

## Capítulo 15

### El Desierto Florido en la Región de Atacama

JULIO R. GUTIÉRREZ

#### RESUMEN

El fenómeno del “desierto florido” se produce en el Desierto de Atacama con especial intensidad en la zona costera de la Región de Atacama. Este fenómeno consiste en la emergencia de más de 200 especies de plantas anuales y geófitas en la estación primaveral, activadas por lluvias invernales superiores a 15 mm. Estas lluvias inusualmente altas, están a menudo asociadas al fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENOS). En los períodos secos, las especies de plantas anuales están presentes como semillas latentes y las geófitas con estructuras bajo el suelo.

**Palabras clave:** Desierto florido, ENOS, geófitas, plantas anuales, semillas.

#### DESIERTO FLORIDO

En ecosistemas de desierto, eventos de lluvia cortos e infrecuentes resultan en un aumento de los niveles de humedad del suelo que regulan el patrón de productividad de la biota del desierto (Noy-Meir 1973). Después de las lluvias, la productividad puede ser extremadamente alta, sustentando a una comunidad biótica rica, pero de vida corta (Holmgren et al. 2006). La mayor parte de la biota permanece latente en los períodos secos entre los eventos de lluvia. Las especies de plantas que responden a estos eventos de lluvia son principalmente anuales de vida corta como geófitas bulbosas y arbustos latentes en verano (Armesto et al. 1993). Estas formas de vida permanecen ocultas bajo el suelo como semillas latentes en el caso de las plantas anuales, como bulbos, rizomas o cromos en el caso de las geófitas o como tallos subterráneos en el caso de las plantas arbustivas. Su rápido crecimiento y abundante floración después de las lluvias, es un fenómeno que se conoce como “desierto florido” (Muñoz 1985, Dillon & Rundell 1990), que tiene importantes implicancias ecológicas y económicas para la región. Representa un aumento notable en la disponibilidad de recursos para las redes tróficas locales (p. ej., herbívoros, frugívoros, polinizadores, detritívoros) así como para el ganado doméstico, los cuáles dependen de este período corto de alta productividad vegetal.

#### Características Climáticas

El ambiente árido del Desierto de Atacama es causado por un régimen climático influenciado por la corriente fría de Humboldt que fluye de sur a norte y la celda de alta presión del Pacífico occidental central que impide el

movimiento hacia el norte de frentes de lluvias con excepción de algunos inviernos. Las condiciones atmosféricas influenciadas por un anticiclón subtropical estable, resulta en un clima costero templado uniforme con lluvias escasas (Rundel et al. 1991). La corriente fría de Humboldt produce una anomalía térmica negativa, lo que resulta en temperaturas 3-5°C más bajas que las esperadas para la latitud correspondiente (Ochsenius 1982) (ver Capítulo 3). Las evidencias paleobotánicas, paleontológicas y geológicas sugieren que el clima hiperárido del norte de Chile se desarrolló muy recientemente en el Holoceno (i.e., últimos 10.000 años antes del presente), después de una historia Pleistocénica de períodos alternantes húmedo/frío y cálido/seco (Arroyo et al. 1988, Capítulo 16).

