

LOS VERTEBRADOS DEL NEOGENO DE LA COSTA SUR DEL PERÚ: Ambiente Sedimentario y Condiciones de Fosilización

René Marocco*
Christian De Muizon**

Resumen

Los restos de vertebrados marinos son muy abundantes en las Formaciones Pisco y Caballas de la costa sur del Perú [selacios, teleósteos, reptiles, aves, mamíferos (cetáceos, carnívoros, edentados)]. Estos restos han contribuido al establecimiento de una estratigrafía, pues se reparten en siete niveles (seis en la Formación Pisco, uno en la Formación Caballas) cuya edad abarca desde el Mioceno inferior hasta el tope del Plioceno inferior. Los vertebrados presentan generalmente una preservación excepcional; los esqueletos completos o subcompletos son muy comunes.

El estudio sedimentológico y paleontológico (tafonomía, biología) demuestra que los vertebrados se depositaron en un ambiente de playa. Tres tipos de condiciones de orilla del mar han sido definidos:

- playas protegidas, donde se forman lumaquelas con conchas poco fragmentadas, a veces en posición de vida. Los esqueletos son, en general, completos y asociados o ligeramente disociados;
- playas agitadas con lumaquelas de conchas fragmentadas y huesos aislados.
- arrecifes donde las lumaquelas y los huesos son siempre muy fragmentados.

Los niveles con vertebrados no presentan estructuras tidales de flujo y reflujo, indicando que las mareas eran de poca amplitud. El ambiente deposicional, de muy poca profundidad (0 a 5 m), corresponde a la zona supra a intertidal.

La presencia de numerosos esqueletos asociados es indicadora de un enarenamiento muy rápido de los cadáveres (algunos días) que puede explicarse más por la acción de las olas que por la importancia de la sedimentación. En el caso contrario, los huesos de los animales estarían disociados por los predadores.

La biología de las ballenas (que se reproducen generalmente en aguas costaneras), de los abundantes carnívoros marinos y de las aves (que son estrictamente dependientes de la costa por su reproducción) comprueban el ambiente de playa. Por otra parte, el edentado de la Formación Pisco es un animal que no podía nadar (o casi) y que comía algas, pues la costa peruana era desértica en el Neogeno. Dependiente del continente por su locomoción y del mar por su alimentación, este animal era obligado de vivir en la misma costa.

En conclusión, los vertebrados de las Formaciones Pisco y Caballas se fosilizaron en un ambiente de playa, sea varados a la playa, sea en la zona intertidal de pocos metros de profundidad.

* Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM) 213, rue Lafayette, 75480 PARIS cedex 10, France; y Mission ORSTOM, Apartado 6596, CCI, QUITO, Ecuador.

** Institut de Paléontologie, UA 12 CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle, 8, rue Buffon, 75005 PARIS, France.

ORSTOM Fonds Documentaire:

09 MAI 1990

N° : 30.044 ex-1

Cote : B P181 M

Résumé

Les fossiles de vertébrés marins sont très abondants dans les Formations Pisco et Caballas de la côte sud du Pérou [sélaciens, téléostéens, reptiles, oiseaux, mammifères (cétacés, carnivores, édentés)]. Ces fossiles ont contribué à l'établissement d'une stratigraphie car ils se répartissent en sept niveaux (six dans la Formation Pisco, un dans la Formation Caballas) dont l'âge va du Miocène inférieur jusqu'au sommet du Pliocène inférieur. Les vertébrés, en général, montrent un état de conservation exceptionnel; les squelettes complets ou subcomplets sont très courants.

L'étude sédimentologique et paléontologique (taphonomie, biologie) montre que les vertébrés se sont déposés en milieu de plage. Trois types de condition de bord de mer ont été définis:

- plages abritées, où se forment des lumachelles à coquilles peu brisées, parfois en position de vie. Les squelettes sont généralement complets et en connexion ou bien légèrement dissociés;
- plages agitées à lumachelle de coquilles brisées et os isolés;
- récifs où les coquilles et les os sont toujours brisés.

Les niveaux à vertébrés ne montrent pas de structures tidales de flux et de reflux, ce qui semble indiquer que les marées étaient de faible amplitude. Le milieu de dépôt, peu profond (de 0 à 5 m), correspond aux zones supra et intertidales.

L'existence de nombreux squelettes en connexion est la preuve d'un ensablement très rapide des cadavres (quelques jours) qui semble être dû plus à l'action des vagues qu'au taux de sédimentation. Dans le second cas, les squelettes auraient été dissociés par les prédateurs.

La biologie des baleines (qui se reproduisent, en général, près de la côte), celle des abondants carnivores et des oiseaux (qui sont strictement dépendants de la côte pour leur reproduction) confirment le milieu de bord de mer. Par ailleurs, l'édenté de la Formation Pisco est un animal qui ne pouvait pas nager (ou presque pas) et qui se nourrissait d'algues, car la côte péruvienne était désertique pendant le Néogène. Dépendant du continent pour sa locomotion et de la mer pour son alimentation, cet animal devait forcément vivre sur le bord de mer.

En conclusion, les vertébrés des Formations Pisco et Caballas se sont fossilisés dans un milieu très littoral, soit dressés à la plage, soit déposés dans la zone intertidale, sous faible tranche d'eau.

Abstract

Fossil marine vertebrates are very abundant in the Pisco and Caballas Formations from the southern coast of Peru [selachians, teleosteans, reptiles, birds, mammals (cetaceans, carnivores and edentates)]. Those fossils have contributed to establish a stratigraphy as they are distributed in seven horizons (six in the Pisco Formation and one in the Caballas Formation), the age of which spans the Early Miocene to Late Pliocene interval. The vertebrates are generally very well preserved and complete or sub-complete skeletons are very common.

Sedimentological and paleontological (taphonomical and biological) studies show that the vertebrates were deposited in a beach-environment. Three types of sea shore conditions are defined:

- protected beaches where coquinas are deposited that contain scarcely broken shells and sometimes lay in life position. Skeletons are generally either complete, with their various pieces still connected, or slightly dissociated;
- beaches with agitated water documented by coquinas containing broken shells and bones;
- reefs where the shells and bone are always broken.

The vertebrate bearing beds do not display ebb and flow structures, and therefore would indicate low-range tides. The depositional environment was shallow and corresponded to supra- and intertidal zones.

