



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

Instituto de Investigaciones Oceanológicas

Maestría en Oceanografía Costera



EL SISTEMA DEL CARBONO EN LA REGIÓN DE LAS GRANDES ISLAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA



TESIS

que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

presenta

Tania Karina Camiro Vargas

Ensenada, B. C. Junio del 2004

RESUMEN

La Región de las Grandes Islas (RI) en el Golfo de California (GC) ha sido considerada como fuente de CO_2 y nutrientes hacia las aguas superficiales, lo cual contribuye en gran medida a la alta productividad del GC. En este trabajo se presenta la distribución espacial de tres variables del sistema del CO_2 , pH, carbono inorgánico total (Ct) y alcalinidad total (At), medidas mediante el sistema potenciométrico de titulación con el objeto de caracterizar las masas de agua presentes en la RI en el muestreo Umbrales I (UI). Las masas de agua identificadas mediante diagramas T-S fueron: Agua del Golfo de California (AGC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y Agua Profunda del Pacífico (APP), siendo las más predominantes AGC y ASsSt. El AGC se encontró aproximadamente en los primeros 100 m en la capa superficial. El ASsSt tuvo dos distribuciones distintas: al noroeste llenando las cuencas Delfín, Salsipuedes y Tiburón, mientras que al sureste entre 150 y 350 m de profundidad, a excepción de la zona de los umbrales en donde alcanzó los 50 y 75 m. El AIP no atravesó los umbrales y se localizó al sureste, con una profundidad entre los 500 y 800 m; llenando la cuenca de San Pedro Mártir. El AGC presentó tres zonas oceanográficas distintas, las cuales fueron determinadas mediante el parámetro de estratificación (ϕ): a) El agua de la zona 1 (Z1) correspondió a valores de ϕ entre 17 Jm^{-3} y 29 Jm^{-3} , con agua más salina y densa originaria del NGC. Debido a que la Z1 presentó valores bajos de UAO se consideró que esta zona tiene mayor tiempo de residencia en la superficie. b) El agua de la zona 2 (Z2) correspondió a valores de $\phi \leq 17 \text{ Jm}^{-3}$ presentando agua más fría y menos salina. Las isolíneas de temperatura, salinidad, pH y Ct, en esta zona mostraron un transporte de agua desde 100 m de profundidad. c) El agua de la zona 3 (Z3) correspondió a valores de $\phi \geq 30 \text{ Jm}^{-3}$ presentando agua cálida, menos densa y con mayor estratificación. La RI se comportó como una fuente de CO_2 hacia la atmósfera, sobresaliendo la Z2 con los valores más altos de pCO_2 y Ct. Mediante el diagrama de mezcla se determinó que los procesos físicos controlaron en su mayoría las variables químicas medidas, sin embargo, los datos superficiales de la Z3 presentaron evidencia de procesos fotosintéticos. Se encontró que el ASsSt, al traspasar la región de los umbrales, modifica sus características físico-químicas al mezclarse con AGC. El resultado de esta mezcla, es agua con más O_2 y menos Ct, lo cual es un proceso gradual que ocurre durante su trayectoria del sureste de la RI hasta la cuenca Delfín y a través del Canal de Ballenas. En la comparación temporal de la composición química de las masas de agua entre UI (invierno 2002) y el Megamarco I (verano del 1996) y II (invierno del 1997), la masa de agua que mostró mayores cambios en sus características físico-químicas fue el AGC de verano, lo anterior se atribuyó a que existió una menor influencia del ASsSt. El AGC del verano presentó una concentración menor de Ct, menor de O_2 y mayor de pH con respecto al invierno. No hubo diferencias en ambos inviernos. Tanto en verano como en invierno la RI se comportó como fuente de CO_2 aún con altos valores de ϕ en verano con respecto a invierno. En el Canal de Ballenas también se observó durante verano la modificación del ASsSt con respecto al incremento de O_2 y disminución de UAO. Esto sugiere fuertemente que dicha modificación, también se presenta en las variables del sistema del CO_2 , sin embargo, no se contaron con suficientes muestras en la cuenca. Por lo tanto se considera a la cuenca Delfín y el Canal de Ballenas como un ventilador de O_2 en verano e invierno hacia aguas profundas. En la comparación de las características químicas entre la estación 38, el centro sur del Megamarco II y WOCE se identificaron 5 masas de agua: Agua Superficial Ecuatorial (ASE), Agua de la Corriente de California (ACC), AGC, ASsSt y AIP. En esta comparación se observó que tanto el ASsSt y el AIP no se presentaron modificaciones desde el océano Pacífico hasta el sur de la RI en las concentraciones de las variables del sistema del CO_2 , O_2 y UAO. El ASE, ACC y AGC presentaron valores similares en sus variables químicas, sin embargo en sus características T-S fueron distintas.

EL SISTEMA DEL CARBONO EN LA REGIÓN DE LAS GRANDES ISLAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Tesis de Maestría en Oceanografía Costera

presenta

TANIA KARINA CAMIRO VARGAS



Dr. José Martín Hernández Ayón
Director de Tesis



Dr. J. Manuel López Mariscal
Sinodal



Dr. Francisco Delgadillo Hinojosa
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

A mi segundo papá Martín Hernández Ayón por su valiosísima dirección académica, porque con gente como tu siempre dan ganas de trabajar y esforzarse por ser mejor.

A los miembros de mi comité de tesis Dr. Manuel Lopez y Dr. Francisco Delgadillo de quienes aprendí y seguiré aprendiendo. Gracias por el tiempo que se tomaron en este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico durante mis estudios de maestría.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas y a la Facultad de Ciencias Marinas que como parte de la Universidad Autónoma de Baja California proporcionaron gran ayuda en todos los aspectos de mi formación académica.

A SCRIPPS por las muestras de Ct y At para hacer las intercalibraciones.

Al Dr. Eduardo Santa Maria del Angel por las imágenes de satélite.

A todos mis compañeritos de la maestría: Verito, Carito, Anita, Alex, Nancy, Andrea, Memo, Jushiro, en verdad siento que fuimos y siempre seremos una familia con altas y bajas pero siempre juntos.....con mucho cariño a las Perras de Satan (Vero, Irene, Desi, Jackie, Ana),,,, jiji porque nuestra aventura de rockanroleras nos duro poco,,, porque nuestro futuro son las cumbias.....nos sale el cobre por todos lados.....☺

A mis amigos que siempre me echan porras: Jesus, Cecy, Jossette, Karina, Christian, Elie, Placido, Eduardo, Marcos, Lucho, Sra. Victoria Aguirre, mis niños de Mexicali : Rafael y Angelita Cota.

Muy sinceramente a mis compañeritos del laboratorio: Nanchi, Chelis, Mony, Rachel, Vero, porque son gente buena que me enseña todos los días algo diferente.

A todas aquellas personas que se me estan olvidando.....disculpen son los nervios.

DEDICATORIA

A DIOS por darme salud y paz.

A MI MAMA Y A MI PAPA, por que solo me enseñaron cosas buenas.....y por ser simplemente como son, creo que no tengo palabras para decirles cuanto los quiero.

A MIS HERMANOS (Payita, Chano, David y Grecia) y también al sobrinito Demian. Porque son gente trabajadora y creativa que no se raja con la chamba.

A PEDRO, por todo lo que hemos vivido juntos, definitivamente eres el amor de mi vida.

A MI ABUELITA PETRA porque tu fe mueve montañas y siempre me proteges con tus oraciones.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	2
1.1.1. Descripción general.....	2
1.1.2. Masas de agua.....	4
1.1.3. Variables del sistema del CO ₂ en el GC.....	5
1.2. TEORÍA.....	6
1.2.1. pCO ₂	6
1.2.2. pH.....	8
1.3.3. At.....	8
1.2.4. Ct.....	8
1.2.5. Porcentaje de saturación (Ω) de la calcita y aragonita.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
3. HIPÓTESIS.....	10
4. METODOLOGÍA.....	11
4.1. Muestreo.....	11
4.2. Análisis de muestras de pH, Ct y At.....	11
4.3. Procesamiento de datos.....	17
4.3.1. Volumen.....	17
4.3.2. Variables químicas.....	17
4.3.3. Variables físicas.....	18
5.- RESULTADOS.....	20
5.1. Masas de agua presentes en la RI.....	20
5.1.1. Diagrama T-S y localización de las masas de agua presentes.....	20
5.1.2. Temperatura y salinidad subsuperficial.....	20
5.1.3. Transectos de temperatura y salinidad.....	23
5.2. Características químicas de las masas de agua presentes.....	30
5.2.1. Variables del sistema del CO ₂ y O ₂	30
5.2.2. Transectos de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂	32
5.3. AGC.....	44
5.3.1. Diagrama T-S.....	44
5.3.2. Perfiles someros de temperatura, salinidad y densidad.....	45
5.3.3. Parametro de estratificación (ϕ), temperatura y salinidad superficial.....	45
5.3.4. Características superficiales de las variables del CO ₂ de AGC.....	48
5.3.4.1. Distribución espacial de las variables del CO ₂	48
5.3.5. Características químicas de las subdivisiones del AGC.....	49
5.3.5.1. Variables del sistema del CO ₂ del AGC.....	49
5.3.5.2. UAO.....	52
5.2.5.3. Diagramas de mezcla.....	54
5.4. ASsSt.....	56
5.4.1 Diagrama T-S y localización de las subdivisiones del ASsSt.....	56
5.4.2. Características químicas del ASsSt.....	57
5.4.2.1 Variables del sistema del CO ₂ y O ₂	57
5.4.2.2. Ω calcita y aragonita.....	58
5.4.2.3. UAO.....	58

5.5. Comparación temporal entre los cruceros Megamarco I, II y UI en la RI	61
5.5.1 Diagrama T-S.....	61
5.5.2. Características químicas de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂	62
5.5.2.1. Relación de las variables físicas contra del sistema del CO ₂ y O ₂	63
5.5.2.2. UAO.....	67
5.6. Comparación entre WOCE, Megamarco II y la estación 38 de Umbrales I.....	68
5.6.1. Diagrama T-S.....	69
5.6.2. Características químicas de las estaciones comparadas.....	70
5.6.2.1. Variables del sistema del CO ₂ y O ₂	70
5.6.2.2. UAO.....	72
6. DISCUSION.....	73
6.1. Distribución espacial de las variables del sistema del CO ₂	73
6.2. El AGC en la RI.....	74
6.3. Descripción del ASsSt.....	78
6.4. El AIP.....	81
6.5. Comparación temporal de la RI.....	82
6.6. Características del agua en la boca y a lo largo del GC.....	83
6.7. Modelo conceptual de la circulación.....	84
7. CONCLUSIONES.....	86
8. LITERATURA CITADA.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Caracterización de las masas de agua del Golfo de California y su proporción anual para el periodo comprendido en 1939-1986. Tomado de Torres-Orozco (1993).....	4
Tabla II. Procesos que afectan las variables del sistema del CO ₂ en el agua de mar.....	7
Tabla III. Calibración del peso de la celda de titulación. Durante la calibración se utilizó agua destilada a 25°C.....	15
Tabla IV. Promedio de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ correspondientes a cada masa de agua presente. Para el AGC los valores de At corresponden a At-nor.....	30
Tabla V. Coeficientes de correlación de variables químicas respecto a las variables físicas de las masas de agua presentes.....	32
Tabla VI. Promedios de las variables del sistema del CO ₂ superficiales de cada zona. El valor promedio de la pCO ₂ del ASsSt fue de 1291.5 ± 194.7 µatm.....	48
Tabla VII. Promedios en los primeros 50 m de profundidad de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ correspondientes a cada subdivisión de AGC.....	52
Tabla VIII. Coeficientes de correlación de variables fisico-químicas de las subdivisiones de AGC.....	52
Tabla IX. Promedio de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ correspondientes a cada zona del ASsSt.....	58
Tabla X. Coeficientes de determinación de variables fisico-químicas de las subdivisiones del ASsSt.....	58
Tabla XI. Datos promedios de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ de cada masa de agua presente. M I (A), MII (B) y UI (C). Los datos de Ct promedio del MII fueron calculados a partir de pH-At constante. Para el AGC los valores de At corresponden a At-nor.....	63
Tabla XII. Coeficientes de determinación de las variables químicas respecto a las variables físicas de las masas de agua presentes MI (A), MII (B) y UI (C).....	64
Tabla XIII. Datos promedios de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ de cada masa de agua presente. WOCE (A), MII (B) y estación 38 de UI (C). Para el AGC los valores de At corresponden a At-nor.....	71

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Topografía de la Región de las Grandes Islas dentro del Golfo de California. Dentro de la figura se muestran los umbrales (*) San Esteban, (■) San Lorenzo y el (●) Norte del Canal de Ballenas. Tomado de López y García, (2003).....3
- Figura 2. Prototipo de las variables del sistema del CO₂ (pH, At, Ct y pCO₂) en el agua de mar en la superficie y en el fondo. En ambos casos se mantuvo una salinidad de 35 y 25 °C. La suma de las especies del CO₂ corresponde al valor de C_t. Los valores de las especies de CO₂, C_t y A_t se encuentran en μmolkg⁻¹. Los valores de pCO₂ están en unidades de μatm.....7
- Figura 3. Golfo de California. Estaciones del Megamarco I y II. Las Regiones del Golfo de California son: Norte del Golfo (NGC), Región de las Grandes Islas (RI), Centro Golfo de California (CGC) y Sur Golfo de California (SGC).....12
- Figura 4. Región de las Grandes Islas. Red de muestreo del muestreo Umbrales I. Estaciones en donde se hicieron lances de CTD solamente (●), mientras que las estaciones en donde además se obtuvieron muestras para pH, At y Ct son (■). Las líneas que se muestran corresponden a los transectos realizados: noreste a sureste (A, B y C) y de oeste a este (D, E, F y G).....13
- Figura 5. Datos de mareas registradas en Bahía de los Angeles. Megamarco I (A), Megamarco II (B), y Umbrales I (C). El recuadro dentro de cada figura indica la duración de cada muestreo14
- Figura 6. Celda de acrílico para la titulación potenciométrica (A), electrodo (B), conducto para muestra (C), conducto para HCl (D), pistón (E), llave (F), agitador magnético (G) y plancha de agitación (H).....15
- Figura 7. Técnica de la Derivada. Forma de calcular pH, Alcalinidad total (A_t) y carbono inorgánico total (C_t). Derivada del milivoltaje respecto al volumen (dmV/mV).....16
- Figura 8. Diagrama T-S correspondiente a Umbrales I. Las masas de agua fueron identificadas mediante Torres-Orozco, (1993). Los acrónimos son: Agua del Golfo de California (●), Agua Superficial Subtropical (▼), Agua Intermedia del Pacífico (■) y Agua Profunda del Pacífico (◆).....21
- Figura 9. Localización y volumen de las masas de agua que interaccionan en la RI. AGC (a y a1), ASsSt (b y b1) y AIP (c y c1). La paleta de colores corresponde a la profundidad en donde está localizada cada masa de agua. El volumen en porcentaje de las masas de agua en esta región correspondió a 39, 44, 16 y 1 % para AGC, ASsSt, AIP y APP respectivamente.....22
- Figura 10. Mapa de salinidad (A) y temperatura (B) a 3 m de profundidad mediante el flujo continuo.....24
- Figura 11. Imagen de satélite de temperatura superficial correspondiente al promedio comprendido entre la 2ª quincena de marzo del 2002 (tomado de <http://www.noaa.gov/>).25

Figura 12. Transectos de temperatura localizados de noreste a sureste de la RI. El transecto A se encuentra localizado del lado de la península de Baja California; el transecto B cruza la región por el centro; el transecto C del lado del estado de Sonora. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.....	26
Figura 12. (Continuación). Transectos de temperatura localizados de oeste a este de la RI. El transecto D se encuentra localizado al norte; el transecto E cruza por el centro; el transecto F al sur de las islas San Lorenzo y San Esteban y el transecto G al sur de la RI. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.....	27
Figura 13. Transectos de salinidad localizados de noreste a sureste de la RI. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.....	28
Figura 13 (Continuación). Transectos de salinidad localizados de oeste a este de la RI. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.....	29
Figura 14. Relación entre las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ según las masas de agua encontradas presentes. AGC (●), ASsSt (▼) y AIP (■) contra salinidad (A, D, G, J), temperatura (B, E, H, K) y densidad potencial (C, F, I, L) respectivamente.....	31
Figura 15. Transectos de pH localizados de noreste a sureste de la RI. Las isolíneas marcadas corresponden a: 7.65 (—), 7.5 (---) y 7.35 (——). Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.....	33
Figura 15 (Continuación). Transectos de pH localizados de oeste a este de la RI.....	34
Figura 16. Transectos de Ct localizados de noreste a sureste de la RI. Las estaciones exactas se muestran arriba de cada perfil. Las isolíneas marcadas corresponde a: 2260 (—), 2305 (- - -) y 2365 (——) μmol kg ⁻¹	36
Figura 16. (continuación). Transectos de Ct localizados de oeste a este de la RI.....	37
Figura 17. Transectos de At-nor localizados de noreste a sureste de la RI. Las estaciones exactas se muestran arriba de cada perfil. Las isolíneas marcadas corresponde a: 2348 (- - -) y 2358 (—) μmol kg ⁻¹	39
Figura 17 (continuación). Transectos de At-nor localizados de oeste a este de la RI.....	40
Figura 18. Transectos de O ₂ localizados de noreste a sureste de la RI. Las estaciones exactas se muestran arriba de cada perfil. Las isolíneas marcadas son: 175 (—), 75(---) y 25 (——) μmol kg ⁻¹	41
Figura 18 (continuación). Transectos de O ₂ localizados de oeste a este de la RI.....	42
Figura 19. Perfiles de Ct (A), pH (B), At-nor (C) y O ₂ (D). El símbolo + corresponde al ASsSt.....	43
Figura 20. Diagrama T-S del Agua del Golfo de California (AGC).....	44

Figura 21. Perfiles de temperatura potencial (A), salinidad (B) y densidad potencial (C).....	45
Figura 22. Temperatura (A) y salinidad (B) superficial contra ϕ de todas las estaciones. Zona 1 (■), 2 (▼) y 3 (●).....	46
Figura 23. Distribución superficial de las subdivisiones de la AGC en la RI. Zona 1 (- - -), 2 (—) y 3 (- - -).....	47
Figura 24. Distribución de variables de las variables del sistema del CO ₂ superficiales contra ϕ . Zona 1 (■), 2 (▼) y 3 (●). Ct (A), pH (B), At-nor (C) y pCO ₂ (D). La línea horizontal (----) corresponde al valor promedio en equilibrio (pH = 8.085; Ct = 2089.6 $\mu\text{mol kg}^{-1}$; pCO ₂ = 365 μatm).....	49
Figura 25. Distribución superficial de variables del sistema del CO ₂ . pH (A) y Ct (B).....	50
Figura 25. (Continuación) Distribución superficial de las variables del sistema del CO ₂ . At-nor (C) y pCO ₂ (D).....	51
Figura 26. Relación entre las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ . Zona 1 (■), 2 (▼) y 3 (●), contra salinidad (A, D, G, J), temperatura (B, E, H, K) y densidad potencial (C, F, I, L) respectivamente.....	52
Figura 27. Distribución de la UAO contra profundidad. Zona 1 (■), 2 (▼) y 3 (●).....	53
Figura 28. pH (A) y Ct (B) contra salinidad en la que se incluyen datos de superficie (≤ 50 m) y de fondo (> 50 m) de las tres zonas. La línea punteada (-----) corresponde a la línea de mezcla...55	55
Figura 29. Diagrama T-S correspondiente al ASsSt; Zona Norte (▼) y Sur (●).....	56
Figura 30. Localización de las subdivisiones de ASsSt. Zona Norte (—) y Sur (- - -).....	57
Figura 31. Relación de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ . Zona Norte (▼) y Sur (●) contra salinidad (A, D, G, J), temperatura (B, E, H, K) y densidad potencial (C, F, I, L) respectivamente.....	59
Figura 32. Ω de calcita (A) y aragonita (B) contra profundidad Zona Norte (▼) y Sur (●).....	60
Figura 33. Distribución de la UAO profundidad de todas las estaciones. Zona Norte (▼) y Sur (●).....	60
Figura 34. Diagrama T-S de los tres cruceros oceanográficos. UI (estaciones 3, 8, 9, 24, 28, 34, 38) (●), MI (estaciones 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 10) (▼) y MII (estaciones 2, 3, 6, 7, 8 y 10) (■).....	61
Figura 35. Perfiles de Ct (A), pH (B), At-nor (C) y O ₂ (D). UI (●), MI (▼) y MII (■). El + indica el ASsSt.....	62

Figura 36. Comparación entre los muestreos UI (●), MI (▼) y MII (■) de las variables del sistema del CO ₂ y O ₂ contra salinidad (A, D, G y J) temperatura (B, E, H y K) y densidad potencial (C, I, F y J). Los números indican las masas de agua presentes: (1)AGC, (2)ASsSt y (3)AIP.....	65
Figura 37. Distribución de la UAO contra profundidad de los muestreos UI (●), MI (▼) y MII (■). El + indica el ASsSt.....	67
Figura 38. Localización de los muestreos comparados: estación 38 de UI (●), MII (▼) y WOCE (■).....	68
Figura 39. Diagrama T-S correspondiente a los muestreos analizados: estación 38 de UI (●), MII (▼) y WOCE (■).....	69
Figura 40. Perfil de Ct (A), pH (B), At-nor (C) y O ₂ (D) contra profundidad. Estación 38 de UI (●) y UII (◆), MII (▼) y WOCE (■).....	70
Figura 41. Distribución de UAO contra profundidad. Estación 38 de UI (●), MII (▼) y WOCE (■).....	72
Figura 42. Perfiles de O ₂ (A) y UAO (B). El recuadro indica ASsSt dentro de la cuenca Delfín y el Canal de Ballenas. Las estaciones 63, 65 y 72 corresponden a estaciones localizadas en la cuenca Delfín y al este de la isla Angel de la Guarda durante otra red de muestreo de UI.....	80
Figura 43. Datos de la RI de pH superficial (A) y pCO ₂ (B) contra ϕ . Umbrales I (●), Megamarco I (▼) y II (■). La línea presenta el valor en equilibrio (pH = 8.08, pCO ₂ = 365 μ atm).....	83
Figura 44. Modelo conceptual. (A) Norte (—) y Sur (---) de ASsSt; (B) Zona 1 (---), 2 (—) y 3 (---) de AGC. Símbolos: (→) circulación, (↔) circulación por mareas, (⊕) mezcla por salto hidráulico, (○) mezcla por ascenso de agua profunda, (◇) aireación de aguas profundas y (★) fotosíntesis.....	85

1. INTRODUCCIÓN

Las variables que describen el sistema del CO₂ en el agua de mar son el pH, carbono inorgánico total (Ct), alcalinidad total (At) y la presión parcial del CO₂ (pCO₂). Al utilizar dos de estas cuatro variables con la salinidad y temperatura en conjunto, es posible describir el sistema del CO₂ y determinar en el océano si las zonas de interés son fuentes ó sumideros de CO₂. Las áreas que se comportan como fuentes de CO₂ están asociadas a zonas de surgencias ó zonas de alta mezcla. Este último es el caso de la Región de las Grandes Islas (RI) en el Golfo de California (GC), por lo cual dicha zona ha sido considerada como una fuente potencial de CO₂ hacia la atmósfera (Zirino *et al.*, 1997; Hidalgo-González *et al.*, 1997).

La masa de agua que predominan en la RI es el Agua Subtropical Subsuperficial (ASsSt) con un 70% del volumen total del Canal de Ballenas (Torres-Orozco, 1993). La masa de agua superficial en la RI es el Agua del Golfo de California (AGC) la cual tiene su origen en la parte Norte del Golfo de California (NGC). En la RI existe un transporte de carbono (Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego, 1978), nutrientes (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978, Lavín *et al.*, 1995; Torres-Valdés, 2000) y metales (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001) del fondo hacia la superficie. Este aporte de carbono es constante y es modulado quincenalmente por las mareas (Hidalgo-González *et al.*, 1997). Adicionalmente existe un efecto combinado de las corrientes de marea y batimetría. El cambio abrupto de profundidad (umbral) en la RI produce un salto hidráulico, el cual es el mecanismo de mezcla vertical entre aguas profundas y superficiales. Este salto hidráulico produce zonas frías visibles claramente en imágenes de satélite (Santamaria del Angel *et al.*, 1994). Las fracciones de masa en dos estaciones del año mostraron que en un 80% la distribución del cadmio (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001) y del Ct en verano (Hernández-Ayón, 2000) podría ser explicado mediante mezcla vertical en la RI. Todo lo anterior sugiere fuertemente que la mezcla vertical en la RI, tiene un papel muy importante en el control y distribución de las variables físicas y químicas.

La variación temporal de las masas de agua en el GC es muy importante. La formación del AGC en el NGC ocurre principalmente en invierno-primavera por enfriamiento, evaporación y convección vertical, sin embargo existen evidencias que también puede formarse en verano-otoño por el calentamiento solar y evaporación en las regiones someras del GC. El volumen del AGC es pequeño en comparación con las masas de agua con las que se mezcla horizontalmente como Agua Superficial Ecuatorial (ASE), Agua de la Corriente de California (ACC) y verticalmente como el ASsSt. Cada masa de agua contiene características que son el resultado de los procesos físicos, químicos y biológicos predominantes, sin embargo también depende de su volumen, de los factores ambientales y de la mezcla con otras masas de agua (Torres-Orozco, 1993).

Los estudios referentes al sistema del CO₂ en el GC son escasos, aún cuando este mar marginal ha sido considerado como uno de los más productivos del planeta (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). En los trabajos realizados se ha medido el pH superficial (Zirino *et al.*, 1997) y la At principalmente, sin embargo la At se ha medido con una baja precisión (Gaxiola-Castro y Álvarez-Borrego, 1978) o se ha empleado una At constante (Hidalgo-González *et al.*, 1997; Montes-Hugo *et al.*, 1998). Únicamente en el trabajo de Hernández-Ayón, (2000) se midieron directamente el pH, Ct y la At, sin embargo ese trabajo solo contempla 6 estaciones en la RI. Debido a todo lo anterior, la importancia de este trabajo radica en que es la primera vez que se miden 3 variables del sistema del CO₂ (pH, Ct y At) en invierno en la RI. Así mismo, por primera vez se contó con una intensa y amplia red de muestreo solamente en la RI, la cual permitió tener una mayor visualización del entorno oceanográfico de la zona.

Por otro lado en la RI, aún cuando las concentraciones de nutrientes son altas, las concentraciones de pigmentos no lo son. Lo anterior, pudiera deberse a que los florecimientos de fitoplancton no ocurren en las aguas completamente mezcladas sino en los márgenes que las rodean en donde las condiciones físico-químicas y de luz son óptimas para los organismos con una diferencia en uno o dos ordenes de magnitud respecto a regiones permanentemente estratificadas (Falkowski y Raven, 1997). Lo cual concuerda con el hecho de que el Canal de Ballenas en la RI hayan presentado las más altas concentraciones de nutrientes pero no la máxima concentración de pigmentos (Santamaria-del-Angel *et al.*, 1994). Lo anterior a diferencia de lo señalado en relación a los procesos físicos, pudiera indicar que en la RI la señal debida a procesos biológicos pudiera ser débil.

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Descripción general

El GC se localiza en la costa oeste de México, tiene una longitud aproximadamente de 1100 km de largo y 150 km de ancho (Fig. 1). Este mar marginal constituye la cuenca de evaporación más grande del Pacífico (Badan-Dangon *et al.*, 1985). El efecto del proceso de ganancia de calor produce una salida hacia el océano de agua menos densa y caliente por la superficie y la entrada de agua más densa y fría por el fondo (Lavín y Organista, 1988; Berón-Vera y Ripa, 2000).

El GC se ha dividido en cuatro regiones principalmente: Norte, RI, Centro y Sur. La batimetría de la RI constituye una de las características más sobresalientes del GC debido a que esta formada por una serie de umbrales y cuencas profundas que por una parte restringen la circulación entre el Norte del GC (NGC) y el Centro del GC (CGC) y por otro lado actúan como punto de generación de mezcla intensa por fuertes corrientes de marea (Torres-Orozco, 1993) (Fig. 1). En el

Sur del GC (SGC) y el CGC, la profundidad de la cuenca es mayor a 1500 m por lo que el intercambio con el océano Pacífico es libre (Castro *et al.*, 2000).

La RI ha sido determinado como Reserva Especial de la Biosfera y se encuentra dentro del marco de protección de las islas del Golfo de California, decretado el 2 de agosto de 1978 como zona de reserva y refugio de aves migratorias y de la fauna silvestre (<http://www.ine.gob.mx>). Esta región presenta una batimetría con umbrales y cuencas (Fig. 1). Al sur se encuentran los umbrales de San Esteban (~600 m de profundidad) y San Lorenzo (~400 m de profundidad) que restringen la entrada de las masas de agua hacia el Canal de Ballenas (~1500 m de profundidad) hacia el norte del Canal de Ballenas encuentra otro umbral conectado con la cuenca Delfín (~800 m de profundidad) (Badan-Dangon *et al.*, 1991).

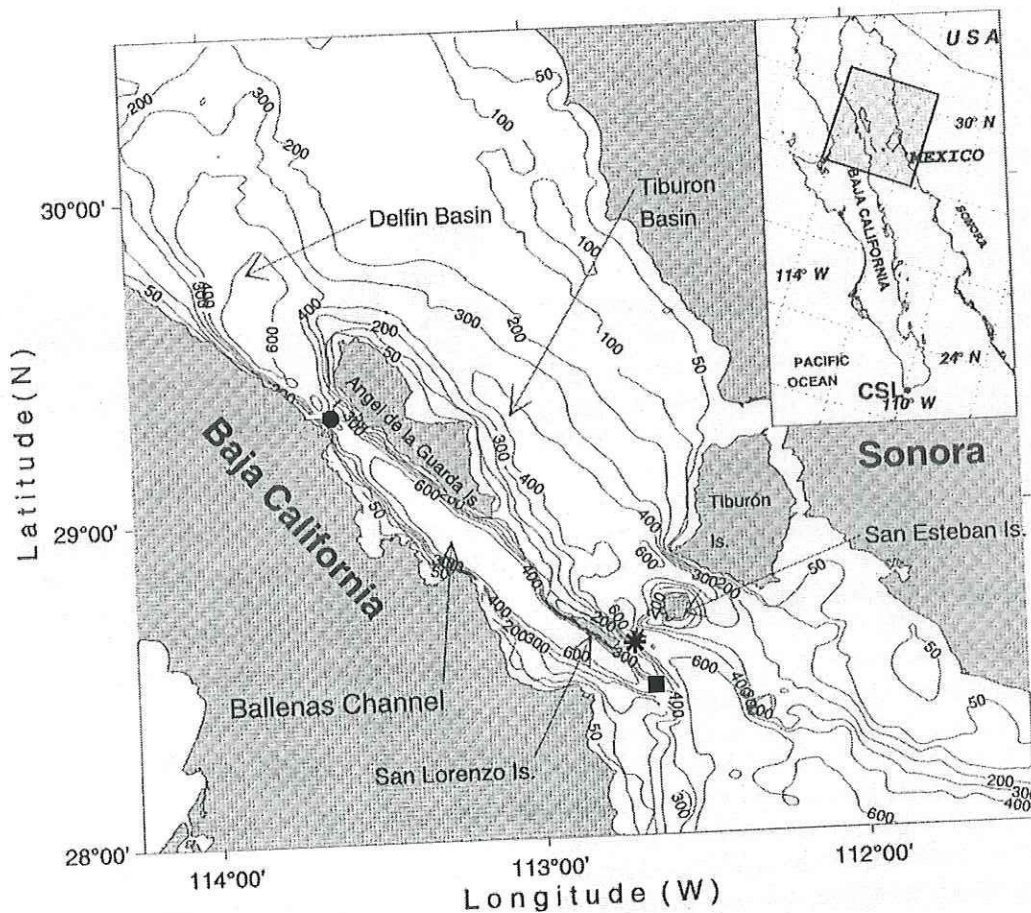


Figura 1. Topografía de la Región de las Grandes Islas dentro del Golfo de California. Dentro de la figura se muestran los umbrales (*) San Esteban, (■) San Lorenzo y el (●) Norte del Canal de Ballenas. Tomado de López y García, (2003).

1.1.2. Masas de agua

Las masas de agua que están presentes en el GC se muestran en la tabla I. La distribución espacial de las masas de agua más profundas están fuertemente restringidas por la batimetría del GC y los umbrales de la RI. Mas del 70% del volumen total del GC se encuentra ocupado por AIP y APP durante todo del año, el resto se encuentra distribuido entre las masas de agua superficiales y subsuperficiales.

Tabla I. Caracterización de las masas de agua del Golfo de California y su proporción anual para el periodo comprendido en 1939-1986. Tomado de Torres-Orozco (1993).

Nombre	Abreviación	Propiedades S, T (°C)	Volumen km ³	Anual %	Prof. Media (m)
Agua del Golfo de California	AGC	S ≥ 35, T > 12	7140	6	0-230
Agua Superficial Ecuatorial	ASE	S < 35, T > 18	800	1	0-70
Agua de la Corriente de California	ACC	S < 34.5, 12 ≤ T < 18	-	-	-
Agua Subsuperficial Subtropical	ASsSt	34.5 ≤ S < 35, 9 ≤ T < 18	21380	19	60-450
Agua Intermedia del Pacífico	AIP	34.5 ≤ S < 34.8, 4 ≤ T < 9	36330	33	400-1160
Agua Profunda del Pacífico	APP	S > 34.5, T < 4	45700	41	1160-fondo

El AIP es la segunda masa de agua en proporción volumétrica (33%) dentro del GC, esta masa de agua se extiende hasta el extremo sur de la RI, aproximadamente hasta la isóbata de los 450 m. El APP ocupa el mayor volumen de todas las masas del GC (41%). A diferencia del AIP la proporción del APP disminuye hacia el interior del GC, con su mayor proporción (55%) en la porción media de la región Sur, contribuyendo mayormente al volumen de las cuencas profundas de esta región (Torres-Orozco, 1993).

Las masas superficiales y subsuperficiales que se encuentran distribuidas a lo largo de todo el GC son AGC y ASsSt siendo las únicas masas de aguas presentes en la región Norte, debido a la batimetría y a los umbrales de la RI. La proporción de volumen de ambas masas de agua en cada estación del año tiene una relación inversa. El ASsSt al ser transportada hacia la superficie tiene modificaciones debido al calentamiento solar y evaporación sin convección vertical en el Alto Golfo y se convierte en AGC. Sin embargo, al parecer el proceso transformador más importante es la mezcla por mareas en la RI (Bray y Robles, 1991). La mayor proporción del AGC se localiza en la región Norte (100%) y disminuye hacia el sur hasta menos del 1% en la boca. La proporción del AGC en la región Norte es mayor hacia el noreste (Sonora) que hacia el noroeste (Baja California) lo cual se observa hasta la región Central, mientras que en la región Sur el mayor volumen se observa cerca de la costa oeste. El ASE se encuentra confinada a la región Sur del GC, cercana a la

Cuenca Pescadero, con su mayor proporción frente a las costas de Sinaloa. La ausencia de ACC se debe a su pequeña contribución al volumen del GC (Torres-Orozco, 1993).

1.1.3. Variables del sistema del CO₂ en el GC

Los trabajos referidos a las variables del sistema del CO₂ en el GC se limitan principalmente a mediciones de pH y At, y a partir de estas se han estimado Ct y pCO₂ (Gaxiola-Castro *et al.*, 1978, Hidalgo-González *et al.*, 1997; Zirino *et al.*, 1997; Montes-Hugo *et al.*, 1998). Solamente en el trabajo de Hernández-Ayón, (2000) se midieron tres variables (pH, At y Ct). A continuación se realiza una breve descripción, de los resultados obtenidos en la RI, pero cabe señalar que solo a partir del estudio realizado por Hernández-Ayón (2000) se utilizaron estándares de At y Ct para calibrar las mediciones de ambas variables.

El primer trabajo del sistema del CO₂ en el GC fue realizado por Gaxiola-Castro *et al.*, (1978). En este proyecto se estimó el Ct a partir de pH y alcalinidad de carbonatos, sin embargo, la resolución de los resultados que muestran fue milimolar y además no se menciona la escala de pH empleada. La At fue determinada basándose en el valor del pH después de agregar ácido y utilizando la densidad del agua de mar usando las ecuaciones de Culberson *et al.*, (1970) en Gaxiola-Castro *et al.*, (1978). Este crucero tuvo como objetivo describir la distribución espacial del Ct durante marzo-abril. La concentración superficial de Ct varió entre 2.07 y 2.15 mmol kg⁻¹. Se encontraron los valores mayores de Ct y los menores de pH (entre 8 y 8.1) en el canal de Ballenas lo cual se atribuyó a los fuertes procesos de mezcla provocados por corrientes de marea. Así mismo se determinó que el Ct se incrementó conforme aumentó la profundidad con valores de hasta 2.40 mmol kg⁻¹ en la cuenca de Guaymas.

En el trabajo de Hidalgo-González *et al.*, (1997) se comparó el efecto de las mareas posvivas con el de las posmuertas en los flujos de pCO₂ y Ct en un transecto en la región de los umbrales. La pCO₂ y el Ct fueron estimados a partir de temperatura, salinidad, pH superficial y una alcalinidad específica constante obtenida frente a la boca del GC. En este trabajo se determinó que la mezcla por mareas es una bomba física de modulación quincenal que transporta Ct hacia la superficie. El incremento de pCO₂ y Ct en mareas posvivas fue de hasta 23 mM m²d⁻¹ mientras que en mareas posmuertas fue < 4 mM m²d⁻¹.

En el trabajo de Zirino *et al.*, (1997), se estimó la pCO₂ superficial para un transecto en el centro de la RI a partir de mediciones continuas de pH *in situ*, temperatura, salinidad y alcalinidad específica medida en el golfo. Además, se realizaron los mismos cálculos a partir de temperaturas superficiales obtenidas de imágenes de satélite aplicándoles la relación pH-temperatura de las mediciones continuas en octubre de 1985. En este trabajo los valores más altos de pCO₂ (550 μatm)

se presentaron entre las islas Angel de la Guarda y Tiburón y se atribuyó al efecto de la mezcla vertical provocado por las mareas vivas.

