



Bulletin de l'Institut français d'études andines

ISSN: 0303-7495

secretariat@ifea.org.pe

Institut Français d'Études Andines

Organismo Internacional

Steinitz-Kannan, Miriam; Riedinger, Melanie A.; Last, William; Brenner, Mark; Miller, Michael C.
Un registro de 6 000 años de manifestaciones intensas del fenómeno de El Niño en sedimentos de
lagunas de las islas Galápagos
Bulletin de l'Institut français d'études andines, vol. 27, núm. 3, 1998
Institut Français d'Études Andines
Lima, Organismo Internacional

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627322>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System
Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal
Non-profit academic project, developed under the open access initiative

UN REGISTRO DE 6 000 AÑOS DE MANIFESTACIONES INTENSAS DEL FENÓMENO DE EL NIÑO EN SEDIMENTOS DE LAGUNAS DE LAS ISLAS GALÁPAGOS

Miriam STEINITZ-KANNAN *, Melanie A. RIEDINGER **, William LAST ***,
Mark BRENNER ****, Michael C. MILLER *****

Resumen

Muchos de los modelos que se están desarrollando con el propósito de obtener un pronóstico efectivo del fenómeno de El Niño requieren datos históricos sobre el comportamiento del clima, y es especialmente importante para climatólogos el obtener datos de gran antigüedad. En los sedimentos de lagunas de las Islas Galápagos encontramos uno de los registros más antiguos y completos de la frecuencia con la que los eventos de más intensidad de El Niño han ocurrido. Las lluvias torrenciales que El Niño trae causan que la salinidad del agua en lagunas salobres de las islas baje considerablemente. Es posible detectar estos cambios en los sedimentos de las lagunas mediante análisis de mineralogía y geoquímica. Además una capa de agua dulce que se forma en la superficie de estas lagunas durante épocas de lluvia, causa que la composición de especies de algas microscópicas (diatomeas) cambie. Las diatomeas tienen paredes celulares de silicio que permiten que la comunidad entera se preserve como fósil en los sedimentos. Un núcleo de sedimentos de 4,17 m, obtenido en la laguna salobre del cráter de Bainbridge al sureste de la Isla Santiago, nos proporciona una historia detallada de dichas fluctuaciones en salinidad. Para este núcleo tenemos fechamiento radiocarbónico (AMS) extensivo con una fecha al fondo de $6\,170 \pm 55$ años. Describimos la estratigrafía compleja de este núcleo de sedimentos y los datos mineralógicos y geoquímicos que sugieren que la laguna se ha mantenido supersaturada con sales en toda su historia con varios períodos cortos de salinidad más baja que atribuimos a un aumento en la precipitación relacionado con ENSO. Tales períodos se caracterizan por 83 láminas delgadas (<2 mm) ricas en material orgánico que contienen especies de diatomeas indicadoras de menor salinidad. La mayoría de estas láminas se encuentran en los últimos 2 500 años y son más frecuentes en los últimos 800-1 000 años. Además del récord de Bainbridge tenemos otros núcleos de sedimentos de Galápagos con una posible historia del fenómeno ENSO: sedimentos de la laguna de Genovesa ($6\,000 \pm 50$ años) muestran fluctuaciones en la cantidad de fósforo (proveniente del guano de los piqueros que anidan en el cráter) y de polen de *Bursera* (una planta que produce flores solamente cuando llueve). Sedimentos de la laguna de El Junco en la isla San

* Northern Kentucky University, Highland Heights, KY 41099-0400, USA, FAX 606-572-5639, Email Kannan @NKU.edu

** Northeastern Illinois University, Chicago, IL 60625, USA.

*** University of Manitoba, Winnipeg, Canada R3T 2N2.

**** University of Florida, Gainesville, FL 32606, USA.

***** University of Cincinnati, Cincinnati, OH. 45221-0006, USA.

Cristóbal muestran fluctuaciones en especies de diatomeas que indican cambios en el nivel de la laguna durante los últimos 550 años (fechado mediante Pb - 210), y sedimentos de dos lagunas costeras en Isabela y Santiago muestran, con la presencia de diatomeas marinas y especies de foraminíferas, fluctuaciones en el nivel del mar.

Palabras claves: ENSO, El Niño, Ecuador, paleolimnología, Galápagos, precipitación, paleoclima, diatomea.

UN ENREGISTREMENT DE 6 000 ANS DE MANIFESTATIONS INTENSES DU PHÉNOMÈNE EL NIÑO DANS LES SÉDIMENTS LACUSTRES DES ÎLES GALÁPAGOS

