

Estudio biogeográfico de la comunidad arbustiva del farellón costero de Punta Patache, Iquique, Chile¹

ISOLINA EGAÑA CONTRERAS², PILAR CERECEDA TRONCOSO², RAQUEL PINTO BAHAMONDE³, HORACIO LARRAIN BARROS⁴, PABLO OSSÉS McINTYRE² Y MARTÍN FARIAS SALVADOR²

RESUMEN

En el oasis de niebla de Punta Patache las características de topografía y microrrelieve (altitud, exposición y sustrato) son decisivas para la presencia de la vegetación ya que definen y determinan la disponibilidad del agua de niebla que es la fuente principal de este recurso en el lugar.

Se realizó un estudio biogeográfico en dicho oasis que tuvo como objetivo principal conocer la localización y distribución de la vegetación arbustiva, identificar sus especies y analizar sus características fitosociológicas en función de indicadores ambientales. Se hizo un levantamiento de esta información en dos sectores con distinta exposición a los vientos predominantes; en 24 parcelas de muestreo se encontraron 7 especies arbustivas. Además de medirse cada uno de los 219 individuos presentes, se establecieron parámetros tales como vitalidad, frecuencia, densidad y cobertura y se indicó igualmente, las especies herbáceas asociadas.

ABSTRACT

In the fog oases of Punta Patache the vegetation distribution is mainly due to topographical features and micro-relief (altitude, orientation of slopes and substrate) which determining the fog water availability which constitutes the main source of water at place.

The objective of this biogeographical study in this oasis was to determine the location and distribution of a particular class of vegetation (shrubs), and recognize their species and phytosociology in relationship to environmental indicators. A survey was done in two sectors of the coastal cliff showing different exposure to the predominant winds; in the 24 sampling sites selected, seven shrub species were found. The plants were measured and the associated herbs were analyzed. Parameters such as frequency, density and coverage were also studied.

Palabras claves: Biogeografía, niebla, oasis de niebla e indicadores ambientales.

Keywords: Biogeography, fog, fog oasis and environmental indicators.

¹ Fondecyt 1010801.

² Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

³ Botánica. Dalmacia 3251, Iquique.

⁴ Universidad Bolivariana, Iquique.

Las características botánicas de las formaciones vegetacionales de los oasis de niebla costeros del Perú y Chile han sido estudiadas en los últimos años por Dillon y RUNDEL (1990), RUNDEL et al. (1991), SIELFELD et al. (1995), RUNDEL et al. (1997), CERECEDA et al. (1999) y PINTO y MARQUET (2002). A partir de 1997, PINTO (1999), MUÑOZ-SCHICK et al. (2001), PINTO (2001a y 2001b), PINTO et al. (2003) dan a conocer la vegetación de lomas al sur de Iquique. A diferencia de lo establecido por algunos autores, los estudios más recientes demuestran que existe allí una importante biodiversidad, vigor y cobertura de plantas. Durante el periodo El Niño de julio 1997 - marzo 1998, Pinto reconoció en Alto Patache 45 especies, y en el año La Niña desde abril 1998 - julio 2000, sólo reportó la presencia de 25 especies, demostrándose así claramente la influencia de los esporádicos ciclos lluviosos que afectan el área.

El demostrado carácter relictual de estas formaciones vegetacionales hace imperioso continuar registrando antecedentes sobre los aspectos botánicos y las características geográficas que los determinan. La vulnerabilidad en que se hallan los "oasis de niebla" de la costa norte chilena, a causa de los cambios climáticos ocurridos y pronosticados, aconsejan estudiar la floración y germinación de semillas y bulbos durante los años lluviosos que se asocian al Fenómeno de El Niño.

El presente trabajo entrega los resultados de un estudio biogeográfico realizado en el farellón costero de Punta Patache (20°49' S - 70°10' W). Esta investigación se enmarca en el contexto de los proyectos Fondecyt N° 1971248 y N° 1010801 llevados a cabo por el Equipo de Estudios de los Ecosistemas de Niebla, en la Región de Tarapacá. Los objetivos principales de dichos proyectos fueron conocer el origen y dinámica de las nieblas rasantes presentes en la costa y el interior, caracterizar geográfica y biogeográficamente sus ecosistemas y analizar la influencia ejercida por los indicadores ambientales en su distribución espacial.

Objetivos e hipótesis

El objetivo general del estudio consistió en caracterizar la comunidad vegetal del farellón de

Punta Patache y analizar la relación entre los indicadores ambientales y la vegetación arbustiva presente en el área de estudio. Los indicadores se refieren al comportamiento de la niebla y de la respectiva microtopografía: esto es, altitud, exposición del relieve, pendiente, sustrato.

Hipótesis 1: la distribución de la vegetación arbustiva en el sector de Patache se encuentra fuertemente determinada por las características de la microtopografía y el sustrato rocoso del farellón costero. Hipótesis 2: la distribución de la vegetación arbustiva en el sector de Patache se encuentra fuertemente determinada por el sustrato rocoso del farellón costero.

Área de estudio

El área de estudio de Patache está conformada, en términos generales, por tres sectores: una amplia planicie litoral caracterizada por presentar una prominente punta en la línea de costa (Punta Patache), un abrupto acantilado o farellón costero cuyo borde superior oscila entre 600 y 850 m de altitud y una pequeña meseta interior enmarcada por una línea de falla que la divide de un sector de lomajes interiores.

La zona estudiada corresponde al sector del acantilado estabilizado que enfrenta directamente al mar. Latitudinalmente el análisis comienza inmediatamente al sur de la estribación que conforma el sector "Punta Patache"; sin embargo, la topografía caracterizada por otra estribación de orientación NE-SW da lugar a una bifurcación que determina la presencia de dos macro zonas, una con exposición Oeste y la otra, con exposición Sur, (figuras 1 y 2).

La pendiente del acantilado es abrupta y el sustrato está formado por afloramientos rocosos, rocas fragmentadas de diversos tamaños y arenas. En la parte superior de las laderas, aparecen farellones y micro-terrazas escalonadas; en la zona W, desde los 700 m hacia abajo, el grado de la pendiente y el tipo de sustrato hacen muy dificultoso el acceso. En la zona Sur se encuentra una mayor concentración de arenas en superficie y la roca triturada se presenta, por lo general, en bloques entre 30 y 50 cm; en el límite austral del sector, el componente arenoso cobra gran impor-

tancia hasta ser predominante y absoluto en una extensa zona de barjanas (dunas), por cierto fuera del área de estudio (figura 2).

resulta aquí determinante. Como se verá más adelante, esta información es significativa para analizar la distribución espacial de la vegetación.

Las mediciones de niebla realizadas en la parte alta del sector Alto Patache por más de seis años consecutivos han comprobado la notable frecuencia de ocurrencia del fenómeno. Se ha constatado una marcada estacionalidad donde las mayores colectas de agua se han registrado durante la primavera y los menores volúmenes, en los meses de verano; asimismo se ha podido concluir que a mayor altitud la captación de agua es más abundante y que el tipo y orientación del relieve

Los arbustos están presentes prácticamente en toda el área de muestreo; sin embargo, su densidad y dimensiones son mayores en la zona Sur. Destaca un subsector de ella definido por tres pequeños paleoescurrimientos; en el talweg mayor se han instalado los neblinómetros que se describen en el acápite de Metodología. Debido a que la información sobre la colecta de agua de niebla es representativa de la zona Sur, el análisis estadístico sólo se presenta para ese sector.

