia de nitrificación, obtienen resultados muy similares; existe una pérdida de diversidad líquénica en ambientes nitrificados (p.e.: BERGAMINI *et al.* 2005; STOFER *et al.* 2006).

Tabla 2. Resultados del modelo linear generalizado (GENMOD) de algunas variables de la comunidad. Coef: coeficiente de la variable en el modelo. SE: Error estándar. X<sup>2</sup>: Chi-cuadrado; P: La significación del modelo según el método de Holm (p<0,05).

	Coef. (SE)	X <sub>2</sub>	P
<b>Riqueza de especies</b>			
Guano	-0,0191 (0,0023)	67,14	< <b>0,0001</b>
Pendiente	0,0040 (0,0006)	38,94	< <b>0,0001</b>
Textura	0,0173 (0,0193)	0,80	0,3716
Superficie de la roca	0,0089 (0,0052)	2,91	0,0882
Orientación de la roca	-0,0001 (0,0001)	0,98	0,3210
Altura al suelo	-0,0000 (0,0002)	0,05	0,8151
Altitud	0,0011 (0,0004)	9,88	<b>0,0017</b>

	Coef. (SE)	X <sub>2</sub>	P
<b>Cobertura de especies</b>			
Guano	-0,0338 (0,0020)	285,79	< <b>0,0001</b>
Pendiente	-0,0040 (0,0006)	42,68	< <b>0,0001</b>
Textura	0,0128 (0,0182)	0,50	0,4805
Superficie de la roca	-0,0055 (0,0053)	1,08	0,2988
Orientación de la roca	-0,0000 (0,0001)	0,14	0,7079
Altura al suelo	-0,0001 (0,0002)	0,44	0,5054
Altitud	0,0012 (0,0003)	13,16	<b>0,0003</b>

Se utilizó un análisis CCA para determinar la fracción de la variación total explicada de la matriz de especies que es explicada por cada una de las variables ambientales a nivel de parcela. Para ello se evaluó utilizando la aproximación de Monte Carlo con 1000 permutaciones.

Con objeto de determinar las variables más relevantes de cada una de las matrices de especies, se realizaron análisis de selección de las variables paso a paso y hacia delante (*forward stepwise selection*). La variable más relevante fue el grado de inclinación de la superficie rocosa, seguido de la altitud a la que fue tomado el inventario y la cantidad de guano. En la Tabla 4 se muestra el orden en que fueron seleccionadas las 4 variables ambientales que resultaron significativas para la matriz de especies. Las variables relacionadas con la orientación, área de la superficie rocosa altura al suelo no entraron en el modelo ( $p > 0,05$ ). La variación total explicada fue del 18,15%.

Tabla 3. Modelos de CCA obtenidos a partir de la matriz de variables ambientales y la matriz de especies.  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  y  $\lambda_4$  son los valores propios de los correspondientes ejes extraídos.  $\Sigma_{cons}$  es la suma de todos los ejes constreñidos. ICA=suma de los autovalores. VTE es la Variación Total Explicada. F es el estadístico F-ratio y p es el nivel de significación según el método Holm ( $p < 0,05$ ) con 1000 permutaciones.

Matriz de	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\Sigma_{cons}$	ICA	TVE	Test Monte Carlo	
								F-ratio	P
Especies	0,289	0,169	0,047	0,023	0,548	3,062	18,15	10,728	0,0010

Tabla 4. Resumen del procedimiento de selección de variables paso a paso y hacia delante (Forward stepwise selection) de los modelos de CCA. Se muestran las variables que fueron seleccionadas por tener una mayor relevancia en la variación explicada. Donde  $\lambda$  es la variación explicada por la variable. VTE es la variación total explicada. F-ratio es el estadístico F-ratio. p es la significación del modelo según el método de Holm ( $p < 0,05$ ).

<b>Matriz de especies</b>				
		$\lambda$	F-ratio	P
Paso 1	Inclinación	0,22	26,84	0,001
Paso 2	Altitud	0,17	22,37	0,001
Paso 3	Guano	0,10	13,07	0,001
Paso 4	Rugosidad	0,03	4,15	0,001
<b>VTE=17,004</b>				
<b>F-ratio= 17,60</b>				
<b>P=0,001</b>				

