

## Baleen Fósil (Cetacea: mysticeti) en Sedimentos de la Cuenca Marina del Neógeno en la Formación Pisco, al Sur del Perú

Poma Porras, Orlando. Director Museo de Geociencia, UPEU, opoma@upeu.edu.pe  
Horna Santillán, Edgard. Director Centro de Recursos en Geociencia, UPEU, eahorna@upeu.edu.pe  
Esperante, Raúl. Geoscience Research Institute, USA. resperante@llu.edu

### Resumen

El fósil del baleen es raro en el expediente sedimentario. Este artículo tiene como objetivo documentar la ocurrencia excepcional de treinta muestras incluyendo el baleen en ballenas fósiles de la formación Pisco (Ocucaje, Ica). Por medio de la observación y análisis de laboratorio, se reconoce que las capas sedimentarias consisten en areniscas tufáceas y diatomáceas, con presencia de dolomitas depositadas en una cuenca marina de aguas someras. Las observaciones de los caparzones modernos en el suelo marino y los individuos observados indican que el baleen se separa de la boca de las ballenas muy rápidamente después de su muerte, y que se deterioran los huesos muy rápidamente como resultado de la abrasión. En cambio, los huesos de las ballenas de la formación de Pisco se hallan excepcionalmente muy bien preservados, y su baleen se encuentra a menudo en posición de vida unido a la mandíbula superior. La abundancia de estructuras sedimentarias asociados con algunos esqueletos indica actividad de corrientes de agua típica de procesos de marea y tormenta. Este acontecimiento de carácter excepcional de ballena fósil sugiere mineralización temprana del baleen adherido a la mandíbula superior de la ballena, adhesión y un entierro rápido de los esqueletos antes de que la abrasión pueda ocurrir.

**Palabras clave:** Baleen fósil, neógeno, formación Pisco, fosilización excepcional, enterramiento rápido, Cetacea: mysticeti.

### Abstract

Fossil baleen is rare in the sedimentary record. This paper documents the exceptional occurrence of thirty specimens of baleen in fossil whales of the Neogene's Pisco Formation during a transect survey in a limited area west of the Ica River Valley near the town of Ocucaje in southern Peru. The sedimentary layers consist of tuffaceous and diatomaceous sandstones, diatomaceous mudstones, and dolomites, deposited in a shallow marine embayment. Observations of modern whale carcasses on the seafloor and stranded individuals indicate that baleen detaches from the mouth of the whales very rapidly after death, and those bones deteriorate very rapidly as a result of scavenging activity and abrasion. In contrast, the bones of the Pisco Formation whales are exceptionally well preserved, and their baleen is often found in life position attached to the gum of the upper mandible. Abundance of sedimentary structures found associated with some skeletons indicate water currents and conditions typical of tidal and storm processes, suggesting that the environment was not anoxic. This exceptional occurrence of fossil baleen suggests early mineralization of the baleen attachment to the gum of the upper mandible and rapid burial of the skeletons before any abrasion could occur.

**Keywords:** Fossil baleen, Neogene, Pisco formation, exceptional fossilization, rapid burial, Cetacea: mysticeti.

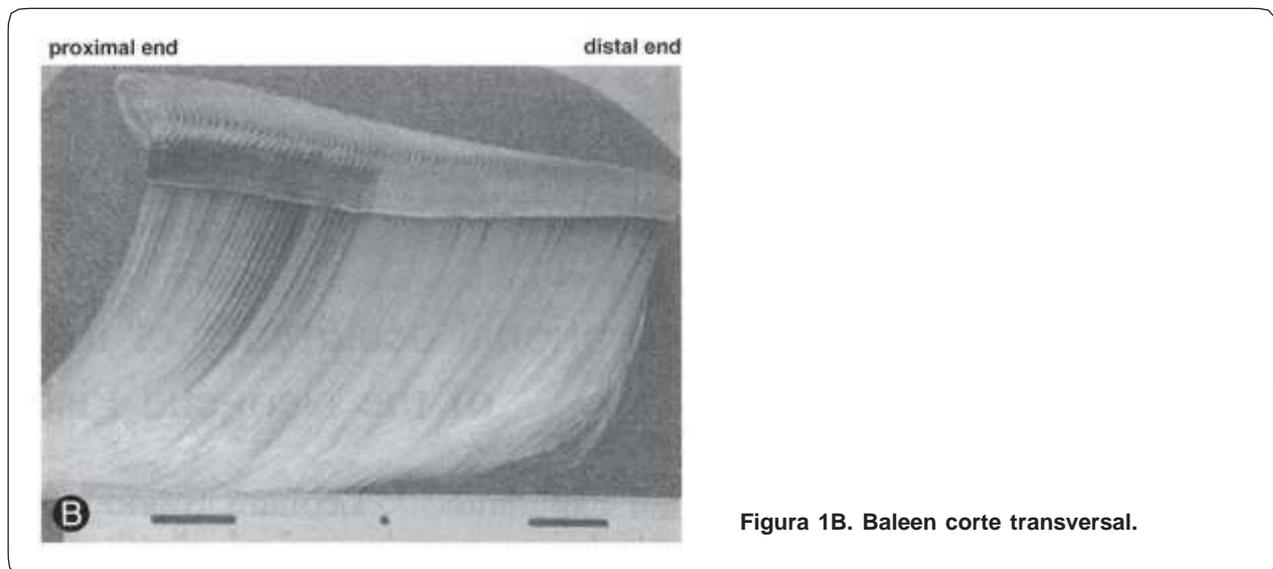
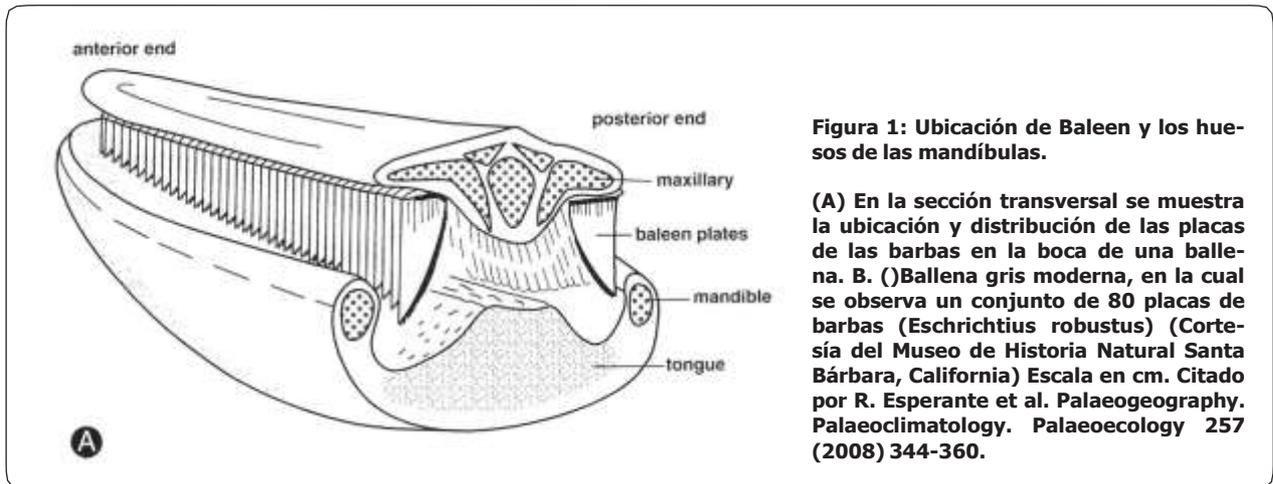
### Introducción

Las ballenas que poseen barbas capturan peces pequeños y el plancton, filtrando volúmenes grandes de agua de mar a través de una cortina fibrosa llamada baleen, un mecanismo en forma de placas, insertadas dentro de la boca, específicamente en la mandíbula superior. Estas placas consisten en una forma de queratina tiesa pero de material elástico y flexible hecho de la proteína fibrosa con sulfuro, lo que genera en una modificación de la epidermis, por tanto su textura y composición no son huesudas. Sin embargo, contienen cantidades pequeñas de *hydroxyapatite*.