En el trabajo realizado en la región norte del Golfo de California durante marzo-abril, por Montes-Hugo, (1997), se estudiaron los flujos de $p\text{CO}_2$ y Ct. El $p\text{CO}_2$ y Ct fueron estimados a partir de pH y una alcalinidad específica superficial constante obtenida para aguas del Pacífico. En este trabajo, la región Norte del GC en general presentó aguas con $p\text{CO}_2$ en condiciones cercanas al equilibrio con la atmósfera considerando un valor de $p\text{CO}_2$ promedio de 355 μatm . Solamente se presentaron flujos positivos asociados a zonas de mezcla en la cuenca Delfín en la RI.

Los resultados obtenidos por Hernández-Ayón (2000), correspondieron a condiciones de verano en un transecto a lo largo del GC en el crucero Megamarco I. En este crucero de 16 estaciones, se incluían tres estaciones en el NGC, tres en la RI y el resto en el CGC y el SGC. En este trabajo, se encontró que en la RI correspondieron valores altos de $p\text{CO}_2$ como resultado del alto efecto de la mezcla, pero fueron más altos aún en las estaciones del NGC. En este trabajo además, se determinaron los procesos predominantes por regiones, encontrando que la mezcla vertical fue el proceso físico principal que predominó en la RI y que explicaba el 80% de la distribución de las variables Ct y pH.

1.2.TEORÍA

Las variables del sistema del CO_2 en el agua de mar son variables no conservativas y son afectadas por distintos procesos como los que se muestran en la tabla II (Millero, 1996). A su vez el valor final de cada variable será el resultado de la mezcla de procesos de mayor o menor intensidad (predominando el más importante). De manera general, el comportamiento de las variables del CO_2 son distintas en la superficie y en el fondo, debido a los distintos procesos que ocurren en la zona eufótica y afótica. Sin embargo, en zonas de alta mezcla este patrón es modificado completamente debido a la homogenización de la columna de agua. En la figura 2 se presenta un prototipo de las concentraciones de las variables del sistema del CO_2 en la superficie y fondo con el objeto de ilustrar condiciones de no mezcla.

1.2.1. $p\text{CO}_2$

El valor en equilibrio de la $p\text{CO}_2$ en el agua de mar es de 365 μatm , valores por arriba de este valor corresponden a zonas que se comportan como fuentes de CO_2 hacia la atmósfera, valores por debajo de este valor corresponden a sumideros de CO_2 . Las zonas de surgencia generalmente son fuentes de CO_2 hacia la atmósfera, mientras que aguas frías (polos) son sumideros de CO_2 . Estudios recientes de agua superficial en el Atlántico se ha encontrado dos correlaciones de la $p\text{CO}_2$

Tabla II. Procesos que afectan las variables del sistema del CO₂ en el agua de mar.

Tipo de Proceso		Variables del sistema del CO ₂			
		Ct	pH	At	pCO ₂
Biológico	Fotosíntesis	D	A	=	D
	Respiración	A	D	=	A
Químico	Disolución de CaCO ₃	A	D	A	A
	Precipitación de CaCO ₃	D	A	D	D
Físico	Calentamiento solar	D	A	=	D
	Quema de combustible fósil	A	D	A	A

(A) Aumento

(D) Disminución

(=) No hay cambio

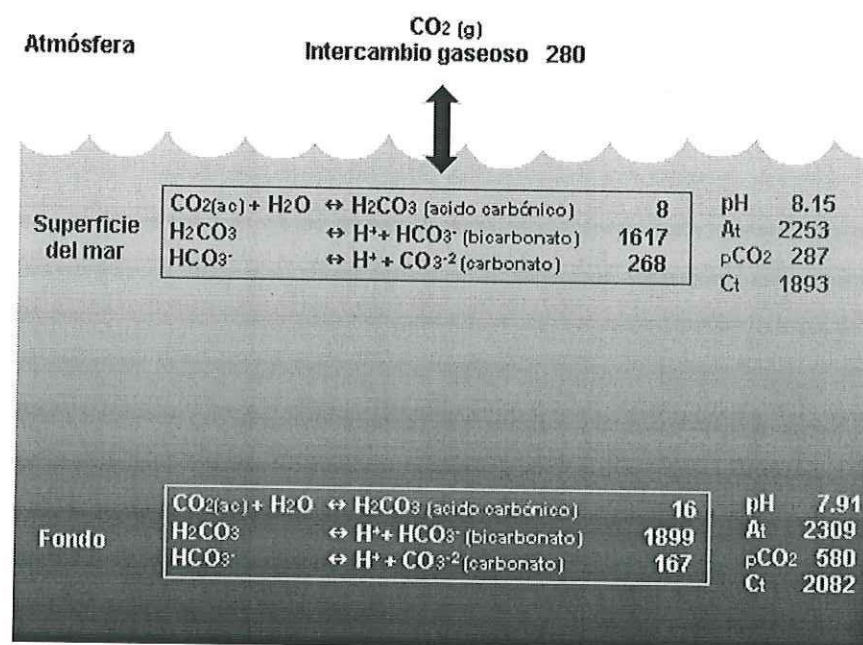


Figura 2. Prototipo de las variables del sistema del CO₂ (pH, At, Ct y pCO₂) en el agua de mar en la superficie y en el fondo. En ambos casos se mantuvo una salinidad de 35 y 25 °C. La suma de las especies corresponde al valor de Ct. Los valores de las especies del CO₂, Ct y At se encuentran en μmol kg⁻¹. Los valores de pCO₂ están en unidades de μatm.

como: $p\text{CO}_2$ -clorofilas; a mayor $p\text{CO}_2$ menor clorofilas; y $p\text{CO}_2$ -temperatura; a mayor $p\text{CO}_2$ mayor temperatura (Millero, 1996).

1.2.2. pH

El valor promedio del pH del océano es de 8.2 ± 0.1 , sin embargo presenta variaciones diurnas desde 8.2 hasta 8.9 en pequeños cuerpos de agua. En la superficie, la disminución ocurre en las noches debido a la respiración de los organismos e incrementa en las tardes por la fotosíntesis mientras que en el fondo debido a la ausencia de fotosíntesis el valor de pH disminuye en gran medida por la respiración. Los valores de pH son bajos en aguas de surgencia y altamente mezcladas, esto debido a que el agua de fondo que asciende hacia la superficie viene rico en $\text{CO}_{2(g)}$ (Fig. 2). De manera general el pH disminuye en el ecuador debido a que es zona de surgencias, mientras que a latitudes intermedias incrementa debido al incremento de la productividad primaria a estas latitudes.

1.2.3. At

La At en el agua de mar esta definida como la concentración de todas las bases que aceptan H^+ cuando se titulan con HCl hacia el punto final de ácido carbónico. El valor de At comprende las siguientes bases:

$$\text{At} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] + [\text{SiO}(\text{OH})_3] + [\text{MgOH}^+] + [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{PO}_4^{3-}] + [\text{bases extras}]$$

Sin embargo, tan solo la contribución de HCO_3^- , CO_3^{2-} y $\text{B}(\text{OH})_4^-$ corresponde al 99.4 % de la At en el agua de mar. En aguas anóxicas HS^- y NH_3 también contribuyen a la At. En aguas superficiales el valor promedio de At-nor (At-nor = At normalizada por salinidad) es de $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$, mientras que en aguas polares incrementa hasta valores de $2380 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Los valores altos de At-nor en los polos se debe a la productividad y a las surgencias (surgimiento de aguas profundas). En aguas profundas la concentración de At aumenta debido a la disolución del CaCO_3 principalmente.

1.2.4. Ct

El Ct corresponde a la suma de las especies del carbono. Estas especies son:

$$\text{Ct} = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{H}_2\text{CO}_3]$$

El Ct superficial presenta cambios latitudinalmente de $1960 \mu\text{mol kg}^{-1}$ en promedio a latitudes intermedias hasta valores > 2000 en los polos debido a las surgencias, sin embargo en el ecuador también se presenta un incremento debido a las surgencias ecuatoriales. Las aguas

superficiales disminuyen su concentración de Ct debido a procesos fotosintéticos en los que los organismos consumen el HCO_3^- y H_2CO_3 , y también por consumo de CO_3^{2-} debido a organismos con exoesqueleto calcáreo. Las aguas profundas contienen más Ct debido a la mayor oxidación de la materia orgánica y disolución de CaCO_3 , por lo que al ser transportados por surgencias o por procesos de mezcla, las aguas superficiales se enriquecen con aguas con mayor Ct y se convierten en fuentes de CO_2 a la atmósfera.

1.2.5. Porcentaje de saturación (Ω) de la calcita y aragonita

La precipitación de CaCO_3 en fase sólida en aguas superficiales y la disolución del CaCO_3 sólido en aguas profundas es muy importante en la transferencia de CO_2 de aguas superficiales a aguas profundas (Millero, 1996). Por lo tanto, la importancia del Ω de la calcita y aragonita en la columna de agua está relacionado con la factibilidad de la precipitación biogénica de testas en sedimentos marinos. Las testas de los cocolitofóridos y los foraminíferos están formados de calcita mientras que las plumas de los pterópodos están formadas de aragonita. Estos minerales tienen una estructura distinta, la calcita es romboédrica mientras que la aragonita es ortorrómbica, como resultado de esto la aragonita es 1.5 veces más soluble y menos estable que la calcita. Las regiones donde existe alta productividad primaria deberían estar asociadas a las mayores concentraciones de sedimentos calcáreos sin embargo, la distribución de oozes (ooze: sedimento que contiene más del 30% de masa detrital biogénica) está relacionada más con la presión, puesto que los esqueletos calcáreos al llegar a la lisoclina (la lisoclina se encuentra aproximadamente a 1000 m aproximadamente) comienzan a disolverse. De esta manera, los oozes se encuentran principalmente en regiones someras a mitad del océano como crestas y pendientes.

El estado de saturación del agua de mar con respecto al CaCO_3 es determinado por:

$$\Omega = [\text{Ca}^{+2}] [\text{CO}_3^{2-}] / K_{sp}$$

donde el $[\text{Ca}^{+2}] [\text{CO}_3^{2-}]$ es el ión del producto de la concentración de Ca^{+2} y CO_3^{2-} , y K_{sp} es el producto de la solubilidad a condiciones *in situ* (salinidad, temperatura y presión). La Ca^{+2} es el principal constituyente del agua de mar y su concentración puede ser estimada de la salinidad. El CO_3^{2-} puede ser determinado de mediciones del sistema de carbonatos (pH-At o At-Ct). K_{sp} corresponde a $10^{-8.35}$ y $10^{-8.22}$ para la calcita y la aragonita respectivamente. Si $\Omega = 1$ la solución está en equilibrio; si $\Omega < 1$ la solución está subsaturada; si $\Omega > 1$ la solución está supersaturada y debería favorecer a la precipitación. La solubilidad del CaCO_3 depende de las reacciones termodinámicas por ejemplo: la solubilidad incrementa con la disminución de la temperatura y el incremento de la presión (Libes, 1992).

2. OBJETIVOS

1. Determinar las masas de agua presentes en la RI mediante diagramas T-S.
2. Caracterizar la distribución espacial de la temperatura y salinidad en la RI.
3. Caracterizar la distribución espacial de las variables químicas (pH, At, Ct y O₂) en la RI.
4. Caracterizar las masas de agua que se encuentran presentes en la RI mediante valores de pH, At y Ct en conjunto con otros trazadores de masas de agua como temperatura, salinidad y densidad.
5. Identificar los procesos biológicos y físicos más importantes que afectan la distribución y concentración de las variables del sistema del CO₂ en el AGC y ASsSt de la RI.
6. Realizar una comparación temporal de los resultados encontrados en Umbrales I (marzo 02) con los datos encontrados en los cruceros Megamarco I (marzo 96) y II (marzo 97).
7. Determinar si las masas de agua profunda como ASsSt y AIP son modificadas en sus características del sistema del CO₂ durante su recorrido de la boca del GC hasta el sur de la RI. Para ello se utilizaron datos de los cruceros WOCE (abril 1994) y Megamarco II (marzo 97).
8. Proponer un modelo conceptual de los procesos y distribución de las variables del sistema del CO₂ en la RI.

3. HIPÓTESIS

Se planteó la siguiente hipótesis en base a los resultados obtenidos en los cruceros Megamarco I, II y Umbrales I. La mezcla vertical controla principalmente la distribución espacial y temporal de las variables del sistema del CO₂ (pH, Ct y At) en el agua de mar en la RI.

4. METODOLOGÍA

4.1. Muestreo

En este trabajo se emplearon datos de pH, At y Ct de tres cruceros oceanográficos realizados en el GC, los cuales fueron: Megamarco I (MI)(septiembre 1996), Megamarco II (MII) (marzo 1997) y Umbralés I (UI) (marzo 2002). Los cruceros oceanográficos fueron realizados en verano tardío (MI) e invierno tardío (MII y UI) a bordo del Barco Oceanográfico Francisco de Ulloa. Los datos analizados en los muestreos MI y MII corresponden a las estaciones localizadas dentro del recuadro (Fig. 3). El diseño de muestreo del crucero oceanográfico UI tuvo un total de 38 estaciones tan solo en la RI (Fig. 4). Para el MII se contó con los valores de pH del transecto principal, pero de At solo se contaron con las estaciones 14, 16, 17, 18, 19 y 21. Los tres cruceros oceanográficos fueron iniciados durante las mareas positivas hacia condiciones de mareas muertas (Fig. 5).

Para los cruceros oceanográficos MI, MII y UI se utilizó un CTD de marca Sea-bird 911 Plus. El CTD estuvo equipado con sensores de salinidad, temperatura, oxígeno y presión. En los Megamarcos, en cada crucero los perfiles de salinidad se corrigieron utilizando las mediciones de salinidad medida mediante un salinómetro conductímetro marca Beckman. En el crucero UI la corrección se realizó mediante datos históricos empleando los valores mayores a 500 m de profundidad. El CTD estuvo fijo a una roseta con botellas marca Niskin de las cuales se obtuvieron muestras discretas para pH, At y Ct tomadas con jeringas de 50 mL. En las estaciones marcadas se tomaron muestras en la superficie y a distintas profundidades 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 250, 500, 750, 1000 y 1500 m según lo permitiera la batimetría. Al tomar la muestra se evitó el contacto con la atmósfera circundante, así mismo el llenado de la jeringa se realizó lentamente para no generar burbujas. El análisis de pH, At y Ct se realizó en el barco, utilizando la técnica de titulación potenciométrica descrita por Hernández-Ayón *et al.*, (1999).

4.2. Análisis de muestras de pH, Ct y At

El sistema de titulación constó de tres partes principales: una celda de acrílico con un diseño especial para mantener las titulaciones en sistema cerrado, un potenciómetro con salida a puerto serie y una jeringa electrónica programable. Los tres módulos son controlados por una computadora. Para el control de ambos instrumentos se usa un programa en Qbasic, el cual graba el volumen del ácido adicionado y el cambio de milivoltaje en archivos ASCII. El titulador Adiciona ácido dependiendo del pH, un poco antes de llegar al primer punto de inflexión y un poco después del segundo punto de inflexión la jeringa agrega 5 μL y entre los dos puntos de inflexión la jeringa adiciona 40 μL , esto hizo más rápida la titulación.

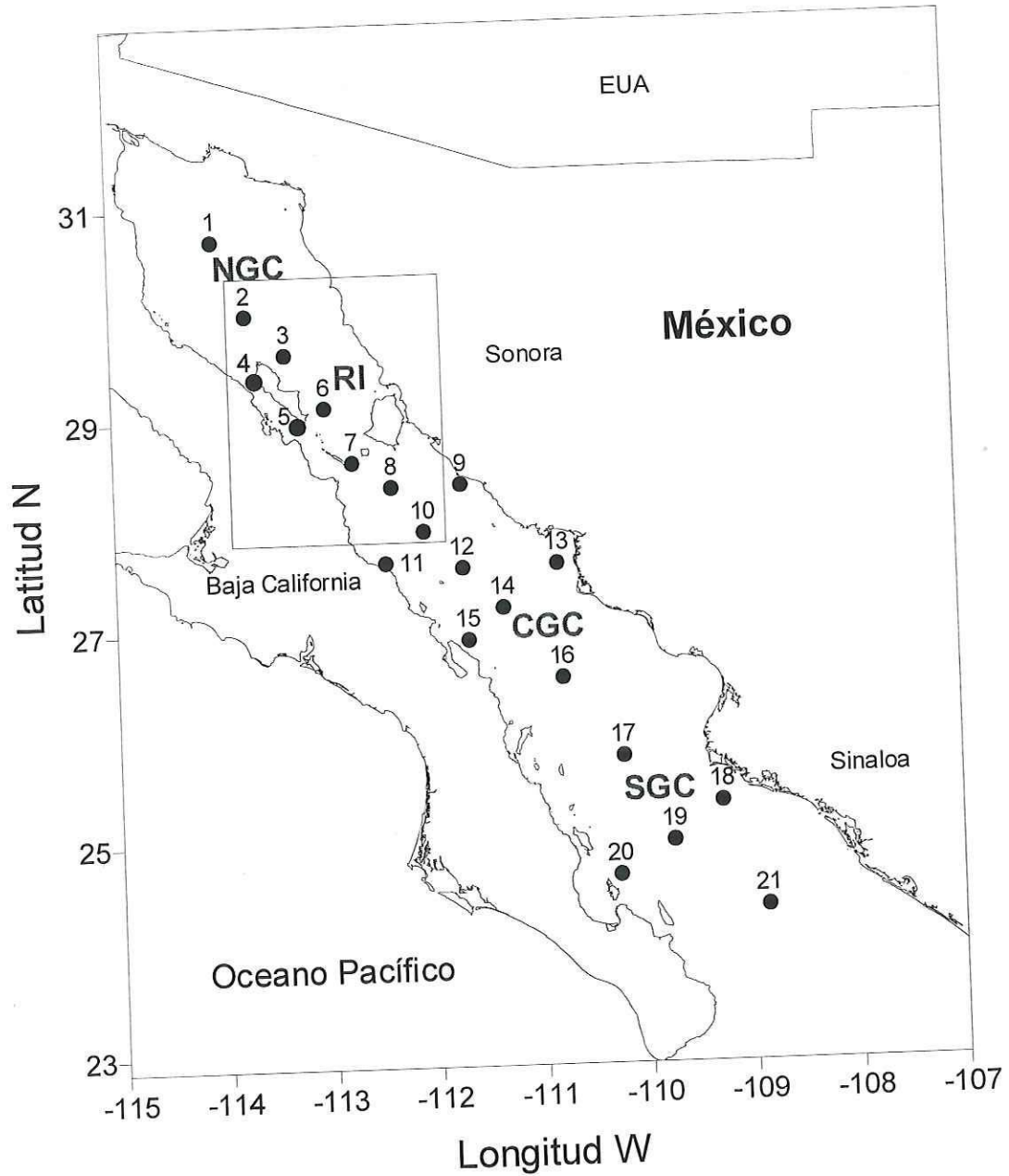


Figura 3. Golfo de California. Estaciones del Megamarco I y II. Las Regiones del Golfo de California son: Norte del Golfo (NGC), Región de las Grandes Islas (RI), Centro Golfo de California (CGC) y Sur Golfo de California (SGC).

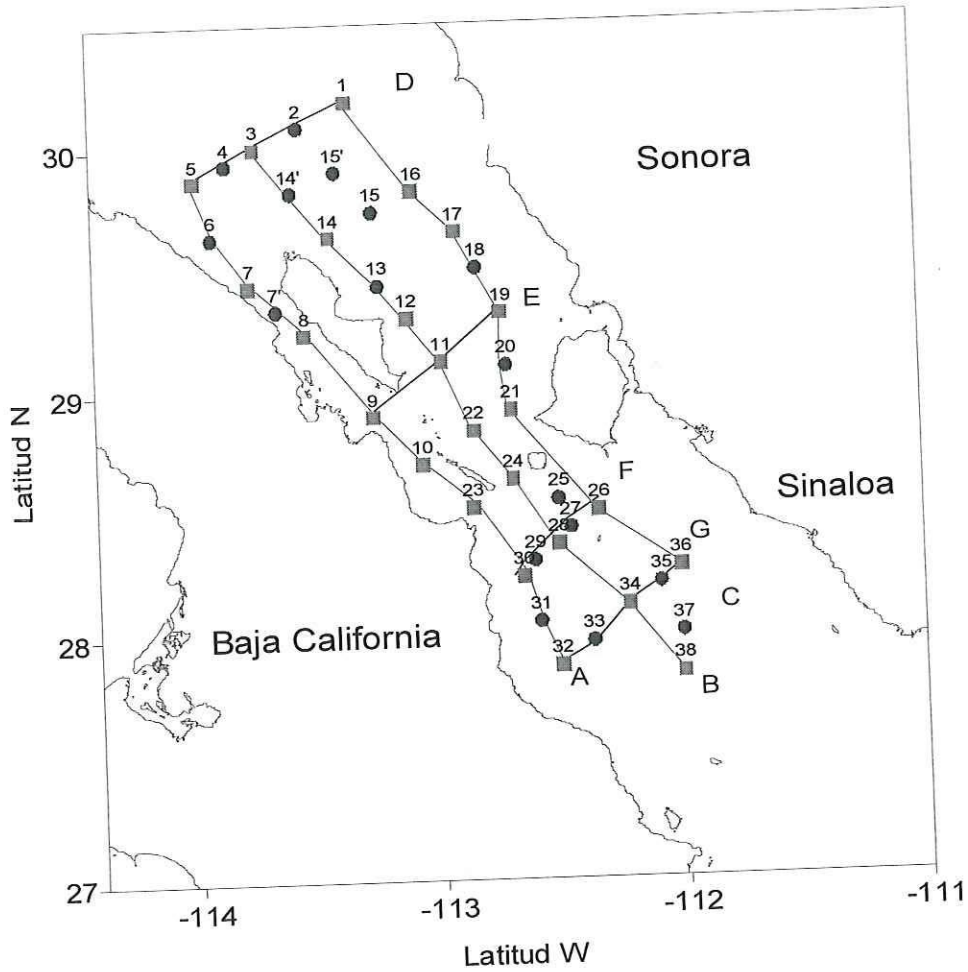


Figura 4. Región de las Grandes Islas. Red de muestreo del muestreo Umbrales I. Estaciones en donde se hicieron lances de CTD solamente (●), mientras que las estaciones en donde además se obtuvieron muestras para pH, At y Ct son (■). Las líneas que se muestran corresponden a los transectos realizados: noreste a sureste (A, B y C) y de oeste a este (D, E, F y G).

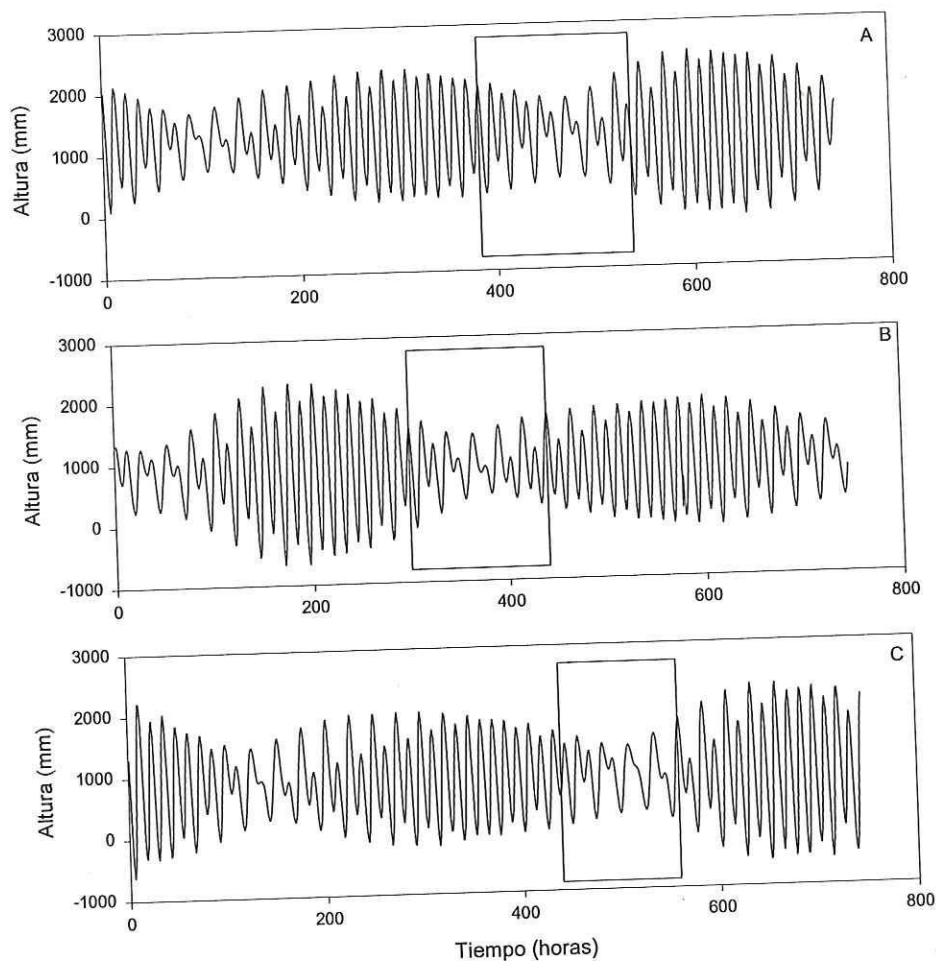


Figura 5. Datos de mareas registradas en Bahía de los Angeles. Megamarco I (A), Megamarco II (B), y Umbrales I (C). El recuadro dentro de cada figura indica la duración de cada muestreo.

La celda tiene una llave de teflón de un lado, y del otro cuenta con una tapa de cuello de rosca. A través de la tapa hay un electrodo de combinación Orion, un pistón de vidrio, el cual compensa el volumen del ácido adicionado, y dos conductos de plástico, uno para el ácido y otro por donde se introduce la muestra (Fig. 6). El volumen de la celda se determinó mediante la resta de la celda seca y llena con agua destilada a 25 °C, el volumen fue de 41.45 mL (Tabla III).

La muestra de agua se introdujo lentamente a la celda de acrílico vía el conducto de plástico. De igual manera el llenado se realizó de manera lenta, de tal forma que la muestra de agua desplace el aire dentro de la celda, para evitar la presencia y/o la formación de burbujas. Cuando la celda esta completamente llena, se cierran ambas llaves de acceso y se da paso a la titulación con ácido chlorhídrico al ~ 0.08 N.

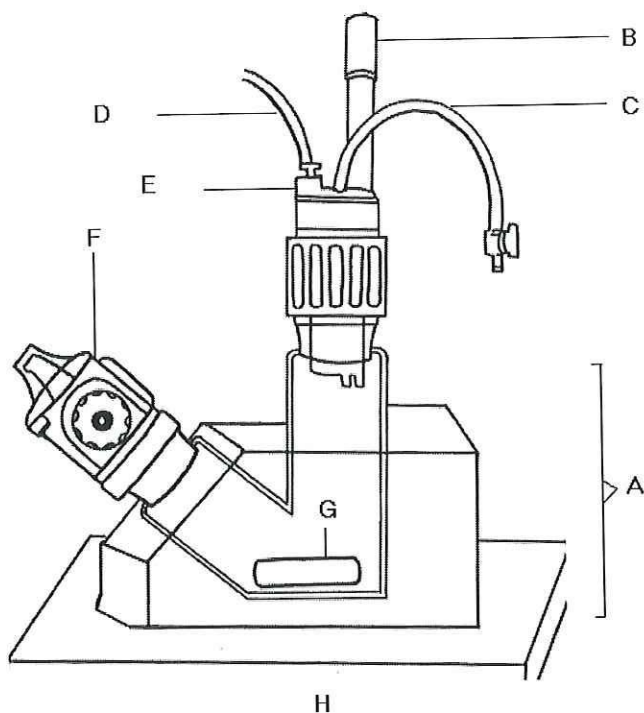


Figura 6. Celda de acrílico para la titulación potenciométrica (A), electrodo (B), conducto para muestra (C), conducto para HCl (D), pistón (E), llave (F), agitador magnético (G) y plancha de agitación (H).

Tabla III. Calibración del peso de la celda de titulación. Durante la calibración se utilizó agua destilada a 25°C.

Determinaciones	1	2	3
Celda húmeda	387.18	387.15	387.18
Celda seca	345.3	345.32	345.29
Diferencia	41.88	41.83	41.89
Volúmen (mL)	41.71	41.66	41.72
(peso * 0.996044)			
Corr. del tubo	0.258		
(conductor de muestra)			
Volúmen de la celda (mL)	41.456		
Precisión	0.077%		

La titulación termina cuando se llega a un pH aproximadamente de 4 (180 mV). Después de cada titulación, el contenido de la celda se drena y la celda y sus componentes se enjuagan con agua destilada y con agua de mar de las muestras para evitar residuos del ácido.

Después de cada titulación, los datos son procesados en un programa de Matlab que calcula la derivada de los milivolts con respecto al volumen, este programa realiza una interpolación lineal, filtra los datos y obtiene la posición exacta de los puntos de inflexión. El pH es la primera lectura del electrodo antes de que inicie la titulación, la A_t es la distancia desde el inicio de la titulación hasta el segundo punto de inflexión y el C_t es la diferencia entre los dos puntos de inflexión (Fig. 7).

El electrodo de sistema de titulación fue calibrado utilizando amortiguadores NBS (National Bureau Standards) en el muestreo UI, y con estándares de agua de mar: aminopiridina y trishidroximetilaminometano, (DOE 1994; Millero *et al.*, 1993; Del Valls y Dickson, 1998) en los muestreos MI y MII. Así mismo las mediciones de pH fueron corregidas por temperatura con el fin de estandarizar el valor de la primera lectura de potencial de cada muestra titulada a 25 °C mediante las ecuaciones de Furhmann y Zirino, (1988). En el muestreo MI y MII las mediciones de pH se realizaron directamente a 25 °C.

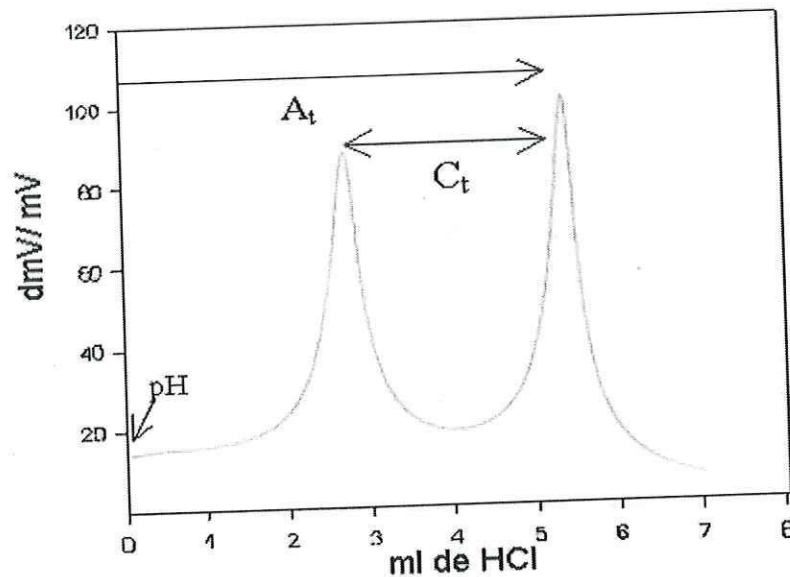


Figura 7. Técnica de la Derivada. Forma de calcular pH, Alcalinidad total (A_t) y carbono inorgánico total (C_t). Derivada del milivoltaje respecto al volumen adicionado (dmV/mV).

Para la prueba de exactitud, se analizó material de referencia del Dr. Andrew Dickson de Scripps Institution of Oceanography, en donde los valores del Batch 55 para At fue de $2227.85 \pm 0.95 \mu\text{mol kg}^{-1}$ y para Ct fue de $2012.06 \pm 0.66 \mu\text{mol kg}^{-1}$. La calibración del ácido clorhídrico, se realizó con CRM usando un estándar de distinto Batch. La normalidad del ácido utilizado en las titulaciones fue de 0.0779 M. El At y Ct del MI y UI fueron calibrados con datos profundos de la estación 14 del MII y de la estación 38 del UII. La precisión del sistema de titulación potenciométrico obtenido para la At ha sido de 3.2, 8.8 y $4.1 \mu\text{mol kg}^{-1}$ y para el Ct de 6.3, 11.4, $6.7 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respectivamente (Hernández-Ayón *et al.*, 1999; Camiro-Vargas, 2001; Aguilar-Hernández, 2002). Por lo anterior, valores conservadores de $\pm 10 \mu\text{mol kg}^{-1}$ para Ct y de $\pm 12 \mu\text{mol kg}^{-1}$ para At se podrían considerar como límites de precisión usando el sistema de titulación potenciométrico usado en este trabajo. En el caso del pH se tiene reportado que el límite de precisión en el mejor de los casos usando electrodos es de 0.003 unidades de pH (DOE, 1994), por lo que en este trabajo el doble de ese valor se consideró como valor límite.

El sistema de titulación potenciométrico utilizado en este trabajo ha probado ser una herramienta de utilidad en la medición de Ct, At y pH en muestras de agua de mar en zonas costeras (Hernández-Ayón *et al.*, 1999). Así mismo, se ha mostrado que la calidad de los datos obtenidos y en conjunto con las variables físicas permitieron caracterizar los procesos químicos, biológicos y físicos en función a su contenido de Ct, At, pH y O_2 ocurridos en el GC (Hernández-Ayón, 2000) de las masas de agua identificadas.

4.3. Procesamiento de datos

4.3.1. Volumen

Para calcular los porcentajes de volumen aproximado de las masas de agua de cada masa de agua se calculó el área de localización. Posteriormente el área en m^2 se multiplicó por el valor promedio de profundidad de ubicación de cada masa de agua. Cabe recalcar que como el ASsSt presentó localizaciones al Norte y al Sur distintas, los cálculos se realizaron por separado.

4.3.2. Variables químicas

La At del AGC del sistema del CO_2 se normalizó respecto a la salinidad ($\text{At-nor} = \text{At} * 35 / \text{salinidad}$). Esta normalización elimina las posibles variaciones debidas a los cambios por esta variable. Por lo que posibles cambios de At-nor se pueden atribuir a procesos biológicos como la disolución y precipitación de CaCO_3 (Millero *et al.*, 1998).

Para cada masa de agua identificada se calculó un valor promedio aritmético y una desviación estándar para cada una de las variables del sistema del CO_2 y O_2 . Para el Ct, At-nor y

O₂ se calculó el promedio integrado de los primeros 50 m para las 3 zonas identificadas. Posteriormente se correlacionaron las variables del sistema del CO₂ y O₂ con las variables físicas, en donde los signos indican el tipo de correlación positiva o negativa. En estas tablas se resaltaron las correlaciones > 0.70.

La pCO₂ se estimó usando un programa de Excel (Office 2000) a partir los valores de datos superficiales de Ct, At, PO₄⁻³, temperatura, salinidad y las constantes de Lueker *et al.*, (2000). Los datos de PO₄⁻³ para los muestreos MI y MII fueron proporcionados por el Dr. Francisco Delgadillo Hinojosa, mientras que para UI fueron obtenidos de Torres-Delgado (*in press*).

Los valores en equilibrio se calcularon a partir de los valores de At superficiales y pCO₂ en equilibrio (365 µatm) constante en el programa CO2Sys (Lewis y Wallace, 1998). Los valores promedio de equilibrio de Ct y pH fueron 8.085 y 2089.6 µmol kg⁻¹ respectivamente. Valores por arriba del valor en equilibrio del Ct y pCO₂ (por debajo en el caso del pH) indicaron que la zona es fuente de CO₂.

Los valores de Ct de las estaciones 14, 16, 17, 19 y 21 del MII se calcularon mediante valores de pH, At, PO₄⁻³ y salinidad en el programa CO2Sys (Lewis y Wallace, 1998). Los valores de Ct de las estaciones 2, 3, 6, 7, 8 y 10 del MII se calcularon mediante valores de pH, At constante correspondientes a los promedios obtenidos por masa de agua, PO₄⁻³ y salinidad en el programa CO2Sys (Lewis y Wallace, 1998).

La Ω de calcita y aragonita se estimó a partir de Ct, At, salinidad, temperatura y las constantes de disociación obtenidas por Mehrbach *et al.*, (1973) mediante el programa CO2Sys (Lewis y Wallace, 1998).

La Utilización Aparente de Oxígeno (UAO) se calculó mediante la diferencia entre el oxígeno (O₂) *in situ* menos la saturación de O₂ calculada a partir de temperatura y salinidad *in situ* (Weiss, 1970).

4.3.3. Variables físicas

El parámetro de estratificación (ϕ) se determinó de acuerdo con Simpson y Bowers (1981), con la finalidad de estimar el efecto de la mezcla vertical sobre la distribución superficial de las variables del sistema del CO₂.

$$\phi = 1/h \int (\rho - \rho)gzdz$$

$$\rho = 1/h \int \rho dz$$

Donde h es la profundidad de la columna de agua considerada en el calculo, ρ es la densidad del agua (Kg m^{-3}), ρ es la densidad prom. de la columna de agua (Kg m^{-3}), g es la aceleración de la gravedad (m seg^{-2}) y z es la profundidad (m). ϕ (J m^{-3}) representa una medida de la cantidad de trabajo que se requiere para mezclar una columna de agua. Es decir valores altos indican una columna de agua estratificada, mientras que valores bajos indican una columna de agua mezclada.

5. RESULTADOS.

5.1. Masas de agua presentes en la RI.

5.1.1. Características físicas (T-S) y localización de las masas de agua presentes

Las masas de agua que se localizaron en la RI en el crucero UI fueron: AGC, ASsSt, AIP y APP (Fig. 8).

El AGC se localizó en toda la superficie de la RI (Figura 9 a-a1). En promedio esta masa de agua se localizó en los primeros 170 m. Las características T-S promedio fueron $14.9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.2$ y 35.16 ± 0.12 respectivamente (Fig. 8).

El ASsSt tuvo dos distribuciones distintas, al noroeste se encontró llenando las cuencas Delfín, Salsipuedes y Tiburón; en promedio a partir de los 200 m de profundidad hacia el fondo (Fig. 9 b1). Al sureste se encontró entre 150 y 400 m de profundidad en promedio (Fig. 9 b1). Las características promedio T-S fueron $12.2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.9$ y 34.89 ± 0.09 respectivamente (Fig. 8).

