

RESUMEN

Julián Alberto Delgadillo Marín¹, Nancy Liliana Villegas Bolaños², Daniela Montaño Bello³

¹ Grupo de Estudio de Asuntos Antárticos. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia, e-mail: jadelgadillo@unal.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia, e-mail: nlvillegas@unal.edu.co

³ Grupo de Investigación en Oceanología CENIT. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia, e-mail: dmontanob@unal.edu.co

El presente estudio contribuye al conocimiento de las capas de agua, los componentes de la estabilidad termohalina y la estructura fina vertical del estrecho de Gerlache. La región se ubica al oeste de la península Antártica, entre la costa Danco y el archipiélago de Palmer, emarcada en los 64° - 65° S y 61° - 64° W. Se utilizó información de 0.25x0.25 del World Ocean Atlas (WOA18) para analizar mensual y anualmente las variables Temperatura (T , °C) y Salinidad (S) del período base climatológico 1981 – 2010. Se determinó la profundidad y grosor de las capas cuasihomogénea, termoclinia, haloclina, pionoclina e inferior, calculando gradientes verticales de T , S y densidad (σ , kg/m³) en los sectores norte, centro y sur del estrecho. La estabilidad termohalina (E) se evaluó con el criterio de Hesselberg-Svendrup identificando el aporte de los componentes térmico (E_t) y halino (E_h) en la estabilidad general (E) y la Frecuencia de Vaisala-Brunt (N). Los mecanismos de estructura fina vertical se identificaron a través de la Relación de Estabilidad (R_E). La mayor oscilación de las capas determinadas se presenta en la zona central, donde el máximo espesor de la termoclinia fue de 90 m en el verano austral y un mínimo grosor en invierno. La haloclina tuvo un espesor máximo en otoño (220 m) y un mínimo en primavera (105 m). La pionoclina mostró un grosor alededor de 300 m durante los 12 meses. El componente E_h presentó el mayor aporte en E , exhibiendo estabilidad positiva de 0 a 300 m e indiferente a mayores profundidades. Los valores de N mostraron que los procesos de mezcla se desarrollan principalmente a nivel superficial en verano y en menor medida en invierno. La estructura fina evidencia por encima de los 60 m una Estabilidad Absoluta (E_A), por debajo de los 60 m prevalece la estabilidad de Convección por Capas (CC), observando una estratificación por dedos salinos (DV) de 300 a 325 m y de 375 a 400 m en algunas estaciones. Se sugiere analizar la estructura vertical de la columna de agua con información in situ, que permita detallar la dinámica de las corrientes y la distribución de las masas de agua en el estrecho de Gerlache.

Palabras clave: Termoclinia, Hesselberg-Svendrup, Dedos Salinos, Vaisala-Brunt, WOA18.

AREA DE ESTUDIO, DATOS Y METODOLOGIA

El estrecho de Gerlache se localiza al Oeste de la Península Antártica (OPA) entre 64° - 65° S y 61° - 64° W (Fig. 1), tiene alededor de 6-32 km de ancho y 161 km de largo. Se ubica entre la costa Danco y el archipiélago de Palmer. Según García et al. (2002), la fosa de Palmer con profundidad de 500-1000 m demarca su límite oriental conectando con el estrecho de Bismarck. En su parte central, presenta profundidades menores a 500 m. Al este, limita con el estrecho de Bransfield, con profundidades mayores a 1000 m. Una corriente superficial persistente se presenta a lo largo del estrecho de 10-18 cm/s que varía estacionalmente con sentido noreste hacia el corriente de Bransfield (Zhou et al., 2002). Los valores más altos de biomasa y productividad se registran tanto en las bahías como en el centro del estrecho en comparación con regiones circundantes durante el verano austral (Burkholder & Sieburth, 1961).

Los datos utilizados son la Temperatura (T , °C) y Salinidad (S) extraídos del World Ocean Atlas (WOA18) con resolución 0.25°, del período 1981-2010 (Locarnini et al., 2019; Zweng et al., 2018). Se designaron 12 estaciones (G1 - G12; Fig. 1, Tabla 1), con datos disponibles de T y S en la columna de agua. Esta información permitió la revisión general para el análisis superficial de T y S , y la selección de 5 que cubren las zonas sureste (G1), central oeste (G2), zona central este (G4) y zona noreste (G8 y G12), para realizar transeptos y analizar la columna de agua.