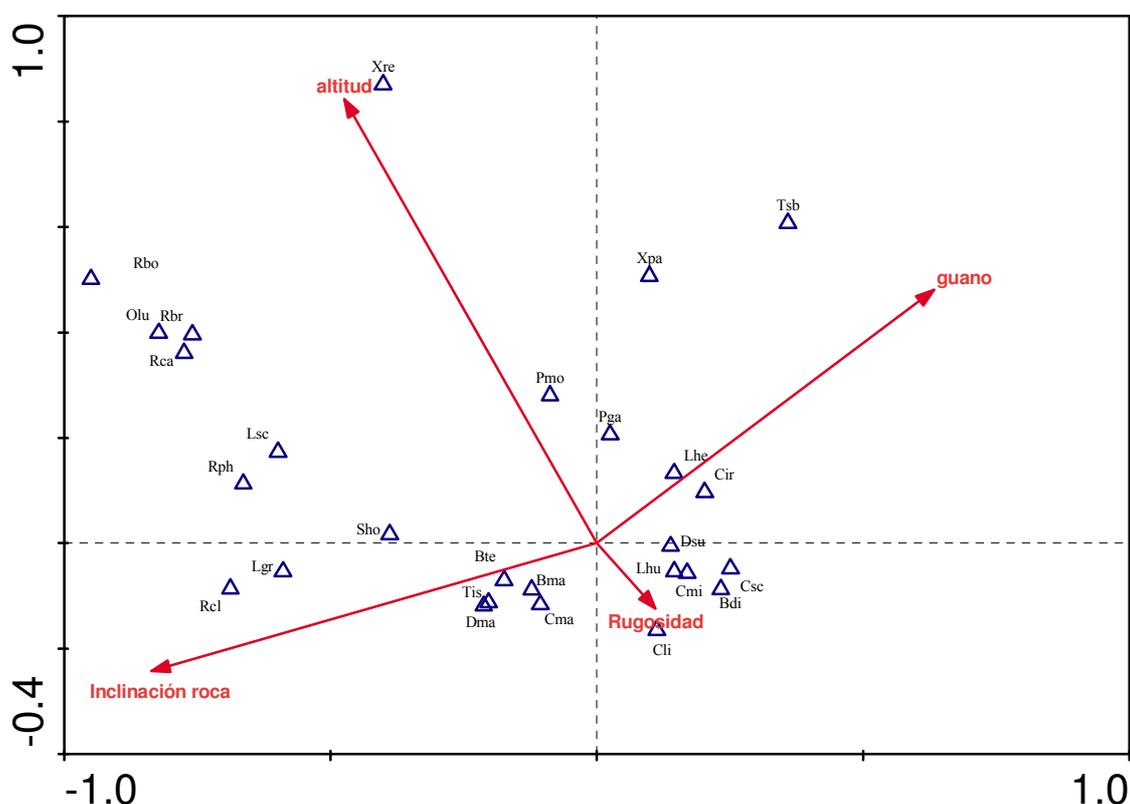
En la figura 1 se puede observar el efecto que tiene el guano sobre las especies líquénicas, al incluirlo como una variable ambiental. Existe un conjunto de especies que se sitúan en paredes verticales, poco soleadas, constituidas por talos crustáceos o fruticulosos. Son especies que están ausentes de aquellas áreas donde se hace patente una excesiva nitrificación. Bajo estas condiciones son abundantes *Ramalina rosacea*, *Opegrapha lutulenta*, *Ramalina breviscula*, *Roccella canariensis*, *Roccella phycopsis*, *Lecanora schistina*, *Lecanographa grumulosa* o *Ramalina clementeana*.

Sin embargo, existe otro conjunto de especies, que podemos denominar nitrófilas, que prefieren instalarse o que proliferan en zonas con cierta nitrificación. Entre ellas destacamos *Xanthoria calcicola*, *Caloplaca irrubescens*, *Toninia cinereovirens*, *Pertusaria pluripuncta* o *Diploicia subcanescens*. Son especies que forman parte de las comunidades del *Xanthorion* y sobre las que algunos autores apuntan su preferencia por ambientes nitrificados (FUERTES *et al.* 1996; SPARRIUS 2007).

Especies como *Buellia stellulata*, *Caloplaca maritima*, *Thelopsis isiaca*, *Dirina massiliensis* o *Buellia tesserata*, tienen preferencia por superficies poco inclinadas, en zonas cercanas al mar, por debajo de los 70 m y en ausencia de guano. Si la nitrificación no es excesiva, para este conjunto de especies, se observa una disminución gradual de la cobertura y el número de individuos, sin llegar a desaparecer.

Si nos centramos en el efecto que pueden tener las variables ambientales sobre las dos especies de *Roccella* más abundantes (*R. canariensis* y *R. phycopsis*) se observa que las variables que más afectan a la distribución de estas especies son la altitud, la inclinación de la roca y la cobertura de guano (tabla 5). Se trata de las dos especies más sensibles a la nitrificación y las escasas poblaciones se han detectado en superficies muy inclinadas, verticales, a mayor altitud, en zonas cercanas a la costa y en ausencia de guano.

**Figura 1.** Gráfico biplot de CCA representando la composición específica de líquenes en función de las variables ambientales seleccionadas. Las variables significativas se introdujeron como vectores. Las abreviaturas de las especies figuran en la tabla 1.



## 4.2. Poblaciones de *Roccella* sp. pl

### 4.2.1. Descripción detallada a nivel de especie (*R. canariensis*, *R. fuciformis*, *R. phycopsis*).

Las tres especies identificadas en las islas presentan una ecología muy similar, aunque *Roccella phycopsis* es la especie más abundante. Viven sobre paredes de andesitas muy

inclinadas hasta superverticales, en situaciones protegidas y no soleadas. Suelen aparecer junto con *Dirina massiliensis*, *Lecanographa grumulosa*, *Opegrapha lutulenta* y *Thelopsis isiaca*. Están ausente de zonas nitrificadas por los con depósitos de guano.

***Roccella canariensis* Darb. em. Vain. (ARTHONIALES, ROCCELLACEAE)**

*Descripción:*

Talo fruticuloso, de hasta 10 cm, formado por un conjunto de lacinias cilíndricas, de color gris ceniciento hasta marrón grisáceo que, al principio son perpendiculares al sustrato para después volverse colgantes. El talo carece de soralios.

