

REGISTROS DEL FENÓMENO EL NIÑO EN EL PERÚ

José Macharé, Luc Ortlieb***

Resumen

El Niño es un fenómeno característico de la variabilidad climática interanual en el Perú. A la par con los estudios de monitoreo y modelaje de los parámetros oceano-atmosféricos actuales, la comprensión de este fenómeno requiere una reconstrucción detallada de sus ocurrencias en el pasado. En el Perú, tales eventos han sido registrados en diferentes archivos paleoclimáticos cuyas características: extensión, fiabilidad y resolución son aquí analizados.

Condiciones climáticas semejantes a las de El Niño parecen haberse presentado en la costa peruana ya desde el último interglacial. Pero recién desde hace unos 4,500 años, se tiene la certeza de la ocurrencia de estos eventos con efectos similares a los que se conocen en la actualidad. Archivos naturales como depósitos de inundación y secuencias de cordones litorales, apoyados por dataciones Carbono 14, han permitido establecer un registro con unos ocho eventos mayores -que algunos autores llaman Super-ENSO- hasta unos 400 años atrás. La Arqueología y la Etnohistoria brindan datos cuya correlación cruzada permite reforzar la certeza sobre ciertos eventos. A partir del S. XVI, los archivos históricos suministran excelentes datos para la reconstrucción de las ocurrencias de El Niño hasta principios del S. XX; el nivel de detección para eventos moderados y débiles aumenta notablemente hacia los siglos recientes. La disponibilidad de registros instrumentales en el presente siglo permite mejorar la resolución temporal y su intensidad pero también dificulta la distinción de los eventos de menor intensidad (moderados, débiles) de las oscilaciones climáticas «normales» y cuando se presenta un evento contrario o «Anti-Niño».

Palabras claves: *El Niño, Paleo-Niño, registros, Pleistoceno, Holoceno, Perú.*

ENREGISTREMENTS DU PHÉNOMÈNE EL NIÑO AU PÉROU

Résumé

El Niño est un phénomène typique de la variabilité climatique interannuelle au Pérou. Au même titre que la détection et la modélisation des paramètres océano-atmosphériques actuels, la compréhension de ce phénomène nécessite une reconstruction détaillée de son histoire passée. Au Pérou, les événements d'El Niño ont été enregistrés dans des archives paléoclimatiques de divers types dont les caractéristiques, telles que durée, fiabilité et résolution seront analysées ici.

Des conditions climatiques proches de celles d'El Niño semblent s'être présentées sur la côte péruvienne déjà depuis le dernier interglaciaire. Mais c'est depuis 4,500 ans que se sont répétés des événements dont les effets sont similaires à ceux des El Niño actuels. Des archives naturelles telles que des dépôts d'inondation et des séquences de cordons littoraux, datés par carbone-14, ont permis d'établir la chronologie de quelques huit grands événements -appelés Super-ENSO par certains auteurs- jusqu'à il y a 400 ans. L'Archéologie et l'Ethno-histoire offrent des données dont la corrélation croisée permet de renforcer la certitude de certains événements. À partir du 16ème siècle, les archives historiques

* Instituto Geofísico del Perú & Institut Français d'Études Andines. Apartado 3747, Lima 100, Perú.

** ORSTOM & Facultad de Recursos del Mar, Universidad de Antofagasta. Casilla 170, Antofagasta, Chile.

fournissent des précieuses données pour la reconstruction de la succession des événements El Niño jusqu'au début du 20ème siècle; on constate une amélioration du niveau de détection vers les dates récentes. La disponibilité d'enregistrements instrumentaux pendant le siècle actuel a permis une amélioration de la résolution dans le temps et de l'intensité mais elle a rendu difficile la distinction d'événements de moindre intensité (faibles ou modérés) des oscillations climatiques «normales» et des épisodes dits anti-Niño.

Mots clés : *El Niño, Paléo-Niño, paléoclimat, Pleistocène, Holocène., Pérou,*

RECORDS OF EL NIÑO EVENTS IN PERU

Abstract

El Niño phenomenon characterizes the interannual climatic variability in Peru. Together with monitoring and modelling of the present-day oceano-atmospheric parameters, the overall understanding of El Niño requires a detailed reconstruction of its past occurrences. In Peru, such events have been recorded in different paleoclimatic archives, the main characteristics of which (length, reliability and resolution) are reviewed hereafter.

Climatic conditions close to those of El Niño seem to have occurred in the Peruvian coast during the last interglacial. But it is only around in the course of the last 4,500 years that events with similar effects than those of El Niño were clearly identified. Natural archives like flood deposits and beach-ridge sequences, supported by C14 dating, registered some eight major events -called Super-ENSO by some authors- up to about 400 years ago. Archaeology and Ethnohistory offer data that after cross-correlation reinforce the confidence degree on some former events. Since the 16th century, historical archives supply high quality data to reconstruct El Niño occurrences up to early 20th century; with a detection level that increases toward the younger dates. During the present century, the availability of instrumental records has allowed to get a better time accuracy and intensity but, at the same time, it complicates the distinction between low intensity events (moderate, weak) from the «normal» climatic fluctuations and of anti-El Niño conditions.

Key words: *El Niño, Paleo-Niño, Paleoclimate, Pleistocene, Holocene, Peru.*

1. INTRODUCCIÓN

1. 1. La variabilidad paleoclimática en el Perú y el fenómeno El Niño en el pasado

La variabilidad interanual del clima actual del oeste sudamericano está intrínsecamente asociada al fenómeno El Niño. No se intentará, en esta introducción, presentar las generalidades ni los detalles de El Niño que han sido tratados ampliamente en la literatura sobre tal fenómeno (Enfield, 1987; Philander, 1989; Ortlieb, 1991). Sin embargo, recordemos que El Niño históricamente ha sido asociado con un impacto local de un fenómeno más complejo conocido como ENSO (El Niño/Southern Oscillation). Estudios recientes indican que El Niño es la componente oceanográfica de ENSO, cuyos procesos de interacción océano atmosférica tienen lugar en el Océano Pacífico tropical, pero con impactos notorios a nivel global.

Muchos estudios sobre el Cuaternario en el Perú se han interesado en distintos aspectos paleoclimáticos tales como los períodos glaciares andinos (Clapperton, 1972 y 1983; Bonnot, 1982; Seltzer, 1990; Wright, 1983; 1984; Rodbell, 1992), la desertificación de la costa (Dollfus, 1965; Engel, 1981; Usselman, 1989; Petersen, 1980) o las modificaciones forestales de la Amazonia (Salo *et al.*, 1986), pero existe en ellos poco énfasis en la ocurrencia de El Niño. Algunos trabajos arqueológicos del norte peruano mencionan eventos climáticos lluviosos ocurridos en diferentes épocas, y que fueron relacionados con efectos del citado fenómeno (Nials *et al.*, 1979; Moseley *et al.*, 1981). Sólo luego del evento extraordinariamente fuerte del fenómeno El Niño de 1982-1983, varios investigadores, en distintas partes del mundo, han

enfocado su atención en tratar de identificar evidencias de la ocurrencia de El Niño en el pasado. Esto ha dado lugar a una amplia literatura y a dos recientes reuniones científicas destinadas a comparar datos de distintas fuentes: «Paleoclimatic aspects of ENSO phenomenon», Boulder-USA, 1990, y «Former ENSO phenomena in western South America: Records of El Niño events», Lima-Perú, 1992. Los trabajos presentados en dichas reuniones trataron de diversas regiones como Australia, las costas este y oeste de norteamérica y varias regiones de América del Sur. En el Perú, en particular, múltiples archivos han sido evaluados a fin de obtener datos acerca de la periodicidad de las modificaciones climáticas que se interpretan asociadas al fenómeno El Niño y también acerca de la variabilidad de la intensidad de tales ocurrencias.

1. 2. Los tipos de archivos paleoclimáticos utilizados

Un primer grupo lo conforman los archivos paleoclimáticos que están asociados con la presencia del hombre, sea porque él los confeccionó, o porque ellos registran actitudes u obras humanas afectadas por El Niño. A esta categoría pertenecen los archivos instrumentales, los históricos y los arqueológicos.