The presence of various connected skeletons demonstrates a very rapid burial process of carcasses that probably lasted only a few days. It is probably due to the burial action of the waves, rather than to a high sedimentation rate. In the second case, skeletons would have been disconnected by beasts of prey.

The biology of whales (which generally breed close to the shore), that of abundant carnivores and birds (which are strictly depending upon the shore for reproduction) confirm the sea-shore environment. Furthermore, the edentate of the Pisco Formation was probably a poor swimmer and was feeding with seaweeds, as the peruvian coast was desert during the Neogene. Depending upon land for locomotion and sea for alimentation, this animal was forced to live on the sea shore.

To conclude, the vertebrates of the Pisco and Caballas Formations were fossilized in a very littoral environment either stranded on the beach, or deposited in the intertidal zone in shallow waters.

I INTRODUCCIÓN

Los sedimentos neógenos de la costa sur del Perú han proporcionado desde el fin del siglo pasado (Lisson 1894) abundantes restos de vertebrados marinos fósiles de edad neógena. Los fósiles se encuentran, en su casi totalidad, en la Formación Pisco -definida por Adams (1906, 1908)- que se extiende sobre 325 km, desde la ciudad de Pisco, al norte, hasta el pueblo de Yauca, al sur (fig. 1). Los sedimentos de la formación penetran tierra adentro hasta un máximo de 50 km en la zona de Nazca o de Ica. Su extensión estratigráfica abarca del Mioceno medio al Plioceno superior. Los afloramientos de la zona de Sacaco, en la parte sur de la cuenca, han proporcionado una fauna abundante de vertebrados marinos fósiles (Hoffstetter 1968; Muizon 1978, 1981, 1984; 1988). Sin embargo, las capas de la zona de Ica contienen también un yacimiento importante pero más antiguo que los de la zona de Sacaco (Muizon 1988; Muizon & Devries 1985). Seis niveles de vertebrados habían sido definidos en la Formación Pisco por Muizon 1981, Muizon 1988, Muizon & Devries 1985. Se disponen según el orden siguiente:

Nivel	Zona geogr.	Edad	Edad m.a.
Sacaco (SAO)	Sacaco	Plioceno Inf.	Aprox. 3 m.a.
Sud-Sacaco (SAS)	Sacaco	Plioceno Inf.	Aprox. 5 m.a.
Montemar (MTM)	Sacaco	Mioceno Term.	Aprox. 6 m.a.
Aguada de Lomas (AGL)	Sacaco	Mioceno Sup.	Aprox. 7-8 m.a.
El Jahuay (ELJ)	Sacaco	Mioceno Sup.	Aprox. 9 m.a.
Cerro La Bruja (CLB)	Ica	Mioc. Medio	Aprox. 12-14 m.a.

Un séptimo nivel ha sido caracterizado por Muizon (1988), bajo el nombre de Santa Rosa (SRA). En este nivel fue encontrado el primer vertebrado descrito en la Formación Pisco: *Incacetus broggii* (Colbert 1944), un cetáceo odontoceto de la familia de los Kentriodontidae. Muizon (1988) ubicó este nivel en la base de la Formación Pisco; podría tener una edad Mioceno inferior. Sin embargo, los autores han observado una discordancia angular encima del nivel SRA, en la orilla izquierda de la boca del río Ica (en la supuesta localidad del holotipo de *I. broggii*). Esta discordancia corresponde aparentemente al límite entre las Formaciones Caballas y Pisco, tal como fue definido por Macharé *et al.* (1988). Entonces, *Incacetus broggii* y el nivel SRA pertenecerían al tope de la Formación Caballas (Oligoceno superior-Mioceno inferior) y no a la Formación Pisco como lo supuso Muizon (1988).

El propósito del presente trabajo es analizar el ambiente deposicional de estas acumulaciones de restos de vertebrados y formular conclusiones sobre el tipo de medio ambiente donde se pueden formar importantes concentraciones de vertebrados marinos.

Durante una misión de campo (marzo de 1988), los autores han estudiado sistemáticamente las capas de los siete niveles de vertebrados mencionados más arriba. En los incisos siguientes se presentan las observaciones sedimentológicas y paleontológicas, que permiten acercarse a una reconstitución del ambiente, donde vivieron y murieron los vertebrados fósiles de las Formaciones Pisco y Caballas.

