Arnaldoa 15(1): 63 - 86
2008

ISSN: 1815-8242

Efectos del fenómeno del Niño 1997-1998 en la vegetación del desierto de Sechura, Región Paita hasta el año 2008.

Effects of El Niño 1997-1998 on the vegetation of the Paita-Region in the Sechura Desert up to 2008

Wibke Erdmann, Natalie Schulz, Michael Richter
Geographisches Institut FAU Erlangen-Nuernberg, ALEMANIA.

Eric F. Rodríguez Rodríguez
Herbarium Truxillense (HUT), Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, PERÚ.

Resumen

El presente estudio está basado en once años (Octubre 1997 – Abril 2008) de monitoreo de vegetación en parcelas permanentes establecidas en la zona perárida denominada Cangrejos, ubicada al sur de Paita en el NO del Perú. La investigación comenzó inmediatamente antes del fenómeno del Super Niño 1997/1998. Durante este fenómeno las anomalías de la temperatura superficial del mar controlan los patrones regionales de la precipitación, en el caso que nos ocupa en un factor de un 6,000 % sobre la media. A parte de El Niño, el cual está bién documentado, existen otras anomalias regionales poco estudiadas tipo El Niño del año 2002, causadas tanto por efectos monzónicos como por el fenómeno de La Niña de 2008. El principal objetivo de este artículo es presentar las influencias climáticas en la flora regional y documentar el impacto de El Niño a mediano plazo en un ecosistema árido terrestre. También enfocamos la dinámica de la vegetación regional y las consecuencias en la cadena alimenticia en tres tipos edáficos que son: rocoso (= hamada), gravilloso (= serir) y arenoso (= erg). En primer lugar germinan las hierbas anuales, pero en los diferentes tipos de suelos se presentan diferencias en las sucesiones y retrogresiones: En el tipo hamada el grado de cobertura es desde el inicio menor que en los otros dos tipos. Se muestran diferencias en los espectros de las especies y también en los tipos de perturbaciones (movimiento de la arena, impacto de roedores, entre otros). El desarrollo de los espectros de las formas de vida también difiere. Los resultados son discutidos en el contexto del cambio climático global, resaltando la importancia del rol de El Niño en la renovación de los ecosistemas.
Palabras clave: El Niño 1997/98, eventos de lluvia, sucesión vegetal, dinámica ecológica, cambio climático

Abstract

This study is based on almost eleven years (October 1997 – April 2008) of vegetation monitoring on permanent test plots in the arid coastal area of northwestern Perú starting before the last «Super-Niño» in 1997/98. Sea surface temperature anomalies control regional precipitation patterns, in this regional case by a factor of nearly 6.000 % above normal. In addition to the well documented El Niño phenomenon, less attended regional anomalies due to Niño-like monsoon effects (2002) and La Niña (2008) exist. The main focus of this article is to present climatic influences on the regional vegetation and to document the medium-term impact of El Niño on various desert ecosystems. We also focus on regional vegetation dynamics and consequences for the area's food web. First germination by short-living herbs and grasses were given within a few weeks after initial rainfalls. However, the following succession and retrogression runs separately depending on the different regional landforms: rocky surfaces (= hamada) show the lowest plant coverage during and after the ENSO-event due to nearly absent seed banks and a limited pedogenesis. Instead, the test plots on pebbly sites (= serir) indicate a vivid short-term growth of herbaceous species as well as a long-term reaction by *Prosopis pallida* and *Capparis scabrida* as most prominent trees. Ecological disturbances given by spotfires and burrowing rodents influence the succession as well. Sand dune habitats (= erg) are characterized by halophytes and diverging life form spectra, which react on ENSO in a relatively moderate way. Results are discussed in the context of the importance of El Nino-rainfalls and of possible climate changes. We hypothesize that an increased frequency and intensity of ENSO- or Niño-like events create a greater arboreal phytomass and foster the renovation of the desert ecosystems.
Key words: El Niño 1997/98, rainfall events, plant succession, ecological dynamics, climate change

Introducción

Tomando el Nor Oeste del Perú como región principal del ENSO.

En el marco de este estudio se examinó la dinámica del ecosistema después del evento de El Niño en el noroeste del Perú. Hasta la fecha, la comprensión fisiológica o ecológica en detalle de El Niño como la fuerza impulsora del cambio sucesivo y retrogresivo de la vegetación es mínima. El desierto de Sechura es la región nuclear de mayor intensidad lluviosa (denominada «wet spot») de la actividad meridional de la oscilación de El Niño (ENSO). Las investigaciones anteriores se han concentrado en los efectos destructivos de las fuertes lluvias, así como en los cambios en los ecosistemas marinos (Ñiquen et al., 1999), pero hasta la fecha las consecuencias del ENSO en los ecosistemas terrestres del noroeste del Perú han sido poco estudiadas y poco entendidas (Ywanaga & Bocanegra, 1999; Sagástegui, 1999).

El desierto de Sechura experimenta eventos episódicos severos de precipitaciones e inundaciones como consecuencia de anomalías positivas extremas. Debido al ENSO, el área de estudio presenta la variabilidad más alta de precipitación anual de toda Suramérica y probablemente incluso de la Tierra (Caviedes, 2005; Goldberg et al., 1987). Durante el denominado «Super Niño» la desviación de la precipitación media en años no-ENSO puede sobrepasar el 9000 %, tal como se ha observado en Talara en el lapso 1997/98.

El propósito original del estudio fue documentar la sucesión de las plantas durante y después de El Niño 1997/98 en tres sitios en la costa de Cangrejos, Paita. La investigación partió de la hipótesis simple de un aumento rápido seguido por una disminución de los números de las especies y de la cobertura vegetal. Pero el desarrollo real resultó ser mucho más complejo de lo esperado. En realidad, varias tendencias imprevistas llegaron a ser obvias, siendo necesaria la supervisión a largo plazo. Por ello la observación del campo se realizó durante más de diez años, es decir, a partir de la fase del pre-Niño en octubre 1997 hasta abril de 2008. Los resultados anteriores (Block & Richter, 2000; Richter & Ise, 2005) fueron combinados con la posibilidad de una frecuencia o una intensidad más alta de El Niño discutida en el contexto de cambios climáticos (Bendix et al., 2004; Richter, 2005), lo que plantea preguntas al respecto del desarrollo ecológico futuro en la región.

Las investigaciones botánicas anteriores de El Niño trataron en gran parte sobre efectos destructivos, tales como el impacto del fuego o de los excesos extraordinarios del agua dentro de áreas secas afectadas: Por ejemplo, el acontecimiento ENSO extremo en 1982/83 causó la mortalidad de las ampliamente distribuidas poblaciones de *Scalesia pedunculata* en las Islas Galápagos (Lawesson, 1988; Itow & Mueller-Dombois, 1988). Luong & Toro (1985) y Hamann (1985) presentaron listas de especies de las mismas islas antes y después del fenómeno de 1982/83: Los efectos registrados eran cambios de menor importancia en la composición florística con cambios estructurales más pronunciados. Una movilización grande del banco de semillas de las especies no-leñosas era evidente y por lo tanto, las hierbas y las lianas herbáceas proliferaron comparado a los años anteriores de la fase no-ENSO. Reacciones similares durante El Niño 1997/98 fueron divulgadas del Noroeste de México (Polis et al., 1997) y del noroeste del Perú (Richter & Ise, 2005, Gushiken et al., 2001). Cárdenas et al. (2001) describieron las micro-sucesiones del estrato herbáceo durante el acontecimiento de seis meses, precisando el cambio a corto plazo de las etapas fenológicas de la mayoría de las especies predominantes. En contraste con las condiciones ENSO dadas en el noroeste de Perú, las costas centrales y meridionales del país, así como el norte costero de Chile, reciben precipitaciones menos destacadas durante eventos de ENSO (Muñoz-Schick et al., 2001). Sin embargo, la vegetación herbácea existente («loma») se beneficia de cantidades elevadas de lluvia, fomentando una cubierta diversa y densa de comunidades principalmente de plantas efímeras (Cano et al., 1999; Dillon & Rundel, 1990; Gutiérrez et al., 2000).

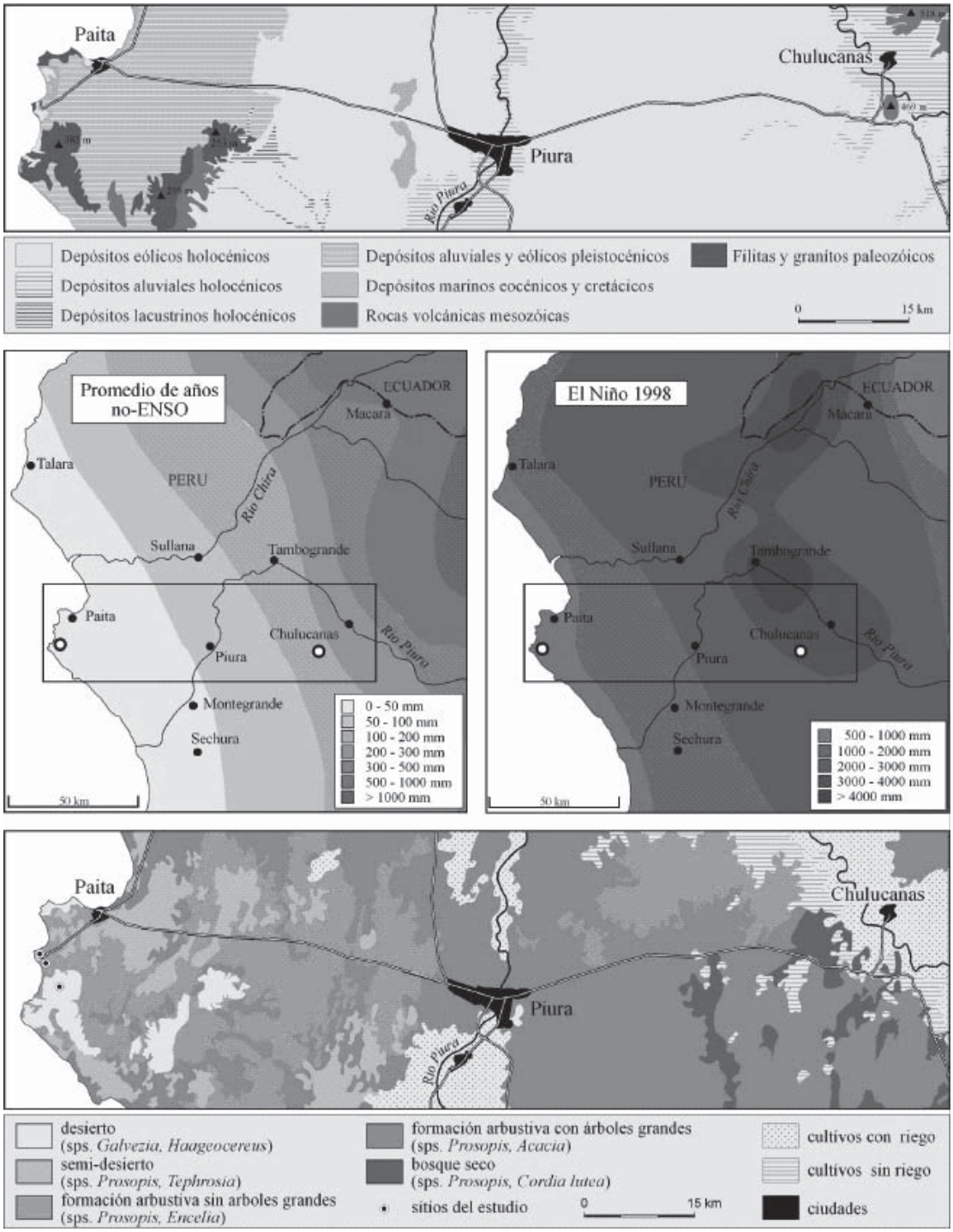


Fig.1. Unidades geológicas en el noroeste del Perú (arriba, basado en mapas de INGEMMET, 1984-1989), patrones de la precipitación promedia durante un periodo no-ENSO y en 1998 (centro, basado en datos de Proyecto Chira y Piura), y distribución de las comunidades de la vegetación (abajo, basado en mapas de INRENA, 1998, 2000; y en observaciones propias).