El *Hydroxylapatite*, también con frecuencia llamado *hydroxyapatite*, es un mineral. Es una forma natu-

ral de apatita del calcio con la fórmula  $Ca_5(PO_4)_3(OH)$ , pero generalmente se escribe a  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  para denotar que la célula cristalina de la unidad abarca dos moléculas. El *Hydroxylapatite* es el componente mineral principal del hueso. La *hydroxylapatite* deficiente del carbónico-calcio es el mineral principal del cual se extraen el esmalte y el esmalte dental.

El baleen se ubica en dos filas paralelas de las placas traslapadas que cuelgan de una base epidérmica de cada mandíbula superior (Figura 1A). Las superficies laterales de las placas son planas con estrías microscópicas y cada placa se divide cerca del extremo en una terminación fibrosa (Figura 1B).



El número y el tamaño de las placas del baleen varían según la edad y especie de ballena. Puesto que el baleen no tiene un contenido mineral grande como el hueso, es poco probable que pueda soportar un largo proceso de decaimiento después de la muerte de la ballena. Por esta razón, solamente algunas ocurrencias del fósil baleen se han documentado en la literatura científica. Uno de los primeros expedientes consistió en las impresiones carbonizadas de las placas de baleen en rocas de arenisca fina de la formación pliocena en cabo Blanco, Oregon (Packard, 1946). Otra ocurrencia se encontró en *siltstones* masivos sepultados en capas de diatomitas laminadas de la formación de *Capistrano*, en California meridional (Barnes et al., 1987). Un tercer caso fue divulgado por G. Pilleri en las capas diatomáceas masivas de la formación Miocene superior de Pisco, Perú (Pilleri, 1989).

Existen otros especímenes observados en colecciones de museos, como el Museo de Historia Natural del condado de Los Ángeles (NHMLAC), el museo de Papá Noel Bárbara de Historia Natural (SBMNH), y el Acuario Marina de Cabrillo (CMA), situado en California. No se puede negar la existencia de otros especímenes, pero aún no se han publicado sus descripciones. El objetivo de este artículo es documentar y describir treinta ocurrencias del baleen fosilizado en las capas diatomáceas y areniscas de la formación miocena/pliocena de Pisco, en el sur del Perú y se discute las causas posibles de esta ocurrencia excepcional.

## Metodología

### Localización

Los fósiles están ubicados en la cuenca este de Pisco, al oeste de la ciudad de Ocucaje en el sur chico del Perú. La formación miocena/pliocena de Pisco fue depositada durante la última fase de tres transgresiones del Neógeno y consiste en una variedad de litologías, incluyendo las rocas areniscas cerca de la base y lateralmente las capas extensas de la arenisca tufácea, la diatomita, la fosforita, la dolomita, y la roca caliza de menor importancia (Muizon y DeVries, 1985; Muizon, 1988; Marty, 1989; Dunbar et al., 1990; Carvajal, 2002; Esperante, 2002).

Estos depósitos contienen restos abundantes de esqueletos de cetáceos. Cerca de 500 especímenes están registrados en afloramientos de Cerro Blanco,

Cerro Ballena, Cerro Queso Grande, la Zorra, Cerro Bruja, Cerro Brujito y Cerro Yesera de Amara, Cerro Hueco la Zorra. Varias líneas de evidencia indican un ambiente con aguas de baja profundidad (<200 m) para la deposición de las ballenas y del sedimento (Muizon, 1988; Marty, 1989; Dunbar et al., 1990; Carvajal et al., 2000; Carvajal, 2002). Esta evidencia incluye la abundancia de canales y sedimentos con estratificación cruzada, *hummocky* en las capas tufáceas, indicativas de la corriente y ondas que vuelven a trabajar, y la ocurrencia de las diatomeas y de los moluscos de ostra, ambos indicadores de *Chaetoceros* de agua baja profundidad.

### Procedimiento de registro

Los especímenes fósiles fueron registrados sobre un transecto con un ancho de 100-200 m a lo largo de una sección medida en la formación de Pisco en el área del sur y al oeste de la ciudad de Ocucaje (Figura 2). La sección estratigráfica fue medida del contacto con la formación subyacente de Chilcatay a la tapa de la exposición de la formación de Pisco en esta área. La tapa de cada segmento de la sección fue correlacionada con el fondo del segmento siguiente por una capa distinta del referente que consistía en una unidad litológica expuesta y fácilmente identificada lateralmente continua. Los especímenes fueron situados en diversos niveles estratigráficos y en una variedad de litologías.

Los datos registrados para cada espécimen fósil incluyeron los elementos esqueléticos preservados, grado de la articulación, grado de preservación, orientación, longitud y anchura del cráneo y longitud de la columna vertebral, localización con el GPS, y de litología de la capa. Para cada espécimen excavado, las litologías, las estructuras sedimentarias y la relación de incluir los sedimentos con los huesos también fueron registradas. Los fósiles asociados dentro de la misma capa y en las capas subyacentes y sobrepuestas fueron registrados con sus características tafonómicas.

## Resultados Y Discusión

En el área de estudio, los esqueletos fosilizados de ballena están muy bien preservados, y generalmente articulados o parcialmente desarticulados pero con los huesos asociados muy cerca (Esperante, 2002; Esperante et al., 2002; Brand et al., 2004). La identificación taxonómica no fue acentuada, aun-