Apotecios muy raros, marginales o laminares, simples, redondeados, a veces deformados; disco negro de alrededor de 1-2 mm de diámetro, sin margen talino. Paráfisis simples en la parte inferior, divididas hacia el extremo superior. Los ascos contienen 8 ascósporas. Éstas son triseptadas, ligeramente curvadas, de 17-21 x 4-5,5  $\mu\text{m}$ . Talo K+ amarillo; médula C+ rojo carmín.

***Roccella fuciformis* (L.) DC. (ARTHONIALES, ROCCELLACEAE)**

*Descripción:*

Talo fruticuloso, de hasta 12 cm, formado por un conjunto de lacinias más o menos aplanadas, colgantes, de color gris ceniciento. El talo presenta abundantes soralios blanquecinos por gran parte de la superficie. La médula del disco de fijación al sustrato es de color blanca.

Apotecios muy raros, marginales o laminares, simples o agrupados; disco negro de alrededor de 1 mm de diámetro, con frecuencia cubierto de pruina blanquecina, plano o ligeramente convexo, con margen talino y propio. Paráfisis anastomosadas y divididas. Los ascos contienen 8 ascósporas. Éstas son triseptadas, elongadas a fusiformes, de 20-30 x 4-6  $\mu\text{m}$ . Talo K- y C-; soredios C+ rojo carmín.

***Roccella phycopsis*** (Ach.) Ach. (ARTHONIALES, ROCCELLACEAE)

*R. fucoides* Vainio

*Descripción:*

Talo fruticuloso, de hasta 10 cm, formado por un conjunto de lacinias cilíndricas, de color gris ceniciento que, al principio son perpendiculares al sustrato para después volverse colgantes. El talo presenta abundantes soralios blanquecinos por gran parte de la superficie. Cuando lo arrancamos del sustrato, se puede observar el color amarillo que presenta la médula del disco de fijación.

Apotecios muy raros, marginales o laminares, simples o agrupados, redondeados u oblongos, con frecuencia deformados; disco negro de alrededor de 1-2 mm de diámetro, sin margen talino. Paráfisis simples en la parte inferior, divididas hacia el extremo superior. Los ascos contienen 8 ascósporas. Éstas son triseptadas, ligeramente curvadas, de 18-22 x 4-6 µm. Talo K-; talo y soledios C+ rojo carmín.

Para ver el efecto que tiene las variables ambientales sobre la riqueza y cobertura del conjunto de especies del género *Roccella* (en nuestro caso *Roccella canariensis* y *R. phycopsis*, dado que las poblaciones de *R. fuciformis* presenta un número tan bajo de individuos, por el momento, no se ha podido modelizar) se llevaron a cabo modelos lineales generalizados (GENMOD) (MCCULLAG & NELDER 1989). Los resultados nos muestran que la diversidad de *Roccella canariensis* y *R. phycopsis* aumenta en las zonas de muestreo situadas a mayor altitud, en rocas muy inclinadas, casi verticales y en ausencia de deposiciones de guano. Hay que añadir, que *Roccella phycopsis* presenta una relación positiva con la distancia al suelo.

Tabla 5. Resultados del modelo lineal generalizado (GENMOD) de algunas variables de la comunidad. Coef: coeficiente de la variable en el modelo. SE: Error estándar. X<sub>2</sub>: Chi-cuadrado; P: La significación del modelo según el método de Holm (p<0,05).

	Coef. (SE)	X <sub>2</sub>	P
<b><i>R. canariensis</i></b>			
Guano	-0,0261 (0,0104)	6,32	<b>0,0120</b>
Pendiente	0,0263 (0,0062)	18,18	<b>&lt;0,0001</b>
Textura	0,2922 (0,1926)	2,30	0,1292

	Coef. (SE)	X <sub>2</sub>	P
Superficie de la roca	-0,0553 (0,0607)	0,83	0,3623
Orientación de la roca	0,0001 (0,0011)	0,01	0,9399
Altura al suelo	0,0026 (0,0021)	1,55	0,2126
Altitud	0,0237 (0,0033)	50,19	<b>&lt;0,0001</b>
<b><i>R. phycopsis</i></b>			
Guano	-0,0625 (0,0256)	5,98	<b>0,0144</b>
Pendiente	0,0806 (0,0152)	28,22	<b>&lt;0,0001</b>
Textura	-0,8108 (0,4743)	2,92	0,0874
Superficie de la roca	-0,1689 (0,1494)	1,28	0,2583
Orientación de la roca	-0,0009 (0,0028)	0,09	0,7600
Altura al suelo	0,0118 (0,0052)	5,20	<b>0,0226</b>
Altitud	0,0322 (0,0082)	15,34	<b>&lt;0,0001</b>

#### 4.2.2. Estado de las poblaciones: tamaño de las poblaciones, densidad, n° individuos, tamaño de los individuos.

Hasta el momento se han muestreado 7 localidades, 3 en la isla de Isabel, otras 3 en Congreso y 1 en Rey. Se han contabilizado 96 poblaciones de *Rocella* (llamamos población, en este caso, al conjunto de individuos que colonizan la misma superficie rocosa) y un total de 2180 individuos. Las poblaciones quedan repartidas de la siguiente forma: 43 en Isabel, 3 en Rey y 50 en Congreso. El número de individuos de las poblaciones osciló entre 2 y 78. El tamaño de los individuos varió entre 1 mm hasta 118 mm. La cobertura osciló entre el 2 y el 80%.

