

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN EL FONDO DE LA CUENCA DE CHILE Y SUS POSIBLES EFECTOS SOBRE LA DISTRIBUCION DE NÓDULOS DE MANGANESO

Tomás R. Fonseca y Esteban Morales

*Escuela de Ciencias del Mar
Universidad Católica de Valparaíso
Casilla 1020, Valparaíso
Chile*

RESUMEN: Se estudian las condiciones físico-oceanográficas del fondo de la Cuenca de Chile y su relación con la distribución de nódulos de manganeso, especialmente la abundancia relativa de nódulos en el borde Nor-Este de la Cuenca.

Se encontró que las condiciones oceanográficas de esta cuenca estarían principalmente afectadas por una penetración de Agua Antártica de Fondo que atraviesa la Dorsal de Chile (DCH) por dos zonas de fractura: Zona de Fractura de Chile y Zona de Fractura de Taitao. Se plantean hipótesis respecto de otros factores que influyen en la formación de nódulos en esta zona del pacífico.

ABSTRACT: Physical Oceanography of the bottom waters in the Chilean basin in relation to manganese nodule distribution is studied.

A relative abundance of nodules is observed in the North-East side of the basin. Oceanographic conditions of the deep layers are mainly affected by tongues of Antarctic Bottom Water that flows over the Chile Rise through: the Chile Fracture zone and the Taitao Fracture zone.

Recibido el 4 de mayo de 1984

Aceptado el 25 de junio de 1984

INTRODUCCION

Los nódulos de manganeso son agregaciones de sedimentos pelágicos de forma casi esférica que se encuentran depositados en el fondo de los océanos. Sobre ellos existe gran interés económico debido a su alto contenido de cobre, hierro, níquel y otros minerales.

En el Pacífico Sud Oriental, frente a la costa de Chile, existen depósitos de nódulos de manganeso que podrían llegar a ser explotables (QUIÑONES, 1982). No obstante la rentabilidad de una explotación minera dependerá, en gran medida, de la abundancia de nódulos en el lugar elegido. En el caso del Océano Pacífico las expectativas de rentabilidad son promisorias, ya que se sabe que los nódulos son más abundantes en el borde sudoriental, que en otras áreas oceánicas.

Sin embargo, hasta el momento, no se dispone de un catastro adecuado de depósitos, por lo que se supone que en un futuro no muy lejano habrá que planificar nuevos cruceros de prospección.

El análisis de la información oceanográfica y los conocimientos acumulados respecto a la formación de nódulos permiten establecer sectores en los

cuales hay mejores probabilidades de encontrar depósitos importantes de nódulos y, por lo tanto, adonde es aconsejable realizar las prospecciones. En efecto, algunos procesos oceanográficos se relacionan con la formación de nódulos y concurren a determinar la abundancia de éstos en el fondo marino. Algunos de estos procesos son: la productividad biológica de las aguas superficiales, la disponibilidad de minerales y las corrientes del fondo marino (MERO, 1964).

En este trabajo se aportan antecedentes físico-oceanográficos relacionados principalmente con las corrientes del fondo marino en el Pacífico Sudoriental y sus posibles efectos sobre la formación de nódulos de manganeso en la zona.

MATERIALES Y METODOS

Fuentes de Información

La batimetría y los datos de edad del fondo del Océano Pacífico han sido ampliamente discutidos en el trabajo de MENARD (1959). En el presente trabajo se utilizó una recopilación de esa información y su representación gráfica hecha por ORELLANA (1980). Estos antecedentes se complementaron con información de las cartas GEBCO, preparadas por el Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile.

La información sobre depósitos de nódulos de manganeso proviene del registro del Secretario de las Naciones Unidas y del Centro de Datos Oceanográficos de los Estados Unidos (NODC) que está almacenada en el Laboratorio de Oceanografía Geológica de la Universidad Católica de Valparaíso. Esta información ha sido recolectada por una serie de cruceros efectuados por diferentes países desde comienzos de siglo, encontrándose actualizada hasta el año 1975.