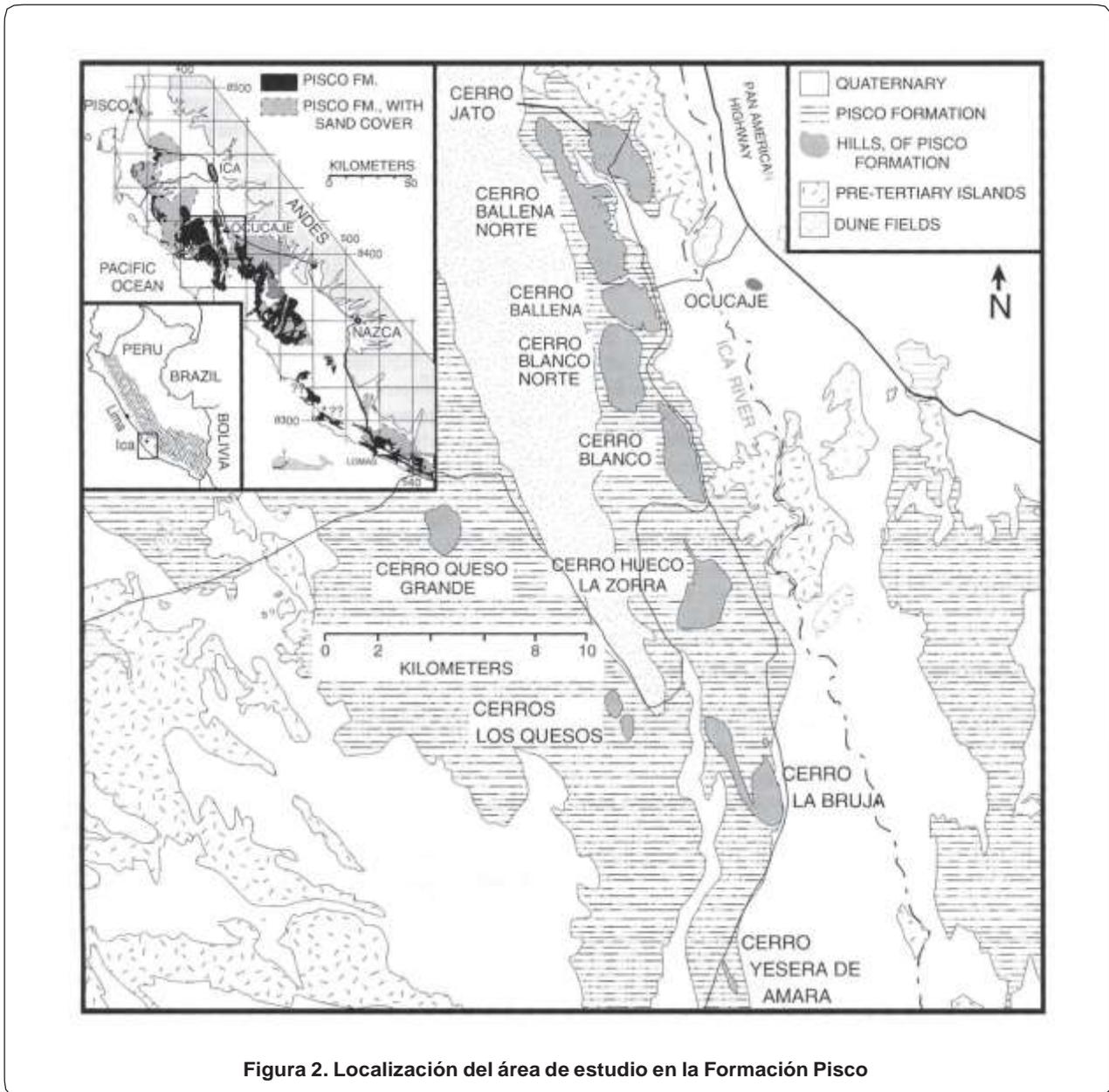


Figura 2. Localización del área de estudio en la Formación Pisco

que tres especímenes se identificaron como pertenecientes a la familia *Cetotheriidae*, y la mayoría de las otras ballenas parecen estar en la familia *Balaenopteridae*.

Las litologías consisten en rocas areniscas y areniscas de grano fino, diatomáceos y tufáceos, a menudo con las cortezas tempranas de la dolomía cerca de los huesos. La ceniza volcánica es abundante en los sedimentos asociados a los huesos, demostrando poco o nada de desgaste por la acción atmos-

férica. Doce especímenes de ballenas se preservan dentro de concreciones carbonato que son calcitas, dolomíticos o ambos. La erosión ha expuesto muchos especímenes quitando los estratos circundantes. Tales esqueletos demuestran varios grados de deterioro por la erosión, que ha quitado o ha dañado algunos huesos, saliendo a veces de especímenes incompletos.

No hay evidencia de bioturbación del sedimento o de la presencia de la fauna invertebrada asociada,

en contraste con lo que ocurre con los caparzones modernos de ballena (Smith et al., 1989; Allison et al., 1991; Smith, 1992; Bennet et al., 1994; Smith et al., 1998; Smith y Baco, 2003; Goffredi et al., 2004). Dentro de este ajuste general, treinta esqueletos de ballenas (de la sub-orden mysticeti) fueron encontrados con el baleen preservado. Un resumen de las características tafonómicas de los esqueletos de la ballena se presenta en la tabla 1. Cuatro especímenes tenían su cráneo total o casi cubierto por el sedimento a la hora del descubrimiento y el baleen fue expuesto durante la excavación; los otros veintiséis esqueletos de ballena fueron expuestos sobre todo cuando eran descubiertos. El alto grado de articulación y de lo completo de los esqueletos sugiere que todo o la mayor parte de los esqueletos fueron esencialmente completos y articulados sobre todo cuando estuvieran enterrados.

#### **Descripción de los especímenes**

Las características generales de los esqueletos de la ballena con baleen se resumen en la tabla 1. Los treinta especímenes de la ballena fueron divididos en tres grupos según el grado de la asociación del baleen preservado con el cráneo particularmente y con el resto del esqueleto. El primer grupo consiste en especímenes de ballena con el cráneo destruido sobre todo por la erosión moderna y baleen preservado en fragmentos pequeños de la roca del hueso y del anfitrión del cráneo. Solamente dos especímenes, BR06-1 y WCBa-403, están en esta categoría (Figura 3). El ajuste de ambos especímenes sugiere que la fragmentación ocurrió durante la exposición moderna.

El segundo grupo consiste en dos especímenes, WCBa-20 y WIR-126, que tienen el cráneo preservado y las secuencias de la demostración del baleen articulado separado de la boca. WCBa-20 es una ballena grande, completa, muy bien preservada y completamente articulada de la familia Balaenopteridae (Figura 4). La ballena fue encontrada cubierta casi enteramente y excavada a la superficie más baja de los huesos. Solamente algunas falanges faltan, probablemente como resultado de la erosión moderna. La mentira sobre el húmero y el cúbito izquierdo es una sección de baleen (60 x 20 centímetros), que se había movido desde la boca a un lado antes del entierro (Figura 4A-C). El baleen preservado consiste en una serie de rayas anaranjadas que contrastan

claramente con el color blanco de la roca diatomácea circundante.

El tercer grupo incluye veintiséis especímenes con sus cráneos preservados y con el baleen unido a los huesos superiores de la mandíbula. Ocho especímenes de este grupo (IC-1, IC-23, IC-41; IC-57, IC-108, LQ05-2, WCBa-18, WCBa-343) demuestran por lo menos sistema completo o casi completo de baleen, con las placas preservadas, cada placa individual preservada como lámina muy fina dentro de la roca de la matriz (Figuras 5-7). Los otros dieciocho especímenes de este grupo (BALEENBIV, BR05-3, BR06-1, BR06-2, CBL05-1, IC-49, IC-100, IC-101, IC-102, IC-103, IC-104, W-8, W-525, WC-33, WCB05-1, WCBL-18, WIR-74, WIR-126, WIR-133, WIR05-66) demuestran tener uno o dos sistemas incompletos de baleen (Figura 8). La mayor parte de los últimos especímenes muestran el cráneo destruido por la erosión moderna a varios grados, que sugiere que los sistemas de baleen desaparecidos pudieron haber sido preservados enteramente después del entierro sin haber sido erosionados después de la exposición.

#### **Baleen en posición de vida**

Las observaciones de ballenas indican que las placas del baleen tienden a separarse de la mandíbula superior. La separación del baleen ocurre muy rápidamente en un corto tiempo entre varias horas y algunos días o semanas después de la muerte (Michelle Berman, com. pers.). La separación rápida es facilitada en parte por el hecho de que el baleen no se arraiga en las quijadas superiores, sino que se adhiere a través de un pegamento orgánico que decae rápidamente después de la muerte del individuo. Esto explicaría por qué muy pocos especímenes de los fósiles de la ballena en general se han encontrado con el baleen preservado y adherido aún a la mandíbula.