Tabla 6. Resumen con densidad, n° individuos, tamaño de los individuos. Inv: inventario o población; cob: densidad de individuos en %; tam: tamaño medio de los individuos; n° indiv.: n° individuos de cada población; or: orientación; incl: inclinación o pendiente de la roca (en °); text: textura (tomada de 1 a 3); gri: n° grietas; fis: n° fisuras; oq: n° oquedades; alt suelo: altura al suelo en cm.

Isla	loc	Inv.	cob	tam	n° indiv.	altitud	or	incl	text	gri	fis	oq	Alt. suelo
C	4	1	12.00	15.63	28.00	134.00	230.00	79.00	2.00	3.00	11.00	4.00	430.00
C	4	2	8.00	16.21	14.00	134.00	215.00	86.00	2.00	3.00	8.00	2.00	400.00
C	4	3	20.00	26.14	14.00	134.00	230.00	47.00	2.00	1.00	4.00	2.00	500.00
C	4	4	25.00	24.50	20.00	134.00	260.00	78.00	3.00	2.00	5.00	3.00	280.00

Isla	loc	Inv.	cob	tam	n° indv.	altitud	or	incl	text	gri	fis	oq	Alt. suelo
C	4	5	7.00	13.08	23.00	134.00	190.00	84.00	2.00	0.00	7.00	1.00	460.00
C	4	6	40.00	25.92	25.00	134.00	235.00	52.00	2.00	1.00	5.00	1.00	490.00
C	4	7	40.00	16.76	38.00	134.00	285.00	63.00	3.00	2.00	6.00	2.00	485.00
C	4	8	20.00	25.20	20.00	134.00	170.00	60.00	2.00	0.00	3.00	2.00	250.00
C	4	9	20.00	29.69	12.00	134.00	280.00	82.00	3.00	2.00	4.00	3.00	525.00
C	4	10	20.00	25.18	22.00	134.00	170.00	83.00	1.00	0.00	2.00	0.00	125.00
C	4	11	40.00	56.15	12.00	134.00	155.00	80.00	1.00	0.00	2.00	1.00	115.00
C	4	12	20.00	33.78	23.00	134.00	190.00	80.00	1.00	2.00	1.00	0.00	140.00
C	4	13	15.00	27.50	17.00	134.00	120.00	83.00	2.00	1.00	3.00	3.00	194.00
C	4	14	7.00	18.69	13.00	134.00	275.00	84.00	3.00	3.00	3.00	1.00	280.00
C	4	15	5.00	15.53	15.00	134.00	245.00	88.00	1.00	2.00	1.00	1.00	190.00
C	4	16	5.00	35.50	4.00	134.00	245.00	80.00	1.00	2.00	3.00	1.00	210.00
C	4	17	5.00	16.90	10.00	134.00	260.00	66.00	2.00	2.00	8.00	0.00	240.00
C	4	18	25.00	29.83	19.00	134.00	270.00	88.00	3.00	5.00	4.00	1.00	310.00
C	4	19	5.00	26.50	10.00	134.00	200.00	81.00	1.00	0.00	2.00	0.00	270.00
C	4	20	20.00	18.61	21.00	134.00	200.00	70.00	3.00	3.00	6.00	2.00	90.00
C	4	21	10.00	24.46	12.00	134.00	195.00	70.00	3.00	5.00	4.00	1.00	160.00
C	4	22	35.00	28.91	32.00	134.00	300.00	90.00	3.00	10.00	10.00	2.00	80.00
C	5	1	5.00	13.14	7.00	144.00	275.00	88.00	1.00	2.00	0.00	0.00	420.00
C	5	2	5.00	17.57	13.00	144.00	250.00	78.00	3.00	3.00	1.00	2.00	220.00
C	5	3	20.00	24.85	30.00	144.00	240.00	85.00	1.00	2.00	0.00	1.00	0.00
C	5	4	7.00	8.64	25.00	144.00	160.00	80.00	1.00	0.00	0.00	2.00	120.00
C	5	5	40.00	19.78	42.00	144.00	270.00	73.00	2.00	2.00	3.00	3.00	280.00
C	5	6	15.00	16.75	33.00	144.00	220.00	73.00	1.00	2.00	0.00	1.00	130.00
C	5	7	40.00	22.73	34.00	144.00	285.00	89.00	1.00	0.00	0.00	1.00	100.00
C	5	8	40.00	25.05	40.00	144.00	200.00	72.00	2.00	0.00	3.00	3.00	160.00
C	5	9	30.00	17.92	51.00	144.00	280.00	85.00	2.00	1.00	1.00	3.00	150.00
C	5	10	20.00	19.62	28.00	110.00	170.00	85.00	2.00	0.00	0.00	4.00	70.00
C	5	11	80.00	25.08	46.00	110.00	160.00	87.00	3.00	1.00	3.00	5.00	130.00
C	5	14	40.00	20.47	40.00	110.00	310.00	90.00	1.00	3.00	0.00	1.00	90.00
C	5	12	40.00	26.97	45.00	110.00	200.00	88.00	3.00	0.00	8.00	5.00	140.00
C	5	13	25.00	22.12	32.00	110.00	170.00	70.00	1.00	1.00	5.00	3.00	120.00
C	5	15	12.00	19.64	41.00	110.00	250.00	75.00	2.00	0.00	2.00	2.00	124.00
C	5	16	10.00	15.91	17.00	110.00	285.00	89.00	3.00	2.00	6.00	1.00	155.00
C	6	1	10.00	14.35	17.00	110.00	300.00	80.00	3.00	3.00	2.00	4.00	60.00
C	6	2	20.00	26.81	15.00	110.00	345.00	60.00	3.00	0.00	0.00	6.00	60.00