Hasta este momento, los efectos de incremento en el crecimiento vegetal posterior al El Niño fueron descritos raramente aunque son muy importantes en el norte del Perú. Weberbauer (1911, p. 149) refiere períodos de sequía en la región que duraron de cinco a doce años y fueeon interrumpidos por lluvias veraniegas. Sus notas, basadas en observaciones de Ball (1886) cerca de Paita en 1882, mencionan que las hierbas son raras o ausentes en el área costera durante períodos secos. Este hecho se ve confirmado en nuestra investigación.

El área de estudio está situada en un ambiente litoral con alturas inferiores a los 200 m.s.n.m. Se compone predominantemente de depósitos aluviales pleistocénicos y de dunas de arenas holocénicas, incluyendo afloramientos filíticos. Sugerimos que en la localidad de Cangrejos existen los tres ecosistemas principales de la sección perárida del desierto de Sechura. El sitio del estudio experimentó una gran precipitación durante El Niño 1997/98. La precipitación media del no-ENSO cerca de Paita es de unos 15 milímetros por año. Durante el pasado «Super-ENSO» la precipitación llegó a los 800 milímetros. Tales eventos de alta intensidad ocurren generalmente sobre un período limitado, entre diciembre y mayo (según lo observado durante el acontecimiento de 1997/98). Comparado con la elevada precipitación, las desviaciones positivas de la temperatura son menos extraordinarias. La temperatura de 1998 aumentó alrededor de 1.5 °K durante el período principal de El Niño (Enero-Abril), mientras que la velocidad del viento disminuyó perceptiblemente y según lo registrado en Piura (UDEP 1999) la humedad relativa durante las horas del día fue hasta un 20 % más elevada de lo usual. Por tanto, los episodios de El Niño no deben ser considerados solamente como cambios extraordinarios en el tiempo, sino como un régimen climático regional especial, propio de este ecosistema árido del Desierto de Sechura. Esto significa que los elementos florísticos de otras zonas vegetales deben ser capaces de entrar y de establecerse en el ambiente desértico durante períodos limitados y sugiere que un incremento excepcional de la precipitación – como en el caso de Paita - tendría una influencia enorme sobre este ecosistema.

Bajo condiciones normales, las formaciones vegetales de la región demuestran un desierto tropical. Sin embargo, los mapas detallados de la vegetación proporcionados por INRENA (1998, 2000), basados en el análisis de imágenes satelitales, muestran un mosaico de diversas comunidades. La Fig. 1 indica la variación de los patrones influenciados por impactos climáticos, hidrogeológicos y humanos. Una característica general de todas las formaciones vegetales en áreas con pocos cambios antropogénicos es la presencia constante del *Prosopis pallida* («algarrobo») y de *Capparis scabrida* (sinónimo *C. angulata*, «zapote»).

Las unidades de la vegetación de la región durante años del no-ENSO incluyen:

Desierto - restringido a los afloramientos paleozoicos que se levantan de los llanos costeros. Está caracterizado por una cubierta vegetal de <5 % en superficies rocosas (hamada) con especies como: *Galvezia limensis*, *Encelia canescens*, *Alternanthera halimifolia*, *Maytenus octogona* y *Haageocereus pacalaensis,* las cuales son elementos característicos, y *Prosopis pallida* y *Capparis scabrida* como asociados esporádicos.

Semi-desierto - concentrado en los sedimentos terciarios de las piezas áridas cerca a la costa. La cubierta vegetal varía entre el 5 y el 25 % en pedimentos fragmentados o terrazas costeras y contiene poblaciones dispersadas de árboles (cobertura del 1-5 %) de *Prosopis pallida*, *Capparis sca*brida y *C. avicennifolia*, arbustos de *Encelia canescens* y subarbustos postrados de *Tiquilia paronychioides.*

Bosque seco - dispersados extensamente sobre todos los sedimentos eólicos cuaternarios en la porción semiárida del llano costero. La cubierta de la vegetación varía entre el 25 y el 50 % e incluye los soportes del árbol del 5 al 25 % con *Prosopis pallida* y *Capparis scabrida*, los arbustos de *Acacia macracantha* y una ocurrencia periódica de las especies de gramíneas como *Anthephora hermaphrodita* y *Cenchrus pilosus.*

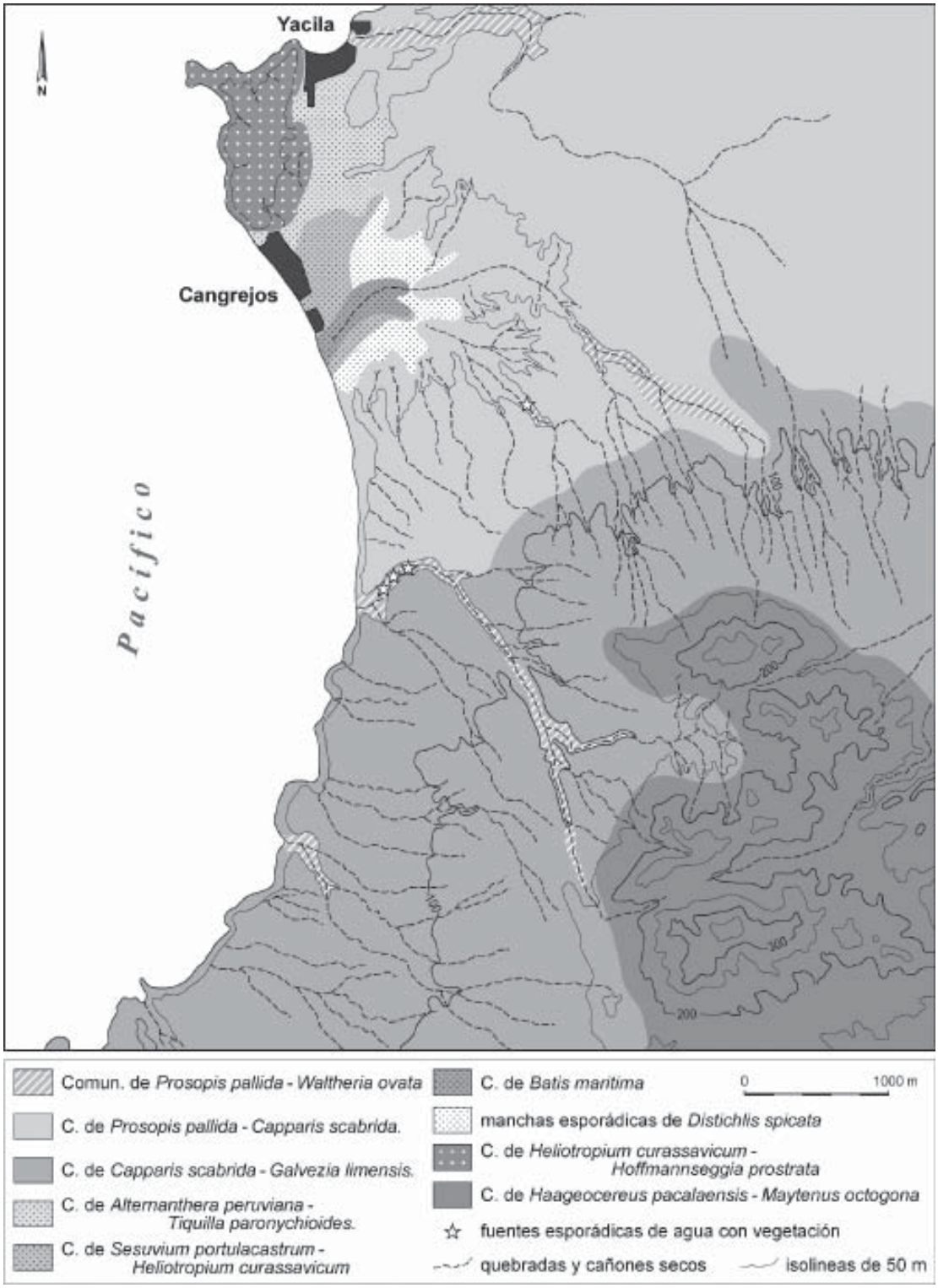


Fig. 2. Comunidades vegetales en la zona de Cangrejos y Yacila.

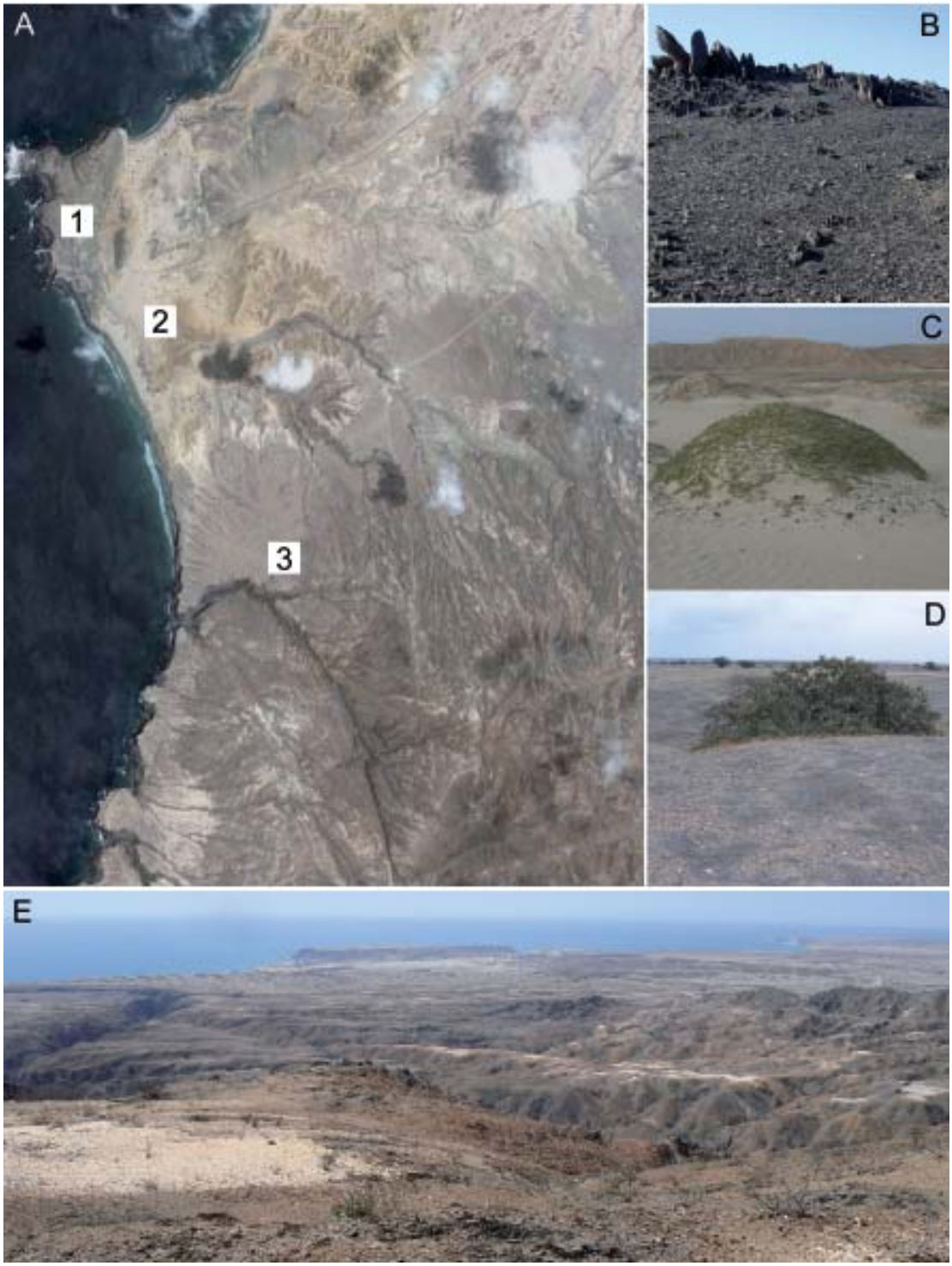


Fig. 3. A. Vista aérea del área de investigación de Cangrejos y Yacila, al sur de Paita, con la ubicación de los tres sitios edáficos (1. = hamada, 2 = erg, 3 = serir). B. Hamada. C. Erg. D. Serir. E. Vista panorámica del área de investigación desde la Sierra del Diablo. El área presenta una extensión de 44 km^2

