

## El factor clima en la floración del desierto en los años “El Niño” 1991 y 1997

P. CERECEDA<sup>1</sup>, H. LARRAIN<sup>2</sup>, P. OSSES<sup>1</sup>, P. LAZARO<sup>3</sup>,  
J. L. GARCIA<sup>1</sup>, V. HERNANDEZ<sup>1</sup>

Proyecto Fondecyt 1971248

### RESUMEN

*El presente trabajo tiene por objetivo describir y analizar las condiciones de precipitaciones y de temperatura que hubo durante los llamados “desierto florido” de los años 1991 y 1997. Este equipo percibió una fuerte diferenciación en la fisonomía del paisaje en relación a la germinación y floración de la vegetación entre ambos años en el Norte Chico. En 1997, en Alto Patache, al sur de Iquique, en Tarapacá, hubo una floración excepcional en el desierto costero. Es probable que los parámetros meteorológicos hayan sido uno de los factores decisivos en dicha diferenciación. Los resultados más importantes para el Norte Chico, se refieren a las grandes diferencias en los montos e intensidad de precipitación y de comportamiento térmico entre ambos años; siendo el de mayor cantidad de agua caída y de mayor temperatura, el que dio una menor respuesta vegetal.*

### ABSTRACT

*The objective of this article is to describe and analyse the precipitation and temperature conditions during the years 1991 and 1997, when the desert bloomed in an extraordinary way. This team perceived a great difference in the physiognomy of the landscape in relation to the germination and blooming of the vegetation between those years in Norte Chico. In 1997 in Alto Patache, South of Iquique in Tarapacá, there was an exceptional germination of the coastal desert. It is probable that the meteorological conditions may be one of the factors of this differences. The most important results are the differences in amount of precipitation and thermal behaviour in Norte Chico, where the year that showed more rain and more warm temperature was the one that bloomed less.*

### INTRODUCCION

El desierto de Atacama fue estudiado por W. Weischet en 1973 desde el punto de vista de sus características climáticas de precipitaciones y evaporación/evapotranspiración, llegando a la conclusión de que éste es el “más extremo del mundo”. En efecto, él comparó los antecedentes entregados por las estaciones meteorológicas chilenas con otras de variados desiertos del mundo, detectando que éste es el lugar donde llueve menos y donde la evaporación es mayor, es decir mayor balance negativo de aridez. Se ha discutido en muchas oportunidades su ubicación y límites, concluyéndose que esta característica de aridez se encuentra en la Pampa del Tamarugal y en el Desplado de Atacama; es decir, desde la quebrada de Tana (19°16'S-69°26'W) hasta el salar de Pun-

ta Negra (24°35'S-68°58'W) en Antofagasta y siempre por la Depresión Intermedia. Sin embargo, aparentemente, las condiciones desérticas son similares en la cordillera de la Costa (no hay estaciones meteorológicas en dicha cordillera). En el litoral entre Arica y Chañaral las características de humedad y temperatura y sus oscilaciones difieren notablemente, pero las condiciones de desierto son muy parecidas (ausencia casi total de vegetación). Es importante no confundir el término *aridez*, que se refiere a características climáticas, con *desierto*, que se relaciona con la vida animal y vegetal; asimismo el genérico *sequedad* es sólo indicativo cuando se define si está referido al suelo o a la atmósfera. Por lo tanto, desde el punto de vista de este trabajo biogeográfico, el área de estudio se ha enmarcado dentro del vasto desierto de Atacama.

El desierto atacameño está limitado al norte por una zona más vegetada en territorio peruano (provincia de Arequipa), y al sur por el denominado Norte Chico o zona semiárida. Tanto en Perú como en Chile, en los años lluviosos se produce el fenómeno de “desierto florido”. En el litoral del país

<sup>1</sup> Instituto de Geografía, P. Universidad Católica de Chile.

<sup>2</sup> Univ. Arturo Prat - Instituto de Estudios de la Cultura y Tecnología Andina.

<sup>3</sup> Arquitecto, Gobierno Regional Tarapacá.

del norte, la floración sucede prácticamente todos los años, originada fundamentalmente por una estación de nieblas (presencia de nubes estratocúmulo desde mayo a noviembre), en la cual se producen lloviznas que brindan suficiente agua para que la vegetación germine (Talavera *et al.*, 1996). Esto no sucede en Chile, aún cuando la niebla o camanchaca es frecuente a lo largo del año, la diferencia está en que ésta no se presenta con la llovizna antes mencionada. Sin embargo, en ambos países, lluvias torrenciales esporádicas son capaces de producir el majestuoso espectáculo de floración de las resacas y desnudas tierras que conforman el desierto.

El desierto y semidesierto del norte de Chile tiene la particularidad de guardar un banco de semillas de gran variedad y con excelente potencial de germinación y floración como respuesta a precipitaciones de características de abundancia e intensidad. Sin embargo, no todos los años “lluviosos” presentan la misma germinación y floración en cuanto a distribución espacial, cobertura y permanencia en el tiempo. Este fue el caso del “desierto florido” del Norte Chico, específicamente en Atacama, en que se percibió una fuerte diferenciación en la fisonomía del paisaje entre los años 1991 y 1997. Este equipo no encontró estudios que hayan cuantificado estos parámetros y así avalar científicamente esta percepción. Sin embargo, esta situación fue muy comentada tanto por los especialistas, como por la prensa y personas aficionadas a recorrer y fotografiar este fenómeno. Incluso, los agentes de turismo y hoteleros vieron frustradas sus expectativas en la primavera de 1997.

Por ello, partiendo de este supuesto de mayor germinación y floración en 1991 con respecto a 1997, se estudió la influencia de los factores climáticos en cuanto a sus características pluviales y térmicas en dichos años y se las relacionó con la vegetación y la geomorfología del área de estudio. En esta oportunidad sólo se presentan los resultados con respecto a las variables meteorológicas. En Tarapacá se hizo un estudio indagatorio.

## AREAS DE ESTUDIO

Las áreas de estudio fueron el litoral y la cordillera de la Costa con las pampas ubicadas a sotavento de ella, en las regiones de Atacama y Coquimbo. En este artículo se profundizará de acuerdo a las conclusiones obtenidas en la provincia de Huasco, entre la Quebrada del Aguila (norte de Carrizal Bajo) y el puerto de Huasco; hacia el interior se llegó hasta aproximadamente 40 km, abarcando las pampas de Algarrobal y

Totoral, así como las terrazas fluviales próximas a Vallenar (28°02' - 28°26'S y 71°08' - 70°34'W). En Tarapacá, la zona de estudio se ubicó en Alto Patache, 50 km al sur de Iquique, la que comprende el acantilado costero que allí sobrepasa los 800 m y una planicie interior próxima a dicho acantilado a una altitud cercana a los 700 m (20°49'15"S-70°09'18"W).

## OBJETIVOS

El objetivo general de esta investigación fue describir y analizar el fenómeno biogeográfico del “desierto florido” en función de los factores geográficos físicos que permiten dicha floración. Se dio énfasis a su relación con las condiciones climáticas y geomorfológicas. Se comparó el tiempo atmosférico del invierno y primavera de los años 1991 y 1997, con el fin de encontrar factores que explicaran la floración de ambos años.

En el Norte Chico, los objetivos específicos consistieron básicamente en identificar las especies colectadas y su ubicación geográfica, describir y analizar las unidades geomorfológicas en donde las especies se encontraron, y analizar el comportamiento temporal de las precipitaciones y temperaturas de los años 1991 y 1997 (García, 1998). En Tarapacá, estos objetivos se cumplieron en 1997 (Hernández, 1999). Como se dijo, aquí sólo se comentan los parámetros climáticos.

Se trabajaron los siguientes postulados: a mayor volumen de agua caída e intensidad de precipitación, mayor germinación y floración; y a mayor temperatura, menor floración. Sin embargo, no se trabajan como hipótesis, ya que éstas no se podrían comprobar, debido a que no hay un estudio sistemático sobre el comportamiento vegetal antes mencionado.

La información que se discute será importante al momento de analizar estos o futuros episodios de floración del desierto desde las diversas perspectivas que el fenómeno se estudia, especialmente desde las ciencias ecológicas.