Por otro lado existen archivos naturales, que son entes biológicos y geológicos cuyas modificaciones testimonian efectos de los cambios oceánicos y climáticos propios de El Niño. En este grupo se inscriben: las faunas marinas y terrestres; los anillos de crecimiento de árboles; los sedimentos marinos, litorales, lacustres, glaciares, eólicos, y aluviales (huaycos); los casquetes de hielo y las formaciones de suelos.

En este trabajo se presenta un análisis de las características de los distintos archivos en que se puede haber registrado ocurrencias pasadas del fenómeno El Niño. Esta revisión incluye la sensibilidad y el período de cada registro ante el fenómeno ocurrido en el Perú así como la resolución del método empleado y las perspectivas de desarrollo futuro.

2. LOS REGISTROS INSTRUMENTALES

Los archivos guardan datos de parámetros físicos de la atmósfera y el océano, como presión, temperatura, y precipitación, entre otros, que son medidos con equipos adecuados y registrados y procesados con rigor técnico. Estos datos pueden ser utilizados de manera directa y realizar un análisis objetivo de frecuencia e intensidad de un fenómeno como El Niño. En el Perú, estos archivos se conservan en instituciones como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Instituto del Mar (IMARPE), la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina (DHNM).

Puesto que la definición formal de El Niño está basada en las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) observadas en ciertas estaciones de la costa peruana (Scor, 1983), tomemos el registro de una de ellas: Chicama (7°42'S, 49°27'W). Del examen de 66 años de la TSM medida en la estación oceanográfica de Chicama (Quispe, 1992) se observa que las anomalías más grandes, que deben corresponder a ocurrencias del fenómeno El Niño, se dan en los años 25, 41, 57, 65, 72, 76, 82-83 y 87. El registro de la TSM de Chicama concuerda con los reportes de testigos oculares y de daños en que los eventos de los años 25 y 82-83 fueron los más intensos y calificables, en una escala relativa, como Muy Fuertes (MF). Los otros seis eventos fueron Fuertes (F) y un grupo adicional de seis eventos (30, 43, 48, 51, 53 y 69) pueden considerarse como Moderados (M).

Otra expresión de El Niño, esta vez en la atmósfera, es la ocurrencia de intensas lluvias en la costa norte del Perú. Sin embargo, el registro de una estación pluviométrica dada puede estar influido grandemente por condiciones locales (ver Caviedes & Waylen, 1987). Por lo tanto, parece más adecuado adoptar la propuesta de Deser & Wallace (1987) y considerar la descarga de un río para integrar las precipitaciones de toda su cuenca. Estos autores tomaron las descargas del río Piura para compararlas con los datos de TSM de Chicama. En la figura 1 se han puesto en paralelo los eventos indicados por los tres parámetros físicos citados, un registro histórico (QNA) que se discutirá en la sección siguiente, y una propuesta de años «El Niño» a partir de la integración de varios criterios (Caviedes & Waylen, 1987).

Esta figura muestra que la correlación entre las dos primeras columnas es bastante buena y se observa que muchas veces las lluvias se inician cuando la TSM ya ha alcanzado su máximo estacional. Algunas incongruencias se observan en los años 32 y 33 cuando hubo descargas importantes sin anomalías térmicas notables en el mar, y en los años 48 y 69 en que las elevadas temperaturas del mar no estuvieron asociadas a lluvias fuera de lo común. Asimismo, esta figura muestra que, en la estación de Casa Grande (río Chicama) se produjeron lluvias fuertes registradas en los años 35-36, 46 y 55 que no son considerados años «El Niño».

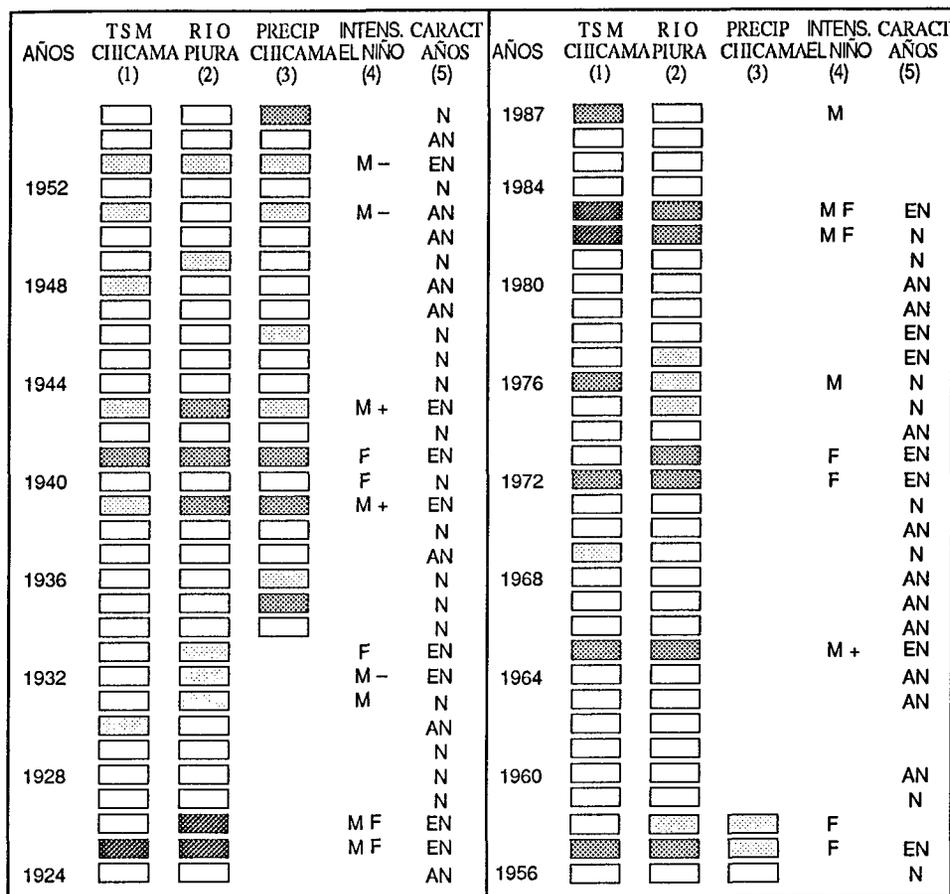
La falta de correlación clara de parámetros para ciertos años sustenta la dificultad que existe en identificar y/o calificar la intensidad de los eventos El Niño contemporáneos y ello es debido a que las manifestaciones del fenómeno varían espacialmente. Un evento puede ser fuerte si se observa en Piura (5°S, 81°W) y sólo moderado según su registro en Chicama (8°S, 79.5°W) o viceversa. Un evento puede también expresarse claramente en el océano sin tener efectos notables en la atmósfera y lo contrario. Evidentemente, estas dificultades son mayores cuando se trata de registros indirectos («proxy» o anecdóticos) para los eventos El Niño en el pasado.

3. LOS REGISTROS HISTÓRICOS

A partir del análisis de fuentes escritas o archivos históricos se han podido establecer registros históricos de las fluctuaciones climáticas en el Perú que estarían relacionadas con el fenómeno El Niño. Estos archivos cubren el período de los últimos 5 siglos, desde la llegada de los europeos y de la escritura. Si bien su resolución llega a ser diaria, por su naturaleza, los registros históricos son discontinuos y anecdóticos.

Sin olvidar el aporte de Hamilton & García (1986), el trabajo más conocido es aquel compilado por Quinn *et al.* (1987) y conocido como el registro QNA (de sus autores: Quinn, Neal y Antúnez de Mayolo). Éste ha sido a veces tomado como patrón indiscutido de las ocurrencias históricas de El Niño, pero recientemente ha sido revisado críticamente por Ortlieb & Hocquenghem (1991) y Hocquenghem & Ortlieb (1992a; 1992b) quienes precisaron que muchas de las supuestas ocurrencias no estaban muy sólidamente sustentadas y merecían su eliminación del registro, y por otro lado agregaron algunos eventos.

Así, las fuentes históricas indican que en el siglo XVI ocurrió un evento MF en 1578, dos eventos F en 1593 y 1596 y uno M en 1574. Para el siglo XVII solamente se reportan dos ocurrencias seguras de intensidad F en 1624 y 1686. En el siglo XVIII se presentó un evento MF en 1728 y cuatro calificados como F en 1701, 1720, 1747-1748 y 1791. Finalmente, para el siglo XIX ocurrió un evento MF en 1891, cuatro de intensidad F en 1828, 1871, 1877-1878 y 1884, y cuatro de intensidad M en 1803-1804, 1814, 1844-1845 y 1864.