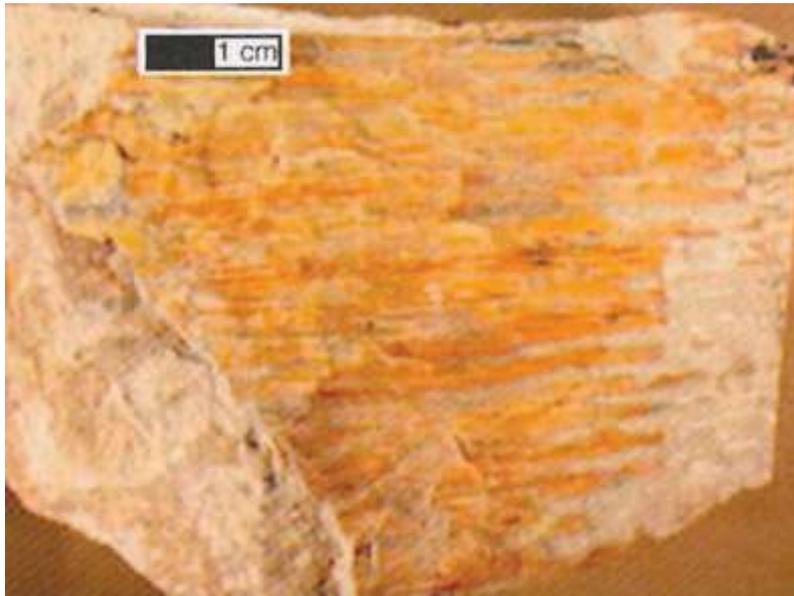
#### **Mineralización temprana y entierro rápido**

Dos ballenas, un espécimen completamente articulado (WCBa-20, Figura 4A-C) y un esqueleto con la columna vertebral separada del cráneo (WIR-126, Figura 4H-J) tienen el baleen separado de la boca y preservado en asociación con otros huesos del esqueleto. Estos especímenes más recientes confirman que la separación del baleen puede ocurrir muy temprano en el proceso del decaimiento, y sugiere que mineralización temprana y el entierro rápido deben haber sucedido después de la separación.

**Tabla 1. Características tafonómicas de especímenes estudiados en la Formación Pisco, Ocucaje-Ica, Perú.**  
 Baleen Fósil (Cetacea: mysticeti) en Sedimentos de la Cuenca Marina del Neógeno en la Formación Pisco, al Sur del Perú

Specimen	Area (Figure 1)	Location of skeleton	Compass orientation skull/vert	dsu/ vsu	cv	ribs	limbs	scv	va	la	Measurement of Preserved Skeleton			Figure
											Skull length	Skull width	Vert col length	
<i>Skull mostly destroyed, articulated baleen in fragments of host rock on surface</i>														
BR06-1	Cerro La Bruja	slope	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WCBa-403	North Cerro Blanco	concretion on the slope	-	-	-	-	yes	-	yes	-	-	-	-	3
<i>Skull preserved, articulated baleen detached from the mouth</i>														
WCBa-20	North Cerro Blanco	plain	97	vsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	214	90	746	4
WIR-126	South Cerro la Bruja	slope	350/60	dsu	yes	yes	no	no	yes	-	110	22	148	4
<i>Skull preserved, articulated baleen in life position attached to the upper jaw bone</i>														
BALEENBIV	North Cerro Blanco	slope	155	dsu	yes	-	-	yes	-	-	-	-	-	5
BR05-3	Cerro La Bruja	slope	10	-	-	-	yes	-	-	-	-	-	-	5
BR06-2	Cerro El Brujito	plain	270	dsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	360	184	-	5
CBL05-1	Cerro Blanco	slope	290	vsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	80	184	545	5
IC-1	Cerro Los Quesos	plain	135	vsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	356	172	862	6
IC-23	North Cerro Blanco	concretion on the surface	195/220	side	yes	yes	yes	yes	yes	yes	340	170	862	6
IC-41	West side Cerro Hueco la Zorra	plain	250	dsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	351	-	420	7
IC-49	East side Cerro Yesera Amara	plain	135	vsu	yes	yes	yes	no	no	no	180	90	-	7
IC-57	East side Cerro La Bruja	slope	105	vsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	300	160	570	8
IC-100	Cerro la Bruja	concretion on a mound	310	dsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	245	156	-	
IC-101	North Cerro Blanco	slope	255	dsu	-	yes	-	-	-	-	230	-	-	
IC-102	North Cerro Blanco	concretion on a mound	180	dsu	yes	yes	-	yes	yes	-	-	-	-	
IC-103	North Cerro Blanco	concretion on a mound	-	dsu	yes	-	-	-	yes	-	-	-	-	8
IC-104	North Cerro Blanco	concretion on a mound	345	dsu	yes	yes	-	yes	yes	-	-	-	-	8
IC-108	Cerro Blanco	slope	105	dsu	yes	yes	-	-	-	-	-	-	-	8
LQ05-2	Cerro Los Quesos	concretion on the surface	35	vsu	yes	yes	yes	yes	yes	-	-	-	-	8
W-8	Cerro Blanco	plain	215/120	vsu	yes	yes	yes	no	yes	yes	350	230	-	8
W-525	Cerro Blanco	slope	137	-	yes	yes	yes	yes	yes	yes	-	-	-	
WC-33	South Cerro Blanco	concretion on the slope	180	dsu	yes	yes	-	yes	yes	-	210	-	500	
WCBA-18	North Cerro Blanco	plain	106	vsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	210	-	550	
WCBa-343	North Cerro Blanco	concretion on a mound	172	dsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	185	140	635	9
WCB05-1	Cerro Ballena	slope	285	dsu	yes	yes	yes	yes	yes	-	210	105	180	
WCBL-18	North Cerro Blanco	concretion on a mound	264	dsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	150	70	290	
WIR-74	South Cerro La Bruja	concretion on the slope	186	dsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	-	-	-	9
WIR-133	North Cerro La Bruja	concretion on a mound	89/167	dsu	-	yes	-	-	yes	-	-	-	-	
WIR05-66	Cerro Yesera de Amara	slope	80	vsu	yes	yes	yes	yes	yes	yes	110	44	-	

Fuente: Esperante et al. (2008). Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology 257: 344-360.



**Figura 3. Baleen de Ballena WCBa-403. Esta ballena fue expuesta sobre la superficie y está dañada por la erosión moderna.**

### **Paleoambiente**

La preservación de esqueletos completos y articulados y del baleen requiere dos condiciones (1) carencia de depredadores y el entierro rápido acompañado por la mineralización temprana. Se puede sugerir varias hipótesis para explicar la carencia de depredadores y la preservación excepcional con los huesos bien-preservedos y el baleen. La carencia de depredadores se podía explicar por las condiciones hostiles relacionadas sobre todo con los cambios repentinos o catastróficos en el ambiente del fondo del mar, incluyendo el lanzamiento de gases tóxicos por debajo del suelo marino en el agua de mar, las nubes de los gases volcánicos cargados con los gases tóxicos y la ceniza, las floraciones tóxicas del fitoplancton, y el anoxia. Algunas de estas condiciones potencialmente hostiles en el ambiente no se reconocen fácilmente en el expediente sedimentario, y por lo tanto no pueden ser probadas.

El análisis preliminar de la composición de la diatomea de algunos de las areniscas diatomáceas asociadas a las ballenas de la formación de Pisco no demostró ninguna especie tóxica (Winsborough, com. pers., 2001), aunque algo de la especie de la diatomea pudo haber sido tóxica en el pasado y haberse desarrollado posteriormente para llegar a ser no tóxica. La asunción del ambiente *anoxic*, que se invoca comúnmente para explicar la ausencia del barrido,

se debe eliminar en el caso de la formación de Pisco porque las capas sedimentarias son arcilla-pobres y fueron depositadas en aguas agitadas bajas. La presencia de un régimen hidrodinámico activo en un ajuste deposicional relativamente bajo es apoyada por varias líneas de la evidencia (Dunbar et al., 1990; Carvajal, 2002), incluyendo las estructuras sedimentarias abundantes típicas de procesos de marea, y de la tormenta, de proximidad a las colinas y al litoral ígneos pre-Terciarios reconocidos, y de la composición de la diatomea (Esperante, 2002). La evidencia para la existencia de las corrientes del agua (los guijarros pequeños, la arena medio-a-gruesa, y fregar-y-llenar las estructuras sedimentarias) se encuentra asociada con algunos esqueletos.