Los datos oceanográficos utilizados se obtuvieron del listado del Centro Nacional de Datos Oceanográficos de los Estados Unidos (NODC), actualizado hasta 1976. En la Tabla I se indican los nombres de los principales cruceros

TABLA I. Principales cruceros oceanográficos considerados en este trabajo.

NOMBRE DEL CRUCERO	BUQUE	PAIS	AÑO
VEMA	idem	EE.UU.	1959 - 1960
ELTANIN	Idem	EE.UU.	1962 - 1963
DOWN WIND	Horizont	EE.UU.	1958
PIQUERO	T. Washington	EE.UU.	1969
WILLIAM SCORESBY	idem	EE.UU.	1968
O B	OB	U.R.S.S.	1960
SCORPIO	ELTANIN	EE.UU.	1967
HAKUTTO MARU	idem	Japón	1971

oceanográficos en el área del Pacífico Subantártico que fueron utilizados en este trabajo. Aquí sólo se consideraron las estaciones en que se alcanzó profundidades de 3500 m o más y de ellas se extrajo la información de temperatura, salinidad y contenido de silicato.

Las técnicas de obtención de la información y su posterior análisis corresponden a aquellas usuales en oceanografía. El error en las determinaciones de temperatura es del orden de $\pm 0,05$ °C, en salinidad de $\pm 0,003$ ‰ y en silicato de $\pm 0,25$ μ at/lt.

RESULTADOS

Distribución de Nódulos y Geología del Fondo

La zona abisal conocida como "Cuenca de Chile" (CCH) se encuentra flanqueada por la Dorsal de Chile por el Sur (DCH), la Dorsal del Pacífico Oriental por el Oeste, por el dorso de Sala y Gómez y de Nazca por el Norte y por la costa de Chile por el Este. Con la información geológica de ORELLANA (1980) y los datos sobre nódulos se confeccionó la figura 1. En ella se observa que en el interior de esta cuenca se encuentran importantes depósitos de nódulos de manganeso. El número de hallazgos de nódulos es mayor en el borde septentrional de la cuenca de Chile que en el borde Sur (adyacente a la DCH). Otras ocurrencias de nódulos se detectan al sur de la DCH y entre los 70°W y 90°W. Nótese que en zonas del fondo marino, donde la edad del piso oceánico es superior a 23 millones de años, el porcentaje de ocurrencia de nódulos es mayor (Fig. 1).

Condiciones Ambientales

Las corrientes bajo los 2500 m de profundidad son muy lentas por lo cual una manera de estimar, al menos la dirección del movimiento, es observando la forma que toman las isolinéas de las propiedades del agua de mar. Para este caso particular se consideró la información de tres propiedades: salinidad, temperatura y silicatos. Las dos primeras son variables conservativas y que definen una masa de agua y la tercera es una variable que refleja posibles aportes de minerales desde el fondo del mar (TOTH, 1980).

Los valores más altos de salinidad, a 3500 m de profundidad, se encuentran al Sur de la DCH disminuyendo gradualmente hacia el Nor-Este (Fig. 2). Lo mismo ocurre a 4000 m de profundidad y en el fondo (o hasta 100 m sobre éste). En los tres mapas se aprecia una lengua de agua de salinidad más alta que penetra desde el SW (app. 34,715‰). Esta lengua se sitúa aproximadamente en 45°S y 95°W. Además, en el fondo, se aprecia otra lengua de mayor salinidad relativa, que penetra desde el Sur en 40°S y 78°W.

Las isolinéas de silicato tienen formas similares a las de salinidad (Fig. 3). Los valores más altos en los tres niveles se ubican al Sur de los 40°S y al Oeste de los 85°W y disminuyen paulatinamente hacia el NE. Lenguas de agua de mayor contenido de silicato que penetran hacia la cuenca Chile se observan en 45°S y 90°W, pero a diferencia de lo que ocurre con