Al igual que en otras zonas desérticas del mundo, en la Región de Atacama: 1) las precipitaciones son tan bajas que el agua es el factor controlador dominante de los procesos biológicos; 2) la precipitación es altamente variable a través del año y ocurre en eventos discretos e infrecuentes y; 3) la variación en precipitación tiene un gran componente azaroso (Noy-Meir 1973). Sin embargo, cada cierto número de años, las precipitaciones son inusualmente altas; estos eventos lluviosos están a menudo asociados con el fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur (ENOS). Producto de un debilitamiento de los vientos alisios, se posibilita la intrusión de aguas tropicales cálidas desde Australia hasta las costas de América y el hundimiento o alejamiento de las corrientes frías que bañan estas costas (p. ej., la corriente de Humboldt). Debido a que las aguas del océano son más cálidas, se evaporan más fácilmente, el potencial de la atmósfera para contener vapor de agua aumenta y así su potencial para precipitar cuando se enfrenta con temperaturas más frías (Jaksic 1998). Quinn & Neal (1983), Fuenzalida (1985), Mardones & Silva (1985), Romero & Garrido (1985), Rutlant (1985), Aceituno & Montecinos (1992) y Ortlieb (1994) han asociado las intrusiones de El Niño con aumentos de la precipitación en áreas de baja altitud en el centro y norte de Chile. Lima et al. (1999) demostró estadísticamente una asociación significativa entre El Niño y altas precipitaciones en la región semiárida del norte de Chile. La costa de la Región de Atacama se caracteriza por 2-5 años de sequía (Vidiella 1992) seguidas por un aumento notable en la cobertura de plantas después de eventos de lluvia en invierno de al menos 15 mm (Vidiella & Armesto 1989).

### **Vegetación del Desierto Florido**

Las formas de vida dominantes en el desierto florido de la Región de Atacama son las plantas anuales, las geófitas y arbustos pequeños (Armesto et al. 1993). Las plantas anuales y las geófitas son usualmente la parte inconspicua de la flora del desierto, ocultas en el suelo como semillas y bulbos o creciendo apenas lo suficiente para producir unas pocas flores y semillas antes de morir. En algunos años, sin embargo, cuando se produce una adecuada combinación de temperatura, cantidad y fecha de lluvia y luz, se estimula la amplia germinación y crecimiento rápido de estas plantas (Inouye 1991). Cuando esto sucede, las plantas anuales y las geófitas son, por un tiempo, las plantas más abundantes y vistosas del desierto, formando una alfombra viva de flores.

Mientras las anuales pueden crecer y florecer parte del año, sus propágulos están presentes todo el año formando los bancos de semillas. Debido a su permanente disponibilidad y a que las semillas son un paquete concentrado de calorías y proteínas, las semillas de las plantas anuales son la base de una cadena trófica diversa. Las semillas son consumidas por hormigas, roedores y aves, los cuales a su vez, son consumidos por carnívoros terrestres (p. ej.,

zorros) y aves rapaces (Inouye 1991, Jaksic et al. 1997). Los bancos de semillas en el suelo son altamente variables en el tiempo (Kemp 1989, Gutiérrez & Meserve 2003). La lluvia de semillas, los granívoros, el envejecimiento y muerte de las semillas y la germinación de semillas dan cuenta de la variación en el banco de semillas (Harper 1977, Fenner 1985). Gran parte de la variación temporal del banco de semillas del suelo está asociado a la variabilidad de la producción primaria de las especies de plantas anuales (Nelson & Chew 1977). Gutiérrez & Meserve (2003) señalan que después del ENOS de 1991-1992 el banco de semillas en matorral espinoso del Parque Nacional Bosque Fray Jorge aumentó entre 5 a 10 veces la abundancia de semillas en el suelo. Un resultado similar fue obtenido por Gutiérrez et al. (2000) en la localidad de Aucó en la Región de Coquimbo asociado al ENOS de 1997. La fuerte respuesta de las plantas anuales y del banco de semillas a los años lluviosos, ENOS demuestra la importancia de este fenómeno en el reabastecimiento, recuperación y probable mantención de la vegetación efímera en la región árida de Chile.

La estación de crecimiento de las plantas anuales, es decir, el período que transcurre entre la germinación y la muerte, puede variar desde semanas hasta meses, dependiendo de los patrones de temperatura y lluvias de un determinado año. El tamaño de las plantas maduras es altamente variable. Si hay alta disponibilidad de agua las plantas pueden alcanzar tamaños comparables a la de arbustos pequeños y producir miles de semillas. En años con lluvias escasas y esparcidas, las plantas pueden producir sólo una o unas pocas semillas antes de morir. Hay una gran variabilidad de año a año en la densidad, diversidad y productividad de plantas anuales debido a la variabilidad en precipitación y temperatura (Armesto et al. 1993).