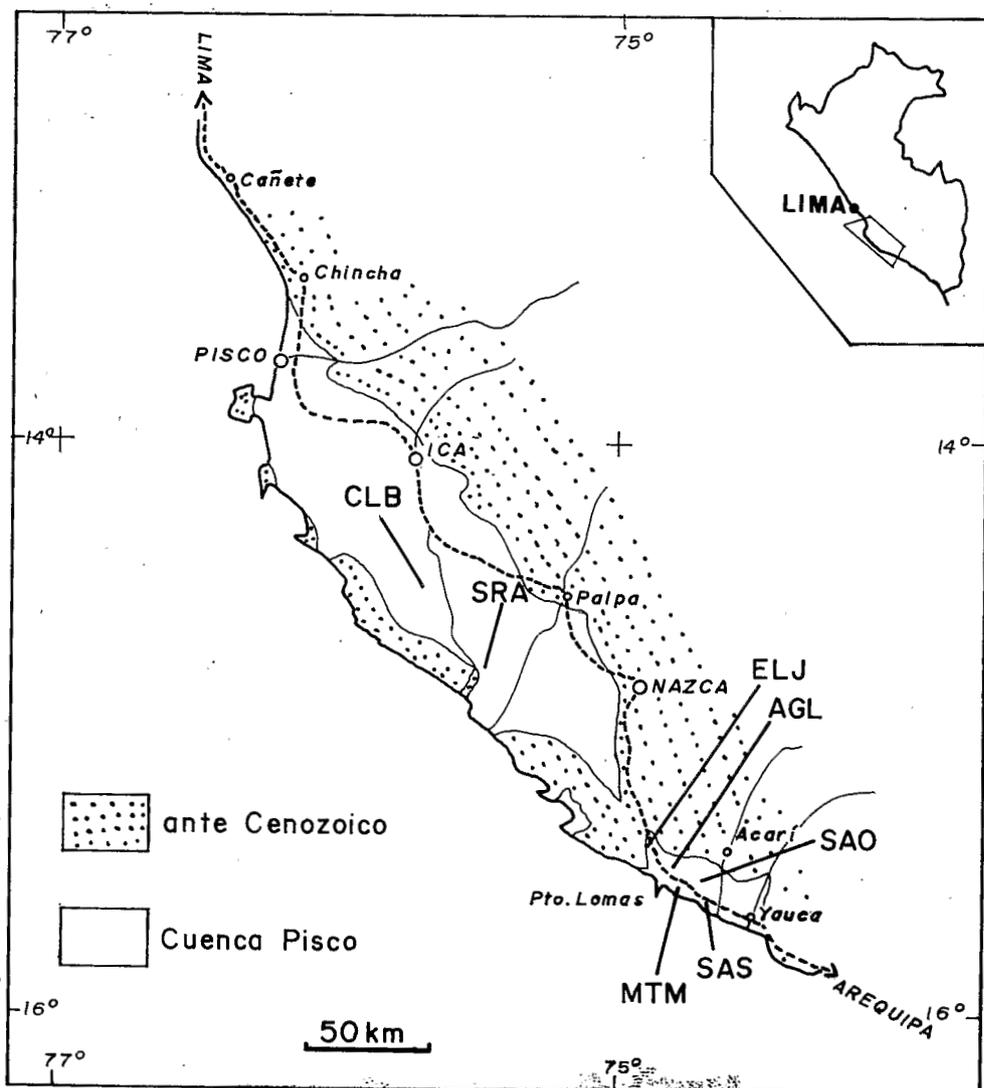


Figura No. 1.— Mapa de ubicación de la Cuenca Pisco y de los yacimientos fosilíferos. CLB: Cerro La Bruja; SRA: Santa Rosa; ELJ: El Jahuay; AGL: Aguada de Lomas; MTM: Montemar; SAO: Sacaco; SAS: Sur-Sacaco.

II CONTEXTO ESTRATIGRÁFICO

Los sedimentos marinos litorales estudiados aquí pertenecen a un conjunto sedimentario depositado en una cuenca, llamada Cuenca Pisco (Marocco y Muizon 1988; Macharé 1987) que funcionó del Eoceno superior hasta el Plioceno superior. Dicha cuenca, originada después de la tectónica incaica (Steinmann 1929; Dalmayrac *et al.* 1980), tiene una posición geodinámica de ante-arco, ya que durante todo el Terciario, el arco magmático se encontraba en regiones más orientales.

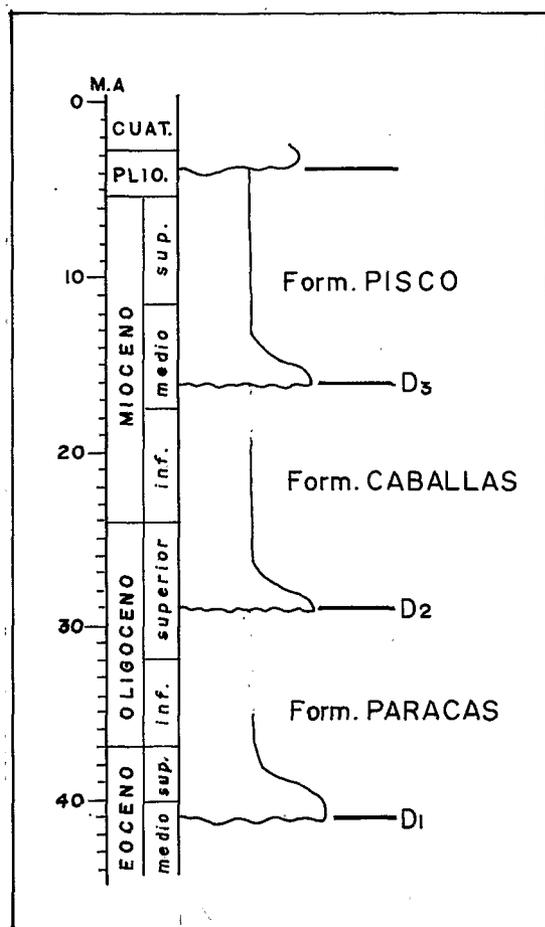


Figura No. 2.— División litoestratigráfica del relleno de la Cuenca Pisco; modificado de Macharé (1987). Explicación en el texto.

Ica. La discordancia angular que separa las dos formaciones se debe a la tectónica N2 de Macharé *et al.* 1988, que se produjo hace aproximadamente 16 m.a. y que provocó una emersión temporal. El análisis secuencial que aparece a la derecha de la columna indica claramente que cada formación corresponde a una gran secuencia transgresiva evolucionando de la playa a la zona infratidal. La transgresión de la Formación Pisco, que ocurrió del Mioceno superior al Plioceno inferior a medio, ha sido más importante que la de la Formación Caballas y penetró más hacia el interior del continente (Marocco y Muizon 1988). Las secuencias de orden inferior que conforman cada formación, también son transgresivas. Las secuencias estudiadas en este trabajo y que contienen los esqueletos de vertebrados, son de orden todavía inferior; su pequeño espesor (0.5 a 3 metros) no permite representarlas en la columna de la figura 3.

Hasta hace poco, se consideraba el relleno de la Cuenca Pisco como compuesto de dos formaciones, la Formación Paracas del Eoceno superior y la Formación Pisco del Oligoceno-Mioceno (Newell 1956). Macharé *et al.* (1988) introdujeron la Formación Caballas del Oligoceno superior-Mioceno inferior, y asentaron la litoestratigrafía de la Cuenca Pisco sobre discontinuidades (D1, D2, D3 en la figura 2), separando grandes secuencias sedimentarias transgresivas que corresponden a las tres formaciones.

La discontinuidad D1 es la discontinuidad basal del relleno de la Cuenca Pisco. Según la edad del substrato, D1 representa la superposición de dos o varias fases tectónicas, siendo las dos últimas: la fase peruana del Cretáceo terminal y la fase incaica del Eoceno superior. D2 y D3 corresponden a eventos tectónicos compresivos cuyas edades son respectivamente 30 y 16 m.a. aproximadamente (Macharé *et al.* 1988; Marocco y Muizon 1988).