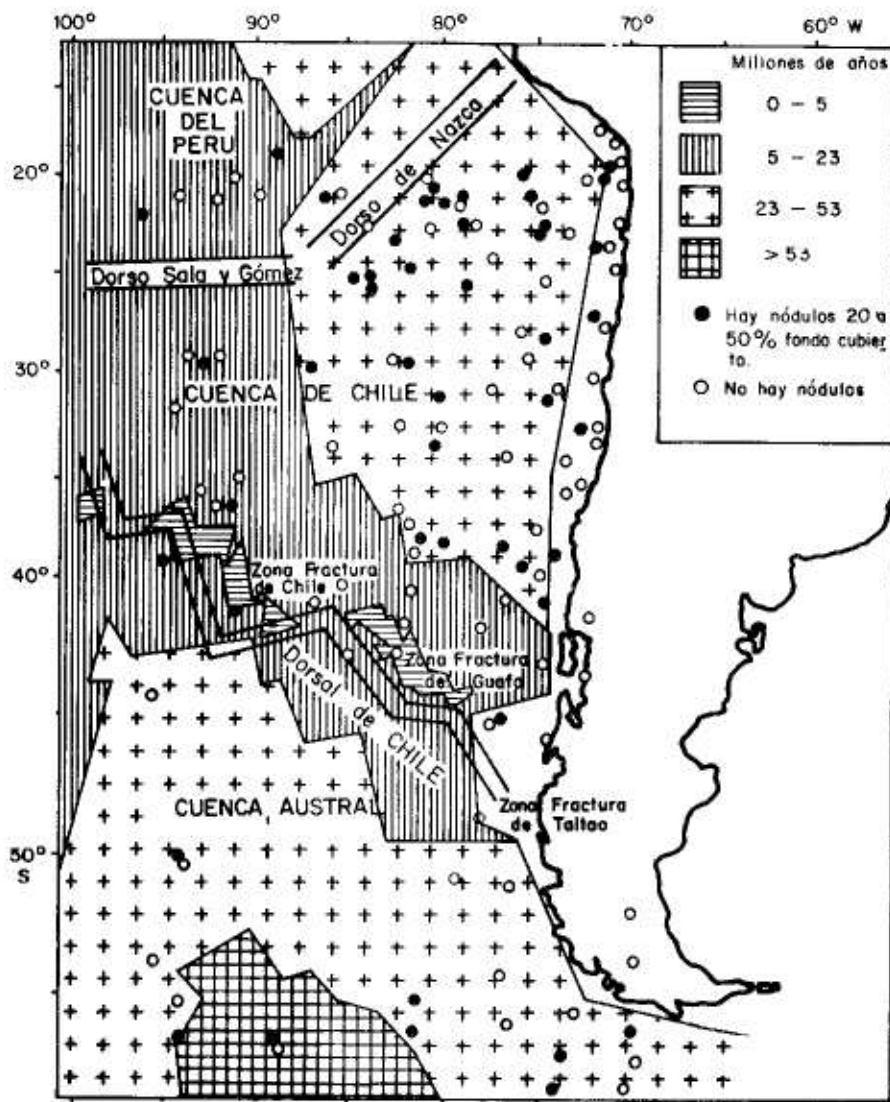


Figura 1. Distribución de nódulos, accidentes topográficos y edad del fondo oceánico en el Pacífico Sud-Oriental.

la salinidad, pareciera ser que se alcanzan valores máximos sobre el eje de la DCH. Esta situación se observa entre los 40°S y 45°S y entre los 85°W y 90°W.

Para estudiar en detalle, las lenguas de agua de salinidad más baja y mayor contenido de silicatos sobre la DCH, se prepararon dos gráficos, *i. e.*, temperatura y salinidad a 3500 m de profundidad v/s latitud (Fig. 4). En estos gráficos la abscisa coincide con las lenguas de agua de las figuras 2 y 3 y dos zonas de fractura en la DCH: la fractura de Chile y de Taitao (Fig. 4). La curva corresponde al cambio con latitud de la temperatura