FIGURA N° 1
MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

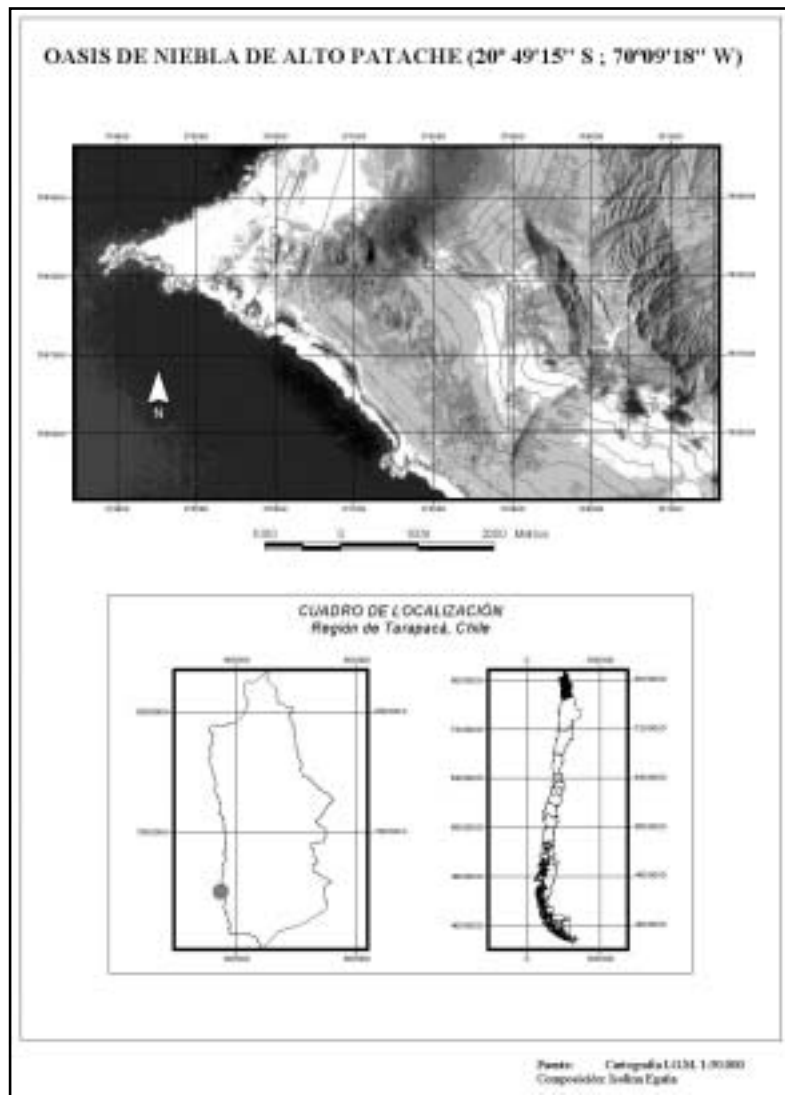
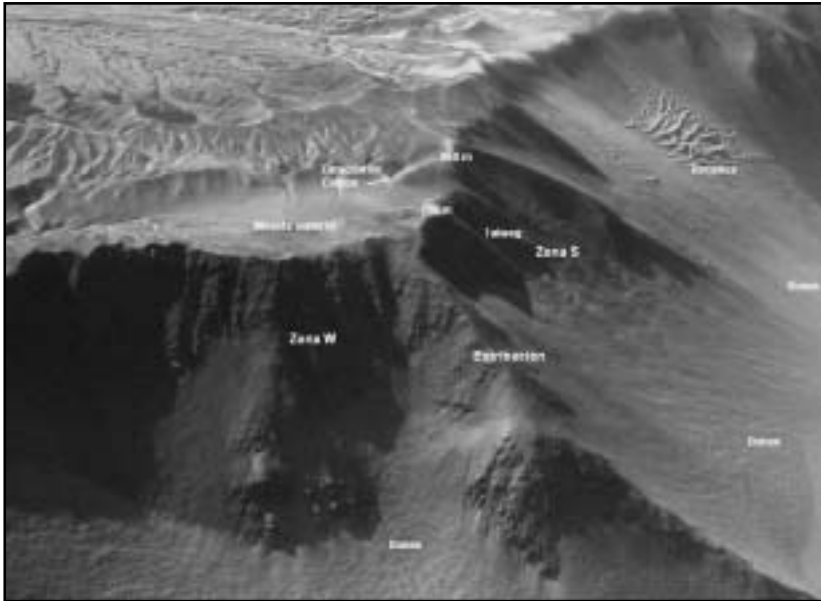


FIGURA N° 2
VISTA AÉREA DEL ÁREA DE ESTUDIO (FOTO A. KIRBERG).



Metodología

Selección de áreas de muestreo de vegetación y definición de indicadores ambientales

En cada una de las zonas elegidas (W y S) y de acuerdo a las diferentes formas de relieve y presencia de vegetación, se definieron las áreas de muestreo en base a parcelas. Cada parcela tiene su propia exposición considerando el microrrelieve en que se inserta. En total se efectuaron 24 muestreos. Dentro de la zona W se estudiaron seis parcelas quedando todas las restantes en la zona S. Como segundo criterio de localización, se consideró la altitud y en razón de ésta, el sustrato presente. Cabe destacar que el indicador altitud está directamente relacionado con la captación de agua de niebla, de modo que cuando es analizado, indirectamente se está valorando la disponibilidad de agua por rango altitudinal (figura 3).

Para la caracterización de la estructura de la comunidad arbustiva se determinó en una primera instancia el Área Mínima de Muestreo, en función de la curva área-especie basada en lo propuesto por LACOSTE (1973) Ésta consiste básicamente en definir una superficie en que el nú-

mero de especies existentes en el área de estudio se encuentre representado adecuadamente. Si bien el resultado de dicha curva aconsejó realizar parcelas de 8 x 8 m, las condiciones de trabajo sobre el acantilado hicieron difícil y en algunos sectores, prácticamente imposible el acceso, por lo que se decidió medir una superficie de 25m². Sin embargo, al hacer el trabajo, se constató que el área establecida cumplía los requisitos metodológicos, por lo que no fue considerado una limitante.