Résumé

La plupart des modèles visant à fournir un pronostic du phénomène El Niño nécessitent des données historiques sur les variations du climat. C'est spécialement important pour les climatologues qui ont besoin de données les plus anciennes possible. Nous avons trouvé, dans les sédiments lacustres des îles Galápagos un des enregistrements les plus anciens et complets, qui puisse rendre compte de la fréquence des événements El Niño de forte intensité. Les pluies torrentielles provoquées par El Niño abaissent considérablement la salinité des lacs des îles. Il est possible de détecter ces variations dans les sédiments par une analyse minéralogique et géochimique. La formation d'une strate d'eau douce entraîne le changement des micro-algues (diatomées). Ces diatomées ont des membranes cellulaires de silice qui permettent leur conservation dans les sédiments. Une carotte de 4,17 m prélevée sur le lac de cratère de Bainbridge au sud-est de l'île de Santiago nous a fourni un historique détaillé de ces variations de salinité. Cette carotte a été totalement datée au radiocarbone (AMS) avec une date de départ de $6\,170 \pm 55$ ans. Nous avons décrit la stratigraphie minéralogique et géochimique complète de cette carotte qui suggère que le lac s'est maintenu sursaturé en sels tout au long de cette période avec plusieurs périodes de courte durée de salinité plus basse que nous attribuons à un accroissement des précipitations dû à l'ENSO. Ces périodes se manifestent sous la forme de 83 bandes minces (<2 mm), riches en matière organique et qui contiennent des espèces de diatomées indicatrices de basse salinité. La plupart de ces bandes apparaissent au cours des derniers 2 500 ans et sont encore plus fréquentes au cours des derniers 800-1 000 ans. En plus de l'enregistrement de Bainbridge, nous disposons d'autres carottes susceptibles de retracer l'histoire du phénomène El Niño. Une carotte du lac de cratère de Genovesa ($6\,000 \pm 50$ ans) montre des fluctuations dans la teneur en phosphore (provenant du Guano de fous aux pattes rouges qui nichent autour du cratère) et de pollen de *Bursea* (plante qui ne fleurit que quand il pleut). Les sédiments du lac de El Junco dans l'île de San Cristóbal montrent des fluctuations des espèces de diatomées qui indiquent des variations du niveau de ce lac au cours des derniers 550 ans (daté à l'aide de Pb 210). Des carottes prélevées dans deux lacs côtiers des îles Isabela et Santiago montrent, grâce à la présence de diatomées marines et d'espèces foraminifères, des fluctuations du niveau de l'océan.

Mots-clés : ENSO, El Niño, Équateur, paléolimnologie, Galápagos, précipitation, paléoclimat, diatomée.

A 6 000-YEAR RECORD OF INTENSE EVIDENCE OF EL NIÑO FROM SEDIMENTS IN A GALÁPAGOS ISLANDS LAKE

Abstract

Many of the models that are being developed to obtain more accurate predictions of the El Niño phenomenon require historical data on the behaviour of climate. It is especially important for climatologists to obtain data of great antiquity. We find in sediment cores from lakes in the Galápagos Islands some of the oldest and most complete records of the frequency of the more

intense El Niño events. The torrential rains that El Niño brings, cause the lowering of salinity of the surface water of saline lagoons of the islands. It is possible to detect these changes in the sediments by mineralogical and geochemical analyses. Also the composition of species of microscopic algae, mainly diatoms changes as a result of a layer of fresh water that is formed in the surface of these lagoons during times of rain. The diatoms have cell walls of Silica that allow the preservation of the whole community in the sediments. A 4.17 m core obtained in the saline lagoon of the crater of Bainbridge to the south-east of Santiago Island provides us with a detailed history of these fluctuations in salinity. This core has been extensively radiocarbon dated (AMS) with a date at the bottom of $6\,170 \pm 55$ years. We describe the complex stratigraphy of this core and the mineralogical and geochemical data. They suggest that the lagoon has stayed supersaturated with salts in all its history with several short periods of lower salinity that we attribute to increases in precipitation related to ENSO. Such periods are characterized by 83 thin bands (< 2 mm) each, rich in organic material and containing species of diatoms that indicate lower salinity. Most of these bands appear in the last 2 500 years and are more frequent in the last 800-1 000 years. Besides the record of Bainbridge we have other cores from Galápagos with a possible history of the ENSO phenomenon. A core of Genovesa crater lake ($6\,000 \pm 50$ years) shows fluctuations in the amount of phosphorus (coming from the guano of the red-footed boobies that nest around the crater) and of pollen of *Bursera* (a plant that produces flowers only when it rains). A core of El Junco lake in island San Cristobal shows fluctuations in species of diatoms that indicate changes in lake level during the last 550 years (dated by means of Pb-210). Cores of two coastal lagoons in Isabela and Santiago show, by the presence of marine diatoms and foraminifera, possible fluctuations in sea level.

Key words: ENSO, El Niño, Ecuador, Paleolimnology, Galápagos, precipitation, paleoclimate, diatomée.