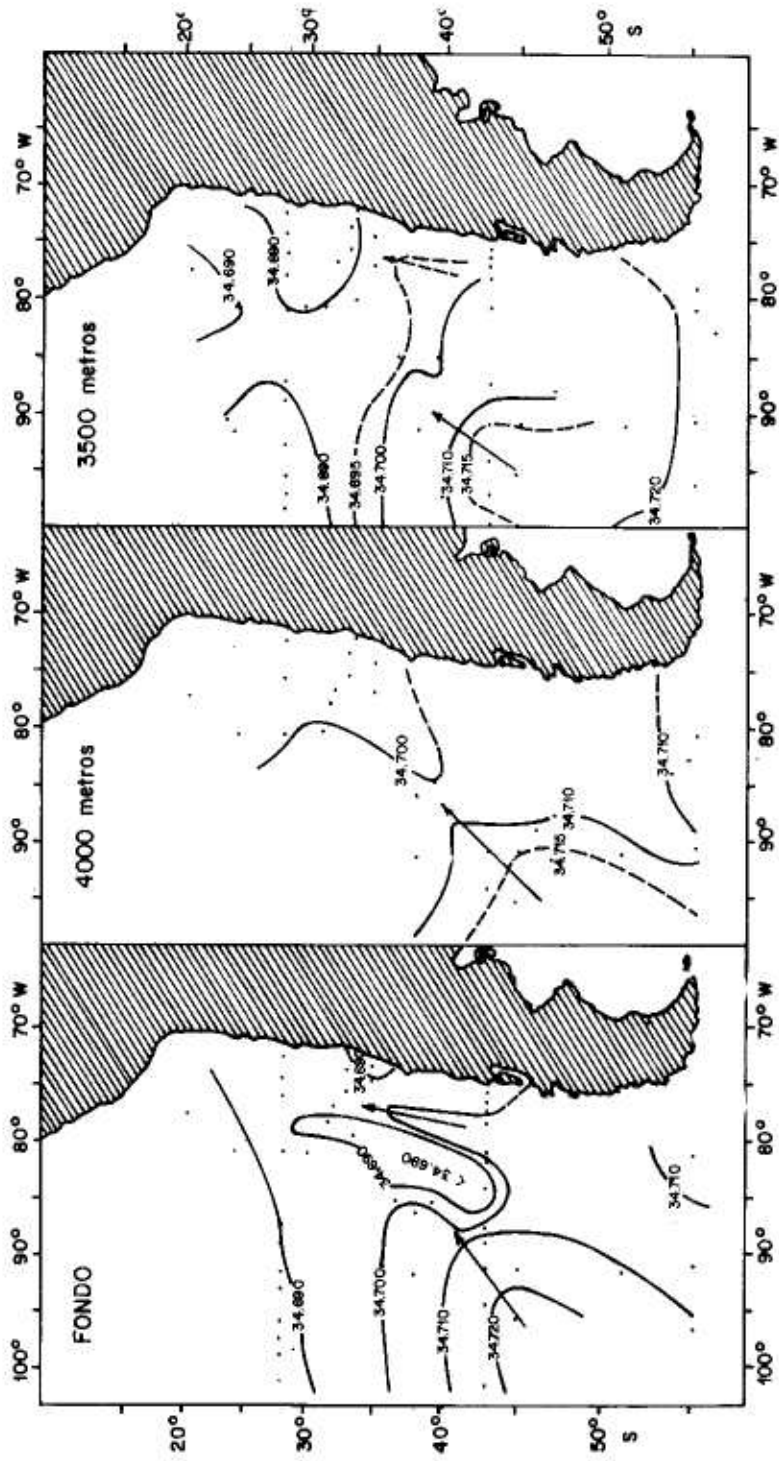


Figura 2. Distribución de salinidad en los estratos más profundos del Pacífico Sud-Oriental.