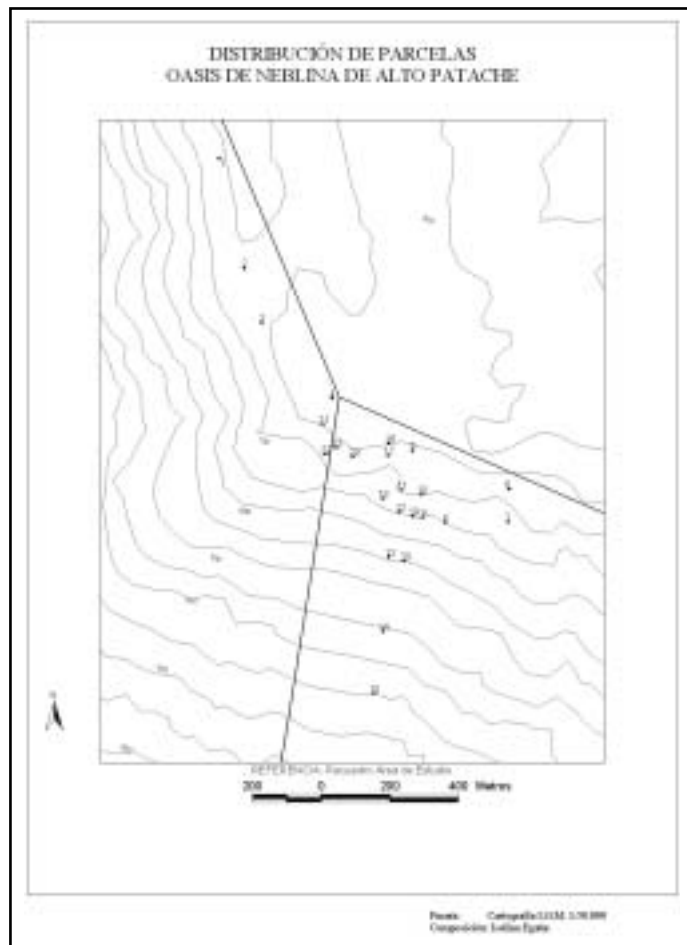
Con respecto a los indicadores ambientales, las variables medidas corresponden a formas del relieve (talweg, laderas rocosas, conos de derrubios, dunas), altitud, pendiente, exposición de ladera, tipo de sustrato y textura de los suelos. Los sustratos se clasificaron como: rocoso, roca triturada gruesa, media y fina, grava, mixto y arena. La textura se midió a través del método de decantación de partículas, calculando luego los porcentajes de arcilla, limos y arenas para buscar su clase en el triángulo textural. Para cumplir con lo anterior se tomaron muestras de suelo en las parcelas, procurando la representatividad de los distintos tipos de sustratos presentes en el área, (basado en la metodología propuesta por LÓPEZ R. y LÓPEZ M., 1978).

Etapas de la toma de muestras de suelo por zonas:

- Lo primero fue tomar numerosas muestras en distintos sectores al interior de las parcelas escogidas, las que se reunieron formando una muestra compuesta. En total se analizaron 10 muestras, 4 correspondieron a la zona W y 6 a la zona S (Anexo). El muestreo cumplió con ciertos requisitos preestablecidos: cada una de las muestras originales fue del mismo volumen y representó la misma sección trans-

versal del volumen total; fue tomada al azar con respecto al volumen en estudio; los sondeos fueron hechos a 15 cm de profundidad, debido a la resistencia que presentó el suelo ante la excavación y la disposición de materiales gruesos muy cercanos a la superficie; las muestras se guardaron, previamente identificadas, en bolsas, evitando la pérdida de humedad.

FIGURA N° 3
MAPA DE LOCALIZACIÓN DE PARCELAS DE MUESTREO



Fuente: cartografía IGM 1:50.000, composición Isolina Egaña C.

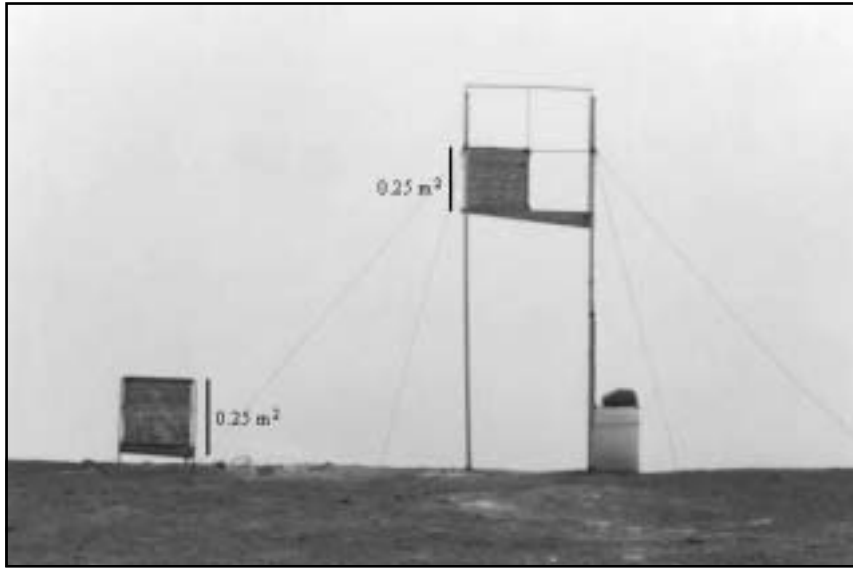
Las coordenadas geográficas, exposición y altitud, fueron obtenidos con GPS y brújula y el grado de la pendiente con eclímetro. El muestreo de vegetación y medición de los indicadores ambientales fueron efectuados en octubre de 2001, los datos de colección de agua de niebla corresponden al período julio 2001 – diciembre de 2002 (Fondecyt, 2003).

La variable niebla se trabajó en base a la captación registrada en los neblinómetros de la secuencia altitudinal antes mencionada. Estos fueron instalados en el talweg mayor de la zona Sur en los siguientes rangos altitudinales: 750, 700, 650, 600, 550, 450, 350 metros. La superficie de captación de cada instrumento es de 0,25m² (figura 4).

También se hizo análisis de fertilidad de suelos y cálculo de biomasa, pero dado que estos indicadores no fueron incluidos en el análisis

integrado, se presentan aquí en un anexo como un aporte para futuros estudios de esta naturaleza.

FIGURA N° 4
NEBLINÓMETROS UBICADOS EN EL PORTEZUELO, A 750 M EN LA ZONA SUR
(FOTO P. CERECEDA)



Caracterización de la estructura de la comunidad arbustiva

La estructura de la vegetación fue determinada a través de la medición de parámetros representativos por parcela y por especie. El número total de plantas, porcentaje de individuos vivos, cobertura y densidad absoluta fueron estudiados a nivel de parcela; según la especie, se trabajó con los parámetros frecuencia absoluta y relativa, abundancia, distribución y densidad relativa. En el área de estudio de este oasis, reconocer la vitalidad en cada caso resultó ser de gran complejidad por la ausencia de hojas o tallos vigorosos; es por eso que el dato referido a individuos "vivos", corresponde a aquellos que presentaron al menos parte de su estructura viva, no necesariamente en su totalidad.

La medición de los parámetros de frecuencia, densidad, abundancia y distribución de la vegetación, se obtuvo a través de las fórmulas matemáticas empleadas en estudio sobre Tillandsiales Grises situados en el Cerro Campana y realizado por FUKUSHIMA M. (1969). La cobertura fue determinada midiendo uno a uno

los individuos, a través del registro del diámetro de la canopia, proyectando este valor a la superficie se calculó el porcentaje de suelo cubierto.

Análisis integrado de los indicadores ambientales y la estructura de la vegetación.