INTRODUCCIÓN

Las islas Galápagos están situadas en una de las regiones del mundo donde la influencia del fenómeno ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) es la más fuerte. El fenómeno se caracteriza por la elevación de la temperatura superficial del mar (TSM), el descenso en profundidad de la termoclina, la elevación en el nivel del mar, y precipitaciones excepcionales dos o tres veces más fuertes que en los años no-Niño. Esto ha sido documentado detalladamente en particular durante el transcurso del evento excepcional de 1982-1983 (Glynn, 1990; Pourrut, 1983). Durante El Niño 1982-1983 la elevación en el nivel del océano causó que el mar penetrara varias lagunas salobres en las playas de varias islas (Hayes, 1985). Precipitaciones intensas azotaron los bordes litorales de las islas donde el clima normal varía de árido a muy seco. La excesiva pluviosidad causó daños o muerte a algunas plantas características de la zona, como el cactus gigante, pero también causó crecimiento exuberante de plantas anuales y de ciertas especies leñosas como *Bursera graveolens* (Luong & Toro, 1985). También aparecieron plantas nunca antes vistas en ciertas islas. Con la elevación de la TSM disminuyó la productividad del agua, y la falta de peces causó la desaparición de muchas aves marinas como piqueros, que ya sea migraron lejos de las islas o murieron.

Estos síntomas de El Niño dejan su marca en los sedimentos de las lagunas de las islas, y es posible mediante estudios de paleolimnología reconstruir la historia de la frecuencia con que ENSO ha ocurrido en el pasado. Cambios en salinidad y nivel del

agua en lagunas, ya sea causadas por la penetración de agua de mar durante mareas muy altas, o por un aumento en pluviosidad, pueden detectarse como cambios en la mineralogía y composición química de los sedimentos (Berglund, 1986). Esto puede confirmarse con la presencia de fósiles de especies indicadoras como diatomeas o foraminíferas. Las diatomeas son algas microscópicas con paredes celulares de silicio. Cada especie está adaptada a un ambiente particular, y como se reproducen rápidamente, también responden rápidamente a cambios en su medio ambiente. Las diatomeas sirven para documentar cambios en el nivel del agua de lagunas, en la composición química del agua, temperatura o salinidad (Smol *et al.*, 1986; Fritz, 1990). Se han utilizado por ejemplo para documentar 2 500 años de cambios en la laguna de Yambo en el Ecuador que posiblemente se relacionan al fenómeno de El Niño (Steinitz-Kannan *et al.*, 1993). Las foraminíferas son protistas exclusivamente marinas. La presencia de estos fósiles de Carbonato de Calcio en los sedimentos demuestra intrusión del mar en las lagunas. Los cambios en la vegetación pueden detectarse en los sedimentos, observando cambios en los fósiles de polen (Berglund, 1986; Colinvaux & Schofield, 1976a). La desaparición de las aves marinas deja su marca en los sedimentos en forma de una disminución en la cantidad de fosfato. El fosfato entra en ciertas lagunas de Galápagos principalmente por medio del guano de las aves que anidan en sus alrededores (Goodman, 1972).

Los registros que podemos obtener de los núcleos de sedimentos de lagunas son más antiguos y completos que los registros históricos (Quinn *et al.*, 1987; Hamilton & García, 1986) o arqueológicos (Wells, 1987; Nials *et al.*, 1979a; b). También sirven para extender la historia de ENSO que se ha obtenido mediante el estudio geomorfológico de playas (Martín *et al.*, 1993) o el estudio de anillos de árboles o de crecimiento de corales o de moluscos o la acumulación de hielo en glaciares andinos (Craig & Shimada, 1986; Thompson *et al.*, 1984; 1986; DeVries, 1987; DeVries & Schrader, 1981; Lough & Fritts, 1985). Los datos obtenidos pueden ayudar a climatólogos a obtener un pronóstico más satisfactorio del fenómeno ENSO.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Núcleos de sedimentos fueron obtenidos entre el 6 de diciembre de 1991 y el 6 de enero de 1992 de las partes más profundas de las siguientes lagunas de Galápagos: la laguna del cráter del islote Bainbridge (al sudeste de la Isla Santiago), una laguna salobre cerca de la playa Espumilla en la isla Santiago (denominada Sergio), la laguna del Cementerio cerca de Puerto Villamil en la isla Isabela y en la laguna de El Junco en San Cristóbal. Estas lagunas están indicadas en el mapa (Fig. 1). Utilizamos para tomar los sedimentos dos tipos de muestreadores. Con un muestreador tipo Livingstone (Colinvaux *et al.*, 1988) obtuvimos núcleos de sedimentos que se transportaron sellados en los tubos de aluminio del muestreador, a la Universidad de Northern Kentucky. Allí, después de tomar fotos de Rayos X, se abrieron los tubos para hacer la descripción detallada de la estratigrafía, y tomar muestras para análisis. Estos sedimentos se mantienen refrigerados y sellados en varias capas de plástico, en la Universidad de Northern Kentucky. Además, en cada laguna, obtuvimos núcleos de sedimentos superficiales con un "Mud-Water Interphase Sampler" (Fisher *et al.*, 1992). Muestras de estos núcleos fueron tomadas en el campo para análisis de Pb-210 y geoquímica que se realizaron en la Universidad de Florida.