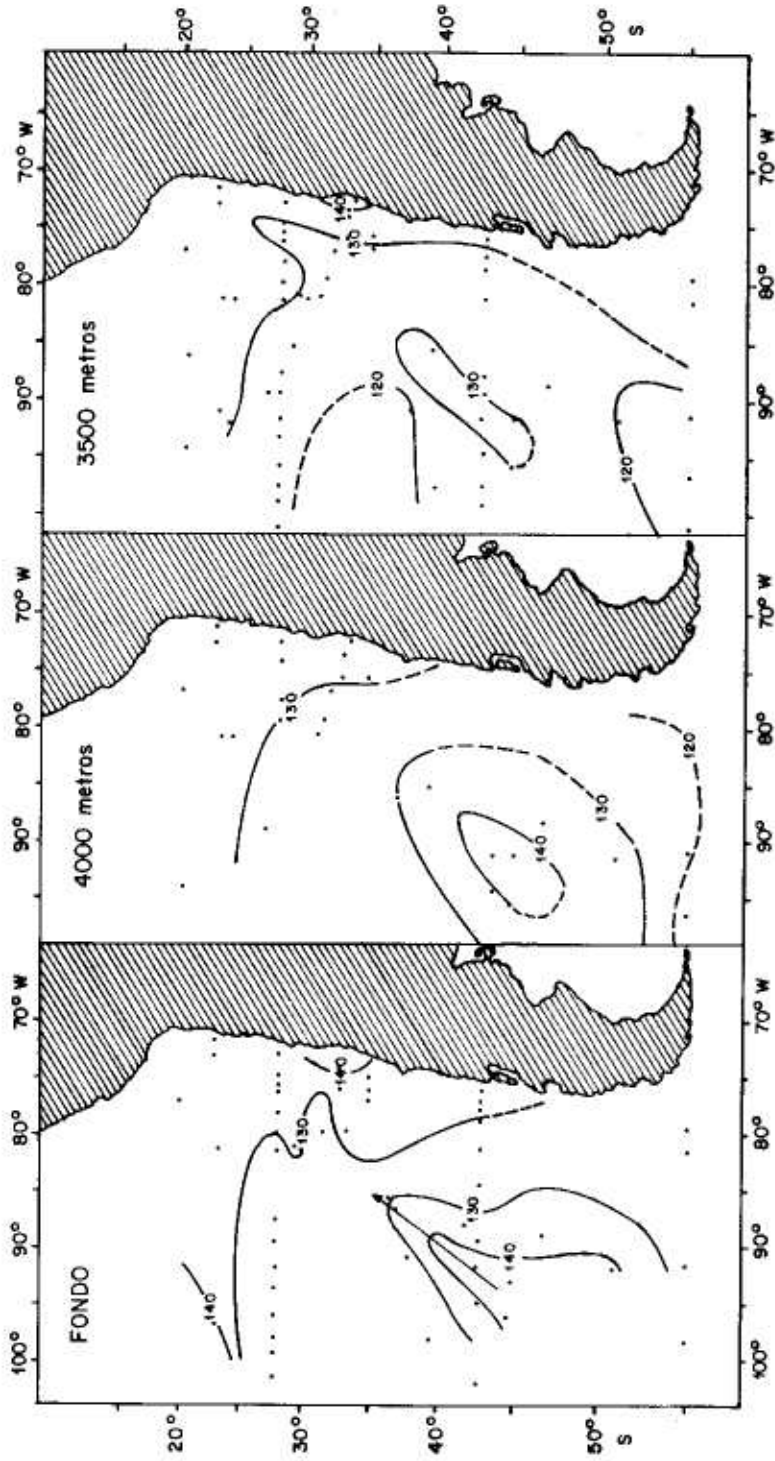


Figura 3. Distribución de silicatos en los estratos más profundos del Pacífico Sud-Oriental.