El último paso correspondió al análisis de la estructura de la vegetación arbustiva, en relación a los indicadores ambientales, para ello se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS) y el análisis de correlación de Pearson. Se consideró que una correlación era significativa si presentaba un valor de probabilidad = $P < 0,1$. Los grupos de datos correspondieron por una parte a los indicadores ambientales o geográficos y por otra, a los de estructura de la comunidad; ambos grupos fueron ordenados por rangos y categorías.

Resultados

Los resultados se presentan primeramente respecto del área total muestreada en relación a las características generales de la vegetación. Luego

se discuten los resultados referidos a los indicadores ambientales y vitalidad y cobertura de la vegetación arbustiva. La estructura de la comunidad se presenta por especie y finalmente se realiza un análisis integrado entre estos aspectos fitosociológicos y los indicadores del medio que se estudiaron, todo lo cual se apoya en el análisis de correlación entre ambas variables.

*Características de la vegetación
arbustiva e indicadores ambientales
del área total (zonas W y S)*

*Características generales del área
de muestreo:*

Como se dijo, el trabajo fue realizado en el área del acantilado costero del oasis de niebla de

Alto Patache. Se estudió una franja de aproximadamente 1.500 m de longitud y desde el punto de vista altitudinal, el farellón fue cubierto desde el borde del acantilado hasta los 350 m, límite inferior determinado por la presencia de la vegetación. El levantamiento de la información se hizo en un total de 600 m² correspondientes a 24 parcelas de muestreo (cuadro 1); en ellas se registró un total de 219 individuos cuyo 44,3% se encontraba vivo. La cobertura total medida fue de 15% y la densidad absoluta, 0,37 individuos por m². En el cuadro n° 2 se muestran las siete especies arbustivas registradas durante la etapa de terreno; se incluyen referencias sobre las especies herbáceas presentes, a modo de información general, sin que esto signifique que no haya más especies en la zona.

CUADRO N° 1
RESUMEN DEL ÁREA ESTUDIADA

| | |
|---|-------|
| Área muestreada (m ²) | 600 |
| N° de parcelas | 24 |
| N° individuos registrados | 219 |
| N° de especies arbustivas registradas | 7 |
| Individuos vivos en área muestreada (%) | 44,36 |
| Cobertura arbustos en área muestreada (%) | 15 |
| Densidad arbustos en área muestreada (indiv./m ²) | 0,37 |

CUADRO N° 2
ESPECIES ARBUSTIVAS Y HERBÁCEAS DE PATACHE

| Arbustivas | Herbáceas |
|--|----------------------------------|
| <i>Frankenia chilensis</i> | <i>Alstroemeria lutea</i> |
| <i>Nolana sedifolia</i> | <i>Oxalis thyrsoides</i> |
| <i>Ephedra breana</i> (pingo-pingo) | <i>Leucocoryne appendiculata</i> |
| <i>Lycium leiostemum</i> | <i>Fortunatia biflora</i> |
| <i>Lycopersicon chilense</i> (tomatillo) | |
| <i>Atriplex taltalensis</i> | |
| <i>Opuntia berteris</i> * | |

* Esta especie corresponde a una cactácea, pero por motivos prácticos se incluye dentro de las especies arbustivas.

Características geográficas del muestreo, número de individuos, vitalidad y cobertura.

Como se puede ver en el cuadro 3, seis parcelas corresponden a la zona W y el resto a la zona S. Entre los 760 y 710 m, se analizaron 12 parcelas, entre los 700 y 650 m, 8 parcelas, y desde allí hasta los 350 m sólo 4 muestreos debido a la escasa y/o nula vegetación presente. Con respecto a la exposición particular de cada parcela, 8 enfrentan al S y SE, 11 al SSW y 6 al SWW; la pendiente medida osciló entre los 24° y 53°.

El sustrato predominante del área es rocoso, es decir está constituido principalmente por bloques de roca fragmentada de grandes tamaños (más de 0,50 m). Las rocas trituradas gruesas y finas se encuentran preferentemente en zonas de acarreo donde el material meteorizado se ha ordenado de acuerdo a la pendiente y los agentes del modelado. La grava se encuentra en microterrazas a los pies de escalones formados por rocas mayores. Las arenas se encuentran a partir de los 550 m hacia abajo, llegando a los 350 m a una forma dunaria.

Se muestran también aquí los datos de colecta de agua de niebla que corresponden al período julio 2001 - diciembre 2002 (Proyecto Fondecyt 1010801, 2003). Como se puede ver, los mayores volúmenes de agua se registraron en los niveles superiores. La gran diferencia entre 750 y 700 m se explica por el hecho de que el primer instrumento de medición está ubicado en el borde del acantilado y en un portezuelo, situación que favorece la convergencia y aumento de la velocidad del viento y por ende, la captación. Los inferiores, por estar ubicados en el talweg de descenso y a menor altitud, ostentan menores colectas.

Se constata un mayor número de individuos en la zona S (85% del total de individuos del área), una mejor vitalidad en la zona W (80% respecto de un 28% en zona S) y la cobertura promedio es claramente mayor en el sector sur (23,2% respecto de un 2,1% en la zona W). En relación a la altitud, ambas zonas sólo son comparables en seis parcelas ubicadas en la franja superior a 710 m; allí es interesante consignar que en la zona W hay sólo un tercio de los individuos totales que se encuentran en la zona S. La

vitalidad es 20% mayor en el oeste y en dicho sector el suelo cubierto en promedio es de 1,8% en contraposición al 18% del sector sur, manteniéndose por lo tanto, la tendencia general del área total.

En cuatro parcelas de la zona S, localizadas entre los 700 y 755 m se registraron entre 25 y 29 individuos; tres de ellas con exposición SW y una al SE. Todas estas parcelas presentan sustratos rocosos o roca triturada y pendientes fuertes. Entre los 350 y 550 m, el sustrato predominante es arenoso; sólo se registraron 7 individuos, todos ellos completamente secos. Destaca en la zona W un sector con exposición al SWW con 13 individuos vivos ubicados sobre sustrato rocoso.

La cobertura promedio de la vegetación en el área de muestreo fue de 17,9%. La mayoría de las parcelas de la zona S se encuentran en rangos entre 0,1 y 20%, de hecho, el 40% del total muestreado oscila entre 0,1 y 10% de recubrimiento; sólo tres de ellas superan el 50%. Poco más de la mitad de las parcelas con presencia arbustiva registran individuos vivos. La especie *Lycium leiostrum*, que muestra los valores más altos de cobertura, densidad y frecuencia, es la que tiene menor porcentaje de vitalidad (cuadro 3).

El análisis de laboratorio indica que para la zona W, la textura del suelo es, para la mayoría de las muestras, de moderadamente fina a fina predominando el componente arcilloso. En la zona S predomina la textura media a gruesa. La porosidad del suelo va en estrecha relación con la textura, así, tal como la compactación, esta propiedad afecta el almacenamiento de agua e infiltración, la aireación y la penetración radical y el arraigamiento.

Los suelos arcillosos determinan la profundidad de la rizósfera, ya que mantienen a las raíces en un volumen de suelo más superficial por la resistencia que les impone. En la zona W el bajo volumen útil en relación a la profundidad efectiva y la presencia de materiales más gruesos a muy pocos centímetros de la superficie, hacen deficiente el desarrollo de las raíces de los arbustos que sustentan. Sólo algunos individuos logran, dada la plasticidad de su sistema radical, adaptarse a estas condiciones y alcanzar mayor profundidad a través de grietas en la roca.

