



## **Diversidad y Composición de las comunidades de líquenes en un gradiente altitudinal en la Sierra de Famatina (La Rioja).**

**Tesinista: Santiago Martín Costas**

**Director: Dr. Juan Manuel Rodriguez**

**Lugar de trabajo: Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables “Dr. R. Luti”, FCEFyN – UNC**

## **Diversidad y Composición de las comunidades de líquenes en un gradiente altitudinal en la Sierra de Famatina (La Rioja).**

Palabras clave: Sistemas montañosos; GLORIA Argentina; Orientación; Riqueza; Cobertura; Ascomycetes liquenizados.

### **1. Introducción**

La riqueza y la composición de especies cambian a lo largo de los gradientes altitudinales, de manera similar a lo que se observa desde el ecuador hasta los polos (Lomolino, 2001; Körner, 2003). Es por esto que estos gradientes son considerados uno de los principales patrones en biodiversidad de la biogeografía moderna (Lomolino, 2001).

En los sistemas de montaña, los procesos que dan origen a estos patrones están asociados con cuatro características: 1) el área de las comunidades zonales disminuye con la elevación por lo que puede aplicarse la relación especie – área para explicar los patrones de diversidad en los gradientes de altura; 2) gradientes climáticos, muchos componentes del clima y ambientes locales varían a lo largo de la mayoría de los gradientes de altura; 3) aislamiento geográfico en las comunidades de montaña; 4) interacción entre las comunidades zonales (Lomolino, 2001).

Los gradientes altitudinales reflejan gradientes de temperatura, humedad ambiente y radiación (Körner, 2007). Es sabido que los líquenes responden a éstos, entre otros factores de importancia (Sheard & Jonesen, 1974; Eversman, 1982; Lesica et al., 1991; McCune & Geiser, 1997; Crites & Dale, 1998; Uliczka & Angelstam, 1999; Lehmkuhl 2004), es por esto que la altitud es una de las principales variables que afectan la riqueza, composición y diversidad de las comunidades liquénicas y se ve reflejado a lo largo de un gradiente altitudinal (Wolf, 1993; Grytnes et al., 2006; Pinokiyo et al., 2008; Baniya et al., 2010; Rodríguez et al 2017).

En los sistemas montañosos los líquenes son particularmente diversos pudiendo desarrollarse en diferentes sustratos: suelo, roca y corteza de árboles entre los principales (Kuntz & Larson, 2006; Pinokiyo et al., 2008, Baniya et al., 2010; Rodríguez et al., 2017). En particular aquellos que crecen sobre rocas (líquenes saxícolas) poseen gran diversidad, ya que son comunes los afloramientos rocosos en este tipo de ambiente (Matthes et al.,

2000). Algunos autores han estudiado la respuesta de las comunidades líquénicas a la altura, obteniendo un pico de diversidad y riqueza en alturas intermedias, resultando a su vez en un cambio en la composición de las mismas a lo largo del gradiente (Wolf, 1993; Pinokiyo et al., 2008; Baniya et al., 2010).

Otros factores importantes son la orientación de la ladera, principalmente N-S y la pendiente, ya que ambas determinan la cantidad de radiación solar que incide sobre la superficie; que al igual que la altura, afecta el grado de insolación y de evapotranspiración (Pentecost, 1979; Rodríguez et al., 2017). Como respuesta al recorrido solar las laderas de exposición al sur (en el hemisferio sur), son más frías y por lo tanto con mayor humedad ambiente (Pentecost 1979; Körner, 1995, 2007). En este marco, Rodríguez et al. (2017) estudiaron la estructura de las comunidades de líquenes saxícolas en relación a los micrositios, donde encontraron mayor riqueza en las comunidades de exposición al sur. A su vez este es uno de los pocos estudios que analizan la cobertura total de líquenes y en el cual no encontraron variación de esta variable, tanto con la altitud como con la orientación.

Por su parte, los biomas de alta montaña son considerados ambientes modelo para el estudio del impacto del cambio climático por las características que poseen (Grabherr et al., 2000; Körner, 2003; Pauli et al., 2015), tales como:

1. Presentan gradientes ecológicos muy reducidos como resultado del estrechamiento de las biozonas térmicas, es por esto que son áreas de gran diversidad (Barthlott et al., 1996).
2. Están dominados por factores ecológicos abióticos relacionados con el clima y la importancia de factores bióticos tales como la competencia disminuye con la altitud. Por consiguiente, los ecosistemas situados dentro del círculo de las bajas temperaturas serán particularmente sensibles al cambio climático. Aún más, los efectos de éste serán mayores y se podrán distinguir mejor que en los ecosistemas de altitudes inferiores (Körner, 1994).
3. El bioma presente en la alta montaña se encuentra en todas las latitudes. En consecuencia, es el único bioma terrestre donde se puede estudiar y comparar los cambios inducidos por el clima a lo largo de gradientes climáticos fundamentales, en altitud, latitud o longitud (Pauli et al., 2015).

Basado en esta premisa, se está desarrollando un proyecto de investigación a nivel mundial llamado GLORIA (Iniciativa para la Investigación y el Seguimiento Global de los

Ambientes Alpinos) que tiene por objeto establecer una red para la observación a largo plazo y el estudio comparativo de los impactos del cambio climático en la biodiversidad de la alta montaña (Grabherr et al., 2000; Pauli et al., 2015). El proyecto GLORIA se restringe a las cumbres de montaña ubicadas entre el límite de los bosques (treeline) y el límite de la vida para la plantas vasculares, zonas de alta diversidad líquénica (Pinokiyo et al, 2008; Baniya et al., 2010). Para estas zonas es relevante el muestreo de líquenes y su diversidad, ya que responden de manera diferente que las plantas vasculares a gradientes ambientales y, principalmente, porque aportan sensibilidad a pequeña escala (escala local), cuando lo que se busca es observar el impacto del cambio climático sobre estas regiones (Rapson, 2016). A pesar de esto, debido a la falta de especialistas y/o de conocimiento sobre la diversidad de líquenes, el proyecto GLORIA solo incluye el muestreo opcional de líquenes (Pauli et al., 2015).

Actualmente existen cinco sitios GLORIA en Argentina, 1) Cumbres Calchaquíes en la provincia de Tucumán; 2) Andes Este en la provincia de Salta; 3) Sierra de Famatina en La Rioja; 4) Pre – Cordillera Patagonia en Santa Cruz; 5) Tierra del Fuego. El sitio GLORIA en la Sierra de Famatina fue seleccionado en el año 2010 y se instalaron 5 cimas en el año 2011. Estas cimas van desde los 2574 msnm hasta los 5100 msnm cumpliendo con la metodología establecida y estandarizada a nivel mundial (Pauli et al., 2015). Hasta el momento el proyecto GLORIA Famatina ha realizado dos campañas de muestreo donde solo se midió cobertura de líquenes y no su diversidad y riqueza, lo que lleva por un lado a subestimar la biodiversidad total del sitio y por otro a subestimar el efecto del cambio climático en la diversidad del lugar.

## **2. Objetivos e Hipótesis**

### **2.1. Objetivo General**

Estudiar como varía la riqueza, diversidad, cobertura y estructura de las comunidades de líquenes a lo largo de un gradiente altitudinal y con respecto a la orientación de las laderas en la Sierra de Famatina.

### **2.2. Objetivos Particulares**

**2.2.1.** Analizar la variación de la riqueza de especies, cobertura, diversidad y estructura de las comunidades de líquenes saxícolas (por ser los únicos presentes en todo el gradiente) según la altura y la orientación de la ladera.

- 2.2.2.** Relevar la riqueza de especies de líquenes que crecen en todos los sustratos en cinco cimas de montaña de la Sierra de Famatina siguiendo un gradiente altitudinal.

### **2.3. Hipótesis**

La altitud y la orientación de la ladera determinan el grado de insolación incidente, temperatura y humedad ambiente. Debido a que las comunidades de líquenes responden a estos factores es de esperar que la estructura, riqueza y diversidad de especies de las comunidades de líquenes saxícolas varíen tanto con la altura como con la orientación. La cobertura total de las mismas no se verá influenciada por ninguna de estas variables.

### **2.4. Predicciones**

- 2.4.1. La riqueza y diversidad de líquenes saxícolas será mayor en las comunidades de exposición al sur.
- 2.4.2. La riqueza y diversidad de líquenes saxícolas será mayor en comunidades de alturas intermedias.
- 2.4.3. La cobertura total de líquenes saxícolas no cambiará con la altitud ni con la orientación.