Nuestras observaciones sobre las acumulaciones de esqueletos de mamíferos fósiles, atañeron a la Formación Caballas y sobretudo a la Formación Pisco. En la Formación Paracas, hasta ahora, no se encontró más que un esqueleto casi completo de Arceoceto y algunos dientes de tiburón, en sedimentos muy finos.

La figura 3 representa, de manera muy sintética, la sucesión secuencial y facial observada en las Formaciones Caballas y Pisco de la región de

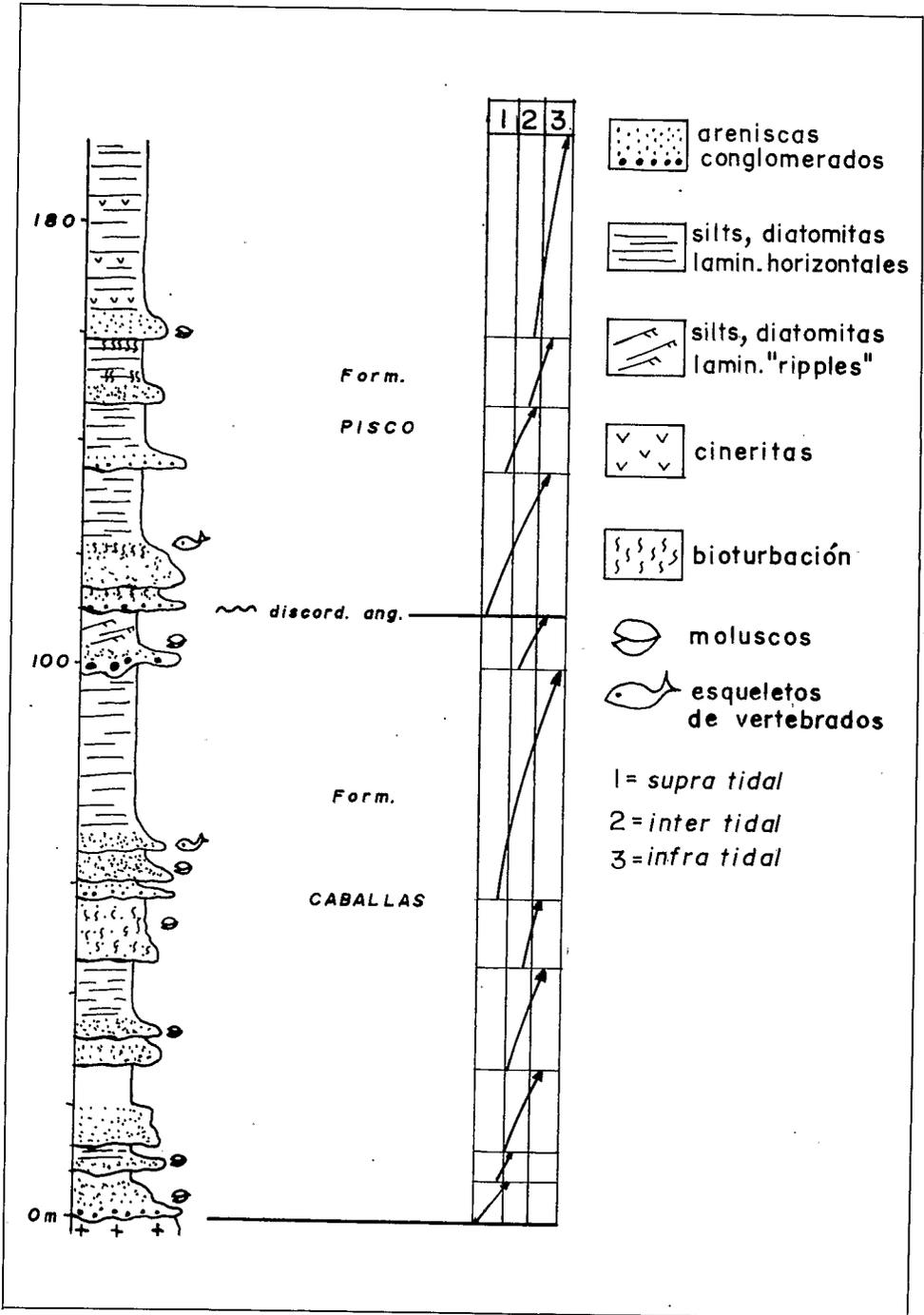


Figura No. 3.— Columna sintética de las Formaciones Caballas y Pisco. Sección levantada en el Cerro La Virgen, oeste de Ica. Según Marocco y Muizon (1988), modificado.

III CARACTERÍSTICAS SEDIMENTOLÓGICAS DE LOS NIVELES FOSILÍFEROS

La casi totalidad de los esqueletos de mamíferos fósiles fueron encontrados en las Formaciones Pisco y Caballas, en la base de secuencias sedimentarias de ambiente de playa o más raramente, en secuencias de arrecifes. Muy escasos son los esqueletos hallados en sedimentos de facies más profundos.

A — LOS TIPOS DE SECUENCIAS

En la figura 4 se han representado los tipos de secuencias en las cuales existen esqueletos completos o relativamente completos de Ballenas, Focas, Otarias, Delfines, etc. Los ambientes sedimentarios representados, aunque correspondiendo todos a la orilla del mar, se pueden agrupar en tres clases:

- playa poco agitada: Sacaco (SAO), Sud-Sacaco (SAS), Montemar (MTM), Cerro La Bruja (CLB), Santa Rosa (SRA), de la figura 1;
- playa agitada: Aguada de Lomas (AGL), El Jahuay (ELJ), de la figura 1;
- arrecifes: Sud-Sacaco (SAS), Montemar (MTM).

Las secuencias de playa poco agitada (fig. 4A y 4B) presentan una potencia variando de 0.5 a 3 metros. La base de la secuencia, algo erosiva, muestra 0.5 metros de lumaquela compuesta por conchas rotas y enteras y por guijarros de *beach-rock*, envueltos en una matriz de arena fina a media. Es frecuente encontrar, en estas lumaquelas, dientes de selacios y fragmentos de huesos de vertebrados. Encima de la lumaquela vienen areniscas finas generalmente bioturbadas dentro de las cuales se encuentran algunas conchas enteras. Cuando la bioturbación no ha destruido completamente la estructura sedimentaria, se observan *ripples-marks* centimétricos de oscilación de olas. La secuencia B debe corresponder a un ambiente ligeramente más alejado de la orilla que la secuencia A. En las secuencias de playa poco agitada, los esqueletos de vertebrados se encuentran generalmente en conexión.