INTENSIDAD REL DE ANOMALIAS

[Normal] Situación normal

Anomalia de intensidad creciente

[Moderada] [Fuerte] [Muy fuerte]

(1) : Temperatura superficial del mar en Puerto Chicama (según Quispe, 1992)

(2) : Descargas excepcionales del río Piura (según Deser & Wallace, 1987)

(3) : Precipitación pluvial en el valle del río Chicama (según Caviedes & Waylen, 1987)

(4) : Clasificación de eventos El Niño, por intensidad: MF= muy fuerte, F= fuerte, M= moderado (los símbolos + y - indican modulaciones menores) (según Quinn et al., 1987)

(5) : Caracterización de los años respecto al fenómeno El Niño: EN= Año El Niño, N= Año normal, AN= Año Anti-El Niño (según Caviedes & Waylen, 1987).

Fig. 1 - Comparación de las manifestaciones oceanológicas e hidrológicas del fenómeno El Niño en la costa norte del Perú, según diferentes fuentes entre 1924 y 1987.

Del resumen de la tabla 1, es evidente, como ya lo notaron los autores citados, que existe una mejor «memoria» de los siglos más recientes que se pone en evidencia por la identificación de un mayor número de eventos y un aumento en el nivel de detección (reconocimiento de eventos de intensidad moderada). Se puede también notar la ocurrencia (con excepción del S. XVII) de un evento MF cada siglo en comparación con el actual en que ocurrieron dos: 1925 y 1982-1983. Los tres primeros de estos grandes eventos estuvieron

SIGLO	Muy Fuerte (1)	Δ Muy Fuerte (2)	Fuerte (3)	Δ Fuerte (4)	Moderado (5)	Δ Moderado (6)	Δ Eventos (7)
XIX	1891	163	1884	7	1864 1844 1814 1803	20 30 11	7
			1877				7
			1871	6			6
				43			7
			1828	37			20
							16
				14			
XVIII	1728	150	1791	44	Sin Datos		12
			1747	27			(44)
			1720	19			(19)
			1701	15			(8)
XVII		150	1686	62			(19)
			1624	28			(8)
XVI	1578	150	1596	3	1574		(19)
			1593				
							(15)

Columnas 1, 3 y 5 : Años de eventos muy fuertes, fuertes y moderados.

Columnas 2, 4 y 6 : Intervalos en años entre eventos consecutivos de cada categoría.

Columna 7 : Intervalos en años entre eventos consecutivos de todas las categorías juntas.

Tabla 1 - Ocurrencias de El Niño en el período histórico (datos de Hocquenghem & Ortlieb, 1992a)

separados por lapsos largos de 150 y 163 años, mientras que los dos del presente siglo ocurrieron después de 34 y 57 años respectivamente. Del análisis estadístico del conjunto de datos de QNA, Enfield & Cid (1991) concluyen que el intervalo de recurrencia de El Niño es estacionario respecto a los cambios climáticos de largo plazo (ejemplo la Pequeña Edad Glaciar). Además, dichos autores muestran que los intervalos de recurrencia de los eventos fuertes son significativamente no estacionarios a la escala del siglo.

4. LOS REGISTROS ARQUEOLÓGICOS

Una extensión en el tiempo de los registros del fenómeno El Niño se ha obtenido aprovechando los datos de las excavaciones u observaciones arqueológicas. La «pre-historia» en el Perú se extiende desde inicios del Holoceno, así, el rango de utilidad de estos datos puede ir hasta los 10,000 años. La continuidad del registro está limitada por la continuidad de ocupación de sitios arqueológicos que es, a la escala del milenio, reducida. La precisión

cronológica está en función de los fechamientos radiocronológicos (C14, termoluminiscencia) que se tengan en el sitio y de la calibración de referencias culturales (estilos artísticos, industriales o arquitectónicos, hábitos alimenticios). Por lo anterior, los datos arqueológicos parecen ser útiles para documentar eventos muy fuertes del fenómeno El Niño, tales que hayan producido notables cambios geomorfológicos y/o ambientales cuyo impacto afectó en alto grado el normal desarrollo de las sociedades de la región tratada.

La región más estudiada en este aspecto es la costa norte del Perú donde a) el conocimiento arqueológico está bastante desarrollado y b) los efectos del fenómeno El Niño son muy claros. Uno de los primeros trabajos en documentar estos acontecimientos es el de Nials *et al.* (1979). Estos autores ponen en evidencia el denominado «Chimu flood», enorme inundación ocurrida alrededor del año 1,100 d.C., cuyos depósitos son observables en la Qda. Río Seco y en el Río Moche, situados en las cercanías de la ciudad de Trujillo (8° S). Este evento puede coincidir con aquel «Ñyamlap flood» descrito en Batán Grande (6°30'S) por Craig & Shimada (1986). Recientemente, Ucceda & Canziani (1993) han descrito al menos cuatro eventos sucesivos de erosión por lluvias (con sedimentos asociados) que afectaron el Templo de la Luna en el valle del Río Moche. En este lugar, el último evento con cronología relativa cultural, y que habría causado el abandono definitivo del sitio, parece ubicarse alrededor del año 600 d.C. El mismo tipo de fenómeno recurrente podría haber afectado el Templo de Sipán en 4 ó 5 ocasiones en los primeros tres siglos de nuestra era (S. Alva, com pers., 1992).

En la región del Alto Piura, Kaulicke (1993) describe una serie de depósitos sedimentarios y alteraciones biogeomorfológicas que interpreta como producto de lluvias asociadas a El Niño. Aunque no puede datar con precisión los varios eventos menores, este autor propone la ocurrencia de al menos tres eventos importantes entre 250-300 d.C., 550-600 d.C. y antes de 1,400 d.C. fechados culturalmente en base a pocos datos radiocarbónicos.

Las posibles correlaciones y correspondencias entre estos eventos y aquellos identificados en otros registros serán tratados más adelante.

La interpretación de inundaciones por sobrecargas fluviales, tipo « huaycos» que pueden originar represamientos y formación de terrazas (fases lluviosas), o, al contrario, de sedimentos eólicos (fases secas), que afectan restos culturales en la costa central del Perú es mucho más delicada. Datos presentados por Ibáñez & Gómez (1990) y Martínez (1991) en la cuenca media del río Rímac (12°S), Paredes & Ramos (1992) en Pachacamac (12°28'S) y por Orefici (1990) y Grodzicki (1990; 1992) en Nazca (15 S) sobre la ocurrencia de lluvias torrenciales en la costa o en las cabeceras de ríos cortos tienen por ahora validez como indicadores de cambios locales. Ya que no se conocen bien, aún para los eventos actuales, las manifestaciones de El Niño en dichas zonas, parece prematuro tratar de identificar a este fenómeno en archivos de la costa central.

5. EL REGISTRO EN LOS HIELOS CONTINENTALES

Las capas de hielos polares son conocidos archivos de climas pasados, que se caracterizan por su alta resolución (1 a 10 años) y que pueden extenderse hasta casi 150,000 años atrás (Lorius *et al.*, 1985). Las fluctuaciones paleoclimáticas ocurridas en los Andes peruanos durante el último milenio, y registradas en el casquete de hielo Quelccaya (13°56'S, 70°50'W), vienen siendo estudiadas desde hace varios años por Thompson y colaboradores (1979; 1984; 1985; 1989) y Thompson (1993).

Contrariamente al incremento de lluvias en el noroeste peruano, en el altiplano surperuano, El Niño se manifiesta frecuentemente por una disminución de precipitaciones tanto pluviales como nivales y un descenso de nivel del Lago Titicaca (Francou & Pizarro, 1987). En los núcleos de hielo del Quelccaya este fenómeno se expresa por una composición isotópica del oxígeno ($\delta^{18}O$) menos negativa, una reducción en la acumulación de hielo, una alta concentración de partículas terrígenas, y una alta conductividad (Thompson *et al.*, 1984). La calibración de la cronología de las capas anuales en los núcleos de hielo ha incluido algunos acontecimientos bien fechados históricamente como la erupción del volcán Huaynaputina en 1600 d.C.