## **3. Materiales y Métodos**

### **3.1. Área de estudio**

La Sierra de Famatina se ubica en el centro-oeste de la provincia de La Rioja al oeste de Argentina entre los 28° 40' S, 68° W y los 29° 20' S, 67° 30' W. Pertenece al Sistema de Famatina (Toselli et al., 1996) que se encuentra aislado de la cordillera de los Andes y tiene una altura máxima de 6097msnm (Cerro General Belgrano) siendo la montaña extra andina y continental más alta de Sudamérica. Debido a esto se crean condiciones edafoclimáticas con ecosistemas exclusivos y de variada composición específica, conformando esta gran biodiversidad que posibilita la convergencia en un gran ecotono tanto de especies de floras patagónica, cuyana y del NOA (Femenía, 2011). Dos dominios fitogeográficos están presentes en la Sierra de Famatina, el dominio Chaqueño representado por las provincias del Monte y la Prepuneña y el dominio Andinopatagónico, con las provincias Puneña y Altoandina (Cabrera, 1976).

La zona piloto establecida en la Sierra de Famatina en 2011 presenta un gradiente altitudinal que va desde la *treeline* (ecotono del límite superior de los árboles) hasta el límite de la vida para las plantas vasculares representado por las 5 cimas. Cabe destacar que la cima en el proyecto GLORIA no se limita solo al punto culminante de una montaña sino que incluye el área cimera hasta los 10 m de altitud por debajo de dicho vértice (Pauli et al., 2015).

Las cimas seleccionadas fueron las siguientes: 1) Los Gemelos (GEM) a los 2581 msnm; 2) Mirador del Ocre (MDO) a los 2897 msnm; 3) Entre Ríos (ERI) 3687 msnm; 4) Arco Iris (ARC) 4500 msnm y 5) Glaciar de Roca (GDR) 5108 msnm. Entre otras características, no poseen actividad volcánica, están expuestas a la misma influencia climática local y tienen una naturaleza geológica similar (Pauli et al., 2015).

### **3.2. Diseño**

Durante la campaña (2016 – 2017) del proyecto GLORIA en la Sierra de Famatina, se realizó el muestreo sobre tres de las cinco cimas: Los Gemelos, Mirador del Ocre y Arco Iris. Estableciendo por lo tanto un gradiente altitudinal entre estas cimas que fue desde los 2581 msnm a los 4500 msnm. Es necesario aclarar que en Glaciar de Roca no hay líquenes (Rodríguez datos no publicados), por lo que no fue considerada. A la cima Entre Ríos no se pudo acceder por cuestiones de seguridad ante mal clima.

Para el cumplimiento del primer objetivo particular, dentro de las 3 cimas, se seleccionaron al azar 5 roquedales por ladera (NO, NE, SE, SO) dentro de los 10 m de altitud por debajo del punto culminante de la cima. La orientación de cada ladera fue determinada con brújula. Por cada roquedal, se marcó un cuadrado de 20 x 20 cm donde se identificaron todos los líquenes presentes. Para que un roquedal fuera seleccionado, la superficie medida debía tener la misma orientación que la ladera y una pendiente superior a 40° medida con clinómetro. Al mismo tiempo se tomó una fotografía digital para medir cobertura de cada especie identificada a través del software Image J de manera similar a lo realizado por Estrabou et al. (2011).

Con respecto al segundo objetivo se identificaron las especies de líquenes presentes en cada cima y en todos los sustratos. Se elaboró un inventario que permitió separar, al conjunto de las especies, de acuerdo a cada altitud en la que fueron encontradas.

Los líquenes fueron identificados a campo con la ayuda de lupas de mano y reacciones químicas de color con los reactivos K (solución 10% de hidróxido de potasio) y C

(hipoclorito de sodio comercial sin diluir). Cuando la identificación a campo no fue posible se tomaron muestras para ser analizadas en el laboratorio mediante el uso de estereomicroscopios, microscopios y cromatografía en capa delgada.

### **3.3. Análisis de Datos**

Se tomaron como variables respuesta univariadas a la riqueza (número de especies), diversidad (índice de Shannon) y cobertura total de líquenes por roca. Para la riqueza se aplicó un modelo lineal generalizado con distribución de Poisson en el que la altura, la orientación de la ladera y la interacción fueron factores fijos. La cobertura total y diversidad fueron analizadas mediante un modelo mixto con las mismas variables explicatorias. La cobertura total fue transformada en logaritmo en base 10 para corregir la no normalidad de los errores. Se siguió el criterio de Akaike para seleccionar el mejor modelo para cada una de las variables. En todos modelos se aplicó el test de comparaciones múltiples LSD Fisher para comparar las medias de los diferentes niveles de cada factor (Balzarini et al., 2008, Di Rienzo et al., 2011, 2017b).

Para estudiar cómo cambia la composición de especies de líquenes saxícolas en el gradiente, se aplicó el Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), a partir de la matriz de cobertura de especies x unidades (rocas) y la matriz de unidades por altura y orientación. Para obtener un ordenamiento más claro en este análisis (McCune et al., 2002) se eliminaron aquellas especies que tuvieron menos de tres apariciones en las unidades muestrales (cuadrados), quedando una matriz con 27 especies analizadas.

Como método de clasificación, se realizó un Análisis de Especies Indicadoras (ISA). Este método es muy útil para detectar y describir el valor de las especies para grupos determinados por diferentes condiciones ambientales, en este caso las cimas, las orientaciones y la combinación de ambas. El análisis combina información de abundancia de especies con la ocurrencia dentro de los grupos particulares, siendo el indicador perfecto aquel que está siempre presente y es exclusivo del grupo (IV=100). Basado en ese estándar de indicador perfecto, ISA produce un valor indicador (IV) para cada especie en cada grupo. A su vez se aplicó el test de Monte Carlo para estimar la significancia estadística de cada IV con un valor de probabilidad de 0,05% (McCune et al., 2002).

Se utilizaron los software Infostat, su interfase con R (Di Rienzo et al., 2017a) y PCOrd (McCune & Mefford, 1999) para la realización de todos los análisis.

## 4. Resultados

### 4.1. Riqueza

Se identificaron 70 especies en total en las tres cimas (Tabla 1) considerando todos los sustratos posibles. La cima con mayor riqueza fue Mirador del Ocre (2897 msnm) con 42 especies identificadas, seguida por Los Gemelos (2581 msnm) y Arcoíris (4500 msnm) con 32 y 26 especies respectivamente. Como se observa en la Figura 1, 46 de ellas (65%) se encontraron solo en una cima, mientras que solo cinco especies estuvieron presentes en todo el gradiente, lo que sugiere una distribución restringida de las mismas.

A partir del análisis cuantitativo de las comunidades de líquenes saxícolas se relevaron 55 cuadrados (rocas) a partir de las 12 laderas estudiadas. Solo en la ladera NO en la cima Arcoíris no se encontraron líquenes.

El modelo aplicado para la riqueza arrojó diferencias significativas para las cimas con un p valor  $< 0,0001$ , no así para orientación de la ladera (p valor = 0,330). Además, Las tres cimas fueron significativamente diferentes entre sí siendo Mirador del Ocre (altitud intermedia) la que mostró el mayor valor de riqueza promedio entre unidades muestrales (7) seguida por Los Gemelos (4) y luego por Arcoíris (2) (Fig. 2).

### 4.2. Cobertura

Mirador del Ocre fue la cima con mayor porcentaje de cobertura promedio (35,55%), siendo significativamente mayor que Los Gemelos (19,64%) y Arcoíris (8,34%) con un p valor = 0,0003 (Fig. 3). Por otra parte se observaron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura total entre las laderas de orientación Sur (29,76%) con las de orientación Norte (12,59%), p valor= 0,0011. A su vez, fue significativa la interacción entre ambos factores con un p valor = 0,0036, siendo más pronunciado el efecto de la orientación en las cimas de menor altitud (Fig. 4).

### 4.3. Diversidad

La diversidad representada por el índice de Shannon varió desde 1,34 (Arcoíris ladera Sur) a 2,29 en la cima Mirador del Ocre ladera S.

El modelo aplicado para la diversidad mostró diferencias significativas para las cimas con un p valor de 0.0059, donde las Cimas Los Gemelos (2581 msnm) y Cima Mirador



del Ocre (2897 msnm) fueron significativamente mayores de Arcoíris (4500 msnm) con índice de Shanon promedio de 0,76; 0,96 y 0,47 respectivamente. Mientras que la orientación ( $p$  valor = 0,2843) y la interacción de ambos factores ( $p$  valor = 0,8776) no dieron significativas (Fig. 4).