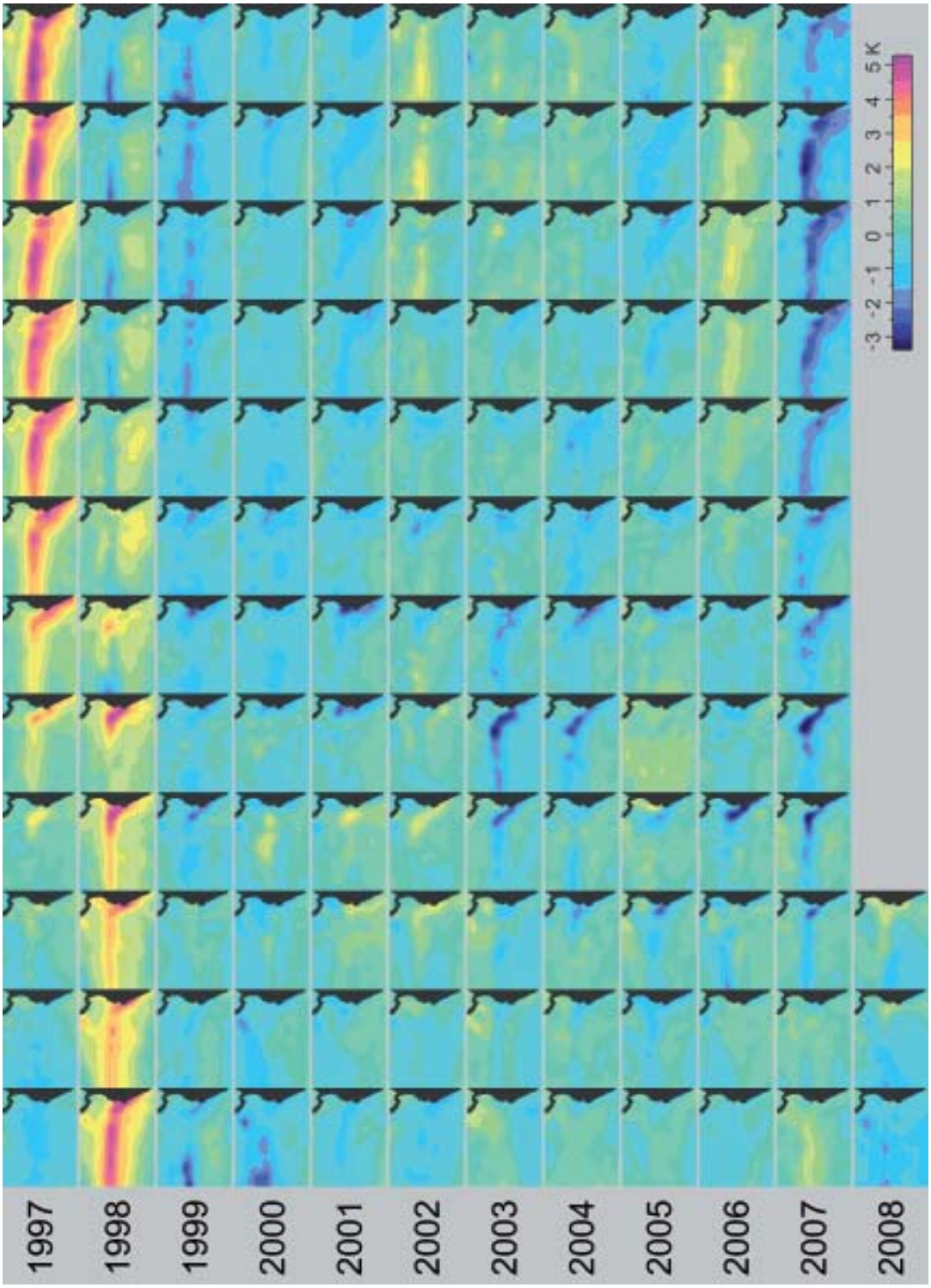


Fig. 4. Temperaturas superficiales del mar mostradas como anomalías del normal. El color azul significa anomalías negativas, mientras el rojo anomalías positivas (véase la situación en El Niño 97/98). Basado en datos de NCEP -NCAD reanalysis, elaborado por Dr. P. Emck.

En la Figura 2 se muestra el sector cercano a la costa de Cangrejos y Yacila con sus principales comunidades vegetales. En esta parte del desierto, se encuentran unas nueve asociaciones vegetales diferentes, de las cuales la comunidad de *Prosopis pallida-Capparis scabrida* ocupa una mayor extensión. Sin embargo, existen también comunidades muy discretas como la de *Batis maritima* y de *Sesuvium portulacastrum-Helotropium curassavicum*, restringidas a las dunas cerca del mar.

Material y Métodos

El estudio alrededor de la localidad de Cangrejos, Paita (5.151085 S, 81.169310 W), comprende tres sitios donde se han efectuado las investigaciones de campo, dos veces por año en marzo-abril y octubre. Es decir, al final de la estación húmeda (cuando existió) y durante la segunda mitad de la estación seca. Los tres sitios se diferencian por los siguientes tipos edáficos: rocoso (=hamada), gravilloso (=serir) y arenoso (=erg) (Figura 3). Cada sitio contiene cinco parcelas de monitoreo de 400 m^2 cada una (20 x 20 m).

Las parcelas de muestreo dentro de los sitios se sitúan a lo largo de un transecto N-S separados por un intervalo de 25 m. Durante cada visita de campo la distribución de las especies fué mapeada en una parcela fija de las cinco existentes en cada sitio.

En cada parcela fueron registradas la composición y la abundancia (cobertura en porcentaje) de las especies, así como el grado de vitalidad. La forma de vida para cada especie se deriva de la inspección visual mientras que los datos sobre preferencias de habitat se basan en Brako & Zarucchi (1993) y en Sagástegui & Leiva (1993). El análisis estadístico incluye el cálculo de la cobertura promedio de las especies en cada sitio y la suma de promedios de cobertura de las formas de vida, de las preferencias del hábitat y del origen de las especies. Por otra parte, se aplicó un análisis de similitud temporal usando valores transformados por la raíz cuadrada de la cobertura promedio de las especies. La similitud fue calculada con la medida de la distancia euclidiana, y agrupada según el método de Ward's (Figs. 9-11).

Resultados y Discusión

Condiciones climáticas, antes, durante y después de El Niño 1997/98

Las condiciones climáticas en el área de investigación están relacionadas con la temperatura superficial del mar (SST) en las regiones de El Niño 1-2 (cf. regiones 2002 de El Niño). Estas regiones de 0-10°S y 80-90°W son las responsables de las condiciones atmosféricas regionales y locales del litoral noroccidental del continente.

En la Figura 4, se presenta diseñado el desarrollo del SST en 134 meses entre 1997-2008. Los dos primeros bosquejos demuestran la sección caliente que avanza durante la fase del pre-Niño y de El Niño; en marzo de 1997 todavía no se ha producido la anomalía, que comienza a notarse durante los siguientes siete meses. La precipitación torrencial comenzó en el Noroeste de Sudamérica en octubre de 1997, causando inundaciones en las Islas Galápagos y alrededor de Guayaquil. El área de nuestra investigación de campo se vio afectada por primera vez en diciembre de 1997. En los años 2001 y 2002 existieron entre marzo y abril nuevamente anomalías positivas del SST, evidenciadas por manchas pequeñas directamente al frente de Paita, causando lluvias superiores a las normales (véase Fig. 5). Ese fenómeno resulta de flujos monzónicos, los cuales traen la corriente de El Niño hacia el Sur (Bendix & Lauer, 1992). Las anomalías de SST debido a los efectos de monzones son fenómenos regionales, distintos a los fenómenos más grandes tipo El Niño, los cuales son dominados por diversos flujos oceánicos y atmosféricos. Entre las precipitaciones ocurridas en marzo-abril 2001 y en 2002 al menos el ultimo fenómeno ha sido considerado como un evento de El Niño de menor intensidad (Takahashi, 2004).

Aparte de los dos fenómenos ENSO y monzón, existe un tercer efecto que trae lluvias a la región, como fue notorio en marzo 2006 y febrero del 2008.

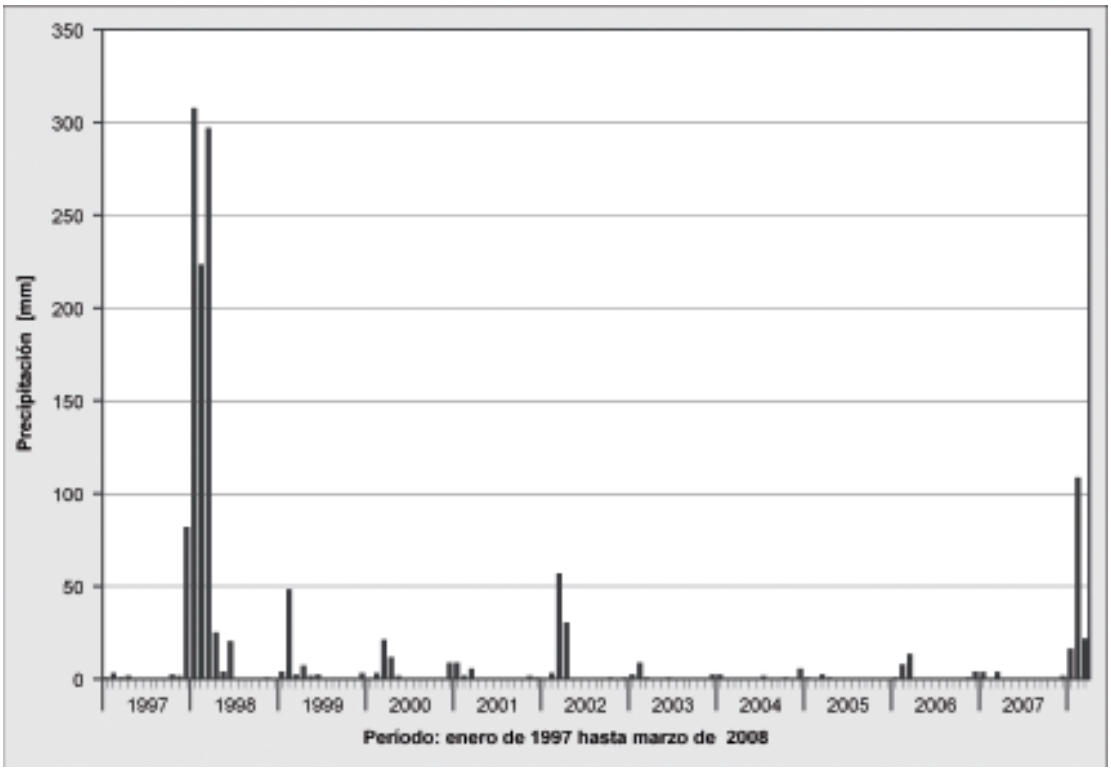


Fig. 5: Precipitaciones mensuales en Paita (Esperanza) para el período de 1997 hasta 2008 (datos suministrados amablemente por SENAHMI)

Este efecto es originado por un gradiente moderado de temperatura entre el Antártico y los trópicos. En esa situación se desarrolla una gran depresión sobre la Amazonía. Es así, que del este salen flujos de vientos que transfieren humedad cruzando los Andes hacia la costa, resultando en lluvias en la tarde y en la noche. Este fenómeno puede verse combinado con La Niña, como es evidenciado por las anomalías negativas del SST en el frente de la costa (color azul oscuro en el verano 2007-2008, en Figura 4).

Adicionalmente, nuestra área de investigación fue afectada por La Niña en el año 1999. Dicho fenómeno ocurre típicamente después de acontecimientos de El Niño. En esta ocasión el noroeste del Perú se caracterizó por ligeros incrementos de precipitación durante la estación de lluvias y por temperaturas levemente reducidas durante el invierno. Entre julio y septiembre de 1999 se observó garúa y llovizna en las mañanas, que normalmente están ausentes en esta zona.

Sistemas de respuestas en el desarrollo vegetal del desierto

Debido a las precipitaciones elevadas durante El Niño en 1998 y durante los efectos regionales del monzón, así como a la evapotranspiración disminuida durante La Niña en 1999, observamos un cambio en el desarrollo de la flora y fauna del ecosistema. La humedad en los eventos de El Niño estimuló una germinación masiva de las semillas, provocando una mayor floración, seguida por un incremento de los bancos de semillas de las plantas anuales y perennes (Dillon & Rundel, 1990). Estas reacciones son comunes en los ambientes desérticos cuando reciben precipitaciones elevadas, por consiguiente el efecto favorable del crecimiento vegetal abundante en nuestra área del estudio no es tan sorprendente.