Las secuencias de playa agitada (fig. 4E y 4F) muestran una base generalmente más erosionada que las secuencias descritas anteriormente. Las conchas que constituyen las lumaquelas están, en su mayoría, destrozadas. En las areniscas de la parte superior de las secuencias, las estructuras sedimentarias son mucho mejor conservadas. Según los niveles dichas estructuras son sea grandes laminaciones oblicuas de dunas hidráulicas (secuencia F) o sea laminaciones *hummocky* que pueden deberse a tempestades (secuencia E). En las secuencias representando el ambiente de playa agitada, los esqueletos están disociados; sin embargo, a veces, los huesos disociados de un mismo esqueleto se agrupan en un mismo sitio.

Las secuencias de arrecifes (fig. 4C y 4D) se constituyen en el borde de los acantilados y de los escollos formados por rocas magmáticas mesozoicas y rocas metamórficas precámbricas. En el borde mismo de los afloramientos rocosos (secuencia D), notamos secuencias de grano muy grueso, de 0.3 a 0.6 metros de espesor. En la base, se observa una lumaquela formada por detritos muy pequeños de conchas y clastos de la roca del arrecife. El tope de la secuencia está constituido por areniscas gruesas más o menos bioturbadas, mostrando a menudo estructuras sedimentarias de tipo *hummocky*, coherente con la fuerte agitación de las aguas marinas al contacto de los arrecifes. Hasta algunos centenares de metros de la orilla, se forman secuencias como la secuencia C donde la lumaquela de base puede contener grandes bloques (hasta 3 m de diámetro) de la roca de los arrecifes; alrededor de estos bloques se formaron colonias de moluscos y balanos. Las areniscas de la parte superior de la secuencia son de grano grueso y están generalmente muy bioturbadas. Sólo en las secuencias del tipo de la figura 4C, se encontraron esqueletos de vertebrados, a menudo en conexión, indicando que la agitación del agua decrecía muy rápidamente, conforme uno se alejaba de la orilla.

Es interesante notar que, según los lugares, se observa la superposición de secuencias de playas abrigadas, en otros lugares superposición de secuencias de playas agitadas. En una misma sección, las variaciones de una a otra secuencia son de poca importancia; las secuencias de playa

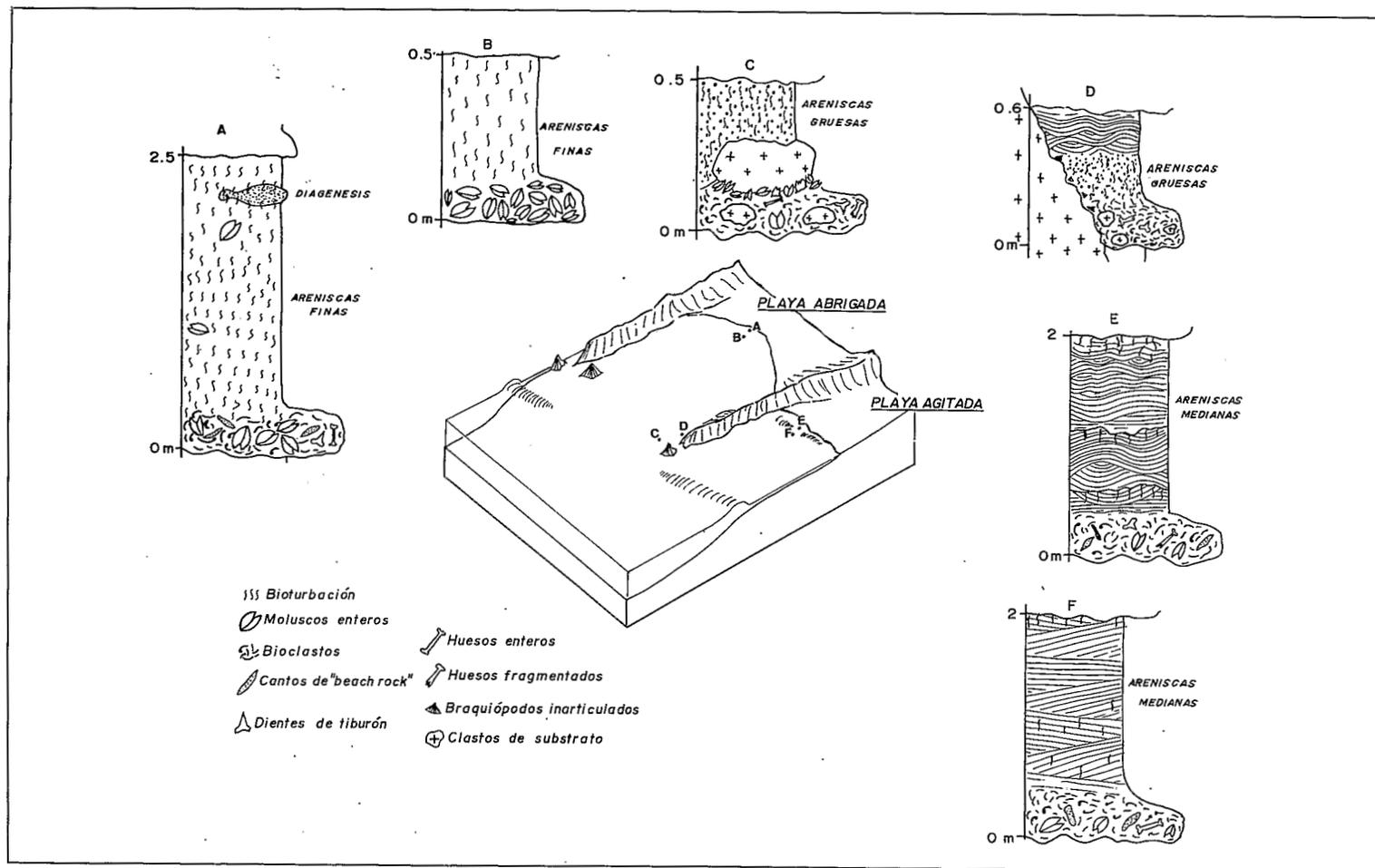


Figura No. 4.— Los diferentes tipos de secuencias sedimentarias en las cuales se observaron esqueletos de vertebrados. Explicaciones en el texto.

agitada o de tempestad no representan accidentes catastróficos intercalados dentro de secuencias de ambiente más tranquilo. Este hecho indica que la figura 4 es representativa de la paleogeografía durante los tiempos de las Formaciones Pisco y Caballas.