## METODOLOGIA

La metodología se basó en la realización de un trabajo de terreno que incluyó diez expediciones el año 1991 y cuatro en 1997 con el fin de registrar la presencia de especies vegetales del Norte Chico. Se realizó un archivo fotográfico con la localización exacta de las especies retratadas. Los recorridos se hicieron según transectas (E-W) previamente definidas de acuerdo a las diferentes formas de relieve y accesibilidad. En Tarapacá, se

hicieron observaciones desde julio de 1997 hasta fines de 1999 sobre la presencia de especies vegetales en Alto Patache; también se cuenta con un archivo fotográfico.

Se realizó una recopilación de antecedentes bibliográficos con el fin de conocer el tipo de estudios que se han hecho en el tema, y especialmente una pesquisa en torno a los estudios biogeográficos del desierto florido. Se analizaron las características del comportamiento de las precipitaciones y de las temperaturas en el Norte Chico en cinco estaciones y, en el Norte Grande, en una sola estación. Los análisis estadísticos se hicieron en una base anual y mensual (en algunos casos, la precipitación diaria), buscándose y comparándose los promedios y las situaciones extremas.

Aquí se entrega la metodología y los resultados correspondientes al factor climático. Los datos meteorológicos corresponden a las estaciones de Copiapó, Vallenar, La Serena, Los Vilos, Illapel y Diego Aracena (Chucumata) al sur de Iquique. Los promedios de 30 años analizados fueron los siguientes: precipitaciones medias anuales, precipitaciones medias mensuales, temperaturas medias anuales y temperaturas medias mensuales. Para los años 1991 y 1997 la precipitación total anual, la precipitación total mensual, la precipitación máxima en 24 horas en el mes, la temperatura media anual y la temperatura media mensual. Cabe hacer presente que la estación Diego Aracena no es representativa del área de estudio, ya que esta se encuentra en una terraza al nivel del mar y Alto Patache forma parte de un acantilado y una meseta a 700 m, de modo que su altitud y relieve condicionan la humedad, precipitaciones, presencia de niebla y temperatura. Sin embargo, esta es la única estación en el área, y parece interesante conocer el comportamiento diferenciado entre los años El Niño y el "normal".

#### **ANTECEDENTES DEL DESIERTO FLORIDO CHILENO**

Los desiertos del mundo en general florecen en períodos de lluvias intensas con distintas características y comportamiento. Se puede decir que en eventos anómalos de precipitaciones excesivas, dicha floración puede ser realmente espectacular, tanto en cantidad y diversidad de especies, cobertura y densidad de las plantas, así como en el área que abarca el fenómeno.

En Perú, como se dijo, prácticamente todos los años hay flores en el desierto costero; se le cono-

ce como "la floración de las lomas", porque sucede en las serranías costeras de suaves pendientes. En algunos años, como los correspondientes al Fenómeno de El Niño, las zonas áridas y semiáridas florecen ocupando grandes superficies; la época de floración es más extensa, la vegetación es más vigorosa y proliferan los insectos y la fauna en general (aves, reptiles y algunos mamíferos, como los roedores) (J. Péfour, 1978). Similares situaciones se dan en Namaqualand, Sudáfrica y en el desierto Borrego al sur de California (Starker Leopold, 1976). En el desierto de Namibia, después de las lluvias anuales, crecen principalmente pastos y también algunos arbustos en las grandes planicies cercanas a Kuiseb River (V. Van den Eynden, *et al.*, 1994). En el desierto costero del sur de la península de Arabia, durante las lluvias sucede algo similar, tapizándose de pastizales las laderas y planicies en la cadena de montañas de Jebel Dhofar (J.S. Barros, 1991). En Chile, el comportamiento del llamado "desierto florido" es diferente, ya que pueden pasar varios años, incluso más de diez, en que la tierra permanece estéril. Sólo en algunos años, con características muy especiales desde el punto de vista meteorológico, se produce la floración de los arbustos xerofíticos y la germinación de las semillas del suelo desértico.

Uno de los aspectos que llama la atención en el comportamiento de la floración en el desierto es la gran diferenciación espacial y temporal que ésta presenta. Se podría pensar que habiendo una precipitación que duplique el promedio anual de 30 años, ya se tendría una abundante floración; sin embargo, la experiencia ha demostrado que esto no es así, ya que hay años en que se duplica o triplica la "normal" del lugar, y la tierra permanece desnuda de vegetación. Es lógico pensar que se requiere una cierta intensidad de lluvia y también una cierta permanencia en el tiempo del período lluvioso, ya que es necesario que el suelo se empape y el agua pueda percolar hasta encontrar las semillas y también los bulbos, los que a veces están a varias decenas de centímetros de profundidad. Hay otros factores que inciden en el comportamiento de las distintas etapas del ciclo de vida de la vegetación, como son el comportamiento de las temperaturas y en el caso del área de estudio en Tarapacá, la neblina y las constantes lloviznas podrían tener un importante rol.

Al hacer la pesquisa bibliográfica para conocer los estudios que se han realizado en esta temática, se encontró que estos son escasos; la mayoría de ellos han sido hechos por botánicos, quienes han realizado los estudios taxonómicos y han logrado identificar la mayoría de las especies

del llamado “desierto florido”. En este sentido, el mayor aporte fue hecho por el científico Carlos Muñoz Pizarro, quien hizo estudios en varios períodos de floración (1965); sus trabajos fueron continuados por la botánica Mélica Muñoz (1985). Siguiendo la obra de Muñoz, otros autores han captado la espectacularidad del fenómeno en hermosas fotografías, es el caso de la bióloga Raquel Pinto (1999) y de Conaf Región de Atacama (A. Teillier *et al.*, 1998) donde además de entregar bellas imágenes describen las especies desde el punto de vista botánico.

El profesor J. Armesto y P. Vidiella, de la Universidad de Chile, han realizado estudios en terreno sobre floración de las zonas semiáridas, siendo sus mayores aportes la experimentación en ambientes de laboratorio. Básicamente han reproducido diferentes escenarios de precipitación en ambiente controlado para conocer la respuesta del banco de semillas del Norte Chico (Vidiella, P.E. y J.J. Armesto, 1989). Ultimamente estos autores han investigado los cambios en la vegetación y la secuencia de floración después de las lluvias en el desierto de Atacama (Vidiella *et al.*, 1999).

Numerosos estudios han sido realizados por científicos en la vegetación de lomas peruanas. Allí, botánicos y ecólogos han dedicado importantes esfuerzos a conocer las propiedades de esos ecosistemas, tanto en períodos secos como lluviosos. Los trabajos de M. Dillon y P. Rundel (1991), M. Fukushima (1969), J. Péfour (1978) y el equipo de Percy Jiménez (1998) de la Universidad de San Agustín de Arequipa, han avanzado en el conocimiento del comportamiento de las especies y de sus hábitats. P. Rundel *et al.* (1991) indican que la zona entre Antofagasta y Arica presenta muy poca afinidad con la flora peruana, refiriéndose a esta zona de ambiente árido continuo como una barrera significativa para la dispersión de especies.

Llama la atención la falta de estudios fitogeográficos de este fenómeno, ya que no se encontraron publicaciones sobre los factores climáticos, geomorfológicos, edafológicos y antrópicos que inciden en la distribución espacial de la vegetación del desierto y semidesierto costero del norte chileno.

#### **ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA FLORACION DEL DESIERTO EN 1991 Y 1997 EN CHILE**

En 1991 hubo una precipitación muy intensa en el mes de junio, la que auguró una floración interesante. Ya en julio, desde la cuenca de San-

tiago hasta Taltal dominaba el verde en las serranías costeras. Desde ese mes en adelante, las planicies y laderas se llenaron de flores en enormes paños de poblamiento puro, como en las planicies próximas a Tongoy y La Serena o en las terrazas fluviales de Vallenar, tapizadas principalmente por calandrinias (*Calandrinia longiscapa Barn.*). En otros sectores proliferaban zonas de poblamiento mixto, en asociaciones de numerosas especies; por ejemplo, en la pampa Algarrobal-Total se contabilizaron más de 25 especies arbustivas y herbáceas en flor, en una sola expedición.

En 1991 llovieron 105 mm y en 1992, 190 mm (La Serena); a pesar de ello, casi no floreció el desierto del Norte Chico. Esto ha llevado a algunos expertos a pensar que las especies propias de este fenómeno no pueden florecer dos años seguidos, debido a sus características biológicas que las hacen requerir un período de descanso prolongado (R. Gajardo, comunicación personal, 1991).