El sitio gravilloso de serir demostró la reacción ecológica más notable al evento de El Niño - razón por la cual en el presente trabajo damos atención

especial al complejo cambio dentro de este hábitat más extenso. En octubre de 1997, es decir, antes del inicio de El Niño, el serir portaba formaciones abiertas de *Prosopis pallida* y *Capparis scabrida* con una cobertura de la vegetación entre el 3 y el 5 % (también existen individuos del guayabito del inca, *Capparis avicennifolia* Kunth, pero no están presentes dentro de las parcelas evaluadas). Al final del período lluvioso una cubierta vegetal con un valor promedio del 53 % fue formada principalmente por hierbas anuales y bianuales. Las familias más frecuentes estuvieron representadas por especies herbáceas de Poaceae y Fabaceae. Esta fase crítica es decisiva para la renovación y el incremento de los bancos de semillas, para la supervivencia e igualmente para el aumento de la población de las especies existentes.

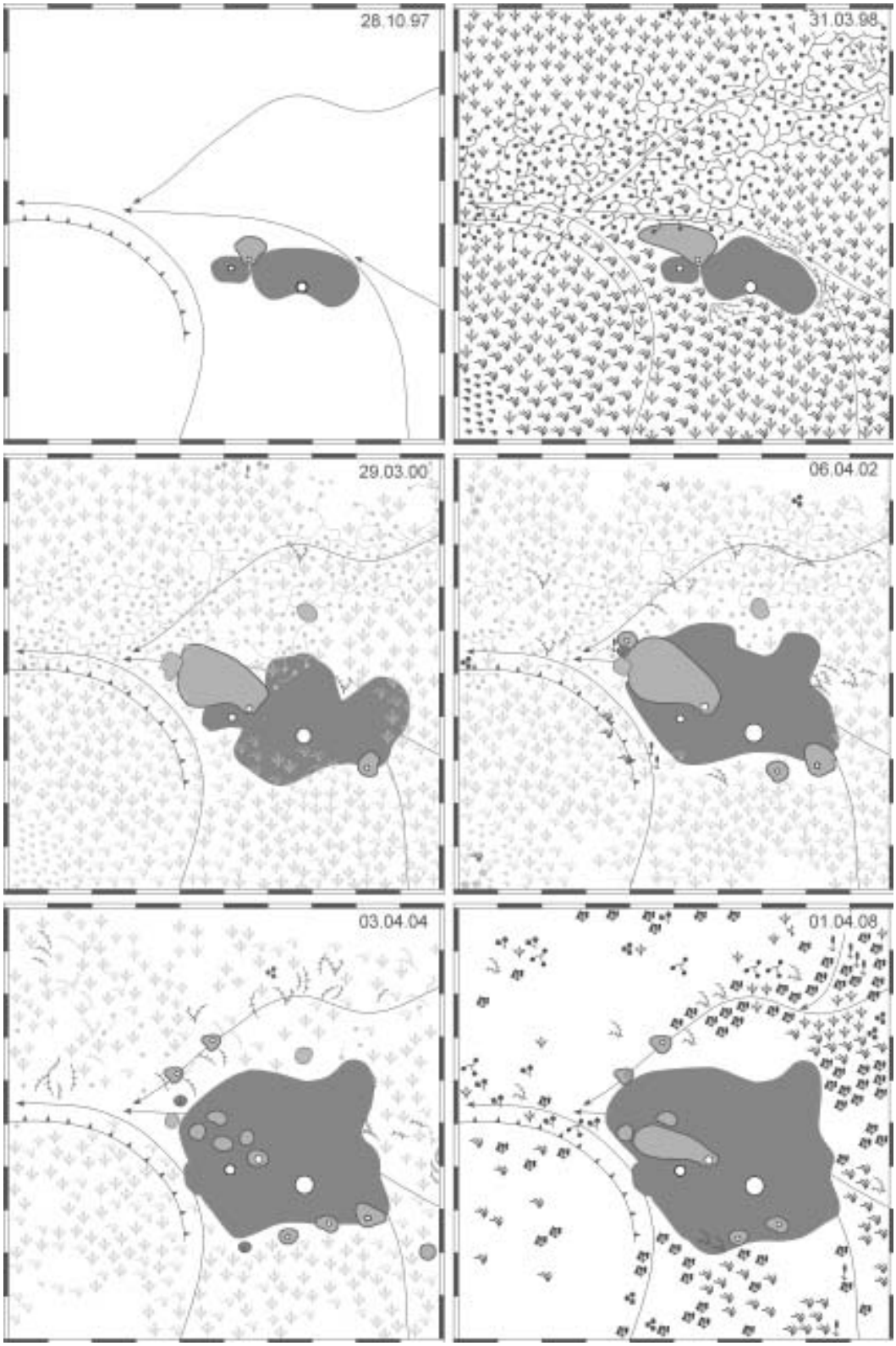
Durante este período la formación vegetal se asemeja a una sabana: las especies anuales tales como *Crotalaria incana* y *Desmodium scorpiurus* forman patrones de distribución irregular. En marzo de 1998 las poblaciones de esas dos especies abarcaron casi la mitad de la superficie total; pero ya en octubre del mismo año todos individuos habían muerto. Sin embargo, *Aristida chiclayense* y *A. adscensionis* todavía mostraban signos de vida y *Tephrosia cinerea*, una hierba lignificada en su base, estaba en su cobertura máxima (25 %) en esta fecha avanzada. La dominancia de *Tephrosia* todavía prosiguió hasta marzo del 2000, acompañada por la pérdida gradual de su vitalidad. Y aunque hasta 2004 presentaban un aspecto de plantas muertas, algunas pocas hojas verdes indicaban que todavía seguían vivas. *Tephrosia,* al igual que algunos asociadas como por ejemplo *Aristida adscensionis* y *Tiquilia paronychioides,* experimentaron una revitalización después de las monzones en 2001 y 2002, acompañado por los recién llegados *Acacia macracantha* y *Proboscidea altheaefolia*.

En contraste con las herbáceas, los árboles de *Prosopis* y *Capparis* crecieron constantemente y experimentaron una regeneración considerable: La cobertura del estrato arboreo aumentó desde un 1.75 % en 1997 al 7.5 % en 2004; la regeneración es ejemplificada por 19 plantas jóvenes de hasta 30 cm de altura de *Capparis scabrida* concentradas debajo de la copa de un árbol de *Prosopis pallida*. Las especies ruderales foráneas no desempeñaron un papel importante en este sitio debido a la lejanía de tierras cultivadas; solamente algunos individuos de *Chamaesyce hirta* y *Ch. serpens (= Euphorbia serpens)* entraron temporalmente después las lluvias monzónicas.

Once años después del último El Niño apenas hay trazas de hierbas. Algunas especies, mayormente con bases lignificadas, como *Tiquilia paronychioides*, todavía son visibles como fragmentos secos de paja. En forma muy escasa, esta especie, al igual que *Tephrosia, Aristida* y *Acacia,* apareció nuevamente en el sitio del serir después de las lluvias en Marzo-Abril 2001 y 2002. Aparte de *Capparis* y *Prosopis* algunas pocas especies como *Galvezia fruticosa (= G. limensis)*, *Waltheria ovata* y *Alternanthera halimifolia* han podido sobrevivir largos períodos de sequía. Un caso interesante fue observado en Marzo-Abril 2007, cuando *Galvezia* y *Waltheria* florecieron en todo el área de investigación a pesar de la carencia de lluvias desde 2003. Actualmente, la productividad permanente y el aumento de la biomasa a largo plazo se restringe a las especies arbóreas, de los cuales la mayoría continúa la producción de semillas para los futuros años lluviosos.

Efectos contrastantes fueron causados por incendios naturales concentrados en pequeñas manchas en la vegetación seca a mediados 2001 y otra vez a principios de 2002. El transporte de chispas como iniciadores de «fuegos saltantes» fue efectuado por los vientos alisios fuertes del sur, dando como resultado aclaramientos irregulares. Esta «limpieza» por los fuegos provoca el aspecto desértico tal como estaba antes de El Niño.

Así, el fuego debe ser considerado como un macro-perturbador significativo en el área del desierto de Paita. Sin embargo, la influencia de micro-perturbaciones causadas por roedores es aún más alta. Un brote de roedores llegó a ser notorio en el sitio del estudio, evidenciado por primera vez cuando se derrumbaron los agujeros subterráneos en 1999 y



A

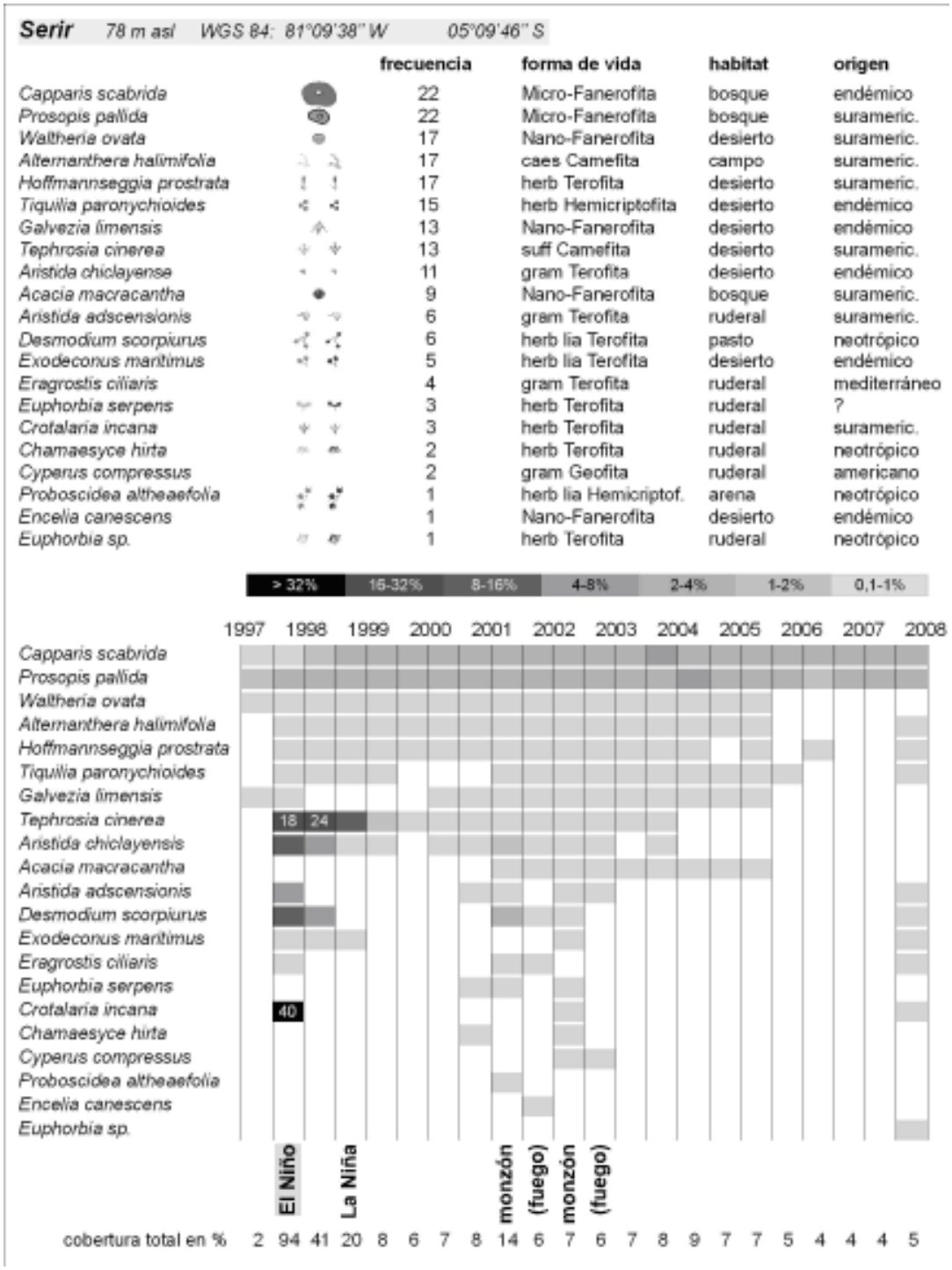


Fig. 6. A. Desarrollo vegetal en una parcela fija de 400 m^2 en el serir. B. Diseño detallado de los valores promedios de la cobertura de cinco parcelas (2000 m^2). La vegetación seca en algunas de las parcelas fue destruida por los fuegos, en otras no. Nomenclatura según W^{3}TROPICOS (Solomon, 1999). Nota: Las herbáceas reaccionaron espontáneamente a las precipitaciones y fueron efímeras, mientras que los arbustos demuestran un aumento continuo de la fitomasa hasta seis años después de El Niño. Formas de vida según Raunkiaer (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1975).