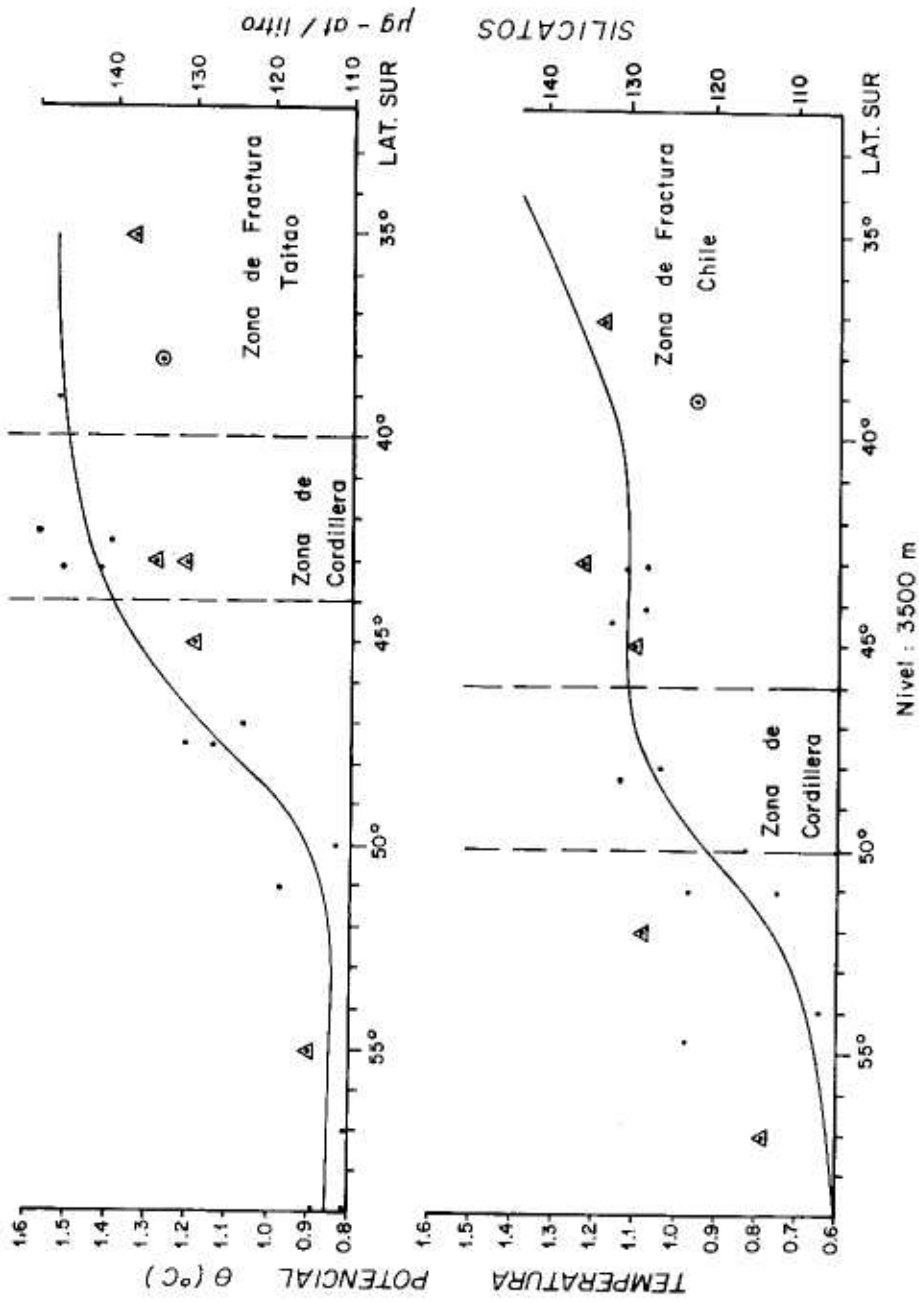


Figura 4. Temperatura potencial (Puntos) y silicatos (Triángulos) en dos pasos sobre la elevación de Chile.

potencial (sin considerar el valor encerrado en un círculo). En los dos gráficos se aprecia que la temperatura potencial experimenta un aumento relativamente brusco al pasar sobre la DCH. Lo mismo se aprecia en los valores de silicato, los que muestran un incremento considerable sobre la ECH. El aumento de temperatura potencial en los pasos o zonas de fractura es de aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$ y el aumento de silicato es de $10 \mu\text{g-at/lt}$.

DISCUSION

Los resultados anteriores permiten, en primer término, destacar la alta concentración de nódulos de manganeso en el fondo de la Cuenca de Chile. Esta situación ya había sido reportada, en términos generales, en la literatura (MENARD y SCHIPEK, 1958; MENARD, 1959). También, lo anterior permitió precisar que la máxima concentración de nódulos se ubica en el borde Nor-Este de la Cuenca de Chile (Fig. 1).