Las abundantes lluvias de 1997, que se iniciaron también en el mes de junio dieron esperanza de un “desierto florido” similar al de 1991, pero esto no fue así. Por ejemplo, las enormes zonas de huillis (*Leucocoryne sp.*) encontrados al principio de la década al sur de La Serena, no aparecieron en esta oportunidad en forma de paños continuos, sino que en manchones aislados de flores en sectores localizados. Quizás la mayor espectacularidad de esa floración fue la respuesta que tuvieron los árboles y arbustos de la Región de Coquimbo (por ejemplo el carbonillo, *Cordia decandra*) y otras especies poco comunes. También sucedió con la típica garra de león de color rojo intenso (*Leontochir ovallei*) de las quebradas de la costa de Carrizal Bajo (Atacama), que germinó en una profusión nunca antes vista según los comentarios de los lugareños (indicaron también que floreció la de color amarillo).

En 1997 la floración fue más tardía (se percibió menos impactante en cuanto a cobertura y densidad), pero de distribución más extensa, ya que no sólo alcanzó las planicies de Caldera, sino que llegó al Norte Grande. En efecto, como ya se ha mencionado, la vegetación apareció en varios oasis de niebla, especialmente en Alto Patache, con una gran diversidad de especies y amplia cobertura, aunque con escasa densidad, si se compara con los “años buenos” del Norte Chico. Lo interesante es que en los lugares donde se registró floración en 1991 también hubo germinación en 1997; la diferencia estuvo en la escasez de flores y en el comportamiento temporal.

Según la bióloga R. Pinto, en 1997 colectó 73 especies en los cerros costeros desde Pisagua a la desembocadura del río Loa, encontrando gran afinidad con la flora peruana (52%), en contraste con el 4% citado por P. Rundel (1991). Según su experiencia de más de 20 años de estudios en Iquique, en la zona costera se produjo el fenómeno de desierto florido en 1982, 1987, 1992 y 1997, todos ellos períodos El Niño. De acuerdo a sus conclusiones, el grado de desarrollo de esta vegetación ha dependido de la intensidad y época del año en que se manifestaron los eventos de lluvia (R. Pinto, comunicación personal, marzo 2000).

De acuerdo a lo anterior, se observa que hay varias hipótesis sobre las causas del comportamiento errático del fenómeno del desierto florido. J.L. García (1998) estudió la relación entre las especies y las formas de relieve en que se encuentran, concluyendo que este factor no es determinante, ya que el mayor número de ellas se encuentra indistintamente en diversas geoformas (ej. *Schizanthus litoralis* o *Nolana paradoxa*) y sólo algunas, como la *Leontochir ovallei*, sí lo están. Por ello, al revisar los factores geomorfológicos se partió de la base que el microrrelieve no cambió entre 1991 y 1997 en las zonas de laderas, pampas ni planicies litorales; también se asumió una continuidad positiva en la dinámica edafológica, salvo en aquellas zonas de sedimentación por aluvionamientos. Así, en esta investigación se priorizó la profundización en las características del comportamiento pluvial y térmico de ambos años en las áreas de estudio.

## RESULTADOS

### Análisis de las precipitaciones en el Norte Chico

Las precipitaciones en el área de estudio presentan un carácter de marcada variabilidad temporal a lo largo de los años. Este comportamiento se relaciona con la circulación general de la atmósfera y la interacción océano-atmósfera, dentro de la cual sobresale el fenómeno de El Niño. Asimismo, se aprecia una fuerte variación espacial en las distintas unidades geomorfológicas de la zona. En general, aumenta la pluviosidad de norte a sur, y de oeste a este, fundamentalmente debido a la variación latitudinal y a la presencia de la cordillera de los Andes. Esta variabilidad

en el espacio geográfico se aprecia dentro de las mismas unidades de relieve, ya que la zona por ser montañosa presenta conos de sombra pluvial en numerosos sectores. Especial relevancia tienen las lluvias orográficas que acompañan a los eventos frontales, ya que intensifican la pluviosidad del área. En este contexto es interesante consignar la importancia de la niebla en el sector costero, la que también tiene un comportamiento diferenciado por los rasgos del relieve.

En este acápite se analizan las precipitaciones diferenciadas entre norte y sur, y entre litoral e interior, aunque las distancias para estos efectos son bastante pequeñas. Entre Copiapó e Illapel, no hay más de 500 km y entre Caldera y La Serena algo más de 300 km. Entre Copiapó y la costa (representada por la estación de Caldera) hay aproximadamente 50 km; y entre Huasco y Vallenar no más de 30 km; aun así se aprecian diferencias pluviales entre ellas.

### Montos anuales de precipitación

El primer aspecto que sobresale es el incremento norte-sur de la pluviosidad, así como la disminución desde el litoral hacia el interior. La única excepción es la de La Serena-Vicuña, que se debe a que esta última estación meteorológica se encuentra a 600 m de altitud, factor determinante en el comportamiento que se estudia (ver tabla 1).

Tabla 1

Precipitaciones medias anuales en el Norte Chico			
Litoral	mm	Interior	mm
Caldera	26,9	Copiapó	12,0
Huasco	42,1	Vallenar	31,6
La Serena	78,5	Vicuña	134,2
Los Vilos	246,6	Illapel	210,4

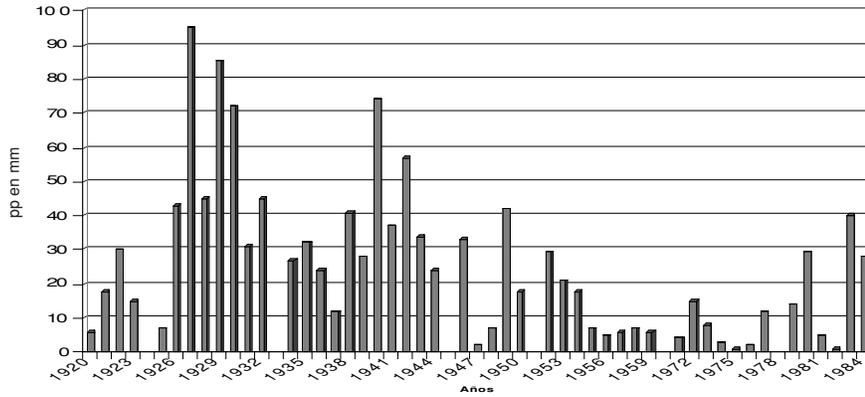
Fuente: García, 1999; Niemeyer y Cereceda, 1984.

### Variabilidad interanual de las precipitaciones

Uno de los aspectos más sobresalientes del clima del Norte y Centro de Chile es el comportamiento errático de las precipitaciones, alternándose períodos de sequía prolongados con períodos húmedos cortos representados por dos a cuatro años de lluvias excesivas. Los gráficos 1 y 2 muestran esta tendencia; la extensa estadística de Copiapó es elocuente.

Gráfico 1

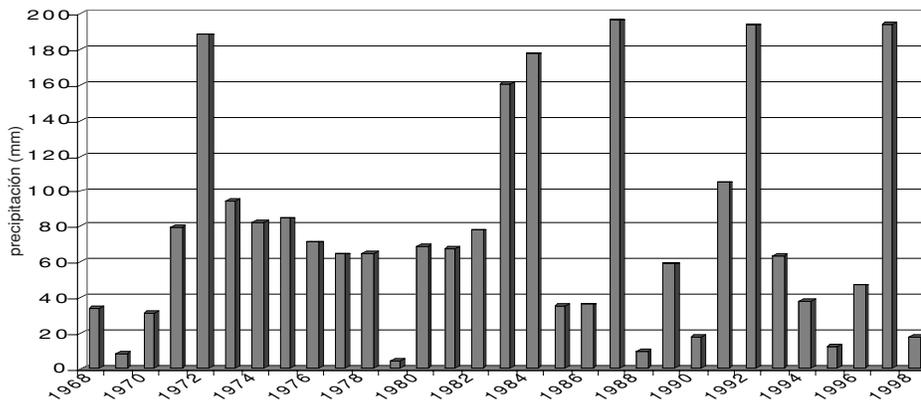
Precipitación anual en Copiapó: período 1920-1984



Fuente: García, 1999.

Gráfico 2

Precipitación anual en La Serena: período 1969-1998



Fuente: García, 1999.