#### 4.4. Composición

El resultado del análisis de Correspondencia Canónica (CCA) muestra que las unidades se ordenaron en función de la altura y en menor medida de la orientación con un coeficiente de correlación canónica entre el eje 1 y la altura de 0,828 y entre el eje 2 y la orientación de 0,626. En la Figura 5 se puede observar una tendencia de los puntos pertenecientes a la ladera sur en Los Gemelos a separarse de los puntos de la ladera norte en Mirador del Ocre, estando los primeros hacia la derecha del eje 1. Cabe destacar que entre las especies vinculadas a estos grupos, se encuentran *Buellia sulphurea*, *Placomaronea candelarioides*, *Umbilicaria haplocarpa* para MDO norte y *Endocarpon adscendens* para Los Gemelos sur, especies confirmadas como indicadoras por el ISA (Tabla 3). Por su parte los puntos correspondientes a la cima Arcoíris se ubican a la derecha del eje 1 y no muestran tendencia de separación con respecto al eje 2. En este extremo de la ordenación los puntos están vinculados a especies como *Umbilicaria* sp. 2, *Rhizoplaca melanophthalma* y *Candelariella vitelina*, también con alto valor indicador en el ISA (Tabla 3). El CCA tuvo una inercia total en los datos de especies de un 10,44 y una varianza total explicada por los 2 ejes del 10%.

A partir del Análisis de Especies Indicadoras (ISA) se identificaron 12 especies con valor indicador (IV) significativos para los diferentes grupos ( $p$  valor <0,05). Como se observa en la Tabla 3 todos los grupos (cimas, orientaciones y las interacciones) poseen especies indicadoras diferentes que son específicas de esas condiciones ambientales.

**Tabla 1. Lista de especies identificadas y su rango altitudinal en las tres cimas estudiadas.** GEM: Gemelos, MDO: Mirador del Ocre, ARC: Arcoiris. 1= Presencia. 2= Ausencia.

Especies /cimas	GEM	MDO	ARC	Rango altitudinal (en m)	
<i>Acarospora altoandina</i>		1	1	1	2581-4500
<i>Acarospora</i> “amarilla sp. 2”		1	1	0	2581-2897

<i>Acarospora boliviana</i>	1	1	1	2581-4500
<i>Acarospora</i> “marrón”	0	1	0	2897
<i>Acarospora</i> “marrón sp3”	1	0	0	2581
<i>Acarospora rouxii</i>	1	0	0	2581
<i>Acarospora</i> sp. 5	0	0	1	4500
<i>Acarospora strigata</i>	0	1	0	2897
<i>Amandinea coniops</i>	0	1	0	2897
<i>Amandinea</i> sp. 1	0	1	0	2897
“Apotecios negros s/t”	1	1	0	2581-2897
<i>Buellia aethalea</i>	0	0	1	4500
<i>Buellia badia</i>	0	0	1	4500
<i>Buellia</i> “cf. dispersa”	0	0	1	4500
<i>Buellia dispersa</i>	1	1	1	2581-4500
<i>Buellia mammillana</i>	0	0	1	4500
<i>Buellia</i> sp. 4	0	1	0	2897
<i>Buellia</i> sp. 6	0	0	1	4500
<i>Buellia</i> “sp con prótalo”	0	0	1	4500
<i>Buellia stellulata</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Buellia sulphurea</i>	0	1	1	2897-4500
<i>Caloplaca americana</i>	0	1	1	2897-4500
<i>Caloplaca bolacina</i>	1	1	1	2581-4500
<i>Caloplaca ochraceofulva</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Candelariella vitellina</i>	1	1	1	2581-4500
<i>Catillaria</i> “cf. chalybeia”	0	0	1	4500
<i>Endocarpon adscendens</i>	1	1	0	2581-2897
“Escuamuloso cf. <i>Psora</i> ”	0	0	1	4500
<i>Flavoparmelia caperata</i>	1	0	0	2581
<i>Lecanora</i> “cf. polytropa”	0	1	1	2897-4500
<i>Lecanora</i> sp. 2	0	0	1	4500
<i>Lecidea</i> “parásita”	0	1	0	2897
<i>Lecidea</i> sp.	1	0	0	2581
<i>Lecidella</i> sp.	0	1	0	2897
<i>Lepraria</i> sp.	0	0	1	4500
“Liquen negro crustoso”	0	1	0	2897
<i>Paraparmelia</i> sp.	1	0	1	2581-4500
<i>Pertusaria</i> sp.	1	1	0	2581-2897
<i>Phaeophyscia</i> sp.	0	1	0	2897
<i>Physcia tribacia</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Placomaronea candelarioides</i>	1	1	1	2581-4500
<i>Protoparmelia badia</i>	1	0	0	2581
<i>Psiloparmelia distincta</i>	0	1	0	2897
<i>Psora</i> sp.	1	0	0	2581
<i>Punctelia stictica</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Ramalina polymorpha</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Rhizocarpon disporum</i>	0	1	0	2897

<i>Rhizocarpon geographicum</i>	0	0	1	4500
<i>Rhizocarpon</i> “gris”	0	0	1	4500
<i>Rhizoplaca aspidophora</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Rhizoplaca melanophthalma</i>	0	0	1	4500
<i>Rinodina confragosula</i>	0	1	0	2897
<i>Rinodina longisperma</i>	0	1	0	2897
<i>Rinodina oxydata</i>	1	0	0	2581
<i>Teloschistes hosseussianus</i>	0	1	0	2897
<i>Umbilicaria aplocarpa</i>	0	1	0	2897
<i>Umbilicaria</i> sp. 2	0	0	1	4500
<i>Usnea parvula</i>	1	0	0	2581
<i>Xanthoparmelia cordillerana</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Xanthoparmelia farinosa</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Xanthoparmelia ferraroiana</i>	0	1	0	2897
<i>Xanthoparmelia plittii</i>	1	1	0	2581-2897
<i>Xanthoparmelia punctulata</i>	1	0	0	2581
<i>Xanthoparmelia santesonii</i>	0	1	0	2897
<i>Xanthoparmelia</i> sp.	0	1	0	2897
<i>Xanthoparmelia</i> sp. 2	1	0	0	2581
<i>Xanthoparmelia ulcerosa</i>	0	1	0	2897
<i>Xanthoparmelia wrightiana</i>	1	0	0	2581
<i>Xanthoria</i> “cf. polycarpa”	0	0	1	4500