Considerando lo anterior, se realizó el ejercicio de explorar el sistema radicular de algunas plantas encontradas sobre terrazas de materiales finos y se pudo comprobar que todas las raíces se conducen por alguna fisura en la roca cercana, registrándose raíces principales de más de 1 m de longitud.

La mayor presencia de arcilla en la zona W también afecta el drenaje. Se sabe que los suelos

arcillosos retienen humedad dada su estructura laminar, por lo tanto la infiltración es más lenta. Su mayor capacidad de almacenamiento de agua juega, en esta latitud, en el sentido inverso a lo esperado, ya que la escasa humedad es retenida por más tiempo en superficie provocando una gran pérdida al evaporarse más rápido frente a la insolación. Se debe recordar que la cobertura es muy baja como para disminuir la evaporación.

CUADRO N° 3
LOCALIZACIÓN DE PARCELAS – INDICADORES AMBIENTALES Y VEGETACIÓN

| Zona | N° Parcela | Altitud (M.S.N.M.) | Exposición (°) | Pendiente (°) | Sustrato* | Niebla L/M ² /D** | Ind. Tot (N°) | Ind. Vivos (%) | Cob. (%) |
|------|------------|--------------------|----------------|---------------|-----------------|------------------------------|---------------|----------------|----------|
| S | 5 | 730 | 250 | 40 | Rocoso | 5,87 | 29 | 59 | 10,0 |
| S | 6 | 720 | 180 | 40 | R. trit fina | 5,87 | 0 | 0 | 0,0 |
| S | 7 | 670 | 190 | 40 | Mixto/arena | 5,26 | 0 | 0 | 0,0 |
| S | 8 | 655 | 200 | 45 | Rocoso | 5,26 | 9 | 22 | 29,0 |
| S | 9 | 650 | 260 | 45 | Rocoso | 5,26 | 4 | 0 | 10,0 |
| S | 10 | 700 | 220 | 45 | R. trit. gruesa | 5,87 | 25 | 4 | 100 |
| S | 11 | 700 | 180 | 38 | R. trit gruesa | 5,87 | 10 | 0 | 50 |
| S | 12 | 650 | 180 | 29 | R. trit. gruesa | 5,26 | 29 | 0 | 19,0 |
| S | 13 | 550 | 180 | 28 | Mixto/arena | 2,37 | 2 | 0 | 1,44 |
| S | 14 | 450 | 200 | 27 | Arena | 0,95 | 3 | 0 | 2,0 |
| S | 15 | 350 | 200 | 26 | Arena | 0,30 | 0 | 0 | 0,0 |
| S | 16 | 755 | 141 | 53 | R. trit media | 36,5 | 26 | 85 | 17,0 |
| S | 17 | 730 | 120 | 40 | Rocoso | 5,87 | 4 | 50 | 3,0 |
| S | 18 | 660 | 130 | 40 | Rocoso/Arena | 5,26 | 3 | 33 | 7,0 |
| S | 19 | 650 | 220 | 45 | R. trit. gruesa | 5,26 | 8 | 75 | 17,0 |
| S | 20 | 550 | 180 | 25 | R. trit. gruesa | 2,37 | 2 | 0 | 4,0 |
| S | 23 | 730 | 250 | 45 | Rocoso | 5,87 | 26 | 69 | 17,0 |
| S | 24 | 730 | 195 | 42 | Rocoso | 5,87 | 6 | 17 | 61,0 |
| W | 1 | 740 | 252 | 31 | Rocoso | - | 13 | 100 | 3,4 |
| W | 2 | 720 | 260 | 31 | Rocoso | - | 5 | 60 | 4,4 |
| W | 3 | 720 | 225 | 24 | R. trit. Fina | - | 5 | 60 | 0,8 |
| W | 4 | 760 | 190 | 26 | R. trit gruesa | - | 9 | 78 | 1,8 |
| W | 21 | 730 | 200 | 40 | Grava | - | 0 | 0 | 0,0 |
| W | 22 | 710 | 200 | 45 | Rocoso | - | 1 | 100 | 0,12 |

** Fuente: Informe final Fondecyt Año 2003, periodo julio 2001- diciembre 2002.

Mayoritariamente, la textura en la zona S es de media a gruesa, lo que favorece directamente la capacidad de aireación del suelo que es cercana al 40% (estimada para la zona W en un valor inferior a 10%), se debe tener presente que los poros de mayor tamaño están justamente en sue-

los con texturas más gruesas como es el caso de esta zona. Las plantas requieren una buena aireación y los suelos con la textura encontrada en este sector le oponen menor resistencia a las raíces, las cuales logran llegar a mayores profundidades en busca de la humedad allí almacenada.

Tomando en cuenta lo anterior, se debe tener presente las relaciones hídricas en suelos arenosos, donde la infiltración es rápida, la aireación, es decir el movimiento de oxígeno en la zona radical, es adecuado, pero el almacenamiento de agua es bajo, por lo tanto en los primeros centímetros de profundidad el suelo es muy seco en esta zona.

Estructura de la comunidad arbustiva

Para comprender las características de la comunidad que aquí se analiza, es necesario recordar que corresponde a un oasis de niebla, donde es común la baja densidad y cobertura vegetal y donde el paisaje lo determina la roca desnuda; es por ello que al enfrentar el estudio, la mirada debe adaptarse a nivel de microescala y a las características del biotopo más que a la escala total del área. En este sentido se justifica la elección de la metodología empleada, cuyos parámetros y variables son adecuados para el estudio de vegetación en zonas áridas; donde muchas veces, para una especie, un aumento en el número de individuos no determina necesariamente un aumento de la cobertura, ya que esto depende de las características morfológicas de la especie y de sus medidas de adaptación a un cambio en la residencia ecológica.

En la zona de muestreo, la comunidad arbustiva está formada sólo por 7 especies, la vitalidad es de 44,4%, lo que indica un estado general relativamente deteriorado; sin embargo fue posible observar individuos dotados de un desarrollo satisfactorio, incluso mostrando flores y frutos.

A continuación se analiza el conjunto de las parcelas en relación con los indicadores de sociabilidad y distribución de los arbustos en el área de estudio. Para una mejor comprensión del trabajo realizado, en este análisis se recuerdan los conceptos de frecuencia y densidad en sus expresiones absolutas y relativas (cuadro 4).

Al analizar la Frecuencia Absoluta, como la relación entre las parcelas que ocupa cada especie y el total de parcelas muestreadas (con y sin vegetación), se puede ver que la especie más fre-

cuente es *Lycium leiostemum*, presente en el 63% de ellas, y luego, *Nolana sedifolia* en el 50%; la más escasa es *Atriplex taltalensis* con sólo un 4%.

Con respecto a la Frecuencia Relativa, que se refiere a la relación entre las parcelas que ocupa cada especie y el total de parcelas en que se registra vegetación, se repite dicho patrón aumentando los valores obtenidos por especie. *Lycium leiostemum* llega al 75% y *Atriplex taltalensis* al 5% de las parcelas vegetadas.

