



BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458 - 7766

Volumen 26, Números 1 y 2

CONCIMAR Perú



II Congreso de Ciencias del Mar del Perú
Piura, Perú. Del 24 al 28 de mayo 2010



Enero - Diciembre 2011

Callao, Perú

La paleolaguna de Otuma como potencial para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas de Pisco

Otuma paleolagoon as potential for reconstruction of Pisco paleoceanographic conditions

ERNESTO FERNÁNDEZ

FEDERICO VELAZCO

JUANA SOLÍS

Laboratorio de Paleoceanografía. DIO. IMARPE

Resumen

FERNÁNDEZ E, VELAZCO F, SOLÍS J. 2011. La paleolaguna de Otuma como potencial para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas de Pisco. *Bol Inst Mar Perú* 26(1-2): 7-18.- Se describe la geomorfología del relieve de la paleolaguna de Otuma y se evalúa la preservación de sus registros calcáreos y su potencialidad para la reconstrucción paleoceanográfica y paleoecológica. Un pequeño acantilado marino y una plataforma de abrasión de suave pendiente con predominancia de arena y grava, sugieren un fondo submareal somero de 3,5 m de profundidad a 80 m de distancia de la orilla. La distribución de los registros calcáreos *in situ*, sobre el fondo de la paleolaguna sugiere un patrón de zonación ecológica. La abundancia de *Argopecten purpuratus* en los conchales demuestra su dominancia y la presencia de un antiguo y muy productivo banco natural de concha de abanico con una estructura de tallas 40 -140 mm. La preservación de las conchas permitió el análisis de sus anillos o líneas de crecimiento y la reconstrucción de sus ritmos y patrones de crecimiento que son valiosos para la reconstrucción de la variabilidad ambiental.

PALABRAS CLAVE: estudios paleontológicos, *Argopecten purpuratus*, paleolaguna, Otuma, Pisco, Perú.

Abstract

FERNÁNDEZ E, VELAZCO F, SOLÍS J. 2011. Otuma paleolagoon as potential for reconstruction of Pisco paleoceanographic conditions. *Bol Inst Mar Perú*, 26(1-2): 7-18.- The geomorphology of Otuma paleolagoon is described; its calcareous records preservation and potential for paleoceanographic and paleoecology reconstruction were assessed. A low sea cliff and a soft slope abrasion platform with sand and gravel as dominant substrates suggests a shallow subtidal bottom 3.5 m deep at 80 m off shore. The distribution of calcareous records *in-situ* over the paleolagoon bottom suggests an ecological zonation pattern. The abundance of *Argopecten purpuratus* proves its dominance and the existence of a very productive natural bank of this bivalve, the shells showed a length distribution from 40 mm to 140 mm. The degree of preservation of the shells allowed an analysis of growth rings or lines, and the reconstruction of the species growth rhythm and pattern which are valuable to the reconstruction of environment variability.

KEYWORDS: paleo studies, *Argopecten purpuratus*, paleolagoon, Otuma, Pisco, Perú.

Introducción

En el litoral de Pisco se encuentran algunos depósitos cuaternarios marinos recientes, localizados en los extremos internos de las bahías, los más notables se encuentran en la Bahía de Paracas, en Otuma y en Bahía Independencia. Algunas de estas terrazas marinas se elevan a escasos metros y, en ciertos sectores, ocasionalmente, pueden ser invadidas por el agua marina (FERNÁNDEZ DÁVILA 1993).

En Otuma los conchales y las características geomorfológicas asociadas a estos depósitos se pueden observar en un estado relativamente intacto (no disturbado), dado que la vegetación es casi inexistente y que la erosión del viento no ha producido ningún cambio significativo desde el levantamiento de la bahía; las

formaciones costeras que han sido preservadas en la bahía aparecen remarcadamente frescas (CRAIG y PSUTY 1971). Resultados de datos isotópicos de material del conchal de los sitios de Otuma (PSUTY y CRAIG 1970) indican que la habitación de los sitios se remonta hacia 3650 BP¹.

La paleolaguna de Otuma antiguamente fue una bahía somera y un ecosistema de fondos blandos cuya productividad sustentó un banco natural de concha de abanico. Actualmente contiene registros geológicos principalmente restos biogénicos de conchas de moluscos, los más evidentes, acumulados en "conchales" o montículos de valvas de conchas ubicados en los bordes del perímetro de la paleolaguna como resultado de la recolección y alimentación de antiguos pobladores (Fig. 1).

¹3600 años antes del año 1950 de la era actual



Figura 1.- Vista panorámica de la paleolaguna de Otuma. En la parte inferior de la imagen se observa una banda clara de una acumulación de conchas o "conchal" ubicado encima del borde de la paleolaguna, cuya magnitud se puede apreciar por comparación con la silueta de una persona de pie sobre el conchal. De izquierda a derecha se nota la caída de la pendiente y las diversas tonalidades de los estratos del relieve de lo que fue el antiguo fondo submarino de la paleolaguna. Al fondo se aprecia un cuerpo de agua ubicado en lo que fue el antiguo centro de la paleolaguna.

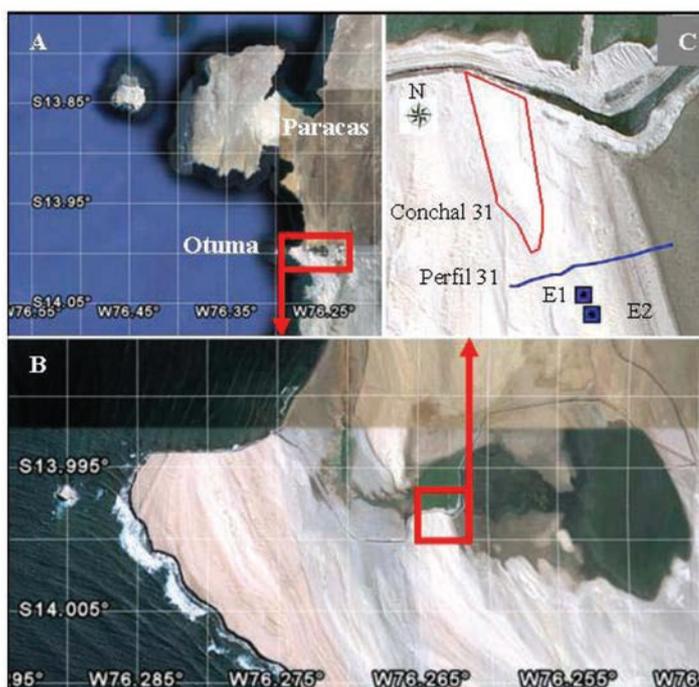


Figura 2.- Imágenes satelitales de la paleolaguna de Otuma (Fuente Google Earth). A: Ubicación de la paleolaguna de Otuma en Pisco, B: Ubicación de la zona oeste seleccionada para el muestreo, C: Ubicación del conchal, perfil y cuadrantes en la zona de muestreo

También contiene restos biogénicos de conchas de moluscos depositados sobre o dentro del antiguo fondo de la paleolaguna de Otuma que mantuvieron su antigua posición después de que los levantamientos tectónicos generaran el ascenso del fondo marino por encima del actual nivel del mar y la formación de una terraza marina (CRAIG y PSUTY 1971, FERNÁNDEZ DÁVILA 1993).