Las condiciones ambientales del fondo de la CCH estarían principalmente afectadas por una penetración de aguas de origen Antártico, desde el Sur. En efecto, la distribución de salinidad indica que existe una entrada de aguas desde el SW, las que pasan por sobre la DCH. Esta agua, con salinidades de $34,7200/00$ y con un contenido de silicato relativamente alto proviene de la zona adyacente a la antártica (SVERDRUP *et al.*, 1942), denominada Agua de Fondo Antártica -AFAA- (REID, 1965).

La penetración de aguas desde el Sur, se produce en dos pasos sobre la DCH, los que se ubican en 41°S , 93°W y los 43°S , 79°W . El primero de los pasos coincide con la zona de la Fractura de Chile a 3800 m de profundidad y el otro coincide con la zona de Fractura de Taitao (a 4500 m de profundidad). Estas zonas de fracturas o valles en la cordillera, son los que permiten el paso de esta agua hacia la CCH.

En trabajos anteriores a este se había sugerido que el agua Antártica de fondo ingresaría por el sur hacia la CCH (REID, 1965) mientras que la existencia de pasos en la ECH también había sido sugerida por LONSDALE (1967), aún cuando no se precisó su ubicación. En este trabajo se muestra que estos pasos efectivamente serían importantes para la circulación en la zona y que, además, corresponden a dos zonas de fractura conocidas.

Por otra parte, la abundancia de nódulos en el sector de la CCH podría deberse al menor grado de turbulencia. Algunos autores sugieren que la turbulencia influiría negativamente en la formación de los nódulos (MERO, 1964). En cambio, y de acuerdo a observaciones más recientes, otros autores sugieren que la abundancia de nódulos estaría correlacionada con zonas de alta turbulencia donde existen corrientes capaces de "barrer" otros sedimentos (LONSDALE, com. pers.).

Con la información que se dispone para este trabajo no es posible evaluar directamente la turbulencia. Sin embargo esta última estará relacionada con la tensión de corte vertical (vertical shear), el cual sí puede ser estimado por medio de información hidrográfica. Con este fin se estimó el gradiente

vertical de velocidad relacionándolo con el gradiente horizontal de densidad $\left(\frac{\delta \rho}{\delta x}\right)$ por medio la ecuación del viento térmico:

$$\frac{\delta V_H}{\delta Z} = \frac{g}{f \rho} \left(-\frac{\delta \rho}{\delta x} \right)$$

Esto aunque es una simple aproximación, es posible hacerlo basándose en la suposición que la circulación del fondo está en balance geostrofico (BURKOV, 1967).

El gradiente vertical de densidad se evaluó en cuatro latitudes diferentes, promediándolo entre los 3000 m y 4000 m de profundidad (Tabla II). Los promedios así calculados resultaron ser de un orden de magnitud más bajos en 25°S que en el resto del área de estudio. Lo que indica que la zona de mayor concentración de nódulos se ubica donde los gradientes verticales de velocidad, e indirectamente la turbulencia, serían menores. No obstante se debe hacer notar que también en esta región del Pacífico la productividad de las aguas superficiales es alta, lo que también podría explicar la abundancia relativa de nódulos en el sector (MERO, 1964).

Al estudiar en detalle las lenguas de agua que pasan sobre la DCH, se observó un aumento brusco de la temperatura potencial y de los silicatos. Este fenómeno puede deberse a emanaciones volcánicas en el fondo del océano. En efecto, WARREN (1970) sugiere que en el fondo del Pacífico habrían lugares donde la actividad volcánica es suficientemente intensa como para producir una elevación de la temperatura del agua. Este autor destacó que el flujo de calor sería del orden de 8 cal cm² seg⁻¹ y que podría calentar el agua al menos por sobre + 0,2°C. Por su parte, LONSDALE (1976) destaca que las emanaciones volcánicas también pueden aportar minerales en disolución, minerales que más tarde son importantes en la formación de nódulos y de magnesio (MERO, 1964; NIINO, 1959). En la figura 5 se aprecia que el aumento de temperatura potencial sobre la Cordillera y a 3500 m (donde hay mayor cantidad de información disponible), es evidente. La magnitud del incremento es del orden de 0,4°C, lo que se interpreta como un producto del aporte de calor por fuentes hidrotermales.