La Densidad Absoluta, correspondiente al número total de individuos encontrados en los 600 m², en el caso presente, fue de 0,37 individuos por m².

La Densidad Relativa se entiende como la relación entre el número total de individuos de cada especie y el número total de individuos de todas las especies. El 41% de los arbustos corresponde a *Lycium leiostemum* con 89 individuos de un total de 219; en segundo lugar, con un valor de densidad de poco más del 20%, están las especies *Nolana sedifolia* y *Frankenia chilensis*; la menor densidad relativa la registra, muy lejos, *Atriplex taltalensis* con un valor cercano al 1% de los arbustos.

El término Abundancia está dado por el promedio de individuos de cada especie por parcela ocupada. Según este parámetro, *Frankenia chilensis* es la especie más abundante, el dato refleja que en promedio hay 8 individuos en cada parcela que esta especie ocupa (6). *Lycium leiostemum* es la segunda en importancia con un promedio de 6 individuos por parcela ocupada (15). *Nolana sedifolia* tiene un promedio de 4 y el menos abundante es *Lycopersicon chilensis* con un individuo en cada una de las 4 parcelas en que fue registrado.

La forma en que se distribuye la vegetación se conoce a través del cálculo del Índice de Dispersión de Whitford, cuyos resultados se aplican a una tabla que indica el grado de dispersión de las especies en el área estudiada. El 86% de las especies encontradas tienden hacia la agregación o agrupamiento. Según este índice que relaciona Abundancia con Frecuencia, sólo *Ephedra breana* se distribuye al azar.

CUADRO N° 4
ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD

| Especie | N° total individuos (por zonas) | | Individuos vivos (%) | | N° parcelas | Fab ¹ | Frel ² | Drel ³ | Abund ⁴ | I. Whitford | Distrib |
|-------------------------------|---------------------------------|----|----------------------|-----|-------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------|---------|
| | S | W | S | W | | (%) | (%) | | | | |
| <i>Frankenia chilensis</i> | 38 | 11 | 60 | 100 | 6 | 25 | 30 | 22,27 | 8,16 | 0,30 | C |
| <i>Nolana sedifolia</i> | 41 | 12 | 49 | 50 | 12 | 50 | 60 | 24,09 | 4,42 | 0,09 | C |
| <i>Ephedra breana</i> | 10 | 3 | 57 | 67 | 8 | 33 | 40 | 5,90 | 1,63 | 0,05 | B |
| <i>Lycium leiostemum</i> | 86 | 2 | 8 | 0 | 15 | 63 | 75 | 40,45 | 6 | 0,09 | C |
| <i>Lycopersicon chilensis</i> | 5 | 0 | 100 | - | 4 | 17 | 20 | 2,27 | 1,3 | 0,08 | C |
| <i>Opuntia berteri</i> | 4 | 5 | 100 | 100 | 5 | 20,8 | 25 | 4,09 | 1,8 | 0,09 | C |
| <i>Atriplex taltalensis</i> | 2 | 0 | 100 | - | 1 | 4,16 | 5 | 0,90 | 2 | 0,5 | C |

¹: Frecuencia absoluta; ²: Frecuencia relativa; ³: Densidad relativa; ⁴: Abundancia; - : no registrado.

Análisis integrado de la estructura de la comunidad y los indicadores ambientales de la zona Sur

Se realizó un análisis integrado con el fin de conocer la importancia de cada uno de los parámetros ambientales en la presencia y distribución de la vegetación arbustiva estudiada. Como se señaló anteriormente, el 75% de las parcelas pertenecen a esta zona S.

El sustrato predominante es rocoso y roca triturada gruesa. Se debe señalar que en aquellas parcelas con mayores valores de cobertura, los arbustos se dan en este tipo de sustrato; los lugares con más de 50% de arena, no presentan vegetación. En la zona de talweg y bajo un criterio altitudinal, la vegetación está presente entre los 755 m y los 450 m, pero el quiebre en la distribución se marca a partir de los 600 m de altitud, justo cuando la arena se hace relativamente más importante en el sustrato y la colección de agua de niebla es menor.

La pendiente es abrupta, sobre todo en la franja que va desde los 755 a 650 m de altitud, la mayoría supera los 40°; casi todas las parcelas con mayor número de individuos totales y mayor vitalidad y cobertura se dan en estos valores de pendiente. A partir de los 650 m, la inclinación baja a valores cercanos a los 25° y disminuye en 1° por cada 100 m de descenso.

La exposición de las parcelas (a microescala) en su mayoría es S y SW. Un muy bajo número

tiene una componente SE y corresponden a aquellas parcelas localizadas en la ladera que confina el talweg; este parámetro influye en la vitalidad y cobertura total.

Análisis de correlación entre la estructura de la comunidad y los indicadores ambientales

Tal como se indicó en la metodología, se realizó un análisis de correlación para corroborar las interrelaciones entre los indicadores ambientales y la estructura de la comunidad arbustiva. Se observaron correlaciones significativas ($P < 0,1$) en cuatro de las especies estudiadas: *Frankenia chilensis*, *Nolana sedifolia*, *Lycium leiostemum* y *Ephedra breana* (cuadro 6). Para todas ellas, el parámetro de cobertura total mostró una correlación significativa con los indicadores ambientales medidos, existiendo para las tres primeras, una relación positiva con la altitud, es decir, a mayor altitud, mayor cobertura. La especie *Ephedra breana* se correlaciona con la pendiente ($P = 0,03$), en una relación negativa descrita como a mayor pendiente, menor cobertura de la especie.

El número total de individuos vivos y secos, sólo muestra correlación con los indicadores ambientales en el caso de *E. breana* y corresponde a altitud ($P = 0,04$) y pendiente ($P = 0,08$), en ambos casos es positiva, dándose que a mayor altitud, mayor número de individuos, como así también a mayor pendiente, mayor número de individuos.

Parece una contradicción que esta especie que si bien registra un mayor número de individuos en relación a estos indicadores, al mismo tiempo ostente una menor cobertura, para ello hay que recordar las características estructurales de escaso follaje y hojas aciculiformes de esta especie.

En el caso de los individuos vivos, tres especies mostraron correlación significativa con los indicadores del medio, tal es el caso de *Frankenia chilensis*, *Nolana sedifolia* y *Lycium leiostemum* y en todos los casos se relacionan con la pendiente ($P = 0,08$; $0,08$; $0,05$, respectivamente), además con la exposición para la última especie ($P = 0,04$). Para el caso de la pendiente, las relaciones con las tres especies son positivas, donde a mayor pendiente, mayor número de individuos vivos.

El parámetro de densidad relativa (promedio de los individuos de cada especie en relación con los individuos de todas las especies) sólo se correlaciona con indicadores ambientales para la especie *L. leiostemum* relacionada con el sustrato ($P = 0,05$), altitud ($P = 0,02$) y pendiente ($P = 0,05$). En el caso de estos dos últimos indicadores, la relación es negativa, es decir, a mayor altitud, así como a mayor pendiente, menor densidad relativa de la especie (en ambos casos). Nuevamente parece difícil comprender que teniendo alta cobertura total haya una baja densidad relativa, esto se debe a que a mayor altitud y pendiente hay mayor diversidad de especies.