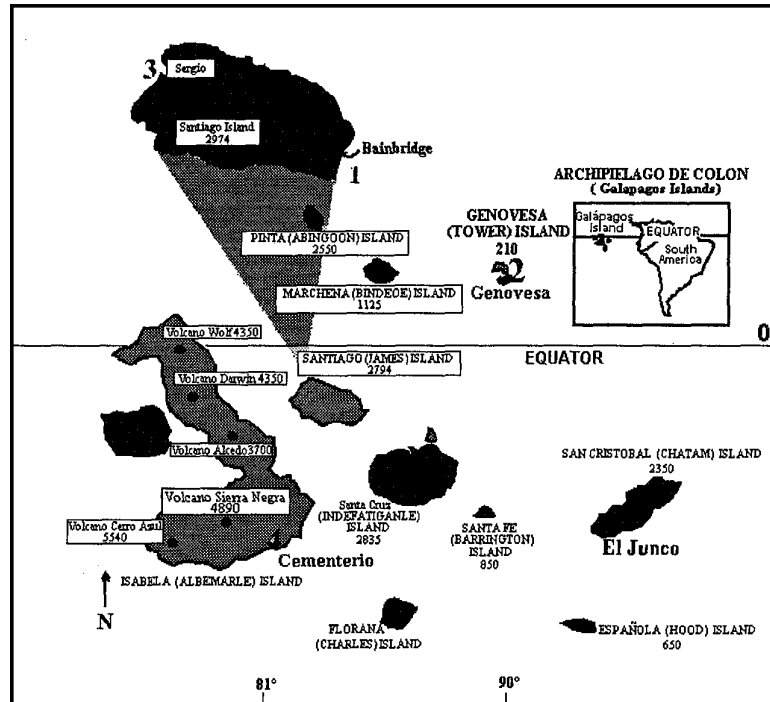


Fig. 1 - Mapa de las islas Galápagos indicando los lugares de estudio.

Para análisis de diatomeas tomamos muestras cada 1,6 cm. Estas muestras fueron tratadas con 30% H_2O_2 para destruir todo material orgánico. Se prepararon platinas permanentes, utilizando el método cuantitativo de Battarbee (1986). La identificación y conteo de las diatomeas se realizó utilizando un microscopio Nykon con magnificación de hasta 1 000X y las facilidades del herbario de diatomeas neotropicales de la Universidad de Northern Kentucky. Para análisis de mineralogía tomamos muestras cada 2 cm. Humedad, material orgánico y carbonato total se evaluaron por cambios en el peso al calentar las muestras a 80°C, 500°C, y 1 000°C, respectivamente (Dean, 1974). Muestras para mineralogía fueron analizadas mediante difracción de rayos X (X-ray defraction) en los laboratorios de geología de la Universidad de Manitoba. Para análisis geoquímicos se tomaron muestras cada 4 cm. Las muestras fueron digeridas con 1N HCl y analizadas para Ca, Mg, Na, K, Fe y P utilizando un instrumento "Jarrell-Ash Inductively Coupled Plasma" en la Universidad de Florida. Los fechamientos radiocarbónicos (ASM) fueron realizados por NSF-Arizona AMS Facility, Beta Analytic Inc. y la National Ocean Sciences AMS Facility.

Además de los núcleos de sedimentos obtenidos en 1991, tenemos acceso a datos y sedimentos obtenidos en 1968 en la laguna del cráter de la isla Genovesa por Dan Goodman y Paul Colinvaux. Dan Goodman, en su tesis de doctorado (Goodman, 1972),

obtuvo una historia de 6 000 años de cambios en la población de piqueros de patas rojas (*Sula sula*) basada en cambios en la cantidad de fosfatos en un núcleo de sedimentos de esta laguna. Una colonia grande de estos pájaros anida en los manglares que rodean a la laguna. Nosotros hemos reinterpretado los datos de fosfato y fósiles de polen de *Bursera graveolens* dados en esta tesis como un posible registro del fenómeno de El Niño.