Aun cuando los períodos son disímiles, se puede apreciar una disminución sostenida de las precipitaciones. En la estación del norte, en 64 años, hay dos períodos de pluviosidad extrema (1926-1932 y 1940-1943); en La Serena, en 30 años, se observa mayor recurrencia de dichos períodos.

*Las precipitaciones en los años El Niño 1991 y 1997*

De acuerdo a la tabla 2, se puede apreciar que los incrementos pluviales son excepcionales en todas las estaciones estudiadas.

Tabla 2

Precipitaciones anuales de 1991 y 1997 en el Norte Chico

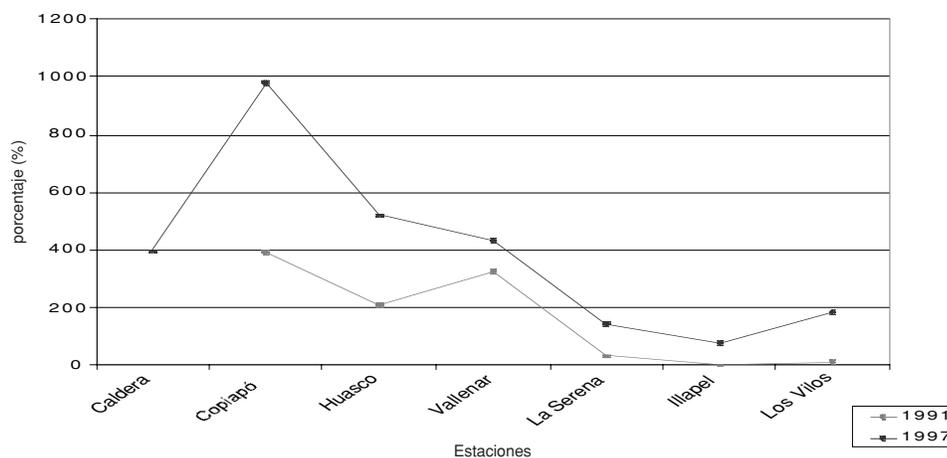
Estación	1991	1997	Estación	1991	1997
Litoral	mm	mm	Interior	mm	mm
Caldera	Sin dato	135,0	Copiapó	59,2	129,4
Huasco	130,9	219,5	Vallenar	134,7	168,5
La Serena	104,8	194,5			
Los Vilos	279,0	701,6	Illapel	176,3	376,1

Fuente: García, 1999.

Si se comparan estos montos de precipitación con las cifras de un “año normal” (tabla 1) para

Gráfico 3

Magnitud del aumento de las precipitaciones en 1991 y 1997 en el Norte Chico



cada una de las estaciones, se aprecia que las diferencias pluviales aumentan hasta diez veces las precipitaciones medias anuales. Para facilitar la comparación, esta información se entrega en el gráfico 3 en forma de porcentajes de aumento con respecto al año normal.

En 1991 se destacan Copiapó, Huasco y Vallenar; es notable el hecho que en ese año Vallenar presentó un incremento mayor que Huasco, mientras que en 1997 la situación se invirtió casi en la misma proporción.

#### *La estacionalidad de las precipitaciones en 1991 y 1997*

En el Norte Chico llueve principalmente en los meses invernales; en Atacama, las precipitaciones se presentan en uno a tres eventos en el año, los que normalmente se concentran en junio y julio. En el año 1991 en Caldera, Copiapó, Huasco, Vallenar y La Serena hubo durante el mes de junio un evento de alta magnitud que duró dos días. Esta situación se repitió en julio, pero en menor grado. Ese año en La Serena también se presentaron precipitaciones en marzo, agosto, septiembre y diciembre, pero más débiles. En Illapel y Los Vilos aún cuando las mayores lluvias se registraron en junio, hubo otros eventos menores que se iniciaron en abril y que se prolongaron hasta octubre. A modo de ejemplo, se grafican los resultados de las estaciones de

Huasco, La Serena y Los Vilos en 1991 y 1997 (gráficos 4, 5 y 6).

Este aspecto es interesante cuando se analizan los meses en que la vegetación comenzó su ciclo y comportamiento vegetativo. Como se indicó, en ambos años desde el mes de julio en adelante se apreciaron las serranías costeras con abundante tapiz herbáceo, el que dio una tonalidad verde a todo el Norte Chico, augurando un espectáculo magnífico de floración del desierto y del semidesierto. Sin embargo, en 1997, el fenómeno florístico fue más lento, retardado y claramente de menor floración, especialmente hacia el sur de la zona estudiada.

#### *La intensidad de las precipitaciones en los años 1991 y 1997*

En esta investigación no se contó con la información sobre intensidad diaria de las lluvias que ocurrieron en la zona de estudio, por lo que se analizó el fenómeno con la estadística mensual disponible en cada estación meteorológica. La primera conclusión es que no hay un patrón definido de las intensidades; es decir, éstas no aumentan ni disminuyen con la latitud o entre costa e interior. En líneas generales, sí se puede decir que las mayores intensidades se dieron en Los Vilos, Illapel y Huasco. En la tabla 3 se entrega la información respectiva.

Gráfico 4:

Distribución mensual de las precipitaciones en 1991 y 1997 en Huasco

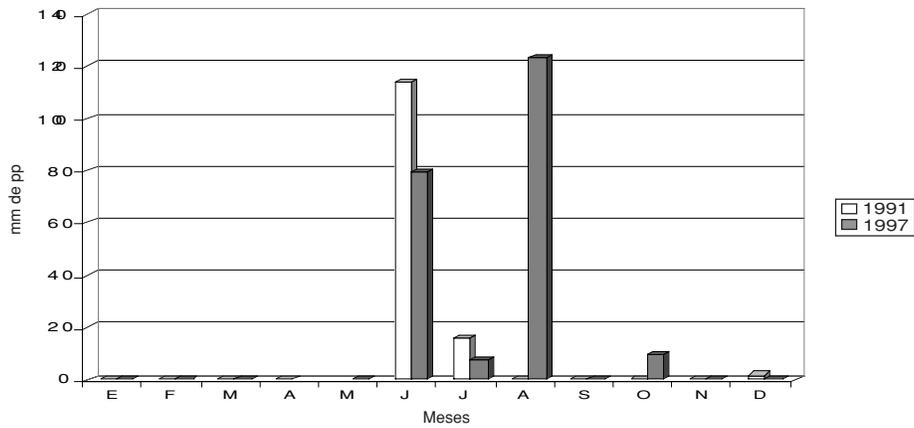


Gráfico 5

Distribución mensual de las precipitaciones en 1991 y 1997 en La Serena

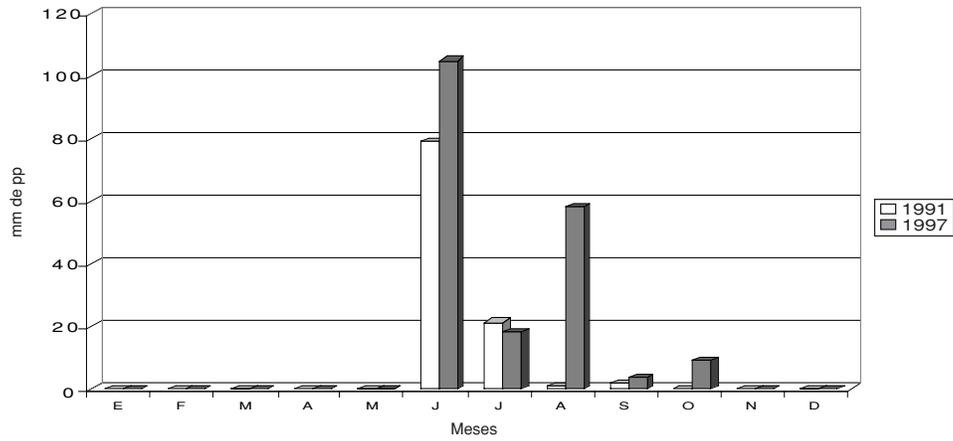


Gráfico 6

Distribución mensual de las precipitaciones en 1991 y 1997 en Los Vilos

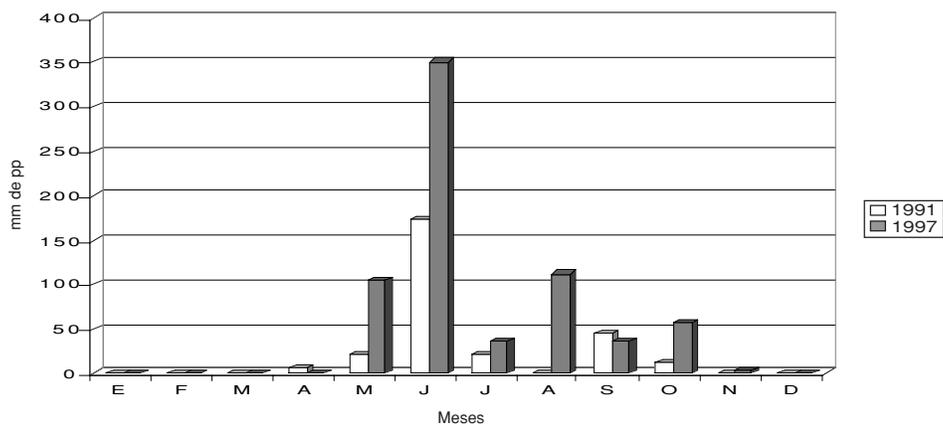


Tabla 3

Intensidades de precipitación máxima en 24 horas y su importancia relativa mensual y anual