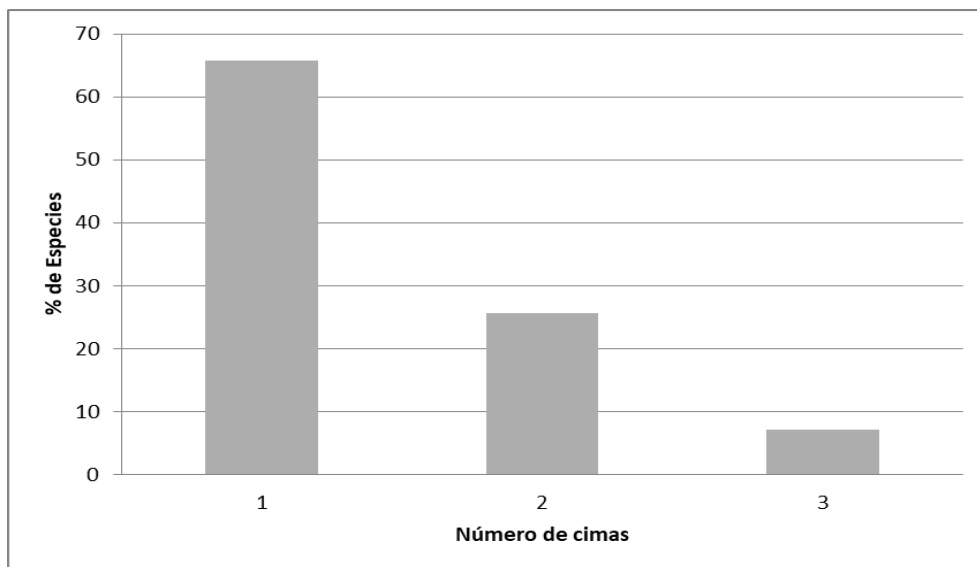
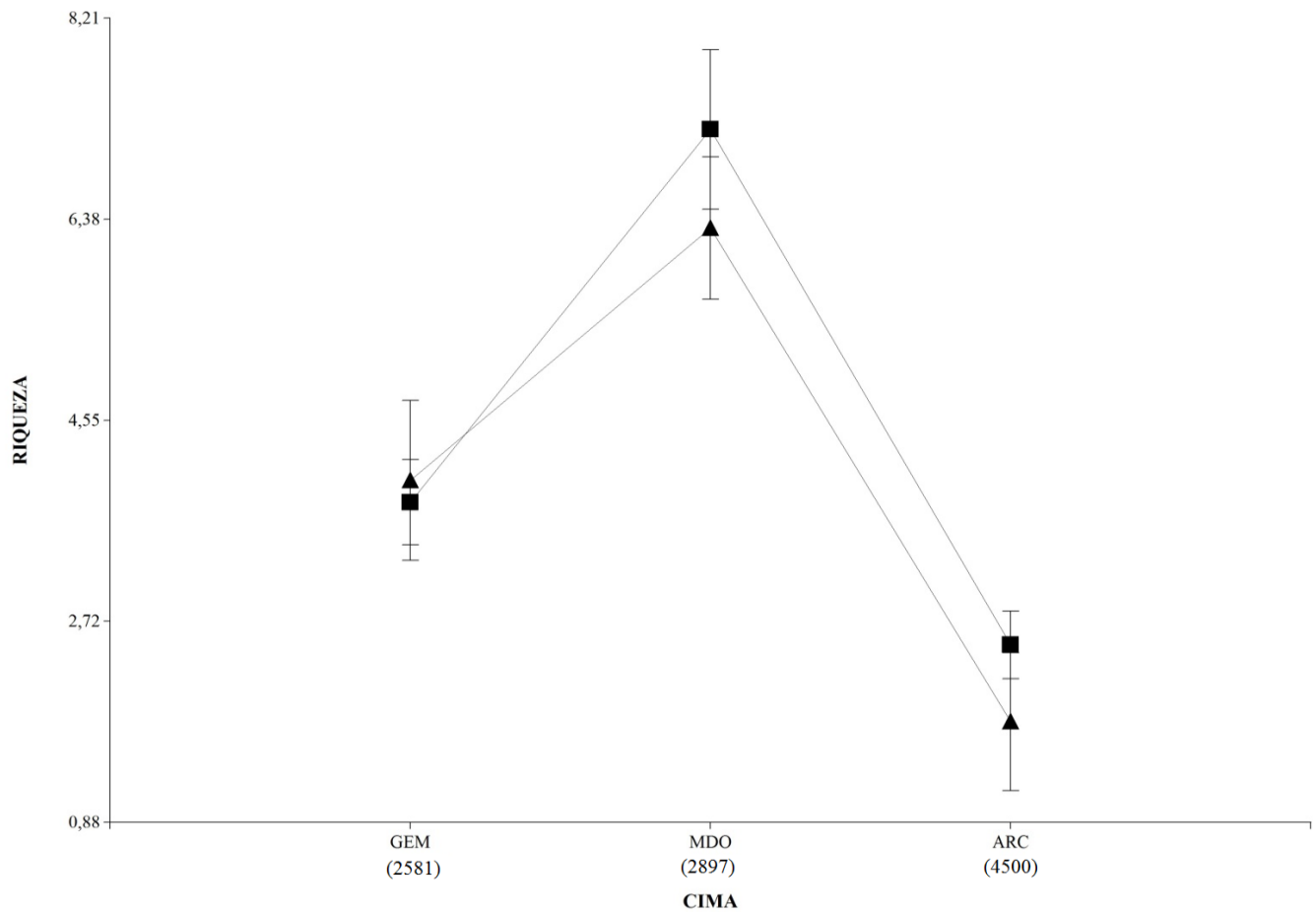
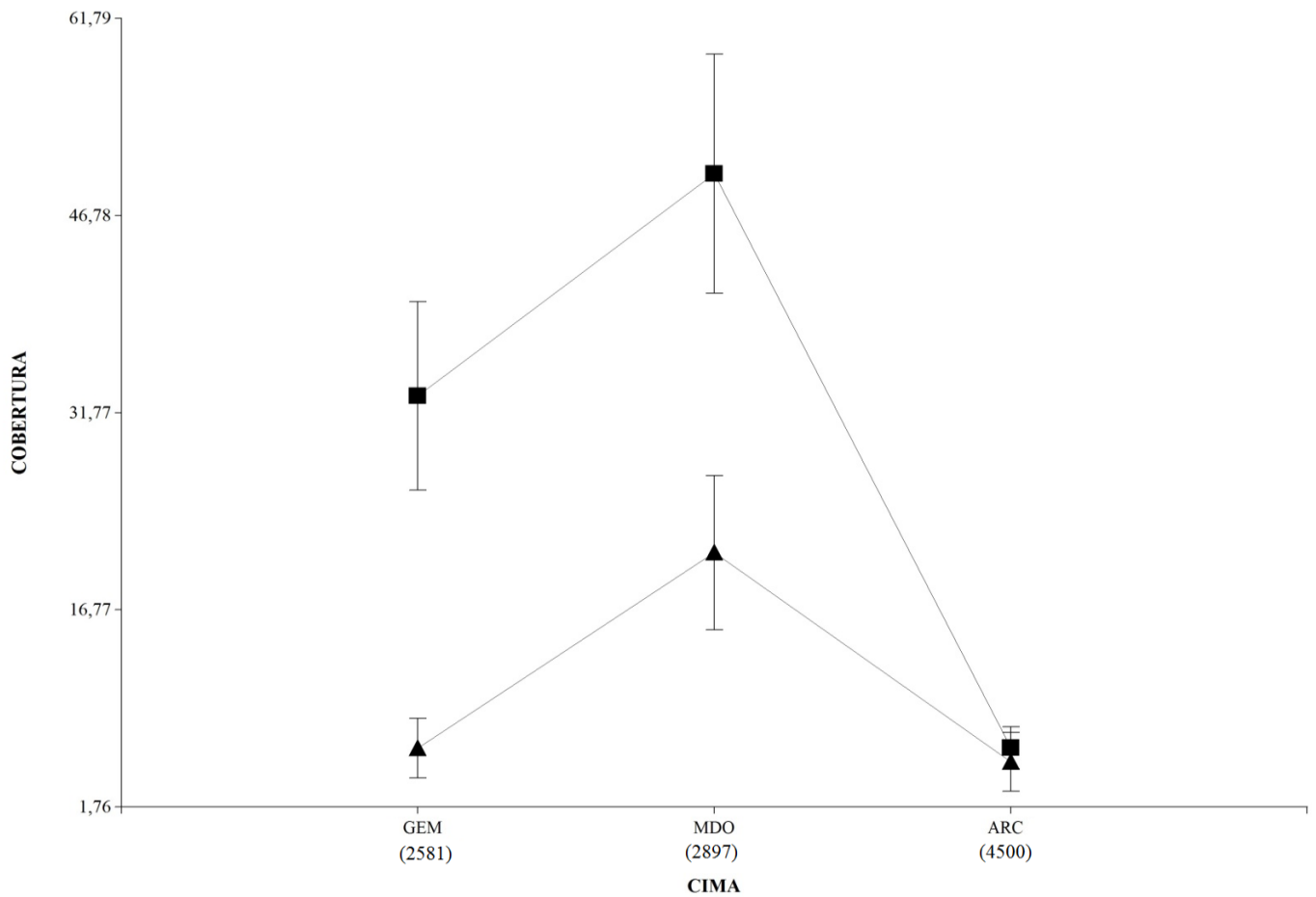