B — LAS CONDICIONES DE FOSILIZACIÓN DE LOS VERTEBRADOS

El estudio secuencial de los yacimientos fosilíferos ha mostrado que los vertebrados se fosilizaron en las playas o en zonas intertidales de poca profundidad. La abundancia de esqueletos completos o casi completos indica que los cadáveres tuvieron que ser sepultados rápidamente por la arena, en algunos días. En caso contrario, los abundantes predadores (tiburones) y la actividad de las olas los habrían destruido totalmente y no se habrían encontrado tantos esqueletos completos.

La tasa de sedimentación que, en el caso más favorable, debe ser de algunos escasos milímetros por año, no basta para explicar un enarenamiento rápido. Pensamos que los vertebrados fueron sepultados por los movimientos de arena debidos a las olas, a las mareas y a las tempestades; movimientos que pueden ser muy importantes. Swift y Field (1981) indican que hasta el 95% del desplazamiento de arena en una plataforma silico-clástica puede ser debido a las tempestades.

A menudo, los esqueletos de vertebrados se encuentran envueltos en un nódulo de gran tamaño, duro, de forma elíptica, que puede alcanzar varios metros de diámetro mayor. Estos nódulos están compuestos por capas concéntricas de color pardo (óxido de hierro) y negro (manganeso), y su formación debe ser atribuida a la descomposición de los cadáveres.

IV DATOS PALEONTOLÓGICOS

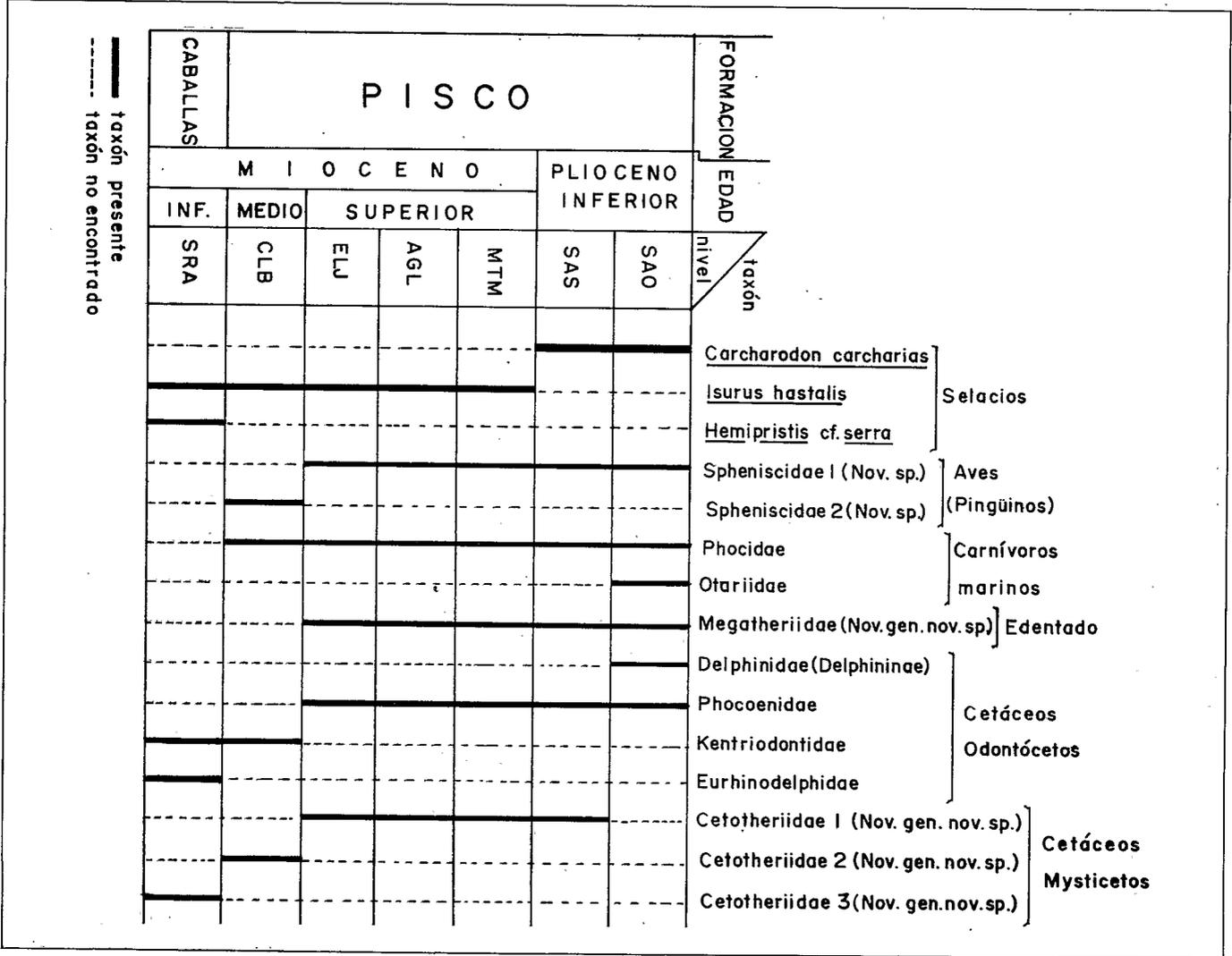
La fauna de vertebrados marinos fósiles encontrada en las Formaciones Pisco y Caballas es abundante y variada. Se compone de peces (selacios y teleósteos), reptiles (cocodrilos y tortugas), aves (pingüinos, cormoranes, piqueros y gaviotas) y mamíferos (ballenas, delfines, cachalotes, focas, otarias y un edentado). El estudio de esta fauna (Muizon 1981, 1984, 1988, y Muizon & Devries 1985) proporciona informaciones sobre el ambiente ecológico de las Formaciones Caballas y Pisco. Los datos son de origen tanto estratigráfico como tafonómico y biológico.