Estación	1991 mm	Porcentaje del mes	Porcentaje del año	1997 mm	Porcentaje del mes	Porcentaje del año
Caldera				76,6	90	56
Copiapó	31,7	69	53	58,6	86	45
Huasco	84,2	74	64	73,8	60	34
Vallenar	69,5	59	51	56,0	56	33
La Serena	42,9	54	41	38,9	66	20
Illapel	38,9	38	22	83,0	77	22
Los Vilos	39,0	22	14	83,5	23	12

Se aprecia que existe una tendencia decreciente, de norte a sur, en la importancia relativa del monto total de precipitación en 24 horas respecto a los totales mensual y anual. Asimismo, dicha importancia relativa en la mitad norte, disminuye desde el sector costero hacia el interior del continente, mientras que en el sector sur se incrementa. Ambos puntos pueden ser visualizados a continuación en los gráficos 7 y 8.

El caso más extremo correspondió a Caldera, donde en el mes de agosto de 1997 llovió un total de 84,0 mm, de los cuales 76,6 mm cayeron en un día (90%). En Huasco, en junio de 1991 llovió un total de 113,4 mm, de los cuales 84,2 mm cayeron en un día (74%); esta cifra correspondió al 64% del total anual, que fue 130,9 mm. Además se puede observar que en el año 1991 la mayoría de los lugares recibió más del 40% de sus preci-

pitaciones totales en un solo día, mientras que en 1997 esta relación se dio solamente en Caldera y Copiapó.

## 2. Análisis de las precipitaciones en Tarapacá

Este equipo de investigación no había realizado estudios sobre la floración del desierto en Tarapacá antes de 1997, año en que comenzó el proyecto Fondecyt 1971248. Como se indicó, el objetivo principal fue analizar el fenómeno niebla. En esa oportunidad hubo una hermosa floración de la vegetación y una proliferación de insectos y aves en las resacas tierras desérticas. El episodio no fue extensivo a todo el borde costero, sino que sólo sucedió en algunos sectores puntuales del acantilado y de la cordillera de la Cos-

Gráfico 7

Relación entre la precipitación máxima en 24 horas y el total anual, estaciones de Atacama y Coquimbo, 1991-1997

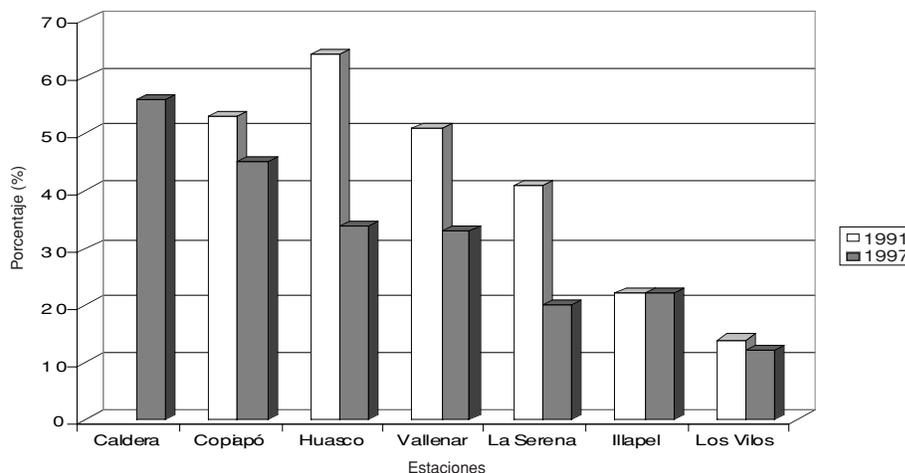
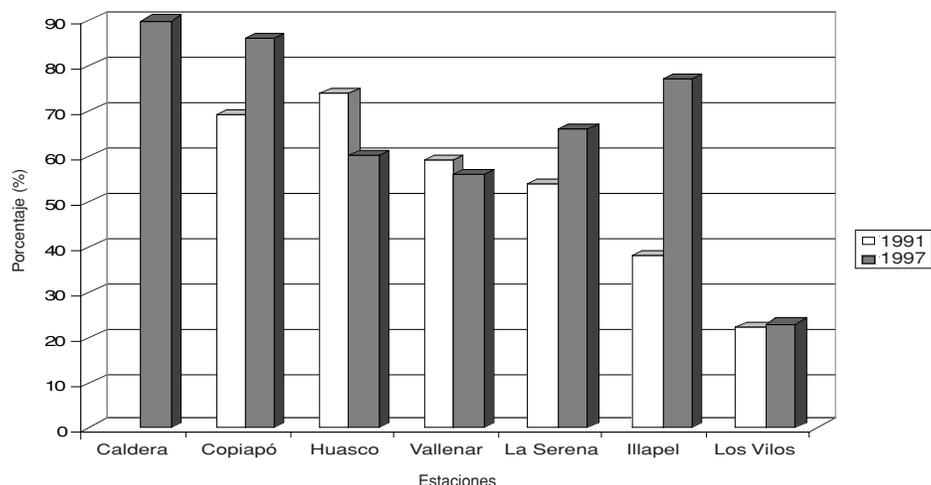


Gráfico 8

Relación entre la precipitación máxima en 24 horas y el total mensual, estaciones de Atacama y Coquimbo, 1991-1997



ta. Incluso floreció en los oasis de niebla con diferentes magnitudes, siendo los de Patache y Chipana mucho más prolíficos que los de Junín y Punta Gruesa, más al norte. Este hecho lleva a la interrogante sobre el comportamiento espacial de las precipitaciones en el área, ya que es altamente probable que éstas tengan un marcado carácter local. De hecho, ese año no llovió en Iquique (llovizna: 0,2 mm), y sí lo hizo en sus alrededores. Por eso se postula la influencia del relieve en dicho comportamiento, ya que acentúa las lluvias y lloviznas de carácter frontal con un efecto orográfico. Por lo mismo, se reitera que la información de Chucumata no es la más indicada; lamentablemente no hay información meteorológica mejor en el área.

#### *Precipitación total anual, variabilidad e intensidad*

La precipitación media de los últimos treinta años en la zona es de 0,2 mm. La dispersión es extrema: sólo 4 años presentan montos de lluvia superiores a 1,5 mm, siendo 1992 el año con mayor precipitación (11 mm), siguiendo 1983 con 7,3 mm, 1969 con 6 mm y 1984 con 3,6 mm. En diecinueve años hubo ausencia total de lluvia, en tres años se registraron lloviznas y en cinco cayeron entre 0,9 y 1,5 mm de agua. Si se utilizara la mediana o la moda para caracterizar esta estación, el resultado sería 0,0 mm, "record" que pocos países ostentan en el mundo (ver gráfico 9).

En el gráfico 10 se visualiza la magnitud del aumento de las precipitaciones en relación al año normal. La mayor magnitud se dio en la estación meteorológica de Chucumata, con más de 1.800% de incremento en 1992. En ese año, W. Sielfeld *et al.* (1995) hicieron un estudio de localización y especies de los oasis de niebla, constatando una abundante floración. En 1983 hubo un aumento sustancial de las precipitaciones y fue un año que los especialistas recuerdan por la abundancia de flores. En 1997 el área se cubrió con grandes paños de huillis (*Leucocoryne sp.*) y suspiros (*Nolana sp.*), entre otras hierbas.