El AIP se localizó al sureste de la RI y su límite fue el umbral de San Esteban, con una profundidad promedio entre los 500 y 800 m, llenando la cuenca de San Pedro Mártir (Fig. 9 c-c1). Se observó que el AIP no atravesó el umbral y permaneció a 500 m de profundidad debajo de las estaciones 28, 33, 34 y 38. Las características T-S promedio fueron de $6.7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.1$ y 34.55 ± 0.03 respectivamente (Fig. 8).

El APP solo se localizó a 1200 m de profundidad en la estación 38. Esta masa de agua fue identificada mediante T-S solamente y presentó valores promedio de $3.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.3$ y 35.56 ± 0.01 respectivamente (Fig. 8).

5.1.2. Temperatura y salinidad subsuperficial

Con los datos continuos de temperatura y salinidad tomados a 3 m de profundidad se realizó un mapeo detallado de la RI (Fig. 10 A-B). En este mapa se observaron zonas con baja temperatura y salinidad de $13\text{-}14^{\circ}\text{C}$ y $34.92\text{-}35$ respectivamente, las cuales se encontraron localizadas en el Canal de Ballenas e inmediatamente al sur de las islas San Lorenzo, San Esteban y Tiburón. La salinidad aumentó al noroeste de la RI de 35.22 a 35.3 (Fig. 10 A) y al sur y norte del lado de la península de Baja California se observó un calentamiento. Sin embargo, la temperatura superficial aumentó ligeramente más del lado de la Baja California (Fig. 10 B).

Este mismo patrón se observó en una imagen de satélite con mediciones de temperatura promedio de la 2ª. quincena del mes de marzo del 2002 (Fig. 11). En la imagen se observó un patrón muy similar al encontrado durante nuestro muestreo, con un área de agua fría rodeando a la isla Angel de Guarda desde el norte por el lado de la Península de Baja California hasta ligeramente al sur de los umbrales.

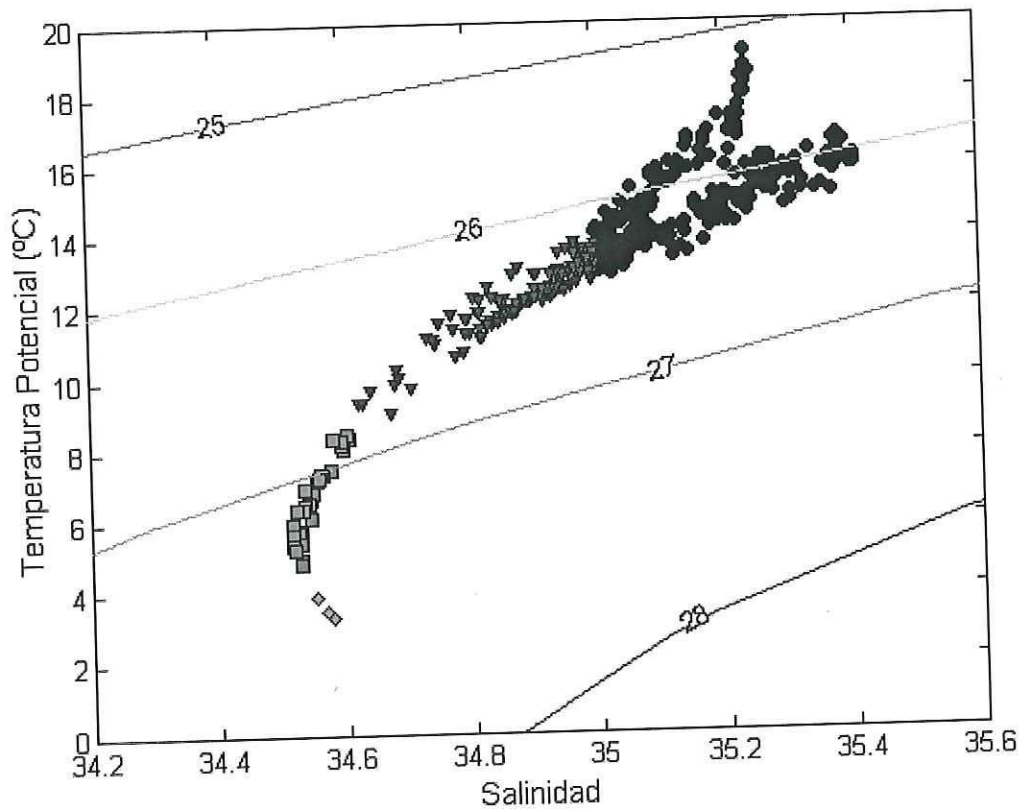


Figura 8. Diagrama T-S correspondiente a Umbrales I. Las masas de agua fueron identificadas mediante Torres-Orozco, (1993). Los acrónimos son: Agua del Golfo de California (●), Agua Superficial Subtropical (▼), Agua Intermedia del Pacífico (■) y Agua Profunda del Pacífico (◆).

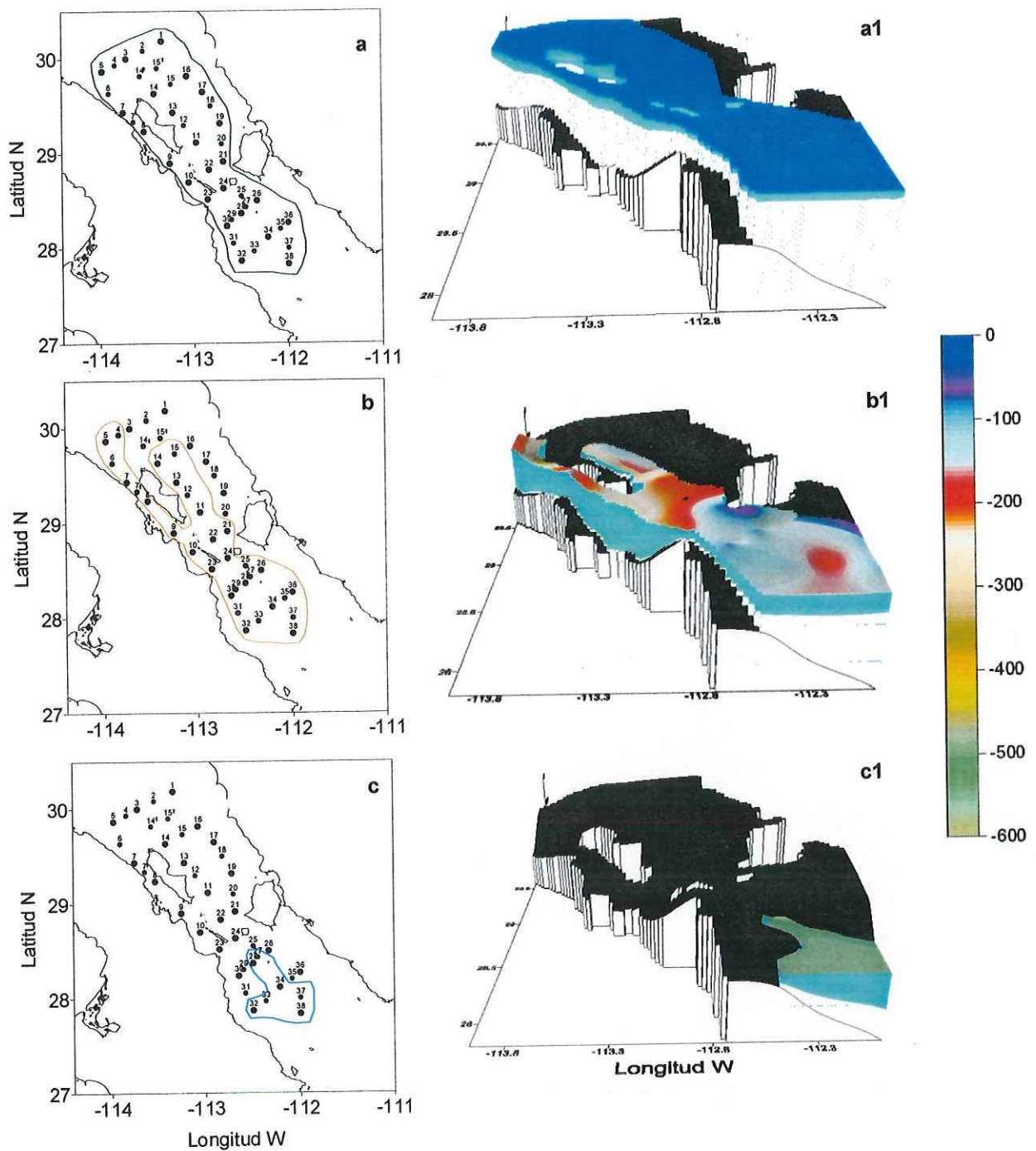


Figura 9. Localización y volumen de las masas de agua que interaccionan en la RI. AGC (a - a1), ASsSt (b - b1) y AIP (c - c1). La paleta de colores corresponde a la profundidad en donde esta localizada cada masa de agua. El volumen en porcentaje de las masas de agua en esta región correspondió a 39, 44, 16 y 1 % para AGC, ASsSt, AIP y APP respectivamente.

5.1.3. Transectos de temperatura y salinidad

Los transectos de temperatura y salinidad muestran hidrográficas distintas a pesar de encontrarse alrededor de 30 km de distancia en promedio (Figs. 12 y 13). En los transectos se observaron zonas más mezcladas que otras e igualmente zonas con estratificación.

En el transecto A se observó una zona altamente mezclada desde la superficie hasta 1000 m de profundidad en las estaciones 7', 8, 9, 10 y 23 (Fig. 12). Los valores en la superficie y fondo se encontraron entre 14.5°C y 11°C con diferencia de solo 3.5°C. Este transecto atravesó por dos umbrales uno al norte del Canal de Ballenas (debajo de las estaciones 7'y 8) y otro al sur de la depresión Salsipuedes (abajo de las estaciones 23 y 30). Por arriba de estos umbrales la isoterma de 14°C localizada a 100 m asciende hacia la superficie. Así mismo se observaron aguas cálidas de 16°C al norte y al sur en las estaciones 5, 6, 7'y 7 y 32 y 33 respectivamente.

En el transecto B de la figura 12 se observaron pulsos de agua profunda hacia la superficie en la estación 14 y en las estaciones 24 y 28. Debajo de las estaciones 24 y 28 se encontró el umbral de San Esteban el cual produce un salto hidráulico que se observó desde los 400 m de profundidad. Se observó que la isoterma de 14°C sube de 150 m hasta 50 m de profundidad. Además, se observó un calentamiento en la superficie de hasta 15°C en las estaciones 3, 14', 13, 12, 11, 20 y 24, sin embargo las estaciones más cálidas (> 16°C) corresponden a las estaciones 34 y 38.

Toda la superficie del transecto C estuvo cubierta por agua con temperatura mayor a 15.5°C (Fig. 12 C). Se observó un pulso entre las estaciones 21 y 26 en la isoterma de 14°C con un movimiento de agua de 125 a 50 m de profundidad.

De manera general, en los transectos de oeste a este de la figura 12 se observó que las estaciones incluídas en el transecto E, fondo de D y superficie de F presentaron una intensa mezcla mientras que la superficie del transecto D y G se observó más estratificación. En el transecto D se observó que la isoterma de 14°C se encontró a 80 m de profundidad mientras que la isoterma de 12°C no se presentó. En el transecto E la isoterma de 14 °C se encontró a 100 m de profundidad mientras que la isoterma de 12°C va de 300 m hasta los 650 m de profundidad entre las estaciones 9 y 11. En la estación 11 a 400 m de profundidad se observó la presencia de agua a 11 °C (Fig. 12). En el transecto F, se observó que la isoterma de 14 °C casi alcanza la superficie en las estaciones 29 y 27. La isoterma de 12°C se localizó aproximadamente a los 300 m mientras que la de 9°C a 500 m de profundidad. El transecto G mostró un calentamiento superficial en los primeros 100 m de hasta 18°C del lado de la península de Baja California, la isoterma de los 14°C se encontró a los 100 m de profundidad mientras que las isotermas de 12 y 9°C se mantuvieron en 300 y 500 m respectivamente (Fig. 12).

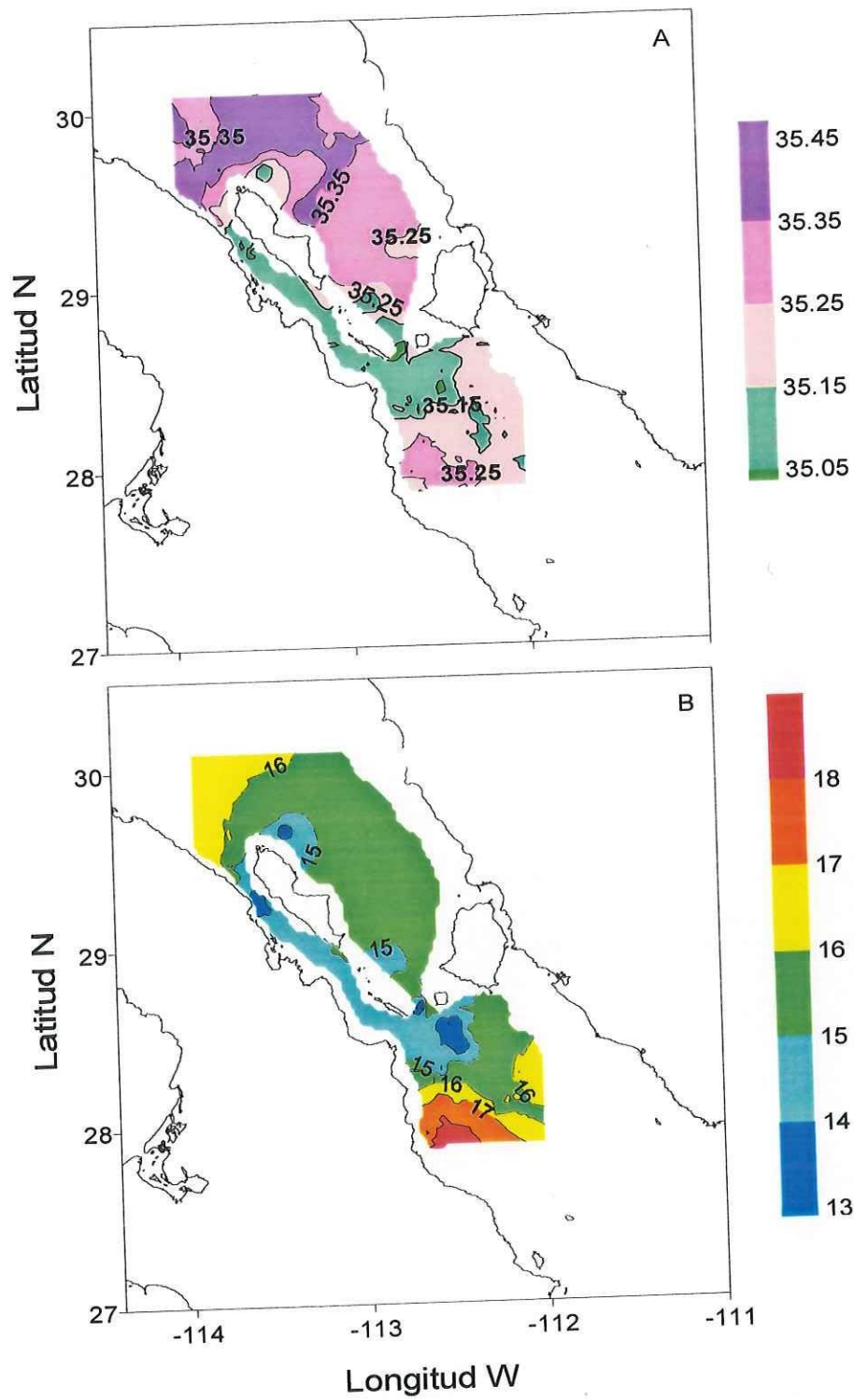


Figura 10. Mapa de salinidad superficial (A) y temperatura superficial a 3 m de profundidad mediante el flujo continuo.

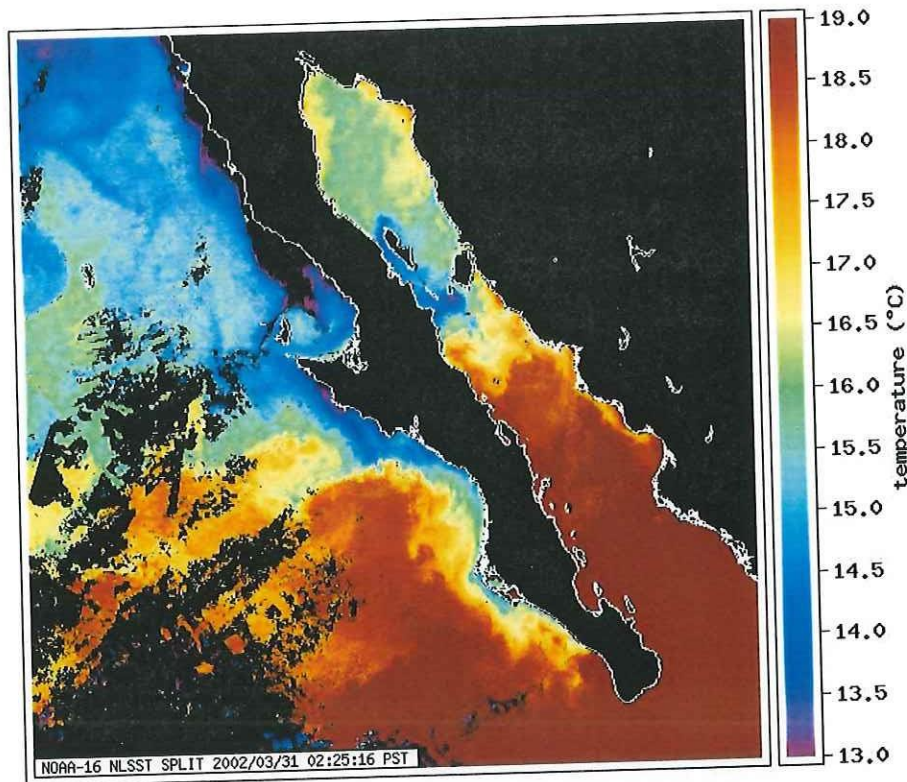


Figura 11. Imagen de satélite de temperatura superficial correspondiente al promedio comprendido entre la 2ª quincena de marzo del 2002 (tomado de <http://www.noaa.gov/>).

En los transectos donde se muestran las isohalinas se observó un patrón similar al observado con la temperatura, es decir zonas con mezcla alta como el Canal de Ballenas (Fig. 13 A) y el norte de los umbrales (Fig. 13 fondo del transecto D, E) mientras que al norte y al sur se observó cierta estratificación en la superficie (Fig. 13 D,G).

El transecto A mostró una zona central completamente mezclada debajo de las estaciones 7, 8, 9, 10 y 23 con una salinidad superficial de 35.05 mientras que a 1000 m de profundidad se presentaron valores de 34.8. Se observó que la isohalina de 35.1 (debajo de la estación 7) asciende de 300 m hasta la superficie. Al noroeste (debajo de las estaciones 5, 6 y 7) se observó una acumulación de agua salina de 35 a 35.3 que se observó hasta 400 m de profundidad (Fig. 13).

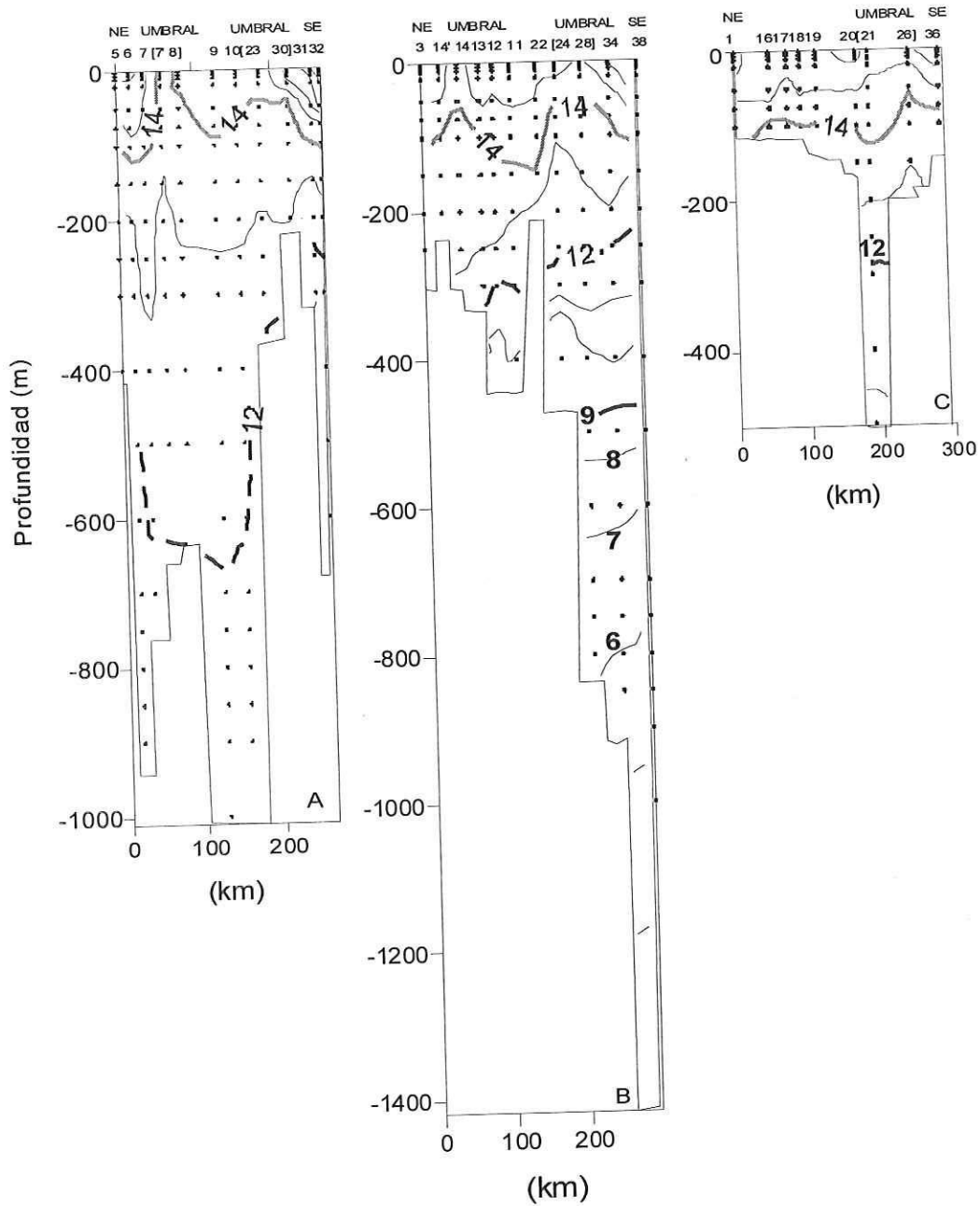


Figura 12. Transectos de temperatura localizados de noreste a sureste de la RI. El transecto A se encontró localizado del lado de la península de Baja California; el transecto B cruza la región por el centro; el transecto C del lado del estado de Sonora. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

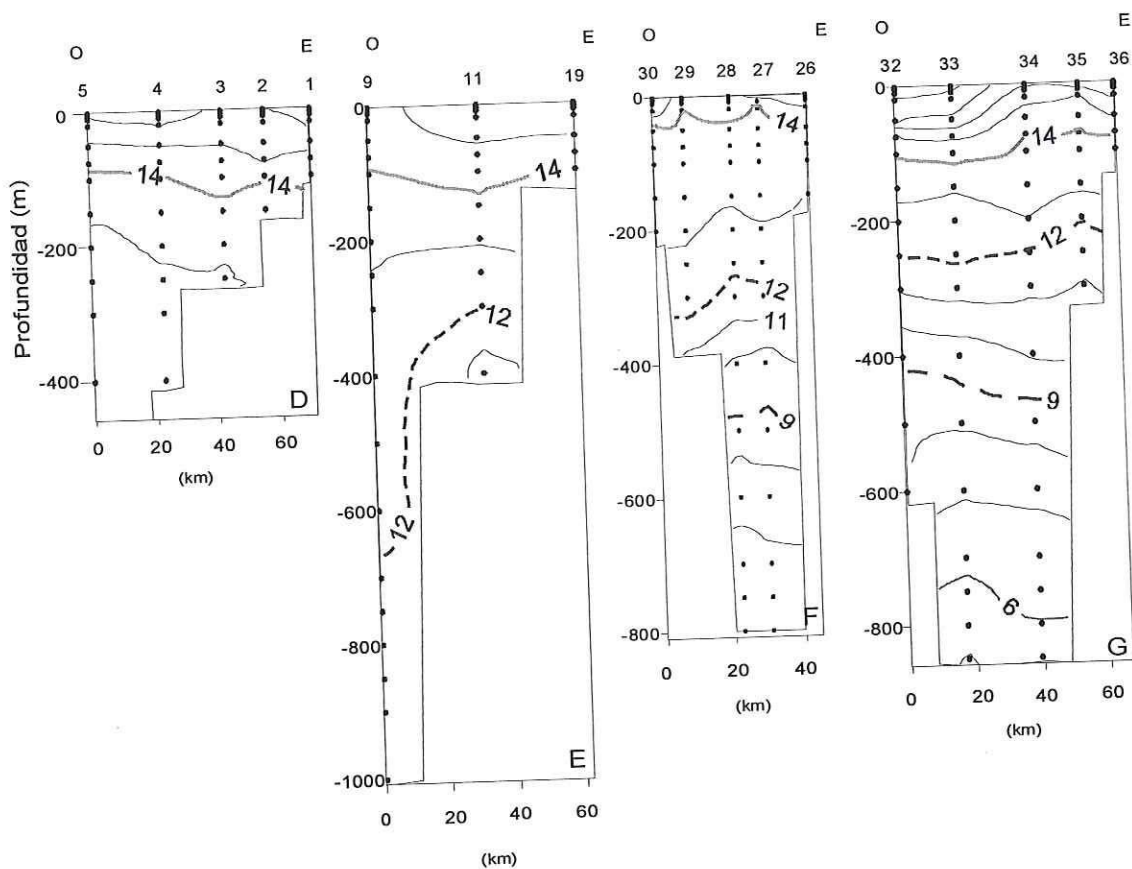


Figura 12 (Continuación). Transectos de temperatura localizados de oeste a este de la RI. El transecto D se encontró localizado al norte; el transecto E cruza por el centro; el transecto F al sur de las islas San Lorenzo y San Esteban y el transecto G al sur de la RI. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

En los primeros 200 m del transecto B se observó agua salina (>35) mezclándose con agua < 35 justamente entre las estaciones 22 y 24. Así mismo se observó que la isohalina de 35.1 asciende de 175 m hasta la superficie en las estaciones 14, 24 y 28. Por otro lado en las estaciones 13, 12 y 11 se observó un incremento de las salinidad de hasta 35.3 (Fig. 13). En este transecto se observó la isohalina de 34.8 aumentando su profundidad de 300 m de profundidad debajo de las estaciones 24, 28, 34 y 39 hasta 400 m debajo de las estaciones 11 y 12. La isohalina de 34.6 se presentó a 550 m de profundidad al sur de la RI solamente (Fig. 13).

Toda la superficie del transecto C estuvo cubierta por agua salina mayor a 35.1 (Fig. 13 C). La isohalina de 35.1 presentó una ligera ascensión hasta los 20 m debajo de la estación 26. La isohalina de 35 se observó debajo de las estaciones 21, 26 y 36 a una profundidad entre 150 y 200 m. La isohalina de 34.8 se presentó solamente debajo de la estación 20 a 400 m de profundidad.

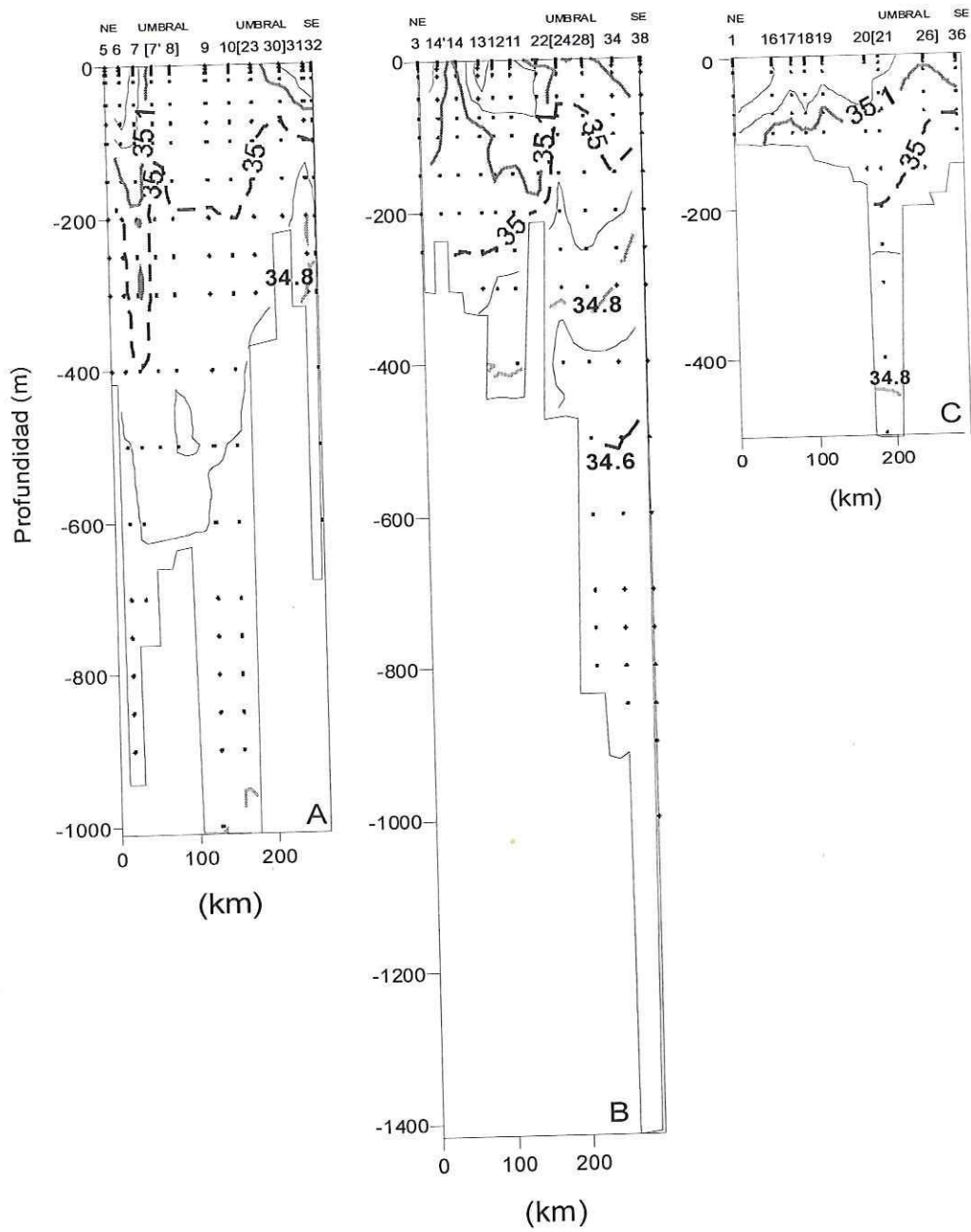


Figura 13. Transectos de salinidad localizados de noreste a sureste de la RI. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

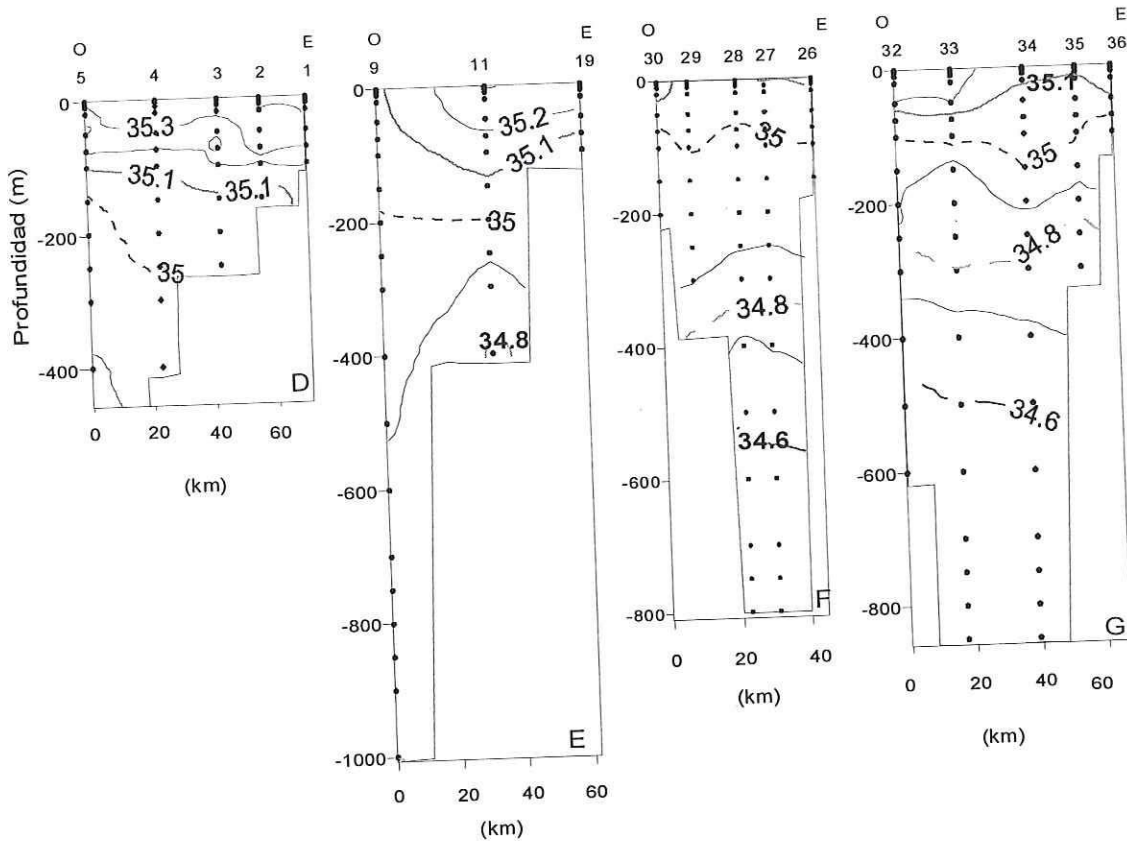


Figura 13 (Continuación). Transectos de salinidad localizados de oeste a este de la RI. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

En los transectos de oeste a este se observó que la zona mezclada se encontró del lado de Baja California (Fig. 13 fondo del transecto D, E y superficie del transecto F) mientras que al norte y al sur (Fig. 13 superficie del transecto D y G).

En el transecto D se observó que la isohalina de 35.1, se encontró a los 100 m de profundidad mientras que la de 35, se encontró a 250 m (Fig. 13). En el transecto E la isohalina de 35.1, asciende de 100 m en la estación 19 hasta la superficie en la estación 9 (Fig. 13). La isohalina de 35, se encontró a los 200 m de profundidad, mientras la isohalina de 34.8 se encontró a 400 m de profundidad en la estación 11 (Fig. 13).

En el transecto F se observó que la isohalina de 35.1, se encontró justamente sobre la superficie, y la de 35 a 100 m de profundidad. En este mismo transecto se observó que las isohalinas de 34.8 y 34.6 se encontraron a 400 y 600 m respectivamente (Fig. 13). En el transecto G se observó que la isohalina de 35.1 se encontró a 50 m en las estaciones 32 y 33 mientras que ascendió ligeramente debajo de las estaciones 34 y 35. Las isohalina 35, 34.8 y 34.6 se localizaron entre los 100, 300 y 500 m respectivamente (Fig. 13).

5.2. Características químicas de las masas de agua presentes

5.2.1. Variables del sistema del CO₂ y O₂

Cada masa de agua presente en la RI, presentó características químicas promedio distintas de pH, Ct y O₂ (Tabla IV). Además, se encontró una alta correlación entre las variables del sistema del CO₂ y las variables físicas (Fig. 14, Tabla V).

La AGC fue la masa de agua que presentó el menor Ct en promedio con una diferencia de ~40 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al ASsSt y de ~82 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al AIP (Tabla IV). El Ct del AGC presentó la mayor desviación estándar de las masas de agua presentes en la RI (Tabla IV). El Ct del AGC y AIP estuvo correlacionado con la temperatura y la densidad potencial (Tabla V).

En promedio la masa del AGC presentó el valor más alto de pH con una diferencia de 0.152 respecto al pH del ASsSt y 0.308 respecto al pH del AIP (Tabla IV). El pH del AGC presentó la desviación estándar mayor respecto a las otras dos masas de agua. El pH del AGC estuvo correlacionado con la temperatura potencial. El pH del ASsSt estuvo correlacionado con la salinidad y temperatura potencial (Tabla V).

El promedio del At-nor del AGC tuvo una diferencia de 4.4 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al At del ASsSt y de 13 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al At del AIP. Las desviaciones estándar fueron muy similares en las tres masas de agua (Tabla IV). El At del AIP estuvo correlacionado con las tres variables físicas (Tabla V).

El O₂ del AGC presentó la mayor concentración en promedio, con una diferencia de ~111 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al O₂ del ASsSt y de ~178 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al O₂ del AIP (Tabla IV). El O₂ del AGC presentó la mayor desviación estándar (Tabla IV). El O₂ del AGC estuvo correlacionado con la temperatura potencial, el O₂ del ASsSt estuvo correlacionado con las tres variables físicas mientras que el O₂ del AIP estuvo correlacionado con salinidad (Tabla V).

Tabla IV. Promedio de las variables del sistema del CO₂ y O₂ correspondientes a cada masa de agua presente. Para el AGC los valores de At corresponden a At-nor.