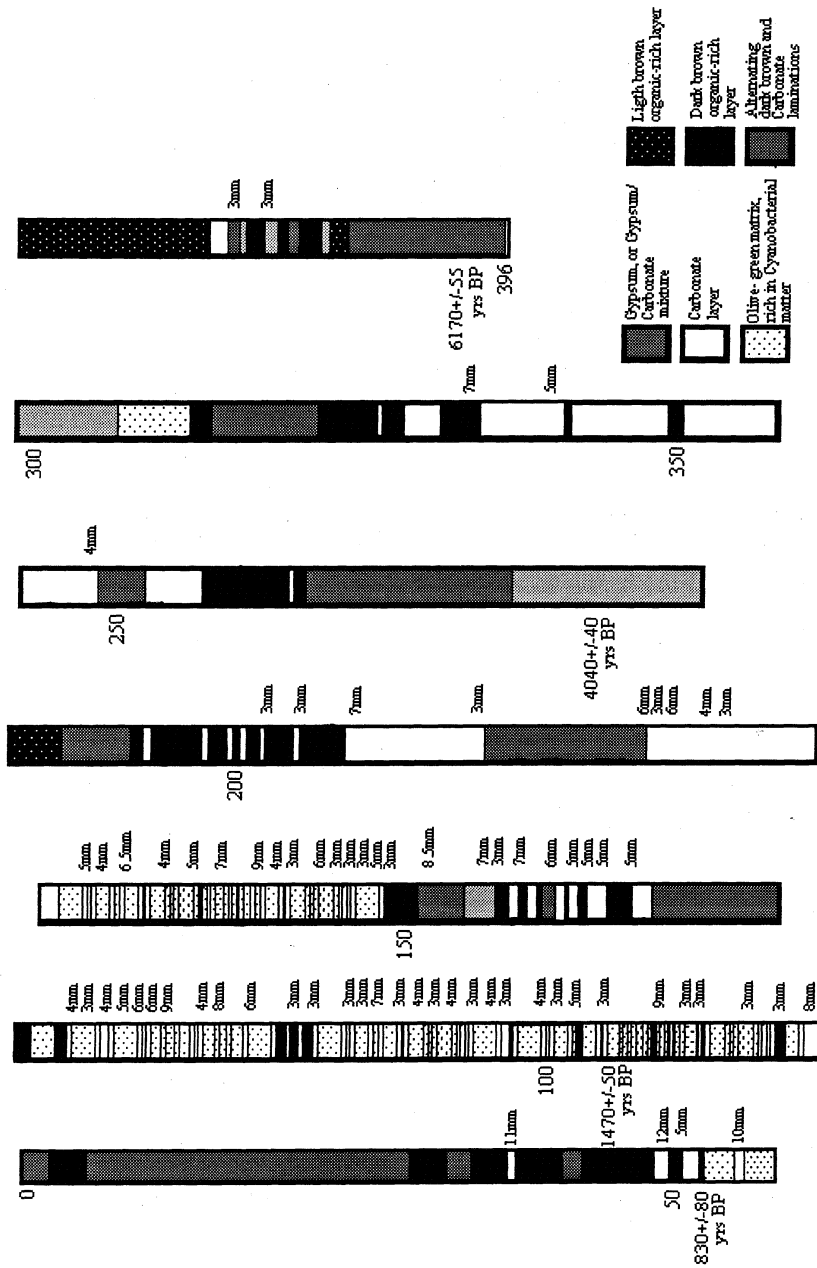
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hemos completado el análisis de los sedimentos de la laguna de Bainbridge. El estudio de las otras lagunas está en progreso y damos aquí solamente resultados preliminares.

2. 1. Laguna de Bainbridge

El núcleo de sedimentos de la laguna de Bainbridge es de 4,17m. Se muestra la estratigrafía de estos sedimentos en la figura 2. Esta figura indica también el fechamiento radiocarbónico (AMS) con una fecha al fondo de $6\,170 \pm 55$ años. La estratigrafía es compleja y consiste en láminas de sales: sulfato de cal (Gypsum), Cloruro de Sodio (halite) y carbonatos; láminas verde-oliva que contienen restos de algas azul-verdes (Cyanobacterias), feldespato de potasio, silicato de alúmina y espato calcáreo con magnesio. Hay además láminas delgadas (<2 mm) que consisten en aragonito y prodolomito. Encontramos 83 láminas de color café oscuro, delgadas (<2 mm) a lo largo de los sedimentos. Estas láminas son ricas en material orgánico y contienen también feldespato de potasio, plagioclase y arcilla que reflejan períodos de erosión. La mayor cantidad de P ($13\text{--}30$ mg/g) se encuentra en los sedimentos más antiguos (~ 4800 AP) y coinciden con aumentos en la cantidad de hierro, posiblemente tenemos fosfatos de hierro. En los sedimentos predominan solamente 6 especies de diatomeas. *Nitzschia pura* refleja condiciones hipersalobres y es la especie más común. En las láminas café oscuro, encontramos una mayor variedad de especies (*Amphora*, *Nitzschia communis*, *Mastogloia* y varias especies de *Navicula*), indicando períodos de menor salinidad.

Estos resultados indican que el nivel de la laguna ha fluctuado durante toda su historia. Períodos de alta salinidad y niveles de agua más bajos ocurren entre $6\,170$ y $\sim 5\,070$ años AP, $4\,600\text{--}\sim 2\,400$ AP, $\sim 2\,000\text{--}\sim 1\,680$ AP, y ~ 812 AP al presente. En estos períodos los sedimentos consisten principalmente en Gypsum (Sulfato de cal), aragonito y sal (~ 300 mg/g Ca y $75\text{--}100$ mg/g NA). Entre $2,1$ a $\sim 0,35$ m ($\sim 2\,400\text{--}\sim 812$ AP) hay menos gypsum, y más espato calcáreo con magnesio y protodolomito. La pirita (marcasita) (FeS₂) representa 10-20% del material inorgánico, una indicación de meromixis que ocurre cuando hay niveles altos de agua. Entre los $0,35\text{--}0$ m de profundidad los sedimentos consisten casi enteramente de gypsum y sal (halite), con menos carbonatos. Esto sugiere que la laguna se ha mantenido supersaturada con sales en toda su historia. Las 83 láminas café oscuras se encuentran a lo largo de los sedimentos y representan varios períodos cortos de salinidad más baja que atribuimos a un aumento en la precipitación relacionado con ENSO. Estas láminas son ricas en material orgánico y contienen especies de diatomeas indicadoras de menor salinidad. 56



de estas láminas se encuentran en los últimos 2 500 años; 23 de ellas en los últimos 800-1 000 años. 19 El Niño fuertes han ocurrido en los últimos 500 años (Quinn & Neal, 1992) y posiblemente estas láminas representan estos eventos.