### **Conclusiones**

**E**ste artículo documenta la ocurrencia de treinta especímenes de ballenas fósiles con preservación del baleen en la formación Neógena de Pisco, Perú meridional, en depósitos siliciclásticos y diatomáceos. La mayor parte de las ballenas que se encontraron en esta formación, incluyendo el baleen preservado, se articulan bien o desarticulan parcialmente con sus huesos asociados (*el sensu Behrens-meyer, 1991*), y ellas carecen de la evidencia del barrido y de la abrasión, que sugiere el entierro rápido de las caparazones. Las observaciones de los es-

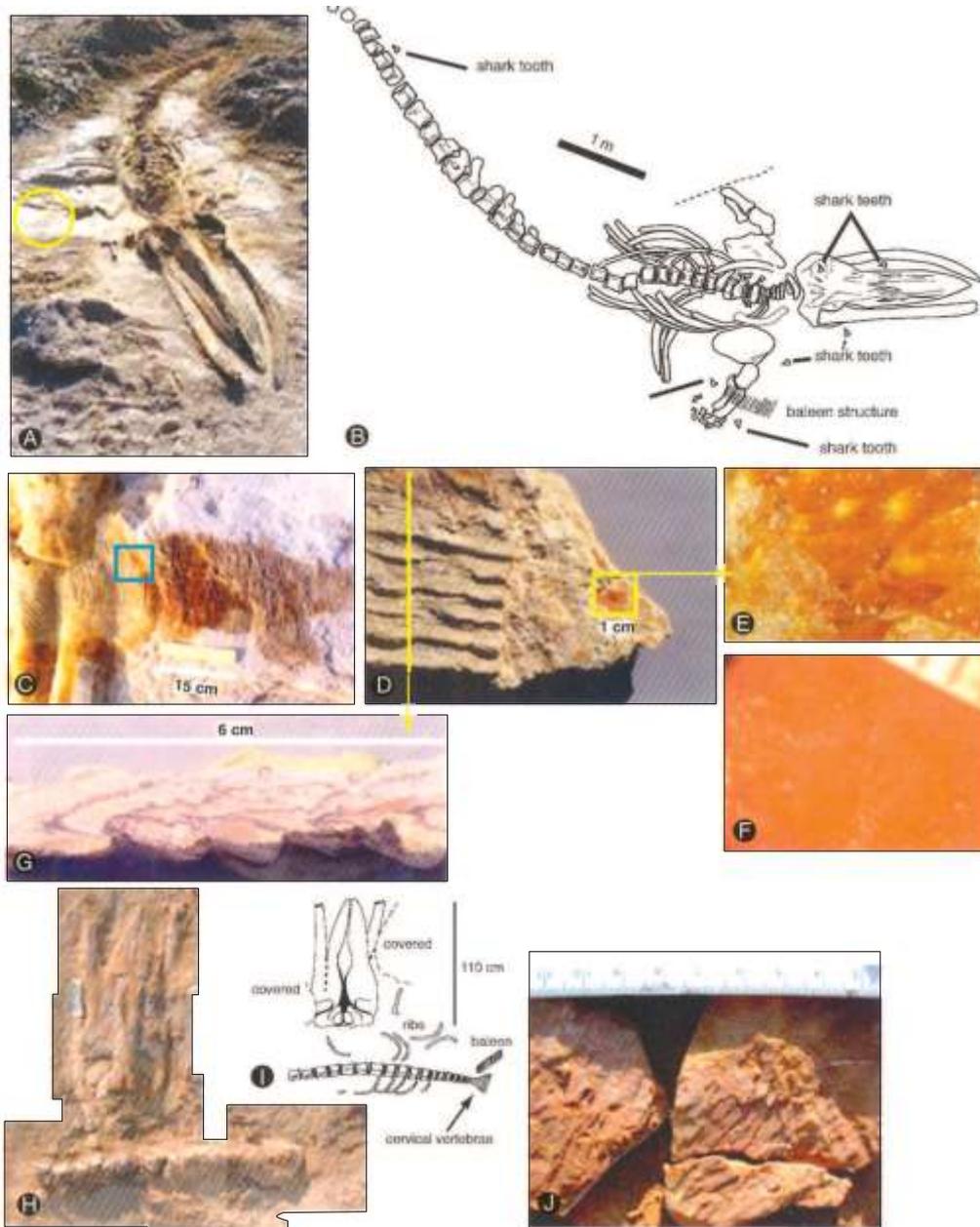
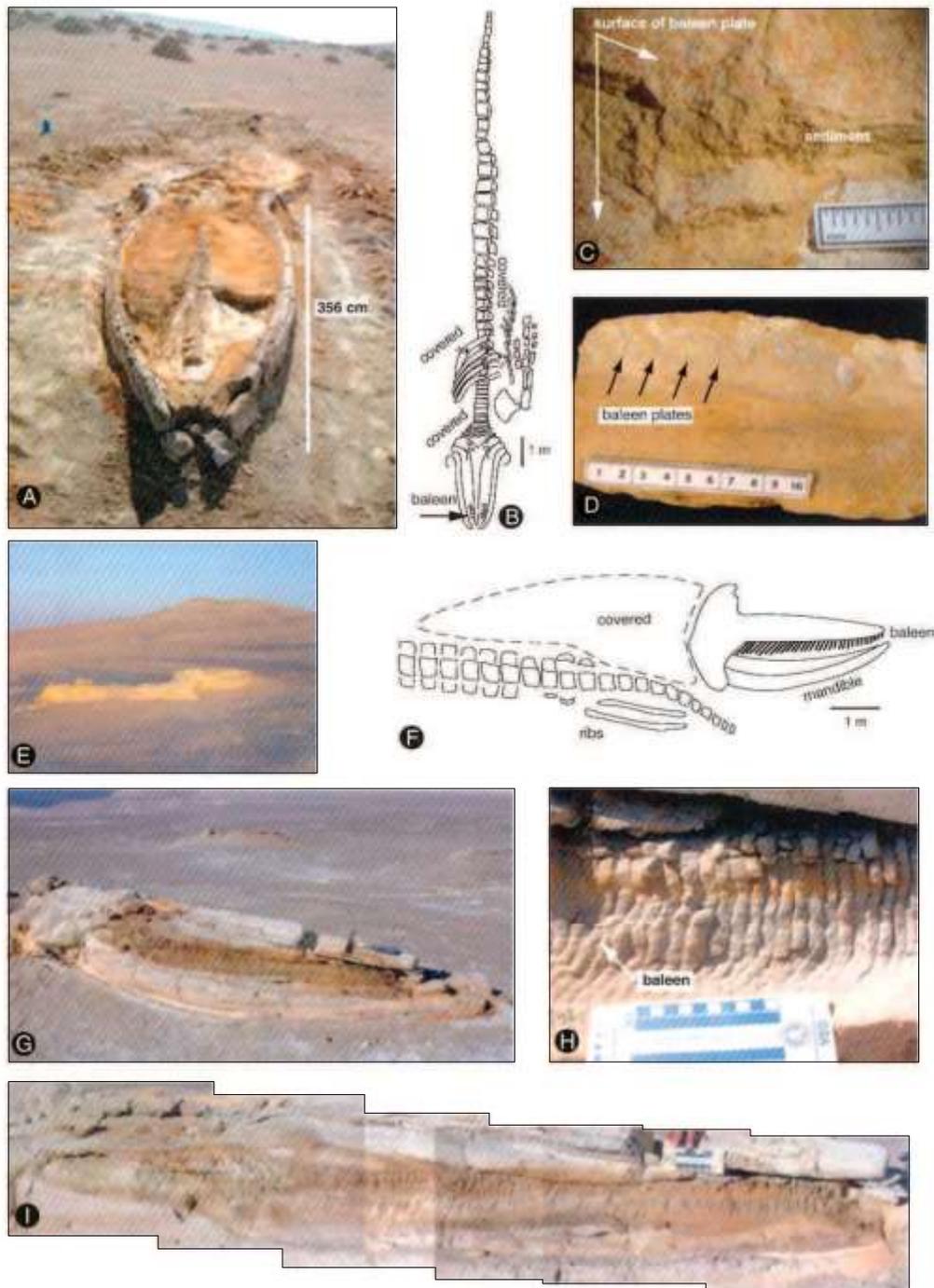