El objetivo de la presente investigación es evaluar la potencialidad de Otuma para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas. Implica el estudio de

las formas del relieve de la Paleolaguna de Otuma y de los cambios sufridos en su ciclo geográfico (geomorfología), por la acción de los agentes del modelado terrestre, desde que se elevó sobre el nivel del mar. Implica también el estudio de sus registros geológicos y la reconstrucción de las condiciones paleoecológicas y paleoceanográficas que existieron alrededor del holoceno tardío. El conocimiento de las condiciones paleoceanográficas y paleoecológicas del ecosistema marino de la Paleolaguna de Otuma puede ayudar a la comprensión de ecosistemas similares de Pisco en escenarios actuales y futuros.



Figura 3.- Levantamiento del perfil 31 del relieve del antiguo fondo de la paleolaguna de Otuma. Zonas del perfil A: superior, B: media, C: inferior



Figura 4.- Detalles del muestreo de conchas de los cuadrantes. A: Zona de ubicación del cuadrante, B: cuadrante de 1 m², C: excavación y muestreo de conchas inmersas en el sedimento

Material y métodos

La Paleolaguna de Otuma está ubicada al sur de Pisco (13,99°S, 76,25°W) (Fig. 2A). Se realizó un reconocimiento del contorno y zonas internas de la paleolaguna, en busca de algunos de los 31 sitios de “conchales” reportados por ENGELS (1957) y por CRAIG y PSUTY, (1971) los cuales fueron georreferenciados en modo estático con un navegador GPS Garmin 12.

En el lado noroeste de la paleolaguna, cerca de la entrada de la misma, se seleccionó y caracterizó el “conchal” (=depósito, acumulación o conglomerado de conchas) N° 31 (13°59,926’S, 76°15,784’W) (Fig. 2B y 2C) y se tomaron muestras de conchas. Cerca a éste se ubicó la zona del perfil 31 (13° 59,981’S, 76° 15,758’W), donde se caracterizó el relieve litoral y sumergido del antiguo fondo de la paleolaguna y se tomaron muestras superficiales de sedimentos y conchas (Fig. 2C).

Para caracterizar el relieve de la paleolaguna se trazó un transecto perpendicular, desde el borde hacia el fondo de la paleolaguna (Fig. 3). Se establecieron niveles y segmentos en función de la variabilidad de las pendientes y los cambios en los tipos de sedimentos o roca expuesta. Para la medición de la inclinación y

amplitud de los diferentes tipos de sustratos se empleó una brújula tipo Brunton, jalones, mira y una wincha graduada. La caracterización del perfil permitió obtener información de la configuración batimétrica y espacial del relieve, así como de la ubicación, composición, y amplitud de las bandas de sedimentos y restos biogénicos.

Alrededor del perfil y en la zona de mayor abundancia de restos de conchas de moluscos, se establecieron dos cuadrantes (1 m²) de muestreo: E1 (13°59,962’S, 76°15,766’W) y E2 (13°59,969’S; 76°15,763’W) donde, se colectó restos calcáreos superficiales y enterrados (Fig. 4) excavando, con sumo cuidado, con un picota y puntas hasta 30 cm de profundidad y luego barriendo el sedimento fino con brochas. Se tomó muestra de unos 500 g de sedimento en los 5 cm superiores.

Se midió la altura valvar de las conchas de abanico *Argopecten purpuratus*, se determinó la estructura de tallas, y su estado de preservación mediante observaciones microscópicas. Se estudió algunos aspectos del microcrecimiento de las conchas a partir del análisis de imágenes estereoscópicas de sus peculiares “anillos de crecimiento” formados por la disposición espa-

cial de las crestas u ornamentaciones superficiales de las conchas. Al respecto se tomaron microfotografías (10x) de la superficie externa de las conchas, se realizó una composición de las imágenes, se trazó un eje en la costilla central de la concha, sobre el cual se realizó el conteo de las crestas y se midieron las distancias entre ellas para establecer el micro crecimiento.

Se realizó el análisis granulométrico de las muestras de sedimento, para determinar el contenido de las fracciones de grava, arena y fango (limo + arcilla) mediante tamizado según INGRAM (1971); también se determinó el contenido de materia orgánica total y de carbonatos totales mediante el método de calcinación de DEAN (1974).

Resultados y discusión

GEOMORFOLOGÍA DE LA PALEOLAGUNA DE OTUMA

El perfil 31 del relieve de la Paleolaguna de Otuma presentó de modo general una configuración de dos niveles sub-horizontales separados por una zona de abrupta pendiente (Figs. 5, 6 y 7). El nivel superior ubicado en el segmento 1-3 del perfil presentó una inclinación de 12 a 22% y una amplitud de 31,5 m; debajo de este nivel y en el segmento 3-5 del perfil se observó una zona intermedia de abrupta pendiente con una fuerte inclinación de 34 a 62% y una amplitud de 5,5 m. El nivel inferior (segmento 5-12) presentó una suave inclinación (1 a 9%) y una gran amplitud (78,71 m). Mas allá del perfil, con dirección hacia el centro de la paleolaguna se observó una muy suave inclinación de alrededor del 1%.

La zona intermedia de abrupta pendiente corresponde a un acantilado de 2,2 m de altura, el cual forma parte del acantilado descrito por CRAIG y PSUTY (1971) que bordea casi en forma continua el perímetro de la paleolaguna. El acantilado está compuesto por dos tipos de superficie: (i) en el segmento 3-4, se observó un afloramiento de roca expuesta intemperizada y venillas de sales, así como suelo, canto y grava; (ii) en el segmento 4-5 se observó roca y canto rodado y la predominancia de rocas limolita.

Por encima del acantilado, en la banda superior del perfil del relieve, en la zona 1-2 se observó una capa de suelo sobre la roca intemperizada, con presencia de cantos, grava y arena, y una disminución de tamaños con dirección hacia la paleolaguna. En la zona 2-3 se observaron sedimentos intemperizados y la presencia de grava y arena fina.

Por debajo del acantilado, en el segmento 5-6, se observó roca expuesta con 1/3 de su superficie cubierta con suelo; el segmento 6-7 presentó roca expuesta (limolita) y grava; el segmento 7-8 presentó suelo formado por gravas hasta arcillas en el primer tercio y suelo fragmentado de roca expuesta en los dos tercios restantes. En el segmento 8-9 se halló un afloramiento de roca limolita expuesta, intemperizada y muy alte-

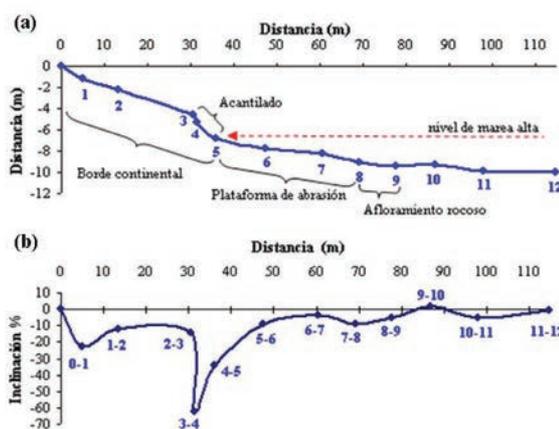


Figura 5.- Relieve de la Paleolaguna de Otuma en el perfil 31. (a) dimensiones (b) inclinación.