Las poblaciones de anuales del desierto sobreviven años sucesivos con escasez o ausencia de agua debido a que las semillas de estas plantas pueden permanecer latentes en el suelo por varios años. No todas las semillas germinan de una vez, aún en años lluviosos. En el evento que una cohorte de semillas que ha germinado no sobreviva para florecer y producir semillas, las semillas que permanecieron latentes en el suelo pueden sobrevivir para florecer y producir semillas en años futuros (Inouye 1991). Cuando el tiempo y magnitud de las eventos de lluvia son inciertos, una respuesta total a una simple señal (p. ej., una lluvia pequeña) puede ser prematura y puede decrecer severamente el potencial reproductivo de la población. Noy-Meir (1973) propone que la fracción de germinación óptima de semillas de plantas anuales disminuye en la medida que el ambiente es más incierto, así en ambientes altamente inciertos, la estrategia óptima es la de oportunismo cauto. Un ambiente incierto, con bajas correlaciones entre las múltiples señales y entre señales y sus resultados, requiere que los organismos procesen una gran cantidad de información ambiental para regular sus respuestas (y pagar el costo de este procesamiento y las oportunidades perdidas debido a la respuesta cauta). De hecho, la longevidad y heterogeneidad de las semillas que les permite germinación diferencial o retrasada, son comunes en plantas del desierto. Muchas de ellas tienen mecanismos de regulación de la germinación complejos que ajustan su respuesta finamente a una combinación precisa de factores ambientales o a una secuencia de eventos.

Armesto et al. (1993) señalan que la germinación de las especies de plantas anuales nativas a Chile ocurren con eventos de lluvia mayores a 15 mm, mientras que las semillas provenientes de plantas de anuales exóticas germinan con eventos mayores a 5 mm. El mayor umbral encontrado para las

especies nativas sería para impedir partidas falsas, esto es, germinación en respuesta a un evento de lluvia que no provee bastante humedad para completar el ciclo de vida de la planta. El fracaso para reproducirse después de germinar en una planta anual de desierto podría teóricamente conducir a una rápida extinción local (Cohen 1966). Por lo tanto, la respuesta umbral se puede interpretar como la cantidad mínima de humedad proporcionada por una simple lluvia que permite a la planta completar su ciclo de vida sin otras lluvias adicionales. Una lluvia de 20 mm en el invierno de 1989, gatilló la emergencia, crecimiento y floración de especies de plantas en Carrizal Bajo (28°S) (Vidiella et al. 1999). Ensayos de laboratorio con muestras de suelo conteniendo el banco de semillas del sitio, indicaron emergencia abundante de plántulas con riegos simulando 15 mm de lluvia (Vidiella 1992). Este umbral de 15 mm es más bajo que el umbral de 25 mm, documentado para comunidades de plantas del desierto de India (Gupta 1979) y Norte América (Beatley 1974, Gutiérrez & Whitford 1987). Estas discrepancias estarían relacionadas a diferencias en los requerimientos de germinación de las especies de plantas o a diferencias en los niveles de evapotranspiración entre desiertos. Por ejemplo, temperaturas más bajas y mayor nubosidad en el desierto costero de Chile podría traducirse en menor evaporación y consecuentemente mayor disponibilidad de agua para germinación y establecimiento de plantas (Vidiella 1992).