A nivel de comunidad, el número de individuos vivos muestra correlación con la altitud ($P = 0,02$) y pendiente ($P = 0,0097$), en una relación descrita como que a mayor altitud y mayor pendiente (consideradas individualmente), mayor es el número de individuos vivos de la comunidad.

La cobertura de los individuos vivos de toda la comunidad se correlaciona con la pendiente ($P = 0,0086$), también en una relación positiva, dando que a mayor pendiente, mayor será la cobertura de individuos vivos.

En términos generales, el análisis estadístico muestra una relación positiva entre la pendiente y la altitud ($P = 0,0002$), descrita como a mayor altitud, mayor pendiente.

Desde la perspectiva de los indicadores ambientales, la pendiente es la que mayor correlación (9 casos) muestra con los parámetros de estructura de la vegetación, observándose en todas las especies, como también a nivel comunitario. A continuación, la altitud es el segundo indicador de importancia, que muestra correlaciones significativas (6 casos), como en todas las especies y a nivel comunitario. El sustrato y la exposición comparten el lugar dentro del orden de importancia (2 casos cada uno) y sólo presentes para dos especies (*F. chilensis* y *L. leiostemum*).

Al analizar los coeficientes de determinación R^2 (que mide el porcentaje de variación de y explicado por la variación en x), los más altos porcentajes de variación de los parámetros de estructura de las especies, explicada por la variación en los indicadores del medio, están dados justamente en aquellas especies que en la actualidad presentan mayor porcentaje de individuos vivos, que son los casos de *F. chilensis* y *E. breana* que tienen una vitalidad cercana al 60%. Es interesante el caso de *L. leiostemum* que con una vitalidad de 8%, su R^2 no sobrepasa el 35% (cuadro 5).

Discusión de los resultados y conclusiones

La vegetación se encuentra mayoritariamente en las altitudes superiores a 600 m; esto se puede explicar por la mayor presencia de niebla. De acuerdo con los registros en el transecto altitudinal instalado en el farellón de la zona S, las captaciones de agua son más altas a partir de esa altitud y desde ahí hacia abajo disminuyen considerablemente.

De los resultados obtenidos con respecto a la exposición del relieve, se puede concluir que la zona sur presenta mayor vegetación y cobertura, lo que podría estar respondiendo a una mayor influencia de la niebla. En el área de estudio a 850 m.s.n.m. se tiene un registro de 240 datos puntuales de dirección de viento tomados entre 1997 y 2003, la moda es de 180° (S) y el promedio de 176° (S); en la estación meteorológica Diego Aracena a 12 m.s.n.m., entre 1980 y 2001, los vientos predominantes a las 08:00 y 19:00 horas, también provienen del S y los correspon-

CUADRO N° 5
CORRELACIONES ZONA SUR

| ESPECIE | VARIABLE 1 | VARIABLE 2 | PROBABILIDAD | Coef. de correlación R (%) | Coef. de determinación R ² |
|----------------------------|----------------------------|------------|--------------|----------------------------|---------------------------------------|
| <i>Frankenia chilensis</i> | Cobertura total especie | altitud | 0,09 | 98 | 96 |
| | | sustrato | 0,09 | -98 | 96 |
| | Individuos vivos especie | exposición | 0,09 | 98 | 96 |
| | | pendiente | 0,08 | 99 | 98 |
| <i>Nolana sedifolia</i> | Cobertura total especie | altitud | 0,07 | 65 | 42 |
| | Individuos vivos especie | pendiente | 0,08 | 64 | 41 |
| <i>Ephedra breana</i> | Individuos total especie | altitud | 0,04 | 88 | 77 |
| | Individuos total especie | pendiente | 0,08 | 82 | 67 |
| | Cobertura total especie | pendiente | 0,03 | -91 | 83 |
| <i>Lycium leiostemum</i> | Cobertura total especie | altitud | 0,09 | 46 | 21 |
| | | sustrato | 0,05 | 52 | 27 |
| | Densidad especie | altitud | 0,02 | -59 | 35 |
| | | pendiente | 0,05 | -52 | 27 |
| | Individuos vivos especie | exposición | 0,04 | -53 | 28 |
| | | pendiente | 0,05 | 51 | 26 |
| General | Individuos vivos | altitud | 0,02 | 56 | 31 |
| | | pendiente | 0,0097 | 64 | 41 |
| | Cobertura individuos vivos | pendiente | 0,0086 | 65 | 42 |
| | | Altitud | pendiente | 0,0002 | 77 |

dientes a las 14:00 son SW (Fondecyt 2004). Esto significa que si la niebla es conducida desde el océano mediante el viento, el relieve que se expone directamente a tal orientación, interceptará la masa nubosa, por lo tanto, se producirá una mayor humedad en dicho sector.

Con respecto al tipo de sustrato y la pendiente, se puede ver que los de tipo rocoso y roca triturada gruesa, así como las pendientes abruptas, se encuentran en los pisos superiores del relieve. Por lo tanto, estas variables se interrelacionan haciendo dichos pisos más favorables para el desarrollo vegetacional. Bajo los 600 m, el sustrato va variando desde roca triturada fina a arenas, terminando en un área francamente dunaria, donde desaparece la vegetación.

La superficie rocosa, especialmente los grandes bloques, actúan como captadores naturales de agua de neblina; interceptan sus gotitas, las que se deslizan hasta las diaclasas y roca triturada; allí se infiltran y el agua se almacena. Es precisamente en estos rasgos del relieve donde se presenta la mayor vegetación. Se puede agregar que el agua en este sustrato, se evapora más lentamente. En aquellos sectores donde se cumple esta condición pero la vegetación está ausente,

es debido a que no reciben el influjo directo de la franja de niebla.

La vegetación también puede encontrarse en otro tipo de sustrato, aunque en menor proporción. En los casos en que el relieve se presenta en forma escalonada con micro terrazas, las plantas se encuentran sobre materiales más finos y grava; no obstante, cuando se explora su sistema radicular en la rizósfera, se constata que es frecuente que las plantas desarrollen y conduzcan sus raíces hasta llegar a grietas y fisuras de los sustratos rocosos antes mencionados.

Las especies estudiadas en el presente trabajo muestran una distribución agrupada; este comportamiento podría deberse a la disponibilidad y distribución del agua en el suelo. Según estudios, en zonas sujetas a un menor estrés hídrico, es decir, con disponibilidad de agua en volúmenes satisfactorios para las plantas, la vegetación se distribuye de manera regular; en la situación estudiada aquí, pasa a ser contraída a tal punto que se limita a hendiduras o grietas en las rocas, o los espacios dotados de suelo entre el material triturado más grueso.

De acuerdo a nuestras observaciones, el tamaño y el número de individuos vivos que pre-

senta cada especie es bastante inferior al tamaño y número de individuos secos respectivos; esta situación es, sin duda, una respuesta adaptativa a las nuevas condiciones. En este sentido y según los autores consultados, en las zonas áridas, enfrentadas a una creciente disminución de humedad, las plantas tienden a ir disminuyendo su superficie transpirante (follaje) pero desarrollan, en cambio, de manera muy intensa su sistema radicular. Bajo el efecto del estrés hídrico sufrido en los decenios recientes, las plantas han crecido más separadas unas de otras porque los recursos disponibles no alcanzan para mantener una comunidad más densa y abundante.