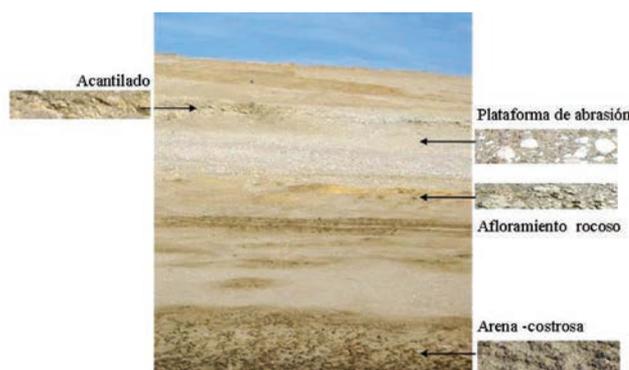


Figura 6.- Vista frontal del relieve del antiguo fondo de la Paleolaguna de Otuma

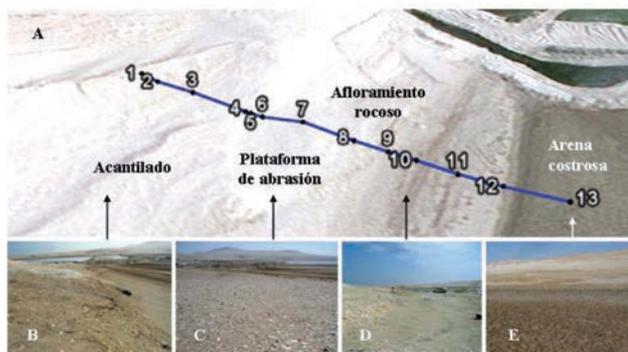


Figura 7.- Vista lateral del relieve del antiguo fondo de la Paleolaguna de Otuma A: imagen satelital del relieve y de los puntos georreferenciados del perfil 31, B: detalles del acantilado, C: de la plataforma de abrasión, D: del afloramiento rocoso y E: de la arena costrosa.

rada; además, suelo cubierto de grava, arena y arcilla así como una costra de sales; en el segmento 9-10 se registró suelo con grava angular, grava fina, arena, fango y presencia de sal, en esta zona se presentó una inclinación positiva (1%) que se manifestó como una elevación o montículo. En el segmento 10-11 se halló grava, arena y costras de sal, en la zona 11-12 se encontró suelo de grava gruesa y fina hasta arcilla, sales y fango. En el segmento 12-13 se observó suelo de arena mezclada con sal en relieve irregular, costro-

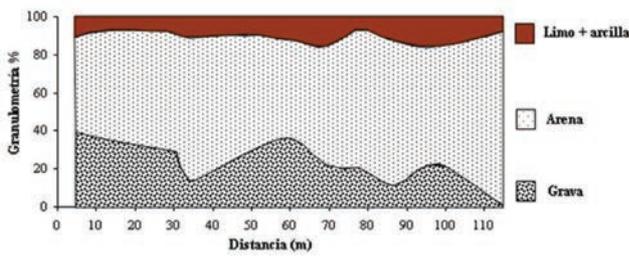


Figura 8.- Textura de los sedimentos en el relieve de la paleolaguna de Otuma.

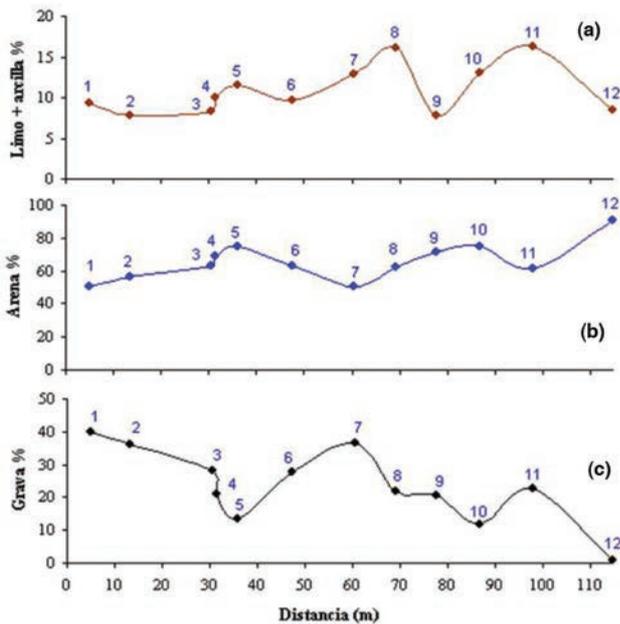


Figura 9.- Variabilidad granulométrica en el relieve de la paleolaguna de Otuma. (a) limo + arcilla, (b) arena, (c) grava

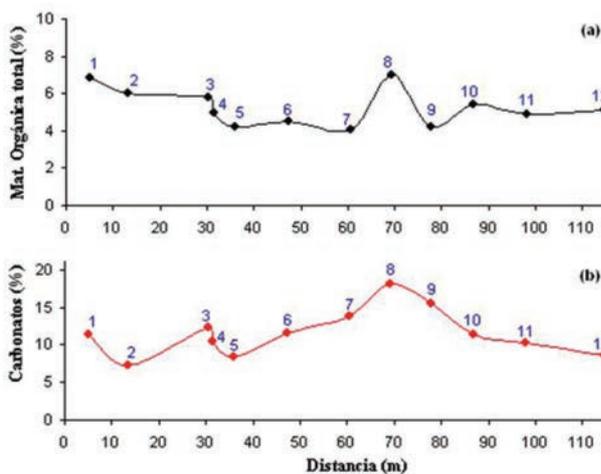


Figura 10.- Materia orgánica total (a) y carbonatos (b) en los sedimentos del relieve de la paleolaguna de Otuma.

so, fracturado, que se proyectó en forma similar con dirección hacia el centro de la paleolaguna. En el segmento 11-12 se observaron ciertas áreas humedecidas con evidencias del alcance de la zona de máxima inundación y en el segmento 12-13 el suelo presentó apariencia húmeda. En el segmento 11-12 se hallaron en el sedimento ondulaciones conformadas por arena y costras de sal, estructuras originadas por efecto del transporte por el viento de esta zona emergida y la compactación y dureza de la superficie es transferida al evaporarse las sales de esta zona húmeda.

Hacia el centro de la paleolaguna se observó un cuerpo de agua correspondiente a una laguna actual y moderna (de menor dimensión que la paleolaguna) formada como consecuencia del suministro de agua de mar por canalización hacia la pozas de evaporación solar de las Salinas de Otuma por actividades antrópicas para la producción y comercialización de sal.

El acantilado se formó por la acción del oleaje de la paleolaguna, sobre la base de la roca, ocasionando su socavamiento y derrumbe, favoreciendo su desintegración y descomposición (meteorización). Luego en la plataforma de abrasión, el oleaje y el transporte de las mareas favorecieron la erosión de la roca particulada y la formación de sedimentos. El punto de quiebre de la pendiente en la base del acantilado (punto 5) es el nivel de referencia que permite definir la posición del antiguo nivel de marea alta de la paleolaguna.