Isla	loc	Inv.	cob	tam	n° indv.	altitud	or	incl	text	gri	fis	oq	Alt. suelo
C	6	3	5.00	24.50	6.00	110.00	200.00	90.00	3.00	0.00	0.00	6.00	40.00
C	6	4	40.00	22.21	44.00	110.00	90.00	80.00	2.00	2.00	0.00	1.00	0.00
C	6	5	80.00	16.77	78.00	110.00	260.00	80.00	2.00	2.00	0.00	9.00	15.00
C	6	6	12.00	20.92	12.00	110.00	250.00	80.00	2.00	0.00	0.00	3.00	51.00
C	6	7	22.00	37.07	21.00	110.00	180.00	80.00	2.00	0.00	0.00	4.00	60.00
C	6	8	30.00	32.36	33.00	110.00	210.00	90.00	2.00	0.00	0.00	6.00	90.00
C	6	9	30.00	29.88	10.00	110.00	290.00	50.00	2.00	1.00	0.00	3.00	70.00
C	6	10	25.00	16.37	66.00	110.00	330.00	85.00	2.00	2.00	1.00	2.00	80.00
C	6	11	30.00	23.38	31.00	110.00	345.00	60.00	3.00	1.00	0.00	3.00	0.00
C	6	12	20.00	32.75	15.00	110.00	270.00	70.00	3.00	1.00	0.00	6.00	100.00
I	1	1	38.00	24.47	20.00	32.00	31.50	65.00	3.00	3.00	7.00	3.00	40.00
I	1	2	15.00	19.05	20.00	32.00	14.00	80.00	1.00	0.00	0.00	1.00	48.00
I	1	3	50.00	32.41	17.00	32.00	10.50	75.00	1.00	1.00	0.00	0.00	148.00
I	1	4	35.00	35.16	17.00	32.00	11.50	70.00	1.00	0.00	1.00	0.00	98.00
I	1	5	20.00	21.63	21.00	32.00	8.50	66.00	2.00	0.00	5.00	3.00	130.00
I	1	6	10.00	18.50	18.00	32.00	9.00	44.00	3.00	4.00	0.00	2.00	115.00
I	1	7	20.00	17.00	13.00	32.00	13.00	70.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I	1	8	20.00	22.00	25.00	32.00	9.50	80.00	2.00	0.00	1.00	1.00	88.00
I	1	9	5.00	31.00	7.00	32.00	9.00	90.00	2.00	0.00	0.00	0.00	40.00
I	1	10	12.00	17.00	22.00	32.00	9.00	72.00	2.00	0.00	1.00	1.00	135.00
I	1	11	5.00	24.00	7.00	32.00	14.00	73.00	3.00	0.00	3.00	1.00	160.00
I	1	12	5.00	39.00	4.00	32.00	1.50	60.00	3.00	2.00	2.00	1.00	164.00
I	1	13	40.00	29.14	21.00	32.00	340.00	63.00	3.00	1.00	4.00	4.00	144.00
I	1	14	15.00	22.94	20.00	32.00	320.00	72.00	3.00	5.00	8.00	1.00	110.00
I	1	15	30.00	12.75	28.00	32.00	290.00	69.00	3.00	2.00	6.00	2.00	190.00
I	1	16	13.00	11.52	19.00	32.00	260.00	75.00	3.00	2.00	3.00	3.00	120.00
I	1	17	7.00	8.80	21.00	32.00	240.00	65.00	2.00	3.00	2.00	1.00	210.00
I	1	18	35.00	28.33	17.00	32.00	280.00	72.00	2.00	1.00	1.00	1.00	140.00
I	1	19	8.00	15.46	13.00	32.00	270.00	80.00	3.00	1.00	2.00	2.00	170.00
I	1	20	15.00	14.91	34.00	32.00	300.00	70.00	1.00	0.00	2.00	0.00	65.00
I	2	1	20.00	28.00	15.00	42.00	280.00	82.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.00
I	2	2	20.00	30.00	5.00	42.00	280.00	82.00	2.00	1.00	1.00	1.00	0.00
I	2	3	15.00	24.00	15.00	42.00	100.00	89.00	2.00	1.00	0.00	1.00	90.00
I	2	4	20.00	31.88	18.00	42.00	12.00	70.00	1.00	1.00	0.00	0.00	90.00
I	2	5	25.00	28.85	21.00	42.00	140.00	80.00	2.00	3.00	2.00	1.00	0.00
I	2	6	5.00	25.54	11.00	42.00	80.00	75.00	3.00	0.00	3.00	1.00	50.00