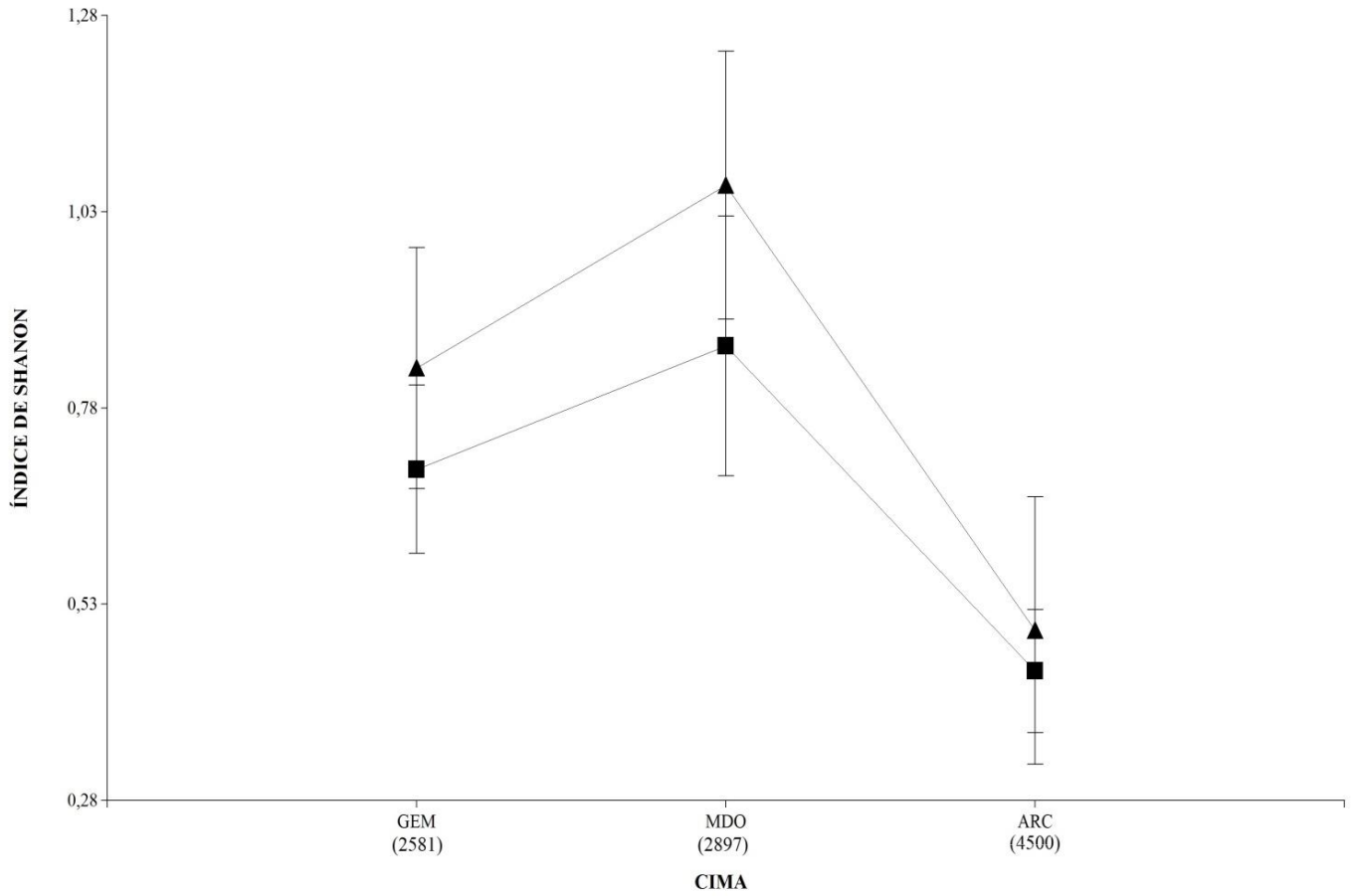
Figura 1. Especies presentes en 1, 2 o 3 cimas (expresado en porcentajes).



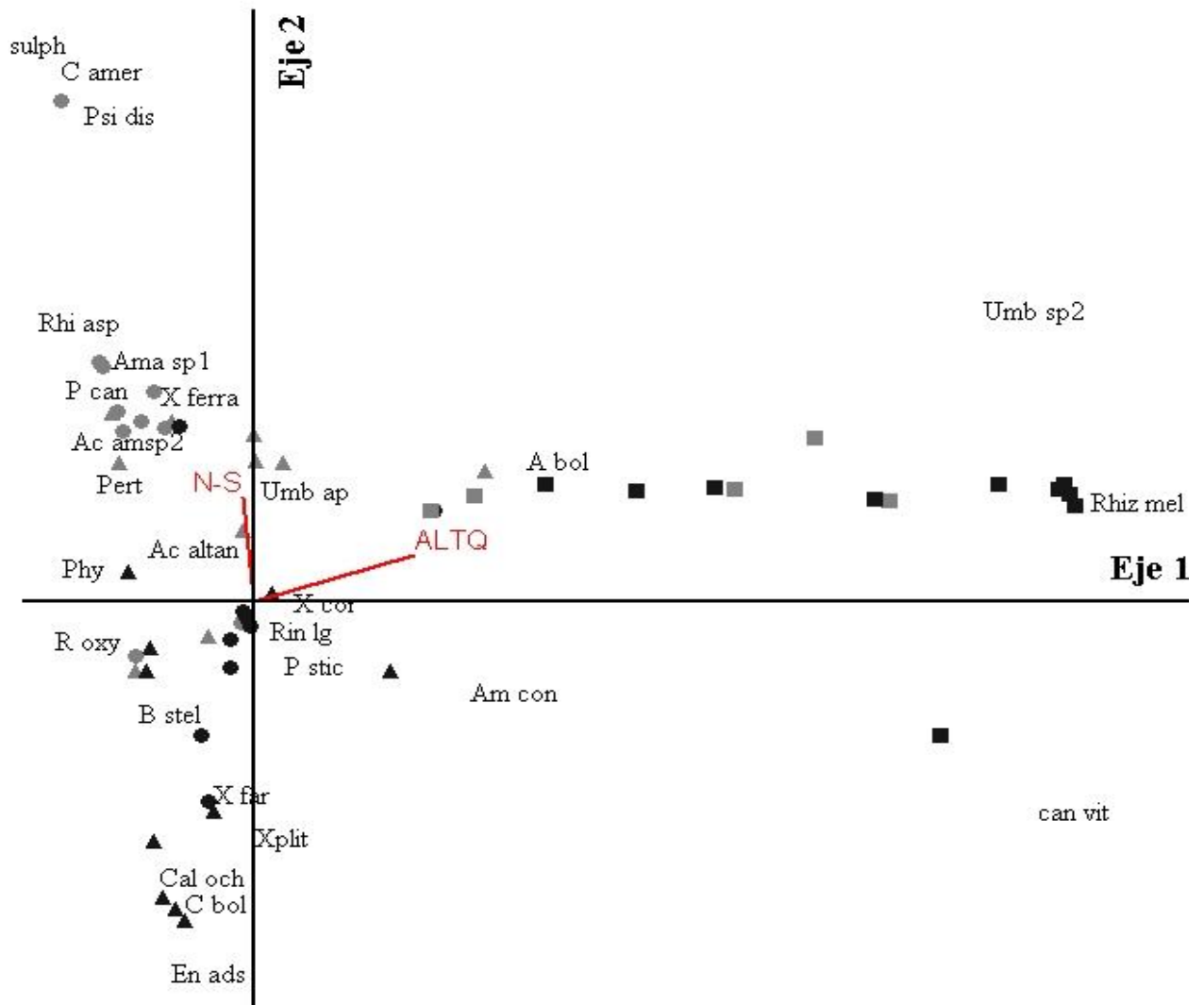
**Figura 2. Riqueza de especies promedio en las laderas de las diferentes cimas y orientaciones. ■ = laderas sur ▲ = norte. GEM = Los Gemelos, MDO = Mirador del Ocre, ARC = Arcoíris. En paréntesis la altura en msnm. Las barras verticales corresponden al error estándar.**



**Figura 3. Cobertura total de líquenes promedio.** ■ = laderas sur ▲= norte. GEM = Los Gemelos, MDO = Mirador del Ocre, ARC = Arcoíris. En paréntesis la altura en msnm. Las barras verticales corresponden al error estándar.



**Figura 4. Índice de diversidad de Shannon.** ■ = laderas sur ▲ = norte. GEM = Los Gemelos, MDO = Mirador del Ocre, ARC = Arcoíris. En paréntesis la altura en msnm. Las barras verticales corresponden al error estándar.



**Figura 5. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA).** Las líneas ALQ y N-S muestran la correlación de cada eje con la Altura y la Orientación N-S respectivamente. ▲: Gemelos, ●: Mirador del Ocre ■: Arcoiris. Puntos negros: orientación sur, puntos grises: orientación norte. Especies: sulph= *Buellia sulphurea*; C amer = *Caloplaca americana*; Psi dis= *Psiloparmelia distincta*; Rhi asp= *Rhizoplaca aspidophora*; Ama sp1= *Amandinea sp1*; P can= *Placomaronea candelarioides*; X ferra= *Xanthoparmelia ferraroiana*; Ac amsp2= *Acarospora* “amarilla sp2”; Pert= *Pertusaria* sp; Ac altan= *Acarospora Altoandina*; Phy= *Phycia tribacia*; Umb ap= *Umbilicaria apocarpa*; X cor= *Xanthoparmelia cordillerana*; Rin lg= *Rinodina longisperma*; R oxy= *Rinodina oxydata*; P stic= *Punctelia stictica*; Am con= *Amandinea coniops*; B stel= *Buellia stellulata*; X far= *Xanthoparmelia farinosa*; Xplit= *Xanthoparmelia plitii*; Cal och= *Caloplaca ochrolechia*; C bol= *Caloplaca bolacina*; En ads= *Endocarpon adscendens*; can vit= *Candelariella vitellina*; A bol= *Acarospora boliviana*; Umb sp2= *Umbilicaria sp2*; Rhiz mel= *Rhizoplaca melanophtalma*.