Figura 4. Ballena WCBa-20. (A) El esqueleto completo expuesto después de la excavación. Las Barbas se conservan en la parte superior de una de las extremidades (círculo). (B) El esqueleto está bien conservado y completamente articulado. Aunque siete dientes de tiburón se encuentran asociados a este esqueleto, no se observaron marcas en los huesos. (C) Detalle de barbas conservadas en roca diatomita, en la parte superior el húmero, cúbito y el radio de una de las extremidades. (D) Detalle de fragmento de barbas. La zona muestra algunos barbas bien conservadas. (E) Detalle de la zona al microscópico en la fotografía D mostrando similar textura como en la superficie de las placas de barbas modernas. (F) Superficie de una placa de barbas de ballena gris (*Eschrichtius robustus*), que muestra una superficie lisa, con crestas y surcos. (G) Sección transversal de la muestra en la imagen D que muestra las placas de ballena fosilizados (de color púrpura) en roca diatomacea.



**Figura 5.** Preservación de las placas del baleen y adheridas a la mandíbulas como matriz (A-D) ballena CI-1. (A) Esqueleto de ballena de CI-1 vista desde el extremo anterior del cráneo. (B) Esquema de todo el esqueleto excavado. (C) Sección transversal de dos placas de barbas y el relleno de sedimentos en el medio. (D) Sección transversal que muestra once franjas de barbas (sólo cuatro están marcadas con flechas). (E-I) La ballena IC-23. (E) Posición general ubicación de la ballena IC-23, conservado en una concreción de superficie resistente. (F) Croquis de la muestra. Lumbar y vértebras caudales, costillas y muchas, al menos, una parte habían desaparecido debido a la erosión. (G) de cráneo y mandíbula derecha, con una muestra casi completa de barbas preservadas en posición de vida. (H) Detalle de las barbas preservadas con los sedimentos de arenisca. (I) Vista panorámica de la ballena conjunto. Sólo unas pocas placas de barbas faltan desde el extremo anterior de la boca.

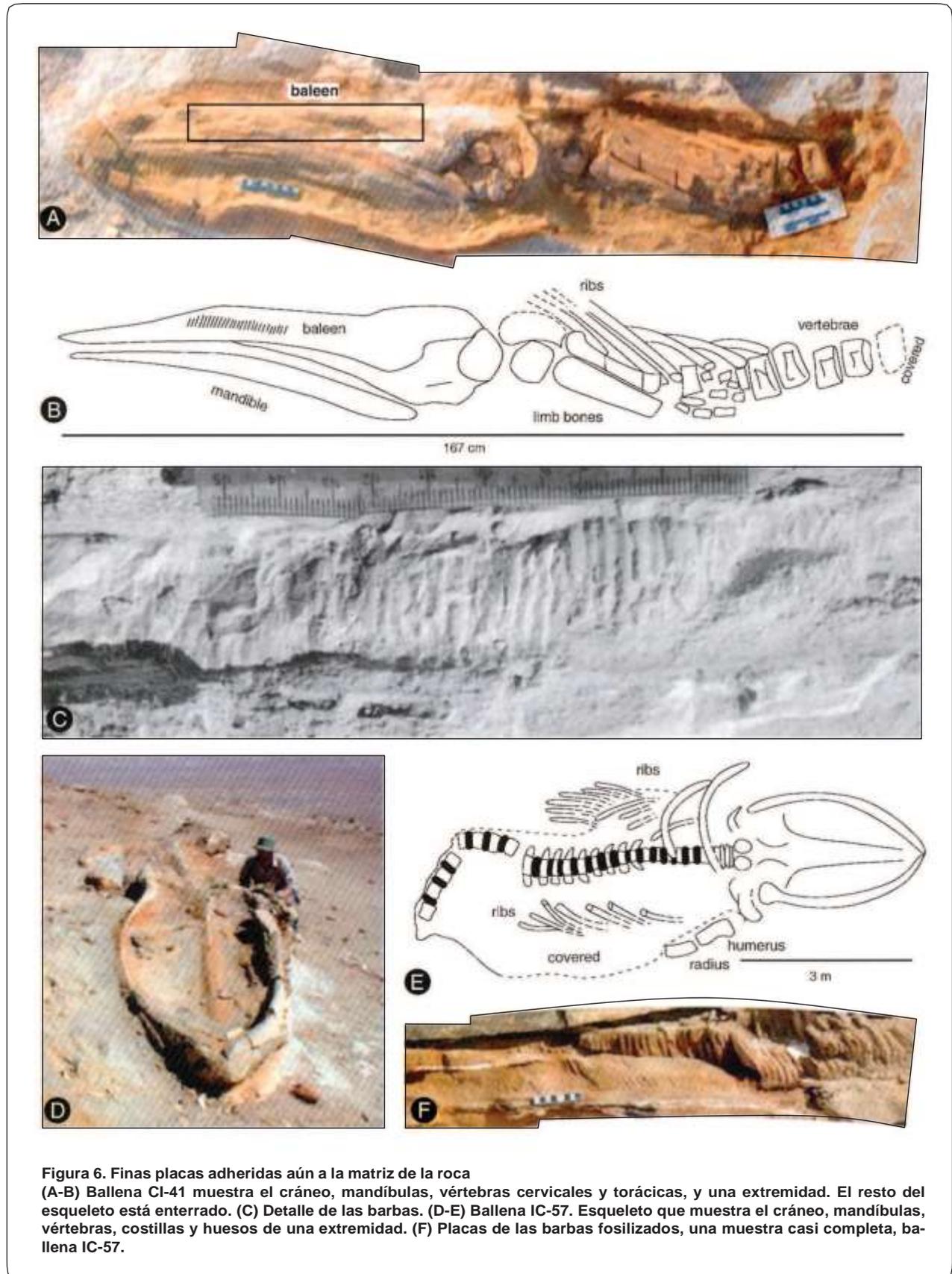


Figura 6. Finas placas adheridas aún a la matriz de la roca

(A-B) Ballena CI-41 muestra el cráneo, mandíbulas, vértebras cervicales y torácicas, y una extremidad. El resto del esqueleto está enterrado. (C) Detalle de las barbas. (D-E) Ballena IC-57. Esqueleto que muestra el cráneo, mandíbulas, vértebras, costillas y huesos de una extremidad. (F) Placas de las barbas fosilizados, una muestra casi completa, ballena IC-57.