A — ESTRATIGRAFÍA

Los siete niveles de vertebrados mencionados arriba se definen cada uno por una fauna distinta; una lista fáunica fue dada por Muizon & Devries (1985) y Muizon (1988). Sin embargo, algunos grupos o especies constituyen buenos marcadores estratigráficos dentro de las dos formaciones por lo menos al nivel local. Algunas formas todavía en estudio se mencionan al nivel familiar con números (fig. 5). El *Spheniscidae* 1 pertenece a una especie muy grande del género *Spheniscus*, mientras que el *Spheniscidae* 2 es una forma bien diferente de la forma 1, por lo menos 30% más pequeña, y que se encuentra únicamente en el nivel CLB. Los tres mysticetos pertenecen al mismo grupo de *Cetotheriidae* muy pequeños (Muizon 1981, Muizon & Devries 1985) y representan por lo menos especies (quizás géneros) diferentes; la especie 3 es más primitiva que la 2, la cual es más primitiva que la 1.

B — TAFONOMÍA

La tafonomía describe las condiciones de fosilización y el estado de preservación de los fósiles. El hecho que se hayan conservado esqueletos de vertebrados en las Formaciones Caballas y Pisco puede informar sobre el grado de agitación de las aguas y el ambiente deposicional. En el nivel SAO, casi todos los restos de vertebrados son esqueletos completos con los huesos en posición anatómica; eso indica aguas relativamente tranquilas pero suficientemente movidas como para enarenar los cadáveres de ballenas varados en la playa. El fenómeno de tixotropía (responsable de las famosas "arenas movedizas") debe haber jugado un papel importante en el enterramiento de los cadáveres muy pesados de las ballenas.



— taxón presente
 - - - - - taxón no encontrado

Figura No. 5.— Tabla indicando la distribución vertical de algunos taxones de vertebrados que tienen un valor estratigráfico en las Formaciones Caballas y Pisco.

Los niveles SAS, MTM, CLB y SRA contienen numerosos esqueletos en conexión, pero varios de ellos han sido ligeramente dislocados; se encuentran también huesos aislados en estos niveles. Este tipo de conservación es significativo de un enterramiento menos rápido de los cadáveres, lo que deja tiempo a las aguas y a los predadores (tiburones) de disociar parcialmente los esqueletos. Los niveles AGL y ELJ han producido huesos de vertebrados aislados y a veces rodados. Esta condición de preservación traduce aguas más movidas debido quizás a tempestades.

Ya vimos más arriba, en la parte III, que el enarenamiento de los cadáveres de ballena, que son los animales más grandes encontrados en las Formaciones Caballas y Pisco, debe haber sido muy rápido (algunos días) para que puedan conservarse los esqueletos asociados sin ser destrozados por los predadores (tiburones) o por la acción del mar. Un enterramiento tan rápido no se puede explicar por la sedimentación sino por el trabajo de las olas en la playa y por la tixotropía. Por lo tanto, la acumulación de tal abundancia de esqueletos subcompletos, tanto de ballenas como de los otros tipos de vertebrados, sólo se puede realizar en un ambiente de playa (intertidal a infratidal).

C — BIOLOGÍA DE LOS VERTEBRADOS DE LAS FORMACIONES CABALLAS Y PISCO

Las ballenas son animales que viven en general en alta mar pero que se reproducen en aguas costaneras tranquilas y calientes (o templadas calientes). Los fócidos, los otariídos y los pingüinos son animales que viven en costas rocosas y que son muy dependientes de ellas para su reproducción; el acoplamiento se realiza siempre en el continente. Por otra parte, el edentado (*Megatheriidae* nov. gen., nov. sp.) conocido en la Formación Pisco, ha sido considerado como un animal de costumbres semiacuáticas (Muizon, 1981 y Muizon & Devries, 1985); este animal, sin embargo, no presenta adaptaciones evidentes al nado. La costa peruana, desértica durante todo el Neógeno, no podía proveerle su alimentación herbívora. Forzado de comer algas sin poder nadar, el edentado de la Formación Pisco tenía que vivir imperativamente en la playa. Además, su abundancia y el excepcional estado de preservación de sus restos (esqueletos completos a subcompletos) en los niveles SAO, SAS y AGL, demuestra que los edentados no pueden haber sido transportados por los ríos hasta el mar; si fuera el caso, cabe notar que se encontrarían también en la Formación Pisco otros restos de vertebrados continentales, como notongulados o roedores que eran abundantes en el Neógeno continental sudamericano.

En conclusión, la biología de los cetáceos, de los carnívoros marinos y de los pingüinos, y la supuesta biología del edentado de la Formación Pisco son coherentes con el ambiente tidal de los sedimentos que contienen los cadáveres de dichos animales.

V CONCLUSIONES

El análisis sedimentológico y paleontológico de los niveles productores de vertebrados de las Formaciones Caballas y Pisco, muestra que los fósiles se han depositado en el mismo litoral, es decir en un ambiente tidal (supra a intertidal).

Se han reconocido tres tipos de condiciones litorales:

- playas protegidas con lumaquelas con conchas bien preservadas y esqueletos en conexión anatómica;
- playas agitadas con conchas fragmentadas y esqueletos disociados;
- arrecifes donde huesos y conchas son muy fragmentados.

La poca abundancia de estructuras tidales indicadoras de grandes movimientos de agua, atestigua una pequeña amplitud de las mareas y un rango batimétrico de la zona intertidal, probablemente no superior a 5 metros.

La gran abundancia de esqueletos asociados demuestra una sepultación rápida (algunos días) de los cadáveres cuyo enarenamiento se debió más a los movimientos de arena (olas, tempestades) y a la tixotropía que a la tasa de sedimentación.

Por otra parte, la biología de los carnívoros (focas y otarias), de las aves marinas (esencialmente los pingüinos) y la supuesta biología del edentado de la Formación Pisco -todos muy dependientes del continente por su reproducción-, son incompatibles con un ambiente de otro tipo que el de playa.

Los restos de vertebrados de los siete niveles fosilíferos conocidos en las Formaciones Caballas y Pisco, se han fosilizado en zonas tidales tranquilas o movidas, sea varados en la misma playa, sea en aguas de muy poca profundidad.

