

## CARTILLA PRÁCTICA N°6 TEMPERATURA Y SALINIDAD

### Objetivos de la actividad:

- Apreciar el gradiente térmico vertical en el océano y su importancia en la limitación del movimiento vertical del agua.
- Entender la física de las surgencias (upwelling) y su importancia en la temperatura de las aguas costeras y en la moderación del clima.
- Aprender cómo la salinidad varía en los océanos y cuál es la importancia de los ríos, precipitaciones, temperatura y hielos en la variabilidad de la salinidad.

### Definiciones

**Conductividad:** La habilidad de un fluido de conducir corriente eléctrica. La conductividad aumenta con el contenido de la sal. La salinidad puede determinarse midiendo la conductancia del agua de mar mediante un dispositivo electrónico llamado salinómetro.

**Densidad:** Se define como la masa por unidad de volumen de una sustancia. En el sistema métrico, las unidades para un líquido son gramos por centímetros cúbicos. El agua de mar tiene una densidad aproximada de  $1.025 \text{ g/cm}^3$  mientras que el agua dulce tiene una densidad de  $1.000 \text{ g/cm}^3$ .

**Downwelling:** Movimiento hacia abajo (hundimiento) de la superficie del agua causado por el transporte de Ekman producido en la costa, corrientes convergentes, o cuando las masas de agua se vuelven más densas que el agua circundante.

**Isohalinas:** Líneas que conectan puntos con igual salinidad en el océano.

**Isoterma:** Líneas que conectan puntos con igual temperatura, ya sea en la superficie del mar como más profundo.

**Titulación de Knudsen:** Método clásico de determinación de clorinidad. Los haluros (cloro, yodo y bromo) son precipitados por un volumen estándar de agua de mar mediante una solución de nitrato de plata. El análisis es calibrado mediante un estándar o agua de mar normal llamada *Agua Copenhague*.

**Capa de mezcla:** La zona de temperatura del agua encima de la termoclina donde el viento y las corrientes mezclan las aguas superficiales y transportan el calor hacia abajo.

**Termoclina:** Gradiente o rápida disminución de la temperatura con el aumento de la profundidad en un cuerpo de agua; y la capa en la cual ese gradiente ocurre. La termoclina permanente en el océano ocurre entre niveles de cerca de 200 metros y 1000 metros, y separa casi uniformemente aguas superficiales calientes de aguas profundas densas y muy frías.

**Upwelling/surgencia:** Proceso en el cuál el agua sube desde la profundidad hacia la superficie, usualmente como resultado del flujo de agua marina. Este proceso es más prominente cuando el viento sopla paralelo a la línea de costa, como consecuencia el transporte de Ekman mueve el agua superficial lejos de la costa.

## Densidad impulsora de movimiento

La radiación solar es absorbida por el agua de mar y almacenada en forma de calor en los océanos. Esta energía absorbida evapora el agua de mar y aumenta su temperatura y salinidad. Calentar una sustancia produce su expansión y disminuye su densidad (masa/unidad de volumen) y cuando se enfría su densidad aumenta. La adición o sustracción de sales también causa el cambio de la densidad del agua de mar: las aguas con alta salinidad tendrán más densidad. La presión es otro factor que afecta la densidad: cuando la presión aumenta con la profundidad también lo hace la densidad del agua. Los cambios en la densidad son procesos que producen el movimiento de las aguas. Por ello es interesante conocer la distribución de la salinidad y temperatura, ya que son dos factores que determinen la circulación termohalina vertical.

## Influencias sobre la densidad del agua

De los tres factores (salinidad, temperatura y presión) que afectan la densidad del agua, los cambios en la temperatura tienen el mayor efecto. Para reconocer la importancia que tiene la temperatura sobre la densidad del agua, se puede realizar una comparación cuantitativa del efecto que ejerce el cambio en la temperatura y salinidad sobre la densidad. El efecto de la presión es poco variable en aguas menores a 1000 metros. Un cambio en la salinidad de una parte de sal por mil partes de agua (1‰) tiene mayor efecto en la densidad que un cambio de temperatura de 1°C. Sin embargo, cuando consideramos las aguas superficiales de los océanos, vemos que la temperatura es un factor más importante debido a que sus variaciones (2° a 35°C) son mucho mayores que las variaciones de la salinidad (rango de 33 a 37‰).