En años con abundantes lluvias, la densidad y la diversidad de plantas anuales pueden ser muy altas. Según Inouye (1991) hay cuatro factores que probablemente contribuyen a la mantención de la alta diversidad. Tres de estos factores pueden ser aplicables al Desierto de Atacama. El primero, es la limitada cantidad de precipitación que caracteriza a los desiertos. Debido a que la productividad está limitada por la precipitación, los desiertos carecen de un dosel cerrado de vegetación perenne. Cuando el agua está disponible, los espacios abiertos pueden ser colonizados por las plantas anuales. Un segundo factor que promueve una alta diversidad de plantas anuales en los desiertos, es la variación de la disponibilidad de agua tanto en el tiempo como en el espacio. Pequeñas diferencias en la topografía superficial puede crear diferencias significativas en la humedad del suelo al canalizar los flujos de agua lejos de algunas áreas y concentrarlas en otras. La variación espacial de los suelos en relación al tipo y textura puede amplificar la variación a escala más pequeña de la humedad del suelo. La variación interanual en las precipitaciones puede afectar la proporción del banco de semillas que germina cada vez, debido a las diferencias en los umbrales de respuestas de las diferentes especies de plantas anuales. Un tercer factor sería la depredación de semillas y plantas anuales. La depredación densidad-dependiente, frecuencia-dependiente y tamaño-dependiente, pueden reducir la abundancia de especies de anuales competitivamente dominantes que pueden desplazar especies de anuales que son competidoras más pobres.

A lo largo del desierto costero comprendido entre las regiones de Coquimbo y Atacama, las especies de plantas efímeras (anuales y geófitas) aumentan en importancia desde sur a norte alcanzando su máxima riqueza en Carrizal Bajo a los 28°S (Armesto et al. 1993, Vidiella et al. 1999). En ese lugar también se encontró la mayor riqueza de especies endémicas. El número de especies anuales exóticas disminuye abruptamente en este gradiente de aridez. A latitudes más bajas por la costa, la riqueza de especies de plantas disminuye, desapareciendo completamente al norte de los 26°S. Manchones de plantas se encuentran a lo largo de ríos (plantas ribereñas, Gutiérrez et al. 1998) y en lugares con influencia de la neblina (Rundel & Mahu 1976, Rundel et al. 1991).

La importancia relativa de las Liliáceas y Amarilidáceas, que son las taxas más importantes de las geófitas del desierto costero del norte-centro de Chile, es más alta que en sus desiertos de mayor altura (Arroyo et al. 1982) o en la flora de Chile continental (Armesto & Vidiella 1993). Las geófitas son también componentes importantes de la flora en los desiertos de Israel, Afganistán e Irán (Breckle 1983). En contraste, las geófitas son menos importantes en los desiertos norteamericanos.

La flora del desierto costero está conformada por un alto porcentaje de especies endémicas encontrándose la máxima riqueza de géneros endémicos en Carrizal (Armesto et al. 1993). Existen escasos estudios sobre el período de crecimiento y floración de comunidades del desierto costero de Chile. Uno de estos estudios es el de Vidiella et al. (1999) realizado en Carrizal Bajo (28°S) desde Septiembre 1989 a Mayo 1990 después de una lluvia de cerca de 20 mm a comienzos de Agosto 1989. Se encontró que después de la lluvia, la estación de crecimiento duró cerca de 19 semanas. Al comienzo hubo un rápido crecimiento de la cobertura vegetal alcanzando un máximo de 24% a fines de Octubre, es decir, 2 meses después del evento de lluvia. Desde Noviembre a Enero 1990, la cobertura total disminuyó rápidamente hasta un 5%. Hubo una rápida disminución en el número promedio desde 9 especies en Septiembre a 3 especies en Enero y a sólo 1 especie en Mayo 1990. Alrededor de la mitad de las especies comenzaron la floración a fines de Septiembre. La máxima floración ocurrió dos meses después del inicio del período de crecimiento. Se identificaron tres grupos de floración: 1) con floración máxima a fines de Septiembre (e.g. *Schizopetalon gayanum* e *Hippeastrum bagnoldii*), 2) con floración a fines de Octubre (e.g., *Zephyra elegans*, *Cristaria glaucophylla* y *Encelia canescens*), 3) con floración máxima entre mediados de Noviembre y comienzos de Diciembre (e.g. *Chaetanthera limbata* y *Frankenia chilensis*). La secuencia de floración no parece relacionarse a formas de crecimiento, ya que especies de plantas anuales, geófitas y arbustos, se encontraron en los tres grupos de floración, excepto las geófitas que están ausentes del grupo que florece más tarde en la estación de crecimiento. Las especies que florecen primero pertenecen a las Brasicáceas y a las Liliáceas, mientras que las especies que florecen más tardías, pertenecen a las Onagráceas y a las Asteráceas. Los resultados del estudio hecho por Vidiella et al. (1999) sugieren que los tiempos de floración de las especies de plantas en el Desierto costero del centro-norte de Chile podrían estar sujetos a fuertes restricciones filogenéticas.