Cabe mencionar que en el lado sur de la paleolaguna de Otuma, los bordes o acantilados observados no son tan marcados como en el lado norte; la pendiente es menos pronunciada y los bordes son suavizados, no abruptos.

La suave pendiente del relieve en el perfil de la estación 31, estaría indicando en general un oleaje más suave o moderado en los bordes del lado sur de la paleolaguna. Al respecto, CRAIG y PsUTY (1971) mencionan que en el otro extremo de la paleolaguna hacia el borde norte hay evidencias de sedimentación y formación de un frente de playa arenosa.

TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS

Los sedimentos en el perfil muestran una predominancia de la fracción arena (diámetro de partícula entre 2 mm a 63 micras), seguida por la abundancia de partículas de grava (mayores a 2 mm) y una menor proporción de fango (<63 micras) (Fig. 8). En términos generales, se observaron tendencias creciente y ligeramente creciente en la proporción de arena y de limo + arcilla, respectivamente, a medida que aumentó la distancia a la orilla en el perfil. En cambio en la grava sucedió lo contrario, la tendencia fue decreciente.

Es destacable la presencia de dos picos mínimos de grava entre 30-40 m y 80-90 m de distancia, ambos asociados a afloramientos rocosos, el primer pico aso-

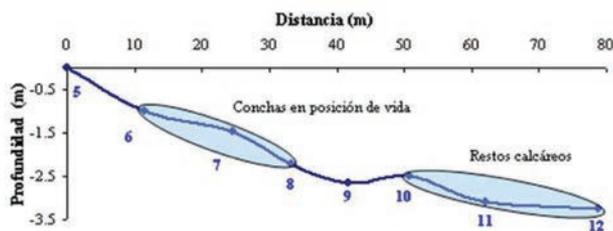


Figura 11.- Zonación submareal de moluscos bentónicos en la paleolaguna de Otuma.

ciado a la base del acantilado ubicado entre 30-40 m y el segundo pico asociado al afloramiento y probable punto de quiebre de la ola (70-80 m y 90 m de distancia, respectivamente).

En ambos casos la inclinación del relieve y el transporte de masas de agua por el impacto del oleaje y mareas (en el primer pico) o por efecto de arrastre de la masa de agua en el posible punto de quiebre de la ola (en el segundo pico) fueron probablemente los agentes responsables de la disminución de la proporción de partículas grandes del tamaño de la grava en estas zonas.

Por el contrario los picos máximos de grava encontrados a 60 y 100 m de distancia posiblemente responden a la acumulación de la roca meteorizada por erosión marina en la zona inferior de la plataforma de abrasión (cerca a los 70 m de distancia) en el caso del primer pico máximo y al proceso de acumulación detrás del montículo del probable punto de quiebre de la ola en el caso del segundo pico máximo.

El patrón de variabilidad granulométrica de los sedimentos a lo largo del relieve de la paleolaguna (Fig. 9), mostró un comportamiento inverso entre la proporción de grava y arena; por ejemplo zonas con disminución en la acumulación de grava presentaron un aumento en la acumulación de arena y viceversa.

En el patrón de variabilidad del limo+arcilla es destacable la tendencia ascendente en la zona 6-8 y un pico máximo a 70 m de distancia así como un segundo pico máximo alrededor de 100 m de distancia en la zona 10-12.

La textura en las muestras de sedimentos del perfil presentó ciertas coincidencias con la de los cuadrantes. Así por ejemplo, los porcentajes de grava (31,67 y 35,84%) y arena (59,57 y 46,34%) obtenidos en los cuadrantes E1 y E2, respectivamente, fueron cercanos al rango de valores de los porcentajes registrados en el segmento 6-7 del perfil. Los porcentajes de limo+arcilla (8,76 y 17,82%) de los cuadrantes E1 y E2 respectivamente fueron cercanos al rango de valores de los porcentajes registrados en el segmento 6-8.

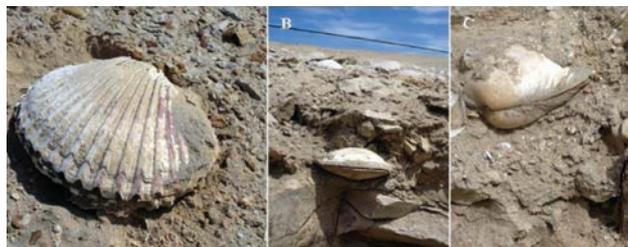


Figura 12.- Conchas de moluscos bentónicos en posición de vida en la paleolaguna de Otuma. A: concha de abanico sobre el sedimento en la zona 6-8 del perfil, B y C: conchas de almeja y navaja enterradas dentro del sedimento en los cuadrantes E1, E2.

GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS

Los picos máximos de materia orgánica (7,01%) y carbonatos totales (18,04%) se presentaron alrededor de 70 m de distancia en el punto 8 y estuvieron asociados al primer pico máximo de limo+arcilla (Fig. 10a). De otro lado, en la concentración de carbonatos (Fig. 10b) se observó una tendencia ascendente en la zona 1-8, un pico máximo en 8 (17%) y luego una tendencia descendente entre la zona 8-12. En general (con excepción del segmento más distal de la orilla) los contenidos de materia orgánica y carbonatos mostraron similar tendencia probablemente asociada a la presencia de comunidades de moluscos gasterópodos y pelecípodos.

Los resultados de materia orgánica (2,73 y 3,91%) de las muestras de sedimentos de los cuadrantes E1 y E2 respectivamente fueron en general menores a los valores observados a lo largo del perfil y específicamente menores a los registrados en las zonas 6-8 (4,09-7,01% respectivamente); sin embargo, los resultados de carbonato de los cuadrantes (13,31 y 15,60%) estuvieron dentro del rango observado (11,58-18,04) en las zonas 6-8 del perfil.

ZONACIÓN SUBMAREAL DE REGISTROS BIOGÉNICOS CALCÁREOS

Se observó cierta zonación en la distribución espacial de los restos biogénicos, así en los segmentos 6-8 y 10-12 del perfil del relieve se encontraron conchas de bivalvos bentónicos principalmente de concha de abanico, almeja y navaja (Fig. 11). La ausencia de registros calcáreos en el segmento 8-10 representó una discontinuidad del parche de distribución de los moluscos bentónicos.

En el segmento 6-8 se encontraron valvas sueltas dispersas sobre el sedimento, pero también se encontró ejemplares con las dos valvas unidas y cerradas en "posición de vida"; es decir, en la posición natural que tuvieron en su hábitat, a una profundidad de 1 a 2,5 m. Así por ejemplo, ejemplares de concha de abanico fueron encontrados en posición horizontal sobre la superficie del sedimento, y ejemplares de navaja en posición vertical con una porción de sus valvas enterradas en el sedimento.

