

que el medio de superficie de Sierra Nevada exhibe escasa alteración química de las rocas y los suelos; predominarían allí los procesos físicos de fragmentación y de movimiento de materiales por el agua, el viento y la gravedad. Veamos lo que "dice" el cuarzo. En suelos situados entre 1500 y 2000 m de altitud, los cuarzos (véanse las figuras 3a y 3b) muestran rasgos de intensa alteración química actual: huellas de disolución de formas piramidales, golfos de corrosión, pérdida de masa intergranular, redondeamiento de bordes, etc. Otro indicio de alteración es la presencia en su composición química de proporciones notables de elementos distintos del silicio o del oxígeno, cuyo contenido se incrementa desde el centro de los granos hacia la periferia (el cuarzo inalterado es un mineral muy puro, formado casi exclusivamente por silicio y oxígeno, sólo superado en pureza por el diamante, el grafito y el hielo). Estos hechos, nunca descritos, acercan los suelos de Sierra Nevada a los tropica-

les, en los que el cuarzo se disuelve activamente y se altera. Queda, pues, en entredicho el axioma de que el cuarzo es en el medio mediterráneo un mineral inerte.

En la actualidad seguimos avanzando en el conocimiento de las morfologías de los granos de cuarzo presentes en los suelos mediterráneos y de su significado. Detectamos, al menos, trece morfotipos diferentes de granos, con fórmulas distintas de las del cuarzo químicamente puro e inalterado. Nos encontramos, pues, abriendo un libro en cuyas páginas están las respuestas a muchos de los enigmas que plantean los suelos y el medio ambiente.

RAFAEL DELGADO CALVO-FLORES,
GABRIEL DELGADO CALVO-FLORES
y ROCÍO MÁRQUEZ CRESPO

Depto. de Edafología
y Química Agrícola,
Universidad de Granada

JUAN MANUEL MARTÍN GARCÍA
Depto. de Geología,
Universidad de Jaén

El golfo Dulce de Costa Rica

Sumidero de nitrógeno oceánico

En 1519, a los pocos días de zarpar con rumbo noroeste de la recién descubierta costa pacífica del continente americano, los navegantes españoles Juan de Castañeda y Hernán Ponce de León se internaron en una gran ensenada, hoy conocida como golfo Dulce, en el litoral sur del océano Pacífico de Costa Rica. Pese a haber transcurrido casi cinco siglos desde entonces, buena parte de ese estuario conserva aún la misma apariencia. Una importante sección de la península de Osa ha sido declarada área protegida: el Parque Nacional de Corcovado.

El golfo Dulce se encuentra a una latitud norte de entre 8° 23' y 8° 45', y a una longitud oeste de entre 83° 5' y 83° 29'. Su estructura geomorfológica guarda semejanza con la de los fiordos de las latitudes septentrionales: paredes de gran pendiente surgen del mar y conforman una costa montañosa. Una barrera rocosa situada a

60 metros de profundidad restringe la entrada del agua del mar. En el interior se alcanzan profundidades de hasta 200 metros.

El golfo se extiende a lo largo de unos 50 kilómetros en dirección sureste-noroeste; su anchura se mantiene entre los 10 y 15 kilómetros. Las primeras investigaciones sobre las características oceanográficas de este cuerpo de agua, llevadas a cabo por expertos de la Universidad de Washington, datan de 1971. En el período comprendido entre 1990 y 1992, Jorge Cortés, de la Universidad de Costa Rica, analizó la situación de los corales de la región. Entre 1993

y 1994, en una expedición conjunta entre el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de Costa Rica (CIMAR) y el Centro de Ecología Tropical Marina (ZMT) de la Universidad de Bremen, la investigación del golfo se amplió a varios aspectos biogeoquímicos; se utilizó como plataforma el buque oceanográfico *Victor Hensen*.