**Tabla 3. Análisis de especies indicadores (ISA) con un  $p < 0,05$ , según cimas (a), orientaciones (b) y cimas y orientaciones (c). IV: Valor Indicador.**

a)

Especies	Cima	IV	p*
<i>Amandinea</i> sp. 1	MDO	25	0,0232
<i>Buellia sulphurea</i>	MDO	20	0,0334
<i>Endocarpon adscendens</i>	GEM	19,7	0,0334
<i>Placomaronea candelarioides</i>	MDO	74,2	0,0002
<i>Psiloparmelia distincta</i>	MDO	20	0,0330
<i>Punctelia stictica</i>	MDO	20	0,0364
<i>Rhizoplaca melanophthalma</i>	ARC	100	0,0002
<i>Rinodina longisperma</i>	MDO	40	0,0004
<i>Umbilicaria</i> sp. 2	ARC	33,3	0,0004
<i>Umbilicaria haplocarpa</i>	MDO	50	0,0002

b)

Especies	Orient.	IV	p*
<i>Candelariella vitellina</i>	S	31,7	0,0274
<i>Endocarpon adscendens</i>	S	26,3	0,0186
<i>Placomaronea candelarioides</i>	N	42,7	0,008

c)

Especies	Cima*Orientación	IV	p*
<i>Buellia sulphurea</i>	MDO.N	80	0,0004
<i>Candelariella vitellina</i>	ARC.S	69,8	0,0038
<i>Endocarpon adscendens</i>	GEM.S	79	0,0004
<i>Placomaronea candelarioides</i>	MDO.N	29,1	0,0234
<i>Rhizoplaca melanophthalma</i>	ARC.S	64,6	0,0002
<i>Umbilicaria haplocarpa</i>	MDO.N	39,1	0,0082



## **5. Discusión**

Los cambios en diversidad y riqueza de especies a lo largo de un gradiente altitudinal son el resultado de procesos ecológicos y evolutivos, pudiendo tener una relación lineal o unimodal con la altura (Lomolino, 2001). Los ecosistemas de montaña son “hotspots” de biodiversidad (Lomolino, 2001; Körner, 2003) y son ambientes particularmente sensibles al cambio climático (Sala et al., 2000). Según diversas proyecciones, para fines del siglo XXI, gran parte de hábitats adecuados para muchas especies vegetales en este tipo de ambientes podrían perderse debido al cambio climático (Engler et al., 2011; Tovar et al., 2013). El impacto que esto puede causar y la implicancia para la conservación de estos sitios solo es posible documentarlo mediante monitoreo a largo plazo, siendo este, el objetivo del proyecto GLORIA (Pauli et al., 20015). Para observar las diferencias que surgen en respuesta al cambio climático, es indispensable disponer de información de referencia completa sobre la flora y la cubierta vegetal (Jedrzejek et al., 2012).

Varios estudios datan la gran diversidad de líquenes de los sistemas montañosos en otros continentes (Kuntz & Larson, 2006; Pinokiyo et al., 2008, Baniya et al., 2010) “patrón” que se repite en América del Sur. Por ejemplo, 745 especies fueron registradas para los Andes venezolanos (Marcano et al., 1996) de 1200 presentes en ese país (Feurerer, 2017). A su vez Rodriguez et al. (2017) identificaron 107 especies de líquenes saxícolas en el Cerro Champaquí, Córdoba Argentina, máxima riqueza registrada para la región. En este trabajo se identificaron 70 especies de líquenes en tres sitios de estudio. Además de los patrones altitudinales encontrados es destacable que, antes de este estudio, solo 10 especies habían sido mencionadas para La Rioja (Calvelo & Liberatore, 2002). Es importante considerar que el 64% de las especies (45 especies) fueron crustosas y probablemente su diversidad esté subestimada debido a la falta de estudios taxonómicos en estas latitudes, motivo por el cual fue difícil su identificación. Por otra parte, especies foliosas y fruticulosas pudieron ser identificadas usando trabajos taxonómicos previos (Estrabou & Adler, 1999; Rodriguez et al., 2011).

En la Sierra de Famatina se encontró un pico de riqueza a una altura intermedia aceptando la hipótesis y predicción planteada para esta variable. El máximo de riqueza en las comunidades líquénicas a una altura intermedia fue reportado por varios autores (Wolf, 1993; Pinokiyo et al., 2008; Baniya et al., 2010). Sin embargo otros estudios no han encontrado relación entre altura y riqueza (Nascimbene & Marini, 2015; Rodriguez et

al., 2017). Bässler et al. (2015), obtuvieron una relación lineal directa entre altura y la riqueza de las comunidades de líquenes a lo largo de un gradiente. No obstante, existen varias teorías ecológicas que podrían explicar el pico de riqueza a una altura intermedia encontrada en este trabajo. El intercambio biótico entre dos comunidades zonales ricas y diferentes, probablemente crea una zona de transición a una altura intermedia con una riqueza superior a ambas (Lomolino, 2001). Además, en zonas de alta montaña las interacciones de competencia se reducen, la heterogeneidad de hábitat es mayor y las condiciones ambientales se vuelven más selectivas sobreviviendo especies que no pueden hacerlo más abajo (Körner & Spehn, 2002). A pesar de ello, como se mencionó anteriormente, existen variaciones notables en los patrones de riqueza y altitud considerando solamente a los líquenes. En consecuencia es relevante indagar en las características particulares de cada zona de estudio y la heterogeneidad intrínseca que presentan (Körner & Spehn, 2002). En el presente trabajo se indagó en las diferentes orientaciones de la ladera ya que no existen muchos trabajos donde se haya estudiado la riqueza en función de esta variable. Rodríguez et al. (2017) observaron mayor riqueza en las laderas sur, mientras que, en contraposición de la hipótesis planteada, la riqueza absoluta fue similar entre laderas de exposición sur y norte, pero existieron diferencias en la estructura. Como las condiciones de las laderas sur son favorables, aquellas especies más competitivas son las que sobreviven, mientras que en laderas norte están presentes solo las resistentes a las condiciones desfavorables (Armstrong & Welch, 2007). Es por esto que puede existir una riqueza absoluta similar pero una composición diferente.

La cobertura total a lo largo del gradiente y en relación a la orientación de la ladera no mostró los resultados esperados según nuestra hipótesis, ya que las laderas sur y la cima de altura intermedia MDO, tienen mayor cobertura liquénica, contrastando con lo obtenido por Rodríguez et al. (2017). Pentecost (1979) establece que en ausencia de factores de oscurecimiento, la orientación y la pendiente de una superficie de roca determinan la cantidad de radiación solar directa y difusa que cae sobre ella. Esto afecta, a su vez, el grado de insolación, la tasa de exposición y la relación de agua. Considerando esta premisa, las laderas norte presentan condiciones desfavorables, con mayor temperatura y menor humedad ambiente (Körner, 2007). Altas temperaturas superficiales pueden causar dos efectos sobre los líquenes. Primero, el talo puede secarse, lo que resulta en pérdida parcial de agua celular en ambos simbiontes (Honegger, 1991). Segundo, después de las lluvias los líquenes presentes en las laderas norte se sacan más rápido y el

tiempo metabólicamente activo es menor, resultando en una menor tasa de crecimiento (Armstrong & Smith, 1976). En la altura intermedia (cima MDO), las temperaturas son intermedias, lo que explicaría la mayor cobertura liquénica en esta cima. Debido a la interacción entre la altura y la orientación en la cima Arcoíris, no se observaron diferencias en la cobertura entre laderas norte y sur, probablemente debido a las temperaturas demasiado bajas de las laderas sur en esta altura.