2. 2. Laguna de Genovesa

En la figura 3 mostramos los cambios en la cantidad de fosfato y en la cantidad de fósiles de polen de *Bursera graveolens* en el núcleo de sedimentos de la laguna de Genovesa obtenido por Dan Goodman (1972). Este núcleo de sedimentos contiene una historia de un poco más de 6 000 años. Goodman en su tesis presenta evidencia que la colonia de *Sula sula* ha anidado alrededor del cráter durante todo este período. Notamos en la figura que cuando el polen de *Bursera* es abundante, baja la cantidad de fosfato. Estos períodos deben representar fuertes eventos de El Niño, cuando las aves deben migrar lejos del cráter en busca de alimento, y así, se deposita menos guano. Notamos que estos períodos son mucho más frecuentes cerca de la superficie, en comparación con las partes más antiguas de los sedimentos. El fechado en este núcleo de sedimentos fue hecho en 1969, y no se obtuvieron fechas mediante AMS. Por lo tanto no podemos usar estos datos para obtener una historia muy detallada del fenómeno. Para eso necesitaremos regresar a tomar un núcleo de sedimentos fresco. Sin embargo la tendencia de tener el fenómeno del Niño con más frecuencia en el pasado reciente, es clara.

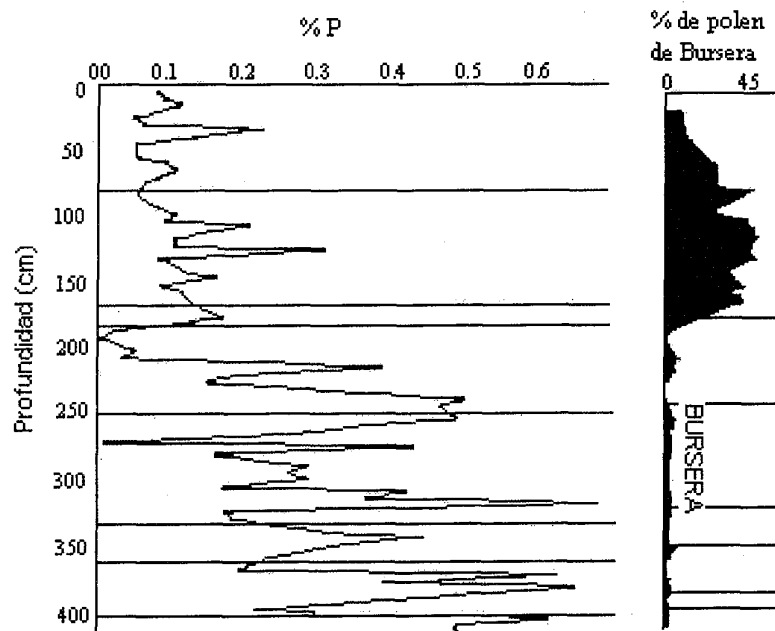


Fig. 3 - Perfiles de fosfato y polen de *Bursera* en los sedimentos de la laguna de Genovesa, Galápagos (Datos de Goodman, 1972).

2. 3. Laguna de El Junco, isla San Cristóbal

La laguna de El Junco se diferencia de las otras lagunas de las islas por ser una laguna de agua dulce. El nivel del agua se mantiene solamente por agua de lluvia y por la intensa neblina que casi constantemente cubre a esta laguna reduciendo la evaporación. Se han publicado detallados estudios de esta laguna y núcleos de sedimentos han sido utilizados para reconstruir la historia del clima de las islas durante los últimos 12 000 años (Steinitz-Kannan *et al.*, 1983; Colinvaux, 1984; 1969; Colinvaux & Schofield, 1976a; b). Estos estudios indican que el nivel de la laguna varía con las precipitaciones y que se ha mantenido relativamente alto durante el holoceno reciente. La acumulación de sedimentos en esta laguna es lenta, por lo que no podemos obtener la resolución que nos permita distinguir a El Niño individuales. Sin embargo, un núcleo de sedimentos superficiales que obtuvimos en 1991 que ha sido fechado mediante Pb-210 nos proporciona detalles del nivel de la laguna en los últimos 550 años (Fig. 4). Encontramos un período entre los años 1 500 y 1 700 en que el nivel de la laguna estuvo muy bajo. Durante este período la diatomea epifítica *Cymbella minuta* predomina sobre otras especies. Esta especie vive adherida a plantas o rocas en aguas poco profundas. Este período representa años de sequía y coincide con la "pequeña edad de hielo" (Little Ice Age) que se ha identificado en Europa y otras partes del mundo (Thompson, 1986; Bradley & Jones, 1992). Éstos son los únicos datos que existen que indican que la pequeña edad de hielo afectó al Ecuador, y que el efecto en Galápagos fue sequía, tal como el efecto de la edad hielo que terminó hace 10 000 años.