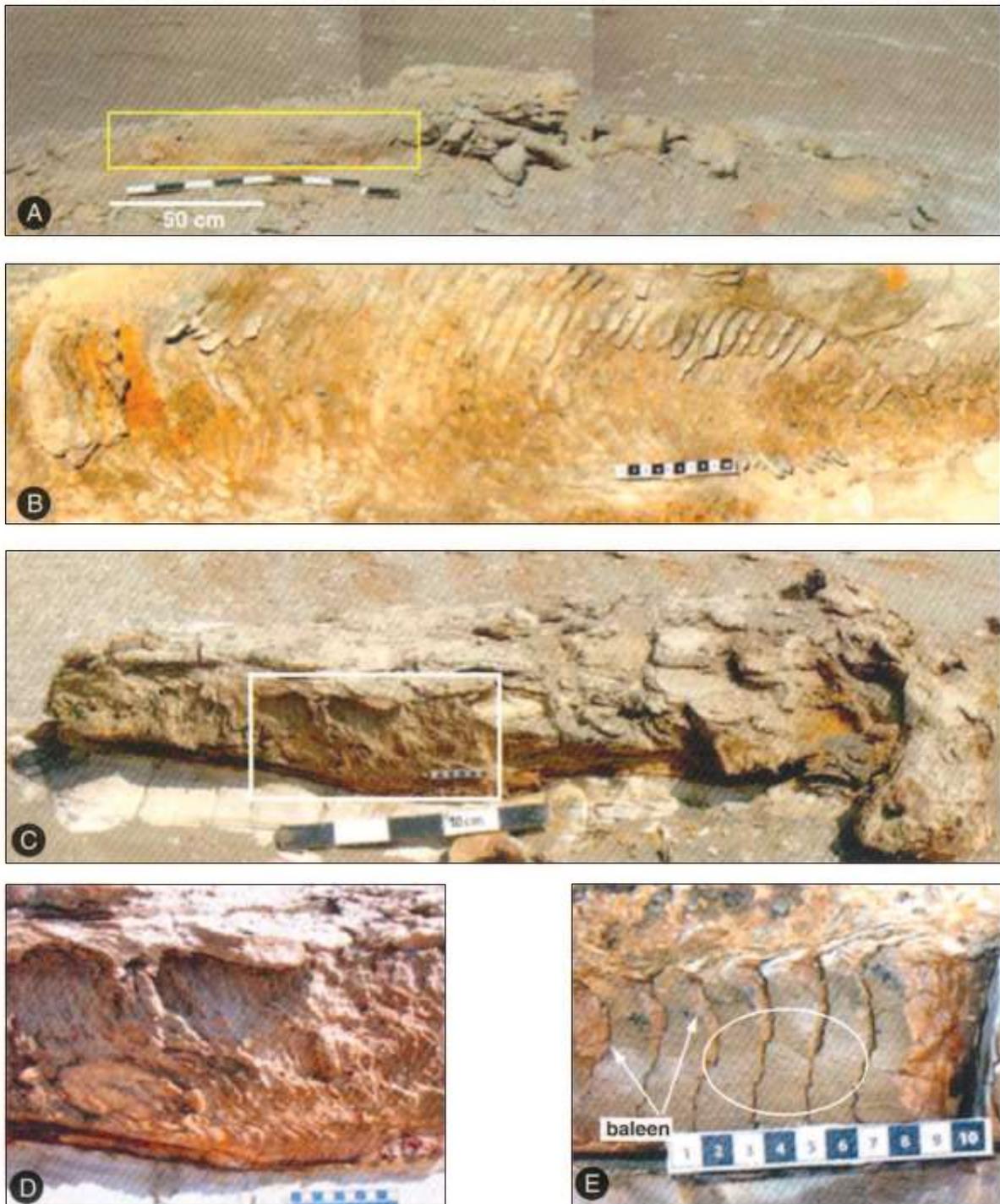


Figura 7. Baleen de ballenas semi - preservado, adherido a la matriz superior de la mandíbula (A) ballena CI-108. Este modelo estaba muy deteriorado por la erosión. (B) Detalle de una gran parte de barbas conservadas. (C) Cráneo de WCBa-343 descansando sobre un montículo de diatomeas y arenisca conservados en una concreción de carbonato. Ambas mandíbulas se han erosionado, y el conjunto de placas de barbas que se exponen están en posición de vida que se adjunta al hueso maxilar. (D) Detalle de las placas de las barbas fosilizadas. (E) Barbas de ballena LQ05-2.

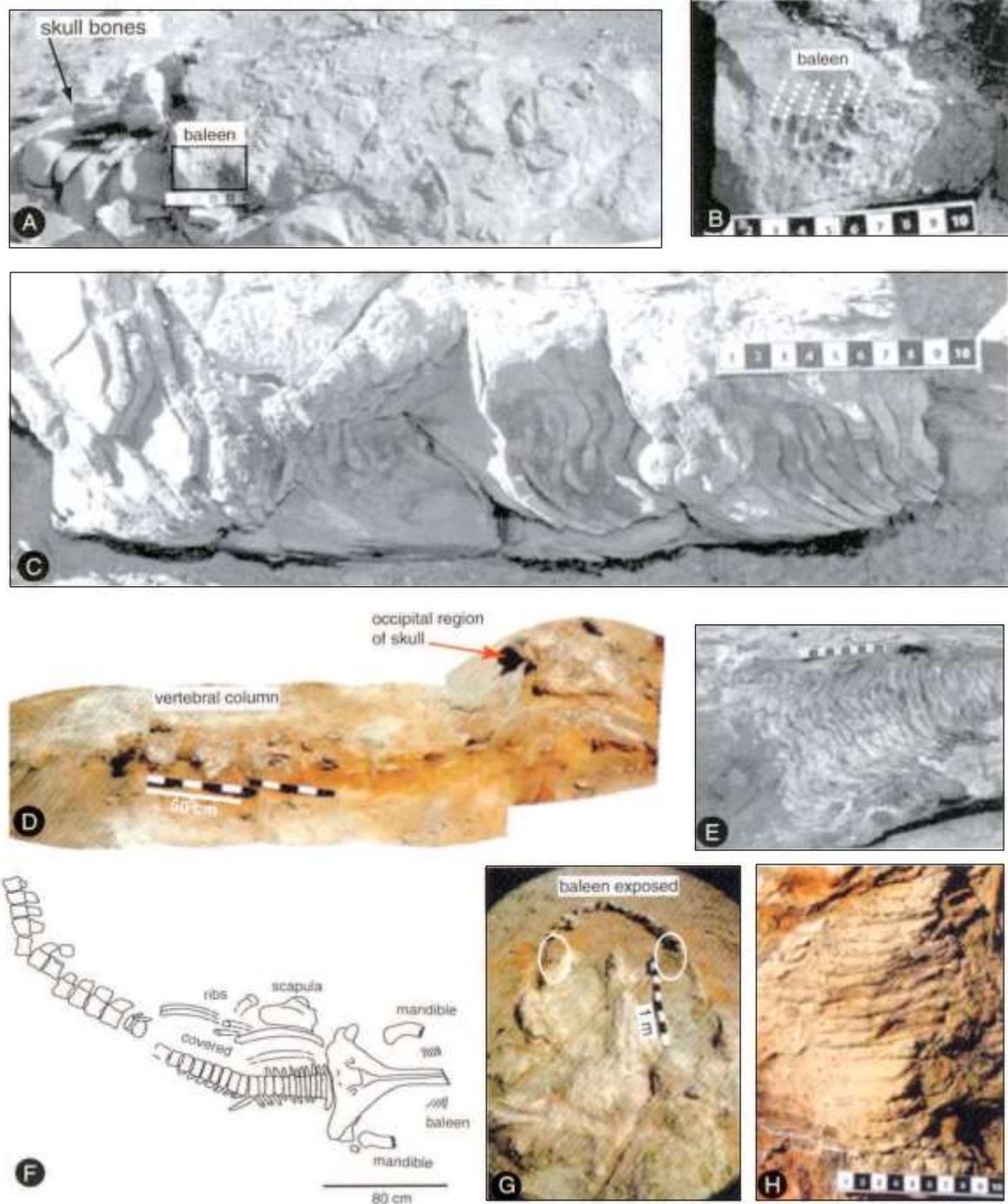


Figura 8. Sistemas incompletos de baleen

(A) Cráneo parcial baleen IV. Sólo la zona occipital del cráneo se conserva en una capa de carbonato de arenisca, el resto del esqueleto no se conserva. (B) Fragmento de roca muestra huellas de las barbas. (C) Barbas de BR05-3. Estas barbas están severamente dañados por la erosión y la mayoría de los huesos del esqueleto se ha eliminado. (D) Vértebra torácica y la región occipital del cráneo de la ballena BR06-2. Las vértebras están bien articuladas. (E) Detalle de barbas de ballena BR06-2. (F-H), la ballena CBL05-1. (F) Croquis de toda la muestra expuesta después de la excavación. (G) Vista del cráneo y mandíbula de la columna vertebral. (H) Detalle de una de las barbas expuestas. Las Barbas se conservan como delgadas láminas de roca arenisca. Escala de barras en cm.

queletos modernos de la ballena en el suelo marino indican que el baleen se separa rápidamente de la boca, y que son colonizados los huesos rápidamente por los limpiadores que causan la bioerosión y el deterioro de los elementos esqueléticos. En cambio, los esqueletos de la formación de Pisco se preservan bien, y carecen de evidencia para la bioerosión o la exposición a largo plazo de los huesos en el fondo del mar.