Tabla 1.- Reconocimiento de conchales en la Paleolaguna de Otuma

Código	Lat. S	Long W	Descripción
(1) I	13° 59,707' 13° 58,767'	76° 15,987' 76° 15,212'	"Conchal" 1 Punto Norte de la carretera con dirección hacia Paracas
II	13° 59,226'	76° 15,308'	Conchal afectado por tractores camino de trocha (destruido), abundancia de organismos, 30 m de extensión aproximadamente.
III	13° 59,148'	76° 15,227'	Depósito superficial disperso de concha de abanico, almejas, navajas, fragmentado, 50 m largo
IV	13° 59,179'	76° 15,245'	Pequeño depósito superficial de concha de abanico, almejas, al lado de la carretera, afectado por excavación de cargador frontal.
VII	13° 59,392'	76° 15,034'	Conchal de conchas de abanico bien preservadas
VIII	13° 59,366'	76° 15,060'	Pequeño conchal de 8 m de largo
IX	13° 59,284'	76° 15,047'	Depósito semi circular de concha de abanico y almeja, diámetro 10 m x 15 m, al costado de huellas de tractor o camino de gente, podría ser un conchal.
X	13° 59,685'	76° 14,710'	Cruce del canal de agua con la carretera, paralelo a la carretera hay un conchal
XI	14° 00,200'	76° 15,129'	Conchal de 20 a 30 m de extensión en el borde sur de la paleolaguna. Se encontró una concha de choro zapato desenterrado de la arena.
XII	14° 00,160'	76° 15,449'	Conchal grande de 30 m de extensión en el lado sur de la paleolaguna, muestra una buena secuencia de acumulación de conchas de 1m de altura, aproximadamente.
XIII XIII-b	14° 00,136' 14° 00,042'	76° 15,677' 76° 15,725'	Conchal sur, amplio depósito (40 x 15 m) de poco espesor. Abundancia de concha de abanico, almeja, navaja
XIV	13° 59,981'	76° 15,758'	Amplia área de patrones de zonación de concha de abanico y navaja en posición de vida, zona seleccionada para perfil
(31)	13° 59,926'	76° 15,784'	"Conchal 31". Depósito de gran extensión (40 m aproximadamente) en el extremo sur-oeste de la paleolaguna cerca de la boca de entrada y al canal, con buena secuencia de conchas de aproximadamente 2m de altura.
XVI	13° 59,895'	76° 15,832'	Punto topográfico del canal de la Salinera por encima del borde de la paleolaguna al extremo sur-oeste del cuerpo interior de la paleolaguna.
XVII	14° 0,085'	76° 14,736'	Punto Sur de la carretera con dirección hacia Laguna Grande

En el segmento 10-12 se encontraron principalmente valvas sueltas y restos de las mismas dispersas sobre el sedimento en un rango de profundidad de 2,5 a 5,5 m.

En el segmento 8-10, una depresión-elevación en el relieve, situado aproximadamente a 40 m de distancia de la orilla y a 3 m de profundidad, sugiere la probable ubicación del punto de quiebre del oleaje y un ambiente submareal rocoso inestable que podría explicar en esta zona la ausencia de restos de moluscos bentónicos de fondos blandos.

Los picos máximos de limo+arcilla encontrados en los puntos 8 y 11 del fondo de la paleolaguna, coinciden con los segmentos 6-8 y 10-12, donde se determinó la presencia de registros calcáreos. Los picos máximos de materia orgánica y carbonatos registrados en el punto 8 sugieren también una asociación con los registros biogénicos calcáreos de la zona 6-8.

Aun cuando sobre el fondo del segmento 6-8 yacen principalmente fragmentos de roca angular y conchas de mayor peso, se presume que originalmente la paleolaguna presentó mayor proporción de sedimentos finos como fango, típicos de fondos blandos, tal como actualmente se caracterizan los sustratos de los bancos naturales de concha de abanico, almeja y navaja en el litoral de Pisco.

Al respecto, la erosión eólica de los vientos del sur,

principalmente los vientos "Paracas", debieron haber removido la mayoría de los sedimentos finos superficiales de la paleolaguna, después de su levantamiento. Sin embargo, debajo de la superficie dura y compactada del relieve, junto o incluso dentro de las valvas de almejas y navajas se encontraron sedimentos finos.

En los cuadrantes E1 y E2 se encontraron conchas navaja y almeja con sus dos valvas juntas y unidas en "posición de vida" enterradas en el sedimento a una profundidad de 0 a 30 cm; en el caso de la navaja, ésta se encontró en varias capas a diversos niveles de profundidad (Fig. 12).

CONCHALES O ACUMULACIÓN DE CONCHAS

Durante el reconocimiento de la paleolaguna de Otuma se ubicaron y georreferenciaron 11 "conchales" (Fig. 13, Tabla 1) de los 31 registrados por CRAIG & PSUTY (1971): 6 "conchales" ("conchal" 1, II, III, IV, VII y VIII) se ubicaron en el borde norte de la paleolaguna, 1 "conchal" (X) se ubicó en el borde este y 4 conchales (XI, XII, XIII, conchal 31) se ubicaron en el borde sur de la paleolaguna.

Algunos "conchales" fueron pequeños de sólo algunos metros de magnitud (longitud) pero otros fueron de gran tamaño, alrededor de una centena de metros de magnitud. Todos los conchales estuvieron dispuestos en forma paralela al borde de la paleolaguna.

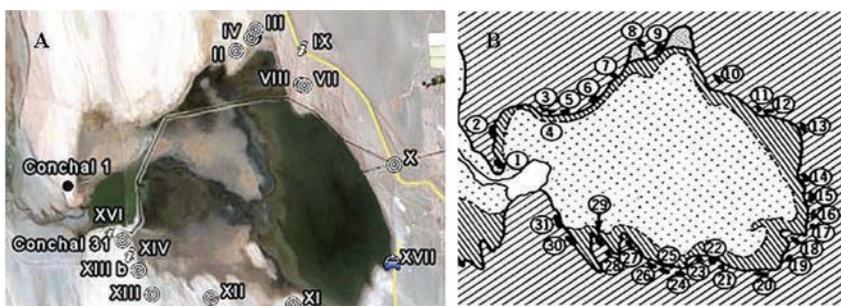


Figura 13.- Imagen satelital y esquema, de los “conchales” de la paleolaguna de Otuma
A: reconocimiento en el presente estudio, B: CRAIG y PSUTY (1971)