## La termoclina

La **termoclina** permanente, es una capa de agua en la cual ocurre una disminución rápida de la temperatura con la profundidad, actuando así como una barrera de densidad para la circulación vertical. Es decir, la termoclina puede ser vista como el piso de la superficie de las aguas de baja densidad, o **capa de mezcla**, y como el techo de las aguas frías y más densas (Figura 1). En la mayor parte del planeta, los movimientos del agua a larga escala verticales entre el fondo y la superficie, son inhibidos por el fuerte contraste de densidad entre estas dos capas. Sin embargo, en las regiones polares, las aguas superficiales son mucho más frías y por ello más densas, por lo que es pequeña la variación existente entre las aguas superficiales y las aguas más profundas. Allí la circulación vertical tiene lugar ya que las aguas superficiales se hunden y reponer a las aguas más profundas de los principales océanos.

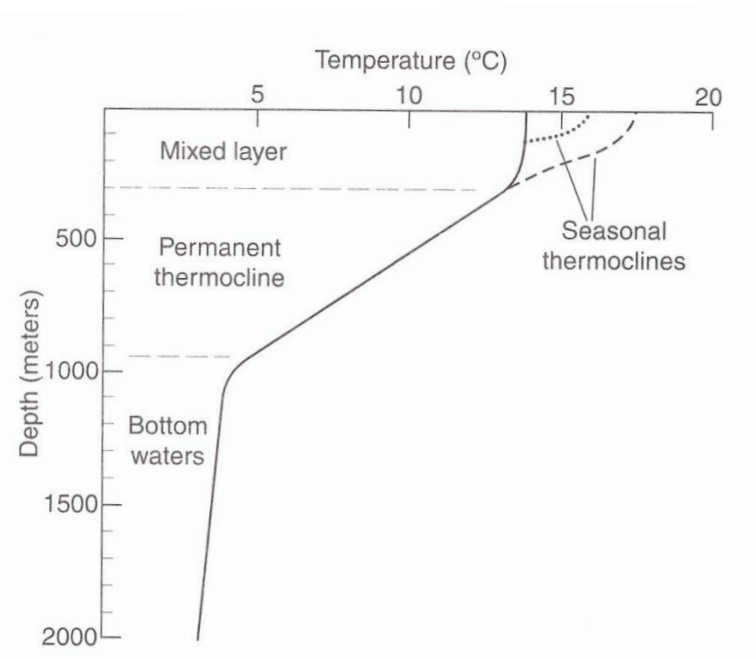


Figura 1. Termoclina permanente.