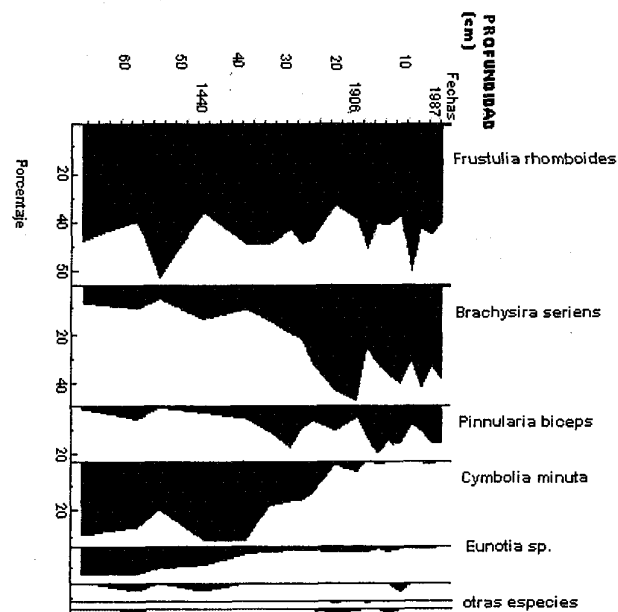


Fig. 4 - Diatomeas fósiles en sedimentos recientes de la laguna de El Junco, Galápagos.

2. 4. Lagunas salobres en la isla Santiago y de la isla Isabela

En los núcleos de sedimentos de dos lagunas salobres encontramos evidencia de penetración del mar como resultado de mareas muy altas. Estos sedimentos son de una laguna salobre permanente que llamamos "Sergio" (en honor a Sergio Efraín Mora, capitán del barco Beagle III de la ECD) en la playa Espumilla de la isla Santiago y la "Laguna del Cementerio", cerca del cementerio de Puerto Villamil en Isabela. El Sr. Tupiza, representante de la Estación Charles Darwin en Isabela nos indica que durante El Niño del 1982-1983, el agua de mar entró a la laguna del Cementerio. Hemos fechado solamente la parte más profunda de nuestros núcleos de sedimento. En Cementerio tenemos una historia de 910 ± 55 años, y en Sergio 445 ± 45 años. Un examen preliminar de porciones de sedimentos de estas dos lagunas revela la presencia de fósiles de foraminíferas y de diatomeas marinas, evidencia de que el mar ha penetrado estas lagunas en varias ocasiones durante los últimos 500 años. Necesitamos todavía realizar un muestreo y fechado más detallado en estos sedimentos, para confirmar que se trata de registro de cambios en el nivel del mar a consecuencia de El Niño.

3. CONCLUSIÓN

Hemos comprobado con estos estudios que el fenómeno de El Niño deja su marca en los sedimentos de las lagunas de las islas Galápagos. El fenómeno ha sido más fuerte y frecuente en los pasados últimos 800 años, particularmente después de la "pequeña edad de hielo". Se ha postulado que el impacto humano que está causando un calentamiento global también causa un aumento en la frecuencia del fenómeno de El Niño. Es posible que es esto lo que estamos observando en las lagunas de Galápagos.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la National Science Foundation, la National Geographic Society y la National Oceanic and Atmospheric Administration. Agradecemos a la Estación Charles Darwin y al Servicio de Parques de Galápagos por su ayuda logística en las islas. Por su ayuda en el trabajo de campo agradecemos a R. Kannan, Michael C. Miller, Lynda Carrasco y Geetha Kannan. Ming Jiang, Vicki Martin-Kier, Paula Rockwell y Anne Ross ayudaron con el muestreo de los sedimentos y preparación de las muestras.

Referencias citadas

- BATTARBEE, R.W., 1986 - Diatom analysis. in: *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* (B.E. Berlund Ed.): 527-570; New York: John Wiley & Sons.
- BERGLUND, B.E., 1986 - *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, 869p.; New York: John Wiley & Sons.
- BRADLEY, R. & JONES, P. D., 1992 - *Climate Since A.D. 1500*, 679p.; New York: Routledge.
- COLINVAUX, P.A., 1984 - The Galápagos Climate: present and past. in: *Key environments: Galápagos* (Perry R. ed.): 55-69; Pergamon Press.

