

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
Facultad de Ciencias Naturales y Matemática
Escuela de Física



Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura

Trabajo de Graduación:

**“Hidrografía y Circulación en la Plataforma Continental
Frente a El Salvador”**

Presentado por:

Miguel Ángel Salvador Colorado Campos

Para optar al grado de:

Licenciado en Física

Docente Director:

M. Sc. David Enoc Escobar

Docente Director Externo:

M. Sc. Francisco Gavidia

Ciudad Universitaria, 28 de enero de 2014

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Rector:
Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

Secretario General:
Dra. Ana Leticia Zavaleta de Amaya

Fiscal General:
Lic. Francisco Cruz Letona

Decano:
M. Sc. Martin Guerra

Director de la Escuela de Física:
M. Sc. Víctor Laureano Cortez Lara

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE FÍSICA**

Trabajo de Graduación para optar al grado de:
Licenciado en Física

Título:
“Hidrografía y Circulación en la Plataforma Continental
Frente a El Salvador”

Presentado por:
Miguel Ángel Salvador Colorado Campos

Trabajo de graduación aprobado por:

Docente Director:
M. Sc. David Enoc Escobar

Docente Director Externo:
M. Sc. Francisco Gavidia

San Salvador, 28 de enero de 2014

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero dar las gracias a Dios, porque me ha permitido la realización de este trabajo. También quiero agradecer a mi madre que me ha apoyado en todo momento y que ha estado siempre pendiente de mi formación y educación.

Además agradezco al Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET) de El Salvador quienes a través de la gerencia de oceanografía, han facilitado la información requerida para el procesamiento y generación de los resultados presentados en este trabajo.

A mis asesores, M. Sc. David Enoc Escobar y M. Sc. Francisco Gavidia por confiar en mí y orientarme en la realización de esta investigación. A mis amigos, especialmente a Miguel Castro por su ayuda en la interpretación de algoritmos de procesamiento y de generación de gráficas.

Finalmente quiero agradecer a todos los investigadores de otras universidades extranjeras que respondieron mis correos electrónicos de manera rápida y clara para solventar dudas en el ámbito oceanográfico.

Contenido

RESUMEN	10
INTRODUCCION	11
1. MARCO TEORICO.....	12
1.1 Propiedades físicas del agua de mar	12
1.1.1 Propiedades moleculares del agua	12
1.1.2 Presión.....	12
1.1.3 Propiedades termales del agua de mar	14
1.1.4 Salinidad y conductividad.....	16
1.1.5 Densidad del agua de mar.....	17
1.2 Masas de agua.....	18
1.2.1 Aguas superficiales.....	21
1.2.2 La capa de mezcla y la termoclina.....	21
1.2.3 Ecuación Termodinámica del agua de mar	22
1.3 Circulación.....	25
1.3.1 Dinámica del océano	25
1.3.2 Movimiento inercial	26
2. METODOLOGIA.....	27
2.1 Zona de estudio.....	27
2.2 Descripción del equipo de medición	29
2.2.1 CTD	29
2.2.2 Procesamiento de datos de CTD	29
2.2.3 Perfilador Acustico de Corrientes Doppler.....	33
2.2.4 Procesamiento de datos de ADCP	34
2.2.5 Calculando la velocidad a partir de datos de ADCP	34
3. DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS	36
3.1 Perfiles verticales y Diagramas TS	36
3.2 Transeptos.....	68
3.3 Distribución horizontal.....	85
3.4 Magnitud y dirección de la corriente	87
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
Bibliografía:	114
ANEXOS	116