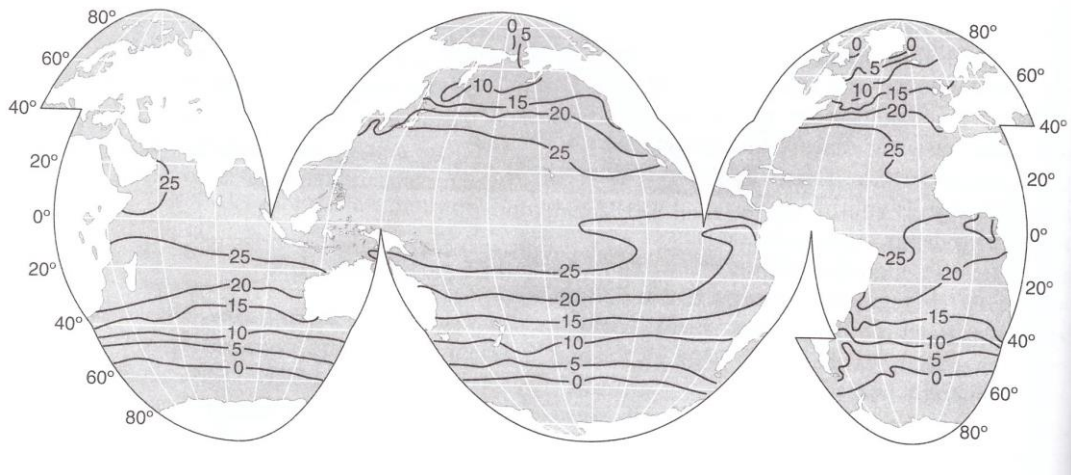
## Temperaturas superficiales

La distribución de las temperaturas superficiales en la mayoría de los océanos se muestra en la Figura 2. Los puntos de igual temperatura están conectados por **isotermas**. Nótese que las isotermas tienden a deformarse hacia el ecuador sobre el lado este de los océanos, y hacia el polo hacia la zona oeste. Esto es debido a que el mayor patrón de circulación por el cual las aguas cálidas son transportadas del ecuador hacia los polos es por el lado oeste de los océanos, y las aguas más frías desde el subártico van al ecuador por el lado este.

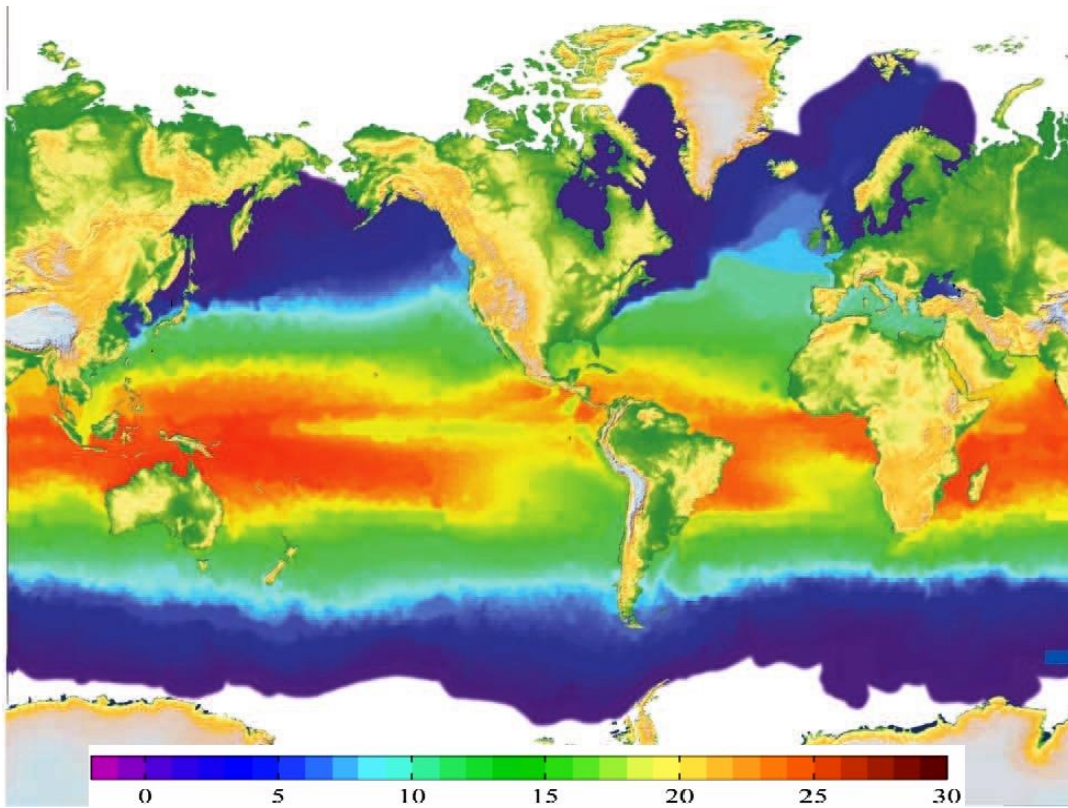
## Upwelling

Los **upwelling** son otro elemento que ejerce influencia sobre las temperaturas superficiales en las aguas costeras de las cuencas oceánicas, implican la llegada del agua más fría proveniente de las profundidades del océano. En algunas zonas costeras el movimiento de viento, combinado con el efecto de Coriolis empuja el agua superficial lejos de la costa, por lo que las aguas más profundas suben a la superficie para remplazar al agua expulsada (Figura 3). Los upwelling son detectados por la medición de la temperatura superficial, ya que producen aguas más frías cerca de la costa, y causan la deformación de las isotermas. A lo largo de la costa de Oregon y en Florida (California, EEUU) los upwellings son particularmente importantes, allí la masa de agua fría y rica en nutrientes sustenta la pesca deportiva y comercial en las aguas cercanas a la costa