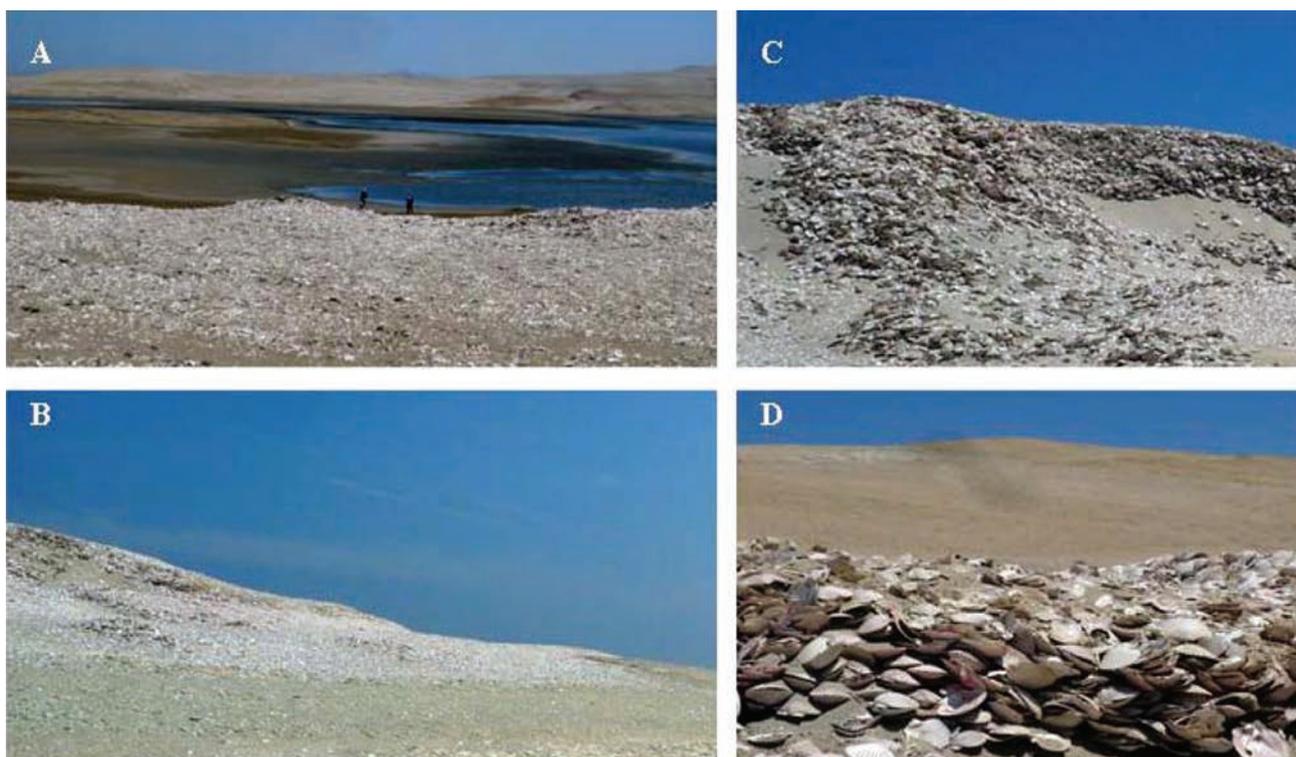


Figura 14.- Vistas del “conchal” 31 en el extremo sur-oeste de la paleolaguna de Otuma A: vista posterior del conchal sobre el borde de la paleolaguna, B: vista lateral del “conchal”, C y D: detalles de la secuencia de capas y composición del “conchal”

Aunque no se estudiaron los “conchales” ni se tomaron muestras de los exoesqueletos durante el reconocimiento, se pudo apreciar que en todos ellos fue evidente la dominancia de concha de abanico. También se observaron algunas conchas de almeja y en el conchal XI se encontró y recolectó una valva de “choro zapato”.

Dadas sus características y su cercanía al camino quedan dudas si el depósito IX corresponde a un “conchal” de la paleolaguna o a un montículo o acumulación actual (“moderna”) de restos de conchas arrojados por algún vehículo en su camino de Laguna Grande a Pisco.

Con respecto al conchal 31, se encontró una gran acumulación de valvas predominantemente de concha de

abanico en un área aproximada de 400 m², formando un gran montículo o “conchal”, cuya altura varía desde pocos centímetros hasta alrededor de 3,0 m, ubicado a niveles paralelos a las de las zonas 1 a 4 del perfil 31, es decir por encima y sobre el acantilado (Fig. 14).

El conchal 31 está ubicado en el borde continental, a nivel de las zonas 1-3 del perfil 31 y sobre parte del acantilado (zonas 3-4). Al parecer, las valvas de las conchas recolectadas del fondo somero de la paleolaguna, y consumidas por los antiguos recolectores de Otuma fueron acumuladas sobre el mismo borde de la paleolaguna y en el área superior del acantilado (Fig. 15).

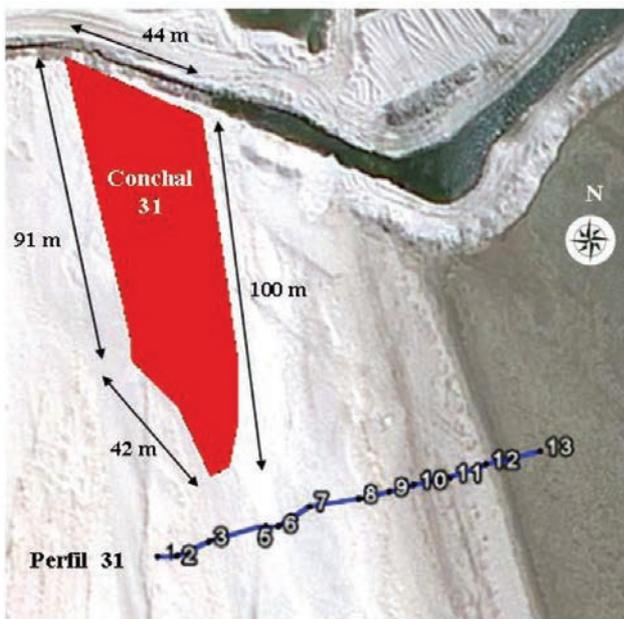


Figura 15.- Dimensiones del "conchal" 31 y su ubicación en la paleolaguna de Otuma

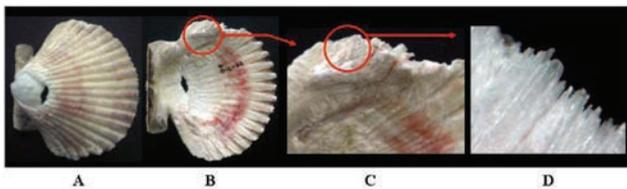


Figura 16.- Desintegración de una concha de abanico del conchal. A: vista superficial, B: vista interior, C: detalle del borde, D: minerales de calcita

ESTADO DE PRESERVACIÓN DE LAS CONCHAS

En algunas conchas recolectadas de la superficie del conchal 31 se observó un alto grado de desintegración y corrosión del material calcáreo, principalmente en los bordes y en la curvatura convexa cercana al umbo. Las conchas se tornaron débiles y quebradizas, perdieron la estructura superficial de sus líneas y anillos de crecimiento y dejaron al descubierto los minerales de calcita (Fig. 16).

Sin embargo, se encontraron también conchas bien preservadas (Fig. 17) en muy buen estado de conservación, con buena dureza del material calcáreo y manteniendo intactas sus líneas y anillos de crecimiento, incluso en varias de ellas se mantuvo su coloración rosácea original. Los factores de deterioro de los exoesqueletos son varios: (i) en la capa externa del conchal son la intemperización por radiación solar y la erosión eólica; (ii) en las capas interiores, es la sal y la humedad que al contacto con el material calcáreo lo corroe químicamente.

En el fondo de la paleolaguna 31 se encontraron valvas con coberturas de algas y tubos de poliquetos (Fig. 18). Dichas coberturas sirvieron de protección



A



B

Figura 17.- Conchas de abanico del conchal mal preservadas (A) y bien preservadas (B)

a las conchas ante la intemperización. Luego de limpiarse las coberturas, las valvas presentaron un buen estado de preservación (Fig. 19B). Varias conchas que se encontraron con las dos valvas juntas y cerradas presentaron en su interior sedimentos o una costra de sal pegada a la valva. También se observaron valvas izquierdas mal preservadas (Fig. 19A) probablemente por corrosión salina y la abrasión al contacto con el sedimento pero también se encontraron valvas derechas mal preservadas por intemperización de la fuerte radiación solar y la intensa erosión eólica.