Índice de Tablas

Tabla 1. 1: Comparación entre presión y profundidad	14
Tabla 1. 2: Porcentaje de componentes más abundantes en agua de mar	16
Tabla 1. 3: Rangos de temperatura y salinidad masas de agua superficiales	20
Tabla 1. 4: Rangos de temperatura y salinidad masas de agua intermedias	21
Tabla 1. 5: Rangos de temperatura y salinidad masas de agua abisales	21
Tabla 2. 1: Ubicación de las estaciones y transeptos realizados.....	28
Tabla 3. 1: Profundidades de inicio y fin de termoclina, haloclina y picnoclina.	67
Tabla 3. 2: Profundidad de inicio de termoclina, haloclina y picnoclina transeptos 8 al 11.	68
Tabla 3. 3: Velocidad de la corriente durante los días 5 y 6 de diciembre de 2009.	102
Tabla 3. 4: Velocidad de la corriente durante la mañana del día 6 de diciembre de 2009.	103
Tabla 3. 5: Velocidad de la corriente durante el mediodía del 6 de diciembre de 2009.	104
Tabla 3. 6: Velocidad de la corriente durante la tarde del día 6 de diciembre de 2009.	105
Tabla 3. 7: Velocidad de la corriente durante la tarde del día 6 de diciembre de 2009.	106
Tabla 3. 8: Velocidad de la corriente durante el día 6 y 7 de diciembre de 2009.....	107
Tabla 3. 9: Velocidad de la corriente durante el día 7 de diciembre de 2009.	108
Tabla 3. 10: Velocidad de la corriente durante el día 8 de diciembre de 2009.	109
Tabla 3. 11: Velocidad de la corriente durante el día 8 de diciembre de 2009.	110
Tabla 3. 12: Velocidad de la corriente durante el día 9 de diciembre de 2009.	111

Índice de Figuras

Figura 1. 1: Valores de densidad y punto de congelación.....	13
Figura 1. 2: Ejemplo de un diagrama T-S.....	19
Figura 2. 1: Ubicación de las estaciones y transeptos.....	27
Figura 2. 2: Mallas computacionales transeptos 1 al 6.	31
Figura 2. 3: Mallas computacionales transeptos 7 al 11 y distribución horizontal.....	32
<i>Figura 3. 1: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 1.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3. 2: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 2.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3. 3: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 3.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3. 4: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 4.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3. 5: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 5.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3. 6: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 6.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3. 7: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 7.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3. 8: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 8.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3. 9: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 9.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3. 10: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 10.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3. 11: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 11.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3. 12: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 12.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3. 13: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 13.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 3. 14: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 14.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3. 15: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 15.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3. 16: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 16.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3. 17: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 17.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3. 18: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 18.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3. 19: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 19.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3. 20: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 20.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3. 21: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 21.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3. 22: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 22.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3. 23: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 23.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3. 24: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 24.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3. 25: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 25.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3. 26: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 26.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3. 27: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 27.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3. 28: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 28.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. 29: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 29.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. 30: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 30.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3. 31: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 31.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3. 32: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 32.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3. 33: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 33.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3. 34: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 34.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3. 35: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 36.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3. 36: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 37.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3. 37: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 38.</i>	<i>54</i>