2000. Las galerías parecían estar concentradas en los lugares dominados por *Aristida*, lo cual hace surgir la pregunta, de si los roedores son los responsables de un crecimiento desigual de hierbas (gramíneas y no-gramíneas).

Los pequeños disturbios provocados por roedores fueron divulgados por primera vez por Pearson (1975) en el desierto costero de Perú después de El Niño de 1972/73. Recientemente, Meserve et al. (1999) y Jaksic (2001) demostraron una conexión concordante entre eventos de El Niño y los brotes de roedores en la parte semi-arida de Chile: el auge de la población del roedor se produjo seis meses después de la cúspide del desarrollo vegetal, seguido por una declinación durante los dos años siguentes.

No es sorprendente por lo tanto que hubiera una población creciente de ratones en el sitio del estudio. La especie más destacada, el ratón *Phyllotis gerbillus,* es endémico del desierto de Sechura (Steppan, 1996), lo cual puede ser atribuido a condiciones altamente variables de ENSO restringuidas a esta región. Otros consumidores de semillas son la ardilla de nuca blanca (*Sciurus stramineus*) o la rata pigmea del arroz (*Oligoryzomys arenalis*), los conejos y los ciervos de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), ahora extremadamente raros. Un año después estos consumidores primarios fueron seguidos por las poblaciones crecientes de depredadores. Entre estos últimos, el zorro de Sechura (*Pseudalopex sechurae*), es el depredador más frecuente del desierto del mismo nombre.

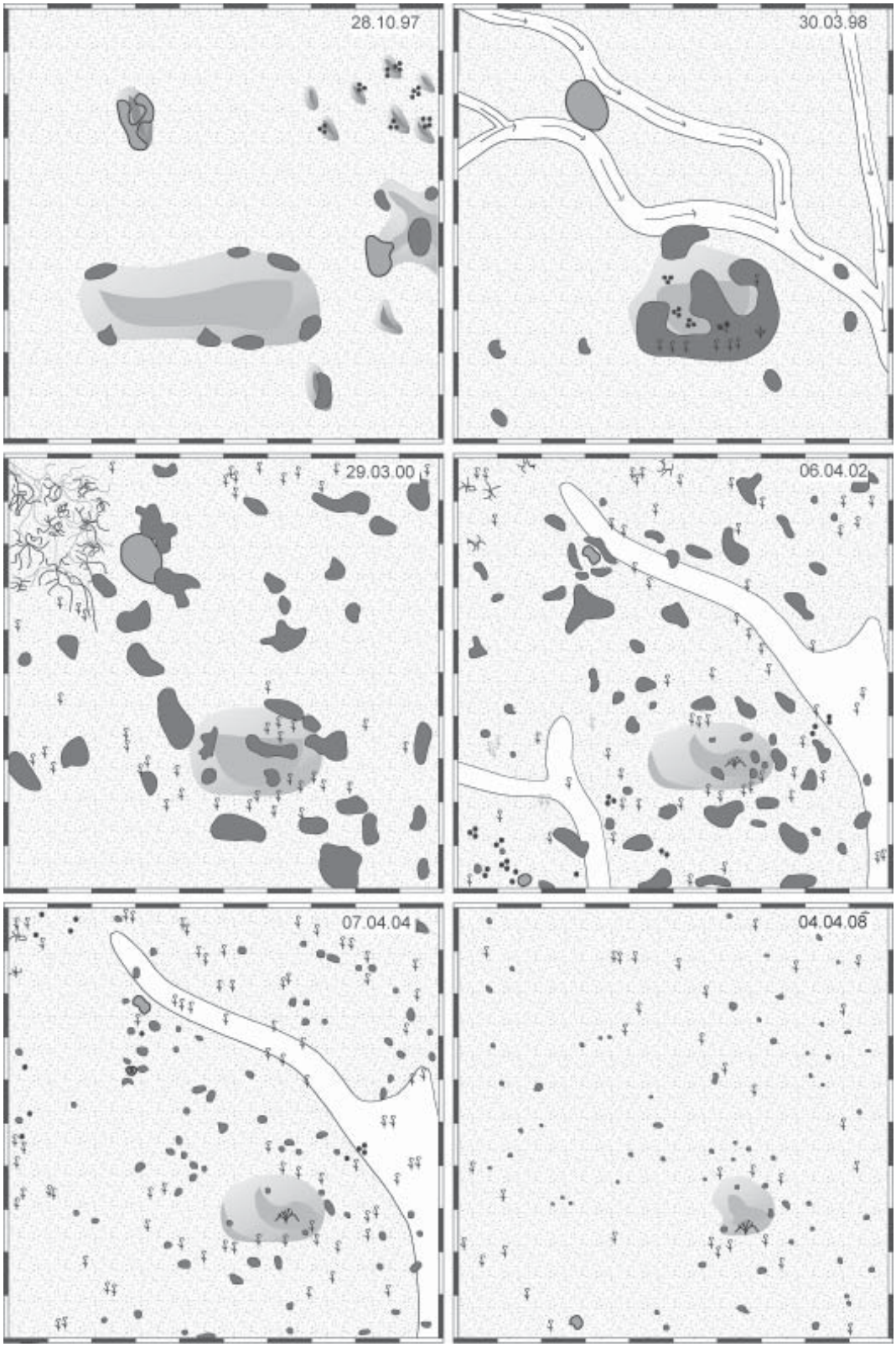
Otros miembros importantes del ecosistema son: El cañan (*Dicrodon guttulatum*) y la lagartija del arenal (*Microlophus occipitalis*) que son de mayor tamaño que la lagartija (*Tropidurus peruvianus*), la iguana marrón (*Callopistes flavipunctatus*) y el pacaso (*Iguana iguana*). La lechuza de los arenales (*Athene cunicularia nanodes*), al igual que el migrante halcón peregrino (*Falco peregrinus*), el cernícalo del norte (*Falco sparverius peruvianus*), el aguilucho común (*Buteo polyosoma*) y el aguilucho cenizo (*Circus cinereus*) pueden ser consumidores secundarios e incluso terciarios. Mientras que este modelo «bottom-up» forma una trayectoria lógica, la declinación «top-down» es un complejo no linear más complicado. Por ejemplo, en el área de investigación algunas especies de plantas (Poaceae y la mayoría de las Fabaceae) sirven como miembros principales en la cadena alimenticia, pero desaparecen rápidamente. Otros, tales como *Capparis* y *Prosopis,* continúan produciendo frutos para los roedores (o incluso para los zorros) que al parecer mantienen el sistema de predador/presa durante varios años.

«Fuegos saltantes» y/o roedores – la pregunta «¿Cual es el factor principal que controla la estructura heterogénea de la cobertura vegetal después de las lluvias de El Niño?» sigue aún sin resolver.

A pesar de la corta distancia de alrededor de 3 kilómetros entre los tres sitios, existe una diferencia considerable entre ellos. El serir puede ser considerado como el hábitat con condiciones edáficas más favorables. Sus suelos no son salinos, mientras que la alta conductividad eléctrica (hasta los 74mS/cm) del substrato arenoso en las dunas del erg indica una salinidad considerable. El último hábitat presenta un nivel de la napa freática alto. Esta peculiaridad da lugar a una asociación específica de halófitas, entre ellas *Sesuvium portulacastrum* como halófita obligatoria y *Heliotropium curassavicum* como halófita facultativa. El contenido de sales disminuye con la distancia al mar, lo cual da lugar a un aumento de la especies con menor tolerancia de sal, tal como *Alternanthera peruviana*, *Tiquilia paronychioides* y *Encelia canescens*.

Otra fuerza impulsora dentro del ecosistema del erg es la movilización de la arena. El movimiento del substrato incluye un transporte de las diásporas y así un retiro de los bancos de semillas, así como una deposición eólica sobre un banco potencial de semillas. Como consecuencia, el número de individuos, así como el número de especies, se reduce.

Los sitios de hamada demuestran un desarrollo extremadamente escaso de suelo y una cierta salinidad. La superficie completamente rocosa y descompuesta por meteorización física deja poco espacio para el crecimiento de plantas, quedando restringido a las grietas dentro del substrato filita. Solamente las pocas