A)



B)



**Figura 2.** Distribución de las temperaturas superficiales del océano. A) Isothermas; B) Imagen satelital

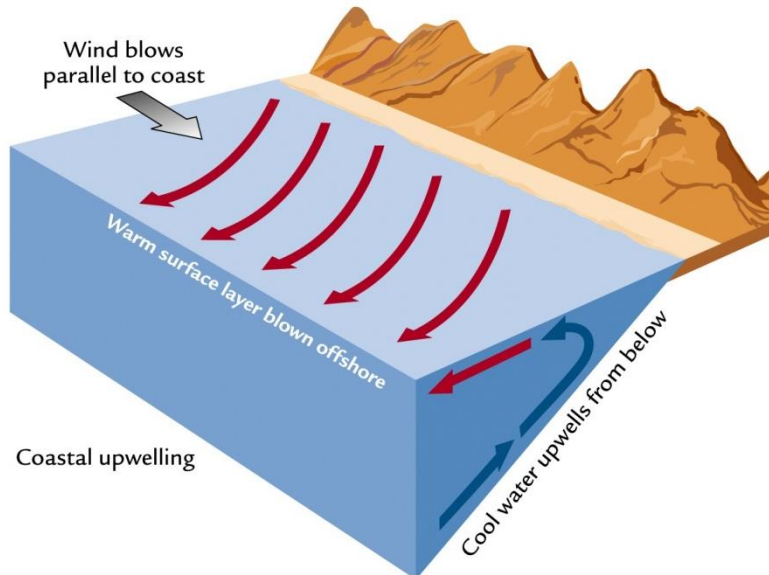


Figura 3. Upwelling costero

Cuatro formas diferentes de upwelling se muestran en la Figura 4. El viento que sopla consistentemente desde la tierra hacia el océano puede empujar las aguas superficiales hacia el mar, y el agua superficial es reemplazada por agua del fondo Figura 4a. Los upwelling pueden ser causados por el movimiento de las aguas costeras desviadas por una lengua de tierra en la orilla, lo que provoca que aguas más profundas se levanten en la bahía Figura 4b. Una de las regiones en el océano más importantes desde el punto de vista biológico es la región del upwelling ecuatorial Figura 4c, en el cual la separación de las aguas superficiales por los vientos alisos traen aguas frías y ricas en nutrientes a la superficie. Finalmente, el hundimiento de aguas superficiales (**downwelling**) cerca del continente Antártico causa un upwelling de aguas intermedias lejos del continente Figura 4d.