<i>Figura 3. 38: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 39</i>	55
<i>Figura 3. 39: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 40</i>	55
<i>Figura 3. 40: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 41</i>	56
<i>Figura 3. 41: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 42</i>	56
<i>Figura 3. 42: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 43</i>	57
<i>Figura 3. 43: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 44</i>	57
<i>Figura 3. 44: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 45</i>	58
<i>Figura 3. 45: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 46</i>	58
<i>Figura 3. 46: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 47</i>	59
<i>Figura 3. 47: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 48</i>	59
<i>Figura 3. 48: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 49</i>	60
<i>Figura 3. 49: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 50</i>	60
<i>Figura 3. 50: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 51</i>	61
<i>Figura 3. 51: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 52</i>	61
<i>Figura 3. 52: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 53</i>	62
<i>Figura 3. 53: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 54</i>	62
<i>Figura 3. 54: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 55</i>	63
<i>Figura 3. 55: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 56</i>	63
<i>Figura 3. 56: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 57</i>	64
<i>Figura 3. 57: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 58</i>	64
<i>Figura 3. 58: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 59</i>	65
<i>Figura 3. 59: Distribución de TC, SA y Densidad del lance 61</i>	65
<i>Figura 3. 60: Diagrama TS de los lances efectuados en la campaña oceanográfica.</i>	66
<i>Figura 3. 61: Distribución de la temperatura conservativa en el transepto 1.</i>	69
<i>Figura 3. 62: Distribución de la salinidad absoluta en el transepto 1.</i>	69
<i>Figura 3. 63: Distribución del campo de error en el transepto 1.</i>	70
<i>Figura 3. 64: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 2.</i>	70
<i>Figura 3. 65: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 2.</i>	71
<i>Figura 3. 66: Distribución del campo de error en el transepto 2.</i>	71
<i>Figura 3. 67: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 3.</i>	72
<i>Figura 3. 68: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 3.</i>	72
<i>Figura 3. 69: Distribución del campo de error en el transepto 3.</i>	73
<i>Figura 3. 70: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 4.</i>	73
<i>Figura 3. 71: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 4.</i>	74
<i>Figura 3. 72: Distribución del campo de error en el transepto 4.</i>	74
<i>Figura 3. 73: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 5.</i>	75
<i>Figura 3. 74: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 5.</i>	75
<i>Figura 3. 75: Distribución del campo de error en el transepto 5.</i>	76
<i>Figura 3. 76: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 6.</i>	76
<i>Figura 3. 77: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 6.</i>	77
<i>Figura 3. 78: Distribución del campo de error en el transepto 6.</i>	77
<i>Figura 3. 79: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 7.</i>	78
<i>Figura 3. 80: Distribución del campo de error en el transepto 7.</i>	78
<i>Figura 3. 81: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 7.</i>	79
<i>Figura 3. 82: Distribución del campo de error en el transepto 8.</i>	79
<i>Figura 3. 83: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 8.</i>	80
<i>Figura 3. 84: Distribución del campo de error en el transepto 8.</i>	80
<i>Figura 3. 85: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 9.</i>	81

Figura 3. 86: Distribución del campo de error en el transepto 9.	81
Figura 3. 87: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 9.....	82
Figura 3. 88: Distribución del campo de error en el transepto 10.	82
Figura 3. 89: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 10.....	83
Figura 3. 90: Distribución del campo de error en el transepto 10.	83
Figura 3. 91: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 11.....	84
Figura 3. 92: Distribución del campo de error en el transepto 11.	84
Figura 3. 93: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 11.....	85
Figura 3. 94: Distribución superficial de temperatura conservativa.....	85
Figura 3. 95: Distribución superficial de salinidad absoluta.....	86
Figura 3. 96: Trayectoria de recolección de datos de ADCP días 5 y 13	87
Figura 3. 97: Trayectoria de recolección de datos de ADCP días 5 al 12	87
Figura 3. 98: Vectores de velocidad días 5 y 13, profundidades de 13 a 23 metros.....	89
Figura 3. 99: Vectores de velocidad días 5 y 13, profundidades de 53 a 103 metros.....	89
Figura 3. 100: Componentes de la velocidad para los días 5 y 13 de diciembre.	90
Figura 3. 101: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 4 a 22 metros.....	91
Figura 3. 102: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 20 a 42 metros.....	91
Figura 3. 103: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 40 a 62 metros.....	92
Figura 3. 104: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 60 a 82 metros.....	92
Figura 3. 105: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 80 a 102 metros.....	93
Figura 3. 106: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 100 a 122 metros.....	93
Figura 3. 107: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 120 a 142 metros.....	94
Figura 3. 108: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 140 a 162 metros.....	94
Figura 3. 109: Vectores de velocidad día 5 de diciembre, profundidades de 160 a 178 metros.....	95
Figura 3. 110: Vectores de velocidad día 13 de diciembre, profundidades de 4 a 22 metros.....	95
Figura 3. 111: Vectores de velocidad día 13 de diciembre, profundidades de 20 a 42 metros.....	96
Figura 3. 112: Vectores de velocidad día 13 de diciembre, profundidades de 40 a 62 metros.....	96
Figura 3. 113: Vectores de velocidad día 13 de diciembre, profundidades de 60 a 82 metros.....	97
Figura 3. 114: Vectores de velocidad día 13 de diciembre, profundidades de 80 a 102 metros.....	97
Figura 3. 115: Vectores de velocidad días 5 al 12 de diciembre, profundidad de 26 a 36 metros...	98
Figura 3. 116: Vectores de velocidad días 5 al 12 de diciembre, profundidad de 66 a 116 metros.	98
Figura 3. 117: Componentes zonales y meridionales para los días 5 al 6 de diciembre	99
Figura 3. 118: Componentes zonales y meridionales para los días 6 al 7 de diciembre.....	99
Figura 3. 119: Componentes zonales y meridionales para los días 7 al 8 de diciembre.....	100
Figura 3. 120: Componentes zonales y meridionales para los días 8 al 9 de diciembre	100
Figura 3. 121: Componentes zonales y meridionales para los días 9 al 11 de diciembre.....	101
Figura 3. 122: Componentes zonales y meridionales para los días 11 al 12 de diciembre.....	101
Figura 3. 123: Magnitud promedio total de velocidad para los días 5 al 12 de diciembre.....	112