A

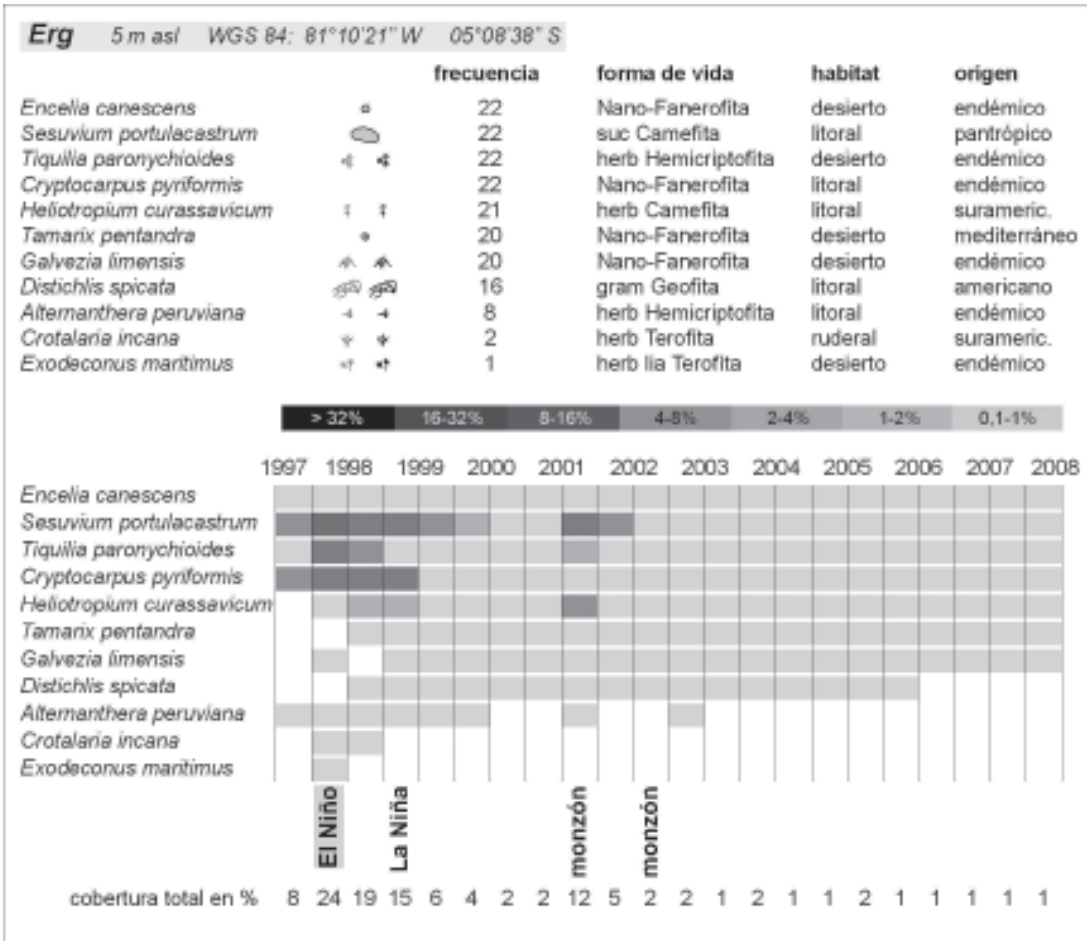


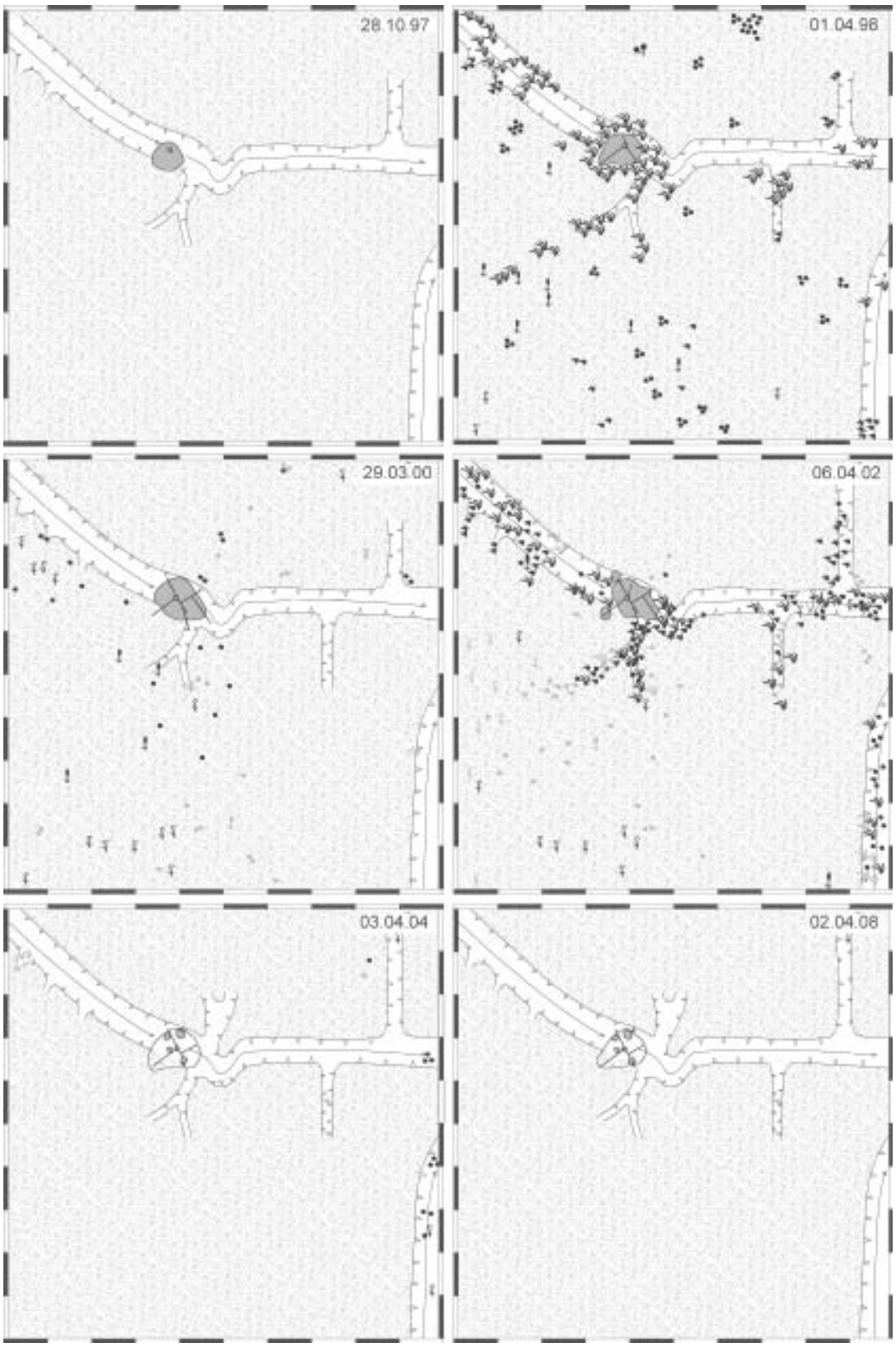
Fig. 7. A. Desarrollo vegetal en una parcela fija de 400 m^2 en el erg. B. Diseño detallado de los valores promedios de la cobertura de cinco parcelas (2000 m^2).

depresiones superficiales abrigan asociaciones temporales de *Heliotropium currassavicum,* vitalizadas por El Niño en 1998. Durante los años secos siguientes estos mostraron características significativas de estrés hídrico, es decir, modificaciones del crecimiento, clorosis y finalmente necrosis. Las pocas especies que brotaron esporádicamente en las grietas se limitaron a las especies *Aristida chiclayense, Hoffmannseggia prostrata* y *Tiquilia paronychioides*.

Sucesión y retroceso: una síntesis

En la introducción presumimos que los elementos florísticos de otras zonas de vegetación deben ser capaces de ingresar y establecerse en el ambiente del desierto por períodos limitados, y un aumento considerable de las lluvias – como en el caso en Paita - debe causar mayores variaciones en la cobertura vegetal. Ahora concluimos que nuestras suposiciones quedan corroboradas para la fase inicial después de El Niño. En la fase siguiente las tendencias sucesivas son más complejas. Esto se ve reflejado en los valores de la cobertura presentados en los mapeos y diseños en las Figs. 6, 7 y 8.

En el área de Cangrejos, el desarrollo se restringe principalmente a los picos más elevados de las precipitaciones copiosas del ENSO 97-98. Aquí, el déficit del agua prevalece durante la fase entera del post-Niño con excepción de un período corto del monzón en el año 2001, que causó un aumento temporal leve en la cobertura vegetal. Aún menos eficaz



A

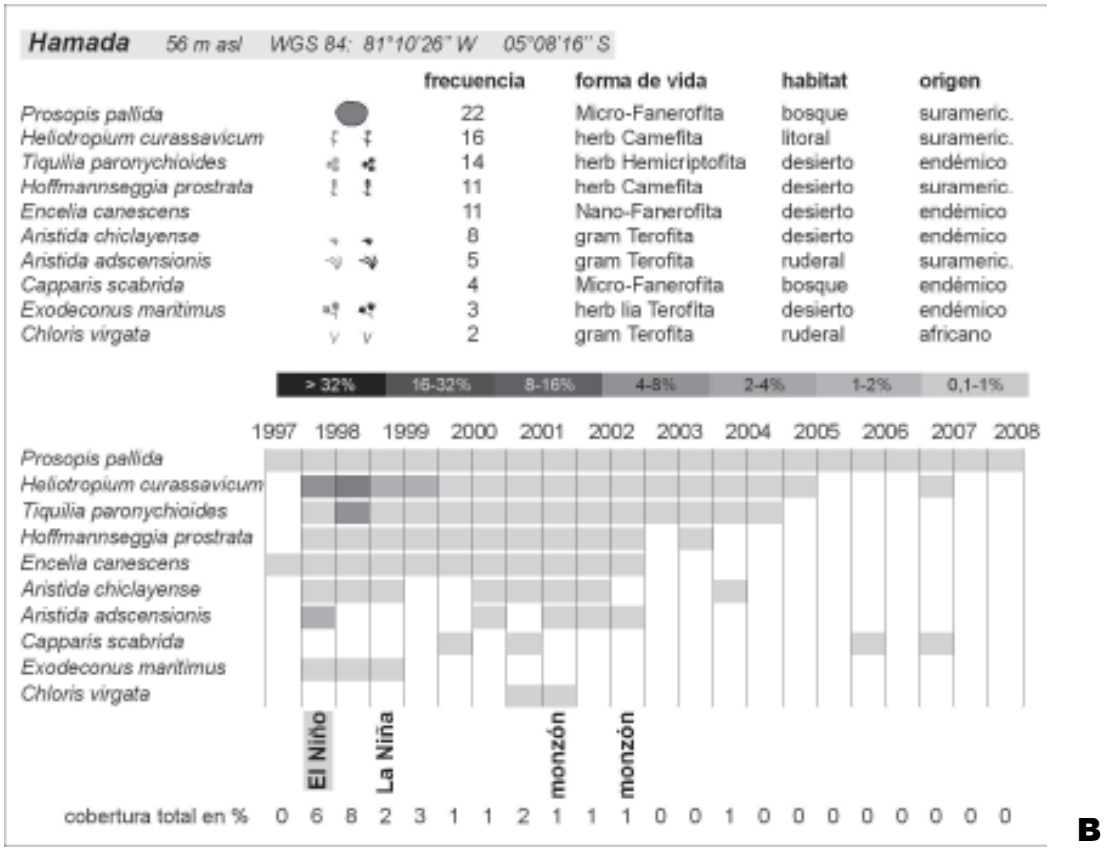


Fig. 8. A. Desarrollo vegetal en una parcela fija de 400 m2 en la hamada. B. Diseño detallado de los valores promedio de la cobertura de cinco parcelas (2000 m2).

fue el monzón más fuerte en 2002, ya que los «fuegos saltadores» redujeron el efecto de las lluvias abundantes producidas durante marzo y abril (Fig. 6).

En los sitios del serir el auge de la vegetación muestra en los lapsos cortos de tiempo una gran desviación en comparación con la cobertura escasa durante las condiciones secas de los períodos del no-ENSO. Durante ENSO la cobertura promedio se eleva hacia ± 100 %, mientras que oscila alrededor del 3 - 7 % durante la fase larga del post-Niño (Fig. 9). Las pocas herbáceas son endémicas, asi como también las especies perennes de *Capparis*, *Galvezia* y *Waltheria*. Mientras que la comunidad casi-permanente del no-ENSO consiste principalmente en representantes arbóreos del bosque seco, las herbáceas asociadas de la comunidad ENSO a corto plazo son de origen desértico o se consideran ruderales nativos (Fig. 9 B). El dendrograma muestra que solamente durante la cobertura máxima excepcional dentro del auge de El Niño las composiciones taxonómicas y estructurales son marcadas por divergencias fuertes. La misma Fig. 9 D revela un retorno rápido hacia el mismo estadode la vegetación pre-Niño. En este período corto, hierbas anuales tales como *Crotalaria*, *Desmodium* y *Exodeconus* fueron las primeras participantes destacadas de la micro-sucesión que comenzó un mes después de la primera lluvia (Fig. 6 A). Las hierbas anuales de *Aristida* y hemicriptofitas como *Alternanthera*, *Tephrosia*, y *Tiquilia* siguieron en las semanas próximas en febrero de 1998, y demostraron una supervivencia más larga. Todos estos taxa temporales son de origen neotropical (Fig. 9 C), la mayoría de ellos concentrada en Sudamerica, incluyendo el algarrobo *Prosopis pallida*.

En general, hay una composición florística relativamente estable de las especies arbóreas. Solamente algunas de ellas crecen temporalmente, por ejemplo *Parkinsonia aculeata*. Las agrupaciones de esta especie pueden ser observadas especialmente en las

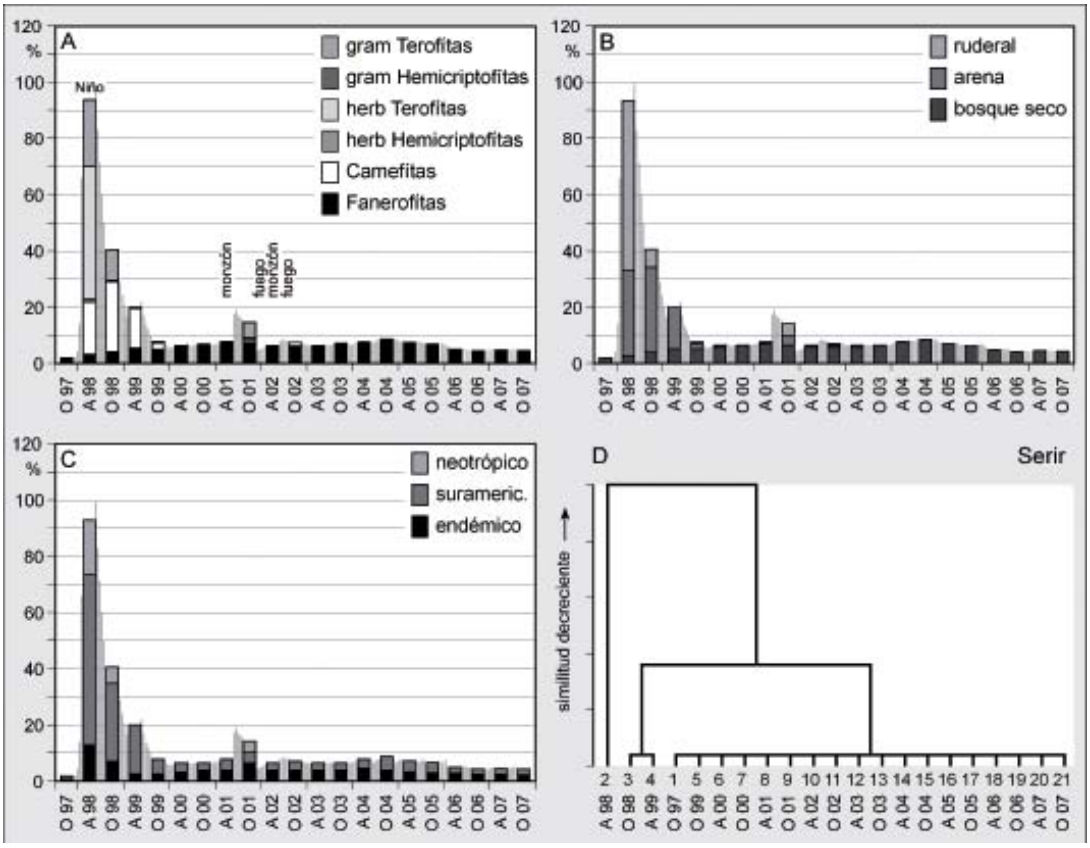


Figura 9. Diagramas sinópticos de la sucesión en el sitio serir. A. Formas de vida, B. Hábitat del origen de la especie, C. Origen fitogeografico, D. Dendrograma de la disimilitud entre los diferentes relieves.