- COLINVAUX, P.A. & SCHOFIELD, E., 1976a - Historical ecology in the Galápagos Islands. I. A Holocene pollen record from El Junco Lake, Isla San Cristobal. *J. of Ecology*, **64**: 986-1012.
- COLINVAUX, P.A. & SCHOFIELD, E., 1976b - Historical ecology in the Galapagos Islands. II. Holocene spore record from EL Junco Lake, Isla San Cristobal. *J. of Ecology*, **64**: 1013-1026.
- COLINVAUX, P.A., OLSON, K. & LIU, K.-B., 1988 - Late-glacial and Holocene pollen diagrams from two endorheic lakes of the Inter-Andean Plateau of Ecuador. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **55**: 83-89.
- COLINVAUX, P.A., 1969 - Paleolimnological investigations in the Galapagos Archipelago. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, **17**: 126-130.
- CRAIG, A.K. & SHIMADA, I., 1986 - El Niño flood deposits at Batán Grande, northern Peru. *Geoarchaeology*, **1**: 29-38.
- DEAN, W.E., 1974 - Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, **44**: 242-248.
- DEVRIES, T.J., 1987 - A review of geological evidence for ancient El Niño activity in Peru. *Journal of Geophysical Research*, **92**: 14 471-14 479.
- DEVRIES, T.J. & SCHRADER, H., 1981 - Variation of upwelling/ oceanic conditions during the latest Pleistocene through Holocene off the central Peruvian coast: a diatom record. *Mar. Micropaleontol.*, **6**: 157-167.
- FISHER, M. M., BRENNER, M. & REDDY, K.R., 1992 - A simple, inexpensive piston corer for collecting undisturbed sediment/ water interface profiles. *Journal of Paleolimnology*, **7**: 157-161.
- FRITZ, S.C., 1990 - Twentieth-century salinity and water-level fluctuations in Devils Lake, North Dakota: test of a diatom-based transfer function. *Limnol. Oceanogr.*, **35**(8): 1 771-1 781.
- GLYNN, P.W., 1990 - *Global ecological consequences of the 1982-1983 El Niño-Southern Oscillation*, 554p.; New York: Elsevier, Elsevier Oceanography Series, 52.
- GOODMAN, D., 1972 - The paleoecology of the Tower island bird colony: A critical examination of complexity-stability theory. Ph.D. Dissertation, The Ohio State University, Columbus, Ohio.
- HAMILTON, L. & GARCIA, R.C., 1986 - El Niño-Southern Oscillation events and the associated midlatitude teleconnections. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **67**: 1 354- 1 361.
- HAYES, S. P., 1985 - Sea level and near surface temperature variability at the Galápagos Islands, 1979-83. in: *El Niño en las islas Galápagos: el evento de 1982-83* (Robinson y Del Pino ed.): 29-48; Quito: Fundación Charles Darwin para las islas Galápagos.
- LOUGH, J.M. & FRITTS, H.C., 1985 - The Southern Oscillation and tree rings. 1600-1961. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, **24**: 952-966.
- LUONG, T. & TORO, B., 1985 - Cambios en la vegetación de las islas Galápagos durante "El Niño" 1982-83. in: *El Niño en las islas Galápagos* (Del Pino ed.): 29-48; Quito: Fundación Charles Darwin para las islas Galápagos.
- MARTIN, L., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., TURCQ, B., ABSY, M.L. & FLEXOR, J.M., 1993 - Southern Oscillation signal in South American paleoclimatic data of the last 7000 years. *Quaternary Research*, **39**: 338-346.
- NIALS, F.L., DEEDS, E.R., MOSELEY, M.E., POZORSKI, S.G., POZORSKI, T. & FELDMAN, R.A., 1979a - El Niño: the catastrophic flooding of coastal Peru. I. *Field Mus. Nat. Hist. Bull.*, **50**(7): 4-14.
- NIALS, F.L., DEEDS, E.R., MOSELEY, M.E., POZORSKI, S.G., POZORSKI, T. & FELDMAN, R.A., 1979a - El Niño: the catastrophic flooding of coastal Peru. I. *Field Mus. Nat. Hist. Bull.*, **50**(8): 4-10.

- POURRUT, P., 1983 - Los Climas del Ecuador. Fundamentos explicativos. in: *Los Climas del Ecuador*: 9-41; Quito: I.P.G.H. - ORSTOM, Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, Documentos de Investigación N° 4.
- QUINN, W.H., NEAL, V.T. & ANTUNEZ DE MAYOLO, S. E., 1987 - El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal of Geophysical Research*, **92**: 14 449-14 461.
- QUINN, W.H. & NEAL, V.T., 1992 - The historical record of El Niño events. in: *Climate since A.D. 1550* (R.S. Bradley & P.D. Jones, Ed.): 623-628; London: Routledge.
- SMOL, J.P., BATTARBEE, R.W., DAVIS, R.B. & MERILAINEN, J. (Eds), 1986 - *Diatoms and lake acidity. Reconstructing pH from siliceous algal remains in lake sediments*, 307p.; The Netherlands: Dr. W. Junk. Dordrecht.
- STEINITZ-KANNAN, M., COLINVAUX, P.A. & KANNAN, R., 1983 - Limnological studies in Ecuador: 1. A survey of chemical and physical properties of Ecuadorian Lakes. *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, **65(V.1)**: 61-105.
- STEINITZ-KANNAN, M., NIENABER, M., RIEDINGER, M. & KANNAN, R., 1993 - The fossil diatoms of lake Yambo, Ecuador. A Possible Record of El Niño Events. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **22(1)**: 227-241.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E. & ARNAO, B., 1984 - El Niño-Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap, Peru. *Science*, **223**: 50-53.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E., DANSGAARD, W. & GROOTES, P.M., 1986 - The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap. *Science*, **234**: 361-364.
- WELLS, L.E., 1987 - An alluvial record of El Niño events from northern coastal Peru. *Journal of Geophysical Research*, **92**: 14 463-14 470.