Se encontraron dos especies de mayor importancia relativa, tal es el caso de *Nolana sedifolia* y *Lycium leiostemum*.

Es interesante detenerse en el caso de *L. leiostemum*, ya que si se considera el alto número de individuos presentes en el área de estudio, su baja vitalidad (8%), las grandes dimensiones de sus vestigios y el alto promedio de cobertura (20% en las parcelas en que fue registrado), indican que su clímax se produjo en un pasado no distante en condiciones más favorables de residencia ecológica, probablemente una mayor pluviosidad. Esto explicaría su localización tanto en la franja de máxima niebla como en los estratos inferiores, incluso en sustratos arenosos. Apoya esta tesis el hecho que esta especie es la que tiene una menor respuesta a los indicadores ambientales estudiados, lo cual queda demostrado con el bajo valor de coeficiente de determinación R^2 . Parece importante, en este contexto, determinar en qué período de tiempo se produjo la expansión de esta especie, ladera abajo, hasta alcanzar los 400 m de altitud o aun menos. Tal período de tiempo, a juzgar por las condiciones de los ejemplares muertos, no debe ser muy antiguo y sospechamos, basados en los registros meteorológicos de Iquique a mediados del siglo XX, podría no ser superior a los 60 años. Este aspecto debe ser estudiado con mayor acuciosidad. Otras especies vegetales presentes en la parte alta del acantilado que han ido desapareciendo o reduciéndose a un mínimo de población, como el caso de *Stipa sp.* (Gramineae). *Ophryosporus sp.* o *Suaeda sp.* tendrían que ser estudiadas con la misma perspectiva.

Estas consideraciones, basadas en un trabajo de terreno y revisión sistemática de especies *in situ*, nos llevan necesariamente a la conclusión de que este ecosistema relictivo, hoy, en proceso natural de desertización probablemente por el calentamiento global, extremadamente vulnerable y que se encuentra en franco proceso de desaparición, debe protegerse en forma especial si se quiere perpetuar para la posteridad su notable fauna (máxime entomológica y herpetológica) y su notable flora, perfectamente adaptada a vivir en condiciones de un fuerte estrés hídrico.

Un oasis de niebla en pleno desierto costero norte chileno es, desde el punto de vista científico y ecoturístico, un regalo que debemos aprender a cuidar y proteger. El grado de endemismo, constatado sobre todo en las especies entomológicas residentes en el lugar, viene a comprobar claramente el intenso aislamiento que han sufrido las comunidades de este ecosistema en los últimos milenios. La comunidad científica tiene, en este lugar, un excelente laboratorio natural para comprobar sus teorías sobre distribución espacial de las especies, su variabilidad específica y su adaptación al medio en condiciones de un acentuado estrés hídrico. Esta protección podría estar en el marco del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) o a través de instituciones universitarias o de investigación científica.

Bibliografía

CERECEDA P., LARRAIN H., LÁZARO P., OSSES P., SCHEMENAUER R. y L. FUENTES. Campos de tillandsias y niebla en el desierto de Atacama. *Revista de Geografía Norte Grande*, 1999, n° 26, p. 3-13.

DILLON, M. y P. RUNDEL (1990): The botanical response of the Atacama and Peruvian desert floras to the 1982-83 El Niño event. En *Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. Elsevier Oceanography Series, 52. Edited by P.W. Glynn, Miami, Florida, USA 1990, p. 487- 504.

EGAÑA I. Estudio biogeográfico de la comunidad arbustiva de Alto Patache, Iquique. Santiago: Seminario de Grado presentado al Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, 2002.

CERECEDA, P. et al. *La importancia de la niebla y de la lluvia en ecosistemas de oasis de niebla en el desierto costero de Tarapacá, con especial énfasis en la entomofauna*. Santiago: Informe Proyecto Fondecyt N° 1010801, 2004.

FUKUSHIMA M. Algunos aspectos cuantitativos de los Tillandsiales Grises de la parte baja de Cerro Campana. *Boletín de la Sociedad Botánica de La Libertad*, Trujillo, Perú 1969, n° 1, p. 75-93.

LACOSTE A. y SALANON R. *Biogeografía*. Barcelona: Oikos-Taus, 1973.

LARRAIN H., VELÁSQUEZ F., ESPEJO S., PINTO R., CERECEDA P. y P. OSSES. Fog measurements at the site "Falda Verde" North of Chañaral (Chile compared with other North Chilean fog stations). *Journal of Atmospheric Research*, 2002, n° 64, p. 271-284.

LÓPEZ RITAS J. y LÓPEZ MÉLIDA J. *El diagnóstico de suelos y plantas: métodos de campo y laboratorio*. Madrid: Mundi-Prensa, 1978.

MUÑOZ-SCHICK M., PINTO R. y MOREIRA A. "Oasis de neblina" en los cerros costeros del sur de Iquique, Región de Tarapacá, Chile, durante el evento El Niño 1997-1998. *Revista Chilena de Historia Natural*, Santiago, Chile, 2001, p. 389-405.

PINTO R. *Oasis de niebla. Una expedición botánica a los cerros costeros de Iquique durante "El Niño" 1997*. Iquique: Compañía Minera de Collahuasi, 1999.

PINTO R., LARRAÍN H., CERECEDA P., LÁZARO P. y P. OSSES. Monitoring fog vegetation at a fog site in Alto Patache South of Iquique, Chile during El Niño and La Niña events. En *Proceedings Second Conference on Fog and Fog Collection*. St. John's: Fog Conference, 2001a.

PINTO R., LARRAIN H., CERECEDA P., LÁZARO P. y P. OSSES. Respuesta de la flora y fauna al influjo de las neblinas costeras (camanchacas), en períodos de "El Niño" (1997 - 1998) y "La Niña" (1998 - 2000) en la costa sur de Iquique, norte de Chile. En *8° Encuentro de Geógrafos Latinoamericanos EGAL*. Santiago: Universidad de Chile, 2001b.

PINTO R. y P. MARQUET. Distribución y conservación de los Tillandsiales de Tarapacá. En *SOCIEDAD DE BIOLOGÍA DE CHILE. XLV Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Chile*. Puyehue: Sociedad de Biología de Chile, 2002.

PINTO R., CERECEDA P., GARCÍA M., LARRAIN H., OSSES P. y M. FARÍAS. Caracterización de la población de *Eulychnia iquiquensis* (Cactaceae) en Alto Chipana, Tarapacá. En *SOCIEDAD CHILENA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS. XXIV Congreso Internacional de Geografía y Cartografía*. Valparaíso: Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, 2003.

RUNDEL P. The phytogeography and ecology of the Coastal Atacama and Peruvian desert. *Aliso*, 1991, n° 13, p.1-49.

RUNDEL. P. et al. *Tillandsia landbeckii* in the Coastal Atacama Desert of Northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1997, n° 70, p. 341-349.

SIELFELD W., E. MIRANDA y J. TORRES. Información preliminar sobre los oasis de niebla de la costa de la Primera Región de Tarapacá. Iquique: Programa de Recursos Hídricos Renovables, Universidad de Tarapacá, 1995.