A pesar de presentar magníficas características de registro paleoclimático, la comparación de los resultados obtenidos en el Quelccaya con los datos históricos, mencionados más arriba, no muestra una alta correlación anual (Ortlieb & Macharé, 1993). Esto parece deberse a que la precipitación del Quelccaya se origina en la Amazonia, y por lo tanto este archivo registra principalmente la influencia del sistema Atántico. Si bien los sistemas Atlántico y Pacífico están ligados, pensamos que no se puede utilizar directamente la detallada información del Quelccaya para identificar la ocurrencia del fenómeno El Niño.

6. DEPÓSITOS DE INUNDACIÓN Y EL NIÑO

Como resultado de las fuertes lluvias, asociadas a El Niño, en las zonas áridas de la costa central y norte del Perú se producen inundaciones que depositan sedimentos característicos en los valles afectados. Si bien la identificación de una unidad de inundación es factible, el mayor problema proviene de la dificultad de fechar apropiadamente cada evento. En el valle del Río Casma (9°S), Wells (1987; 1990) identificó 18 unidades sedimentarias de inundación interpretables como relacionadas a otros tantos eventos El Niño ocurridos durante el Holoceno. Gracias a fechamientos por radiocarbono y utilizando artefactos culturales, la citada autora ubica 13 de estos eventos en los últimos 3,200 años. Además, correlaciona dos de las unidades sedimentarias con eventos históricos conocidos (los de 1728 y 1791) y otra unidad, fechada en $1,330 \pm 35$ BP, con el evento Niyamlap que mencionamos en la sección Registros arqueológicos (cf. *supra*). Según el más reciente estudio de Wells (1990), la frecuencia media de ocurrencia de los eventos más fuertes de El Niño en los últimos 7,000 años (es decir desde que el mar alcanzó su máximo nivel holocénico) es del orden de un evento cada 1,000 años. Una extensión de las ocurrencias de este fenómeno hacia el pasado, daría un centenar de eventos en los últimos 40,000 años, según la misma fuente. Una conclusión de estos estudios es la aparente permanencia del fenómeno El Niño en contextos climáticos distintos como son los de una época glacial (Pleistoceno superior) y de una época interglacial (como la actual) y durante la transición entre ellas. Este aspecto es discutido más adelante en relación a datos biológicos y a los modelos teóricos.

7. CORDONES LITORALES: NIÑOS MUY FUERTES O SITUACIONES TIPO EL NIÑO

En unas pocas localidades de la costa norte y central del Perú, se observan secuencias de cordones de playa formados en planicies litorales que traducen una progradación de la costa durante el Holoceno. Varios trabajos recientes han propuesto la hipótesis que dichos rasgos litorales se habrían formado gracias a las condiciones climáticas y marinas asociadas

a eventos El Niño en el pasado (Richardson, 1983; Sandweiss, 1986; Rollins *et al.*, 1986; Ortlieb *et al.*, 1989a; 1993; Macharé & Ortlieb, 1990; Fournier *et al.*, 1990; Ortlieb & Macharé, 1993). El drástico aumento de pluviosidad, la elevación del nivel del mar y una actividad reforzada del oleaje, variaciones típicas de El Niño, permiten proponer la siguiente secuencia de procesos: a) Fuerte erosión de laderas, b) Incremento de actividad de la red de drenaje (incluyendo las quebradas normalmente secas), c) Suministro de grandes volúmenes de sedimentos detríticos al mar, d) Redistribución hacia la costa de la parte de los sedimentos no arrastrada mar adentro e) Sedimentación de estos materiales en la playa (anteplaya o trasplaya, según el caso) por el oleaje.

Tres de las secuencias de cordones litorales (Chira, Colán y Santa) están descritas en los trabajos antes citados. Dataciones por radiocarbono indican que estos rasgos se han formado en los últimos 3,500 a 4,500 años y en promedio un cordón cada 4 a 5 siglos. Las incertidumbres en cuanto a la edad precisa provienen de la aplicación del método radiocarbónico a conchas y carbón detríticos incluidos en o cubriendo los cordones, lo que ha sido ya discutido por Fournier *et al.* (1990) (ver también Ortlieb *et al.*, 1993, este volumen).

Craig (1992) ha discutido el hecho que los cordones litorales puedan ser testigos de fuertes eventos de El Niño expresando que en las costas del Perú y Chile, se presentan fuertes oleajes poco estudiados, pero que serían el resultado de sistemas de tormentas distantes en el Pacífico suroriental. Estos oleajes, sin ninguna relación con El Niño, poseen suficiente energía para formar cordones y lo harían en cualquier época. Esta propuesta, sin embargo, no explica el carácter espasmódico de la progradación, el número regular (8 a 9) de cordones en cada secuencia, ni el hecho que en el sur del Perú no se presenten estos conspicuos rasgos litorales.

Considerando las dimensiones, a veces bastante grandes de los cordones (ejemplo Chira), hemos propuesto que cada cordón se puede formar por un evento extraordinariamente fuerte de El Niño que podría ocurrir unas pocas veces cada milenio (Ortlieb *et al.*, 1989a; 1989b; 1993). Se ha pensado que el gran evento El Niño de 1982-1983 sería un ejemplo de estos eventos extraordinarios, aunque la progradación litoral fue ese año muy pequeña (Woodman & Mabres, 1993). Una explicación alternativa para el gran volumen de sedimentos redistribuidos es considerar la hipótesis de eventos Super-ENSO propuesta por Mörner (1985). Estos Super-ENSO habrían ocurrido una decena de veces durante el Holoceno, habrían tenido duraciones de algunos decenios a un siglo y medio, y serían la respuesta regional a marcados cambios globales en el balance de energía y masa debidos al intercambio de momento angular entre la tierra sólida y la hidrósfera (Mörner, 1993). Una propuesta similar, de situaciones «tipo El Niño» de larga duración, ha sido expresada por Martin *et al.* (1992).

Por otro lado, Moseley *et al.* (1981; 1992) también han sustentado la ocurrencia de eventos El Niño extremadamente fuertes en los últimos siglos (que ellos llaman Mega-Niños). Además, muchos de ellos fueron precedidos por grandes sismos y dieron como consecuencia profundas modificaciones en el paisaje y en las sociedades, en lo que esos autores denominan «Ciclos de Alteración Ambiental Radical» (REAC, de sus siglas en inglés).

En conclusión, las secuencias de cordones litorales del norte y centro del Perú parecen constituir archivos que han registrado discontinuamente eventos El Niño muy fuertes o

Super-ENSOs de larga duración ocurridos en la segunda mitad del Holoceno. La precisión del fechamiento es aún baja debido a las limitaciones de aplicación del método C14 a moluscos marinos y fragmentos de carbón sedimentados.

8. ALTERACIONES BIOLÓGICAS Y SU REGISTRO

Como efecto de los recientes eventos de El Niño, la flora y la fauna litoral de la costa peruana han sido temporal y a veces profundamente alteradas (Barber & Chávez, 1983; Arntz *et al.*, 1985; CONCYTEC, 1985). Entre estas alteraciones, ciertas reacciones de moluscos marinos por «stress» o adaptación han quedado grabadas en las partes duras de estos organismos conservadas en depósitos sedimentarios (naturales o antrópicos): a) las migraciones temporales se pueden obtener de la distribución geográfica anormal de ciertos taxones, b) se han reconocido deformaciones morfológicas y cambios de composición química que reflejan modificaciones ambientales.

En base a una serie de trabajos anteriores, Díaz & Ortlieb (1993) han propuesto una tabla que resume las especies de moluscos litorales más sensibles a los cambios ecológicos ocasionados durante los eventos El Niño contemporáneos. También estos autores han compilado la distribución «normal» de dichos moluscos en las provincias faunísticas Panameña (al norte de 4°S) y Peruano-Chilena (al sur de 6°S). El análisis de estos resultados ha permitido ofrecer explicaciones alternativas, que incluyen la ocurrencia de El Niño o de condiciones similares, a anomalías de distribución de malacofauna observadas en conchales arqueológicos y en otros depósitos litorales de la costa norte y sur del Perú (Ortlieb *et al.*, 1990). Si bien estos resultados no constituyen en sí mismos aún un registro continuo o discontinuo del fenómeno El Niño, aparecen como complemento muy útil para el estudio de dichos eventos en el pasado.