Masas agua	Ct $\mu\text{mol kg}^{-1}$	pH	At $\mu\text{mol kg}^{-1}$	O ₂ $\mu\text{mol kg}^{-1}$
AGC	2264.8 ± 27.6	7.669 ± 0.095	2342.7 ± 12.9	193.1 ± 51.1
ASsSt	2304.6 ± 11.3	7.512 ± 0.045	2347.1 ± 14.4	82.2 ± 34.9
AIP	2346.9 ± 12.3	7.361 ± 0.035	2355.7 ± 17.5	15.0 ± 3.4

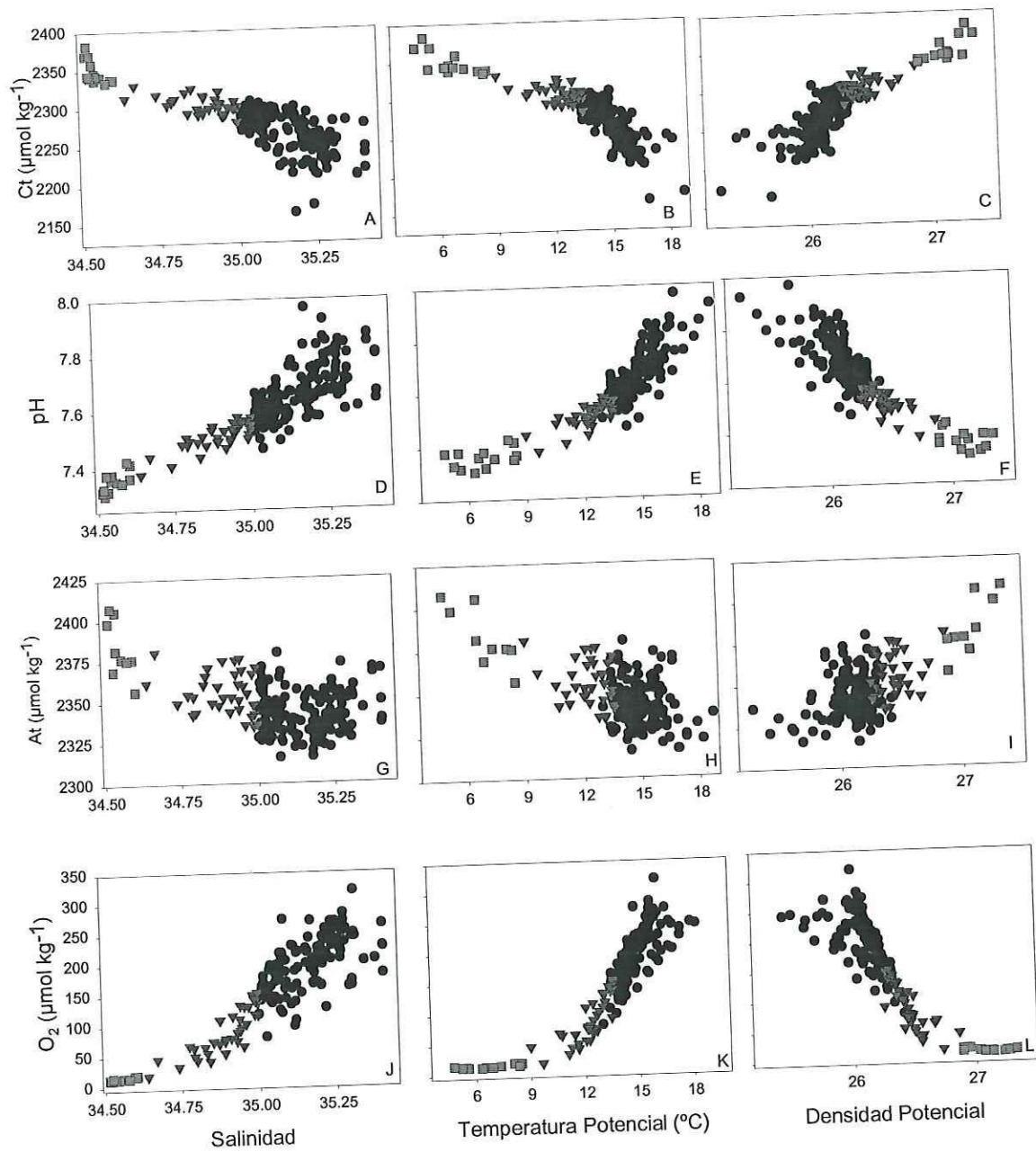


Figura 14. Relación entre las variables del sistema del CO₂ y O₂ según las masas de agua encontradas presentes. AGC (●), ASsSt (▼) y AIP (■) contra salinidad (A, D, G, J), temperatura (B, E, H, K) y densidad potencial (C, F, I, L) respectivamente.

Tabla V. Coeficientes de correlación de variables químicas respecto a las variables físicas de las masas de agua presentes.

		Ct	pH	At-nor	O ₂
Salinidad	AGC	0.60	0.67	0.05	0.62
	ASsSt	0.53	0.81	0.22	0.84
	AIP	0.66	0.66	0.71	0.87
Temperatura	AGC	0.78	0.79	0.14	0.75
	ASsSt	0.47	0.74	0.26	0.81
	AIP	0.73	0.39	0.82	0.62
Densidad	AGC	0.70	0.69	0.20	0.65
	ASsSt	0.41	0.67	0.27	0.80
	AIP	0.72	0.35	0.83	0.59

5.2.2. Transectos de variables del sistema del CO₂ y O₂.

Las isolíneas de pH estuvieron separadas por 0.05 unidades, mientras que las isolíneas de Ct, At-nor y O₂ fueron separadas por 10, 10 y 45 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respectivamente (Figs. 15-18). De manera general se puede observar que las isolíneas de pH, Ct y O₂ señalaron mezcla en el Canal de Ballenas parte central del transecto A, fondo del transecto E y fondo de la parte central norte del transecto B. La estratificación se observó en la superficie de los transectos C, D y G.

En el transecto A la isolínea de 7.65 casi alcanzó la superficie en las estaciones 8, 9, 10 y 23 mientras que se encontró a 75 m de profundidad aproximadamente debajo de las estaciones 5 y 7 al norte del Canal de Ballenas y a los 75 m debajo de la estación 33 al sur de la RI. El pH incrementó en la superficie hasta 7.85 al sur de la RI debajo de las estaciones 30 y 32. La isolínea de 7.5 se localizó entre 300 m de profundidad debajo de las estaciones 30 y 32 al sur de la RI, mientras que en el Canal de Ballenas se localizó entre 400 y 600 m de profundidad (Fig. 15 A).

En el transecto B, la isolínea de 7.65 presentó oscilaciones, casi alcanzó la superficie en las estaciones 14, 24, 28 y 34, sin embargo se encontró a 100 m de profundidad debajo de la estación 22. En la superficie de este mismo transecto se observó un incremento de pH al centro entre las estaciones 12, 11 y 22 de hasta 7.8. Al norte y sur de este transecto también se presentó un ligero incremento del pH. La isolínea de 7.5 se localizó a 100 m de profundidad debajo de la estación 38, sin embargo aumentó su profundidad hasta 400 m debajo de las estaciones 11 y 12. La isolínea de 7.35 se presentó en este transecto entre 500 y 1000 m de profundidad debajo de las estaciones 34 y 38 (Fig. 15 B).

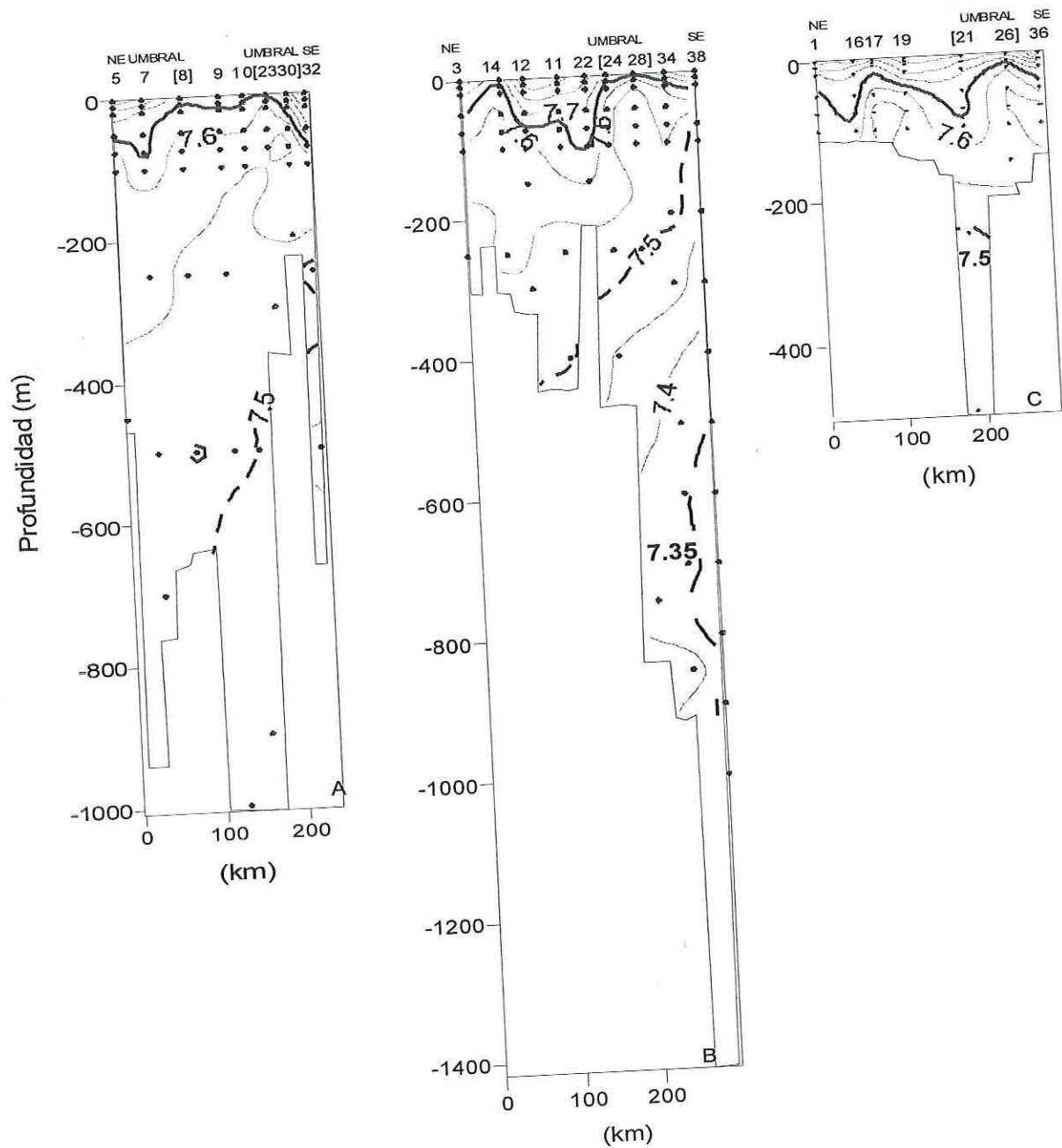


Figura 15. Transectos de pH localizados de noreste a sureste de la RI. Las isolíneas marcadas corresponden a: 7.65 (—), 7.5 (---) y 7.35 (— · —). Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

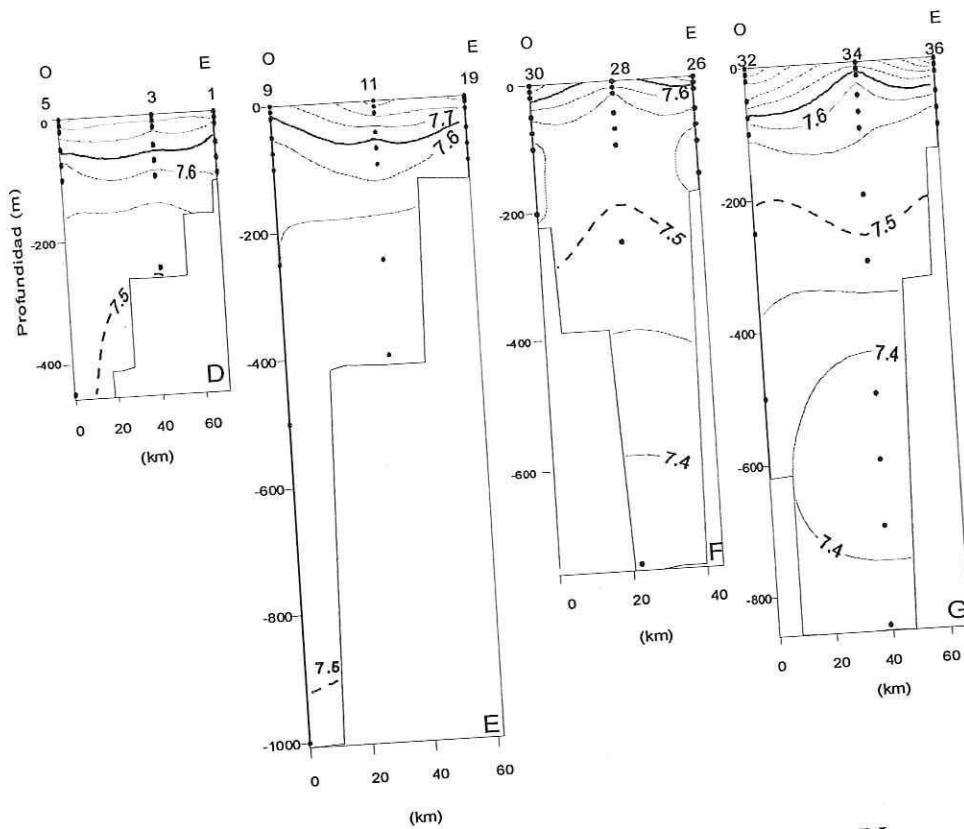


Figura 15 (Continuación). Transectos de pH localizados de oeste a este de la RI.

En el transecto C, la isolinéa de pH de 7.7 presentó oscilaciones, casi alcanzó la superficie en las estaciones 17 y 26, mientras que se encontró a 75 m debajo de las estaciones 16 y 21. A lo largo de toda la superficie del transecto C se presentó un incremento mayor del pH alcanzando valores de 7.8. La isolinéa de 7.5 se localizó a 300 m de profundidad debajo de la estación 21 (Fig. 15 C).

En el transecto D, la isolinéa de 7.65 se localizó en promedio a 50 m de profundidad, mientras que la isolinéa de 7.5 se localizó entre 2500 y 450 m debajo de las estaciones 3 y 5 respectivamente (Fig. 15 D).

En el transecto E, la isolinéa de 7.65 casi alcanzó los 20 m de profundidad debajo de la estación 9 mientras que se encontró a 50 m de profundidad debajo de las estaciones 11 y 19. La isolinéa de 7.5 se observó a 900 m de profundidad debajo de la estación 9 en el Canal de Ballenas (Fig. 15 E).

En el transecto F, la isolinéa de 7.65 alcanzó la superficie en la estación 28 y se encontró a 20 m debajo de las estaciones 30 y 26. La isolinéa de 7.5 se localizó aprox. a los 300 m de profundidad en donde se observó un levantamiento de la isolinéa de los 250 a los 200 m debajo de la estación 28 (Fig. 15 F). En el transecto G, la isolinéa de 7.65 casi alcanzó la superficie en la

estación 34 mientras que se encontró a 75 y 50 m en las estaciones 32 y 36, respectivamente. En este transecto se observó un incremento del pH de hasta 7.9 debajo de la estación 32. La isolínea de 7.5 se localizó a los 200 m de profundidad (Fig. 15 G).

En los transectos de norte a sur de Ct, se observaron áreas mezcladas en la parte central del transecto A, en fondo al norte del transecto B, fondo en el transecto D y E y en entre los 100 y 300 m de profundidad en el transecto F. En el transecto C, D, F y G se observó estratificación en los primeros 50 m de profundidad (Fig. 16).

En el transecto A, la isolínea de $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ casi alcanzó la superficie en las estaciones 8, 9, 10 y 23. Sin embargo, se localizó a 100 m de profundidad aproximadamente debajo de las estaciones 5 y 7. Al sur de la RI la isolínea de $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a 75 m de profundidad debajo de las estaciones 30 y 32. Al norte de este transecto se observó agua con concentraciones de hasta $2240 \mu\text{mol kg}^{-1}$ en la estación 5. La isolínea de $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 200 m de profundidad debajo de las estaciones 30 y 32 mientras que se ubicó a 400 m en la cuenca Delfin debajo de las estaciones 5 y 7 (Fig. 16 A).

En el transecto B, la isolínea de $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ casi alcanzó la superficie en las estaciones 14 y 28, mientras que se encontró a 75 m de profundidad debajo de las estaciones 12, 11 y 22. Se observó una disminución del Ct en la parte central de este transecto entre las estaciones 12, 11 y 22 de hasta $2230 \mu\text{mol kg}^{-1}$, también se presentó una disminución del Ct al norte y al sur. La isolínea de $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 100 m de profundidad debajo de las estaciones 34 y 38, presentó un ligero ascenso debajo de las estaciones para posteriormente aumentar su profundidad a los 200 m debajo de las estaciones 3, 14, 12, 11 y 22. La isolínea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se ubicó a 600 m de profundidad al sur de la RI (Fig. 16 B).

La superficie del transecto C presentó bajas concentraciones llegando hasta $2220 \mu\text{mol kg}^{-1}$. La isolínea $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 50 m de profundidad en promedio, sin embargo ascendió ligeramente en la estación 17 y 26. La isolínea de $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 150 m de profundidad debajo de las estaciones 19, 21 y 26 (Fig. 16 C).

En el transecto D, la isolínea de $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a 50 m de profundidad. La isolínea de $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a 175 m de profundidad en promedio (Fig. 16 D). La isolínea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

En el transecto E, la isolínea de $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó casi en la superficie en la estación 9 y a 75 m de profundidad debajo de las estaciones 11 y 19. La isolínea de $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a 175 m de profundidad aproximadamente (Fig. 16 E). La isolínea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

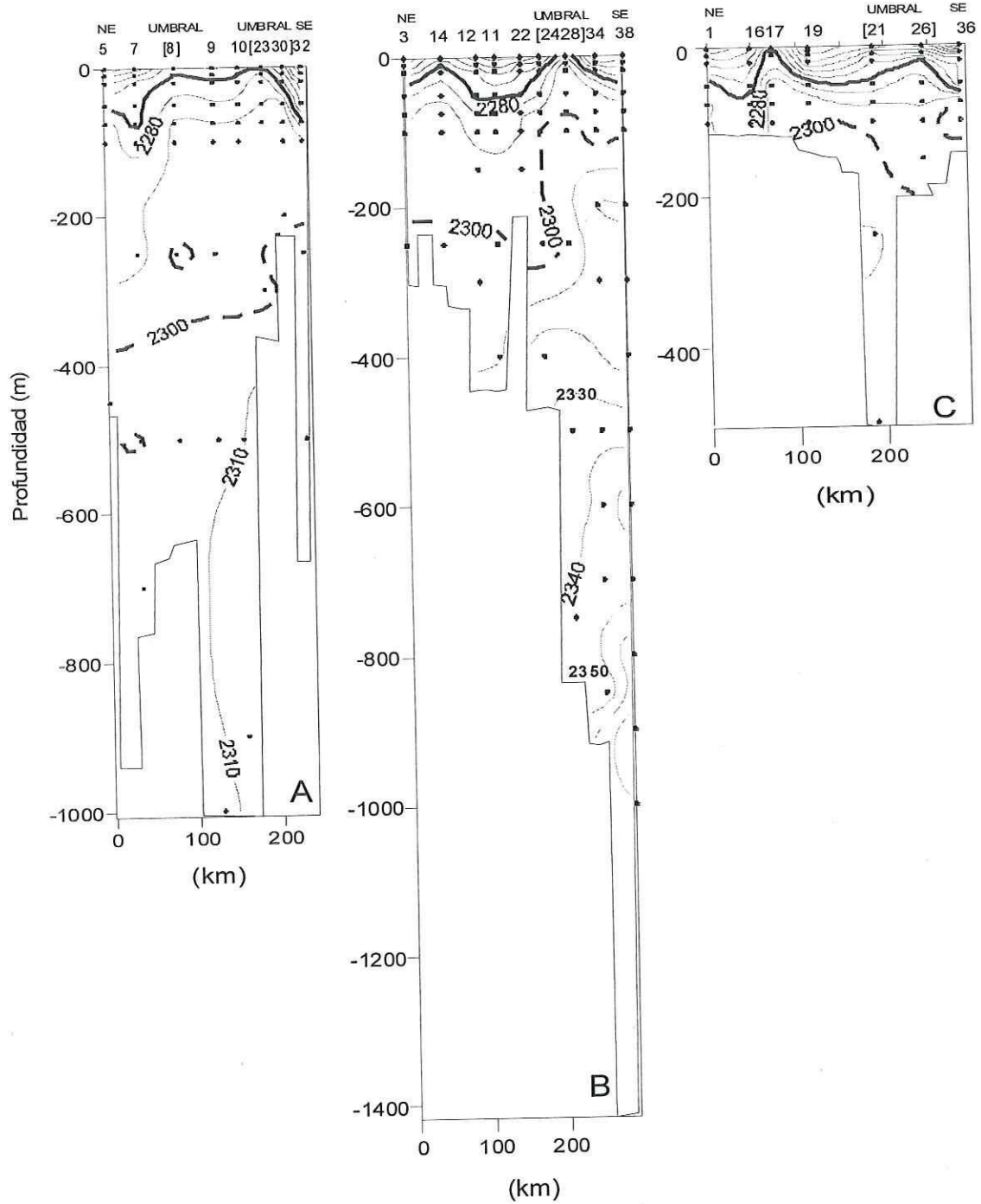


Figura 16. Transectos de Ct localizados de noreste a sureste de la RI. Las isolíneas marcadas corresponde a: 2270 (—), 2300 (- - -) y 2340 (— —) $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

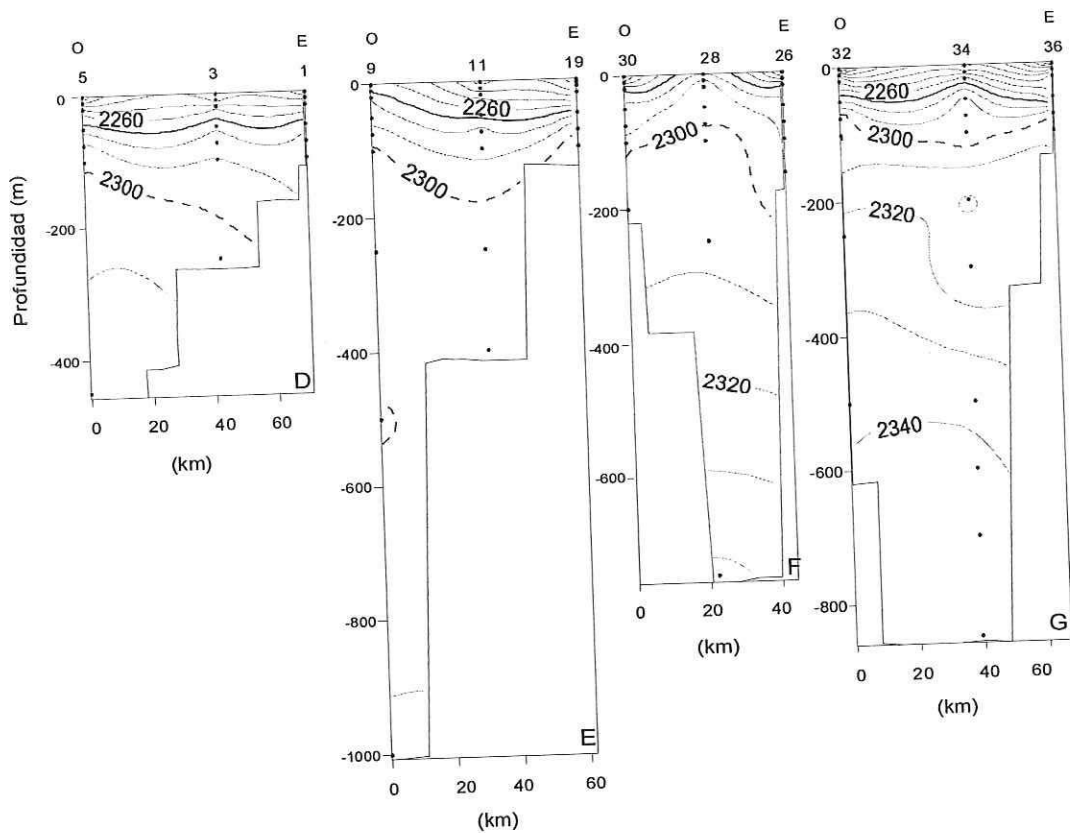


Figura 16. (continuación). Transectos de Ct localizados de oeste a este de la RI.

En el transecto F, la isolnea de $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ alcanzó la superficie en la estación 28, mientras que debajo de las estaciones 30 y 26 el Ct disminuyó hasta $2240 \mu\text{mol kg}^{-1}$. La isolnea de 2300 se ubicó a 100 m de profundidad debajo de las estaciones 28 y 30 y a 200 m de profundidad debajo de la estación 26. La isolnea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a 800 m de profundidad debajo de la estación 28 (Fig. 16 F).

En el transecto G, la isolnea de $2270 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró aproximadamente a 50 m. La isolnea de $2300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 100 m de profundidad. La isolnea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se ubicó a 600 m de profundidad debajo de las estaciones 32 y 34 (Fig. 16 G).

Las isolneas de los transectos de At-nor de norte a sur y de oeste y este tuvieron un comportamiento disperso en los primeros 500 m de profundidad.

En el transecto A, la isolnea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ osciló de manera dispersa entre la superficie y los 300 m de profundidad. La isolnea de 2360 se localizó al sur de la RI debajo de las estaciones 30 y 32, y dentro del canal de Ballenas se localizó entre 500 y 900 m de profundidad (Fig. 17 A). La isolnea de $2380 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

En el transecto B, la isolínea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ osciló entre la superficie y 300 m de profundidad. La isolínea de $2360 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó entre 200 y 500 m al sur de la RI. La isolínea de $2380 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se ubicó a 700 m de profundidad al sur de la RI (Fig. 17 B).

En el transecto C, la isolínea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ osciló entre la superficie y los 100 m de profundidad mientras que la isolínea de $2360 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó debajo de la estación 21 a 200 m de profundidad (Fig. 17). La isolínea de $2380 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

En el transecto D y E, solo se observó la isolínea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ oscilando de manera dispersa entre la superficie y los 400 m de profundidad (Fig. 17).

En el transecto F, se observó la isolínea de $2340 \mu\text{mol kg}^{-1}$ oscilando en la superficie, mientras que la isolínea de $2360 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró entre los 100 y 300 m de profundidad. La isolínea de $2380 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a 600 m de profundidad (Fig. 17).

En el transecto G se observó la isolínea de 2340 a 100 m de profundidad aproximadamente. La isolínea de $2360 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a 450 m aproximadamente debajo de las estaciones 32 y 34 (Fig. 17). La isolínea de $2380 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

En los transectos de norte a sur de O_2 se observó que en el fondo del transecto A presentó mezcla entre los 100 y 1000 m de profundidad. El transecto B presentó mezcla al fondo de la parte norte. El transecto C presentó mezcla solamente debajo de la estación 21. Los transectos E y F presentaron mezcla en el fondo.

En el transecto A, se observó la isolínea de $175 \mu\text{mol kg}^{-1}$ alcanzando la superficie en las estaciones 7' y 8 en el umbral al norte del Canal de Ballenas, mientras que se encontró a 75 m debajo de las estaciones 5, 6, 7 y 9. Así mismo en este transecto se observó un incremento del O_2 de hasta 225 al norte y al sur de la RI. La isolínea de $75 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se presentó a 200 m de profundidad debajo al norte y sur de este transecto, mientras que en el fondo se encontró a 500 m de profundidad debajo de la estación 9. La isolínea de $25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

En el transecto B, se observó la isolínea de $175 \mu\text{mol kg}^{-1}$ oscilando a 75 m de profundidad presentando un ascenso hasta 50 m de profundidad debajo de las estaciones 14, 24, 28 y 34. La isolínea de $75 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 200 m de profundidad al sur de este transecto y aumentó su profundidad hasta 400 m debajo de las estaciones 12 y 13. La isolínea de $25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se localizó a los 400 m de profundidad al sur de la RI debajo de las estaciones 28, 34 y 38.

En el transecto C, la isolínea de $175 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 75 m de profundidad aproximadamente, mientras que debajo de la estación 26 ascendió ligeramente a 50 m de profundidad. En toda la superficie de este transecto se presentó un incremento de O_2 de hasta $250 \mu\text{mol kg}^{-1}$. La isolínea de $75 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 450 m de profundidad debajo de la estación 21 (Fig. 18). La isolínea de $25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

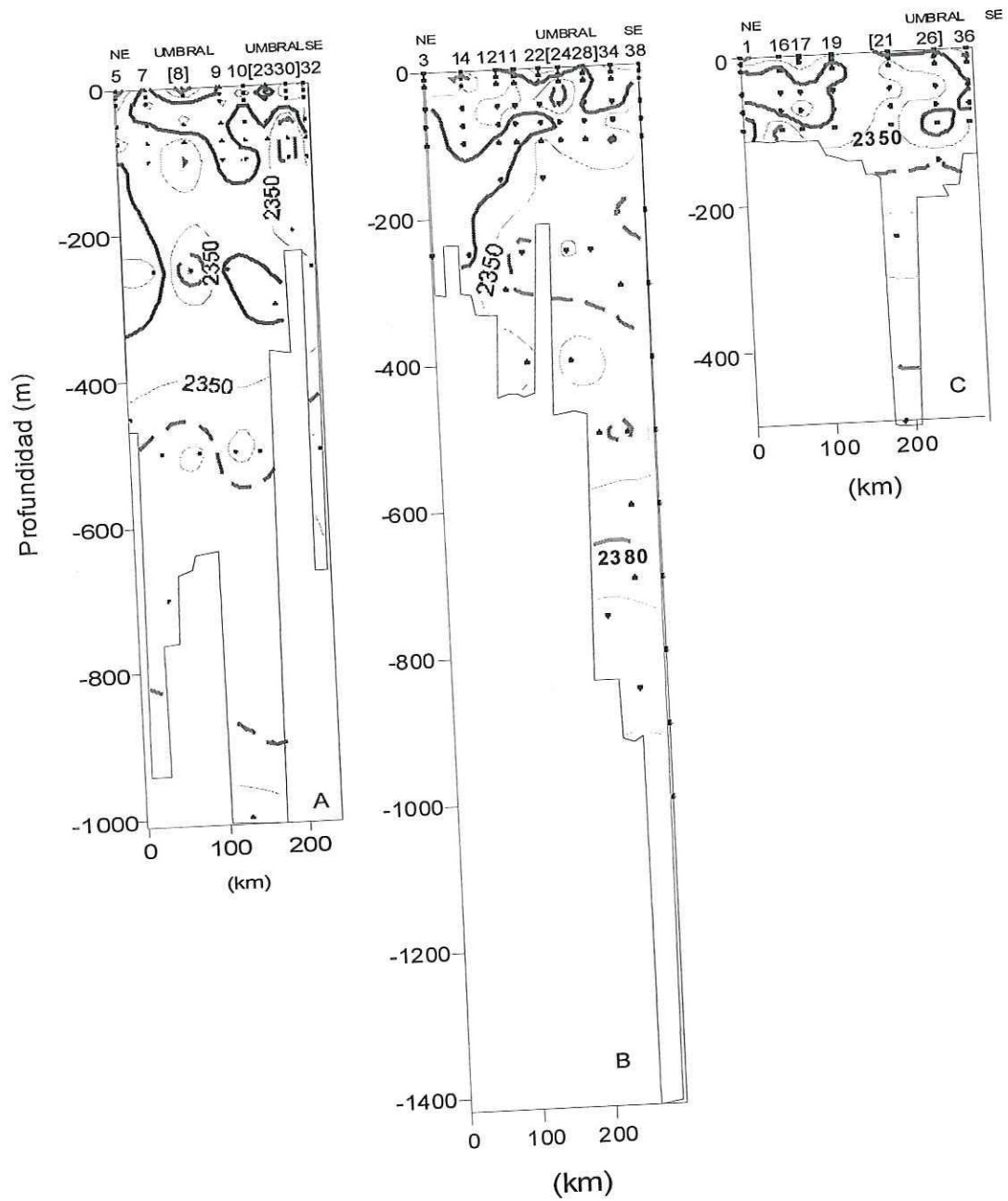


Figura 17. Transectos de At-nor localizados de noreste a sureste de la RI. Las isolíneas marcadas corresponde a: 2340 (—) 2360 (- - -) y 2380 (— — —) $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

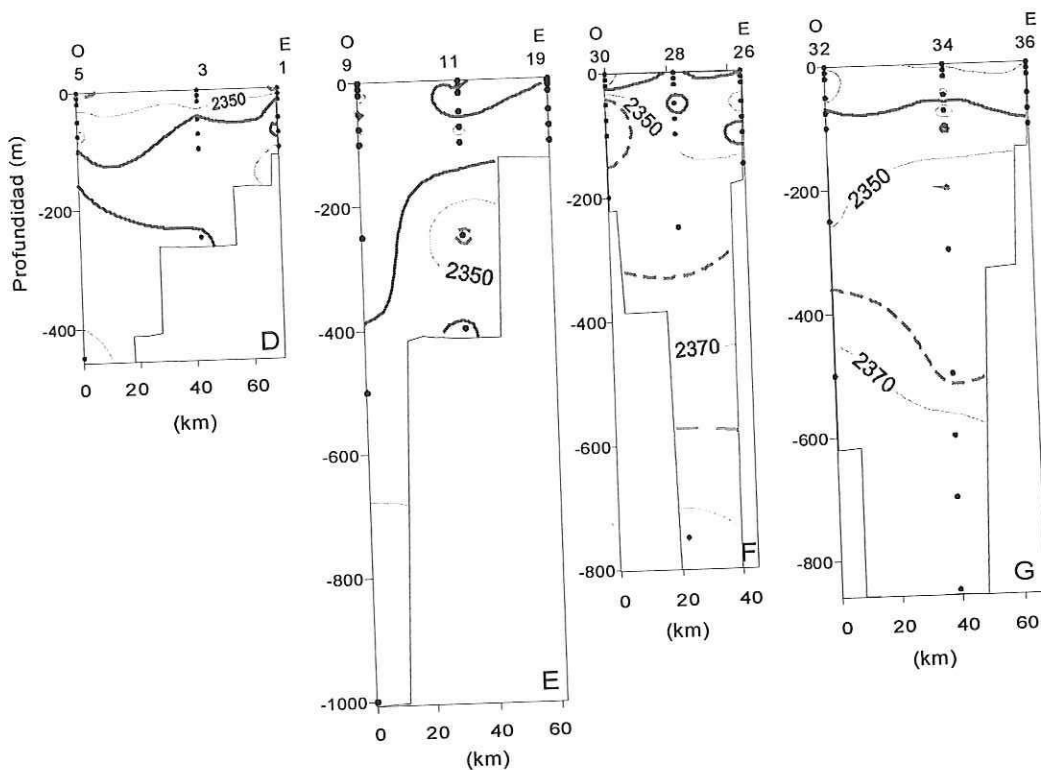


Figura 17 (continuación). Transectos de At localizados de oeste a este de la RI.

En el transecto D la isolínea de $175 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 50 m de profundidad aproximadamente. La isolínea de 75 se encontró a 250 m de profundidad debajo de las estaciones 3 y 4, mientras que presentó un ligero ascenso debajo de la estación 5. La isolínea de $25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

En el transecto E la isolínea de $175 \mu\text{mol kg}^{-1}$ a 75 m de profundidad aproximadamente (Fig. 18). La isolínea de $75 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 250 m de profundidad debajo de la estación 11 y aumentó su profundidad a 500 m de profundidad debajo de la estación 9. La isolínea de $25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ no se presentó en este transecto.

En el transecto F, la isolínea de $175 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 100 m debajo de las estaciones 29 y 27 mientras que ascendió a 50 m de profundidad debajo de la estación 28. La isolínea de $75 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 400 m de profundidad aproximadamente. La isolínea de $25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 500 m de profundidad debajo de las estaciones 28 y 27 (Fig. 18).

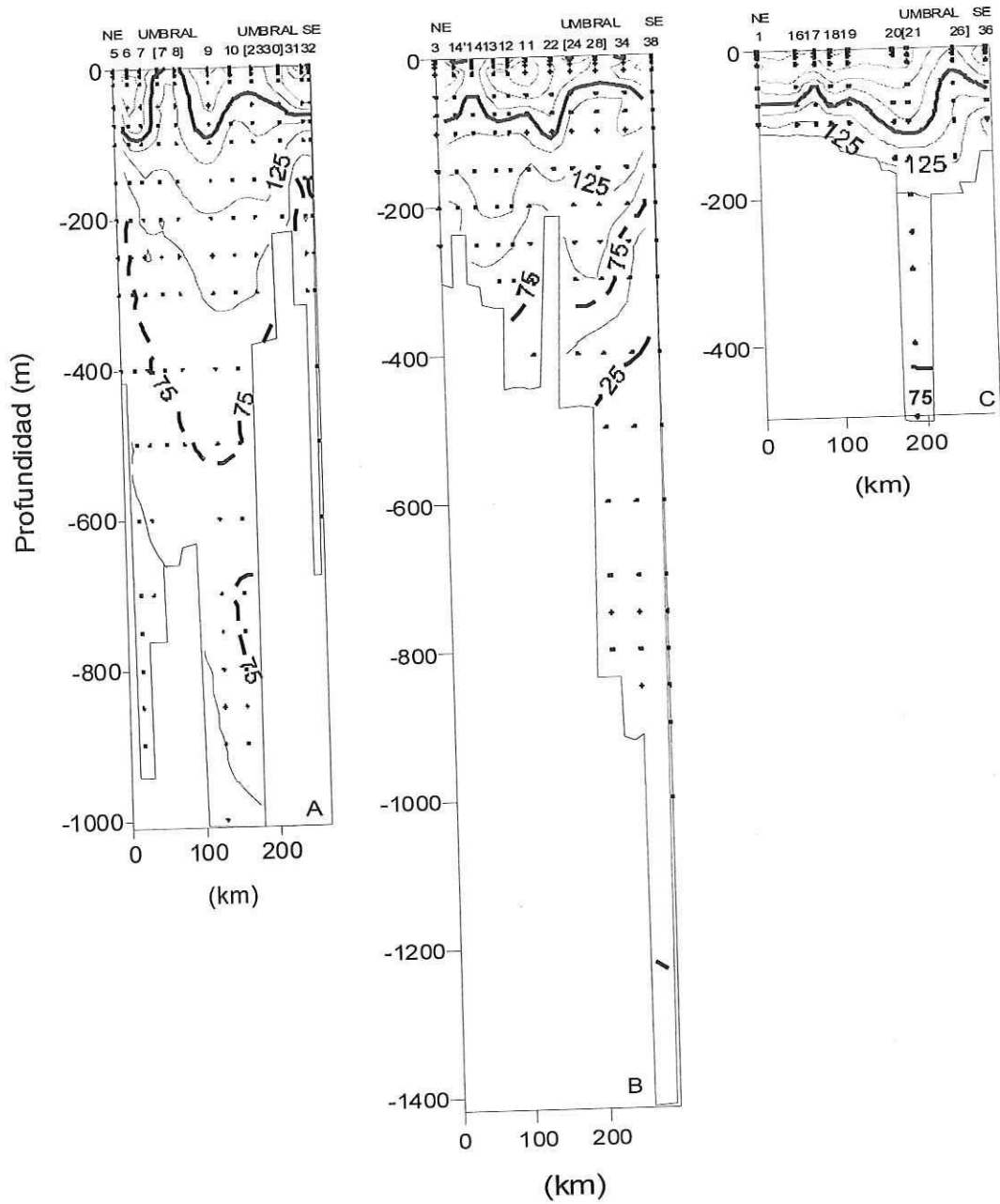


Figura 18. Transectos de O_2 localizados de noreste a sureste de la RI. Las isolíneas marcadas son: 175 (—), 75 (---) y 25 (—) $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Las estaciones se muestran arriba de cada perfil.