cunetas de los caminos pavimentados, donde se ven beneficiadas por humedad adicional durante las lluvias. La vegetación permanente cambia más en estructura que en la composición florística, ya que los Super-Niños causan un crecimiento frondoso de la vegetación arbórea. Dentro del área de estudio de Cangrejos esta estabilidad es notable hasta la segunda quemazón a mitades del año 2002, la cual causó un revés temporal de la cobertura fanerofítica, especialmente de individuos de *Capparis scabrida*. Sin embargo, la producción primaria de las especies arbóreas, como reacción a las precipitaciones altas, es probablemente el resultado de la renovación de depósitos de agua de la napa freática y por lo tanto de una mayor disponibilidad de humedad, que puede ser aprovechada por las raíces profundas.

Las investigaciones realizadas paralelamente en los sitios arenosos (erg) y rocosos (hamada) corroboran este resultado fundamental para los ambientes del desierto, donde a largo plazo ningún cambio eficaz de la comunidad se puede esperar después de los Super-Niños. En el sitio gravilloso (serir), el aumento de la fitomasa de los árboles dispersados duró seis años; durante los cinco años siguientes del post-Niño también ellos comienzaron a sufrir la sequía y su arquitectura foliar empezó a disminuir de tamaño. En comparación, la sucesión dentro de los sitios del erg y hamada se diferenció considerablemente. La cobertura máxima al final de la fase de Niño era mucho más baja que en el serir (por ejemplo un 23 % en el erg en vez de un 92 % en el serir, compare Fig. 9 y 10). En lugar de eso, durante el primer año del post-Niño la cobertura herbácea en el sitio arenoso disminuyó menos en comparación al sitio gravilloso. Además, el crecimiento vegetal después de las lluvias monzonales del 2001 mostró una reacción relativamente más fuerte. Este fenómeno también está representado por grados de disimilitud

más fuertes dentro de la primera sección del dendrograma (Fig. 10 D). Durante la fase larga de post-Niño después de 2002 la cobertura promedia fue mucho más baja que inmediatamente antes del acontecimiento del ENSO. Asumimos que el retiro del banco de semillas original, debido a la denudación fluvial después de los aguaceros de El Niño así como a la deflación eólica contínua, son las causas de que la cobertura vegetal disminuya en los pasados cinco años. No es sorprendente que las halófitas pantrópicas con hábitat de origen litoral sean comunes (Fig. 10 B y C). A parte de *Sesuvium portulacastrum* y *Heliotropium currassavicum* como especies dominantes también *Tamarix* sp., *Distichlis spicata* y *Cryptocarpus pyriformis* deben ser consideradas como halófitas.

El habitat rocoso del sitio de hamada muestra la cobertura más baja de los tres sitios, la cual no excedió el 10 % incluso después del evento de El

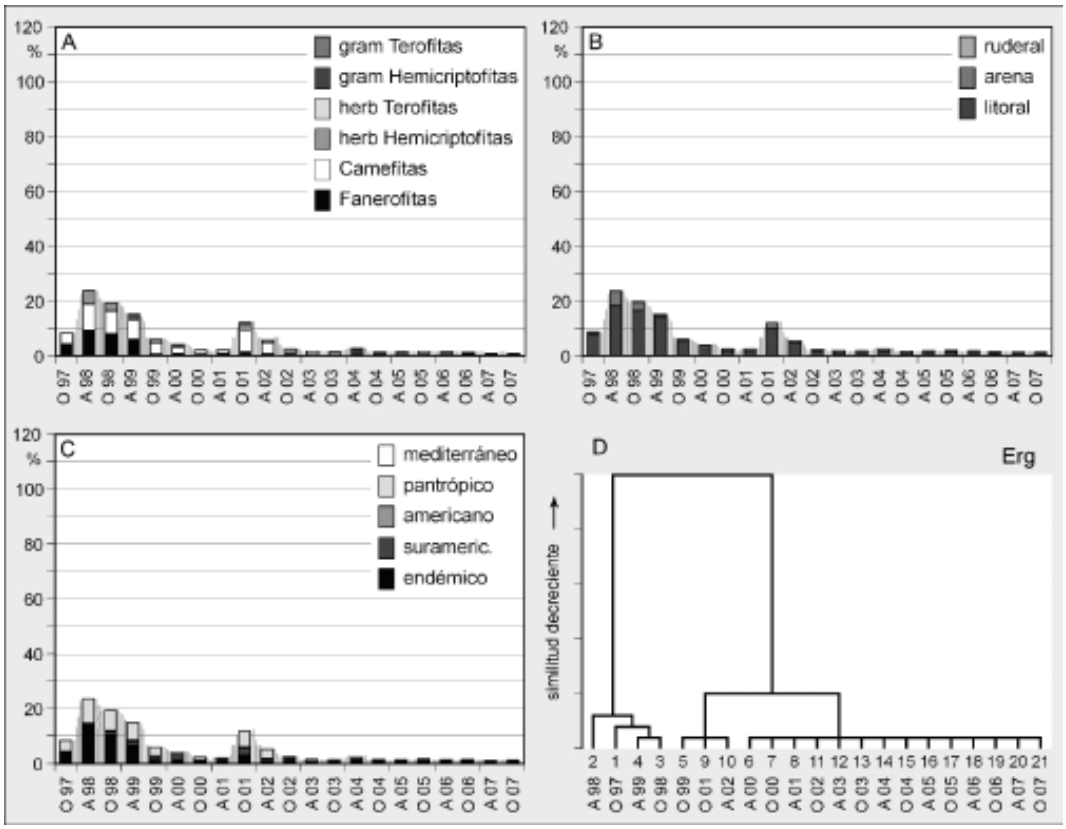


Figura 10. Diagramas sinópticos de la sucesión en el sitio erg. A. Formas de vida, B. Hábitat del origen de la especie, C. Origen fitogeografico, D. Dendrograma de la disimilitud entre los diferentes relieves.

Niño. Solamente dos individuos de *Prosopis pallida* han sobrevivido hasta abril de 2008. Incluso *Heliotropium currassavicum*, que cubrió hasta el 6 % de la superficie en octubre 1998, desapareció. Las condiciones muy desfavorables del sitio han impedido que las precipitaciones monzónicas del 2001 y 2002 resulten en un cambio significativo de la cobertura vegetal.

El estudio comparativo de los tres sitios indica un leve beneficio en el crecimiento vegetal para los habitats de serir debido a la reacción a largo plazo del crecimiento dada por los árboles. Por el contrario, los sitios del erg y de hamada vuelven nuevamente a su estado original del pre-Niño, lo cual significa que a largo plazo El Niño no causa beneficios en la cobertura vegetal en estos hábitats.

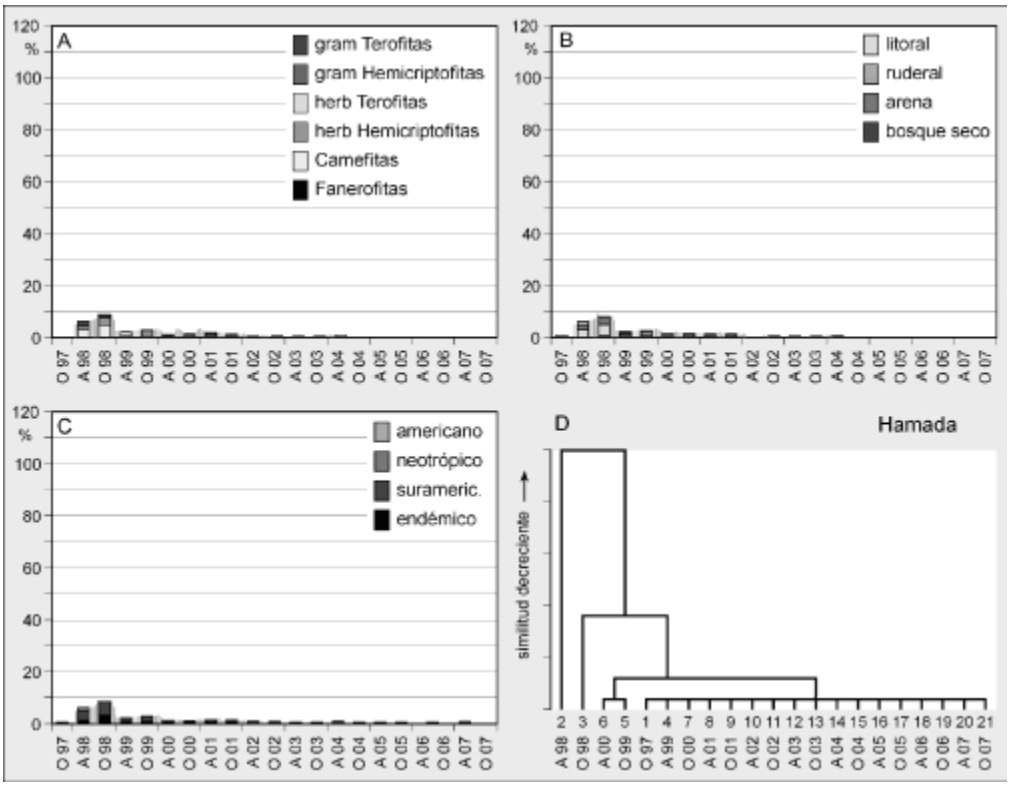


Fig. 11: Diagramas sinópticos de la sucesión en el sitio la hamada. A. Formas de vida, B. Hábitat del origen de la especie. C. Origen fitogeográfico, D. Dendrograma de la disimilitud entre los diferentes relieves.

Cambios climáticos y desarrollo de la vegetación

Los avances recientes en estudios observacionales y teóricos del El Niño sacaron a la luz las controversias referidas al posible efecto del calentamiento global sobre este fenómeno en las últimas décadas y en el futuro.

Basándose en un registro continuo de 15,000 años de sedimentos lacustres en Ecuador, Rodbell et al. (1999) demostraron que el patrón climático moderno de El Niño en el norte de los Andes centrales se estableció recientemente hace aproximadamente 5,000 años. Desde entonces, después de la estabilización del nivel del mar que siguió a un período de subida rápida (Enfield, 1992), varios indicadores de ENSO (registros de sedimentos marinos, columnas de hielo, anillos dendrocronológicos, entre otros) han llevado a la evidencia del fenómeno de El Niño.

Los depósitos de arena en las cuencas de los ríos Piura y Chira parecen ser resultantes de fases muy intensas del fenómeno El Niño entre 1,900 y 1,600 AC, así como entre 800 y 500 AC (Martin et al., 1993). Además, las acumulaciones fluviales del Río Casma indican un rango de retorno de alrededor de 1,000 años para los «eventos mega-Niño» que en gran medida excedieron la intensidad de los Super-Niños recientes (Pozos, 1990). En consecuencia, frecuencias e intensidades irregulares de El Niño parecen ser un fenómeno natural normal.