Por otro lado, la investigación dendrocronológica en el Perú se ha iniciado recientemente. Los estudios han empezado por la identificación de especies de árboles cuyo anillado permita localizar las anomalías o «señales» ligadas a fases de fuertes lluvias y también por la medición o control de la velocidad actual de crecimiento de dichas especies (Rodríguez, 1992; Rodríguez *et al.*, 1993). Desafortunadamente, la región norte del Perú, donde El Niño presenta sus mayores efectos, es desértica y con pocas especies arbóreas. Los primeros resultados ponen en evidencia dificultades para una clara identificación de eventos lluviosos, ligadas tal vez a la irregularidad de velocidad de crecimiento. Finalmente hay que notar que aún no se disponen de fechamientos radiocarbónicos publicados de esta zona. Registros dendrocronológicos de El Niño, de calidad variable, se han obtenido en zonas extratropicales (Lough & Fritts, 1985; 1990; Michaelson, 1989).

9. SEDIMENTOS DE COSTAFUERA: REGISTRO DE LAS VARIACIONES DEL OCÉANO COSTERO

La zona marina costafuera, suficientemente cercana para ser sensible a los sedimentos provenientes de la costa y suficientemente lejana para estar fuera del alcance de la erosión, constituye un archivo potencial de las variaciones de las condiciones oceanográficas asociadas a El Niño. Para ello, es necesario una combinación de velocidad de sedimentación alta y estable, una señal climática significativa y la subsecuente preservación de la secuencia. Kemp

& Brodie (1992) han iniciado el análisis de dichas condiciones de la margen peruana y el estudio de muestras de sedimentos varvados. Otro método desarrollado recientemente consiste en calcular el grado de insaturación del alquenon (U_{37}^k) para determinar las variaciones de la temperatura oceánica, con una resolución anual (Mc Caffrey, *et al.*, 1990; Kennedy & Brassell, 1992). Estos métodos son por el momento prospectivos y su desarrollo futuro deberá proporcionar registros continuos de los parámetros oceánicos sensibles al fenómeno El Niño.

10. CORRELACIONES Y DISCUSIÓN

Como se ha podido apreciar, cada uno de los archivos que se han utilizado para identificar eventos interpretables como El Niño varían en extensión de registro y en precisión. La figura 2 resume estas características. En el Perú, hasta ahora se han desarrollado mayormente investigaciones en archivos instrumentales, históricos, núcleos de hielo y cordones litorales. Por su parte, los restos arqueológicos, depósitos de inundación y anillado de árboles se han explotado sólo parcialmente, quedando a penas iniciada la exploración de sedimentos lacustres y marinos, los depósitos de guano, las señales biológicas y biogeoquímicas marinas y las edafogénesis, entre otros. Los resultados obtenidos hasta ahora son difíciles a ser correlacionados, por lo tanto la secuencia que se presenta a continuación no es más que un esbozo que toma en cuenta muchos de tales resultados y algunas hipótesis.

Utilizando el concepto de teleconexión, se han estudiado las manifestaciones y efectos del fenómeno ENSO en diferentes regiones del globo (Bjerknes, 1969; Horel & Wallace, 1981; Ropelewski & Halpert, 1987). Bajo este mismo punto de vista, varios trabajos han presentado reconstrucciones de la historia de eventos ENSO en el pasado empleando datos de archivos tales como los corales ecuatoriales del Pacífico (Isdale, 1984; Lea *et al.*, 1989; Linn *et al.*, 1990; Cole & Fairbanks, 1990; Shen *et al.*, 1992), los sedimentos varvados de las cuencas de Santa Barbara (California) y Guaymas (México) (Anderson *et al.*, 1990; Baumgartner *et al.*, 1991), los árboles del oeste norteamericano (Michaelsen, 1989; Lough & Fritts, 1990), las diatomáceas del Lago Yambo en el Ecuador (Steinitz *et al.*, 1993) o las crecidas del Nilo (Quinn, en prensa y 1993). En este artículo, nos hemos restringido a analizar los registros que se han estudiado, o están en curso de estudio, en el Perú, a fin de buscar una primera correlación interna en una región pequeña pero particularmente sensible al fenómeno El Niño.

Las más antiguas ocurrencias de condiciones similares a las de El Niño en el Perú son aquellas sugeridas por el registro de inundaciones del valle de Casma (Wells, 1990): un centenar de «eventos» en los últimos 40,000 años, sugiriendo muy groseramente la recurrencia de un evento cada 400 años. Sin embargo, hay una ausencia total de control cronológico y la evidencia sedimentaria continental es discontinua y relativamente débil. Además, se debe notar que la mayor velocidad de rotación que debió tener la tierra durante la época glacial -por menor carga oceánica en la zona ecuatorial- podría haber impedido la ocurrencia de un fenómeno como El Niño (Mörner, 1993). Si aceptamos que las condiciones ENSO solamente pueden ocurrir durante épocas interglaciares, no debe olvidarse las ocurrencias de *Chione broggi*, molusco característico de la Zona de Transición de Paita, que han sido reportadas en latitudes más meridionales que su distribución actual, en depósitos que datan del último interglaciar (120,000 años) por Ortlieb *et al.* (1990).

Durante la última transición glacial-interglacial, entre 13,500 a 9,500 años, la Tierra sufrió una deceleración debida al rápido aumento del nivel del mar lo cual, adicionado a grandes intercambios de momento angular entre la Tierra sólida y la hidrósfera, dio las

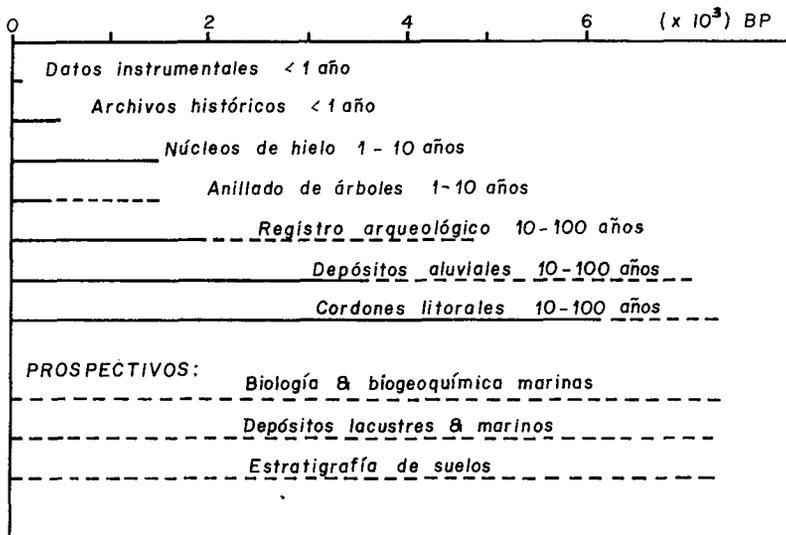


Figura 2.- Archivos en que pueden quedar registrados los eventos El Niño, como ha sido discutido en el texto. Se muestra la extensión probada (línea continua) y probable (línea discontinua) de cada registro. También se da la resolución de cada uno de ellos.

condiciones para la ocurrencia de «Mega ENSOs» de menor frecuencia pero de mayor amplitud que eventos El Niño, aun aquellos muy fuertes conocidos actualmente (Mörner, 1993).

Es solamente a partir de la segunda mitad del Holoceno, que la edad de los eventos empieza a estar enmarcada por dataciones radiocarbónicas: son aquellos eventos inferidos de los cordones litorales y por los datos arqueológicos (Fig. 3). Ortlieb *et al.* (1993) presentan y discuten una gama de edades probables para la formación de ocho cordones litorales en Chira y en Colán, que se escalonan entre 4,500 B.P. (3,140 años a.C.) e inicios del S. XVII. Dentro de esta misma trama cronológica, es posible tratar de ubicar a los eventos reportados por otros estudios geológicos y arqueológicos antes citados. Así, el sexto de los eventos de inundación en Casma: $1,240 \pm 55$ a.C. (Wells, 1990) cae en el rango de edad del cordón litoral 5/N (5 de Colán asociado con el cordón N de Chira); el siguiente evento de inundación a 16 ± 163 d.C. puede corresponder a la formación de los cordones 3/O ó 4/N. El evento de fuerte modificación del paisaje ocurrido entre 500 y 600 d.C. (Kaulicke, 1993) que es correlacionable con el fenómeno que propició el abandono definitivo del Templo de la Luna (Uceda & Canziani, 1993) está dentro del rango de edad del par de cordones 2/P. En el mismo orden de ideas, se ha correlacionado el «Ñyamlap flood», conocido por los arqueólogos, con una inundación ocurrida en Casma luego del año $1,330 \pm 35$ (Wells, 1990), anomalía que podría estar registrada en Colán por la progradación de la línea de costa hasta la conspicua línea de conchas (Ortlieb *et al.*, 1993).