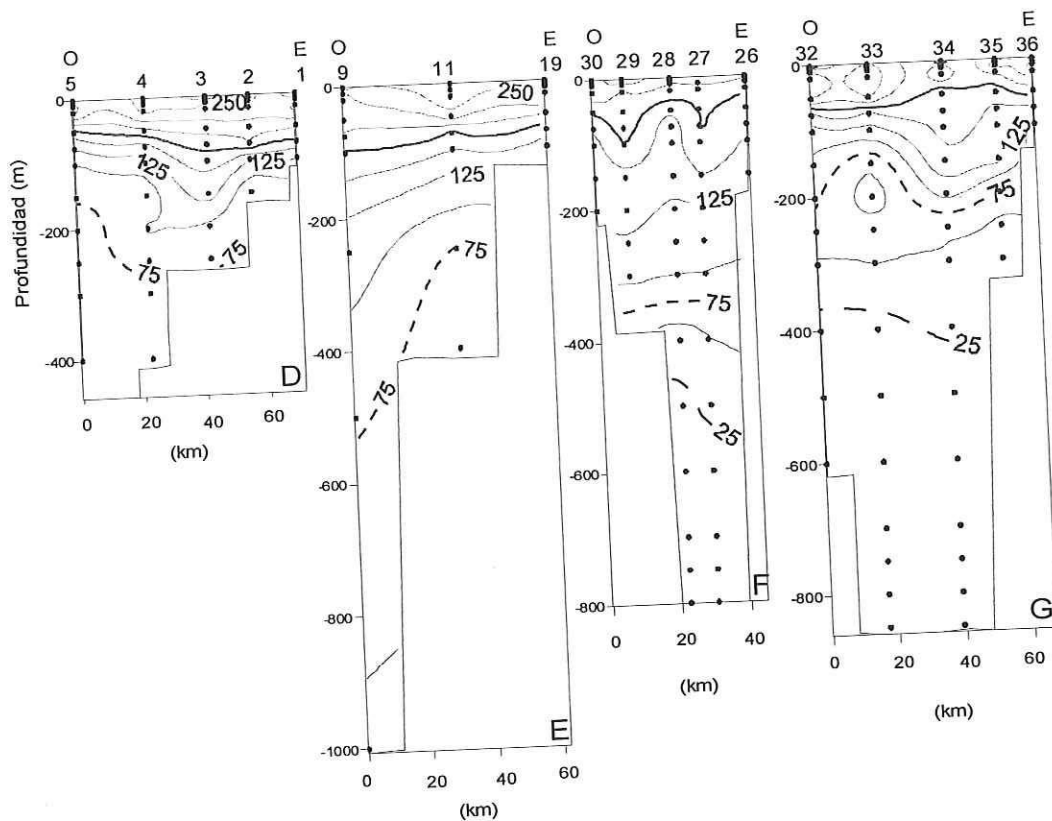


Figura 18 (continuación). Transectos de O_2 localizados de oeste a este de la RI.

En el transecto G, la isolínea de $175 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 50 m de profundidad aproximadamente. La isolínea de $75 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 200 m debajo de las estaciones 32, 34, 35 y 36, mientras que ascendió a 150 m debajo de la estación 33. La isolínea de $25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ se encontró a 400 m de profundidad en promedio debajo de las estaciones 32, 33 y 34 (Fig. 18).

Para realizar una comparación de las características de las variables del sistema del CO_2 y O_2 del sur de la RI (estación 38) y del Canal de Ballenas (estaciones 8, 9 y 10) y la cuenca Delfín (estación 7) (Fig. 19). Las variables del sistema del CO_2 y O_2 entre 800 y 1000 m de profundidad de las estaciones 7, 8, 9 y 10 presentaron menos Ct ($\sim 100 \mu\text{mol kg}^{-1}$) y At-nor ($\sim 30 \mu\text{mol kg}^{-1}$) y mayor pH (~ 0.2) y O_2 ($\sim 25 \mu\text{mol kg}^{-1}$) respecto a agua a esta profundidad de la estación 38. El ASsSt en la estación 38 se encontró entre 250 y 400 m de profundidad, mientras que en las estaciones 8, 9 y 10 se encontró entre 250 y 1000 m de profundidad. El ASsSt de la estación 7 se encontró entre 500 y 700 m de profundidad.

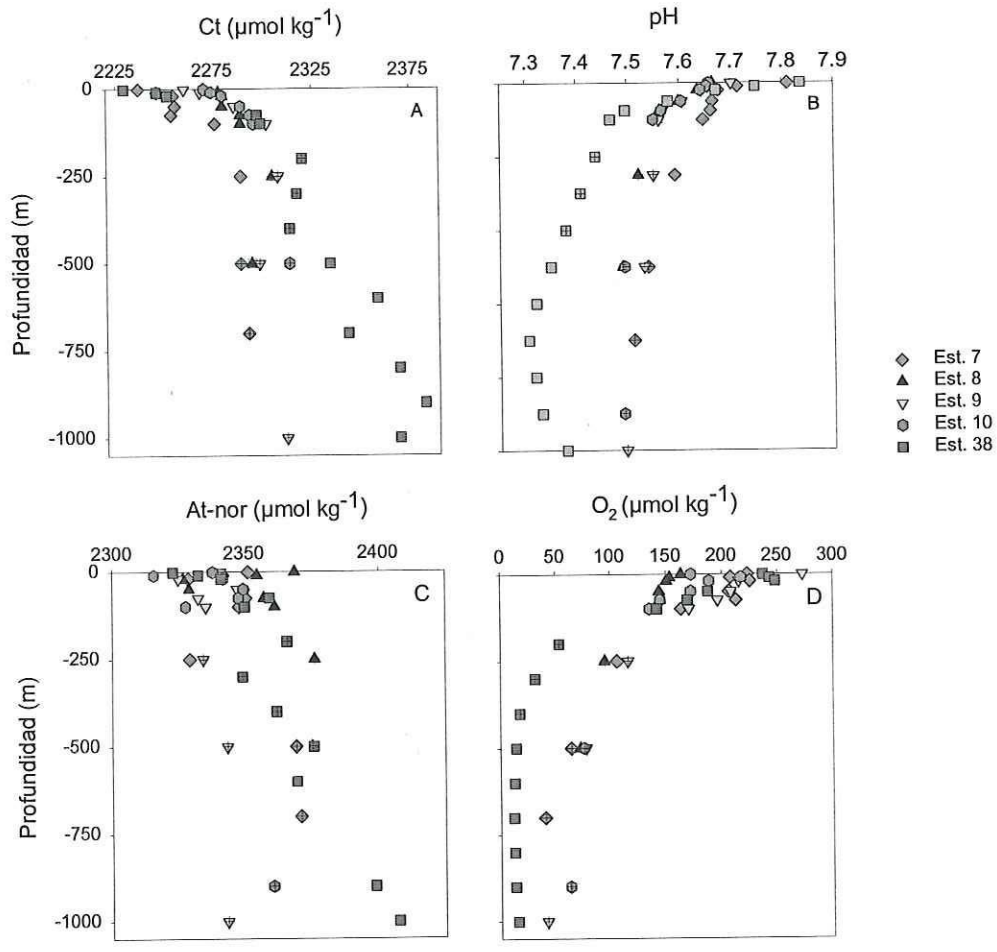


Figura 19. Perfiles de Ct (A), pH (B), At-nor (C) y O₂ (D). El símbolo + corresponde al ASSt.

5.3. AGC

En esta parte se describe primero como fue subdividido el AGC y posteriormente se mostrarán las características químicas las zonas identificadas.

5.3.1. Diagrama T-S

En la figura 20 se observó claramente una dispersión de los datos a partir de una misma fuente. El diagrama T-S mostró una ramificación donde agua con baja temperatura y salinidad y más densa (encontrada en la parte posterior izquierda) se encontró incrementando su salinidad y temperatura a 2 distintas proporciones. Existe una ramificación que incrementó más su temperatura que su salinidad (flecha con líneas punteadas) mientras que existe otra ramificación la cual aumentó más su salinidad que su temperatura (flecha con líneas segmentadas).

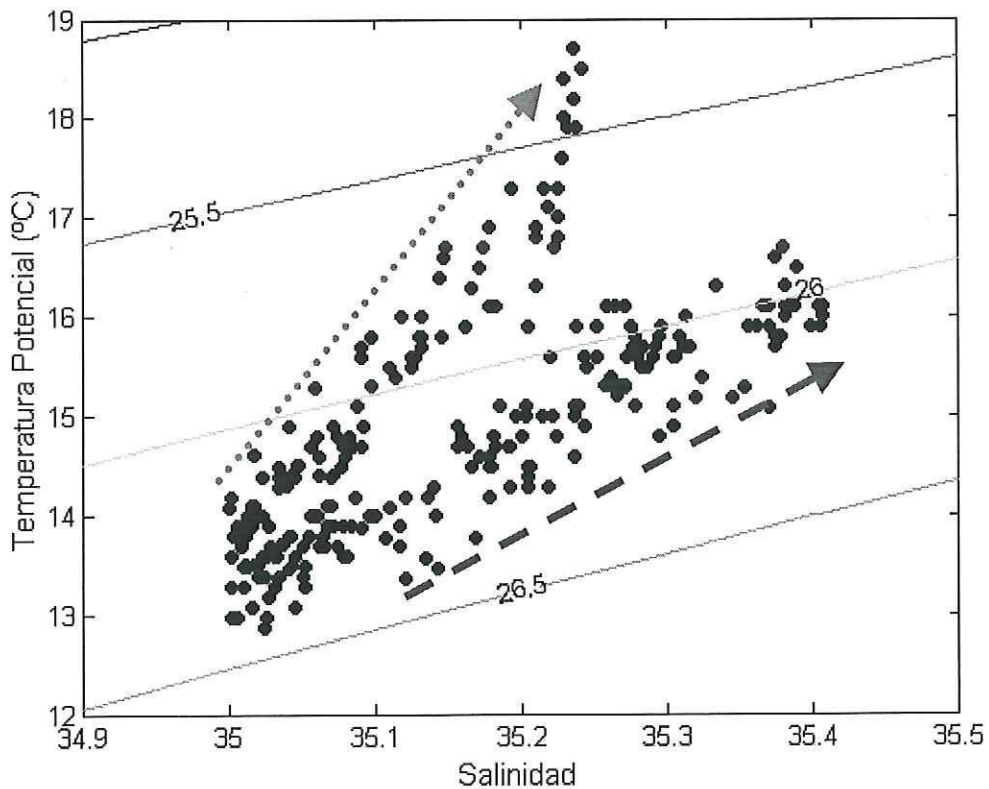


Figura 20. Diagrama T-S del Agua del Golfo de California (AGC).

5.3.2. Perfiles someros de temperatura, salinidad y densidad.

Al graficar los perfiles de temperatura potencial, salinidad y densidad potencial para los primeros 100 m, se encontró la presencia de zonas hidrológicamente distintas: zonas con perfiles muy bien mezclados, zonas de mayor estratificación y zonas intermedias (Fig. 21). Una clasificación similar fue hecha para una región de la Antártica utilizando igualmente el criterio del T-S para separar por zonas aguas de dicha región (Holm-Hansen *et al*, 1997). En la figura se puede observar que en los perfiles los la temperatura y densidad potencial se homogenizan a los entre 100-125 m de profundidad.

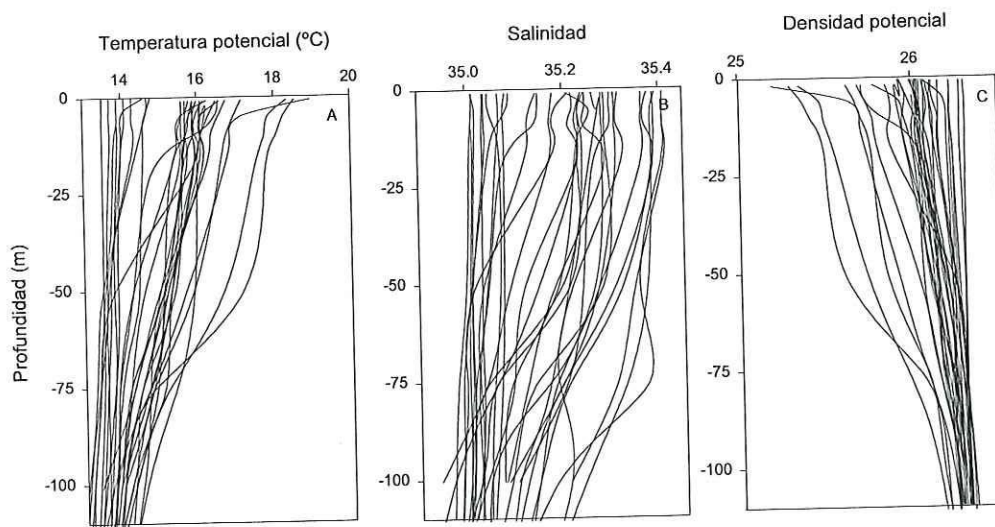


Figura 21. Perfiles de temperatura potencial (A), salinidad (B) y densidad potencial (C).

5.3.3. Parámetro de estratificación (ϕ), temperatura y salinidad superficial.

De esta manera, el parámetro de estratificación (ϕ), se empleó como factor para determinar las características de las zonas determinadas. Con base a los valores de ϕ se delimitó a la zona 1 como una zona intermedia con valores de mayores a 17 J m^{-3} pero menores a 29 J m^{-3} . La zona 2 con valores iguales y menores a 17 J m^{-3} como la zona más mezclada. La zona 3 con valores de ϕ mayores a 30 J m^{-3} . Al graficar ϕ con temperatura y salinidad superficial, la zona 1, presentó valores de temperaturas intermedias ($16 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.3$) y salinidad alta (35.31 ± 0.07). La zona 2 presentó temperaturas bajas ($14.3 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.4$) y salinidad baja (35.05 ± 0.03). La zona 3 tuvo temperaturas altas ($17.5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.1$) y salinidad baja (35.2 ± 0.04) (Fig. 22). Se pudo observar que la estratificación estuvo más asociada con la temperatura que con la salinidad.

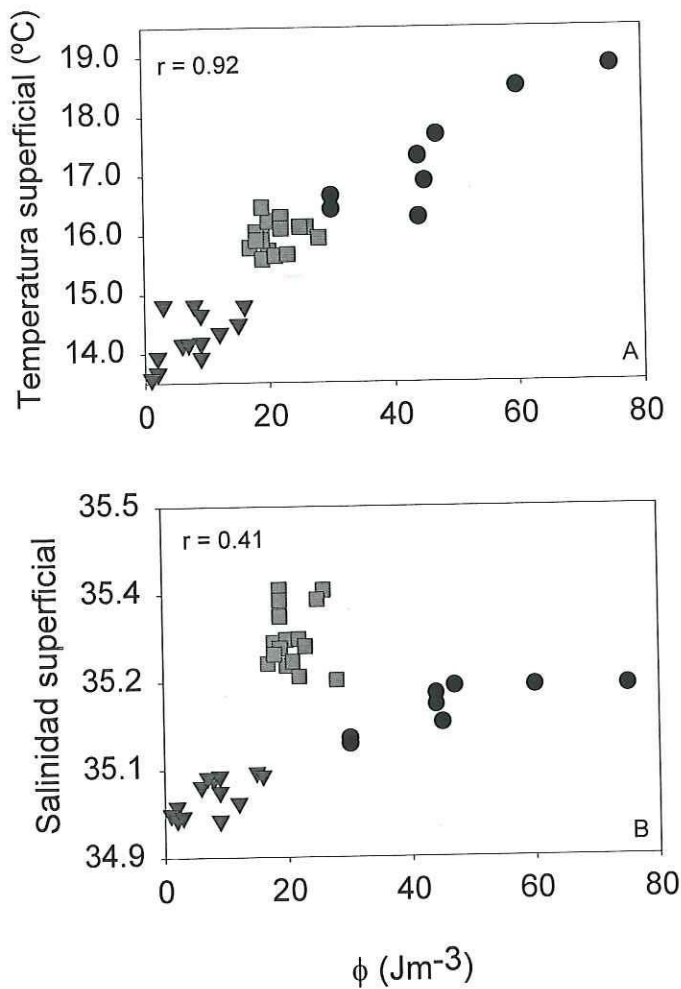


Figura 22. Temperatura (A) y salinidad (B) superficial contra ϕ de todas las estaciones. Zona 1 (\square), 2 (\blacktriangledown) y 3 (\bullet).

La ubicación geográfica de las zonas se muestra en la figura 23, cabe mencionar que algunas estaciones no serán graficadas posteriormente debido a que fueron estaciones de transición. La zona 1 se encontró al norte de la RI y al este de la isla Angel de la Guarda. Las estaciones que comprendieron esta zona incluye las estaciones 1, 2, 3, 4, 6, 11, 13, 15, 15', 16, 17, 18, 19 y 20 (Fig. 23). La zona 2 se encontró al oeste de la Isla Angel de la Guarda (Canal de Ballenas) y al sur de las islas San Esteban, San Lorenzo y Tiburón. Las estaciones incluidas en esta zona fueron: 7', 8, 9, 10, 14, 23, 25, 27, 28 y 29 (Fig. 23). La zona 3 se localizó al sureste de la RI, comprendiendo las estaciones 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 y 38 (Fig. 23).

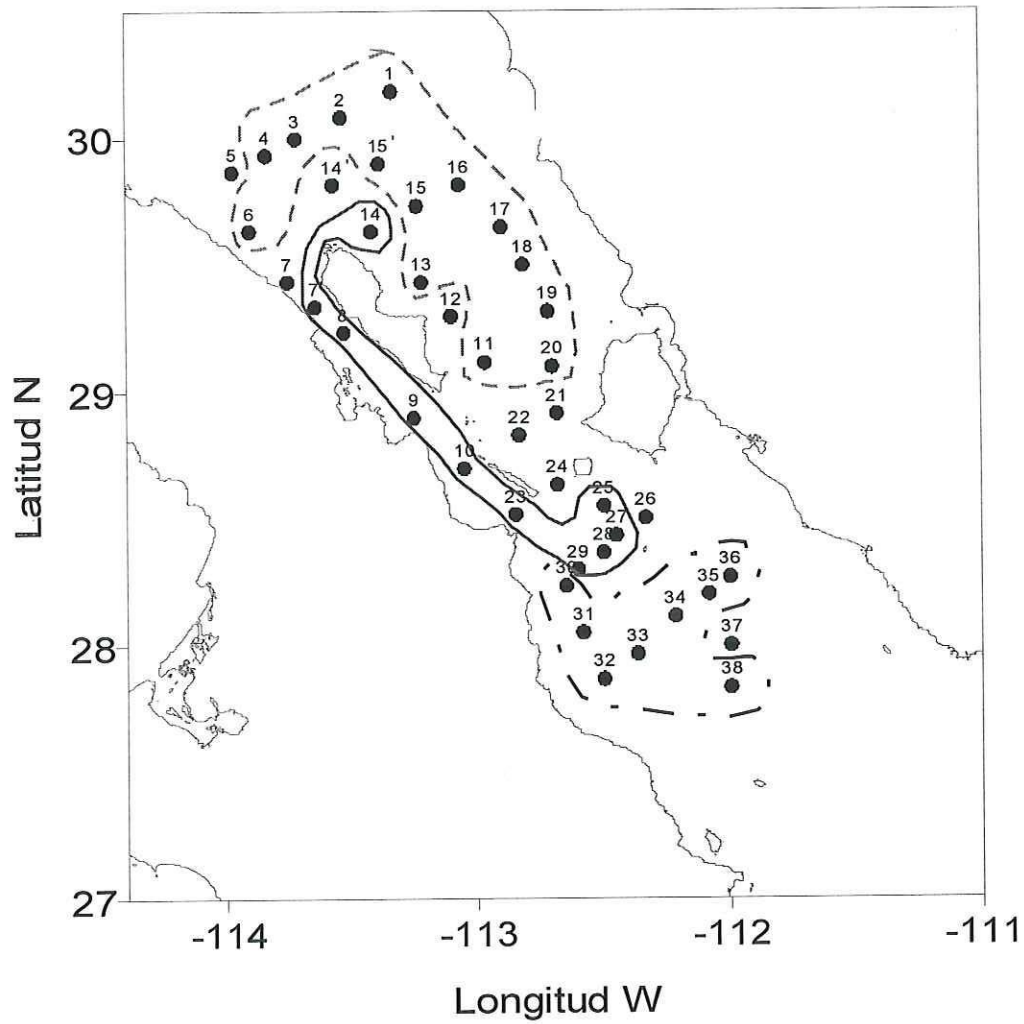


Figura 23. Distribución superficial de las subdivisiones de la AGC en la RI. Zona 1 (- - - -), 2 (—) y 3 (— - - -).

5.3.4. Características superficiales de las variables del CO₂ de AGC

Los valores superficiales de pCO₂ y Ct en el AGC estuvieron por arriba del valor en equilibrio, mientras que el pH estuvo por debajo (Fig. 24). El Ct mostró la mayor correlación con ϕ .

El Ct superficial de la zona 2 presentó el promedio más alto de Ct, con una diferencia de ~33 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a la zona 1 y ~63 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ de la zona 3 (Tabla VI). El Ct de la zona 3 presentó la mayor desviación estándar mientras que el Ct de la zona 2 la menor (Tabla VI).

Igualmente en la zona 2 se midió el valor más bajo de pH, con una diferencia de 0.147 respecto al pH de la zona 1 y 0.15 de la zona 3 (Tabla VI). El pH de la zona 3 presentó la mayor desviación estándar (Tabla VI).

La At-nor de la zona 1 presentó la mayor concentración promedio con una diferencia de 10 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a la zona 2 y de ~27 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a la zona 3. El At-nor de la zona 2 presentó la mayor desviación estándar (Tabla VI).

En promedio la pCO₂ de la zona 2 presentó la mayor concentración, con una diferencia de ~294 μatm respecto a la zona 1 y de ~251 μatm respecto a la zona 3. La pCO₂ de la zona 3 presentó la mayor desviación estándar (Tabla VI). El valor promedio de pCO₂ de la zona 2 estuvo más cercano al determinado para el ASsSt (Tabla VI).

5.3.4.1. Distribución espacial de las variables del CO₂

Se observó que el Ct alto, pH bajo y pCO₂ alto son indicadores de las zonas de mayor mezcla (Fig. 25 A, B y D). Esta zona se localizó en las mismas regiones en las que se encontró las temperaturas más bajas, como lo fue el Canal de Ballenas y al sur de las islas San Esteban, San Lorenzo y Tiburón. La distribución de la At-nor muestra que las más altas concentraciones de esta variable se localizaron al norte de la RI (Fig. 25 C).

Tabla VI. Promedios de las variables del sistema del CO₂ superficiales de cada zona. El valor promedio de la pCO₂ del ASsSt fue de $1291.5 \pm 194.7 \mu\text{atm}$.

Zona	Ct $\mu\text{mol kg}^{-1}$	pH	At-nor $\mu\text{mol kg}^{-1}$	pCO ₂ μatm
1	2233.2 \pm 15.5	7.815 \pm 0.026	2352.0 \pm 12.3	746.5 \pm 106.5
2	2266.6 \pm 8.7	7.674 \pm 0.020	2342.0 \pm 12.5	1040.2 \pm 110.0
3	2203.8 \pm 32.5	7.845 \pm 0.102	2325.5 \pm 7.7	789.5 \pm 158.9

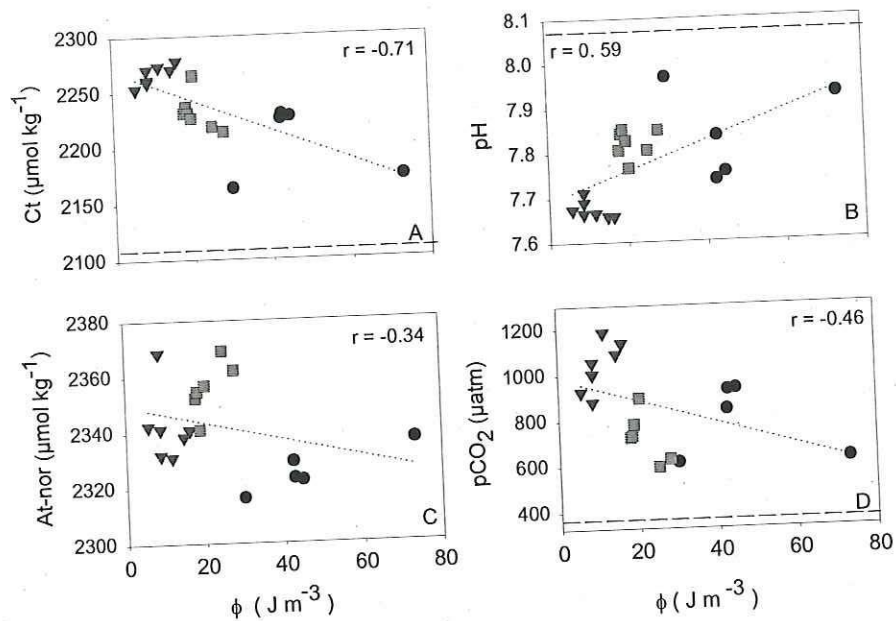


Figura 24. Distribución de variables de las variables del sistema del CO₂ superficiales contra ϕ . Zona 1 (■), 2 (▼) y 3 (●). Ct (A), pH (B), At-nor (C) y pCO₂ (D). La línea horizontal (----) corresponde al valor promedio en equilibrio (pH = 8.085; Ct = 2089.6 $\mu\text{mol kg}^{-1}$; pCO₂ = 365 μatm).

5.3.5. Características químicas de las subdivisiones del AGC

5.3.5.1. Variables del sistema del CO₂ del AGC

En general las variables Ct, pH y O₂ mostraron estar correlacionadas con las variables físicas con la excepción de la At-nor (Fig. 26). Además, esta figura muestra las características químicas y físicas de cada una de las distintas zonas y su asociación por zonas.

En promedio el agua correspondiente a la zona 2 presentó el valor más alto de Ct, con una diferencia de $\sim 19 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a la zona 1 y 3 (Tabla VII). El Ct de la zona 1 presentó correlación con la temperatura y la densidad potencial, el Ct de la zona 3 presentó correlación con las tres variables físicas (Tabla VIII).

El pH de la zona 3 presentó la mayor concentración con una diferencia de 0.001 respecto a la zona 1 y de 0.109 respecto a la zona 2. El pH de la zona 3 presentó la mayor desviación estandar (Tabla VII). El pH de la zona 1 presentó correlación con la temperatura y la densidad potencial, mientras que la zona 3 con las tres variables físicas (Tabla VIII).

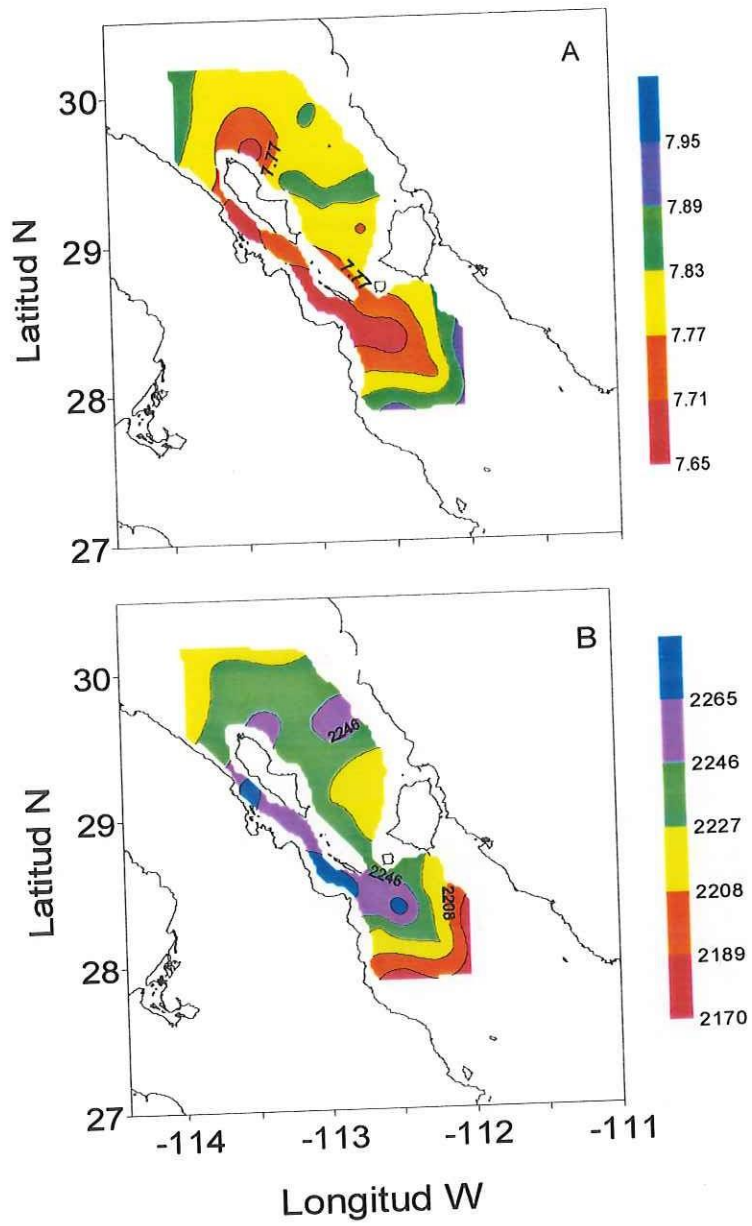


Figura 25. Distribución superficial de variables del sistema del CO₂, pH (A) y Ct (B).

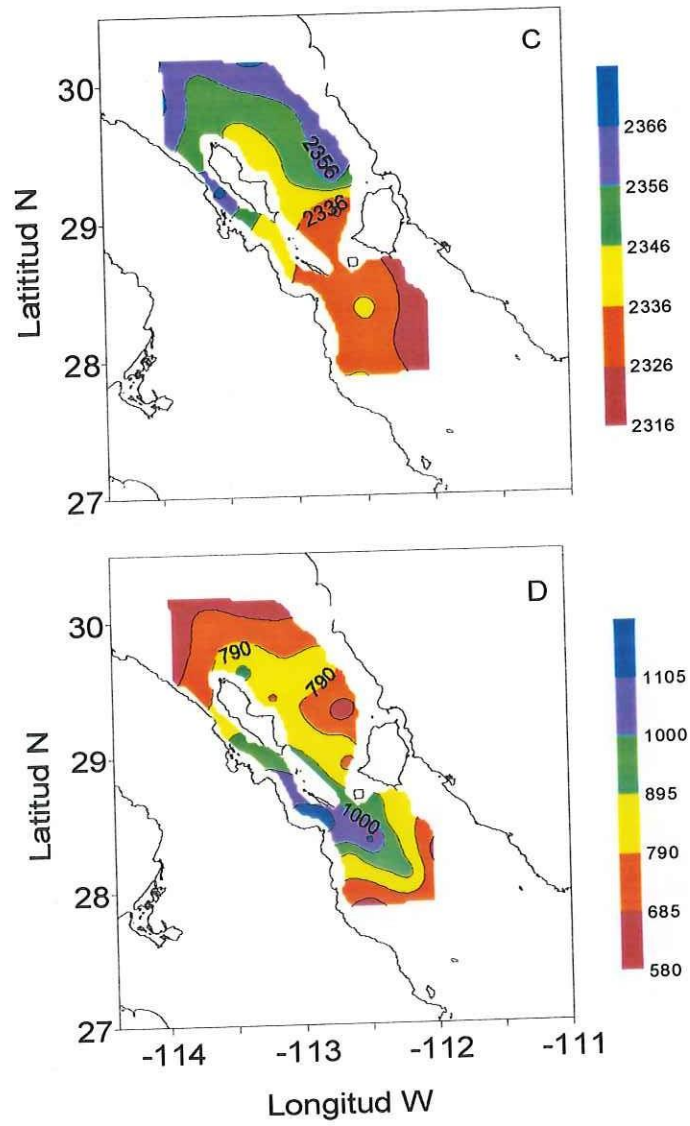


Figura 25. (Continuación) Distribución superficial de variables del sistema del CO₂. At-nor (C) y pCO₂ (D).

El At-nor de la zona 1 presentó la mayor concentración, con una diferencia de $2 \mu\text{mol kg}^{-1}$ de la zona 2 y de $5.3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ de la zona 3 (Tabla VI). La mayor desviación estandar de At-nor la presentó la zona 3 (Tabla VII). La At-nor no se encontró correlacionado con ninguna de las variables físicas (Tabla VIII).

El O_2 de la zona 1 presentó la mayor concentración, con una diferencia de $\sim 43 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a la zona 2 y de $\sim 3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a la zona 3. El O_2 de la zona 2 presentó la mayor desviación estandar (Tabla VII). El O_2 de las tres zonas estuvo correlacionadas con las tres variables físicas excepto el O_2 de la zona 1 con la salinidad (Tabla VIII).

5.3.5.2. UAO

Se realizaron perfiles de UAO de cada una de las distintas zonas. A profundidades menores de 50 m, los datos promedio correspondientes a la zona 1, 2 y 3 fueron 5 ± 32 , 62 ± 27 y $13 \pm 37 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respectivamente (Fig. 27). Entre los 75 y 100 m los datos promedio para las zonas 1, 2 y 3 fueron 98 ± 32 , 94 ± 19 y $108 \pm 15 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respectivamente. Como se observó en la superficie la zona 2 presentó mayores valores de UAO, mientras que en el fondo las tres zonas fueron similares sin embargo, la zona 3 presentó ligeramente un valor mayor (Fig. 27).

Tabla VII. Promedios en los primeros 50 m de profundidad de las variables del sistema del CO_2 y O_2 correspondientes a cada subdivisión de AGC.

Zona	Ct $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{m}^{-3}$	pH	At-nor $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{m}^{-3}$	O_2 $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{m}^{-3}$
1	2263.3 ± 14.1	7.735 ± 0.073	2342.9 ± 3.7	227.3 ± 19.1
2	2282.6 ± 8.1	7.627 ± 0.042	2340.8 ± 6.2	184.2 ± 38.5
3	2263.8 ± 14.0	7.736 ± 0.115	2337.6 ± 11.5	224.2 ± 35.8

Tabla VIII. Coeficientes de correlación de variables fisico-químicas de las subdivisiones de AGC.

		Ct	pH	At-nor	O_2
Salinidad	1	-0.60	0.62	0.18	0.68
	2	-0.22	0.53	0.13	0.78
	3	-0.77	0.81	0.60	0.87
Temperatura	1	-0.74	0.78	0.27	0.88
	2	-0.30	0.45	0.22	0.94
	3	-0.80	0.87	0.61	0.83
Densidad	1	0.79	-0.80	-0.29	-0.90
	2	0.31	-0.42	-0.24	-0.93
	3	0.79	-0.87	-0.59	-0.80

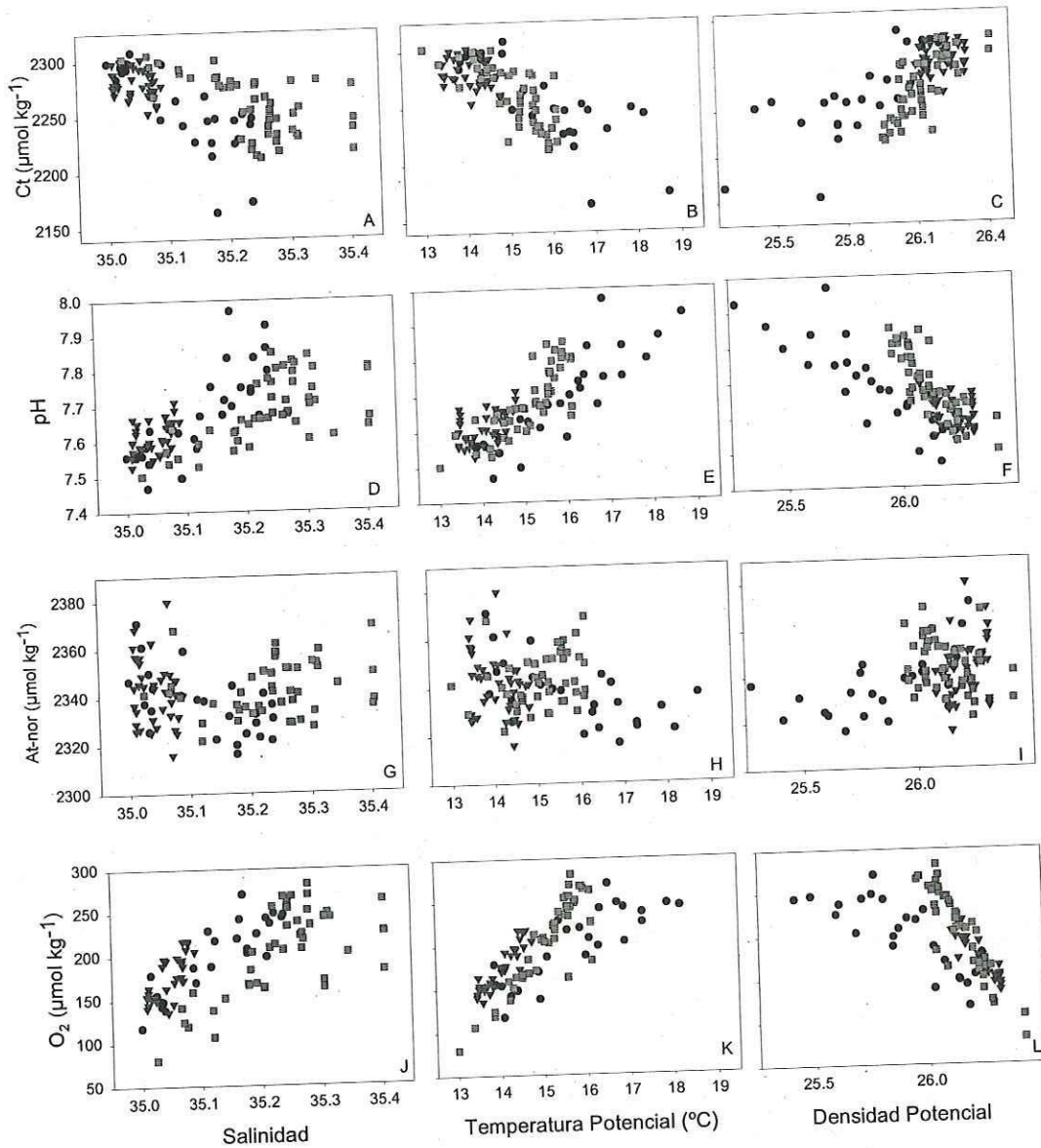


Figura 26. Relación entre las variables del sistema del CO₂ y O₂. Zona 1 (■), 2 (▼) y 3 (●) contra salinidad (A, D, G, J), temperatura (B, E, H, K) y densidad potencial (C, F, I, L) respectivamente.