La diversidad representada por el índice de Shannon en la Sierra de Famatina es más alta en las alturas intermedias y bajas, mientras que en la cima de mayor altura la diversidad cae notablemente, contrastando con la hipótesis planteada. Se ha observado que en las zonas alpinas la diversidad de criptógamas se reduce drásticamente en las porciones superiores del gradiente (Körner & Spehn, 2002). Pinokiyo et al. (2008) obtienen un patrón de la diversidad similar a la riqueza observando un patrón unimodal. Mientras que Rodríguez et al., (2017) obtienen una correlación alta entre diversidad y la riqueza, sin encontrar relación de estas variables con la altura y la orientación. La diferencia entre estos dos trabajos es el rango altitudinal del estudio, ya que el patrón unimodal se obtiene en gradientes amplios. Sería necesario estudiar la porción más baja de este gradiente (< 2583 msnm.) para confirmar si se observa este patrón. Por otra parte de acuerdo a los resultados obtenidos, opuestos a nuestra hipótesis, la orientación de la ladera parece no ser factor importante para la diversidad en este sitio.

La composición de las comunidades liquénicas en la Sierra de Famatina no es uniforme y depende de la altura y la orientación, siendo esta última relevante en alturas bajas e intermedias. La temperatura, humedad ambiente y radiación varían entre diferentes altitudes (Körner, 2007), por lo que aquellas especies que tienen alta tolerancia a condiciones ambientales extremas, no podrían crecer en alturas donde las condiciones sean mejores debido a la competencia interespecífica, mientras que en las alturas donde las condiciones son desfavorables, la competencia se reduce pudiendo crecer aquellas tolerantes a las mismas (Armstrong & Welch, 2007). Una explicación similar es aplicable a la orientación como se mencionó anteriormente. De esta manera diferentes alturas y orientaciones poseen diferentes comunidades de líquenes, resultado que se observa en otros trabajos (Pinokiyo, 2008; Ruas, 2015; González et al., 2017; Rodríguez et al., 2017).

Numerosos estudios, donde trabajaron con comunidades de líquenes, muestran una alta frecuencia de especies raras (Kuntz & Larson, 2006; Cáceres et al., 2007; Pinokiyo et al., 2008, Rodríguez et al., 2017), al igual que el nuestro, donde el 75% de las especies

identificadas tuvieron una frecuencia inferior al 10% y a su vez el 65% estuvo presente solo en una cima. Ello sugiere una especialización en nichos debido a la influencia de factores como la incidencia de luz o exposición y humedad (Rubio et al., 2002), variables determinadas por la altura y la orientación (Pentecost, 1979; Körner, 2003, 2007). Este resultado además sugiere que los roquedales son reservorios de diversidad de líquenes (Mathes, 2000).

Analizando la Tabla 1, observamos que la cima MDO es la que mayor cantidad de especies foliosas posee (14), resultado similar fue reportado por Pinokiyo et al. (2008) quienes identificaron gran cantidad de especies foliosas a una altura intermedia. A su vez MDO tuvo siete especies indicadoras de las cuales 4 fueron foliosas, ratificando la importancia de estas especies en esta cima. Las especies crustosas fueron dominantes en todo el gradiente, pero en la cima Arcoíris esta dominancia se acentúa debido al decaimiento de las especies foliosas con la altura (Wolf, 1993). Cabe destacar que en Arcoíris fue indicadora *Rhizoplaca melanophthalma*, una especie de distribución Patagónica y Altoandina (Leavitt et al., 2013), lo que no sorprende por las condiciones presentes en esta cima. Estos datos podrían estar indicando un cambio en la diversidad funcional a lo largo del gradiente. Webb et al. (2010), mencionan que las características funcionales de las especies de líquenes (diversidad funcional), están directamente vinculadas a factores ambientales. Por otra parte notamos la existencia de especies asociadas a cimas y laderas particulares con condiciones de alta radiación, como lo son *Candelariella vitellina* en la cima Arcoiris, *Placomaronea candelarioides* y *Buellia sulphurea* asociadas a MDO norte, especies de color naranja y amarillo, que poseen sustancias químicas como ácido rizocárpico, parietinas, etc., que por lo general protegen a las algas de la excesiva radiación (Elix & Stocker – Worgotter, 2008).

## 6. Conclusiones.

Como objetivo general nos planteamos estudiar como varía la riqueza, diversidad, cobertura y estructura de las comunidades de líquenes a lo largo de un gradiente altitudinal y con respecto a la orientación de las laderas en la Sierra de Famatina.

Hemos demostrado que la altura es una variable que modifica todos los patrones comunitarios estudiados. Asimismo la heterogeneidad de hábitat, sintetizada en este

trabajo a través de las orientaciones, influye en la estructura y cobertura de líquenes, solo en las alturas más bajas del gradiente.

Este trabajo hace un gran aporte a la diversidad de la región, pudiendo incluso aportar información de base para nuevos monitoreos y la posibilidad de observar en nuevos estudios, cómo puede estar influyendo el cambio climático sobre la composición de estas comunidades en las diferentes alturas. En este sentido es relevante considerar que los líquenes son los últimos macro organismos que habitan los pisos de elevación más altos en los sistemas montañosos y por lo tanto su seguimiento en el tiempo permitirá conocer acabadamente el impacto del cambio climático en estos ambientes.

## **7. Referencias bibliográficas**

**Armstrong, R. A., & Smith, S. N. (1976).** Do the lichens *Xanthoparmelia conspersa* (Ach.) Hale and *Rhizocarpon* Ram. em. Th. Fr. subgenus *Rhizocarpon* utilise exogenous carbohydrates for radial growth?. *Environmental and experimental botany*, 36(1), 13-20.

- Armstrong, R. A., & Welch, A. R. (2007).** Competition in lichen communities. *Symbiosis*, 43(1), 1-12.
- Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada M., Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., Robledo, C.W.(2008).** Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Baniya, C. B., Solhoy, T., Gauslaa, Y., & Palmer, M. W. (2010).** The elevation gradient of lichen species richness in Nepal. *The Lichenologist*, 42(1), 83-96.
- Barthlott, W., Lauer, W., & Placke, A. (1996).** Global Distribution of Species Diversity in Vascular Plants: Towards A World Map Of Phytodiversity (Globale Verteilung der Artenvielfalt Höherer Pflanzen: Vorarbeiten zu einer Weltkarte der Phytodiversität). *Erdkunde*, 317-327.
- Bässler C., Cadotte M.W., Beudert B., Heibl C., Blaschke M., Heribert Bradtka J., Langbehn T., Werth S., Müller J. (2015).** Contrasting patterns of lichen functional diversity and species richness across an elevation gradient. *Ecography* 38:1–10. doi: 10.1111/ecog.01789.
- Cabrera, A. L. (1976).** Regiones fitogeográficas argentinas, en WF Kugler (ed.), *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*, tomo 2, fascículo 1.
- Cáceres, M. E., Lücking, R., & Rambold, G. (2007).** Phorophyte specificity and environmental parameters versus stochasticity as determinants for species composition of corticolous crustose lichen communities in the Atlantic rain forest of northeastern Brazil. *Mycological Progress*, 6(3), 117-136.
- Calvelo, S. & Liberatore, S. (2002).** Catálogo de los líquenes de la Argentina. *Kurtziana* 29: 7–170.
- Crites, S., & Dale, M. R. (1998).** Diversity and abundance of bryophytes, lichens, and fungi in relation to woody substrate and successional stage in aspen mixedwood boreal forests. *Canadian Journal of Botany*, 76(4), 641-651.
- Di Rienzo, J.A., Macchiavelli, R. E., Casanoves, F. (2011).** Modelos lineales mixtos : 1a. ed. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Libro digital, PDF. URL [www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar).
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2017 a).** InfoStat, versión 2017, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL [www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar).
- Di Rienzo, J.A., Macchiavelli, R. E., Casanoves, F. (2017 b).** Modelos lineales generalizados mixtos: aplicaciones en InfoStat. 1a edición especial. Grupo InfoStat,

- FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Libro digital, PDF. URL [www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar).
- Elix, J.A., & Stocker-Worgotter, E. (2008).** Biochemistry and secondary metabolites. En: Lichen Biology, ed. Thomas H. Nash III. Published by Cambridge University Press. Cambridge University Press. Pp: 104 – 133.
- Engler, R.; Randin, C., Thuiller, W.; Dullinger, S., Zimmermann, N. E., Araújo, M. B.; Pearman, P. B., Le Lay, G., Piédallu, C., Albert, C. H., Choler, P., Coldea, G., de Lamo, X.; Dirnböck, T., Gégout, J.-C., Gómez-García, D., Grytnes, J.-A., Heegaard, E., Høistad, F., Nogués-Bravo, D., Normand, S., Puşcas, M., Sebastià, M.-T., Stanisci, A., Theurillat, J.-P., Trivedi, M., Vittoz, P. & Guisan, A. (2011).** 21st climate change threatens European mountain flora. *Global Change Biology* 17: 2330–2341.
- Estrabou, C., & Adler, M. T. (1999).** Novedades sobre Parmeliaceae sensu stricto (Ascomycota liquenizados) de la Provincia de Córdoba, República Argentina. *Bol. Sociedad Argentina de Botánica* 34(1-2), 63-75.
- Estrabou, C., Filippini, E., Soria, J. P., Schelotto, G., Rodriguez, J. M. (2011).** Air quality monitoring system using lichens as bioindicators in Central Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment* 182(1-4): 375-383.
- Eversman, S. (1982).** Epiphytic lichens of a Ponderosa pine forest in Southeastern Montana. *Bryologist*, 204-213.
- Femenia, J. H. 2011.** En: Flora del Famatina. Publicado en internet. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/68335610/Flora-Del-Famatina>. Activo: Agosto 2017.
- Feuerer, T. (2017).** Checklist of lichens and lichenicolous fungi of Venezuela. Publicado en internet. Disponible en: [http://www.lichens.uni-hamburg.de/lichens/south-america/venezuela\\_1.htm](http://www.lichens.uni-hamburg.de/lichens/south-america/venezuela_1.htm). Activo: Octubre 2018.
- González, Y., Aragón, G., Benítez, A., & Prieto, M. (2017).** Changes in soil cryptogamic communities in tropical Ecuadorean páramos. *Community ecology*, 18(1), 11-20.
- Grabherr, G., Gottfried, M., & Pauli, H. (2000).** GLORIA: a global observationresearchinitiative in alpineenvironments. *Mountain Research and Development*, 20(2), 190-191.

- Grytnes, J. A., Heegaard, E., & Ihlen, P. G. (2006).** Species richness of vascular plants, bryophytes, and lichens along an altitudinal gradient in western Norway. *Acta Oecologica*, 29(3), 241-246.
- Honegger, R. (1991).** Functional aspects of the lichen symbiosis. *Annual review of plant biology*, 42(1), 553-578.
- Jedrzejek, B., Drees, B., Daniëls, F. J., & Hölzel, N. (2012).** Vegetation discontinuities and altitudinal indicator species in mountains of West Greenland: finding the best positions and traits to observe the impact of climate warming in the Arctic. *Applied Vegetation Science*, 15(3), 432-448.
- Körner, C. (1994).** Scaling from species to vegetation: the usefulness of functional groups. In *Biodiversity and ecosystem function* (pp. 117-140). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Körner, C. (1995).** Alpine plant diversity: a global survey and functional interpretations. In *Arctic and alpine biodiversity: Patterns, causes and ecosystem consequences* (pp. 45-62). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Körner, C. (2003).** The challenge of Alpine plant research. In *Körner, C, Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems* (p.7). New York: Springer Science & Business Media.
- Körner, C. (2007).** The use of ‘altitude’ in ecological research. *Trends in ecology & evolution*, 22(11), 569-574.
- Körner, C. & Spehn, E (2002).** *Mountain Biodiversity: A Global Assessment* (Parthenon).
- Kuntz, K. L., & Larson, D. W. (2006).** Microtopographic control of vascular plant, bryophyte and lichen communities on cliff faces. *Plant Ecology*, 185(2), 239-253.
- Leavitt, S., Fernández-Mendoza, F., Pérez-Ortega, S., Divakar, P., Lumbsch, T., & Clair, L. S. (2013).** DNA barcode identification of lichen-forming fungal species in the *Rhizoplaca melanophthalma* species-complex (Lecanorales, Lecanoraceae), including five new species. *MycologyKeys*, 7, 1.
- Lehmkuhl, J. F. (2004).** Epiphytic lichen diversity and biomass in low-elevation forests of the eastern Washington Cascade range, USA. *Forest Ecology and Management*, 187(2-3), 381-392.
- Lesica, P., McCune, B., Cooper, S. V., & Hong, W. S. (1991).** Differences in lichen and bryophyte communities between old-growth and managed second-growth



- forests in the Swan Valley, Montana. *Canadian Journal of Botany*, 69(8), 1745-1755.
- Lomolino, M. A. R. K. (2001).** Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and biogeography*, 10(1), 3-13.
- McCune, B., & Geiser, L. (1997).** *Macrolichens of the Pacific northwest*. USDA Forest Service.
- McCune, B., & Mefford, M. J. (1999).** PC-ORD: multivariate analysis of ecological data; Version 4 for Windows. MjM software design.
- McCune, B., Grace, J. B., & Urban, D. L. (2002).** *Analysis of ecological communities (Vol. 28)*. Gleneden Beach, OR: MjM software design.
- Matthes, U., Ryan, B. D., & Larson, D. W. (2000).** Community structure of epilithic lichens on the cliffs of the Niagara Escarpment, Ontario, Canada. *Plantecology*, 148(2), 233-244.
- Marcano, V., Morales Méndez, A., Sipman, H., & Calderon, L. (1996).** A first checklist of the lichen-forming fungi of the Venezuelan Andes. *Tropical Bryology*, 12, 193-235.
- Nascimbene, J. & Marini, L. (2015).** Epiphytic lichen diversity along elevational gradients: Biological traits reveal a complex response to water and energy. *J. Biogeog.* 42:1222–1232. doi:10.1111/jbi.12493.
- Pauli, H., Gottfried, M., Lamprecht, A., Niessner, S., Rumpf, S., Winkler, M. & Grabherr, G. (2015).** Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Aproximación al estudio de las cimas. Métodos básicos, complementarios y adicionales. Publicado en internet. Disponible en: <http://www.gloria.ac.at/>. Activo: Septiembre 2017.
- Pentecost, A. (1979).** Aspect and slope preferences in a saxicolous lichen community. *The Lichenologist*, 11(1), 81-83.
- Pinokiyo, A., Singh, K. P., & Singh, J. S. (2008).** Diversity and distribution of lichens in relation to altitude within a protected biodiversity hotspot, north-east India. *The Lichenologist*, 40(1), 47-62.
- Rapson, G. L. (2016).** At What Scales and in What Vegetation Types Should We Sample Non-vascular Plants?. In *Vegetation Structure and Function at Multiple Spatial, Temporal and Conceptual Scales* (pp. 389-403). Springer International Publishing.

- Rodriguez, J. M., Estrabou, C., Truong, C., & Clerc, P. (2011).** The saxicolous species of the genus *Usnea* subgenus *Usnea* (Parmeliaceae) in Argentina and Uruguay. *The Bryologist*, 114(3), 504-525.
- Rodriguez, J. M., Renison, D., Filippini, E., & Estrabou, C. (2017).** Small shifts in microsite occupation could mitigate climate change consequences for mountain top endemics: a test analyzing saxicolous lichen distribution patterns. *Biodiversity and Conservation*, 26(5), 1199-1215.
- Rubio, C., Fernández, E., Hidalgo, M. E., & Quilhot, W. (2002).** Effects of solar UV-B radiation in the accumulation of rhizocarpic acid in a lichen species from alpine zones of Chile. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 47(1), 67-72.
- Ruas, S., Bergamini, A., Carvalho, P., Fontinha, S., & Sim-Sim, M. (2015).** The community structure of bryophytes and macrolichens in Madeira's natural forest: the effects of environmental variables and relations to old-growth forests. *Nova Hedwigia*, 100(3-4), 439-460.
- Sala, O. E., Chapin III, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sannwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B.; Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H.; Walker, M. & Wall, D. H. (2000).** Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770–1774.
- Sheard, J. W., & Jonescu, M. E. (1974).** A multivariate analysis of the distribution of lichens on *Populus tremuloides* in west-central Canada. *Bryologist*, 514-530.
- Toselli, A. J., Durand, F. R., Rossi de Toselli, J. N., & Saavedra, J. (1996).** Esquema de evolución geotectónica y magmática Eopaleozoica del sistema de Famatina y sectores de Sierras Pampeanas. In *Actas XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos* (Vol. 5, pp. 443-462).
- Tovar, C., Arnillas, C. A., Cuesta, F. & Buytaert, W. (2013).** Diverging responses of tropical Andean biomes under future climate conditions. *Plos One* 8: 1–12 (e63634).
- Uliczka, H., & Angelstam, P. (1999).** Occurrence of epiphytic macrolichens in relation to tree species and age in managed boreal forest. *Ecography*, 22(4), 396-405.

- Webb, C. T., Hoeting, J. A., Ames, G. M., Pyne, M. I., & LeRoy Poff, N. (2010).** A structured and dynamic framework to advance traits-based theory and prediction in ecology. *Ecology letters*, 13(3), 267-283.
- Wolf, J. H. (1993).** Diversity patterns and biomass of epiphytic bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in the northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 928-960.