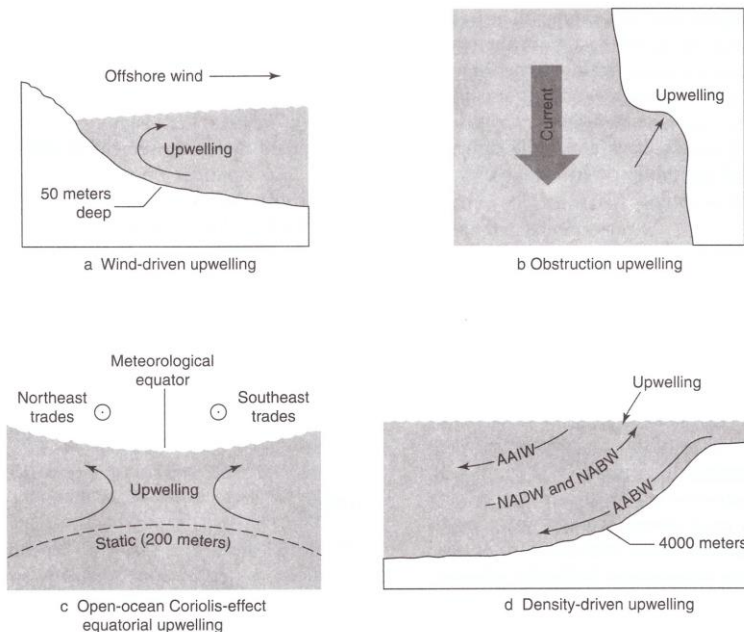


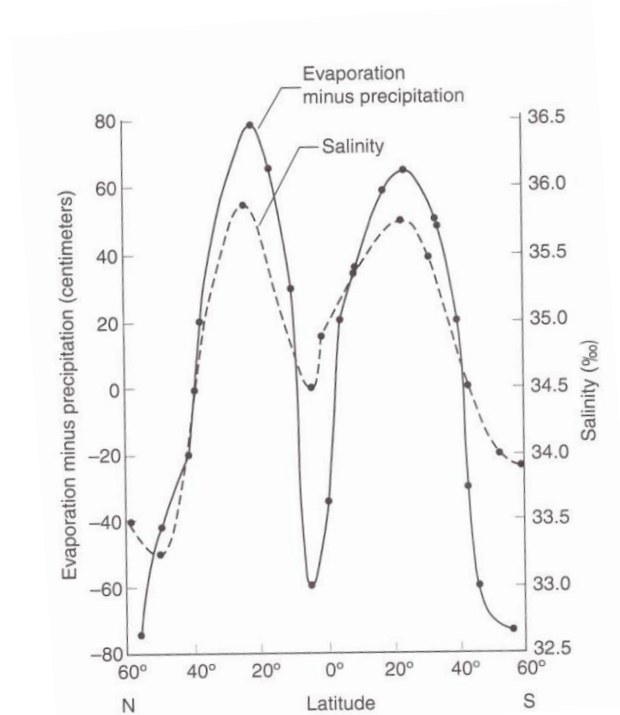
Figura 4. Diagramas de varios tipos de upwellings

## Distribución de la Salinidad

Los océanos obtienen su salinidad de la erosión y disolución de los minerales en la tierra y de las emisiones volcánicas. Los constituyentes minerales móviles son llevados en solución por los ríos al mar, donde son acumulados y son reciclados por varios procesos. La salinidad es una propiedad “conservativa”; es decir, se mantiene constante por todo el océano por largos períodos de tiempo. No obstante, la salinidad sobre la superficie del océano varía localmente, dentro de ciertos límites. El promedio de la salinidad de los océanos en su totalidad es de 34,73 partes por 1000 partes de agua (34,73 ‰), pero se han medido salinidades en el océano abierto con concentraciones de entre 33,0‰ y 37,0‰. Altas concentraciones o diluciones de sal solo se hallan en mares cerrados o aguas costeras. Dichos extremos se deben en gran parte a una excesiva escorrentía desde la tierra, o a altas tasa de evaporación y poca mezcla de las aguas, como sucede en el Mar Rojo y el mar Mediterráneo.

Las variaciones generales de la salinidad están zonificadas desde el ecuador hasta los polos. Los valores son bajos en el ecuador, y mayores en regiones subtropicales y latitudes medias, y más bajos en las regiones polares. Los principales procesos responsables de ésta distribución son la evaporación, precipitación y mezcla. Donde la evaporación excede a la precipitación, los valores de salinidad son altos, y en áreas con alta precipitación, como el ecuador, la salinidad es más baja. Figura 5. La distribución de la salinidad superficial de los principales océanos para el mes de Agosto se muestra en la Figura 6. Los puntos de igual salinidad están conectados por las **isohalinas**.

El agua se congela a 0°C, pero la adición de sal baja su punto de congelación. A una salinidad de 35‰ el punto de congelación del agua es menor a -1,9°C, casi 2°C menor que el agua dulce. En las regiones polares, cuando ocurre el congelamiento, la sal es liberada del hielo a medida que este se forma, provocando que la temperatura de congelación del agua cercana disminuya. Esto se debe a que el agua cercana al hielo se vuelve más salina y densa, y se detiene el congelamiento hasta que la temperatura baje al nuevo punto de congelación.