## REFERENCIAS

- ACEITUNO P & V MONTECINOS (1992) Análisis de la estabilidad de la relación entre la Oscilación del Sur y la precipitación en América del Sur. En: (L Ortlieb & J Macharé, eds) Paleo ENSO Records International Symposium, extended abstracts : 7-13. ORSTOM/CONCYCET, Lima.
- ARMESTO JJ & PE VIDIELLA (1993) Plant life-forms and biogeographic relations of the flora of Lagunillas (30°S) in the fog-free Pacific coastal desert. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 80: 499-511.
- ARMESTO JJ, PE VIDIELLA & JR GUTIÉRREZ (1993) Plant communities of the fog-free coastal desert of Chile: plant strategies in a fluctuating environment. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 271-282.

- ARROYO MTK, FA SQUEO, JJ ARMESTO & C VILLAGRÁN (1988) Effects of aridity on plant diversity in the northern Chilean Andes: results of a natural experiment. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 55-78.
- ARROYO MTK, C VILLAGRÁN, C MARTICORENA & JJ ARMESTO (1982) Flora y relaciones biogeográficas en los Andes del norte de Chile. En: (A Veloso & E Bustos, eds) *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile* (Arica, lat. 18°28'S). Vol. 1: 71-92. ROSTLAC, Montevideo.
- BEATLEY JC (1974) Phenological events and their environmental triggers in Mojave Desert ecosystems. *Ecology* 55: 856-863.
- BRECKLE SW (1983) Temperate deserts and semi-deserts of Afghanistan and Iran. En: WEST NE (ed) *Ecosystems of the World 5. Temperate Deserts and Semi-Deserts*: 271-319. Elsevier, Amsterdam.
- COHEN D (1966) Optimizing reproduction in a randomly varying environment. *Journal of Theoretical Biology* 12: 119-129.
- DILLON MO & PW RUNDEL (1990) The botanical response of the Atacama and Peruvian Desert floras to the 1982-83 El Niño event. En: (PW Glynn, ed) *Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Niño Southern Oscillation*: 487-504. Elsevier Oceanographic Series 52, Amsterdam.
- FENNER M (1985) *Seed Ecology*, Chapman and Hall, London, UK. 151 pp.
- FUENZALIDA R (1985) Aspectos oceanográficos y meteorológicos de El Niño 1982-83 en la zona costera de Iquique. *Investigación Pesquera (Chile)* 32: 47-52.
- GUPTA RK (1979) Integration. En: (DW Goodall & RA Perry, eds) *Arid-land Ecosystems: Structure, Functioning and Management*, Vol. 1: 661-675. Cambridge University Press, Cambridge.
- GUTIÉRREZ JR & PL MESERVE (2003) El Niño effects on soil seed bank dynamics in north-central Chile. *Oecología* 134: 511-517.
- GUTIÉRREZ JR & WG WHITFORD (1987) Responses of Chihuahuan Desert herbaceous annuals to rainfall augmentation. *Journal of Arid Environments* 12: 127-139.
- GUTIÉRREZ JR, G ARANCIO & FM JAKSIC (2000) Variation in vegetation and seed bank in a Chilean semi-arid community affected by ENSO 1997. *Journal of Vegetation Sciences* 11: 641-648.
- GUTIÉRREZ JR, F LÓPEZ-CORTES & PA MARQUET (1998) Vegetation in an altitudinal gradient along the Río Loa in the Atacama Desert of northern Chile. *Journal of Arid Environments* 40: 383-399.
- HARPER JL (1977) *Population Biology of Plants*. Academic Press, Londres. 892 pp.
- HOLMGREN M, P STAPP, CR DICKMAN, C GRACIA, S GRAHAM, JR GUTIÉRREZ, C HICE, FM JAKSIC, DA KELT, M LETNIC, M LIMA, BC LÓPEZ, PL MESERVE, WB MILSTEAD, GA POLIS, MA PREVITALI, M RITCHER, S SABATÉ & FA SQUEO (2006) Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 87-95.
- INOUE RS (1991) Population biology of desert annual plants. En: (GA Polis, ed) *The Ecology of Desert Communities*: 27-54. University of Arizona Press, Tucson.
- JAKSIC FM (1998) The multiple facets of El Niño/Southern Oscillation in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 121-132.
- JAKSIC FM, SI SILVA, PL MESERVE & JR GUTIÉRREZ (1997) A long term study of vertebrate predator responses to an El Niño (ENSO) disturbance in western South America. *Oikos* 78: 341-354.