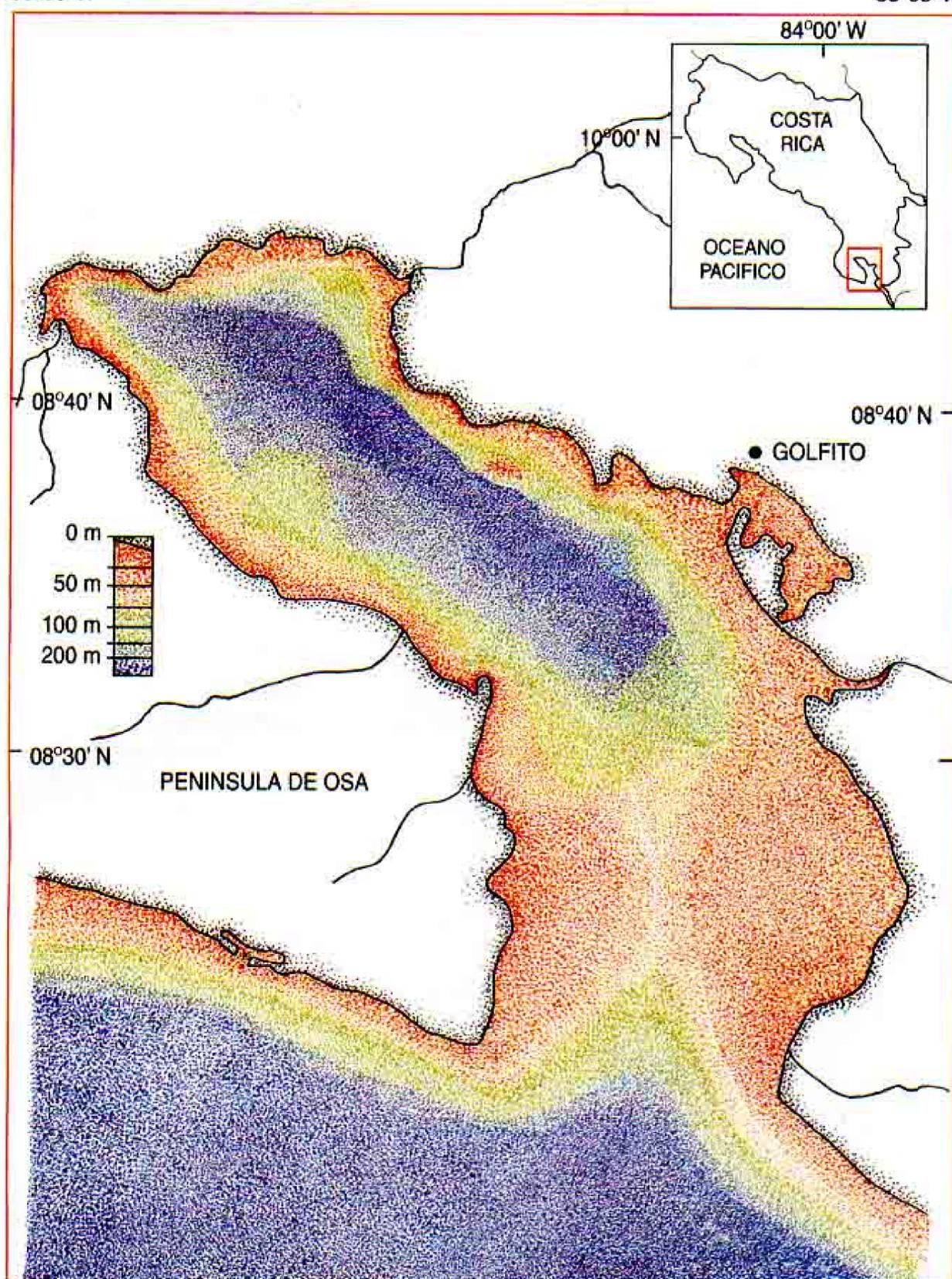
La naturaleza estuarina del golfo Dulce se halla asociada a la intensidad de las lluvias, al sistema de ríos que desagua en él, a las corrientes marinas y a las ondas de marea que pueden superar los 3 metros de altura. Bajo la acción del viento, las olas y las corrientes, el agua dulce se mezcla con el agua del mar; de ello resulta una estratificación de la columna de agua: en la zona superficial las temperaturas son más altas y las salinidades son más bajas que en las capas más profundas.