Otro aspecto interesante es la poca consistencia en la presencia de lluvia a lo largo de las zonas estudiadas en relación a los años El Niño de 1983 y 1984. Mientras en Chucumata y Copiapó llovió más en el primero de estos años que en el segundo, en La Serena, en 1984, aumentó cuatro veces la lluvia respecto del 83. Algo similar sucedió en Tarapacá en 1991 y 1992, lo que demuestra que estos años anómalos tuvieron también un comportamiento errático en su ciclo de presencia.

Como se puede ver, es difícil con esta información explicar la floración del desierto tarapaqueño en 1997, ya que no se entiende cómo una lluvia de 0,2 mm (medida en Chucumata) puede generar dicho fenómeno. Sin embargo, se tienen antecedentes que en la localidad de Río Seco, próxima a Patache, distante 60 km de esta estación meteorológica, llovió "copiosamente" durante 4 horas en el mes de agosto. A raíz de esto, fue necesario pedir a la I. Municipalidad de

Gráfico 9

Precipitación total anual en Iquique: años 1969 y 1998

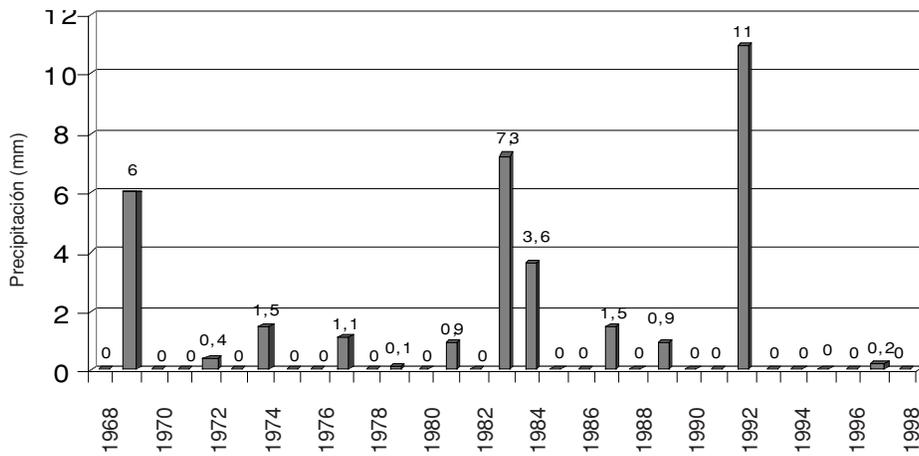


Gráfico 10

Magnitud del aumento de las precipitaciones en relación con el año promedio

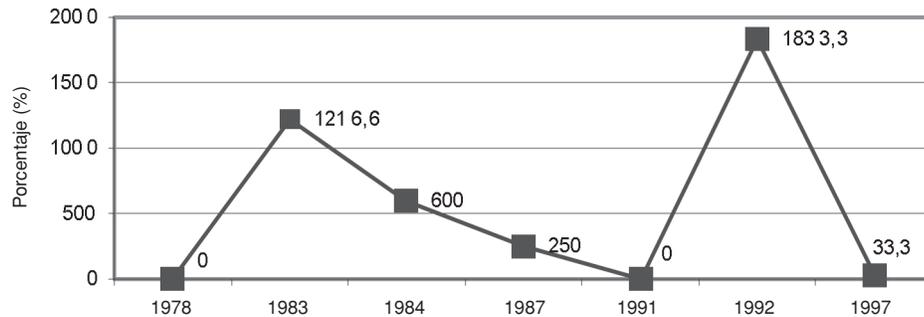
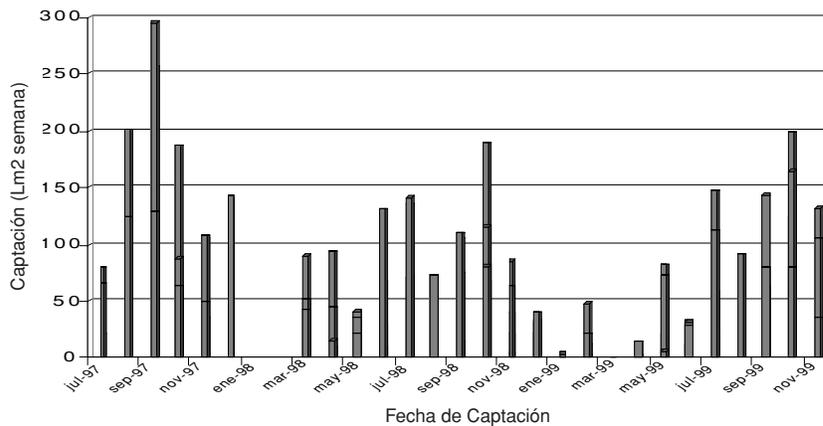


Gráfico 11

Colecta de agua de niebla en Alto Patache entre agosto de 1997 y julio de 2000



Iquique asistencia para reparar las techumbres de las casas de los damnificados de esa localidad (información de lugareños, agosto de 2000).

#### La niebla en Alto Patache

Otros parámetros interesantes en este análisis son la niebla y las temperaturas. Aunque aquí no se postula que la germinación excepcional de la vegetación en 1997 se debió a la abundante niebla que ese año fue registrada semanalmente en Alto Patache, es interesante conocer su posible influencia. Por un lado, incide en la humedad relativa y, por otro, hay más presencia de agua meteórica en la atmósfera y en el suelo (especialmente por la llovizna).

Durante la investigación Fondecyt, el lugar donde se obtuvo la mejor captación de agua de niebla fue el área de Patache. El promedio encontrado en ese período de tres años (1997-2000) bordea los 8 L/m<sup>2</sup>/día, la cifra más alta medida en Chile. En la segunda mitad del año 1997 (agosto a diciembre), la zona presentó un promedio cercano a los 18 L/m<sup>2</sup>/día; en ese mismo período en 1998 y 1999, los registros fueron de 9 y 14 L/m<sup>2</sup>/día, respectivamente. Durante estos meses se produjo el ciclo vegetativo de la flora ya mencionado (gráfico 11).

#### La temperatura atmosférica en el Norte Chico y en Tarapacá

Luego de reconocer que ni las precipitaciones ni la niebla explican por sí solas la floración del

desierto, se procedió a analizar el comportamiento térmico de los años promedio, 1991 y 1997.

#### En el Norte Chico

Las temperaturas en la zona de estudio decrecen de norte a sur, desde un promedio anual de 16,1°C en Caldera y 16,7°C en Copiapó, hasta 13,7°C en Los Vilos y 15,4°C en Illapel. Las localidades de Huasco y La Serena tienen promedios similares en torno a los 14°C. Los meses más fríos son junio, julio y agosto, y los más cálidos, diciembre, enero y febrero.

En el gráfico 12 se aprecia claramente un comportamiento diferenciado entre las regiones de Atacama y de Coquimbo y también entre los años 91 y 97. En efecto, en 1991 las temperaturas en Copiapó, Vallenar y La Serena fueron más bajas que las normales, con más de un grado de diferencia en Copiapó y Vallenar. En cambio, en Los Vilos e Illapel, la situación anual en 1991 fue levemente superior al promedio.