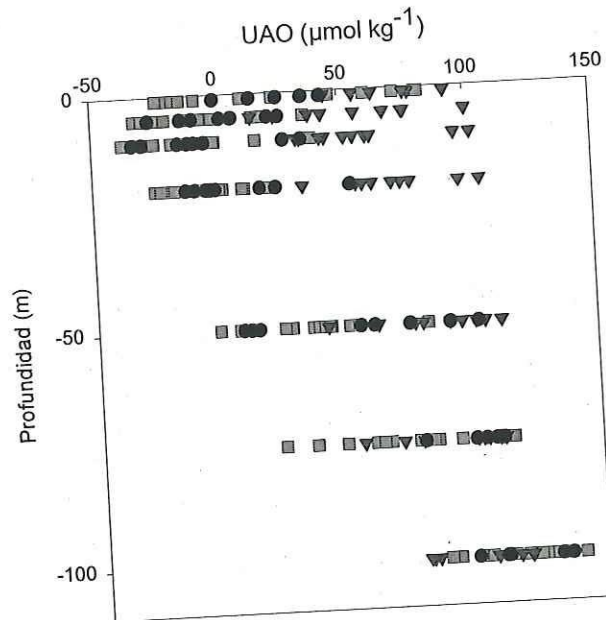


Figura 27. Distribución de la UAO contra profundidad. Zona 1 (■), 2 (▼) y 3 (●).

5.3.5.3. Diagramas de mezcla

En la figura 28, se graficó salinidad vs pH y Ct con la idea de evaluar que tanto los cambios de Ct eran debidos a procesos físicos y/o biológicos. Por arriba de la línea de mezcla para el pH, los datos corresponden a procesos de fotosíntesis, mientras que debajo los datos corresponden a procesos de respiración, caso contrario el Ct. La división entre datos superficiales (1, 10, 20 y 50 m) y de fondo (75, 100 m) fue para comprender mejor a que profundidad se llevan a cabo los procesos. Los datos de fondo en las tres zonas mostraron estar afectados a procesos de respiración.

En las gráficas se puede observar que la zona 3 se encontró una clara división entre los datos de superficie y de fondo. Los datos superficiales indican que la zona 3 presentó procesos de fotosíntesis. El comportamiento para la zona 1 fue distinto, ya que se observan datos superficiales afectados por procesos de respiración y fotosíntesis. Los datos superficiales y de fondo de la zona 1 siguieron la línea de mezcla. Los datos superficiales de la zona 2 estuvieron afectados ligeramente por fotosíntesis, sin embargo debido a su cercanía a la línea de mezcla el proceso predominante para la zona 2 fue la mezcla.

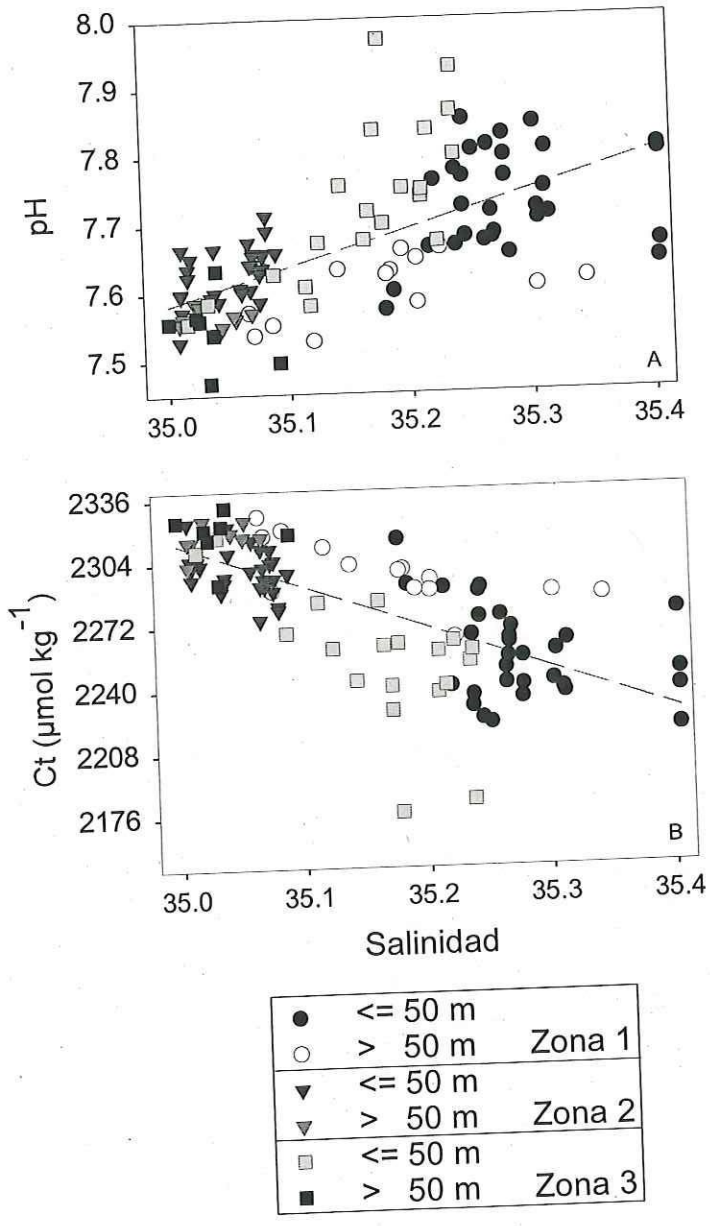


Figura 28. pH (A) y Ct (B) contra salinidad en la que se incluyen datos de superficie (<=50 m) y de fondo (> 50 m) de las tres zonas. La línea punteada (-----) corresponde a la línea de mezcla.

5.4. ASsSt

5.4.1. Diagrama T-S y localización de las subdivisiones del ASsSt.

En la figura 9 b y b1 se puede apreciar la dimensión y localización del ASsSt. Pero al igual que para AGC en el diagrama T-S se observó que en ASsSt había grupos de datos con características similares (Fig. 29). Por ello también se utilizó el mismo criterio usado por Holme-Hansen *et al.*, (1997) para separar los grupos presentes. Los resultados de este análisis separaron un grupo de datos que correspondieron a las estaciones del norte y otro grupo que correspondió a estaciones del sur. Las estaciones de la zona Sur presentó salinidades más bajas con un promedio de 34.82 ± 0.10 y con temperaturas más frías con un promedio de $11.9 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.2$, mientras que el agua de la zona Norte, fue más salina y cálida con valores promedio de 34.91 ± 0.07 y $12.4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.8$ respectivamente (Fig. 29).

La zona Norte abarcó desde el sur de las islas hasta el noroeste de la RI, cargado hacia el lado de la península de Baja California y rodeando la isla Angel de la Guarda. Esta zona comprendió las estaciones 4-14, 21-30. La zona Sur se localizó al sureste de la RI y comprendió las estaciones 31-38 (Fig. 30).

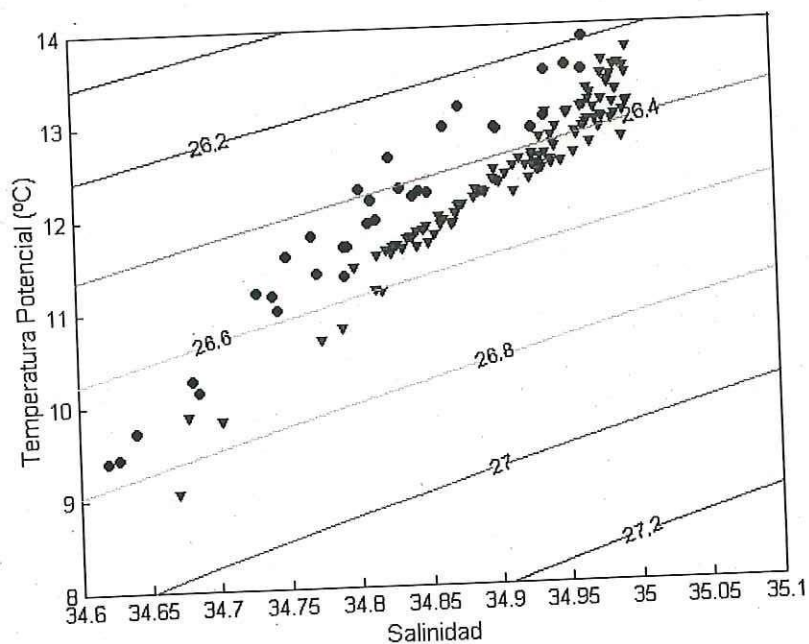


Figura 29. Diagrama T-S correspondiente al ASsSt; Zona Norte (▼) y Sur (●).

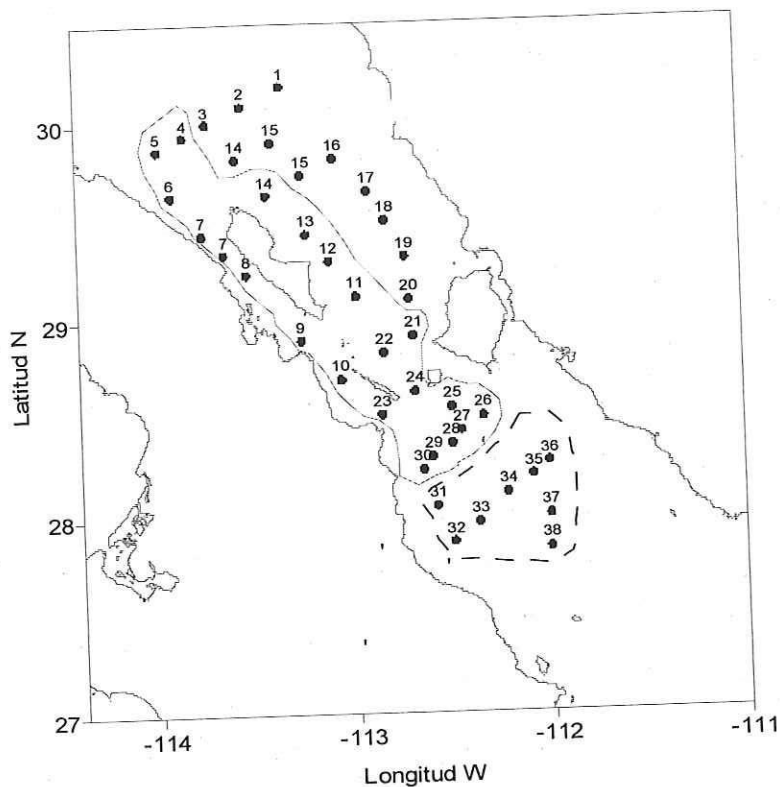


Figura 30. Localización de las subdivisiones de ASsSt. Zona Norte (—) y Sur (---).

5.4.2. Características químicas del ASsSt

5.4.2.1 Variables del sistema del CO₂ y O₂

El Ct del agua de la zona Sur en promedio fue mayor que el Ct de la zona Norte, con una diferencia de $\sim 15 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (Tabla IX). El Ct de la zona Norte presentó mayor desviación estandar (Tabla IX). El Ct de ambas zonas no presentó correlación con las variables físicas (Tabla X).

El pH de la zona Norte fue mayor en promedio que el pH de la zona Sur, con una diferencia de 0.058 (Tabla X). El pH de la zona Sur presentó mayor desviación estandar (Tabla IX). El pH de ambas zonas presentaron correlación con las 3 variables físicas (Tabla XI).

La At promedio de la zona Norte fue mayor, con una diferencia de $4.3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (Tabla IX). La desviación estándar fue mayor para el At de la zona Norte (Tabla IX). La At no estuvo correlacionada con las variables físicas (Tabla X).

El O₂ de la zona Norte fue mayor en promedio, con una diferencia respecto al O₂ de la zona Sur de $\sim 34 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (Tabla IX). El O₂ de la zona Norte presentó una mayor desviación estándar (Tabla IX). El O₂ de ambas zonas presentaron correlación con las 3 variables físicas (Tabla X).

Tabla IX. Promedio de las variables del sistema del CO₂ y O₂ correspondientes a cada zona del ASsSt.

Zona	Ct μmol kg ⁻¹	pH	At μmol kg ⁻¹	O ₂ μmol kg ⁻¹
N	2301.5 ± 10.3	7.523 ± 0.034	2349.4 ± 13.6	90.9 ± 32.5
S	2316.1 ± 6.6	7.465 ± 0.059	2343.6 ± 9.1	57.1 ± 30.4

N = Norte; S = Sur

Tabla X. Coeficientes de correlación de variables químicas respecto a las variables físicas del ASsSt.

		Ct	pH	At	O ₂
Salinidad	N	-0.40	0.72	0.13	0.79
	S	-0.06	0.94	0.69	0.96
Temperatura	N	-0.42	0.72	0.10	0.82
	S	0.00	0.90	0.66	0.91
Densidad	N	0.41	-0.71	-0.03	-0.81
	S	0.50	-0.77	-0.62	-0.85

N = Norte; S = Sur

5.3.2.2. Ω de calcita y aragonita

En la figura 32 se observa que el ASsSt en general esta sobresaturada de calcita y de aragonita. Sin embargo entre 250 y 500 se observa instauración de aragonita con algunos valores correspondientes a la zona Sur y Norte. Los promedio de Ω de calcita y aragonita fueron: 1.4 ± 0.2 y 1.2 ± 0.1 para el Norte y 0.9 ± 0.1 y 0.8 ± 0.1 para el Sur, respectivamente.

5.3.2.3. UAO

En la figura 33 se puede observar que la UAO de cada zona tienen una distribución distinta. La UAO de la zona Sur presentó en promedio valores mayores de $204 \pm 39 \mu\text{mol kg}^{-1}$ mientras que la UAO de la zona Norte tuvo un valor promedio de $165 \pm 39 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Se observó que los valores de UAO correspondientes a la zona Norte entre los 500 y 1000 m se encontraron alrededor de $200 \mu\text{mol kg}^{-1}$ aproximadamente.

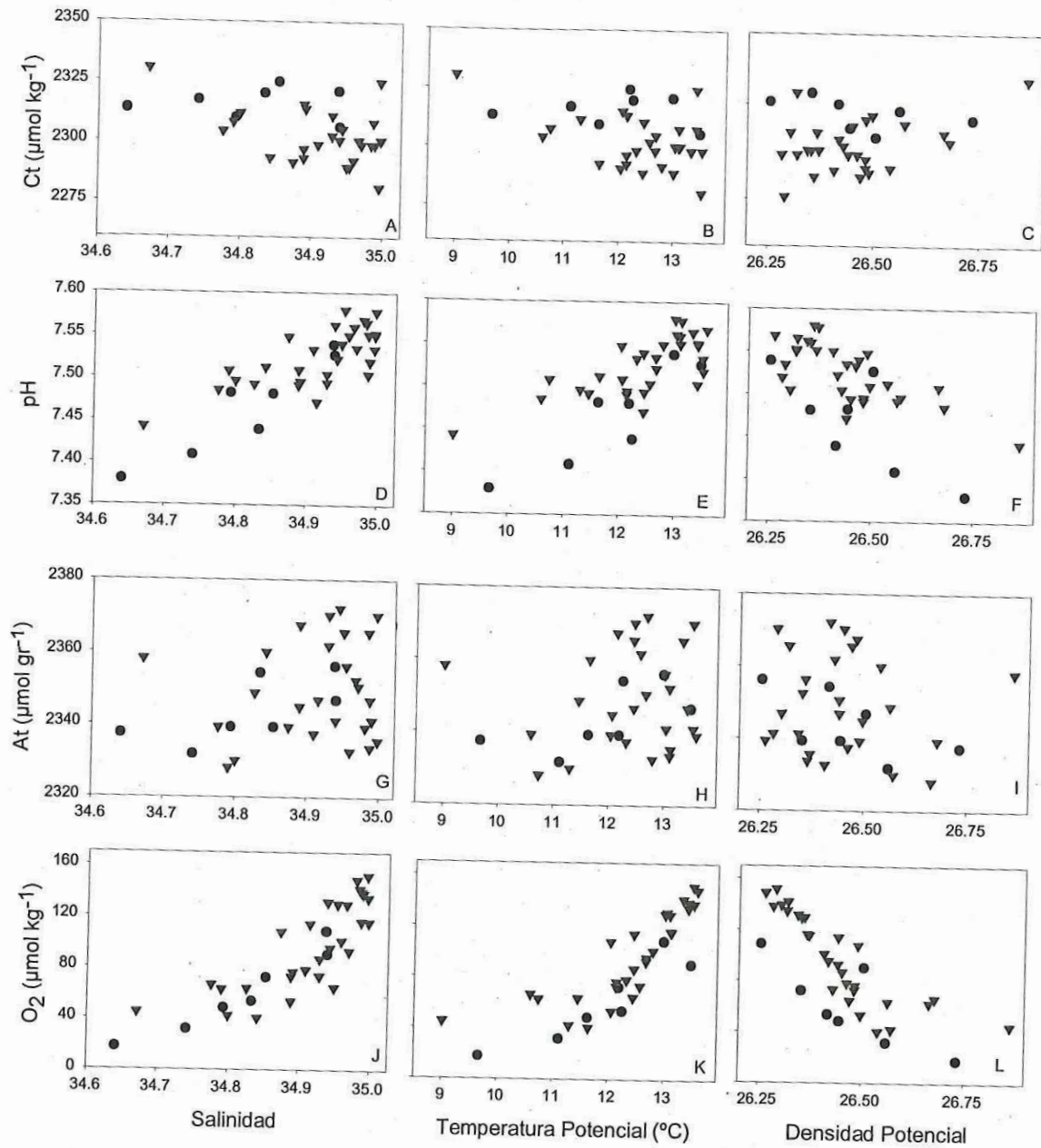


Figura 31. Relación de las variables del sistema del CO₂ y O₂. Zona Norte (▼) y Sur (●) contra salinidad (A, D, G, J), temperatura (B, E, H, K) y densidad potencial (C, F, I, L) respectivamente.

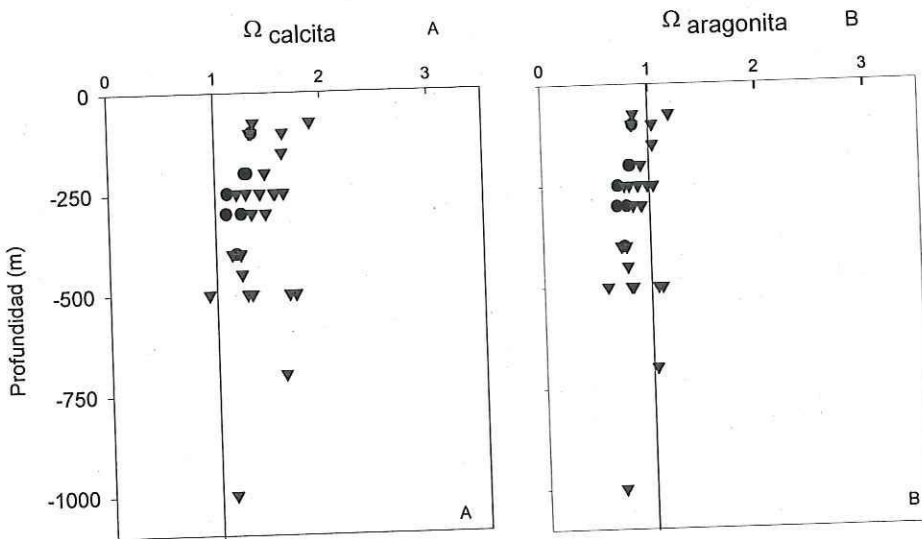


Figura 32. Ω de calcita (A) y aragonita (B) contra profundidad Zona Norte (∇) y Sur (\bullet).

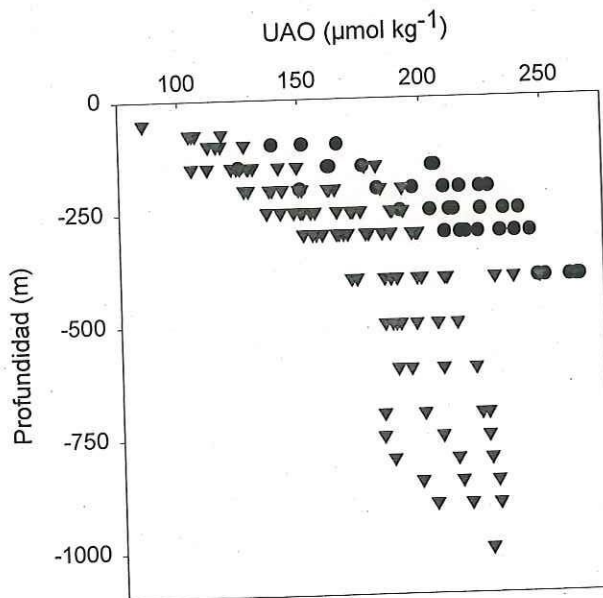


Figura 33. Distribución de la UAO contra profundidad de todas las estaciones. Zona Norte (∇) y Sur (\bullet).

5.5. Comparación temporal entre los cruceros Megamarco I, II y UI en la RI.

Con la finalidad de realizar una comparación temporal, se seleccionaron estaciones del crucero UI que correspondieran aproximadamente con las estaciones que se encuentran en los cruceros MI y MII realizados en la RI.

5.5.1. Diagrama T-S

Las características T-S promedio del AGC, ASsSt y AIP del MI fueron $25.3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4.3$ y 35.36 ± 0.22 , $12.8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.2$ y 34.877 ± 0.07 y $6.1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.6$ y 34.55 ± 0.03 respectivamente. Las características T-S promedio del AGC, ASsSt y AIP del MII fueron $15.9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.6$ y 35.2 ± 0.14 , $12.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.7$ y 34.9 ± 0.12 y $6.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.04$ y 34.55 ± 0.01 respectivamente. Las características T-S promedio del AGC, ASsSt y AIP del UI fueron $14.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ y 35.11 ± 0.10 , $12.1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.3$ y 34.88 ± 0.11 y fue $6.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.3$ y 34.54 ± 0.03 respectivamente.

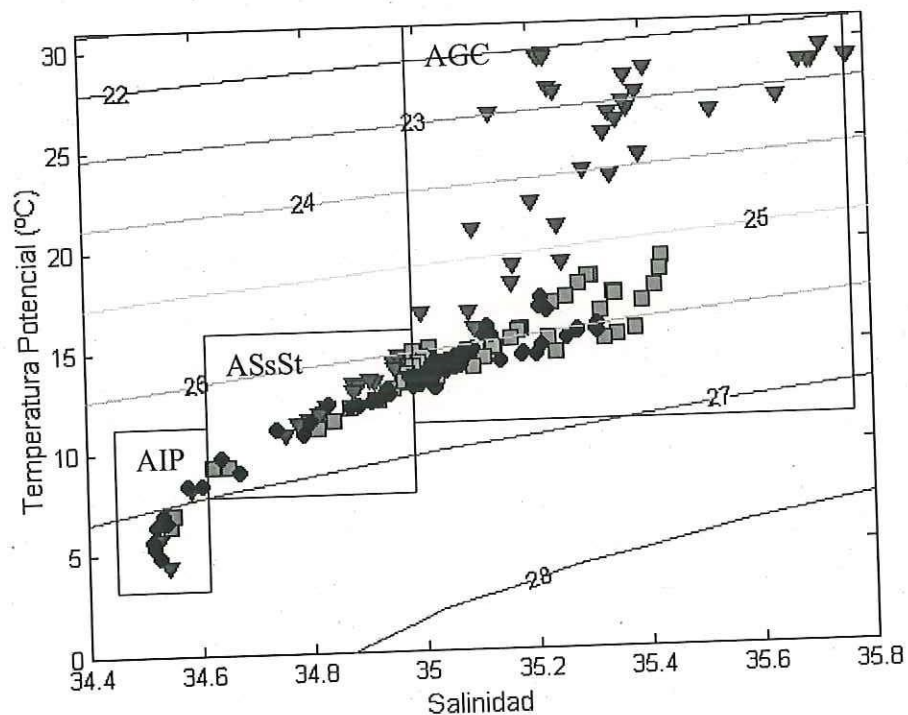


Figura 34. Diagrama T-S de los tres cruceros oceanográficos. UI (estaciones 3, 8, 9, 24, 28, 34, 38) (●), MI (estaciones 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 10) (▼) y MII (estaciones 2, 3, 6, 7, 8 y 10) (■).

5.5.2. Características químicas de las variables del sistema del CO₂ y O₂.

En los primeros 200 m la distribución del Ct y pH del MII y UI presentaron mayor similitud mientras que el Ct del MI presentó concentraciones menores y el pH del MI valores mayores (Fig. 35 A-B). La At-nor del MI fue ligeramente mayor respecto al At-nor de UI (Fig. 35 C). El O₂ de los primeros 200 m de profundidad de los tres muestreos tuvo un comportamiento disperso (Fig. 35 D).

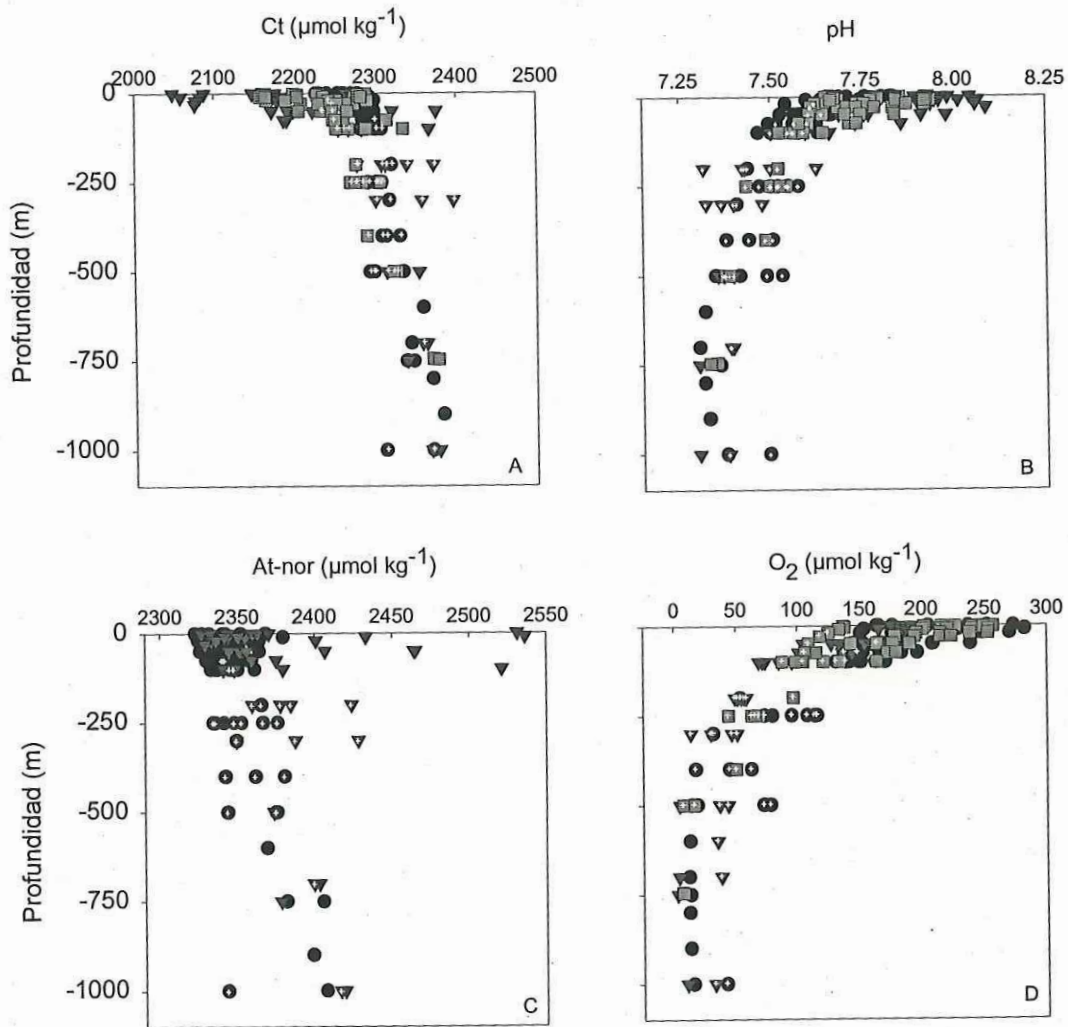


Figura 35. Perfiles de Ct (A), pH (B), At-nor (C) y O₂ (D). UI (●), MI (▼) y MII (■). El + indica el ASsSt.

Las variables del sistema del CO₂ y O₂ en el Canal de Ballenas (estaciones 4 y 5 del MI y estaciones 8 y 9 del UI) mostraron características distintas al sur de la RI (Figs. 18 y 35). Los perfiles de Ct y At-nor del MI no mostraron la modificación que presentó UI en las estaciones localizadas en el Canal de Ballenas. Sin embargo, el perfil de O₂ y ligeramente el de pH mostraron esta modificación, lo que sugiere que posiblemente estas condiciones también se presenten en verano en las variables del sistema del CO₂ (Fig. 35 B, D).

5.5.2.1. Relación de las variables físicas vs el sistema del CO₂ y O₂

El Ct del AGC del UI presentó la mayor concentración de los tres muestreos, con una diferencia de ~34 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al Ct del MII y de ~81 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al Ct del MI. El Ct del AGC del MI presentó la mayor desviación estándar. El Ct del ASsSt del MI presentó la mayor concentración de los tres muestreos, con una diferencia de ~65 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII y de ~31 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El Ct del ASsSt del MI presentó la mayor desviación estándar. El Ct del AIP del MII presentó la mayor concentración con una diferencia de ~15 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MI y

Tabla XI. Datos promedios de las variables del sistema del CO₂ y O₂ de cada masa de agua presente. M I (A), MII (B) y UI (C). Los datos de Ct promedio del MII fueron calculados a partir de pH-At constante. Para el AGC los valores de At corresponden a At-nor.

Masas agua	A			
	Ct $\mu\text{mol kg}^{-1}$	pH	At $\mu\text{mol kg}^{-1}$	O ₂ $\mu\text{mol kg}^{-1}$
AGC	2192.2 ± 85.2	7.872 ± 0.148	2381.9 ± 61.6	156.4 ± 42.0
ASsSt	2336.7 ± 36.7	7.417 ± 0.082	2388.7 ± 29.5	43.4 ± 12.2
AIP	2358.4 ± 16.4	7.342 ± 0.045	2362.7 ± 20.7	5.5 ± 3.3
B				
AGC	2238.7 ± 48.0	7.763 ± 0.107	2352.7 ± 9.7	196.9 ± 41.9
ASsSt	2271.3 ± 28.8	7.537 ± 0.082	2328.1 ± 15.2	84.4 ± 42.1
AIP	2373.8 ± 4.5	7.344 ± 0.013	2377.4 ± 21.9	7.1 ± 0.3
C				
AGC	2272.8 ± 21.4	7.639 ± 0.083	2343.9 ± 12.7	194.3 ± 47.1
ASsSt	2306.1 ± 10.3	7.501 ± 0.054	2344.6 ± 13.0	87.2 ± 39.5
AIP	2355.4 ± 17.6	7.350 ± 0.035	2361.7 ± 16.8	14.0 ± 2.1

de $\sim 18 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a UI. El Ct del AIP del UI presentó la mayor desviación estándar. El Ct del AGC del MI estuvo correlacionado con la temperatura y densidad potencial. El Ct del AGC y ASsSt del MII estuvieron correlacionadas con las tres variables físicas. El Ct del AGC y AIP estuvieron correlaciadas con salinidad y la temperatura potencial, y solamente el Ct del AIP con la densidad potencial (Tabla XI y XII, Fig. 36).

Tabla XII. Coeficientes de correlación de las masas de agua vs las variables físicas. MI (A), MII (B) y UI (C).

		A			
		Ct	pH	At-nor	O ₂
Salinidad	AGC	0.01	0.39	0.37	0.63
	ASsSt	0.62	0.72	0.46	0.69
	AIP	0.08	0.14	0.03	0.01
Temperatura	AGC	0.71	0.89	0.12	0.98
	ASsSt	0.64	0.68	0.78	0.65
	AIP	0.46	0.60	0.54	0.61
Densidad	AGC	0.76	0.92	0.17	0.97
	ASsSt	0.66	0.70	0.51	0.63
	AIP	0.54	0.67	0.61	0.71
Salinidad	AGC	0.82	0.81		0.70
	ASsSt	0.94	0.91		0.87
	AIP				
Temperatura	AGC	0.98	0.96		0.79
	ASsSt	0.93	0.96		0.87
	AIP				
Densidad	AGC	0.82	0.92		0.74
	ASsSt	0.94	0.86		0.84
	AIP				
Salinidad	AGC	0.71	0.70	0.07	0.74
	ASsSt	0.64	0.81	0.43	0.83
	AIP	0.73	0.74	0.48	0.79
Temperatura	AGC	0.76	0.68	0.19	0.80
	ASsSt	0.62	0.71	0.45	0.80
	AIP	0.80	0.36	0.73	0.43
Densidad	AGC	0.68	0.58	0.22	0.71
	ASsSt	0.57	0.65	0.45	0.79
	AIP	0.78	0.31	0.79	0.39

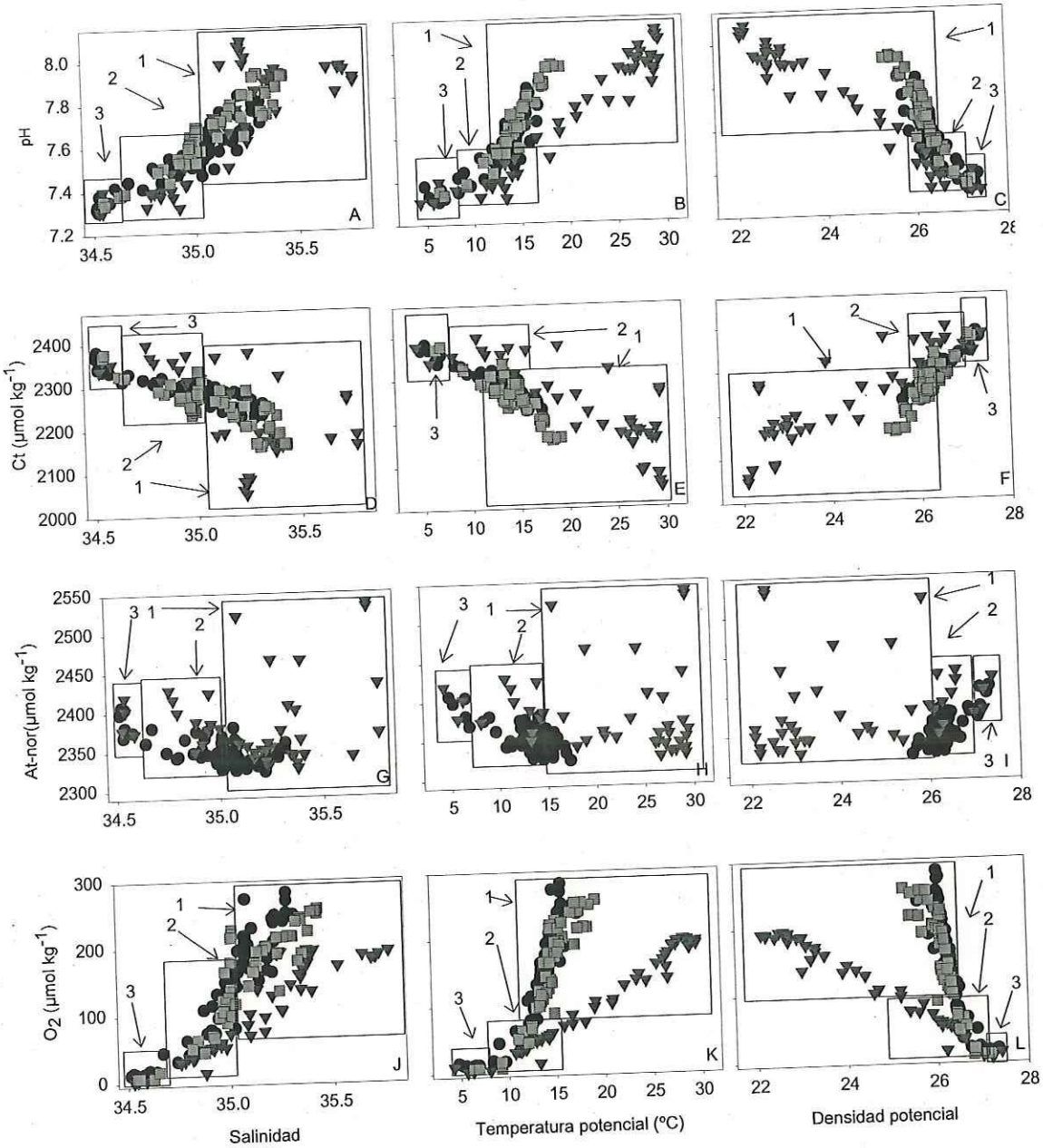


Figura 36. Comparación entre los muestreos UI (●), MI (▼) y MII (■) de las variables del sistema del CO₂ y O₂ contra salinidad (A, D, G y J) temperatura (B, E, H y K) y densidad potencial (C, I, F y J). Los números indican las masas de agua presentes: (1)AGC, (2)ASsSt y (3)AIP.

los tres muestreos, con una diferencia de 0.120 respecto al MI y de 0.036 respecto al UI. El pH del ASsSt del MI y MII presentaron la mayor desviación estándar. El pH del AIP del UI presentó la mayor concentración con una diferencia de 0.008 respecto a MI y de 0.006 respecto a UI. El pH del

El pH del AGC del MI presentó el mayor promedio de los tres muestreos, con una diferencia de 0.109 respecto al pH del MII y de 0.233 respecto al pH del UI. El pH del AGC del MI presentó la mayor desviación estándar. El pH del ASsSt del MII presentó la mayor concentración de AIP del MI presentó la mayor desviación estándar. El pH del AGC del MI estuvo correlacionado con la temperatura y densidad potencial y el pH del ASsSt del MI estuvo correlacionado con la salinidad y densidad potencial. El pH de las tres masas de agua del MII estuvo correlacionado con las tres variables físicas. El pH de las tres masas de agua del UI estuvo correlacionado con la salinidad y el pH del ASsSt estuvo correlacionado con la temperatura potencial (Tabla XI y XII, Fig. 36).