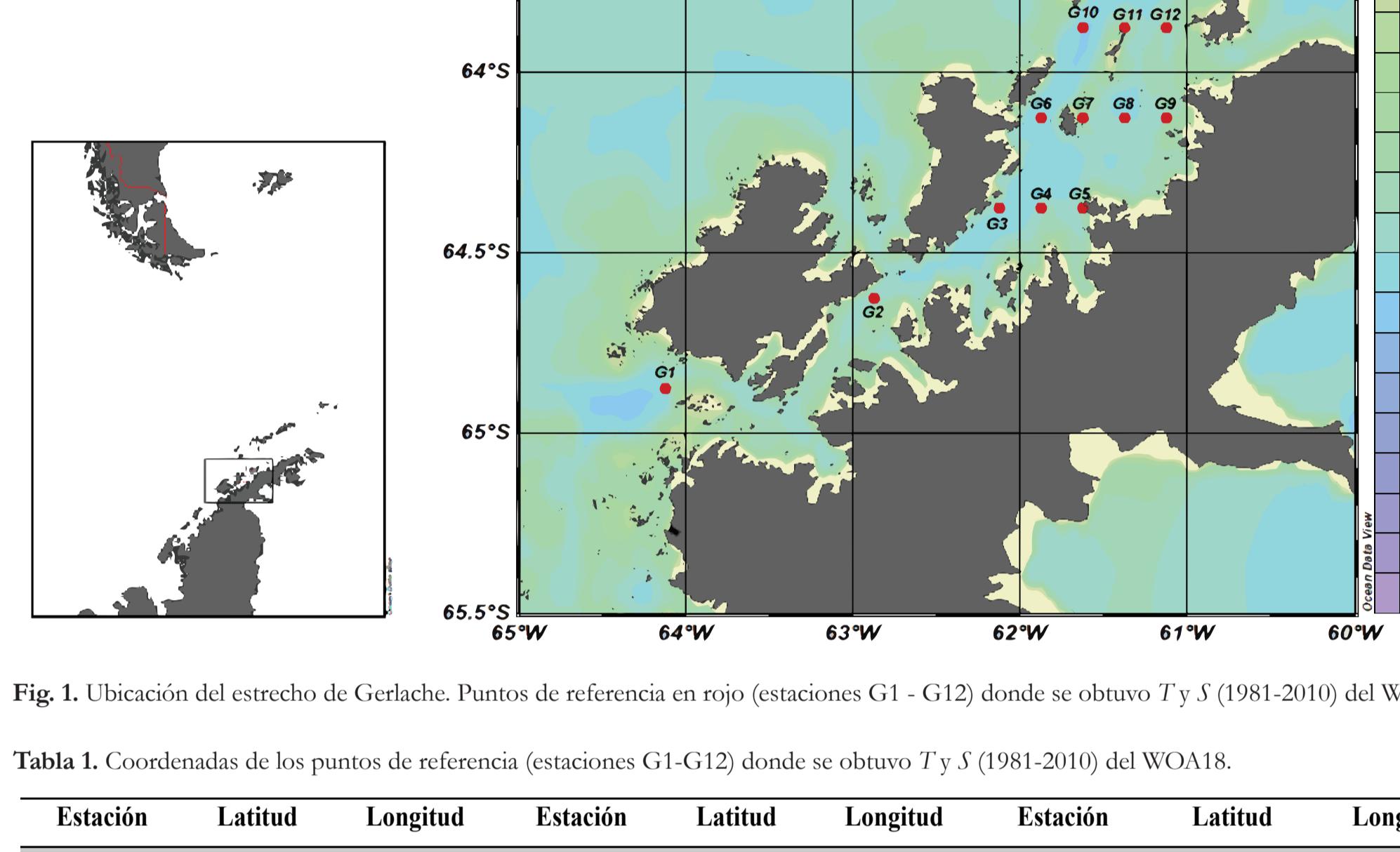


Fig. 1. Ubicación del estrecho de Gerlache. Puntos de referencia en rojo (estaciones G1 - G12) donde se obtuvo T y S (1981-2010) del WOA18.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de referencia (estaciones G1-G12) donde se obtuvo T y S (1981-2010) del WOA18.