Sin una brecha importante de tiempo, las fechas más recientes dadas por las dataciones C14 del párrafo anterior empalman con el registro histórico, en el siglo XVI. Como hemos analizado anteriormente, los estudios recientes han permitido afinar estos datos históricos

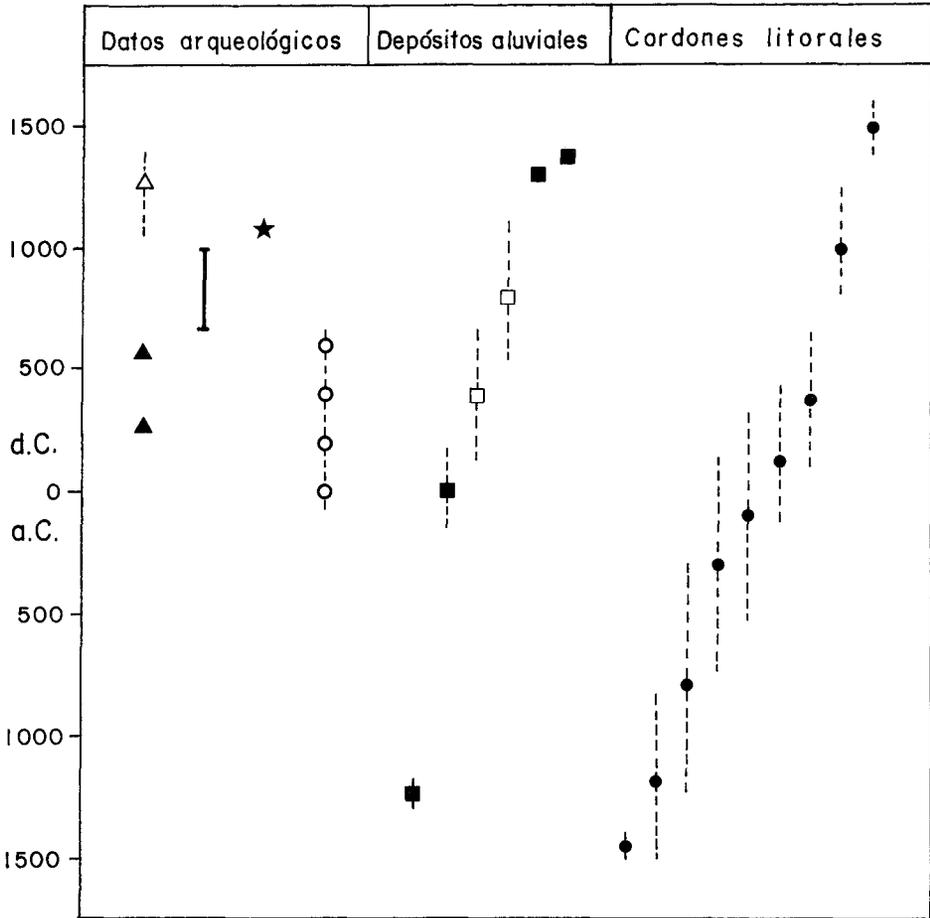


Figura 3. Esbozo cronológico de la ocurrencia de eventos lluviosos en la costa norte del Perú entre 1,500 a.C. y 1,500 d.C., según datos arqueológicos y geológicos. Triángulos: región Alto Piura (Kaulicke, 1993); la edad del más reciente es indeterminada pero es anterior al 1,400 d.C. Barra llena: intervalo de confianza durante el cual se produjo la inundación de Batán Grande (Craig & Shimada, 1986). Estrella: Probable edad del "Chimu flood" (Nials et al., 1979). Estas dos inundaciones han sido relacionadas con el legendario "Nyamlap flood". Círculos vacíos: fases lluviosas en Huaca de la Luna, sin control ¹⁴C (Uceda & Canziani, 1993). Cuadrados: eventos aluviales en el valle de Casma, los 2 cuadrados vacíos no tienen fechas ¹⁴C. Círculos llenos: edades medias e intervalos de confianza de formación de cordones litorales de Colán y Chira (Ortlieb et al., 1993). Los márgenes de incertidumbre de los fechados por radiocarbono todavía impiden correlaciones firmes entre estos distintos registros de eventos mayores del fenómeno El Niño en el norte peruano.

hasta obtener un registro bastante confiable para los eventos muy fuertes de El Niño. El problema de la identificación inequívoca de años con eventos El Niño, años «normales» y años con condiciones «anti-Niño» se presenta en toda su magnitud cuando se analizan los registros instrumentales del presente siglo.

Como conclusión, se puede notar que aún existe bastante material por ser analizado en los diferentes archivos que hemos presentado. Para la obtención de registros relativamente continuos, se debe insistir en extraer núcleos de sedimentos lacustres tanto en la zona costera como en el altiplano. Se deben re-evaluar los cortes arqueológicos tanto de monumentos como de ocupaciones diversas de sitios con el fin de hallar señales de alguna de las manifestaciones de El Niño. Al mismo tiempo deben revisarse los contenidos faunísticos de los conchales naturales y artificiales, cuyos cambios en la trama espacio-tiempo indiquen variaciones asociadas a ENSO. Evidentemente, la cronología deberá reposar sobre un gran número de dataciones por radiocarbono (en la medida de lo posible con el método AMS, con espectrometría de masa) para reducir los márgenes de incertidumbre sobre las fechas. También parece apropiado remarcar que aún es necesaria mayor investigación sobre las variaciones del clima actual, en particular acerca de los modelos de circulación atmosférica durante los eventos El Niño, a fin de caracterizar adecuadamente los patrones de precipitación, presión y temperatura en cada región, lo que aún es discutido. Por lo tanto, insistimos que el avance en la reconstrucción detallada de las ocurrencias del fenómeno El Niño en el Perú requiere ineludiblemente un tratamiento multidisciplinario.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Convenio de cooperación científica suscrito entre el Instituto Geofísico del Perú y el ORSTOM (UR 1C). El Institut Français d'Études Andines brindó su apoyo en la parte final del trabajo. Los autores expresan su agradecimiento a A. Martínez y a P. Lagos, quienes revisaron una versión anterior del manuscrito y aportaron sugerencias para mejorarlo. Es una contribución a los proyectos PICG 274 Evolución cuaternaria de Costas y 281 Climas cuaternarios de América del Sur.

Referencias citadas

- ANDERSON, R.Y., LINSLEY, B.K. & GARDNER, J.V., 1990 - Expression of seasonal and ENSO forcing in climatic variability at lower than ENSO frequencies: evidence from Pleistocene marine varves of California. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **78**: 287-300.
- ARNTZ, W.E., LANDA, A. & TARAZONA, J., 1985 - «El Niño» su impacto en la fauna marina. *Boletín extraordinario Instituto del Mar del Perú*, 222p.
- BARBER, R.T. & CHÁVEZ, F.P., 1983 - Biological consequences of El Niño. *Science*, **222**: 1203-1210.
- BAUMGARTNER, T.R., FERREYRA-BATRINA, V., COWEN, J. & SOUTAR, A., 1991 - Reconstruction of 20th century varve chronology from the central Gulf of California. in: *The Gulf and Peninsular Province of the Californias* (J.P. Dauphin & B. Simoneit, eds.): 603- 616, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 47.
- BJERKNES, J., 1969 - Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, **97**(3): 163-172.
- BONNOT, D., 1982 - Néotectonique et tectonique active de la Cordillère Blanche et du Callejon de Huaylas (Andes nord-péruviennes). Thèse doctorat, Université Paris XI, Orsay, 96p.
- CAVIEDES, C.N. & WAYLEN, P.R., 1987 - El Niño y crecidas anuales en los ríos del norte del Perú. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, **26**(1-2): 1-19.
- CLAPPERTON, C.M., 1972 - The Pleistocene moraine stages in west central Peru. *Journal of Glaciology*, **11**: 255-264.
- CLAPPERTON, C.M., 1983 - The glaciation of the Andes. *Quaternary Science Reviews*, **12**: 83-155.