El At-nor promedio del AGC del MI presentó la mayor concentración, con una diferencia de $\sim 30 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto MII y de $38 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a UI. El At-nor del AGC del MI presentó la mayor desviación estándar. El At del ASsSt del MI presentó la mayor concentración, con una diferencia de $61 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII y de $44 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El At del ASsSt del MI presentó la mayor desviación estándar. El At del AIP del MII presentó la mayor concentración con una diferencia de $15 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MI y de $16 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El At del AIP del MII presentó la mayor desviación estándar. El At-nor de las masas de agua de los tres muestreos no presentó correlación con las variables físicas, excepto el At del ASsSt del MI y el At del AIP de UI (Tabla XI y XII, Fig. 36).

El O_2 del AGC del MII presentó la mayor concentración, con una diferencia de $40 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MI y de $2.6 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El O_2 del AGC del UI presentó la mayor desviación estándar. El O_2 del ASsSt del UI presentó la mayor concentración, con una diferencia de $44 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MI y de $3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII. El O_2 del ASsSt del MII presentó la mayor desviación estándar. El O_2 del AIP del UI presentó la concentración mayor, con una diferencia de $8 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MI y de $7 \mu\text{mol kg}^{-1}$ con respecto al MII. El O_2 del AIP del MI presentó la mayor desviación estándar. El O_2 del AGC del MII y UI presentaron correlación con la temperatura y densidad potencial, el O_2 del AIP del MI presentó correlación con la densidad potencial. El O_2 del AGC y ASsSt del MII presentaron correlación con las tres variables físicas. El O_2 del AGC y ASsSt del UI presentaron correlación con las tres variables físicas y el O_2 del AIP presentó correlación con la salinidad (Tabla XI y XII, Fig. 36).

5.5.2.2. UAO

En la UAO del MI (estaciones 4 y 5) y UI (estaciones 8 y 9) de las estaciones localizadas en el Canal de Ballenas se puede observar diferencias respecto a los datos localizados al sur. El desfase es de $\sim 70 \mu\text{mol kg}^{-1}$ a 1000 m de profundidad. En la superficie, el comportamiento de la UAO fue disperso en los tres muestreos con valores de UAO desde $100 \mu\text{mol kg}^{-1}$ hasta menores a $50 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (Fig. 37).

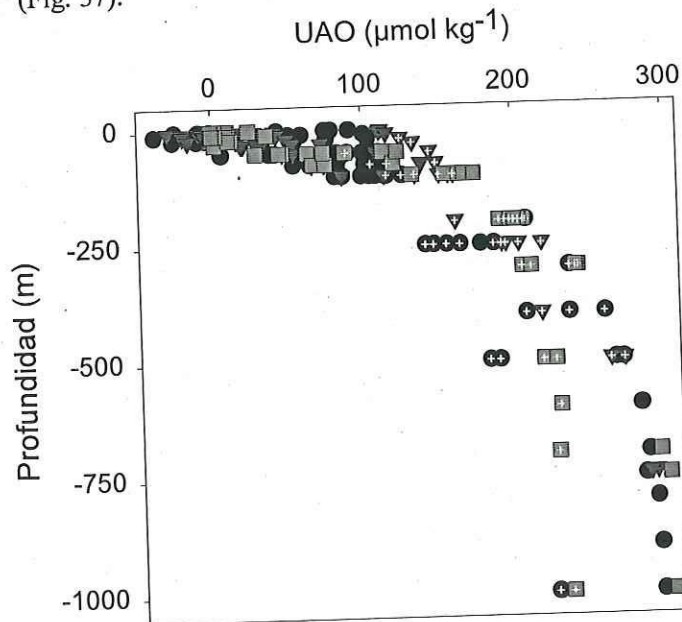


Figura 37. Distribución de la UAO contra profundidad de los muestreos UI (●), MI (▼) y MII (■). El + indica el ASsSt.

5.6. Comparación entre WOCE, Megamarco II y la estación 38 de Umbrales I.

Los datos correspondientes a The World Ocean Circulation Experiment (WOCE) corresponden al mes de abril de 1994 y fueron localizados en Cabo San Lucas al sur de la Península de Baja California en las afueras del GC. Las estaciones del MII, realizado en marzo de 1997, fueron localizadas en el centro y sur del GC mientras que la estación 38 de UI realizado en marzo del 2002 se localizó al sur de la RI (Fig. 38).

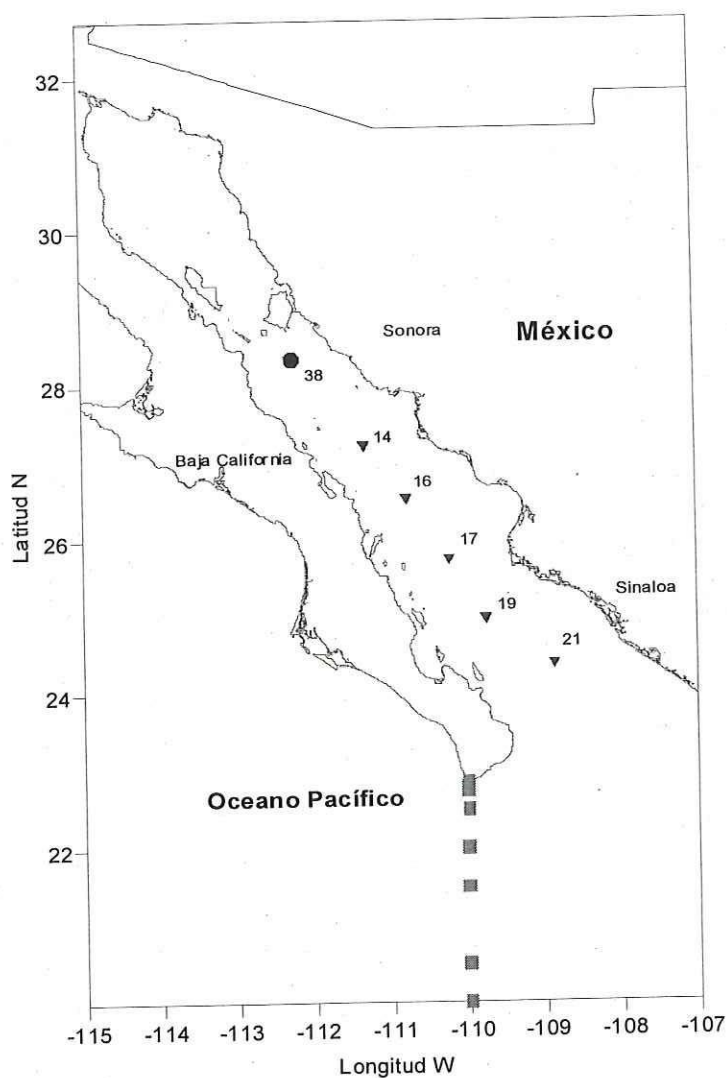


Figura 38. Localización de las estaciones comparadas, estación 38 de UI (●), MII (▼) y WOCE (■).

5.6.1. Diagrama T-S

El diagrama T-S muestra la comparación entre las masas de agua en tres localidades distintas del GC (Fig. 39). En los datos correspondientes a WOCE las características promedio T-S del ASE, ACC, ASsSt y AIP fueron de $20.8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.9$ y 34.38 ± 0.20 , $15.6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.1$ y 34.31 ± 0.12 , $11.7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.2$ y 34.65 ± 0.05 y $5.9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.6$ y 34.53 ± 0.02 respectivamente (Fig. 38).

Las características promedio T-S del AGC, ASsSt y AIP de la estación 38 de UI fueron $15.4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.2$ y 35.11 ± 0.08 , $11.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.3$ y 34.79 ± 0.11 , y $6.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.3$ y 34.54 ± 0.03 respectivamente. Las características T-S promedio del AGC, ASsSt y AIP de la parte central del GC del MII fueron $16.7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.6$ y 35.18 ± 0.13 , $12.2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.2$ y 34.84 ± 0.16 , y $6.2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.1$ y 34.54 ± 0.01 respectivamente (Fig. 39).

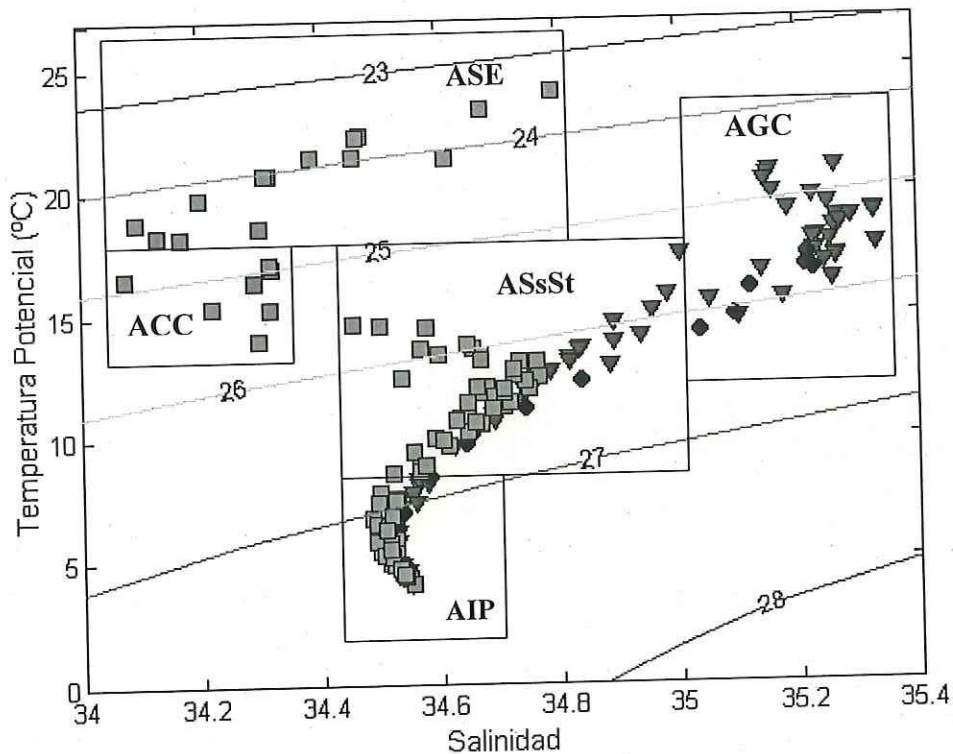


Figura 39. Diagrama T-S correspondiente a los muestreos analizados: estación 38 de UI (●), MII (▼) y WOCE (■).

5.6.2. Características químicas de las estaciones comparadas.

5.6.2.1. Variables del sistema del CO₂ y O₂.

Los perfiles de Ct disminuyeron su concentración hacia la superficie mientras que el pH y el O₂ aumentaron. Los perfiles de At-nor presentaron un comportamiento distinto respecto a la localidad en la superficie, el At-nor del WOCE disminuyó mientras que el At-nor del UI y MII aumentó. El At-nor aumentó a partir de los 250 m de profundidad en las tres localidades. Se pudo observar que en la superficie el comportamiento es similar en el Ct, pH y O₂ aún cuando son distintas masas de agua, en el WOCE son ASE y ACC, mientras que en el MII y UI es AGC solamente.

Se observó que los perfiles a partir de los 200 m de profundidad de las variables del sistema CO₂ y O₂ existe un comportamiento similar en las tres localidades (Fig. 40). Esto sugiere fuertemente que el agua que entra en la Boca del GC no sufre cambios durante su recorrido hasta llegar a sur de las islas (estación 38). Sobre la misma gráfica se adicionó también datos de Ct y At-nor de la estación 38 correspondiente al muestreo Umbrales II realizado en mayo del 2003 analizados en Scripps Institution of Oceanography corroborándose este mismo comportamiento.

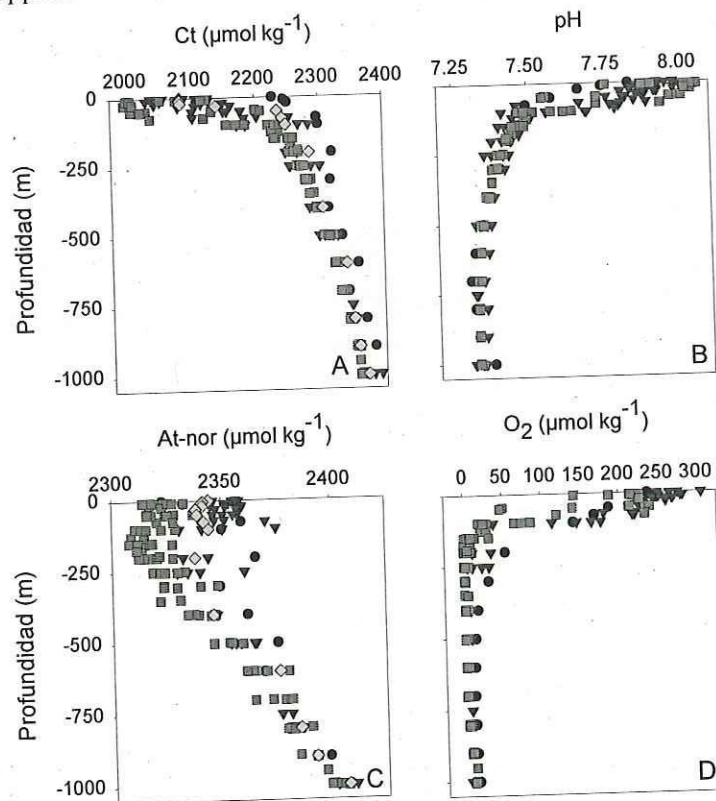


Figura 40. Perfil de Ct (A), pH (B), At-nor (C) y O₂ (D) contra profundidad. Estación 38 de UI (●) y UII (◆), MII (▼) y WOCE (■).

El Ct del ASE del WOCE presentó una concentración menor respecto al Ct del ACC del WOCE con una diferencia de 138.3 $\mu\text{mol kg}^{-1}$. El Ct del AGC de UI presentó la mayor concentración con una diferencia de $\sim 111 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al AGC del MII. El Ct del AGC del MII presentó la mayor desviación estándar. El Ct del ASsSt del UI presentó la mayor concentración, con una diferencia de 56 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al WOCE y de $\sim 36 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII. El Ct del ASsSt del MII presentó la mayor desviación estándar. El Ct del AIP del UI presentó la mayor concentración, con una diferencia de $\sim 18 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al WOCE y de $\sim 7 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII. El Ct del AIP del MII y WOCE presentaron las mayores desviaciones estándar (Tabla XIII).

El pH del ASE del WOCE presentó un vaolor mayor promedio respecto al pH del ACC del WOCE con una diferencia de 0.35. El pH del AGC de UI presentó el mayor valor promedio con una diferencia de 0.234 respecto al MII. El pH del AGC del MII presentó la mayor desviación estandar. El pH del ASsSt del MII presentó el mayor valor promedio, con una diferencia de 57 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII y de 20 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El Ct del ASsSt del MII presentó la mayor desviación estándar. El Ct del AIP del WOCE presentó la mayor concentración, con una diferencia de 19 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII y de 11 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El Ct del AIP del MII presentó la mayor desviación estandar (Tabla XIII).

Tabla XIII. Datos promedios de las variables del sistema del CO_2 y O_2 de cada masa de agua presente. WOCE (A), MII (B) y estación 38 de UI (C). Para el ASE, ACC y AGC los valores de At corresponden At-nor.

Masas agua	A									
	Ct $\mu\text{mol kg}^{-1}$		pH		At $\mu\text{mol kg}^{-1}$		O ₂ $\mu\text{mol kg}^{-1}$			
ASE	2019.0	± 23.1	7.998	± 0.054	2325.7	± 4.9	220.9	± 12.6		
ACC	2157.3	± 36.2	7.648	± 0.083	2317.4	± 5.2	91.8	± 38.8		
ASsSt	2260.6	± 18.2	7.438	± 0.039	2298.4	± 9.4	8.8	± 9.8		
AIP	2337.1	± 25.9	7.340	± 0.012	2344.3	± 22.3	5.4	± 4.1		
B										
AGC	2153.9	± 47.4	7.868	± 0.095	2353.5	± 6.1	246.9	± 34.1		
ASsSt	2280.6	± 38.2	7.457	± 0.086	2330.8	± 16.3	69.0	± 75.6		
AIP	2348.0	± 25.4	7.345	± 0.019	2351.9	± 21.7	8.4	± 2.7		
C										
AGC	2264.8	± 11.8	7.634	± 0.065	2341.3	± 7.8	205.9	± 65.8		
ASsSt	2317.0	± 18.8	7.409	± 0.033	2334.7	± 5.4	43.8	± 2.3		
AIP	2355.2	± 15.9	7.334	± 0.026	2361.4	± 18.9	13.2	± 1.1		

El At-nor del ASE del WOCE presentó una concentración mayor respecto al At-nor del ACC del WOCE con una diferencia de $8.3 \mu\text{mol kg}^{-1}$. La At-nor del AGC del MII presentó la mayor concentración, con una diferencia de $12 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El At del ASsSt del WOCE presentó la mayor concentración con una diferencia de $\sim 13 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII y de $\sim 3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El At del ASsSt del WOCE presentó la mayor desviación estándar. El At del AIP del WOCE presentó la mayor concentración con una diferencia de $\sim 61 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al MII y de $\sim 52 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a UI. El AIP del MII presentó la mayor desviación estándar (Tabla XIII).

El O_2 del ASE del WOCE presentó una concentración mayor respecto al O_2 del ACC del WOCE con una diferencia de $129.1 \mu\text{mol kg}^{-1}$. La O_2 del AGC del MII presentó la mayor concentración, con una diferencia de $41 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El O_2 del ASsSt del MII presentó la mayor concentración con una diferencia de $\sim 59 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a WOCE y de $\sim 25 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto al UI. El O_2 del ASsSt del MII presentó la mayor desviación estándar. El O_2 del AIP del UI presentó la mayor concentración con una diferencia de $\sim 8 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a WOCE y de $\sim 5 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respecto a MII. El AIP de WOCE presentó la mayor desviación estándar (Tabla XIII).

5.6.2.2. UAO

En la capa superficial (primeros 200 m) los datos de la UAO disminuyeron hacia la superficie. La UAO de la UI y WOCE disminuyó de $200 \mu\text{mol kg}^{-1}$ hasta $0 \mu\text{mol kg}^{-1}$ aproximadamente mientras que en la UAO del MII disminuyó de $200 \mu\text{mol kg}^{-1}$ hasta $-100 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Los datos de UAO de los tres cruceros fueron similares a profundidades entre 200 – 1000 m. Los valores aumentaron de $210 \mu\text{mol kg}^{-1}$ hasta $300 \mu\text{mol kg}^{-1}$ respectivamente, lo cual es un comportamiento normal de aguas profundas (Fig. 41).

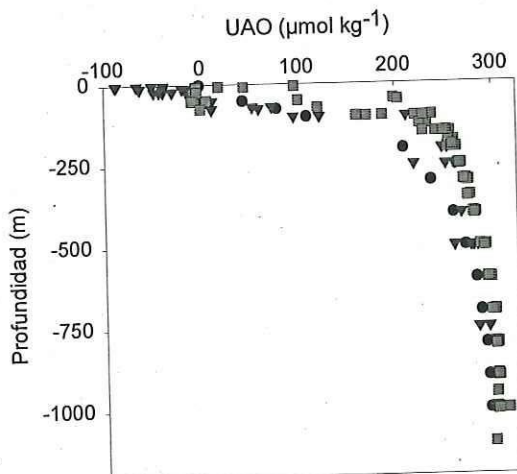


Figura 41. Distribución de UAO contra profundidad. Estación 38 de UI (●), MII (▼) y WOCE (■).

6. DISCUSIÓN

La RI esta caracterizada por presentar las temperaturas superficiales más bajas del GC debido a la intensa mezcla por mareas (Argote *et al.*, 1985; Paden *et al.*, 1991, Soto-Mardones *et al.*, 1999). La mezcla vertical genera que aguas profundas con bajas temperaturas y salinidades, altas concentraciones de nutrientes y metales transporten sus altas concentraciones hacia la superficie (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001; Torres-Valdés, 2000). Por lo anterior, la RI ha sido considerada como fuente de CO₂ hacia la atmósfera (Zirino *et al.*, 1997, Montes-Hugo *et al.*, 1997; Hidalgo-González *et al.*, 1997; Hernández-Ayón, 2000).

A pesar de la importancia de la RI como fuente de CO₂ hacia la atmósfera son escasos los trabajos en donde se midan mas de dos de las cuatro variables del sistema del CO₂. En el trabajo pionero realizado en la RI, solamente se midió el pH y la At con una baja precisión y no se empleó material de referencia (Gaxiola-Castro *et al.*, 1978). En Zirino *et al.*, (1997) se midió el pH superficial y la At específica. En otros trabajos se midió solamente el pH superficial (Montes-Hugo *et al.*, 1997, Hidalgo-González *et al.*, 1997). Solamente Hernández-Ayón (2000) midió 3 variables del sistema del CO₂ (pH, Ct y At) y empleó material de referencia para el Ct y At, sin embargo este muestreo contempló únicamente condiciones de verano.

La importancia de este trabajo consiste en que es la primera vez que se miden directamente tres variables del sistema del CO₂ (pH, Ct y At) y se emplea material de referencia en condiciones de invierno en la RI. A su vez, la intensa malla de muestreo permitió determinar diferentes condiciones oceanográficas en tan solo 30 km de distancia entre la península de Baja California y el estado de Sonora así como la influencia del NGC y el CGC sobre la RI. Por lo tanto, este trabajo contribuye en el entendimiento de la predominancia de los procesos físicos sobre las variables del sistema del CO₂ en condiciones de invierno y la afectación del NGC y CGC hacia la RI.

6.1. Distribución espacial de las variables del CO₂.

Mediante las isolíneas de pH y Ct fue posible observar distintas condiciones oceanográficas en la RI como: zonas bien mezcladas, zonas estratificadas, ascenso de agua de 100 m de profundidad y el salto hidráulico ocurrido sobre el umbral de San Esteban (Fig. 15 y 16). Esto fue corroborado con los transectos de temperatura, salinidad y O₂ en donde también se presentaron las características mencionadas (Figs. 12, 13 y 18).

El fondo del Canal de Ballenas y la cuenca Delfín, correspondieron a las zonas bien mezcladas (transecto A y fondo del transecto D, Figs. 14 y 15). La intensa mezcla vertical en el Canal de Ballenas se debe a la presencia del umbral localizado al norte del Canal y al umbral Salsipuedes localizado al sur (Fig. 1), debido a que en las zonas de los umbrales se incrementan la

velocidad de las corrientes por marea (Marinone y Lavín, 2003). Mediante isolíneas de temperatura, salinidad, O₂, pH y Ct se ha observado que tanto el Canal de Ballenas y la cuenca Delfin se encuentran completamente mezclados desde la superficie hasta los 1000 m de profundidad (Gaxiola-Castro *et al.*, 1978), siendo sus características distintas a las mismas profundidades en el CGC y SGC. A su vez, existe un ascenso de agua profunda en el Canal de Ballenas debido a que posiblemente el tiempo de residencia es más corto por la entrada de agua profunda por el norte y por el sur (Manuel López comunicación personal). Las zonas mezcladas y las estratificadas se encontraron muy cercanas entre sí. En la superficie las zonas estratificadas se observaron al norte, sur y del lado del estado de Sonora (transecto C, D y G, Figs. 15 y 16). Las estaciones 5, 31 y 32 pegadas a la península de Baja California también presentaron mayor estratificación.

En el Canal de Ballenas se observaron isolíneas de pH, Ct, temperatura y salinidad ascendiendo hacia la superficie directamente desde 100 m de profundidad (transecto A, Figs. 12, 13, 15 y 16). De igual forma isolíneas de pH, Ct, calcita, aragonita y salinidad en el Canal de Ballenas en invierno presentan un ascenso de aguas de aproximadamente 50 y 75 m de profundidad (Gaxiola-Castro *et al.*, 1978). Este ascenso de aguas en ambos trabajos se observó principalmente al norte y sur del Canal de Ballenas, lo cual muestra la influencia de los umbrales.

El salto hidráulico observado en este trabajo se localizó arriba del umbral San Esteban a una profundidad entre 100 y 250 m de profundidad (debajo de la estación 28 en el transecto B, Figs. 15 y 16). El salto hidráulico produjo que agua de aproximadamente ~75 m de profundidad ascienda hacia la superficie. Este mismo efecto fue observado en los primeros 100 m de profundidad mediante isolíneas de pH y Ct en verano (Hernández-Ayón, 2000). El ascenso de aguas mediante el salto hidráulico ha sido observado también mediante otros nutrientes con isolíneas de NO₃⁻ y PO₄⁻³ en verano e invierno (Torres-Valdés, 2000) y Cd en verano e invierno (Delgadillo-Hinojosa, 2000).

Mediante las isolíneas de At no fue posible observar estas condiciones debido a que la At presentó un comportamiento disperso en los primeros 500 m de profundidad (Fig. 16). Esto se debió posiblemente a que la At de la superficie y fondo son altas y no presentaron ninguna correlación con las variables físicas (Fig. 17).

6.2. El AGC en la RI

La intensa malla de muestreo permitió describir de una manera más completa la distribución y el comportamiento de las condiciones oceanográficas de la RI. El AGC presentó tres zonas hidrográficamente distintas diferenciadas mediante ϕ , con características particulares de T-S, Ct, At-nor, pH y O₂ (Figs. 19-22, y 26, Tabla VII). La zona 1 presentó características T-S similares a las reportadas por Godínez-Sandoval *et al.*, (2000) para muestras de agua del Alto Golfo de

California determinadas durante febrero y marzo del 2000. Los valores de T-S que se reportan para esos meses en el NGC fluctuaron entre 14.8 a 18 °C y 35.2 a 36.2 respectivamente, los cuales son similares a los presentados en este trabajo en la figura 20. Lo anterior apoya el hecho de que el agua de la zona 1 tenga su origen del NGC (Bray 1988a). Esto se explica en función a su localización y a la circulación termohalina del GC reportados por Bray, (1988b). El NGC es somero (~200 m de profundidad en promedio) por lo tanto los procesos de evaporación son más fuertes, lo cual da lugar a la formación de AGC en invierno (Lavín *et al.*, 1995). El agua de la zona 1 presentó mayores temperaturas respecto a la zona 2 y bajos valores de ϕ (Fig. 22). Durante invierno se han identificado giros cálidos anticiclónicos en el NGC (Soto-Mardones *et al.*, 1999), los cuales están caracterizados por presentar una gradiente vertical de densidad en los primeros 70 m, haciendo la circulación superficial del NGC más susceptible a ser afectada por eventos cortos de viento y eventos interanuales (Carrillo *et al.*, 2002).

El O₂ de la zona 1 del AGC presentó correlación con la temperatura y densidad potencial (Fig. 26, Tabla VIII) lo cual está relacionado con altos procesos de mezcla. La mezcla en invierno en la región norte está asociada a procesos físicos como la convección vertical (Lavín *et al.*, 1995). Además, el agua de la zona 1 presentó bajo Ct y alto pH y O₂ en comparación con la zona 2 (Tabla VII), lo cual está asociado a que el AGC originada en el NGC ha sido afectado por procesos de degasificación y fotosintéticos en los cuales se consumen nutrientes inorgánicos como el Ct y se produce O₂. Por su parte el pH se incrementa producto de la productividad ante el consumo de HCO₃⁻ y la liberación de iones OH⁻ (Zirino y Lieberman, 1985).

El tiempo de residencia máximo del agua en el NGC es de aproximadamente 1.5 años (López y García, 2003). Si la NGC es la fuente del agua de la zona 1 entonces el agua de esta zona tiene mayor tiempo en la superficie en comparación con las zonas 2 y 3. Como se menciona, en este trabajo se utilizó la UAO como un indicador de tiempo, es decir, las muestras de agua con valores altos de UAO en la superficie indican que es agua de fondo recién transportada hacia la superficie, mientras que valores bajos o incluso negativos indican que el agua tiene más tiempo en contacto con la superficie. De esta manera, se pudo observar que el agua que ha estado más en contacto con la superficie fue el agua de la zona 1 con valores en promedio de 5 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, mientras que el agua que tenía menos tiempo en la superficie fue el agua de la zona 2 con valores en promedio de 62 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (Fig. 27).

La zona 2, ubicada en el Canal de Ballenas y al sur de las islas en la superficie, fue el área que aportó de manera más intensa CO₂ hacia la atmósfera (Figs. 23, 24 y 25, Tabla VII). Por su localización esta zona se le asocia a las corrientes más intensas de marea descritas por Marinone y Lavín, (2003). El agua en esta zona proviene de aproximadamente 100 m de profundidad lo cual fue

observado en los transectos de temperatura, salinidad, pH, Ct y O₂ (Figs. 12, 13, 15, 16 y 18). Esta zona comprendió la zona de los umbrales localizados inmediatamente al sur de las islas (Fig. 1) y el Canal de Ballenas (transecto A, Figs. 12, 13, 15, 16 y 18). En los umbrales se origina un salto hidráulico el cual provoca que agua ASsSt transporte sus propiedades fisico-químicas directamente hacia la superficie (Fig. 19). El salto hidráulico fue observado en los transectos A, B, C y F específicamente debajo de las estaciones 23, 26 y 28 entre 0-200 m de profundidad (Figs. 11, 12, 14, 15 y 17).

Por lo tanto la zona 2 estuvo caracterizada por presentar los valores más bajos de ϕ (menores a 17 Jm⁻³) asociados a baja temperatura, salinidad, pH, O₂ y los más altos valores de Ct, pCO₂ (Figs. 22, 23, 24, 25 y 26, Tabla VI), lo cual a su vez estuvo asociado a la ausencia de termoclina, haloclina y pignoclina (Fig. 21). El O₂ de la zona 2 presentó correlación con la temperatura y densidad (Tabla VIII), esto señala que esta zona está controlada por la mezcla (Hernández-Ayón, 2003). El umbral localizado en la estación 7' al norte del Canal de Ballenas fue monitoreado solamente con el CTD, sin embargo, debido a sus características T-S es de esperarse que esta zona se comporte también como fuente intensa de CO₂ hacia la atmósfera.

Los datos superficiales de pH, Ct y pCO₂ de este trabajo mostraron que toda la RI se comportó como fuente de CO₂ hacia la atmósfera con valores de pCO₂ > 580 μ atm, sin embargo en la zona 2 donde hubo transporte de agua profunda hacia la superficie y la pCO₂ alcanzó valores de hasta 1160 μ atm (Figs. 24 y 25). La RI ha sido considerada como una fuente de CO₂ hacia la atmósfera con bajos valores de pH y altos valores de pCO₂ según otros trabajos. Los valores reportados de pCO₂ en la RI han sido mayores al valor en equilibrio (360 μ atm) en la RI. Por ejemplo, al norte de la Isla Angel de la Guarda, Montes-Hugo *et al.*, (1998) reportó valores mayores a 380 μ atm en invierno. Valores mayores a 425 μ atm han sido reportados entre en la región del umbral de San Esteban en verano (Hidalgo-González *et al.*, 1997, Hernández-Ayón, 2000) y otoño (Zirino *et al.*, 1997) respectivamente. Sin embargo, existen algunas reservas en cuanto a la exactitud de las mediciones debido a que en esos estudios no se utilizaron estándares de calibración excepto Hernández-Ayón (2000). En estos trabajos se estimaron el Ct y pCO₂ midiendo solo el pH y utilizando una alcalinidad específica reportada para el Pacífico (Hidalgo-González *et al.*, 1997; Montes-Hugo *et al.*, 1998).

A pesar de que toda la RI en este trabajo se comportó como fuente de CO₂ hacia la atmósfera, los valores de pCO₂ promediados de cada zona caracterizada presentaron valores muy altos (casi el doble) respecto a los resultados obtenidos por otros autores (Tabla VI, Fig. 24), lo cual podría estar asociado a las condiciones estacionales del muestreo. Esto puede estar asociado posiblemente a los siguientes factores: las bajas temperaturas aumentan la solubilidad del CO₂ y la

poca o nula estratificación favorece a que agua profunda transmita sus características hacia la superficie (Tabla VI, Figs. 10, 19 y 23) lo cual es ocasionado por las fuertes corrientes de marea en la RI (López y García, 2003). A su vez, el muestreo UI fue realizado durante mareas posvivas (Fig. 5), durante las cuales se ha señalado que los flujos de CO₂ hacia la atmósfera en la RI son más intensos (Hidalgo-González *et al.*, 1997).

Por su parte, el agua de la zona 3 se localizó al sureste de la RI o al norte del CGC (Fig. 23). Esta zona se encontró más estratificada, observándose la presencia de una termoclina y picnoclina mejor definidas (Fig. 21), con un valores de ϕ mayores a 30 Jm⁻³. La zona 3 estuvo localizada sobre la cuenca de San Pedro Martín en donde se ha modelado un giro anticiclónico permanente (Marinone y Lavín, 2003). Es posible que parte del agua que surge en los umbrales San Esteban y San Lorenzo viaje por la superficie hacia el sur como resultado de la circulación termohalina reportada por Bray, (1988b). En su camino esta agua al llegar a la superficie comienza a calentarse y por lo tanto a estratificarse (Fig. 19). Esta agua de altos nutrientes inorgánicos y en condiciones optimas de temperatura y estratificación favorece la fotosíntesis y por lo tanto remoción de carbono (Fig. 28). Lo anterior ha sido observado para una zona de la Antártica en la que una vez que tiene estratificación y altos nutrientes, la zona se vuelve más productiva (Holm-Hansen *et al.*, 1997). En el trabajo realizado en invierno por Gaxiola-Castro *et al.*, (1995) se encontraron asociados a la estratificación con los valores más altos de productividad primaria en el CGC y SGC mientras que las estaciones que se encontraron en la RI presentaron alta mezcla y baja productividad. En las estaciones que se encontraron en la RI predominaron las diatomeas y dinoflagelados (70%), mientras que en el CGC y SGC el fitoplancton predominante fue < 20 μ m entre flagelados y cocolitofóridos (Gaxiola-Castro *et al.*, 1995).

Los valores promedios de At-nor de la zonas 1 y 2 mostraron mayores concentraciones respecto a la zona 3, sin embargo no mostraron correlación con las variables físicas (Fig. 24 y 26, Tabla VI, VII). Lo cual puede deberse a que presentan promedios similares en las zonas 1 y 2 aún cuando el origen es distinto. También se puede deber a que la precisión del sistema potenciométrico empleado en este trabajo no es suficiente para detectar estas diferencias.

La figura 28 representa un diagrama de mezcla entre el pH y el Ct contra la salinidad. El propósito fue identificar procesos como mezcla, adición por respiración o remoción de carbono por fotosíntesis. Al separar los datos superficiales (0 - 50 m) y de fondo (75 - 100 m) en las tres zonas, se observó que la zona 3 presentó una mayor diferenciación de $\sim 68 \mu\text{mol kg}^{-1}$, respecto a los datos superficiales y de fondo, sugiriendo remoción de Ct. De igual manera el valores altos de pH superficiales por encima de la línea de mezcla indican una mayor predominancia de procesos fotosintéticos en la zona 3 y en menor grado en la zona 1. Por otro lado, datos de Ct por encima (y

datos de pH por debajo) de la línea de mezcla indican procesos de respiración, los cuales se presentaron principalmente en las zonas 1 y 2. El Ct de la zona 2 de la superficie y fondo se observó que es controlado por procesos de mezcla principalmente. En los diagramas de mezcla realizados en el GC se han empleado distintas variables como: pH y Ct en verano (Hernández-Ayón, 2000), PO_4^{-3} y NO_3 en verano e invierno (Torres-Valdés, 2000), PO_4^{-3} , NO_3 y silicatos en invierno (Lavín *et al.*, 1995), y cadmio en verano e invierno (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001). En estos diagramas se ha observado que el NGC y la RI presentan una alta relación con la salinidad lo que sugiere que la mezcla vertical es el proceso que controla la distribución de las propiedades físico-químicas intensificándose más en la RI (Delgadillo-Hinojosa, 2000; Hernández-Ayón, 2000; Torres-Valdés, 2000).