Estación	Latitud	Longitud	Estación	Latitud	Longitud	Estación	Latitud	Longitud
G1	-64.875	-64.125	G5	-64.375	-61.625	G9	-64.125	-61.125
G2	-64.625	-62.875	G6	-64.125	-61.875	G10	-63.875	-61.625
G3	-64.375	-62.125	G7	-64.125	-61.625	G11	-63.875	-61.375
G4	-64.375	-61.875	G8	-64.125	-61.375	G12	-63.875	-61.125

El criterio de Hesselberg-Svendrup (E) se calcula como se muestra en la siguiente ecuación (Malinin (1998) en Villegas 2004)

$$E = \frac{\partial \rho}{\partial S} \frac{dS}{dz} + \frac{\partial \rho}{\partial T} \frac{dT}{dz} + \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \frac{d\sigma}{dz} \quad (1)$$

Donde, $\frac{\partial \rho}{\partial S}$ es la corrección del cambio de la densidad por el cambio de salinidad; $\frac{dS}{dz}$ es el gradiente vertical de salinidad; $\frac{\partial \rho}{\partial T}$ es la corrección del cambio de densidad por el cambio de temperatura; $\frac{dT}{dz}$ es el gradiente vertical de temperatura; $\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}$ es el gradiente adiabático de temperatura.

El primer miembro de (1) representa el aporte de la S en la estabilidad de la columna de agua y se le denomina E_S , los dos miembros restantes de (1) representan el aporte de la T en la estabilidad y se les denomina E_T , por lo tanto, se tiene que:

$$E = E_S + E_T \quad (2)$$

A la sumatoria de los componentes de E_S y E_T se le denomina estabilidad termohalina total E y es un criterio significativo para comprender cómo se ve afectada la estabilidad vertical en las capas del océano entre las épocas cálidas y frías del año. Si $E > 0$ se habla de un equilibrio estable, si $E < 0$ es inestable y si $E = 0$ es indiferente.

El criterio que caracteriza la frecuencia de las oscilaciones verticales en el océano estratificado se denomina Frecuencia de Vaisala-Brunt (N). Por lo general, los valores mínimos de N en el océano mundial se encuentran entre 10^{-4} y 10^{-1} /seg y los valores máximos hasta 10^2 /seg, para la capa de la termoclinia estacional. N se calcula mediante la ecuación:

$$N = \sqrt{\frac{\partial \rho}{\partial \sigma}} \quad (3)$$

Donde, $\rho = 9.81 \text{ m/s}^2$; σ es la densidad; $d\sigma/dz$ es el gradiente vertical de densidad.

El criterio de Relación de Densidad R_E se calcula mediante la ecuación:

$$R_E = -\frac{E_S}{E_T} \quad (4)$$

Se observan posibles cuatro tipos de estratificación:

1. Estabilidad total o absoluta (E_A): $\frac{\partial \rho}{\partial S} < 0$, $E_T > 0$, $E_S > 0$, $R_E < 0$, $R_H < 0$

2. Estabilidad por tipo de dedos salinos (DV): $\frac{\partial \rho}{\partial S} > 0$, $\frac{\partial \rho}{\partial T} > 0$, $E_T > 0$, $E_S < 0$, $R_E < 0$, $R_H > 0$

3. Estratificación por tipo de convección por capa (CC): $\frac{\partial \rho}{\partial T} > \frac{\partial \rho}{\partial S} > 0$, $E_T > 0$, $E_S < 0$, $R_E > 0$, $R_H > 0$

4. Inestabilidad total (L): $\frac{\partial \rho}{\partial S} > 0$, $\frac{\partial \rho}{\partial T} > 0$, $E_T < 0$, $E_S < 0$, $R_E < 0$

Se calcula la estabilidad termohalina con el criterio de Hesselberg-Svendrup (E , kg/m³), el componente de estabilidad térmica (E_T , kg/m³), el componente de estabilidad salina (E_S , kg/m³) y la Frecuencia de Vaisala-Brunt (N , s⁻¹) y se grafican los perfiles. Se calcula la Relación de Densidad del medio (R_E) para la columna de agua según los correspondientes aportes de E_T y E_S en la estabilidad E . Con base en estos valores y los gradientes verticales de T , S y σ se determina la estructura fina de la columna de agua en cada una de las estaciones.