**Figura 5.** Distribución de la salinidad superficial de los océanos vs la evaporación menos precipitación.

## Determinación de la Salinidad

La salinidad del agua de mar no es una propiedad difícil de determinar. La razón es que independientemente de la concentración absoluta de sal en solución, los constituyentes disueltos principales existen virtualmente en proporciones constantes entre sí. Está demostrado que existe una constancia de proporciones de cerca de doce constituyentes disueltos en el agua de mar. Por lo que, teóricamente, es posible conocer la concentración de los principales iones disueltos en una muestra de agua de mar, si se conoce la concentración de los otros principales constituyentes. En la práctica esto no es tan simple debido a la dificultad analítica que implica distinguir entre varios de estos elementos. Debido a que el cloro es el ion disuelto más común y uno de los más fácil de determinar de forma precisa, su concentración es determinada usualmente mediante el procesamiento de **Titulación de Knudsen**, donde la medida de la salinidad es calculada según:

$$\text{Salinidad (‰)} = 1,80655 \times \text{clorinidad (‰)}$$

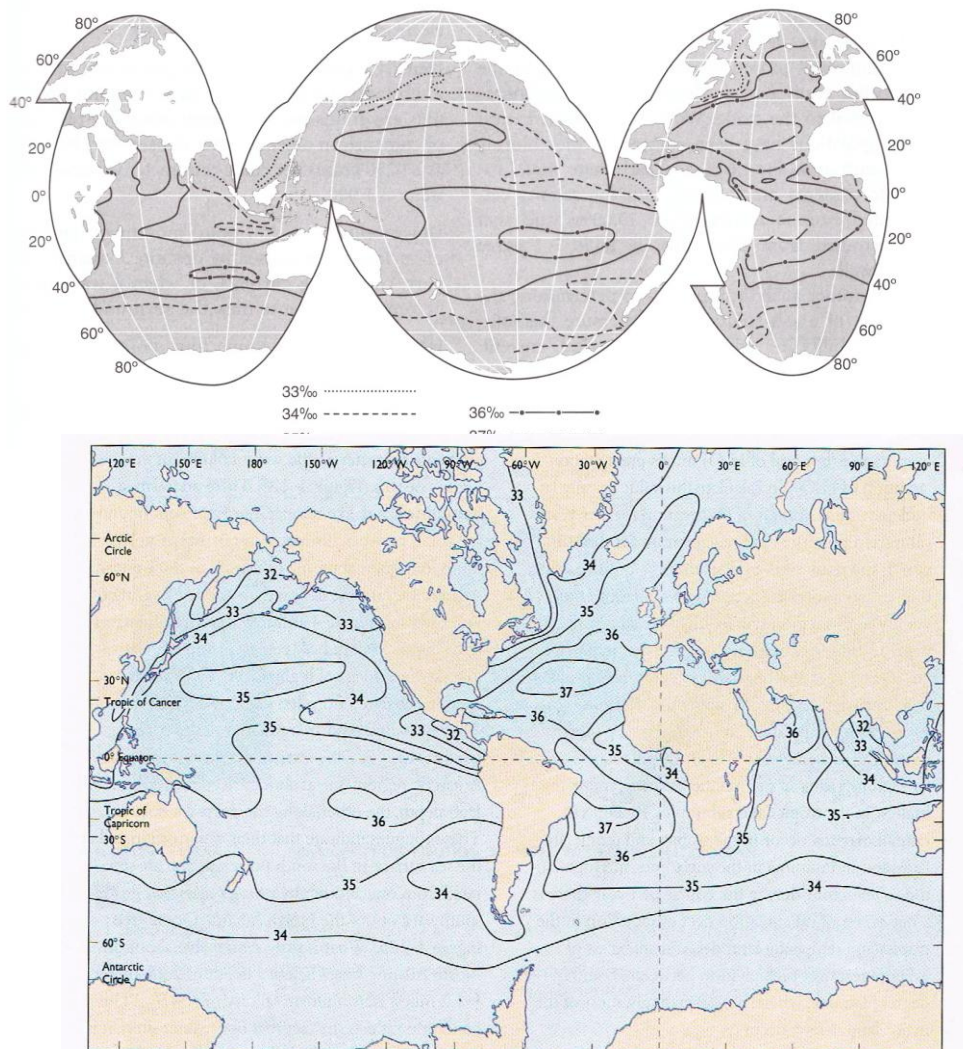
Otro método analítico de determinación de la salinidad de una solución salina es medir la habilidad de la solución de conducir la corriente eléctrica. La **conductividad** aumenta con el incremento del contenido en sal, y esta propiedad del agua de mar puede ser medida con un salinómetro electrónico. En la actualidad, las determinaciones de salinidad por mediciones de conductividad de alta precisión son más estándares que los métodos químicos. La definición de la salinidad se revisó de nuevo cuando las técnicas para determinar la salinidad a partir de medidas de conductividad, temperatura y presión se desarrollaron. Desde 1978, la "Escala Práctica de Salinidad" define la salinidad en términos de una razón o cociente de conductividades:

La salinidad práctica, denotada por  $S$ , de una muestra de agua de mar, se define en términos de la razón,  $K$  de la conductividad eléctrica de una muestra de agua de mar a  $15^{\circ}\text{C}$  y a una atmósfera de presión y la de una solución del cloruro de potasio (KCl), en la cual la fracción de masa total de KCl es de 0,0324356, a la misma temperatura y presión. El valor de  $K$  igual a uno corresponde exactamente, por definición, a una salinidad práctica igual a 35.

La fórmula correspondiente es:

$$S = 0,0080 - 0,1692 K^{1/2} + 25,3853 K + 14,0941 K^{3/2} - 7,0261 K^2 + 2,7081 K^{5/2}$$

Observe que en esta definición, la salinidad es un cociente y el símbolo ( $\text{‰}$ ) es innecesario, pero el antiguo valor de  $35\text{‰}$  corresponde al valor de 35 en la salinidad práctica. Algunos oceanógrafos aún no se acostumbran a usar números sin unidades para la salinidad de manera que escriben "35 psu", donde psu es por "practical salinity unit", por sus siglas en inglés - "unidad práctica de salinidad-". Como la salinidad práctica es una razón y por lo tanto no tiene unidades, la unidad "psu" es algo sin sentido y fuertemente desalentado.



**Figura 6.** Distribución de la salinidad aguas superficiales del océano en Agosto



**EJERCICIO: TEMPERATURA Y SALINIDAD**

1. En la tabla que aparece abajo se listan datos de temperatura y salinidad para una estación oceanográfica realizada en las cercanías de Isla de Flores y otra en Punta Tigre

1- Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Salinidad	2- Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Salinidad
-1	15.2	28.3	-1	21.4	4
-2	16.9	28.1	-2	21.2	4
-3	16.9	28.3	-3	21	4.6
-4	16.9	28.3	-4	20.8	6
-5	16.5	28.3	-5	18.6	19
-6	15.9	28.3	-6	18	24.4
-7	15.9	28.2	-7	18	25.4
-8	15.9	28.2	-8	21.2	4
-9	15.9	28.1			
-10	15.9	27.6			

- a- utilizando papel cuadrulado, o en Excel, grafica los datos de temperatura contra la profundidad para ambas estaciones (1 y 2)  
b- sobre tu gráfica de Temperatura-profundidad señala la termoclina.