El aumento en los valores de silicato también sería un índice de actividad hidrotermal en las zonas de fractura de la DCH. En especial, este componente reflejaría dicha actividad, de acuerdo a lo sugerido por TOTH (1980). Sería interesante estudiar esta hipótesis en detalle y así existe alguna relación entre este fenómeno y el alto porcentaje de sílice en los nódulos del

TABLA II. Valor promedio del gradiente horizontal de densidad en distintas latitudes, entre 3000m y 4000m de profundidad.

ESTRATO	57°S	DDH	35°S	25°S
3000 m - 4000 m	7·10 ⁻⁵	4·10 ⁻⁵	7·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁶

Pacífico Su-Oriental, en comparación con aquellos de otros lugares como es reportado por MERO (1964).

Una vez que el AFAA ha pasado por los valles en la DCH y se haya recargado de minerales, debería continuar su flujo al norte donde se iniciaría la formación de nódulos. Estudios de sedimentación (KRISSEK *et al.*, 1980), además de las observaciones sobre conformación de las isolíneas de las figuras 2 y 3, refuerzan la hipótesis de un flujo general Norte en el fondo de la CCH.

Finalmente, hay que puntualizar que los datos en este trabajo, aunque dispersos en el espacio y en el tiempo, permiten el planteo de algunas hipótesis relacionadas con la circulación del fondo del Pacífico, con la existencia y efectos de fuentes hidrotermales en la DCH y con la formación de nódulos de manganeso. Todas ellas pueden orientar y servir de marco de referencia para nuevos esfuerzos de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es parte de un proyecto interdisciplinario del laboratorio de Oceanografía Geológica de la UCV, financiado por la Dirección General de Investigaciones de la misma Universidad (DGI - 760/82). Se agradece a nuestros colegas de la UCV por sus sugerencias al manuscrito. Este trabajo fue terminado en la Institución Scripps de Oceanografía con el auspicio de la Fundación Tinker.

BIBLIOGRAFIA

- KRISSEK, L.A.; F.K. SHEIDEGGER and L.D. KULM. 1980. Surface sediments of the Peru-Chile continental margin and Nazca Plate. *Geological Society of America Bull.*, 91 (1): 321-331.
- LONSDALE, P. 1976. Abyssal circulation of the Southeastern Pacific and some geological implications. *J. of Geophys. Res.*, 8196: 1163-1174.
- MENARD, H.W. 1959. Geology of the Pacific Sea floor. *Experimentia*, 15: 205-213.
- MENARD, H.W. and C.J. SHPEK. 1958. Surface concentrations of manganese nodules, *Nature*, 182: 1156-1158.
- MERO, J.L. 1964. The mineral resources of the sea. Elsevier Publ. Co. 113 pp.
- NINO, H. 1959. Manganese nodules from shallow water off Japan. *In: Inter. Oceanog. Congr. Am. Assos. Advan. Sclo. M. Sears (editor) pp. 646-647.*
- ORELLANA, I. 1980. Atlas preliminar de geología marina del mar de Chile. Tesis, U. de Chile Fac. de Arte y Tecnología, Valparaíso: 40 pp.
- QUIÑONES, C. 1982. La ingeniería y los recursos energéticos y mineros del mar de Chile. Conferencia anual del Colegio de Ingenieros de Chile. Diciembre 1982. U.T.F. Santa María, Valparaíso, 50 pp.
- REID, J.L. 1965. Intermediate waters of the Pacific Ocean. *John Hopkins Oceanogr. Stud.* 2: 85 pp.

- SVERDRUP, H.; H. JOHNSON and R. FLEMING. 1942. The Ocean, their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall Englewood Cliffs. N.S. 1087 pp.
- TOTH, J.R. 1980. Deposition of submarine crust rich in manganese and iron. Geological Society of America Bull., 91 (1): 44-54.
- WARREN, B.A. 1970. General circulation of the South Pacific. *In*: Scientific Exploration of the South Pole. National Academy of Sciences, Washington DC. 300 pp.