- COLE, J.E. & FAIRBANKS, R.G., 1990 - The Southern Oscillation record in the $\delta^{18}O$ of corals from Tarawa atoll. *Paleoceanography*, 5: 669-683.
- CONCYTEC, 1985 - *Ciencia, tecnología y agresión ambiental: El Fenómeno El Niño*, 692p., Lima.
- CRAIG, A.K., 1992 - Peruvian beach ridges: are they a reliable ENSO indicator? in: *Paleo ENSO records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 55-56, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- CRAIG, A.K. & SHIMADA, I., 1986 - El Niño flood deposits at Batan Grande, northern Peru. *Geoarchaeology*, 1(1): 29-38.
- DESER, C. & WALLACE, J.M., 1987 - El Niño events and their relation to the Southern Oscillation: 1925-86. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13): 14189-14196.
- DÍAZ, A. & ORTLIEB, L., 1993 - El fenómeno El Niño y los moluscos de la costa peruana. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 159-177
- DOLLFUS, O., 1965- *Les Andes centrales du Pérou et leurs piedmonts. Étude géomorphologique*, 404p., Lima: Travaux de l'Institut Français d'Études Andines, Tome 10.
- ENFIELD, D.B., 1987 - Progress in understanding El Niño. *Endeavour*, 11(4): 197-204.
- ENFIELD, D.B. & CID, L., 1991 - Low frequencies changes in El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 4(12): 1137-1146.
- ENGEL, F., 1981 - Posibles aportes de los estudios prehistóricos a la ciencia paleoclimática. *Boletín de Lima*, 3(13): 21-30.
- FOURNIER, M., MACHARÉ, J. & ORTLIEB, L., 1990 - Fechamiento por radiocarbono de cordones litorales holocenos de Colán, noroeste peruano, y cronología de eventos mayores del fenómeno El Niño, 7p., 2da Reunión anual Proyecto IGCP 281, Medellín: EAFIT.
- FRANCOU, B. & PIZARRO, L., 1987 - El Niño y la sequía en los altos Andes Centrales (Perú y Bolivia). *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 14: 1-18.
- GRODZICKY, J., 1990 - Las catástrofes ecológicas en la Pampa de Nazca a fines del Holoceno y el fenómeno El Niño. in: *El Fenómeno El Niño a través de las fuentes arqueológicas y geológicas* (J. Grodzicky, ed.): 66-101, Varsovia: Misión Arqueológica Andina.
- GRODZICKY, J., 1992 - Los geoglifos de Nazca según algunos datos geológicos. in: *Paleo ENSO Records international symposium Extended abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 119-141, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- HAMILTON, K. & GARCÍA, R.R., 1986 - El Niño-Southern Oscillation events and their associated midlatitude teleconnections, 1531-1841. *Bulletin American Meteorological Society*, 67(11): 1354-1361.
- HOCQUENGIEM, A.-M. & ORTLIEB, L., 1992a - Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 21(1): 197-278.
- HOCQUENGIEM, A.-M. & ORTLIEB, L., 1992b - Historical records of El Niño events in Peru (XVI-XVII centuries): the Quinn *et al.* (1987) chronology revisited. in: *Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 143-149, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- HOREL, J.D. & WALLACE, J.M., 1981 - Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 109(1): 813-829.
- IBAÑEZ, M. & GOMEZ, 1990 - Los desastres torrenciales en la cuenca del Rímac. *Boletín de Lima*, 68: 43-62.
- ISDALE, P., 1984 - Fluorescent bands in massive corals record centuries of coastal rainfall. *Nature*, 310: 578-579.
- KAULICKE, P., 1993 - Evidencias paleoclimáticas en asentamientos del Alto Piura durante el período intermedio temprano. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 283-311.
- KENNEDY, J.A. & BRASSEL, S.C., 1992 - Molecular records of twentieth-century El Niño events in laminated sediments from the Santa Barbara Basin. *Nature*, 357: 62-64.
- KEMP, A.E.S & BRODIE, R.A., 1992 - The record of variability from laminated sediments of the Peru coastal upwelling zone. American Geophysical Union 1992, Ocean Science Meeting, *EOS*, 73 (51 supplement): 53.
- LEA, D.W., SHEN, G.T. & BOYLE, E.A., 1989 - Coralline barium records temporal variability in equatorial Pacific upwelling. *Nature*, 340: 373-376.
- LINN, L.J., DELANEY, M.L. & DRUFFEL, E.R.M., 1990 - Trace metals in contemporary and seventeenth-century Galapagos coral: record of seasonal and annual variation. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 54: 387-394.
- LOUGH, J.M. & FRITTS, H.C., 1985 - The Southern Oscillation and tree rings: 1660-1961. *Journal of Climatology and Applied Meteorology*, 24: 1069-1090.

- LOUGH, J.M. & FRITTS, H.C., 1990 - Historical aspects of El Niño/Southern Oscillation: information from tree rings. *in: Global Ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation* (P.W. Glynn, ed.): 285-321, Elsevier Oceanographic series, 52.
- LORIUS, C., JOUZEL, J., RITZ, C., MELIVART, L., BARKOV, N.T., KOROTKEVITCH, Y.S. & YOTLIKOV, V.M., 1985 - A 150,000 year climatic record from Antarctic ice cap. *Nature*, 316: 591-596.
- MACHARÉ, J. & ORTLIEB, L., 1990 - Global change studies in northwestern Peru: a high potential for records of former El Niño events. *Revista Geofísica (México)*, 32: 153-171.
- MARTIN, L., ABSY, M., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., TURQ, B. & VOLKMER-RIBEIRO, M., 1992 - Some climatic alterations recorded in South America during the last 7000 years might be expounded by long-term El Niño-like conditions. *in: Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 187-192, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- MARTÍNEZ, A., 1991 - Loshuaycos en Chosica y Crisis climáticas. *Edificando*, 2: 37-53, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- MCCAFFREY, M.A., FARRINGTON, J.W. & REPETA, D.J., 1990 - The organic geochemistry of the Peru margin surface sediments. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 54: 1671-1682 (Part I).
- MCCAFFREY, M.A., FARRINGTON, J.W. & REPETA, D.J., 1990 - The organic geochemistry of the Peru margin surface sediments. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 55: 483-498 (Part II).
- MICHAELSEN, J., 1989 - Long-period fluctuation in El Niño amplitude and frequency reconstructed from tree rings. *in: Aspects of climatic variability in the Pacific and western Americas* (D.H. Peterson, ed.): 69-74, American Geophysical Union, Geophysical Monographs, 55.
- MÖRNER, N.-A., 1985 - Possible Super-ENSO in the past. Abstracts IAMAP/IAPSO meeting, 31, Honolulu.
- MÖRNER, N.-A., 1993 - Present El Niño-ENSO events and past Super-ENSO events effects of changes in the earth's rate of rotation. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 3-12
- MOSELEY, M.E., FELDMAN, R.A. & ORTLOFF, C.R., 1981 - Living with crises, human perception of process and time. *in: Biotic crises in ecological and evolutionary time* (M.H. Nitecki, ed.): 231-267, New York: Academic Press.
- MOSELEY, M.E., TAPIA, J., SATTERLEE, D.R. & RICHARDSON, J.B., 1992 - Flood events, El Niño events, and tectonic events. *in: Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 107-112, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- NIALS, F.L., DEEDS, E.R., MOSELEY, R.E., POZORSKI, S.G., POZORSKI, T. & FELDMAN, R.A., 1979 - El Niño: the catastrophic flooding of coastal Peru. *Field Museum Natural History Bulletin*, 50(7): 4-14 (Part 1).
- NIALS, F.L., DEEDS, E.R., MOSELEY, R.E., POZORSKI, S.G., POZORSKI, T. & FELDMAN, R.A., 1979 - El Niño: the catastrophic flooding of coastal Peru. *Field Museum Natural History Bulletin*, 50(8): 4-10 (Part 2).
- OREFICI, G. 1990 - Evidencias arqueológicas de las influencias de los cambios climáticos en la evolución de la cultura Nazca. *in: El Fenómeno El Niño a través de las fuentes arqueológicas y geológicas* (J. Grodzicki, ed.): 102-118, Varsovia: Misión Arqueológica Andina.
- ORTLIEB, L., 1991 - Una bibliografía relativa a las interacciones oceano-climáticas y al fenómeno El Niño en el Perú. *in: Resúmenes y Contribuciones 3ra Reunión Anual Proyecto PICG 281* (J. Macharé & L. Ortlieb, eds.): 113-156; Lima: CONCYTEC-MAE.
- ORTLIEB, L. & HOCQUENGHEM, A.-M., 1991 - El registro histórico de eventos El Niño: una revisión en curso de la cronología propuesta por Quinn *et al.* (1987). *in: Resúmenes y Contribuciones 3ra Reunión Anual Proyecto PICG 281* (J. Macharé & L. Ortlieb, eds.): 57-62; Lima: CONCYTEC-MAE.
- ORTLIEB, L. & MACHARÉ, J., 1993 - Former El Niño events: Records from western South America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Global and Planetary Change*, 7 (en prensa).
- ORTLIEB, L., MACHARÉ, J., FOURNIER, M. & WOODMAN, R., 1989a - Late Holocene beach ridges sequences in northern Peru: did they register the strongest paleo-El Niños? *in: Abstract volume International Symposium Global Changes in South America during the Quaternary*: 206-209; Sao Paulo.
- ORTLIEB, L., MACHARÉ, J., FOURNIER, M. & WOODMAN, R., 1989b - La secuencia de cordones litorales de Colán, Piura: un registro del fenómeno «El Niño» en el Holoceno superior. *Boletín Sociedad Geológica del Perú*, 80: 107-121.
- ORTLIEB, L., DEVRIES, T. & DÍAZ, A., 1990 - Ocurrencia de *Chione broggi* (Pilsbry & Olsson, 1943) (Pelecypoda) en depósitos litorales cuaternarios del sur del Perú: implicaciones paleoceanográficas. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 81: 127-134.
- ORTLIEB, L., FOURNIER, M. & MACHARÉ, J., 1993 - Beach-ridge series in northern Peru: chronology, correlation and relationship with major late Holocene El Niño events. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 191-212