En 1997, en todas las estaciones de medición las temperaturas fueron más altas que el promedio anual; destaca Huasco con 2,7°C y Vallenar con 1,5°C. En esta última localidad, la diferencia de temperatura entre 1991 y 1997 fue de 2,7°C. Este antecedente es muy interesante ya que, en 1997, en esa localidad no se observó la proliferación típica de la pata de guanaco (*Calandrinia longiscapa Barn.*), fenómeno que sucedió en 1991 y otros años lluviosos. Por ser esta zona una de las que presentaron mayores diferencias de floración, se grafican aquí sus distribuciones mensuales (gráfico 13). Otro caso interesante ocurrió en

Gráfico 12

Comparación de los promedios anuales de temperatura entre un año promedio y los años 1991 y 1997 en el Norte Chico

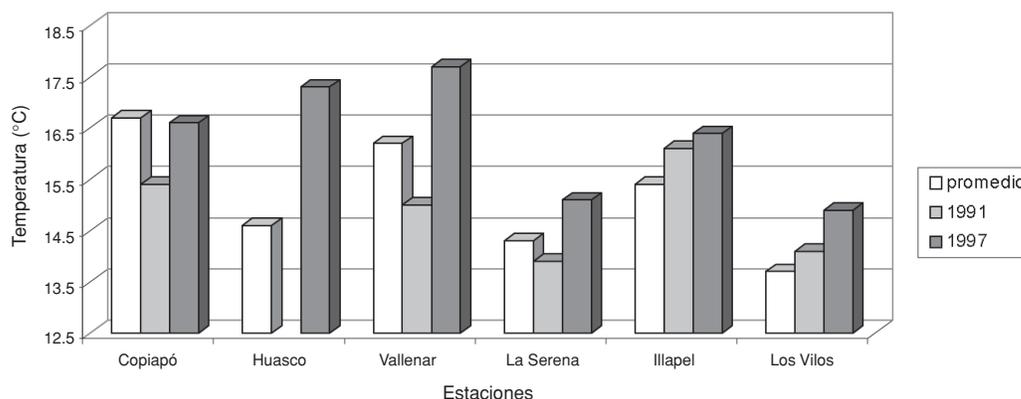


Gráfico 13

Comparación entre las temperaturas medias mensuales de un año normal y los años 1991 y 1997 en Vallenar

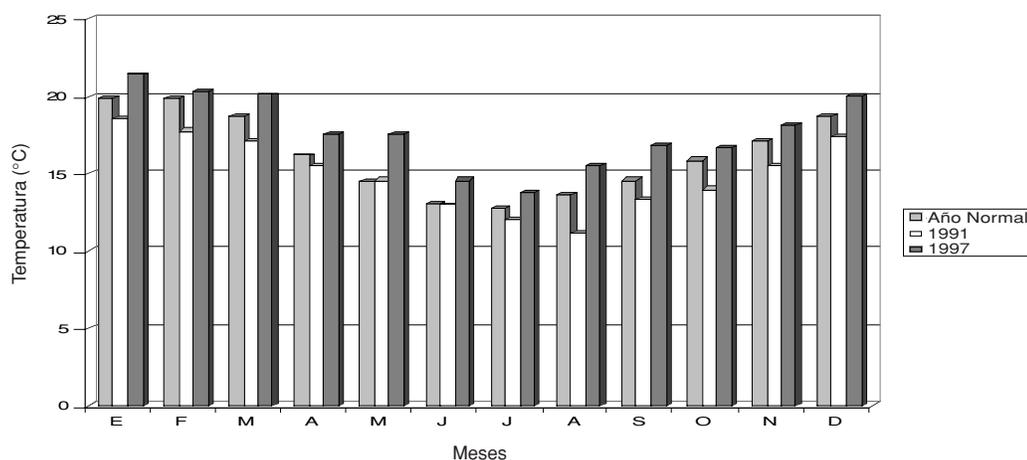


Tabla 4

Diferencia de las temperaturas medias mensuales (°C) entre 1991 y 1997\*

Mes	Copiapó	Vallenar	La Serena	Los Vilos	Illapel
Mayo	0,6	2,9	1,3	0,4	0,4
Junio	1,5	1,6	1,6	0,5	-0,5
Julio	0,6	1,8	0,8	0,3	-0,9
Agosto	3,2	4,3	1,9	1,5	2,4
Septiembre	0,9	3,4	0,5	0,4	-0,5
Octubre	1,3	2,7	1,3	1,4	0,3
Noviembre	1,1	2,6	1,4	3,3	-0,6
Diciembre	1,9	2,6	1,6	0,6	-0,2

Nota: el valor positivo indica mayor temperatura en 1997 que en 1991.

el sector de Puerto Oscuro, donde la inmensa cantidad de manzanillones (*Chrysanthemum coronarium*) que en 1991 adornaron por meses la Carretera 5 Norte no lograron tal desarrollo en 1997 (tabla 4).

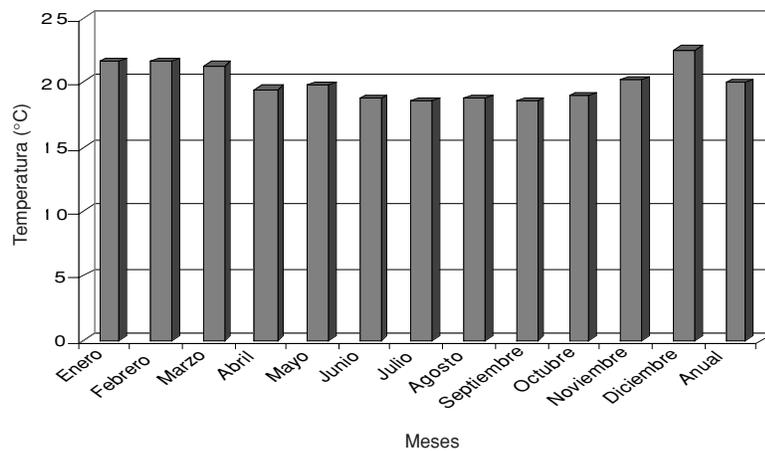
El postulado planteado “a mayor temperatura, menor floración” se cumple en las estaciones de Copiapó, Vallenar, La Serena y Los Vilos; en esta última, en menor grado, debido a que las diferencias no son tan marcadas como en las estaciones de más al norte. Sin embargo, tanto en Los Vilos como en Illapel, agosto presenta una diferencia positiva importante respecto del resto de los meses, correspondiendo a los dos de mayores lluvias ocurridas durante 1997. Es por esto que, a pesar de no existir diferencias positivas de temperaturas tan marcadas en Los Vilos y de registrarse

diferencias negativas en Illapel, la situación ocurrida en agosto pudo haber condicionado en forma importante la floración de especies durante 1997. En ese año se recorrió esa zona en el mes de septiembre, encontrándose una floración anómala por su abundancia, especialmente hacia el interior y a mayor altitud (500-1.000 m.s.n.m.), especialmente a lo largo de los ríos Choapa, Illapel y Chalinga.

La Revista del Campo del diario El Mercurio, durante la estación fría entrega semanalmente un boletín de horas de frío para ser utilizado por los fruticultores de la Zona Central en la planificación de actividades para sus cultivos. Para 1997, plantea lo siguiente en el artículo correspondiente a la semana 29 agosto al 4 septiembre: “...Lo expuesto es más importante, si se considera que

Gráfico 14

Distribución de la temperatura media mensual en Tarapacá en 1997



durante la actual temporada estamos bajo la influencia del Fenómeno de El Niño, que entre otros efectos adversos reduce la cantidad de horas de frío, lo cual interfiere con una adecuada floración y fructificación en frutales caducifolios”...

“Relacionado con el monitoreo mensual, es destacable que desde el inicio todas las localidades han presentado déficit de frío respecto a los años anteriores, lo cual al 31 de agosto indica los siguientes promedios regionales acumulados y de déficit respecto al año pasado (considerado un año normal): V Región, 590 horas, con un 34% de déficit; R. Metropolitana, 622 horas, con 45% de déficit; VI Región, 724 horas, con un 34% de déficit; VII Región, 691 horas con un 41% de déficit.” (Revista del Campo, 5 de septiembre, 1997 Edición N° 1.104, El Mercurio).

#### En Tarapacá

Se ha visitado el oasis de niebla de Patache en forma semanal desde julio de 1997 hasta el presente. Como se dijo, una floración de gran magnitud comenzó en septiembre de 1997, tuvo su “peak” en noviembre y luego fue decayendo hacia mediados del verano de 1998. En los años siguientes no se ha presentado el fenómeno, pero han germinado algunas especies herbáceas y prácticamente todos los arbustos han cumplido su ciclo vegetativo favorable.

Al analizar la temperatura y floración del desierto, en este caso no se cumple el postulado planteado, ya que los años de fenómeno El Niño son muy cálidos. Las temperaturas pueden aumentar en esos períodos hasta 4° C, como sucedió en

1983, y 3,5°C, en 1997. Nuevamente, es necesario revisar con cautela estos datos, debido a la localización de la estación meteorológica de referencia. Es altamente probable que en Alto Patache la temperatura haya sido considerablemente menor, por la constante presencia de niebla antes mencionada. Por ejemplo, el mes de diciembre de 1997 en Chucumata, fue el que tuvo la mayor temperatura con un promedio de más de 22°C, en circunstancias que en Patache, durante dicho mes, en tres semanas consecutivas se colectaron alrededor de 20 L/m<sup>2</sup>/día de agua en el neblinómetro de 1 m<sup>2</sup> de malla Raschel. Esa cifra indica que la permanencia de la niebla debe haber sido altamente frecuente en el área, generando un ambiente térmico menos cálido que en la estación meteorológica mencionada (gráfico 14). Aún así, esta variable merece ser analizada al momento de estudiar la floración y amerita la instalación de instrumentos registradores de lluvia y temperatura en períodos como el descrito.