El análisis sedimentológico sugiere que las ballenas articuladas fueron preservadas en un ambiente bajo, y enterradas por las areniscas tufáceas y diatomáceas, las rocas areniscas finas, y las diatomitas. Las corrientes de agua estaban activas durante el entierro de las ballenas, según lo registrado por la presencia de cantos rodados en las capas y de la estratificación cruzada. El baleen se preserva (fosilizado) en la posición de vida dentro de la boca, excepto en dos especímenes, en los cuales fueron quitados antes del entierro y preservados en asociación con el esqueleto. Porque el baleen no se arraiga en la quijada superior pero está unido solamente por medio del pegamento orgánico, su preservación en la posición de vida no es viable bajo condiciones normales. Una combinación de la mineralización temprana y del entierro rápido se sugiere para la preservación excelente de los huesos y la ocurrencia excepcional de baleen en la posición de vida. La mineralización temprana del baleen debe haber ocurrido dentro de algunas horas a algunos días, y el entierro del esqueleto dentro de algunas semanas a algunos meses para las ballenas con baleen preservado en la formación de Pisco.

## Referencias

- Allison, P.A., 1988. "The role of anoxia in the decay and mineralization of proteinaceous macro-fossils". *Paleobiology*, 14(2): 139-154.
- Allison, P.A., C. R. Smith, H. Kukert, J. W. Deming y B. A. Bennet. "Taphonomy deep of vertebrate: a Skeleton of the whale in the Basin of *bathyal* de Santa Catalina", *Paleobiology* 17 no. 1 (1991): 78-89.
- Amano, K. y C. T. S. Little. "Miocene whale-fall community in Hokkaido, northern Japan", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 215 no. 3-4 (2005): 345-356.
- Barnes, L.G., R. E. Raschke, y J. C. Brown. "A Baleen Whale Fossil", *Whalewatcher* 21 no. 4 (1987): 7-10.
- Behrensmeyer, A. K. "Terrestrial vertebrate accumulations". En *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*. Editado por P. A. Allison y D. E. G. Briggs, Topics in Geobiology 9. New York: Plenum Press, 1991.
- Bennet, B. A., C. R. Smith, B. Glaser y H. L. Maybaum. "Structure of the Community of Faunal Assemblage as a Chenoatrophic in the bones of the Whale in the Northeast Pacific Ocean Deep". En *Series of Progress in Marine Ecology*, 108 (1994): 205-223.
- Brand, Leonard R., Raúl Esperante, A. V. Chadwick, Orlando Poma Porras y Merling Alomía. "Fossil whale preservation implies high diatom accumulation rate in the Miocene-Pliocene Pisco Formation of Peru". *Geology* 32 no. 2 (2004): 165-168.
- Carvajal, C., H. P. Buchheim, Orlando Poma, A. Chadwick y Leonard Brand. "Sedimentology and paleoenvironment of whale bearing sediments of the Miocene/Pliocene Pisco Formation, Peru", En Annual Meeting. Geological Society of America. Reno, Nevada, 2000. A10.
- Carvajal, C. R. "Sedimentology and paleoenvironments of the Miocene/Pliocene Pisco Fm., Perú". Masters of Science Thesis, Loma Linda University, Loma Linda, 2002.
- Dunbar, R. B., R. C. Marty y P. A. Baker. "Cenozoic Marine Sedimentation in the Sechura and Pisco basins, Peru". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 77 (1990): 235-261.
- Esperante, Raúl. "Taphonomy of fossil Whales in Diatomaceous Sediments of the Neogene Pisco Formation, Peru". Doctorate Dissertation Thesis, Loma Linda University, Loma Linda, 2002.
- Esperante, Raúl y Leonard Brand. "Preservation of baleen whales in tuffaceous and diatomaceous deposits of the Pisco Fm, southern Peru". En First International Palaeontological Congress (IPC 2002), editado por G. A. Brock y J. A. Talent. Sydney, Australia: Geological Society of Australia, 2002. p. 51.
- Esperante, Raúl, L. R. Brand, A. Chadwick y Orlando Poma. "Taphonomy of fossil whales in the diatomaceous sediments of the Miocene/Pliocene Pisco Formation, Peru". En Current topics on taphonomy. Editado por M. de Renzi et al. Ayuntamiento de Valencia, Valencia, 2002. pp. 337-343.
- Esperante, Raúl. "Exceptional occurrence of fossil baleen in the Miocene/Pliocene Pisco Formation, Peru". En Geological Society of America Annual Meeting Geological Society of America. Philadelphia, Pennsylvania: GSA, 2006. pp. 64.
- Goedert, J. L. y L. G. Barnes. "Paleocology of the Whale-fall habitats of Rocks Deep Oligocene, Olympic Peninsula, Washington", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 118 (1995): 151-158.

- Goffredi, S. K., C. K. Paul, K. Fulton-Bennett, L. A. Hurtado y R. C. Vrijenhoek. "The Unusual Benthic Fauna was Associated with a Fall of the Whale in the Gulf of Monterey, California". *Research on High Seas I*, 51 (2004):1295 - 1306.
- Lauffenburger, J. A. "Baleen in Museum Collections: Its Sources, Uses, and Identification". *Journal of the American Institute for Conservation* 32 no. 3 (1993): 213-230.
- Muizon, C. D. y T. J. deVries. "Geology and Paleontology of Late Cenozoic Marine Deposits in the Sacaco Area (Perú)". *Geologische Rundschau* 74 no. 3 (1995): 547-563.
- Muizon, C. D. "Les vertebres fossiles de la formation Pisco (Perou): biostratigraphie, correlaciones et paleoenvironnement". *Geodynamique*, 3 no. 1-2 (1982): 21-24.
- Packard, E. L. "The fossil Baleen of the Pliocene of Cape Blanco, Oregon". *Studies of the University of Oregon in Geology* (1946): 3-11.
- Pilleri, G. ed. *Der Cetaceen Perus del paläontologie del zur de Beiträge*. Berna: Hirnanatomisches Institut, Ostermundigen, 1989. 233 pp.
- Smith, C. R., H. Kukert, R. A. Wheatcroft, P. A. Jumars, y J. W. Deming. "Vent Fauna in the Remains of the Whale". *Nature* 341 (1989): 27-28.
- Smith, C. R. "Falls from the Whale: Chemosynthesis in the Deep Seafloor". *Oceanus* 35 no. 3 (1992): 74-78.
- Smith, C. R. et al. "Structure of the Community of Sediment Around a Skeleton of the Whale in the Northeast Pacific Deep: The Effects of macrofaunal, Microbial, and Bioturbation". *Research on High Seas II*, 45 (1998):335 - 364.
- Smith, C. R. y A. R. Baco. "The Ecology of the Whale Down on the Floor of the High Seas". *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 41 (2003):311 - 354.
- Viohl, G. "Fish taphonomy of the Solnhofen Plattenkalk - An approach to the reconstruction of the paleoenvironment". *Geobios* 16(1994):81-90.
-