RESUMEN

En el presente trabajo se describen algunos aspectos de la hidrografía y de la circulación del mar en la plataforma continental frente a El Salvador, a partir del procesamiento de datos de CTD y ADCP. Se han derivado valores de salinidad absoluta y temperatura conservativa, utilizando datos de temperatura (ITS-90), presión (db) y salinidad (UPS), a partir del algoritmo de TEOS-10, el cual contiene una nueva formulación de la ecuación de estado del agua de mar. Se encontró que en la parte oriental de nuestro país existen filtraciones de aguas más salinas y frías, mientras que en la parte occidental los valores de salinidad son menores y las aguas son un poco más cálidas. Posteriormente se generaron diagramas T-S empleando los parámetros de temperatura conservativa y salinidad absoluta se para poder clasificar las masas de agua existentes en la zona, y se pudo observar la presencia de 3 masas de aguas: Agua Tropical Superficial, Masa de Agua Sub Tropical Sub Superficial y la masa de Agua Intermedia Antártica. Además se ha utilizado el software desarrollado por la Universidad de Hawái UHDAS-CODAS, para procesar la información del ADCP y así obtener la magnitud y dirección de la corriente, identificándose una dirección predominante hacia el sureste sobre la plataforma continental y a medida que se acerca sobre el talud tiende a incrementar su velocidad con pequeños giros en sentido anti horario. Los valores promedios de velocidad de la corriente obtenidos para el periodo del 3 al 14 de diciembre de 2009 fueron de alrededor de 21.14 cm/s.

INTRODUCCION

Para poder examinar las propiedades termodinámicas del agua de mar, se debe de conocer la concentración de la mayoría de componentes del agua del océano. Durante años el cálculo de esas concentraciones ha sido realizado considerando la masa total de sales disueltas en el agua de mar (salinidad) a través del empleo de la ecuación de estado del agua de mar de 1980 (EOS80), en la cual la salinidad es obtenida a partir del cociente de conductividades; sin embargo la composición del material disuelto en el agua de mar no es totalmente constante, y varía de una cuenca oceánica a otra. **Brewer and Bradshaw (1975)** sugirieron que los cambios en la composición en aguas profundas del mar afectan la relación de conductividades y densidades. Además sugirieron que dichos cambios en la densidad pueden afectar la circulación global de las aguas del océano a lo largo de superficies de igual densidad (isopícnas).