Isla	loc	Inv.	cob	tam	n° indv.	altitud	or	incl	text	gri	fis	oq	Alt. suelo
I	2	7	15.00	22.36	19.00	42.00	300.00	70.00	3.00	1.00	0.00	2.00	100.00
I	2	8	5.00	22.00	6.00	42.00	320.00	80.00	1.00	0.00	0.00	1.00	80.00
I	2	9	7.00	26.08	12.00	42.00	220.00	65.00	2.00	0.00	0.00	3.00	240.00
I	2	10	25.00	23.96	18.00	42.00	280.00	80.00	2.00	0.00	4.00	0.00	110.00
I	2	11	8.00	18.20	20.00	42.00	260.00	90.00	1.00	0.00	1.00	2.00	130.00
I	2	12	35.00	24.42	30.00	42.00	280.00	90.00	3.00	3.00	0.00	1.00	90.00
I	2	13	35.00	21.24	29.00	42.00	230.00	53.00	3.00	4.00	0.00	1.00	90.00
I	3	1	10.00	15.04	22.00	46.00	100.00	80.00	3.00	3.00	6.00	4.00	40.00
I	3	2	20.00	15.32	33.00	46.00	270.00	65.00	3.00	2.00	1.00	5.00	15.00
I	3	3	8.00	12.06	15.00	46.00	250.00	84.00	3.00	2.00	4.00	2.00	0.00
I	3	4	12.00	14.72	22.00	46.00	295.00	64.00	3.00	1.00	1.00	7.00	0.00
I	3	5	5.00	16.57	7.00	46.00	320.00	70.00	3.00	2.00	1.00	4.00	50.00
I	3	6	30.00	17.14	29.00	46.00	220.00	90.00	2.00	1.00	0.00	1.00	80.00
I	3	7	25.00	16.89	20.00	46.00	310.00	60.00	2.00	1.00	0.00	1.00	0.00
I	3	8	2.00	29.00	2.00	46.00	270.00	43.00	2.00	1.00	0.00	2.00	0.00
I	3	9	8.00	8.79	24.00	46.00	330.00	64.00	3.00	5.00	0.00	5.00	0.00
I	3	10	20.00	10.30	43.00	46.00	290.00	85.00	3.00	3.00	2.00	1.00	25.00
R	7	1	35.00	6.62	52.00	35.00	250.00	60.00	3.00	3.00	2.00	1.00	490.00
R	7	2	10.00	8.78	24.00	35.00	230.00	40.00	2.00	1.00	4.00	1.00	470.00
R	7	3	5.00	10.86	7.00	35.00	270.00	80.00	2.00	2.00	1.00	1.00	490.00

#### 4.2.3. Óptimo ecológico de las poblaciones de *Roccella* (GLMs).

Para ver el efecto que tiene las variables ambientales sobre la densidad, el número y tamaño de los individuos de *Roccella*, se llevaron a cabo modelos lineares generalizados (GENMOD) (MCCULLAG & NELDER 1989). Se ha modelizado exclusivamente sobre los puntos donde se ha determinado la presencia de *Roccella*. Los resultados muestran que la cobertura solo está determinada por el número de oquedades que presentan los puntos de muestreo, mientras que el tamaño de los individuos aumenta con la altitud y disminuye en orientaciones sur y este. El número de individuos de las poblaciones presenta una relación positiva con la inclinación de la pared con el número de oquedades (Tabla 7). El resto de las variables no fueron significativas.

Tabla 7. Resultados del modelo lineal generalizado (GENMOD) de algunas variables de la comunidad. Coef: coeficiente de la variable en el modelo. SE: Error estándar. X<sub>2</sub>: Chi-cuadrado; P: La significación del modelo según el método de Holm (p<0,05).

	Coef. (SE)	X <sub>2</sub>	P
<b>Densidad de individuos</b>			
Altitud	0,0008 (0,0022)	0,14	0,7041
Orientación	-0,0003 (0,0009)	0,13	0,7191
Inclinación	0,0036 (0,0036)	1,01	0,3158
Textura	-0,1205 (0,1272)	0,90	0,3434
Grietas	0,0370 (0,0525)	0,50	0,4804
Fisuras	0,0099 (0,0336)	0,09	0,7669
Oquedades	0,1135 (0,0453)	6,28	<b>0,0122</b>
Distancia al suelo	-0,0002 (0,0007)	0,08	0,7768
<b>Tamaño de individuos</b>			
Altitud	0,0030 (0,0011)	7,89	<b>0,0050</b>
Orientación	-0,0010 (0,0004)	6,85	<b>0,0088</b>
Inclinación	-0,0022 (0,0020)	1,17	0,2803
Textura	0,0235 (0,0639)	0,13	0,7136
Grietas	-0,0309 (0,0274)	1,27	0,2596
Fisuras	-0,0002 (0,0172)	0,00	0,9905
Oquedades	-0,0236 (0,0261)	0,82	0,3660
Distancia al suelo	-0,0008 (0,0003)	5,05	<b>0,0246</b>
<b>Número de individuos</b>			
Altitud	0,0004 (0,0017)	0,05	0,8171
Orientación	0,0008 (0,0007)	1,19	0,2750
Inclinación	0,0056 (0,0027)	4,22	<b>0,0400</b>
Textura	-0,1494 (0,0996)	2,25	0,1338
Grietas	0,0480 (0,0404)	1,41	0,2348
Fisuras	0,0106 (0,0262)	0,16	0,6851
Oquedades	0,1083 (0,0355)	9,31	<b>0,0023</b>
Distancia al suelo	-0,0000 (0,0005)	0,00	0,9686

Los individuos de *Rocella* tardan por término medio unos 6 años en llegar a su estado adulto, de forma que en muchos sitios, cuando se recolectaban como materia prima para obtener colorantes, las autoridades llevaban un control tanto del tiempo como de la forma en que se hacía (SUÁREZ MORENO 2006). Las propiedades tintóreas de estas especies se deben a que su naturaleza, genera varios ácidos liquénicos, los que en combinación con

amoníaco y oxígeno dan lugar al ácido carbónico y a la orceína, el colorante principal de la orquilla.