RESULTADOS

Comportamiento anual climatológico de Temperatura Superficial del Mar (TSM , °C) y Salinidad Superficial del Mar (SSM) en el período 1981-2010

En la Tabla 2 se muestran los valores máximos, mínimos, amplitud y promedio del comportamiento anual climatológico de la TSM y la SSM del período 1981-2010. En general se identifican valores más altos en la zona sureste con 1.75 °C y 33.47 psu y la zona noreste con 2.00 °C y 33.48 psu.

La Tabla 2. Valores máximos, mínimos, amplitud y promedio del comportamiento anual climatológico de TSM (°C) y SSM para el período 1981-2010 en estaciones del estrecho de Gerlache, obtenidos con datos del WOA18.

Est.	TSM, °C				SSM, psu			
	Max	Mín	Amplitud	Promedio	Max	Mín	Amplitud	Promedio
G1	1.75	-1.61	3.36	-0.25	34.16	33.19	0.97	33.76
G2	2.00	-1.58	3.58	-0.12	34.24	33.50	0.74	33.83
G3	1.80	-1.73	3.53	-0.23	34.30	33.55	0.75	33.88
G4	1.75	-1.72	3.47	-0.16	34.36	33.61	0.75	33.93
G5	1.69	-1.73	3.42	-0.16	34.40	33.65	0.75	33.95
G6	1.67	-1.64	3.31	-0.20	34.31	33.68	0.63	33.97
G7	1.62	-1.61	3.23	-0.19	34.36	33.70	0.66	33.98
G8	1.54	-1.74	3.28	-0.26	34.38	33.73	0.65	33.99
G9	1.47	-1.59	3.06	-0.29	34.39	33.69	0.7	33.99
G10	1.60	-1.68	3.28	-0.17	34.32	33.81	0.51	34.01
G11	1.55	-1.59	3.14	-0.18	34.34	33.76	0.58	34.05
G12	1.50	-1.55	3.05	-0.17	34.37	33.79	0.58	34.07

Capa Cuasi-Homogénea (CCH), Capa Ión/Termática (CTT) y Capa Isohalina (CHI)

La Fig. 2 muestra los perfiles del promedio mensual multianual del período 1981-2010 de T (°C) y S para las zonas sureste (G1; Fig. 2a y Fig. 2b), central (G2; Fig. 2c y Fig. 2d), central este (G4; Fig. 2e y Fig. 2f), noroeste (G8; Fig. 2g y Fig. 2h) y noreste (G12; Fig. 2i y Fig. 2j) del estrecho de Gerlache. En los primeros 150 m se observa la variación de la T y S de las aguas más superficiales, en la Capa Cuasi-Homogénea (CHI), debido a los mecanismos dominantes de la dinámica atmosférica, la formación y derretimiento de hielo marino, entre otros (García et al., 2002). Por debajo de los 150 m los efectos atmosféricos se reducen y las T y S registran valores más homogéneos y menos dispersos. En el verano austral, la termoclinia cuenta con su máximo espesor, y en invierno (julio y agosto), casi desaparece debido a que la columna de agua presenta inestabilidad térmica. La haloclina cuenta con su mínimo espesor en la primavera (septiembre), y un máximo en otoño (abril).

La CTT presenta su mayor grosor durante el otoño austral (Tabla 3), extendiéndose de 0 a 12-15 m en las zonas del estrecho (Figs. 2a-2j). El valor promedio de esta capa varía siendo la más alta de 0.46 °C en el sureste (G1), y la más baja de -0.10 °C en la zona noreste (G12). En las demás estaciones del año, la CTT se extiende de 0 a 5 - 7 m (Figs. 2a-2j). La T promedio de la CTT más alta se registra en verano con 1.28 °C en la zona central oeste (G2) y la más baja en primavera de -1.46 °C en el sureste (G1).

Tabla 3. Valores estacionales del espesor (m) y la temperatura promedio (T , °C) de la Capa Iso térmica (CTT) y la termoclinia en el estrecho de Gerlache. Datos del WOA18 para el período 1981-2010.

Punto