6.3. Descripción del ASsSt

El ASsSt fue la masa de agua que predominó en la RI (Figs. 9 b-b1), lo cual concordó con la distribución espacial para la RI, respecto a que en invierno se incrementan las proporciones de aguas subsuperficiales (Torres-Orozco, 1993). De manera inicial, al analizar el diagrama T-S se observó que existía un comportamiento distinto al sur y al norte de la RI, los datos del sur fueron más dispersos que los datos al norte (Figs. 29 y 30). Posteriormente al analizar datos de las variables del sistema del CO_2 , O_2 y UAO contra profundidad, se observó una modificación a 1000 m de profundidad la cual se atribuyó a procesos de mezcla entre las dos masas que predominaron (Figs. 18 y 31, Tabla IV). Las estaciones que presentaron la modificación respecto a la estación 38 al sur de la RI correspondieron a las estaciones localizadas en la cuenca Delfín (estación 7) y en el Canal de Ballenas (estaciones 8, 9 y 10) (Fig. 18). La cuenca Delfín y el Canal de Ballenas estuvieron conformados en el fondo por ASsSt de la Zona Norte (Fig. 30). De manera general, esta zona estuvo caracterizada por presentar alta mezcla (fondo del transecto A, Figs. 12, 13, 15, 16 y 18, Tabla XI), lo cual fue determinado mediante la correlación de las variables del sistema del CO_2 y O_2 con las variables físicas (Tabla X). Las concentraciones promedio de las variables del sistema del CO_2 (pH, Ct y At) y O_2 de la zona Norte y Sur medidas fueron muy similares. Lo cual muestra que las modificaciones no podrían haber sido detectadas sin las variables físicas (Fig. 29). El uso de sistemas coulométricos con una mayor precisión de la medición de Ct y At puede determinar con mayor exactitud las características de ambas zonas.

La zona de los umbrales comprendió las estaciones 25, 27, 28 y 29 y en esta zona comprende el inicio de lo que en este trabajo consideramos la formación de agua de la zona Norte (Fig. 30). La zona de los umbrales ha sido asociada a fuertes corrientes de marea los cuales generan mezcla en toda el área durante mareas vivas (Marinone y Lavín, 2003) y adicionalmente, se ha

modelado un pequeño giro ciclónico sobre los umbrales San Lorenzo, San Esteban y Tiburón (Marinone y Lavín, 2003) que tendrían su influencia en la composición de la columna de agua.

Se ha reportado además, que en el umbral San Lorenzo no se presenta un intercambio tan intenso de agua profunda como en el umbral San Esteban (Badan-Dangon, 1991; Marinone y Lavín, 2003). De esta manera se puede entender que el agua en estas cuencas es afectada en sus características físico-químicas (Fig. 19). Respecto a la distribución de la concentración O_2 se podría considerar a la cuenca Delfin y al Canal de Ballenas como un aireador de O_2 hacia aguas profundas. Esto se puede observar como resultado de la intensa mezcla que ocurre entre aguas más oxigenadas como el AGC de la zona 1 con aguas de la ASsSt que llegan del sur con baja concentración de O_2 (Tabla IX), lo cual da como resultado perfiles como los encontrados en la zona Norte (Fig. 19 y 31).

Por otro lado, se observó claramente la entrada de agua profunda por el umbral de San Esteban. Lo anterior es basándose en que las características físicas y químicas del ASsSt se mantuvieron hasta la estación 14 (fondo Norte del transecto B, Figs. 12, 13, 15, 16 y 18). La entrada de agua a través del umbral San Esteban ha sido identificada como el umbral donde se lleva a cabo el mayor intercambio de agua entre el NGC y CGC (Badan-Dangon *et al.*, 1991). A su vez, López y García (2003) determinaron la presencia permanente de una corriente profunda que transporta $10^5 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ de ASsSt hacia el Norte del NGC. Según López y García (2003) el agua que es transportada hacia el NGC muy posiblemente fluye hacia la cuenca Delfin para posteriormente retornar hacia al Canal de Ballenas. Lo anterior se observó en este estudio, en la figura 42 en donde se graficaron las estaciones profundas correspondientes a la cuenca Delfin (estaciones 6 y 7') y Canal de Ballenas (estaciones 9 y 10) y la estación 38. En estos perfiles se observó las concentraciones de O_2 y UAO con las cuales llega el agua al norte del RI y como existe un enriquecimiento de O_2 desde el momento el agua entra el canal de Ballenas. La estación 6 presentó valores bajos de O_2 y altos de UAO respecto a las estaciones 7', 9 y 10 en las cuales se observa un incremento gradual del O_2 hacia el sur. Esto sugiere que el agua del ASsSt que entra por el umbral de San Esteban viajó por el centro de la RI, llenó la cuenca Delfin y posteriormente regresó hacia el sur por el Canal de Ballenas. Debido a la importancia de determinar si agua que proviene del este de la isla Angel de la Guarda llegó hasta la cuenca Delfin se graficó el O_2 y UAO de las estaciones 63 y 65 localizadas en el centro de la cuenca Delfin y centro de la RI así como la estación 72 (localizada al este de la isla Angel de la Guarda) realizadas en una red de muestreo alterna en el UI (ANEXO 1). Las concentraciones entre 600 y 1000 m de O_2 y UAO de las estaciones 6 y 63 son idénticas mientras que las estaciones 65 y 72 tienden hacia éstas, es decir, valores más altos de UAO y menores de O_2 que los valores localizados en el Canal de Ballenas. Es en esta zona en la que se

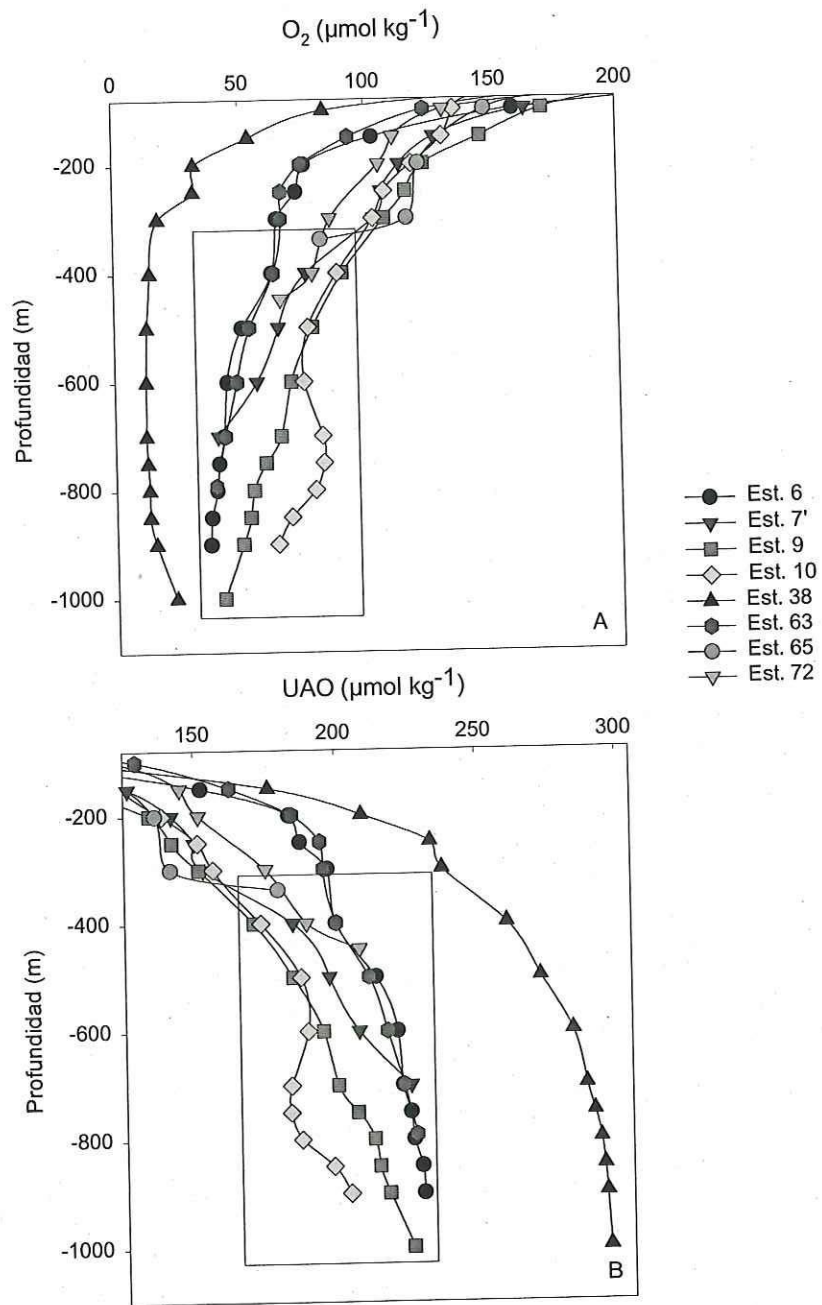


Figura 42. Perfiles de O_2 (A) y UAO (B). El recuadro indica ASsSt dentro de la cuenca Delfin y el Canal de Ballenas. Las estaciones 63, 65 y 72 corresponden a estaciones localizadas en la cuenca Delfin y al este de la isla Angel de la Guarda durante otra red de muestreo de UI.

encontró que la RI funciona como un aireador de O₂ hacia aguas profundas, sin embargo como se pudo observar la ventilación ocurre específicamente en las cuencas y principalmente en el Canal de Ballenas. Esta señal se observó en las variables del sistema del CO₂ donde el resultado es solo mezcla gradual entre dos masas agua de concentraciones distintas (Fig. 19).

Los perfiles de Ω de calcita y aragonita del ASsSt mostraron que los valores correspondientes a la Zona Norte presentaron valores más sobresaturados que la Zona Sur (Fig. 32). Estas condiciones de saturación favorecen la preservación de testas calcáreas en la columna de agua, las cuales posteriormente se depositan en los sedimentos marinos. En un estudio de distribución de foraminíferos en sedimentos marinos realizado en el sur de la RI y en el CGC mostró que las mayores abundancias de testas de foraminíferos planctónicos se encontraron al sureste del Canal de Ballenas (Hernández-Flores, 1981).

Debido a que el ASsSt es la masa de agua predominante en la RI (Figs. 9 b-b1) y debido a las variaciones determinadas al Norte y al Sur de la RI y por la diferencia de concentración de O₂ entre cuencas, se recomienda para futuros muestreos monitorear más el ASsSt. Lo cual ayudaría a describir químicamente y con mayor exactitud las modificaciones que presenta el ASsSt al traspasar los umbrales y mezclarse con el AGC, lo cual permitiría conocer la cantidad de CO₂ que se inyecta hacia las aguas superficiales. En el crucero UI las muestras discretas correspondientes a las variables del sistema del CO₂ para esta masa de agua correspondieron tan solo al 25 % del total de los datos generados.

6.4. El AIP

El AIP es una masa de agua profunda que se encontró al sureste de la RI entre los 500 y 1000 m, lo cual concordó con la distribución espacial, respecto a que el AIP se extiende del SGC hasta el sur de la RI aproximadamente hasta la isóbata de los 450 m (Torres-Orozco, 1993). El límite hacia el norte del AIP fueron las estaciones 28 y 27 lo cual sugiere que esta masa de agua llenó la cuenca San Pedro Mártir (Figs. 9 c-c1) puesto que el APP tan solo se presentó debajo de los 1000 m en la estación 38 (Fig. 8). Esta masa de agua solo se presentó en los transectos B, F y G entre 500 y 1000 m de profundidad debajo de las estaciones 27, 28, 32, 33, 34 y 38 (Figs. 12, 13, 15-18). Sin embargo, el AIP no presentó correlación con las variables físicas excepto la At con la temperatura y densidad potencial (Fig. 13, Tabla V). Sin embargo, se observó que la pendiente es totalmente distinta y que no muestra posibilidades de intercambiar sus propiedades químicas con el ASsSt y por tanto en la RI. Además, las isolíneas a 500 m de profundidad de temperatura, salinidad y At no muestran ascenso de agua (Figs. 12, 13 y 17).

6.5. Comparación de temporal de la RI

De manera general, al realizar la comparación entre invierno (MII y UI) y verano (MI) en la RI, se pudo observar claramente que el AGC en verano presentó una disminución de Ct y O₂ mientras que incrementó del pH, respecto a invierno (Figs. 35 y 36, Tabla XI). Lo cual estaría asociado a que en verano la predominancia de AGC en la RI es mucho mayor respecto a invierno. En el análisis de masas realizado para dos estaciones del año en el GC se observó que durante verano las características en la RI indicaron que los primeros 50 m de profundidad pueden explicarse por la mezcla el 36 % de ASsSt, 57 % de AGC y 7% de ASE, mientras que en invierno se puede explicar por mezcla el 70 % del ASsSt y 30 % de AGC (Delgadillo-Hinojosa, 2000). Aunado a esto también existe el incremento de la temperatura en verano la cual disminuye la solubilidad de los gases. Respecto a la At-nor los valores de verano fueron mayores respecto a los muestreos realizados en invierno (Fig 35) debido a la predominancia de los procesos de remineralización y disolución de CO₃⁻² los cuales fueron identificados al norte de las RI (las estaciones 2 y 3 estuvieron asociadas directamente a estos procesos) (Hernández-Ayón, 2000).

Las características de circulación en el NGC muy posiblemente afectan directamente en la distribución de las características de las variables del sistema del CO₂ y del O₂ debido a que afectan la estabilidad de la columna de agua. En una columna estable la superficie esta menos afectada por el fondo por lo que los nutrientes inorgánicos disminuyen por procesos fotosintéticos, mientras que en una columna inestable existe un aporte de difusión de los nutrientes del fondo. El NGC esta caracterizado por presentar en verano (Junio a Septiembre) giros ciclónicos más estratificados, mientras que en invierno (Noviembre a Abril) giros anticiclónico menos estratificados (Carrillo *et al.*, 2002). Cabe señalar que tanto en verano como en invierno la RI fue identificada como fuente de CO₂ hacia la atmósfera mediante las variables del sistema del CO₂ aún cuando los valores de ϕ fueron mucho más altos en el MI (11 veces más altos) (Fig. 43). Esto esta asociado con la intensa mezcla que ocurre en la RI en ambas estaciones, lo cual fue identificado con las altas correlaciones que presentaron las variables del sistema del CO₂ en los tres muestreos con las variables físicas (Tabla XII) y debido a que tanto los tres muestreos fueron realizados en mareas posvivas (Fig. 5).

Respecto a las estaciones que se localizaron en el Canal de Ballenas (Figs. 3 y 4) en el MI es importante indicar que existió una modificación en sus propiedades químicas similar al observado para el muestreo UI (Figs. 18, 35 y 37). Los resultados indican que el Canal de Ballenas es una zona donde se ventila el agua incrementando el O₂ en la columna de agua debido a la intensa mezcla con agua formada en el NGC, esta mezcla ocurre gradualmente desde la cuenca Delfin, como ya se explicó anteriormente. Lo interesante de esto es que se presentó tanto en verano como

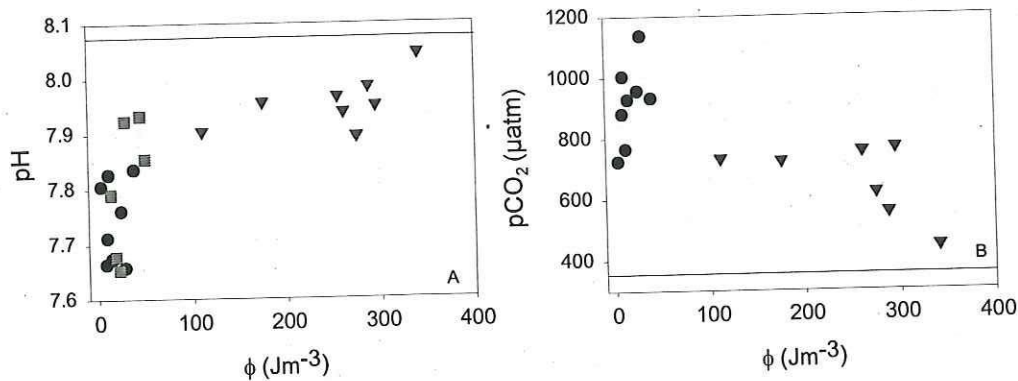


Figura 43. Datos de la RI de pH superficial (A) y $p\text{CO}_2$ (B) contra ϕ . Umbral I (\bullet), Megamarco I (\blacktriangledown) y II (\blacksquare). La línea presenta el valor en equilibrio ($\text{pH} = 8.08$, $p\text{CO}_2 = 365 \mu\text{atm}$).

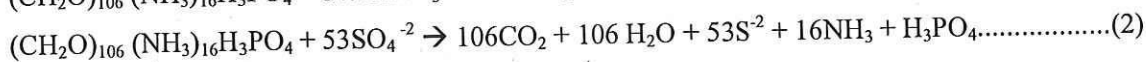
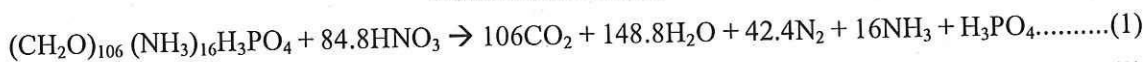
en invierno lo cual reafirma el hecho de que estas condiciones se mantienen durante todo el año, debido a que el invierno y el verano son las dos estaciones extremas en el GC.

6.6. Características del agua en la boca y a lo largo del GC

Al comparar los perfiles de las variables del sistema del CO_2 , O_2 y UAO de datos afuera y al sur de la RI, fue interesante observar que no existen modificaciones durante el recorrido, es decir las características físico-químicas de fondo se mantuvieron desde la boca del GC hasta el sur de la RI no así para las masas de agua superficiales (Figs. 37 y 38, Tabla XIII). Las masas de agua superficiales como el ASE, ACC y AGC presentaron características T-S completamente distintas, sin embargo como se pudo observar en la superficie mediante las variables del sistema del CO_2 porque sus comportamientos son similares excepto la At-nor que fue menor (Fig. 39). Inicialmente se pensó en que la región del mínimo de O_2 localizada entre los 300 m y 1100 m de profundidad desde la estación 10 en el CGC hasta la estación 21 en el SGC en el MI y MII pudiera afectar a las variables del sistema del CO_2 durante su trayectoria como resultado de las reacciones anaeróbicas (1-2). Se ha sugerido a los procesos de denitrificación (1) como responsables de baja razón N:P en la región del mínimo de O_2 en el GC (Torres-Valdés, 2000). Sin embargo, en este trabajo no se encontró ninguna modificación, lo cual se atribuye a que la distancia es muy corta como para poder medir posibles cambios en las concentraciones de las variables del sistema del CO_2 y las condiciones se mantienen constantes desde el SGC hasta la RI. Las modificaciones podrían haber sido un aumento de At ó disminución de Ct hacia la RI debido a la predominancia de las reacciones

anaeróbicas. En la región del mínimo de O₂ se realizan reacciones anaeróbicas (1-2) en donde los productos como NH₃ y S⁻² aumentan a la At, mientras que las reacciones aeróbicas (3) aumentan el Ct debido al HCO₃⁻ producto del CO₂ (Libes, 1992). Durante las reacciones aeróbicas se realizan procesos de respiración en donde el Ct y pCO₂ aumentan mientras que el pH disminuye y la At se mantiene igual (Tabla I). En la ausencia de O₂ el nitrato (1) y el sulfato (2) pueden funcionar como electrones aceptores, sin embargo la sulfato reducción (2) se lleva a cabo hasta que no existe nitrato para llevar a cabo la denitrificación (1). La reacción 1 se ha comprobado en regiones subóxicas (región del mínimo de O₂) en el GC, mientras que la reacción 2 no se ha comprobado que ocurra en el GC.

Reacciones anaeróbicas



Reacciones aeróbicas



En el diagrama T-S se puede observar como arriba del ASsSt de los datos del WOCE se encontró ACC y ASE, mientras que en los datos de UI y MII se encontró AGC. Se aclara que las características físico-químicas de las masas de agua superficiales son transferidas por difusión hacia las capas profundas. Por lo que el ASsSt del WOCE presenta una disminución en cuanto a su salinidad debido a la influencia con el ACC y ASE (Fig. 39) mientras que el ASsSt del UI y MII incrementa su salinidad debido a las características T-S del AGC.

6.7. Modelo conceptual de la circulación

A continuación se presenta el modelo conceptual de la distribución del Ct y del O₂ en la RI basándose en los resultados de este trabajo. Los resultados señalan que el agua del ASsSt rica en Ct y pobre en O₂ viaja entre los 200 y 400 m de profundidad desde la boca del GC hasta el sureste de la RI (Fig. 44 A). Esta agua llega a la región de los umbrales en donde se inicia la mezcla con agua superficial del AGC de menor concentración de Ct pero mayor en O₂. El viaje continúa hacia el noroeste intercambiando sus propiedades físico-químicas con agua del AGC para convertirse en un agua que en este trabajo se clasificó como "ASsSt de zona Norte" con mayor Ct y O₂ respecto al "ASsSt de la zona Sur". En su recorrido hacia el norte, el ASsSt de la zona Norte, recorre el este de la isla Angel de la Guarda para posteriormente llenar la cuenca Delfín y después regresar hacia el sureste a través del Canal de Ballenas en donde la intensidad de la mezcla es máxima (Fig. 44 A).

El ASsSt de la zona Norte en su recorrido hacia el sur inicia su mayor homogenización de las variables del sistema del CO_2 y O_2 entre las propiedades de las dos masas de agua.

La formación y propiedades físico-químicas de las diferentes zonas en la superficie reportadas en este trabajo, es el resultado de las proporciones en que el AGC y ASsSt que se mezclan en la RI (Fig. 44 B). En el agua de la zona 1 se nota la alta proporción de agua del NGC que la conforma con alto O_2 y Ct bajo en comparación con la zona 2. La zona 2, predomina la señal del ASsSt, presenta bajas temperaturas y alto Ct pero bajo O_2 . El caso de la zona 3 se nota una mayor proporción de ASsSt pero es más cálida y su origen tiene que ver con el salto hidráulico antes reportado en la zona donde se ubica. Al llegar a la superficie el agua de la zona 3 viaja hacia el sureste en donde se estratifica y se calienta llegando a condiciones óptimas para que los procesos fotosintéticos sean más intensos (Fig. 44 B).

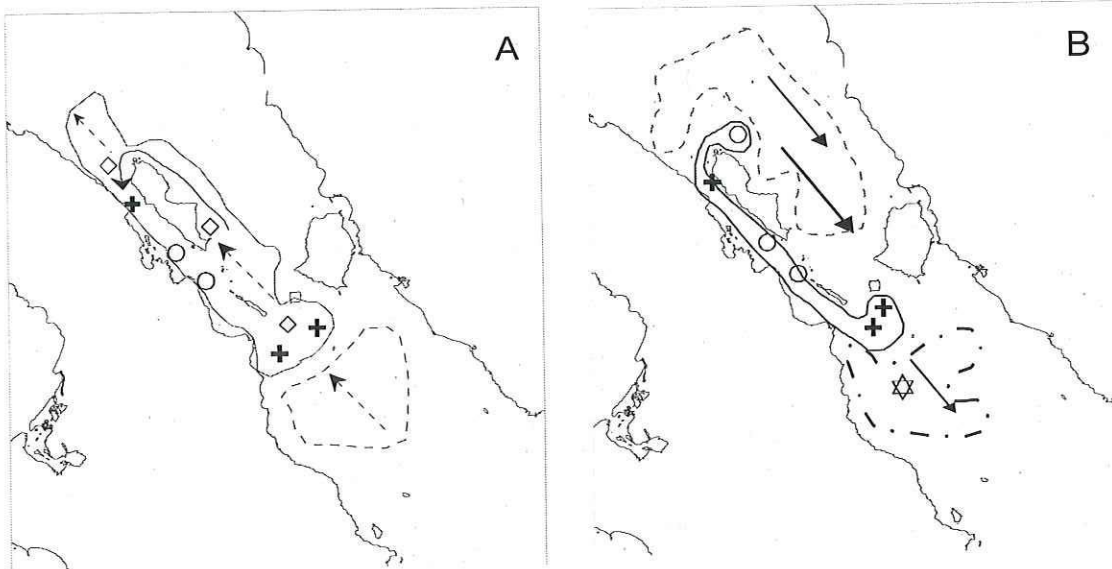


Figura 44. Modelo conceptual. (A) Norte (—) y Sur (---) de ASsSt; (B) Zona 1 (.....), 2 (—) y 3 (---) de AGC. Símbolos: (→) circulación, (---→) circulación por mareas, (+) mezcla por salto hidráulico, (o) mezcla por ascenso de agua profunda, (◇) aireación de aguas profundas y (★) fotosíntesis.

7. CONCLUSIONES

1. Las masas de agua identificadas mediante diagramas T-S fueron: Agua del Golfo de California (AGC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y Agua Profunda del Pacífico (APP), siendo las más predominantes AGC y AssSt correspondiendo a más del 80% del total del volumen en la RI.
2. El AGC se encontró aproximadamente en los primeros 100 m en la capa superficial. El ASsSt tuvo dos distribuciones distintas: al noroeste llenando las cuencas Delfín, Salsipuedes y Tiburón, mientras que al sureste entre 150 y 350 m de profundidad, a excepción de la zona de los umbrales en donde alcanzó los 50 y 75 m. El AIP no atravesó los umbrales y se localizó al sureste, con una profundidad entre los 500 y 800 m; llenando la cuenca de San Pedro Mártir.
3. El AGC presentó tres zonas oceanográficas distintas, las cuales fueron determinadas mediante el parámetro de estratificación (ϕ): a) El agua de la zona 1 (Z1) correspondió a valores de ϕ entre 17 Jm^{-3} y 29 Jm^{-3} , con agua más salina y densa originaria del NGC. Debido a que la Z1 presentó valores bajos de UAO se consideró que esta zona tiene mayor tiempo de residencia en la superficie. b) El agua de la zona 2 (Z2) correspondió a valores de $\phi \leq 17 \text{ Jm}^{-3}$ presentando agua más fría y menos salina. Las isolíneas de temperatura, salinidad, pH y Ct, en esta zona mostraron un transporte de agua desde 100 m de profundidad. c) El agua de la zona 3 (Z3) correspondió a valores de $\phi \geq 30 \text{ Jm}^{-3}$ presentando agua cálida, menos densa y con mayor estratificación.
4. La RI se comportó como una fuente de CO_2 hacia la atmósfera, sobresaliendo la Z2 con los valores más altos de pCO_2 y Ct. Por su parte el pH apoya lo anterior con valores por debajo del valor en equilibrio. De manera general como resultados de la intensa mezcla vertical las variables del sistema del CO_2 y O_2 de la zona 1 y 2 estuvieron altamente correlacionadas con la temperatura y densidad potencial producto de la mezcla vertical.
5. Se caracterizó las masas de agua presentes en la RI mediante valores de pH, At y Ct en conjunto con otros trazadores de masas de agua como temperatura, salinidad y densidad.

6. Mediante el diagrama de mezcla se determinó que los procesos físicos controlaron en su mayoría las variables químicas medidas, siendo los datos superficiales de la Z3 los que presentaron evidencia de procesos fotosintéticos, mientras que los datos superficiales de la zona 1 presentaron procesos fotosintéticos y de respiración. Los datos superficiales y de fondo de la zona 2 estuvieron asociados a mezcla vertical.

7. El ASsSt, al traspasar la región de los umbrales, modifica sus características físico-químicas al mezclarse con AGC. El resultado de esta mezcla, es agua con más O_2 y menos Ct, lo cual es un proceso gradual que ocurre durante su trayectoria del sureste de la RI hasta la cuenca Delfín y a través del Canal de Ballenas.

8. En la comparación temporal de la composición química de las masas de agua entre UI (invierno 2002) y el Megamarco I (verano del 1996) y II (invierno del 1997), la masa de agua que mostró mayores cambios en sus características físico-químicas fue el AGC de verano, lo anterior se atribuyó a que existió una menor influencia del ASsSt. El AGC del verano presentó una concentración menor de Ct, menor de O_2 y mayor de pH con respecto al invierno. No hubo diferencias en ambos inviernos

9. En el Canal de Ballenas también se observó durante verano la modificación del ASsSt con respecto al incremento de O_2 y disminución de UAO. Esto sugiere fuertemente que dicha modificación, también se presenta en las variables del sistema del CO_2 , sin embargo, no se contaron con suficientes muestras en la cuenca. Por lo tanto se considera a la cuenca Delfín y el Canal de Ballenas como un ventilador de O_2 en verano e invierno hacia aguas profundas.

10. En la comparación de las características químicas entre la estación 38, el centro sur del Megamarco II y WOCE se identificaron 5 masas de agua : Agua Superficial Ecuatorial (ASE), Agua de la Corriente de California (ACC), AGC, ASsSt y AIP. En esta comparación se observó que tanto el ASsSt y el AIP no se presentaron modificaciones desde el océano Pacífico hasta el sur de la RI en las concentraciones de las variables del sistema del CO_2 , O_2 y UAO. El ASE, ACC y AGC presentaron valores similares en sus variables químicas, sin embargo en sus características T-S fueron distintas.

8. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Hernández Y. 2002. El sistema de los carbonatos durante el proceso de electrodeposición en tanques de agua de mar natural. UABC. Tesis Licenciatura. pp.
- Argote M. L., A. Amador y M. F. Lavín. 1995. Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California. *J. of Geophys. Res.* Vol. 100 (C8). 16,103-16,118.
- Alvarez-Borrego S. y J. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In Dauphin., J. P. and B.R. Simoneit (eds), *The Gulf and Peninsular Province of the Californias.*, American Association of Petroleum Geologist., Memoir. 47, Tulsa, pp. 555-567.
- Badan-Dangon, A., M. C. Hendershott y M. F. Lavín. 1991. Underway Doppler current profiles in the Gulf of California, *EOS Trans. AGU*, 72 (209). 217-218.
- Bray, N. A. 1988a. Water Mass Formation in the Gulf of California. *J. of Geophys. Res.*, Vol. 93. No. C8. 9223-924.
- Bray, N. A. 1988b. Thermohaline Circulation in the Gulf of California. *J. of Geophys. Res.*, Vol. 93. No. C5. 4993-5020.
- Broenkow W. W. 1965. The distribution of nutrients in the Costa Rica dome in the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Limnol. Oceanog.* 10: 40-52.
- Camiro-Vargas T. K. 2001. Cuantificación potenciométrica de carbono inorgánico total en Cultivos estativos de *Rhodomonas* sp. e *Isochrysis* aff. *galbana* (Clone T-ISO). UABC. Tesis licenciatura. 61 pp.
- Castro R., M.F. Lavín y P. Ripa. 1994. Seasonal heat balance in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* Vol 99 No. C2 3249-3261.
- Castro R., A.S. Mascarenhas, R. Durazo y C. A. Collins. 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. Vol. 26 No. 4. 561-583 pag.
- Carrillo L., M. F. Lavín y E. Palacios-Hernández. 2002. Seasonal evolution of the Geostrophic Circulation in the Northern Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 54. 157-173 pp.
- Delgadillo-Hinojosa, F. 2000. Biogeoquímica del cadmio y manganeso en el Golfo de California. Tesis Doctorado. UABC. 183 pp.
- Delgadillo-Hinojosa, F., J.V. Macías-Zamora, J. A. Segovia-Zavala y S. Torres-Valdés, 2001. Cadmium enrichment in the Gulf of California. *Marine Chemistry* 75. 109-122 pp.
- DelValls, T. A. y A.G. Dickson. 1998. The pH of buffer based on 2-amino-2-hydroxymethyl-1-3-propanediol ('tris') in the synthetic sea water. *Deep-sea -Res. I.* 45: 1541-1554.
- DOE. 1994. handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in the sea water; ver. 2. ORNL/CDIAC-74. Eds. Dickson A. G. and Goyet C.

Falkowski P.G. y J. A. Raven, 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Sci., Inc. Malden, Massachusetts. 375 pp.

Furhmann, R. and A. Zirino. (1988). High-resolution determination of the pH of seawater with a flowthrough system. *Deep-Sea Res.* Vol. 35 (2): 197-208.

Gaxiola-Castro G. y S. Alvarez-Borrego. 1978. Sistema del bióxido de carbono en Golfo de California. *Ciencias Marinas.* Vol. 5. No. 2. 25-39.

Gaxiola-Castro G., J. García-Cordova, J. E., Valdez-Holguin y M. Botello-Ruvalcaba 1995. Spatial distribution of chlorophyll a and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. *Cont. Shelf. Res.* 15. 1043-1059.

Gaxiola-Castro G., S. Álvarez-Borrego, M. F. Lavín, A. Zirino y S. Nájera-Martínez. 1999. Spatial variability of the photosynthetic parameters and biomass of the Gulf of California phytoplankton. *J. of Plankton Res.* Vol 21. No. 2. 231-245.

Godínez-Sandoval V. M., M. Lavín, L. G. Álvarez-Sánchez, S. Sánchez-Mancilla y R. Ramírez-Mendoza. 2003. Datos hidrográficos de la campaña oceanográfica: Alto Golfo de California FU0002: del 24 de febrero al 1 de marzo del 2000. Informe técnico 2332. Comunicaciones Académicas, Serie Oceanografía Física, CICESE. 110 pp.

Hernández-Ayón, J. M., Belli S. L. y A. Zirino. 1999. pH, alkalinity and total CO₂ in coastal seawater by potentiometric titration with a difference derivative readout. *Anal. Chim. Acta* 394.101-108.

Hernández-Ayón, J. M. 2000. Efectos de procesos físicos, químicos y biológicos sobre parámetros del sistema del CO₂ en dos regiones costeras: El Golfo de California y una región de la Antártica. UABC. Tesis Doctorado.157 pp.

Hernández-Ayón J. M., A. Zirino W., S. G. Marinone, R. Canino-Herrera y M. S. Galindo-Bect. 2003. Relación pH – Densidad en el Agua de Mar. *Ciencias Marinas* 29(4): 497-508.

Hernández-Flores, M. E. 1981. Relación de la distribución de foraminíferos con algunos parámetros oceanográficos de la parte central del Golfo de California. Tesis licenciatura. UABC.

Hidalgo-González R., Álvarez-Borrego S. y A. Zirino. 1997. Mezcla en la región de las grandes islas del Golfo de California: Efecto de la pCO₂ superficial. *Ciencias Marinas.* Vol. 23. No. 3. 317-327 pp.

Holm-Hansen O., C. D. Hewes, V. E. Villafañe, E. W. Helbling, N. Silva y T. Amos. 1997. Distribution of phytoplankton and nutrients in relation to different water masses in the area around Elephant Island, Antarctica. *Polar Biol.* 18: 145-153.

Lavín M. S., G. Gaxiola-Castro y J. M. Robles. 1995. Winter water masses and nutrients in the northern Gulf of California. *J. of Geophys. Res.* Vol. 100. No. C5. 8587-8605 pp.

Lewis D. y W. R. Wallace. 1998. CO₂System. Program developed for CO₂ system calculation. Oak Ridge National Laboratory. ORNL/CDIA-105.

Libes S. 1992. An introduction to Marine Biogeochemistry. E. U. A. John Wiley & Sons, Inc. 734 pp.

Lopez Mariscal J. M. y J. A. García Cordova. 2003. Moored observations in the northern Gulf of California: A strong bottom current. *Journal of Geophysical Research*, 108, C2, 3048 (1-18).

Luecker T. J., A. G. Dickson y C. D. Keeling. 2000. Ocean pCO₂ calculated from dissolved inorganic carbon, alkalinity and equations for K₁ y K₂: validation based on laboratory measurement of CO₂ in gas in seawater at equilibrium. *Marine Chemistry*. 70. 105-119 pp.

Marinone Moschetto S. G. L. y M. F. Lavín Peregrina. 2003. Residual flow and mixing in the large islands region of the Central Gulf of California. *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics* O.U. Velasco Fuentes, J. Sheinbaum y J. Ochoa, 213-236, Editorial Kluwer Academic Publishers.

Mathewson J. H. 1992. Chemical Oceanography. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. Vol 3. 189-204.

Millero F. J. and M. Sohn. 1992. *Chemical Oceanography*. CRS Press London. 269-319.

Millero F. J. 1996. *Chemical Oceanography*. CRS Press London. 469 pp.

Millero F. J., E. A. Degler, D. W. O'Sullivan, G. Goyet y G. Eiseheid. 1998. The carbon dioxide system in the Arabian Sea. *Deep-Sea Res. II* (45). 2225-2252.

Mernbach, C., Culbertson, C. H., Hawley, J.E. y Pytowicz, R.M. 1973. Measurement of the apparent dissociation constants of carbonic acid in seawater at atmospheric pressure, *Limnol. Oceanogr.* 18: 897-90.

Montes-Hugo M.A., S. Álvarez-Borrego y A. Zirino 1998. En invierno el flujo neto de aire-agua de CO₂ no es significativo en el Golfo de California al norte de 30 °N. *Ciencias Marinas*. Vol. 24. No. 4. 483-490 pp.

Redfiel B., H. Ketchum y F. A. Richards. 1963. The influence of organism on the composition of sea-water. (2), 26-77. En M. N. Hill, E. D. Goldberg, C. O'D. Iselin y W. H. Munk [eds.]. *The sea*. Interscience. London.

Paden C. A., C.D. Winant y M. R. Abbott. 1993. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the gulf of California. 2. Surface heat flux. *J. Geophys. Res.*, 20091-20103.

Santamaria del Angel, E., S. Álvarez-Borrego, F.E. Muller-Karger, 1999. Gulf of California biogeographic regions based on coastal color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* 99: 7411-7421.

Santamaria del Angel, E., S. Álvarez-Borrego, F.E. Muller-Karger, 1994: The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *J. Geophys. Res.* Vol. 99. NO. C4. 7423-7431.

SIO. 1965. Scripps Institution of Oceanography. *Physical and Chemical Data*. Referencia 66-2. October-November 1961.

Simpson J. H. y D. Bowers. 1981. Models of stratification and frontal movement in shelf seas. *Deep-Sea Res.*, 28A(7): 727-738 pp.

Soto-Mardones L., S.G. Marinone y A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espacio temporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 25 (1): 1-30 pp.

Torres-Valdés, S. 2000. Distribución espacial y variabilidad temporal de nutrientes en el Golfo de California. Tesis Maestría. UABC. Ensenada. México 62 pp.

Torres-Delgado V. E. 2004. Distribución espacial de nutrientes inorgánicos en la Región de las Grandes Islas del Golfo de California bajo condiciones de invierno. (in press).

Torres-Orozco, E., 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis Maestría. CICESE. Ensenada. México. 80 pp.

Zirino A., Hernández-Ayón J.M., Furhrmann R.A., Alvarez-Borrego S., Gaxiola-Castro G., Lara-Lara J.R. y R. L. Bernstein. 1997. Estimaciones superficiales de $p\text{CO}_2$ en el Golfo de California a partir de mediciones continuas de pH e imágenes de satélite. *Ciencias Marinas*. Vol. 23 No.1. 1-22 pp.