En el estudio realizado sobre 2180 individuos, en zonas con cierta similitud orográfica (indicada anteriormente), ya que el rango ecológico de las especies de *Roccella* es muy estrecho, se puede observar que las variables que más influyen sobre la dinámica de las poblaciones son la altitud, la orientación, la inclinación y el número de oquedades. Es decir, por las características autoecológicas, se trata de un género que presenta un disco de fijación al sustrato, por lo que se ve favorecido por la rugosidad de la roca y por la presencia de pequeñas oquedades.

La altitud se muestra como variable significativa de signo positivo para el tamaño de los individuos. Hemos observado que los individuos de mayor tamaño se sitúan en las zonas a mayor altitud, sobre paredes verticales de andesitas protegidas de una excesiva iluminación. Son especies que además, dependen del hálito marino, aunque evitan situarse bajo la influencia de la salpicadura de las olas.

En definitiva, el óptimo ecológico para las poblaciones del género *Roccella* en las Islas Chafarinas vendría dado por la altitud, orientación, inclinación y nº de oquedades. Es decir estamos ante unas poblaciones que prefieren situarse en los acantilados, sobre superficies verticales, con numerosas oquedades, lejos de la nitrificación que ejercen los depósitos de guano, en orientaciones norte o noroeste y en zonas por encima de los 100 m de altitud. Es evidente, que solo algunos enclaves de la isla de Congreso presentan estas condiciones óptimas para el desarrollo de las especies del género *Roccella*.

## **5. Conclusiones**

- Del estudio realizado se desprende que los nitratos procedentes del guano ejercen un efecto negativo sobre la riqueza y diversidad de especies. Una nitrificación excesiva propicia la desaparición de todas las especies de líquenes.
- Existe un grupo de especies muy sensible a la nitrificación por el guano, mientras que otro grupo presenta una tolerancia moderada.

- El óptimo ecológico para las especies de *Roccella* son las paredes verticales más elevadas de los acantilados, lejos de los ambientes nitrificados, en orientaciones norte o noroeste. Sólo unos pocos enclaves de la isla de Congreso presentan estas condiciones óptimas para el desarrollo de las especies del género *Roccella*.

## 6. Referencias bibliográficas

- ARAGÓN, G., HERERA, M., BELINCHÓN, R. & PRIETO, M. 2006. *Estudio de la diversidad de líquenes que colonizan el Archipiélago de Chafarinas*. Informe inédito. Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente. 89 pp.
- ARAGÓN, G., MARTÍNEZ, I. & BELINCHÓN, R. 2005. *Programa de Conservación de líquenes amenazados y bioindicadores en quejigares, rebollares y alcornocales*. Informe inédito. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. 400 pp.
- BARKMAN, J. J. 1958. *Phytocociology and ecology of cryptogamic Epiphytes*. Van Gorcum, Assen.
- BARRENO, E. 2003. *Relaciones simbióticas mutualistas de los hongos con los vegetales: líquenes, micoficobiosis y micorrizas*. En IZCO, J. et al. Botánica. McGraw Hill interamericana, 760 pp. 309-340.
- BARRENO, E. & PÉREZ-ORTEGA, S. 2003. *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muniellos, Asturias*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias, Asturias.
- BELINCHÓN, R. 2005. Efecto de borde sobre la flora de líquenes epífitos en bosques mediterráneos. Documento Inédito. Universidad Rey Juan Carlos.
- BELINCHÓN, R., MARTÍNEZ, I., ESCUDERO, A., ARAGÓN, G. & VALLADARES, F. 2007. Edge effects on epiphytic communities in a Mediterranean *Quercus pyrenaica* forest. *Journal of Vegetation Science* 18: 81-90.
- BERGAMINI, A., SCHEIDEGGER, C., CARVALHO, P., DAVEY, S., DIETRICH, M., DUBS, F., FARKAS, E., GRONER, U., KÄRKKÄINEN, K., KELLER, C., LÖKÖS, L., LOMMI, S., MÁGUAS, C., MITCHELL, R., RICO, V. J., ARAGÓN, G., TRUSCOTT, A. M., WOLSELEY, P. A. & WATT, A. 2005. Performance of macrolichens and lichen genera as indicators of lichen species richness and composition. *Conservation Biology* 19 (4): 1051-1062.
- DAHLMAN, L., PERSSON, J., PALMQVIST, K. & NÄSHOLM, T. 2004. Organic and inorganic nitrogen uptake in lichens. *Planta* 219: 459-467.