- PAREDES, P. & RAMOS, J., 1992 - Evidencias arqueológicas del «Niño» en las excavaciones de Pachacamac. *in: Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 225-233, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- PETERSEN, G., 1980 - *Evolución y desaparición de las altas culturas Paracas-Cahuachi (Nazca)*, 86p., Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- PHILANDER, S.G.H., 1989 - *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*, 293p., International Geophysical series, San Diego: Academic Press.
- QUINN, W.H., (in press) - A study of Southern Oscillation-related climatic activity for A.D. 622-1990 incorporation Nile River flood data. *in: Paleoclimatic aspects of El Niño-Southern Oscillation* (H.F. Diaz & V. Markgraf, eds.), Cambridge: Cambridge University Press.
- QUINN, W.H., 1993 - The large-scale ENSO events, the El Niño and other important regional features. *Bulletin Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 13-34.
- QUINN, W.H., NEAL, W.T. & ANTUNEZ DE MAYOLO, S.E., 1987 - El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13): 14449-14461.
- QUISPE, J., 1992 - La temperatura del mar en Puerto Chicama y el IOS 1925-1991. *in: Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 267-272, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- RICHARDSON, J.B., 1983 - The Chira beach ridges, sea level changes, and the origins of maritime economies on the Peruvian coast. *Annales of the Carnegie Museum*, 52(11): 265-275.
- RODBELL, D.T., 1992 - Lichenometry and radiocarbon dating of Holocene glaciation, Cordillera Blanca, Peru. *The Holocene*, 2(1):19-29.
- RODRÍGUEZ, R., 1992 - Estudio dendrocronológico en la costa norte del Perú, Región Grau. *in: Impacts of the 1982-83 and earlier El Niño events on the coast of northern Peru* (J. Macharé et al., eds.): 45-66, Lima:ORSTOM-CONCYTEC.
- RODRÍGUEZ, R., MABRES, A., WOODMAN, R., BALSLEY, B. & PHIPPS, R., 1993 - Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera norte del Perú, para tener un registro pasado del fenómeno El Niño. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 267-281.
- ROLLINS, H.B., RICHARDSON, J.B. & SANDWEISS, D.H., 1986 - The birth of El Niño: geoarcheological evidence and implications. *Geoarcheology*, 1(1): 3-15.
- ROPELEWSKI, C.C. & HALPERT, M.S., 1987 - Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115: 1606-1626.
- SALO, J.S., KALLIOLA, R., HAKKINEN, I., MAKINEN, Y., NIEMELA, P., PUHAKKA, M. & COLEY, P.D., 1986 - River dynamics and the diversity of the Amazon lowland forest. *Nature*, 322: 254-258.
- SANDWEISS, D.H., 1986 - The beach ridges at Santa, Peru: El Niño, uplift and prehistory. *Geoarcheology*, 1(1): 17-28.
- SCOR, 1983 - *Prediction of El Niño*. Scientific Committee of Oceanic Research, Working Group 55. Proceedings, 19: 47-51, Paris.
- SELTZER, G.O., 1990 - Recent climate history and paleoclimate of the Peruvian-Bolivian Andes. *Quaternary Science Reviews*, 9: 137-152.
- SHEN, G.T., LINN, L.J., PRICE, M.T., COLE, J.E., FAIRBANKS, R., LEA, D.W. & MC CONNAUGHEY, T.A., 1992 - Palaeochemistry of reef corals: Historical variability of the Tropical Pacific. *in: Paleo ENSO Records international symposium Extended Abstracts* (L. Ortlieb & J. Macharé, eds.): 287-294, Lima: ORSTOM-CONCYTEC.
- STEINITZ-KANNAN, M., NIENABER, M.A. & RIEDINGER, M.A., 1993 - Fossil diatoms of the Lake Yambo, Ecuador. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 227-241.
- THOMPSON, L.G., 1993 - Reconstructing the Paleo ENSO records from tropical and subtropical ice cores. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 65-83.
- THOMPSON, L.G., HASTENRATH, S. & MORALES ARNAO, B., 1979 - Climatic ice core records from the Quelccaya tropical ice cap. *Science*, 203(4386): 1240-1243.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E. & MORALES ARNAO, B., 1984 - El Niño Southern Oscillation events recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice cap, Peru. *Science*, 226: 50-56.
- THOMPSON, L.G., MOSLEY-THOMPSON, E., BOLZAN, J.F. & KOCI, B.R., 1985 - A 1500-year record of tropical precipitation and ice cores from the Quelccaya ice cap, Peru. *Science*, 229: 971-973.
- THOMPSON, L.G. & MOSLEY-THOMPSON, E., 1989 - One-half millenia of tropical climate variability as recorded in the stratigraphy of the Quelccaya ice cap, Peru. *in: Aspects of climate variability in the Pacific and the western Americas* (D.H. Patterson, ed.):15-31, American Geophysical Union, Geophysical Monograph, 55.

- UCEDA, S. & CANZIANI, J., 1993 - Evidencias de grandes precipitaciones en diversas etapas constructivas de la Huaca de la Luna, costa norte del Perú. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 313-343.
- USSELMANN, P., 1989 - Evolución del clima y sus consecuencias a lo largo del litoral pacífico de los Andes centrales desde el fin de la última glaciación. *B.A.R. International series*, 503: 237-246.
- WELLS, L.E., 1987 - An alluvial record of El Niño events from northern coastal Peru. *Journal of Geophysical Research*, 92(C13): 14463-14470.
- WELLS, L.E., 1990 - Holocene history of the El Niño phenomenon as recorded in flood sediments of northern coastal Peru. *Geology*, 18: 1134-1137.
- WOODMAN, R. & MABRES, A., 1993 - Formación de una nueva línea de costa en Máncora durante el Niño de 1983. *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 22(1): 213-226.
- WRIGHT, H.E., 1983 - Late Pleistocene glaciation and climate around the Junin Plain, central Peruvian highlands. *Geografiska Annaler*, 65A: 35-43.
- WRIGHT, H.E., 1984 - Late glacial and the Late Holocene moraines in the Cerros Cuchpanga, central Peru. *Quaternary Research*, 21: 275-285.