#### CONCLUSIONES

Cabe hacer presente que a la luz de los antecedentes analizados es difícil concluir en forma categórica sobre la influencia de las precipitaciones, niebla y temperatura en el fenómeno de floración del desierto, por estar condicionado por otros parámetros geográficos y muy especialmente por la biología propia de las especies. Sin embargo, las variables aquí estudiadas no pueden ser desestimadas al momento de analizar en forma sistemática estos bellos episodios de la naturale-

za. Por ello, se entregan algunas observaciones sobre el comportamiento pluvial y térmico en los períodos analizados.

El desierto y semidesierto floreció en el Norte Chico en los años 1991 y 1997, y en Tarapacá lo hizo en 1992 y 1997. En el Norte Chico, en 1991, la floración abarcó mayor superficie y duración que en 1997. En 1991 se percibió mayor diversidad, densidad y cobertura de vegetación que en 1997 en todas las zonas del denominado "desierto florido". En ese último año, el fenómeno fue tardío, tuvo escasa floración y permanencia. En Tarapacá, en 1997, hubo una floración diferenciada en los oasis de niebla de la provincia de Iquique, percibiéndose mayor abundancia y diversidad en los del área sur.

El alto volumen de agua caída no explica la mayor floración del Norte Chico en 1991 respecto a 1997, ya que las precipitaciones fueron considerablemente mayores en este último año (orden de magnitud: 2 a 2,5). En efecto, la magnitud del aumento de las precipitaciones en relación al promedio anual no es relevante al tratar de explicar la mayor floración de 1991. La intensidad de precipitación no explica la mayor floración del Norte Chico en 1991, ya que si bien en 1997 las precipitaciones fueron en general más intensas, el comportamiento es errático entre las estaciones meteorológicas analizadas. El caso más notable es Huasco, donde en un día precipitaron 84 mm, en 1991, siendo el monto anual 130 mm. Cifras similares se registraron en 1997 en Illapel y Los Vilos.

En Tarapacá no se pudo analizar el comportamiento de la floración en relación a las precipitaciones debido a que no hay registros de ellas en las zonas de oasis de niebla. Los datos del Aeropuerto Diego Aracena en Chucumata no sirven para este análisis debido al carácter de lluvias locales que se dan en el área. En 1997 se registró una precipitación de 0,2 mm, en total.

En Alto Patache, el agua aportada por la niebla no permite explicar el fenómeno de floración, ya que la colecta de niebla en 1997 en el período primaveral es relativamente similar a la de 1999, cuando no presentó dicha floración (18-14 L/m<sup>2</sup>/día, respectivamente).

El comportamiento térmico es una variable importante en el análisis de las diferencias de floración entre 1991 y 1997. En el primer año mencionado fueron más bajas que el promedio anual en Copiapó, Vallenar y La Serena; en cambio, en Los Vilos e Illapel, fueron levemente superiores. En 1997, éstas fueron mayores que el promedio anual en todas las estaciones estudiadas, diferen-

ciándose en más de 1°C. Al respecto, Huasco ostentó la mayor diferencia.

Esta diferencia térmica se hace mucho más pronunciada en Tarapacá (Chucumata), donde la diferencia entre el promedio anual de los últimos 30 años y el registrado en 1997 superó los 4°C. Sin embargo, estas estadísticas deben examinarse con sumo cuidado en Alto Patache por la influencia de la niebla antes mencionada, lo que implica aumento de la humedad y disminución de la temperatura ambiente.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro equipo agradece muy especialmente a la botánica Sra. Mélica Muñoz por ayudarnos a identificar las especies vegetales colectadas durante los episodios de desierto florido. También al geógrafo Andrés Moreira por la revisión de los textos, sus aportes al estudio y la interesante discusión académica de los resultados. También a la bióloga Sra. Raquel Pinto por su importante colaboración en el estudio de nieblas en Alto Patache y la discusión sobre la floración del desierto costero de Tarapacá.

## BIBLIOGRAFIA

- BARROS, J.S. (1991): "Captación de precipitación y de neblina en el Sultanato de Omán". Memoria para optar al título de geógrafo. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- DILLON, M. & P. RUNDEL (1990): The botanical response of the Atacama and Peruvian desert floras to the 1982-83 El Niño event. 487-504. En *Global Ecological Consequences of the 1982-1983 ENSO*.
- GARCIA, J.L. (1998): Estudio biogeográfico y turístico del "desierto florido" en las regiones de Atacama y Coquimbo, Chile. Seminario de grado presentado al Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile como uno de los requisitos para obtener el grado académico de licenciado en Geografía. Santiago, Chile.
- HERNANDEZ, V. (1999): Estudio biogeográfico de la loma Punta Patache, Iquique, I Región de Tarapacá, Chile. Seminario de grado presentado al Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile como uno de los requisitos para obtener el grado académico de licenciado en Geografía. Santiago, Chile.
- FUKUSHIMA, M. (1969): Algunos aspectos cuantitativos de los tillandsiales grises de la parte baja del cerro Campana. En *Boletín de la Sociedad Botánica de la Libertad*, Perú.
- JIMENEZ P., VILLASANTE, F., TALAVERA, C., VILLEGAS, L., HUAMAN, E., y ORTEGA, A. (1997): Southern Peru Loma's Flora. En *First Conference on Fog and Fog Collection*, Vancouver, Canada, 481-484.

- MASUZAWA, T. (1985): Structure of Tillandsi lomas community in Peru. En Grant-in-aid- for Scientific Research Reports for Overseas Scientific survey. Tokyo Metropolitan University, 93 p.
- MUÑOZ, P.C. (1965): "El desierto florido". Santiago: Serie Educativa N° 3. Historia Natural. Santiago, Chile.
- MUÑOZ M. (1985): "Flores del Norte Chico", Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos. Museo de La Serena.
- NIEMEYER, H. y CERECEDA, P. (1984): "Hidrografía de Chile". Colección Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile.
- PÉFOUR, J.E. (1978): Composition and structure of communities in the Lomas of Southern Peru. PhD. Thesis, University of Kansas, 215 p.
- PINTO, R. (1999): Oasis de Niebla. Una expedición botánica a los cerros costeros de Iquique durante "El Niño" 1997. Compañía Minera dona Inés de Collahuasi.
- RUNDEL, P. (1991): The phytogeography and ecology of the Coastal Atacama and Peruvian desert. En: *Revista Aliso*, N° 13, pp. 1-49.
- STARKER LEOPOLD, A. (1976): "El Desierto". Colección de la naturaleza de Time-Life, México.
- TALAVERA, C., VILLASANTE, JIMENEZ, P. (1996): Deterioration of the ecosystems of the southern Lomas of Peru: the case of the lomas from the province of Islay (Mollendo-Mejía). Workshop "Evaluation of fog as a water resource" European Commission-Programme STD3.
- TEILLIER, A., ZEPEDA, H. y GARCÍA, P. (1998): Flores del desierto de Chile. Conaf. Marisa Cuneo Ediciones, Valdivia, Chile.
- VAN DEN EYNDEN, V., VERNEMEN, P. y VAN DAMME, P. (1992): The ethnobotany of the Topnaar. Namibia. Universiteit Gent. European Commission.
- WEISCHET, W. (1975): "Las condiciones climáticas del desierto de Atacama como desierto extremo de la Tierra". *Revista Norte Grande*, Universidad Católica de Chile.
- VIDIELLA, P. & ARMESTO, J. (1989): Emergence of ephemeral plant species from the north-central chilean desert in response to experimental irrigation. *Revista Chilena de Historia Natural*, 62: 99-107.
- VIDIELLA, P., ARMESTO, J. y GUTIÉRREZ, J. (1999): Vegetation changes and sequential flowering after rain in the southern Atacama Desert. *Journal of Arid Environments* 43:449-458.