- ESSEEN, P. A. & RENHORN, K. E. 1998. Edge effects on an epiphytic lichen in fragmented forests. *Conservation Biology* 12: 1307-1317.
- FUERTES, E., BURGAZ, A. R. & ESCUDERO, A. 1996. Pre-climax epiphyte communities of bryophytes and lichens in Mediterranean forests from the Central Plateau (Spain). *Vegetatio* 123: 139-151.
- GOMBERT, S., ASTA, J. & SEAWARD, M. R. D. 2004. Assessment of lichen diversity by index of atmospheric purity (IAP), index of human impact (IHI) and other environmental factors in an urban area (Grenoble, southeast France). *Sci. Total Environ.* 324: 183-199.
- GUISAN A., EDWARDS T.C. AND HASTIE T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157: 89-100.
- HAWKSWORTH, D. L. & HILL, D. J. 1984. *The Lichen-forming Fungi. Backle.* Glasgow & London.
- HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F. 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature* 227: 145-148.
- HEDENAS, H. & ERICSSON, L. 2000. Epiphytic macrolichens as conservation indicators: Successional sequence in *Populus tremula* stands. *Biological conservation* 93: 43-53.
- HEDENAS, H. & ERICSSON, L. 2003. Response of epiphytic lichens on *Populus tremula* in a selective cutting experiment. *Ecological Applications* 13: 1124-1134.
- HILL, M. O. & GAUCH, H. G. 1980. Detrended correspondence Analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47-58.
- KIVISTÖ, L. & KUUSINEN, M. (2000). Edge effects on the epiphytic lichen flora of *Picea abies* in middle boreal Finland. *Lichenologist* 32: 387-398.
- KUUSINEN, M. & SIITONEN, J. 1998. Epiphytic lichen diversity in old-growth and managed *Picea abies* stands in southern Finland. *Journal of Vegetation Science* 9: 283-292.
- LEGENDRE, P. & ANDERSON, M. J. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs* 69: 1-24.
- MCCULLAGH, P. & NELDER, J. A. 1989. *Generalized Linear Models, 2nd edn. Monographs on Statistics and Applied Probability 37.* Chapman and Hall/CRC, USA.
- NASH, T. H. (ed.) 1996. *Lichen biology.* Cambridge University Press, Cambridge.
- NASH, T. H. & OLAFSEN, A. G. 1995. Climate change and the ecophysiological response of arctic lichens. *Lichenologist* 27: 559-565.

- NIMIS, P.L., CASTELLO, M. & PEROTTI, M. 1990. Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (northern Italy). *Lichenologist* 22(3): 333-344.
- NIMIS, P.L., SCHEIDEGGER, CH. & WOLSELEY, P. (eds.) 2002. *Monitoring with lichens – monitoring lichens*. NATO Science Series. IV. Earth and Environmental Sciences 7: 408 pp. Kluwer Academic Publishers.
- PALMQVIST, K. & SUNDBERG, B. 2000. Light use efficiency of dry matter gain in five macrolichens: relative impact of microclimate conditions and species-specific traits. *Plant Cell and Environment* 23: 1-14.
- PIKÄLÄ, J. 2004. Effects of new forestry practices on rare epiphytic macrolichens. *Conservation Biology* 18 (3): 831-838.
- RICHARDSON, D. H. S. 1992. *Pollution monitoring with lichens*. Richmond, Slough, UK.
- SERRA, R. 2006. Las islas Chafarinas, tres perlas del Mediterráneo. *Quercus* 241: 28-33.
- SOCHTING, U. (1995) Lichens as monitors of nitrogen deposition. *Crypt. Bot.* 5: 264-269.
- SPARRIUS, L. B. 2007. Response of epiphytic lichen communities to decreasing ammonia air concentrations in a moderately polluted area of The Netherlands. *Environmental Pollution* 146: 375-379.
- STOFER, S., BERGAMINI, A., ARAGÓN, G., CARVALHO, P., COPPINS, B. J., DAVEY, S., DIETRICH, M., FARKAS, E., KÄRKKÄINEN, K., KELLER, CH., LÖKÖS, L., LOMMI, S., MÁGUAS, C., MITCHEL, R., PINHO, P., RICO, V. J., TRUSCOTT, A-M., WOLSELEY, P. A., WATT, A. & SCHEIDEGGER, CH. 2006. Species richness of lichen functional groups in relation to land use intensity. *Lichenologist* 38: 331-353.
- SUÁREZ MORENO, F. 2006. *La recolección de la Orquilla en Gran Canaria. Accidentes mortales en la aldea de San Nicolás (1834-1876)*. Infonortedigital.com.
- ter BRAAK, C. J. F. 1986. Canonical Correspondence Analysis, anew eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- ter BRAAK, C. J. F. 1990. *Update notes: CANOCO version 3.1 Microcomputer Power*. Ithaca, New York. 35p.
- VERDONSDROT, P. M. F. & ter BRAAK, C. J. F. 1994. An Experimental manipulation of oligochaete communities in mesocosms treated with chlorpyrifos or nutrient additions: multivariate analysis with Monte Carlo permutation tests. *Hydrobiologia* 278:251-266.
- WERTH, S., TOMMERVIK, H. & ELVEBAKK, A. 2005. Epiphytic macrolichen communities along regional gradients in northern Norway. *Journal of Vegetation Science* 16: 199-208.
- WIRTH, V. 1999. Gefährdete Flechtenbiotope in Mitteleuropa. *Natur Museum* 129: 12-21.