En las conchas bien preservadas, provenientes de los registros arqueológicos del "conchal" así como del registro geológico del fondo de la paleolaguna, se detectaron con claridad (a simple vista y bajo aumentos al estereoscopio) los anillos y líneas de crecimiento en la superficie externa de las conchas, principalmente en las porciones central y del borde ventral de la concha. En la porción cercana al umbo, en varias conchas se observó un desgaste superficial que no permitió la visualización de las líneas o anillos de crecimiento en dicha porción.

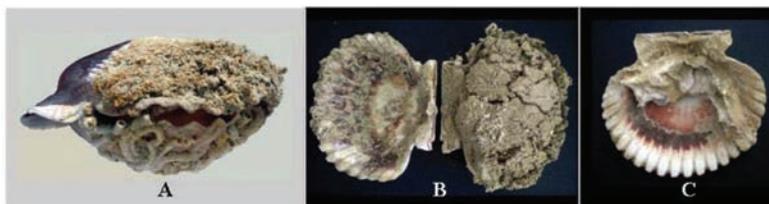


Figura 18.- Conchas de la paleolaguna A: con cobertura de algas y poliquetos, B: sedimentos y (C) sal.



Figura 19.- Conchas de abanico de la paleolaguna. A: mal preservadas y B: bien preservadas.

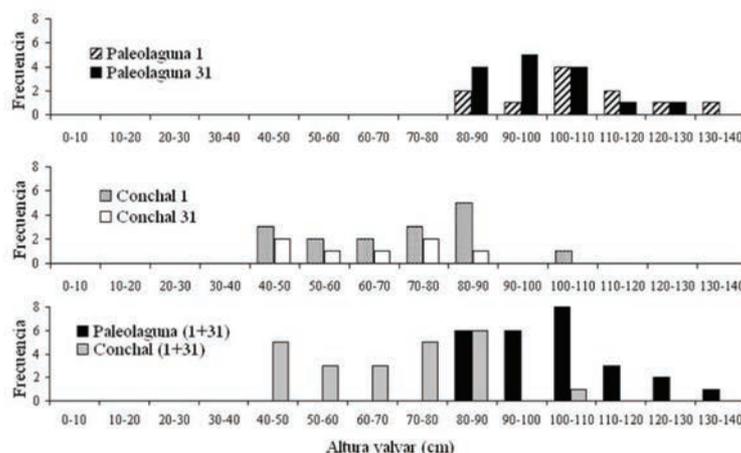


Figura 20.- Frecuencia de tallas (altura valvar) en conchas de *A. purpuratus* de Otuma

ESTRUCTURA DE TALLAS DE LAS CONCHAS

La estructura de tallas de conchas de *Argopecten purpuratus* de Otuma (Fig. 20) presentó altura valvar con un rango de 40 a 140 mm; las menores procedentes de los conchales (40-110 mm), y las de mayor tamaño provenientes del fondo de la paleolaguna (80-140 mm); en la zona de la boca norte de la paleolaguna (paleolaguna 1) fue ligeramente mayor (80-140 mm) que la talla alcanzada en la boca sur (paleolaguna 31) (80-130 mm). Similar comportamiento se observó en la talla de las conchas del conchal 1 (40-110 mm) y del conchal 31 (40-90 mm).

MICROCRECIMIENTO EN CONCHAS DE *ARGOPECTEN PURPURATUS*

La abrasión de la superficie de la valva en la porción de la curvatura del tercio dorsal, cercano al umbo, imposibilitó la detección de las líneas y anillos de

crecimiento en esta zona. Solamente se pudieron detectar los anillos del tercio medio y del tercio cercano al borde ventral, por tanto los conteos de las líneas y las mediciones de los microincrementos sólo se efectuaron en las zonas mencionadas y no en la totalidad de la longitud del eje de la altura valvar de la concha (Fig. 21).

Así por ejemplo en la concha 7 se detectaron anillos de crecimiento en 66 mm del eje de medición, desde el borde ventral hacia el umbo y no se detectaron anillos en los restantes 23 mm cercanos al umbo. La altura valvar de la concha fue de 89 mm por tanto se logró cuantificar anillos en el 74% del total de la altura valvar. Por otro lado en la concha 35 se detectaron anillos de crecimiento en 29 mm del eje de medición, desde el borde ventral hacia el umbo y no se detectaron anillos en los restantes 23 mm cercanos al umbo. La altura valvar de la concha fue de 52 mm por tanto se logró

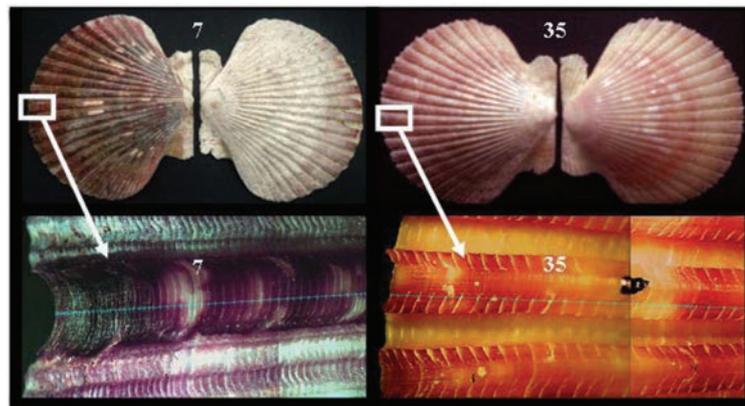


Figura 21.- Anillos o líneas de crecimiento (aumento 10 x) de *A. purpuratus* en Otuma 7: concha del fondo de la "Paleolaguna 1", 35: concha del "Conchal 31"

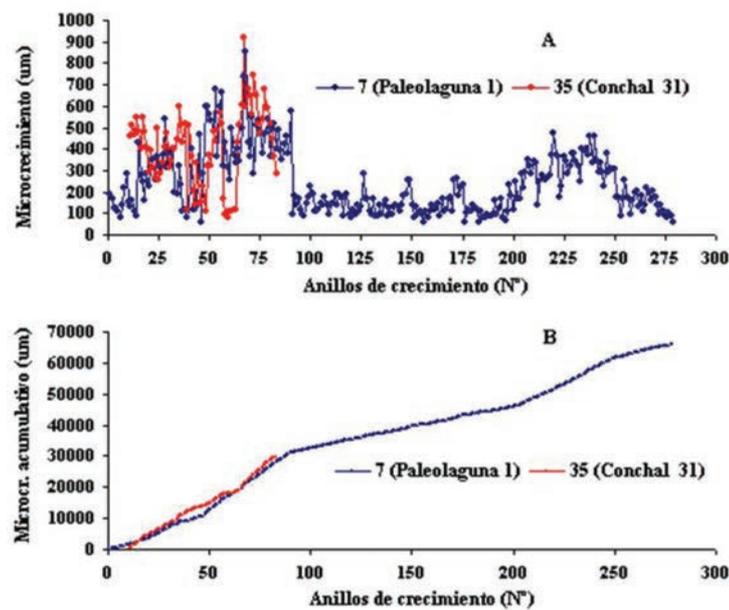


Figura 22.- Microcrecimiento de *A. purpuratus* en Otuma A: Patrón de variabilidad del microcrecimiento, B: Microcrecimiento acumulativo.

cuantificar anillos en el 56% del total de la altura valvar. Cabe destacar la similitud en ambas conchas de los 23 mm de la longitud de la valva sin detección de anillos, aun cuando ambas conchas fueron de diferentes dimensiones, lo cual podría explicarse, independientemente del tamaño de la concha, por la marcada curvatura de la superficie convexa de la concha en sus primeros meses de vida, que la expone abiertamente a la abrasión del sedimento principalmente en la valva izquierda que toma la posición inferior y está en continuo contacto con el sedimento.