Los resultados de modelos de alta resolución de circulación global oceáno-atmósferica presentados por Latif et al. (1997) y Timmermann et al. (1999), demostraron que la fase de los dos «Super-Niños» recientes (1982/83 y 1997/98) no debe ser considerada tan normal, sino más bien como una superpuesta tendencia de baja frecuencia dentro del actual cambio

Fig. 12: Efectos de lluvias trasferidas desde el lado amazónico hacia el oeste de los Andes. A. Situación del tiempo en la tarde del 24 de febrero 2008 en la región Sullana. B. La vegetación del sitio serir en Cangrejos en floración el 27 de marzo 2008 después lluvias abundantes.

climático, que se acelerará en las próximas décadas. Tomando en cuenta una subida antropogénica de emisiones de CO_2, los autores suponen un aumento de SST de 3°K para la región pacífica tropical oriental hasta el año 2100.

Sin embargo, Philander (2003) se mantiene escéptico en lo referente a cualquier conexión entre una ocurrencia creciente de los eventos ENSO y el cambio del clima. Surgen más evidencias de que el fenómeno está asociado con eventos paleo-climáticos (véase la corriente oceánica global, es decir la llamada «banda transportadora» o «conveyor belt») y no con una tendencia climática actual.

Con respecto a los recientes cambios climáticos podemos considerar un escenario más ajustado a la realidad donde las condiciones climáticas que favorecen la existencia de precipitaciones aparecen con mayor frecuencia. Entre ellos cabe mencionar los efectos monzónicos desde la corriente marina del Niño y también los efectos de la transferencia de humedad de la hoya amazónica, como se ha visto recientemente en febrero - marzo de 2008. En este caso el área de investigación recibiría precipitaciones ligeramente más elevadas y más frecuentes. No obstante continuará siendo un ámbito árido.

Entretanto la mayoría de los especialistas del clima ya no comparten la opinión de que El Niño sea un sistema cíclico. Es obvio que los períodos entre los eventos de ENSO no demuestran ninguna regularidad. Entre otros, McPhaden (e.g. 2004) indica que durante la década actual las ondas ecuatoriales Kelvin, las cuales se propagan hacia el este de Suramérica y transmiten agua caliente del Pacífico occidental, se frenan antes de alcanzar la costa de Ecuador y del norte del Perú: razón por la cual las predicciones del Niño en 2001 y 2002 no se volvieron realidad.

Por consiguiente, es especulativo ligar un solo evento del ENSO al cambio del clima y por lo tanto, al cambio del ecosistema. Sin embargo, la tentativa de iluminar panoramas posibles de la vegetación del post-Niño es importante, pues el conocimiento real proporciona ideas apropiadas. Eventos más frecuentes de lluvias abundantes acortan obviamente los ciclos de los ecosistemas y ofrecen más posibilidades para un ingreso de las especies pioneras, entre ellas, inclusive especies ruderales.

Los efectos a largo plazo de un breve ciclo de la regeneración ofrecen una situación de mérito para el uso de la precipitación en una manera más eficiente en la regeneración de la vegetación arbórea (Holmgren & Scheffer, 2001; Holmgren et al., 2006; Richter, 2005). Por lo tanto, los tres a cuatro años que siguen a un fenómeno fuerte de El Niño, representan un período de gran importancia para apoyar y para controlar los procesos de la regeneración en los ecosistemas arbóreos del noroeste del Perú.

Agradecimientos

Nuestra gratitud a Andrés Gerique del Instituto de Geografía FAU Erlangen por apoyar en la traducción del texto al español.

Literatura Citada

Ball, J. 1886. Contributions to the flora of the Peruvian Andes, with remarks on the history and origin of the Andean Flora. The Journal of the Linnean Society 22, 1-64.

Bendix, J. & W. Lauer. 1992. Niederschlagsjahreszeiten in Ecuador. Erdkunde 46, 118-134.

Bendix, J., A. Bendix & M. Richter. 2000. El Niño 1997/1998 in Nordperu: Anzeichen eines Ökosystem-Wandels? Petermanns Geographische Mitteilungen 144, 20-31.

Blanco, J.L., Thomas, A.C., Carr, M.-E. & Strup, P.T. 2001. Seasonal climatology and hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. Journal of Geophysical Research 106, 11451-11467.

Block, M. & M. Richter. 2000. Impacts of heavy rainfalls in El Niño 1997/98 on the vegetation of Sechura Desert in Northern Peru. Phytocoenologia 30, 491-517.

Brako, L. & J. L. Zarucchi. 1993. Catalogue of the Flowering Plants and Gymnosperms of Peru. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 45. St. Louis.

Cano, A., J. Roque, M. Arakaki, C. Arana, M. La Torre, N. Llerena & N. Refulio. 1999. Diversidad floristica de las Lomas de Lachay (Lima) durante el evento «El Niño 1997-98». Revista Peruana de Biologá (vol. extraord.), 125-132.

Cárdenas, C.; J. Torres & J. Rodas. 2001. Productividad primaria durante El Niño 1997-98 en los bosques secos de Piura, Perú. In: Tarazona, J., Arntz, W. A. Castillo de Maruenda (eds.): El Niño en América Latina – Impactos biológicos y sociales. 199-212.

Caviedes, C.N. 1998. Influencia de ENSO sobre las variaciones interanuales de ciertos rios en America del Sur. Bull. de l´Intsitut Français d´Etudes Andines 27, 627-642.

Dillon, M.O. & P.W. Rundel. 1990. The botanical response of the Atacama and Peruvian Desert Floras to the 1982-83 El Niño event. In: Glynn, P.W. (ed.): Global ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation. Oceanography Series 52, 487-504.

Enfield, D.B. 1992..Historical and prehistorical overview of El Niño / Southern Oscillation. In: Diaz, H.F. a. Markgraf V. (eds.): El Niño. Historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation, 95-117.

Gara, R.I.; P. Arnold; J. Peters & J. Montesdecoa. 1987. The Isabela fire: Galapagos Islands. Turrialba 37, 53-57.

Goldberg, R.A.; G. Tisnado & R.A. Scofield. 1987. Characteristics of extreme rainfall events in NW Peru during the 1982/83 El Niño period. - Journal of Geophysi cal Research 92, 14225-14241.

Gushiken, S., T. Acuña & J. Torres. 2001. Dinámica poblacional de los algarrobales (*Prosopis pallida*) y El Niño en la costa norte del Perú. In: Tarazona, J., Arntz, W. a. Castillo de Maruenda (eds.): El Niño en América Latina – Impactos biológicos y socials, 213-223.

Gutiérrez, J.R.; G. Arancio & F.M. Jaksic. 2000. Variation in vegetation and seed bank in a Chilean semi-arid community affected by ENSO 1997. Journal of Vegetation Science 11, 641-648.

Holmgren, M. & M. Scheffer. 2001. El Niño as a window of opportunity for the restoration of degraded arid ecosystems. Ecosystems 4, 151-159.

Holmgren, M.; M. Scheffer; E. Ezcurra & J.R. Gutiérrez. 2001. El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. Trends in Ecology and Evolution 16, 89-94.

Holmgren M.; P. Stapp; C.R. Dickman; C. Gracia; S. Graham; J.R. Gutiérrez; C. Hice; F. Jaksic; D.A. Kelt; M. Letnic; M. Lima; B.C. López; P.L. Meserve; W.B. Milstead; G.A. Polis; M.A. Previtali; M. Richter; S. Sabaté & F.A. Squeo. 2006: Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. Frontiers in Ecology 4(2): 87-95

INGEMMET. 1984-1989. Mápa Geológico del Perú 1:100.000. Lima.

INRENA-Proyecto algarrobo. 1998. Mapa de bosques secos del Departamento de Piura. Memoria descriptiva y mapa (first edition). Lima.

INRENA-Proyecto algarrobo. 2000. Mapa de bosques secos del Departamento de Piura. Memoria descriptiva y mapa (second edition). Piura.

Itow, S. & D. Mueller-Dombois. 1988. Population structure, stand-level dieback and recovery of *Scalesia pedunculata* forest in the Galápagos Islands. Ecological Research 3, 333-339.

Jaksic, F.M. 2001. Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. Ecography 24, 241-250.

Latif, M.; R. Kleemann. & C. Eckert. 1997. Greenhouse warming, decadal variability, or El Niño? An attempt to understand the anomalous 1990s. Journal of Climate Change 10, 2221-2239.

Lawesson, J.E.1988. Stand-level dieback and regeneration of forests in the Galápagos Islands. Vegetatio 77, 87-93.

Luong, T.T. & B. Toro. 1985. Cambios en la vegetación de las Islas Galápagos durante «El Niño» 1982-1983. In: Robinson, G. a. E.M. del Pino (eds.): El Niño en las Islas Galapagos. El evento de 1982-1983. Fundación Charles Darwin para las Islas Galápagos, Quito, 331-342.

Martin, L.; M. Fournier; P. Mourguiart; A. Sifeddine; B.Turco; M.L. Absy & J.M. Flexor. 1993. Southern oscillation signal in South American palaeoclimatic data of the last 7.000 years. Quaternary Research 39, 338-346.

McPhaden, M.J. 2004._Evolution of the 2002-03 El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society 85, 677-695

Meserve, P.L.; W.B. Milstead; J.R.Gutiérrez & F.M. Jaksic. 1999. The interplay of biotic and abiotic factors in a semiarid Chilean mammal assemblage: results of a long-term experiment. Oikos 85, 364-372.

Muller-Dombois, D. & H. Ellenberg. 1975. Aims and methods of vegetation ecology. Berlin, New York, Tokyo

Muñoz-Schick, M.; R. Pinto; A. Meza & A. Moreira-Muñoz. 2001. Oasis de neblina en los cerros costeros del sur de Iquique, Región de Tarapacá, Chile, durante el evento El Niño 1997-98. Revista Chilena de Historia Natural 74, 389-405.

Ñiquen, M.; M. Bouchon; S. Cahuin & J. Valdez. 1999. Efectos del fenómeno «El Niño 1997-98» sobre los principales recursos pelágicos en la costa peruana. Rev. Peru. Biol. Volumen extraordinario: 85-96.

Pearson, O.P. 1975. An outbreak of mice in the coastal desert of Perú. Mammalia 39, 375-386.

Polis, G.A.; St. D. Hurd; C. Jackson; T. Pinero & F. Sanchez. 1997. El Niño effects on the dynamics and control of an island ecosystem in the Gulf of California. Ecology 78, 1884-1897.

Quinn, W.H.; V.T. Neal & S.E. de Mayolo. 1987. El Niño occurrences over the past four and half centuries. Journal of Geophysical Research 92, 14449-14461.

Richter M. 2005: Vegetation development before, during, and after El Niño 1997/98 in Northwestern Perú. Lyonia 8 (2), 19-27

Rodbell, D.; G. Seltzer; D. Anderson; M. Abbott; D. Enfield & G. Newman. 1999. An 15000 year record of El Niño-driven alluviation in South Western Ecuador. Science 283, 517-520.

Sagástegui, A. & S. Leiva. 1993. Flora invasora de los cultivos del Peru. Trujillo.

Sagástegui, A. 1999. La diversidad biológica y «El Niño 1997-98» en el norte del Perú. Rev. Peru. Biol. Volumen extraordinario: 183-186.

Schlesinger, W.H.; J.F. Reynolds; G.L. Cunningham; L.F. Huenneke; W.M. Jarrell; R.A. Virginia & W.G. Whitford. 1990. Biological feedbacks in global desertification. Science 247, 1043-1048.

Solomon, J. 1999. W³TROPICOS - Missouri Botanical Garden's VAST (VAScular Tropicos) nomenclatural database. http://mobot.mobot.org/Pick/Search/pick.html and http://mobot.mobot.org/W3T/Search/peru.html

Steppan, S.J. 1996. Phyllotis.www.nmnh.si.edu/tol/muridae/phyllotini/phyllotis/phyllotis

Symonides, E. 1985. Population structure of psammophyte vegetation. In: White, J. (ed.): The population structure of vegetation, 263-291.

Takahashi, K. 2004. The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Perú, during the 1997-1998 and 2002 El Niño events. Annales Geophysicae 22, 3917-3926

Timmermann, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif & E. Röckner. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. Nature 398, 694-697.

UDEP (Universidad de Piura, Laboratorio de Física: Estación Meteorológica del Radar UDEP): Informe meteorológico anual 1998. Piura

Weberbauer, A. 1911. Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden. Leipzig.

Wells, L.E. 1990. Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Peru. Geology 18, 1134-1137.

Ywanaga, G. & C. Bocanegra.1999. Impacto de «El Niño 1997-98» sobre las comunidades vegetales de las lomas del Cerro Campana, Trujillo, Perú. Rev. Peru. Biol. Volumen extraordinario: 176-177.