- KEMP PR (1989) Seed banks and vegetation processes in deserts. En: (MA Leck, VT Parker & RL Simpsin, eds) Ecology of Soil Seed Banks: 257-282. Academic Press, San Diego, CA.
- LIMA M, PA MARQUET & FM JAKSIC (1999) El Niño events, precipitation patterns and rodent outbreaks are statistically associated in semiarid Chile. *Ecography* 22: 213-218.
- MARDONES E & O SILVA (1985) Variables climáticas en el norte de Chile durante el fenómeno El Niño 1982-83. *Investigación Pesquera (Chile)* 32: 37-46.
- MUÑOZ M (1985) Flores del Norte Chico. Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos. Ilustre Municipalidad de La Serena, Santiago. 95 pp.
- NELSON JF & RM CHEW (1977) Factors affecting seed germination of three annual species from an arid region of western Australia. *Journal of Ecology* 62: 699-709.
- NOY-MEIR I (1973) Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology & Systematics* 4: 25-51.
- ORTLIEB L (1994) Major historical rainfalls in central Chile and the chronology of ENSO events during the XVI-XIX centuries. *Revista Chilena de Historia Natural* 67: 463-485.
- OCHSENIUS C (1982) Atacama: the holo-genesis of the Pacific coastal desert in the context of the tropical South American Quaternary. *Striae* 17: 112-131.
- QUINN WH & VT NEAL (1983) Long-term variations in the Southern Oscillation El Niño and Chilean subtropical rainfall. *Fishery Bulletin* 81: 363-374.
- ROMERO H & AM GARRIDO (1985) Influencias genéticas del fenómeno El Niño sobre los patrones climáticos de Chile. *Investigación Pesquera (Chile)* 32: 19-35.
- RUNDEL PW & M MAHU (1976) Community structure and diversity of a coastal fog zone in northern Chile. *Flora* 165: 493-505.
- RUNDEL PW, MO DILLON, B PALMA, HA MOONEY & SL GULMON (1991) The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *Aliso* 13: 1-49.
- RUTLANT J (1985) Algunos aspectos de la influencia climática a nivel mundial y regional del fenómeno El Niño. *Investigación Pesquera (Chile)* 32: 9-17.
- VIDIELLA PE (1992) Desierto florido: estudio experimental de la emergencia de plantas efímeras en respuesta a distintos regímenes de precipitación. Tesis Magíster en Ciencias, Universidad de Chile, Santiago.
- VIDIELLA PE & JJ ARMESTO (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 PE, JJ ARMESTO & JR GUTIÉRREZ (1999) Vegetation changes and sequential flowering after rain in the southern Atacama Desert. *Journal of Arid Environments* 43: 449-458.