Como lo sugirió Muizon (1981) para la Formación Pisco, la fauna de cada nivel con vertebrados constituye un ecosistema fundado sobre la presencia de ballenas que venían a reproducirse en aguas costaneras templadas-cálidas. Las ballenas atraían a numerosos tiburones (superpredadores) y a peces teleósteos. Estos últimos alimentaban a los consumidores de peces tales como los carnívoros, las aves marinas y los odontocetos. El único elemento ajeno que se juntó al ecosistema es el edentado.

Esta fauna vivía muy cerca de una costa sembrada de islas y de arrecifes, entre los cuales se extendían grandes playas que recibían a los cadáveres de los vertebrados y de los invertebrados de las Formaciones Pisco y Caballas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Francés de Estudios Andinos de Lima y a la Misión ORSTOM en el Perú por la ayuda material, financiera y científica aportada a la realización del trabajo de campo. La misión de campo de C. de Muizon, realizada en marzo de 1988, ha sido financiada por la "action spécifique Paléontologie-Andes, n° 1337" del Muséum National d'Histoire Naturelle de París.

Nuestro reconocimiento va también a A. Lavenu y a Ch. Noblet por sus sugerencias y su lectura crítica del manuscrito.

Referencias Bibliográficas

- ADAMS, G.I.
1906 "Caudal, procedencia y distribución de aguas de los Dptos. de Lima e Ica", *Bol. Cuerpo Ing. Minas*, 5, Lima, pp. 367-379.
- 1908 "An outline review of the geology of Peru", *Smithsonian Institution, Ann. rep.*, pp. 385-429, Washington.
- COLBERT, E.H.
1944 "A new fossil whale from the Miocene of Peru", *Amer. Mus. Nat. Hist. Bull.*, 83, 3, pp. 195-216, New York.
- DALMAYRAC, B.; LAUBACHER, G.; MAROCCO, R.
1980 *Caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes*. Travaux et Documents de l'ORSTOM, No. 122, 501 p., Paris.
- HOFFSTETTER, R.
1968 "Un gisement de vertébrés tertiaires à Sacaco (Sud-Pérou), témoin néogène d'une migration de faunes australes au long de la côte occidentale sudaméricaine", *C.R. Acad. Sc. sér. D*, 267, pp. 1273-1276, Paris.
- LISSON, C.
1984 Los fosfatos de Ocucaje, *Bol. Minas Ind. Constr.* 14, 5, 33-34, Lima.
- MACHARÉ, J.
1987 "La Marge Continentale du Pérou: Régimes tectoniques et sédimentaires cénozoïques de l'avant-arc des Andes Centrales" (Thèse doc., Université Paris XI, Orsay), 391 p.
- MACHARÉ, J.; DEVRIES, T.; BARRON, J.; FORTANIER, E.
1988 "Oligo-Miocene Transgression along the Pacific Margin of South-America: New Paleontological and Geological Evidence from the Pisco Basin (Peru)", *Géodynamique*, Paris (en prensa).
- MAROCCO, R. y MUIZON, C. de
1988 "Le bassin Pisco, Bassin cénozoïque d'avant-arc de la côte du Pérou Central. Analyse géodynamique de son remplissage", *Géodynamique*, Paris (en prensa).

- MUIZON, C. de
1978 "*Arctocephalus (Hydrarctos) lomasiensis subgen. nov. et nov. sp.*, un nouvel Otariidae du Miocène-Pliocène de Sacaco (Pérou)", *Bull. Inst. Fr. Et. Andines*, 7, 3-4, pp. 169-188, Lima.
- MUIZON, C. de
1981 Les vertébrés fossiles de la Formation Pisco (Pérou). Première partie: deux nouveaux Monachinae (Phocidae, Mammalia) du Pliocène inférieur de Sud-Sacaco. *Trav. Inst. Fr. Et. Andines*, 22, pp. 1-160. In: *Recherches sur les Grandes Civilisations, Mém. 6*, ADPF Ed., Paris.
- MUIZON, C. de
1984 Les vertébrés fossiles de la Formation Pisco (Pérou). Deuxième partie: les Odontocètes du Pliocène inférieur de Sud-Sacaco. *Trav. Inst. Fr. Et. Andines*, 25, pp. 1-188. In: *Recherches sur les Grandes Civilisations, Mém. 50*, ADPF Ed., Paris.
- MUIZON, C. de
1988 Les vertébrés fossiles de la Formation Pisco (Pérou). Troisième partie: les Odontocètes (Cetacea, Mammalia) des niveaux miocènes. *Trav. Inst. Fr. Et. Andines*, 36, (en prensa). In: *Recherches sur les Grandes Civilisations*, Paris.
- MUIZON, C. de y DEVRIES, T.
1985 "Geology and paleontology of Late Cenozoic marine deposits in the Sacaco area (Peru)", *Geol. Rdsch.*, 74/3, pp. 547-563, Stuttgart.
- NEWELL, N.D.
1956 "Reconocimiento geológico de la región Pisco-Nazca", *Bol. Soc. Geol. Perú*, 30, pp. 261-295, Lima.
- STEINMANN, G.
1929 *Geologie von Peru*. 448 p., Karl Winter, Heidelberg.
- SWIFT, D.J.P. and FIELD, M.E.
1981 "Evolution of a classic sand ridge field; Maryland sector, North America inner shelf", *Sedimentology*, 28, pp. 461-482.

Biblioteca Andina

Thérèse Bouysse-Cassagne
con la colaboración de Philippe Bouysse

LLUVIAS Y CENIZAS

Dos Pachacuti en la Historia

HISBOL, 1988

ATLAS REGIONAL DE PIURA

NICOLE BERNEX DE FALEN
BRUNO REVESZ

GENERALIDADES
HERENCIAS
MEDIO NATURAL - MARCO DE VIDA
HOMBRES Y ESPACIOS
VIDA REGIONAL
APÉNDICE
(planos urbanos por provincia y distrito)

CIPCA
Centro de Investigación
y Promoción del
Campesinado

PONTIFICIA
UNIVERSIDAD CATÓLICA
DEL PERÚ
Departamento de Humanidades
Centro de Investigación en
Geografía Aplicada

1988