Es importante notar ciertas diferencias entre las conchas 7 y 35, una de ellas es su ubicación en la paleolaguna, la concha 7 provino del fondo de la misma en la zona "Paleolaguna 1" ubicada en el lado sur de la boca de entrada de la paleolaguna, en cambio la concha 35 provino de un conchal, específicamente del "Conchal 31" ubicado en el lado norte de boca de en-

trada de la paleolaguna. Otra diferencia es el tamaño de las conchas, al respecto la concha 7 fue de mayor tamaño y presentó una altura de 89 mm, un ancho de 100 mm y una longitud de 39 mm, en cambio la concha 35 presentó dimensiones de 52 mm, 55 mm y 20 mm, respectivamente.

Según los patrones de variabilidad del microcrecimiento (Fig. 22A) y la tendencia de la curva acumulativa del mismo (Fig. 22B), se observaron ciertas coincidencias entre la concha 7 proveniente de la "Paleolaguna 1" y la concha 35 proveniente del "Conchal 31" en el periodo comprendido entre los primeros 100 anillos de la concha 7 y los 73 anillos de la concha 35, las cuales se ajustaron mejor al coincidir el primer anillo de la concha 35 con el anillo 13 de la concha 7 y el último anillo de la concha 35 (anillo 73) con el anillo 83 de la concha 7.

En esta secuencia de ajuste el patrón de variabilidad del microcrecimiento en la concha 35 fluctuó en el rango de 59 a 922 μ y en la concha 7 en el rango de 59 a 853 μ , coincidiendo temporalmente ambos picos máximos en el anillo 67. Al respecto THEBAULT et al. (2008) reportó un menor rango de variabilidad del microcrecimiento de la concha de aproximadamente 100 a 600 μ asumiendo tasas diarias en un banco natural de concha de abanico en La Bahía de la Rinconada, cerca de Antofagasta, al norte de Chile.

Además se observó en ambas conchas un carácter cíclico de picos máximos y mínimos con una periodicidad de aproximadamente quince anillos. Al respecto THEBAULT et al. (2008) mediante análisis espectral (transformación de Fourier) de supuestas tasas diarias de microcrecimiento de *Argopecten purpuratus* reportó una oscilación periódica del microcrecimiento de 31,6 días (ó 31,6 anillos).

En las curvas acumulativas de microcrecimiento se observaron similitudes en los rangos de valores en las tendencias y en la pendiente. Así por ejemplo, en la concha 7 el rango del microcrecimiento acumulativo fue de 1,717 a 28,046 μ y en la concha 35 de 461 a 29,757 μ .

En la concha 7 con un periodo de reconstrucción de 279 anillos fue posible observar cambios a largo plazo, así luego del primer periodo de aproximadamente 100 anillos, en el cual se registraron grandes fluctuaciones y elevados crecimientos, se observó también un periodo de aproximadamente 100 anillos de estabilización y menores crecimientos (58 a 284 μ).

Finalmente en el último periodo (de aproximadamente 100 anillos) se repitieron, aunque con menor intensidad, las fluctuaciones y mayores crecimientos. Este patrón de comportamiento también se manifestó claramente en los cambios de pendiente de la curva de microcrecimiento acumulativo, durante los tres periodos mencionados.

Es probable que la ontogenia y la edad de la concha 7 hayan influido en la diferencia de intensidades entre el primero y el tercer periodo, sin embargo las diferencias de la estacionalidad entre el invierno y verano pueden también haber influido en los resultados tomando en cuenta que probablemente el periodo de 279 anillos debió haber comprendido una ventana temporal de cerca de un año o más.

Conclusiones

La geomorfología y registros sedimentológicos y calcáreos del fondo de la paleolaguna de Otuma en Pisco y de los conchales, mantienen una adecuada preservación y gran potencialidad para la reconstrucción paleoceanográfica y paleoecológica de lo que anti-

guamente fue un ecosistema somero y protegido de fondos blandos altamente productivo con un gran banco natural de concha de abanico y otros recursos bentónicos como almeja y navaja.

La potencialidad de reconstrucción que contienen los registros calcáreos del antiguo fondo de la paleolaguna de Otuma en Pisco, comprende las escalas diaria, estacional, anual e interanual (ENSO). En cambio la potencialidad de los registros de los conchales comprende además la escala decadal, tomando en cuenta que la ventana de tiempo de acumulación de las conchas en los "conchales" (por la actividad extractiva y de subsistencia de los antiguos pobladores) fue de alrededor de una centena de años ubicada hace aproximadamente 3600 años BP, periodo que está comprendido en los objetivos de reconstrucción paleoceanográfica de PALEOMAP.

Agradecimientos.- Al Blgo. JORGE ZEBALLOS, Jefe de la sede IMARPE Pisco, por las facilidades brindadas en las instalaciones del Laboratorio, durante las salidas de campo a Otuma. Al Sr. ROBERTO VALDEZ por su participación y colaboración en los muestreos durante las salidas de campo a Otuma.

Referencias

- CRAIG A, PSUTY N. 1968. The Paracas paper Studies in Marine Desert Ecology Vol.1, No.2 Reconnaissance Report Occasional Publication No. 1 of the Department of Geography Florida Atlantic University.
- CRAIG A, PSUTY N. 1971. Paleoecology of shell mounds at Otuma, Peru Geographical Review, Vol. 61, No. 1 (Jan., 1971), pp. 125 – 132.
- DEAN W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. In: Journ. Sed. Petrology 44 (1): 242-248.
- ENGEL F. 1957. Early sites on the Peruvian Coast Southwestern Journal of Anthropology Vol 13, No. 1: 54-68.
- FERNÁNDEZ DÁVILA M. 1993. Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdoba INGEMMET Boletín No. 47 Serie A: Carta Geológica Nacional.
- INGRAM R. 1971. Sieve Analysis. In: Procedures in Sedimentary Petrology. Eds. Carver, RE, de. Cap. 3. P.49-67. New York.
- PSUTY N, CRAIG A. 1970. University of Wisconsin Radiocarbon Dates VII Radiocarbon Vol. 12 1970 p. 110 idem: Isotopes Radiocarbon Measurements VIII ibid pp 344-345.
- THEBAULT J, THOUZEAU G, CHAUAUD L, CANTILLANEZ M, AVENDAÑO M. 2008. Growth of *Argopecten purpuratus* (Mollusca: Bivalvia) on a natural bank in Northern Chile: sclerochronological record and environmental controls Aquat. Living Resour. Volume 21, Number 1, January-March 2008.