Coincidente con la morfología submarina a la entrada del golfo, más allá de los 60 metros de profundidad las aguas del Dulce permanecen estancadas por algún tiempo. Los sedimentos acarreados por los ríos y parte de la materia orgánica que el fitoplancton produce en las aguas superficiales precipitan lentamente hacia el fondo; ello propicia el consumo y, a menudo, la eliminación del oxígeno disuelto en las aguas por debajo de los 100 metros de profundidad. Se forma así una columna de agua anóxica, de notables consecuencias para la química, la vida marina y las actividades antrópicas del golfo.

En fecha reciente, Tage Dalsgaard y su grupo del Instituto Nacional de Investigación Ambiental de Dinamarca, la Universidad del Sur de Dinamarca y la Universidad de Costa Rica, estudiaron la posibilidad de que en esa región anóxica del golfo tuviera lugar una eliminación del nitrógeno oceánico alternativa a los habituales procesos de desni-



1. Fotografía de una sección del golfo Dulce, Costa Rica.



2. Localización del fiordo tropical golfo Dulce, en la costa pacífica de Costa Rica. El color azul representa el sitio más profundo de la fosa.

trificación —cuestión fundamental para la comprensión del ciclo biogeoquímico global del nitrógeno—. Nos referimos a la oxidación anaeróbica del amonio mediante nitrito (reacción denominada “anammox”), que las bacterias llevan a cabo para convertir parte del nitrógeno fijado en nitrógeno gas (N_2):



Mediante técnicas de análisis con nitrógeno marcado en sales de nitrato y amonio ($^{15}NO_3^-$, $^{15}NH_4^+$), confirmaron las sospechas: en efecto, en las aguas anóxicas del golfo Dulce el nitrógeno oceánico se elimina a través del proceso de *anammox* (se

trataba de la primera demostración de que una tal reacción ocurría en aguas oceánicas anóxicas).

Las aguas del golfo Dulce se caracterizan por contener altas concentraciones de nitrato y bajas concentraciones, o incluso ausencia, de sulfuro de hidrógeno. Esta composición es similar a la de las aguas subsuperficiales anóxicas de algunas de las regiones oceánicas más productivas: por ejemplo, la costa pacífica de Chile, Perú y México, y el mar de Arabia. De esta similitud entre la composición de las aguas se infiere que el proceso de *anammox* podría participar en la eliminación de nitrógeno también en estas regiones.

A tenor de estos descubrimientos en el golfo Dulce, y a partir de las concentraciones estimadas de las distintas especies químicas que intervienen en el ciclo del nitrógeno, se establece la hipótesis de que la reacción de *anammox* da cuenta del 30 al 50 por ciento de la producción de N_2 —es decir, de la eliminación de nitrógeno fijado— en los océanos.

El nitrógeno constituye un nutriente limitante para el crecimiento del fitoplancton y, por ende, fundamental en la iniciación de la cadena trófica marina. El descubrimiento de un nuevo sumidero del nitrógeno oceánico ha arrojado luz sobre nuestra comprensión de la regulación de la productividad marina.

JENARO ACUÑA GONZÁLEZ

Escuela de Química
y Centro de Investigación en Ciencias
del Mar y Limnología
San José, Costa Rica
TAGE DALSGAARD
Departamento de Ecología Marina,
Instituto Nacional de Investigación
Ambiental, Dinamarca
BO THAMDRUP
Centro Danés de Ciencia
del Sistema Tierra,
Universidad del Sur de Dinamarca

FE DE ERRATAS

Artículo: “Los quipus incas”, por Loïc Mangin, publicado en diciembre de 2005, página 41

Donde dice:

“Un servicio de correo a caballo transportaba los mensajes a través de una red viaria. El sistema funcionaba de forma similar al *Pony express* (la primera línea de correo exprés estadounidense, inaugurada en 1860, que operaba entre Missouri y California): los jinetes se relevaban de posta en posta hasta el destino final.”

Debe decir:

“Los mensajes eran transportados por una red viaria recorrida por corredores, un poco a la manera de los jinetes del *Pony express*: los correos se iban relevando de posta en posta hasta el destino final.”

Artículo: “Una Tierra primigenia fría”, por John W. Valley, publicado en diciembre de 2005, página 28

Hay que intercambiar los textos de los ejes de la gráfica izquierda del recuadro.