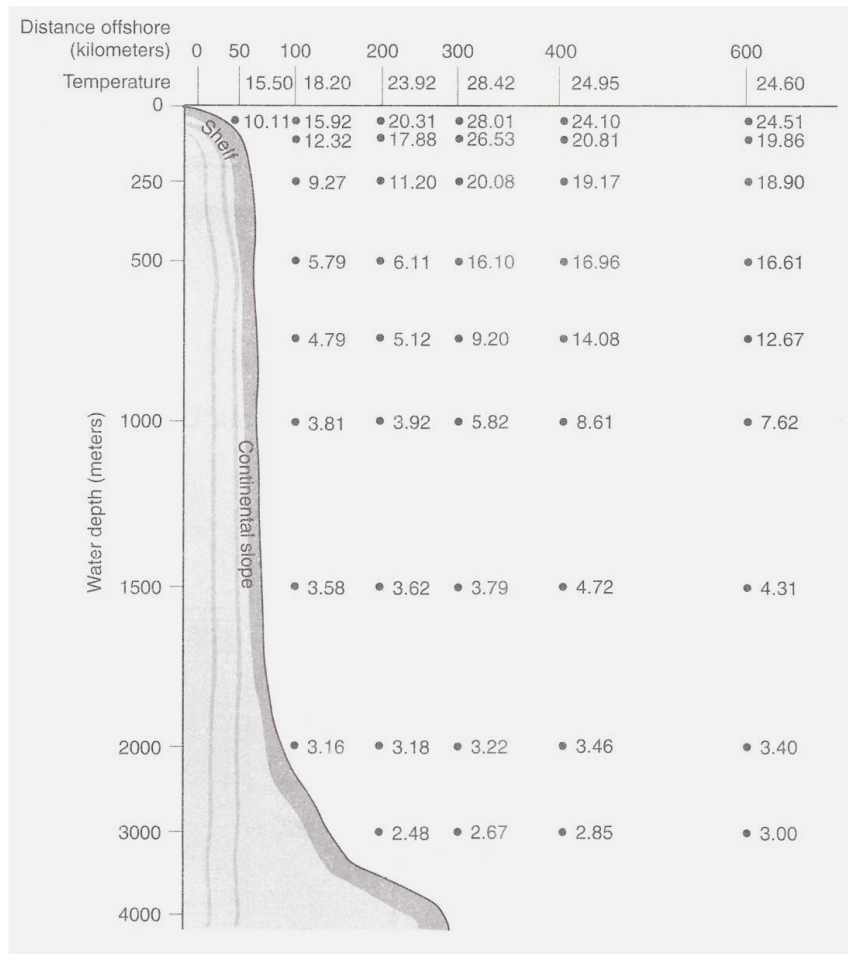
2. La figura 2 representa la distribución de temperatura en los principales océanos para el mes de enero. Observando dicha figura responder las siguientes preguntas:

- a- ¿Existe alguna diferencia este-oeste en las temperaturas superficiales del océano Pacífico ecuatorial?  
b- ¿Dónde se formaría el agua con mayor densidad?  
c- ¿Existe alguna diferencia en la temperatura superficial del Océano Pacífico ecuatorial? ¿Que podría estar causando dicha diferencia?  
d- Explica la curva hacia el noreste de la isoterma del Océano Atlántico Norte

3. Estudia la figura 6 y responde las siguientes preguntas.

- a. ¿cómo varía la salinidad en el Océano Pacífico desde el Polo Sur hasta el ecuador y hasta el Polo Norte?  
b. En el Océano Índico, la salinidad es igual al este y al oeste de la India?  
c. ¿qué razones podrían explicar el patrón de salinidad en la Bahía de Bengala (Océano Índico Este)?  
d. ¿Cuál es más salado, el Océano Pacífico o el Atlántico? ¿En que magnitud difiere su salinidad? ¿Cómo podrías explicar dicha diferencia? (piensa en el cinturón principal de vientos y en las áreas más secas del globo, como el desierto de Sahara).

4. La siguiente figura contiene datos oceanográficos obtenidos de una transecta orientada de este a oeste ubicada en el Oeste del Océano Atlántico Norte.



- Dibuja los contornos que se forman con los datos de la temperatura usando un intervalo de contorno de 2 °C. Comience con 16°C, luego interpole los valores más cálidos y más fríos.
  - La termoclina puede ser identificada por las isotermas subsuperficiales que están menos espaciadas que el resto del patrón de espaciado. Localiza y etiqueta la termoclina estacional y la termoclina permanente.
  - ¿Qué proceso está indicado por la pendiente del contorno de la isoterma sobre la parte del suelo oceánico llamada “plataforma continental”?
  - ¿Cuál es el resultado oceanográfico en términos de movimiento de masas de agua?
5. La siguiente figura muestra la salinidad superficial de 60 estaciones en la costa Atlántica de América del Norte.
- Realiza el contorno de los valores de la salinidad a intervalos de 0.5 por mil (es decir, a 34, 34,5, 35 y así). Los contornos de salinidad obtenidos ¿son paralelos a la costa Atlántica? ¿Puedes explicar la orientación de las isohalinas relativo a las líneas de costa? (Dato: Piensa en la corriente superficial en el área).
  - Brevemente explica la baja salinidad es la estación cercana a 38°N 72°W