El presente trabajo de investigación describe algunos aspectos esenciales de la hidrografía y la circulación del mar en la plataforma continental frente a El Salvador a partir de información obtenida por mediciones realizadas con un perfilador acústico de corrientes doppler (ADCP, por sus siglas en inglés) y de un medidor de conductividad, temperatura y profundidad (CTD, por sus siglas en inglés), haciendo uso de la nueva ecuación de estado del agua de mar (**TEOS-10**) para poder conocer la profundidad de la capa de mezcla, pícnoclina, y estratificada entre las isobatas de 100 a 1000 m. Además se presentan los valores de corriente oceánica frente a las costas salvadoreñas para el periodo comprendido entre el 3 y el 14 de diciembre de 2009.

Los datos obtenidos fueron procesados en dos etapas, la primera consistió en un proceso de control de calidad para la depuración de los datos a través de métodos estadísticos; la segunda etapa fue la generación de gráficas y cuadros estadísticos que permitieron tener una mejor visualización de la información para su análisis. Con la información obtenida se hizo una descripción de algunas de las principales características de la circulación y estratificación en los transeptos realizados sobre la plataforma continental frente a El Salvador del 3 al 14 de diciembre del 2009 a bordo del Miguel Oliver, Buque Oceanográfico de la Secretaría del Mar del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino de España.

Las rutinas que se utilizaron para el procesamiento de cálculo y verificación de parámetros oceanográficos, fueron diseñadas basadas en el lenguaje de programación MATLAB; la secuencia utilizada para la aplicación de filtros (datcnv, wildedit, align, celltm, loopedit) y otras rutinas de control de calidad de los datos se realizaron a través de la ejecución de los módulos de la herramienta de Seabird así como de otros software propietarios que proporcionan las compañías que fabrican los instrumentos de medición utilizados (ADCP Ocean Surveyor y CTD SBE 25).

MARCO TEORICO

En este capítulo se cubren los aspectos relacionados con el fundamento teórico necesario para la comprensión del presente trabajo. La primera sección de este capítulo muestra la rama de la física que se aplica en esta investigación y proporciona un esquema general de todas las propiedades que pueden ser estudiadas dentro de esta área. En la segunda sección se define el concepto de masas de agua permitiendo ubicar la zona de estudio dentro de uno de esos tipos. La tercera sección ayuda a comprender el fenómeno de la estratificación y por último se muestra la ecuación de estado del agua de mar, que ha sido empleada por muchos años para el estudio de las propiedades del agua de mar.

1.1 Propiedades físicas del agua de mar

1.1.1 Propiedades moleculares del agua

El agua es una de las sustancias que posee una alta capacidad calorífica. Esta alta capacidad calorífica es la razón primaria de que el océano sea tan importante en el sistema climático mundial. A diferencia de la tierra y la atmósfera, el océano almacena grandes cantidades de energía térmica que recibe del sol. Este calor es llevado por las corrientes oceánicas, distribuyéndolo a diversas regiones.

A medida que el agua de mar se calienta, la actividad molecular aumenta y se produce una expansión térmica, disminuyendo la densidad. En el agua dulce, cuando la temperatura aumenta desde el punto de congelación hasta aproximadamente 4 °C, la energía térmica añadida forma cadenas moleculares cuya alineación hace que el agua se contraiga, aumentando la densidad. Cuando la temperatura aumenta por encima de este punto, las cadenas moleculares se rompen y la expansión térmica domina; esto explica porque el agua dulce tiene un máximo de densidad a aproximadamente 4 °C en lugar de en el punto de congelación. En el agua de mar, estos efectos moleculares se combinan con la influencia de la sal, que inhibe la formación de las cadenas. Para un rango normal de salinidad en el océano, la densidad máxima se produce en el punto de congelación, que está por debajo de 0 °C (figura 1.1) [Talley, 2005].

1.1.2 Presión

La presión es la fuerza normal por unidad de área ejercida por el agua en ambos lados del área unitaria. La presión en el océano generalmente es medida en decibares, donde 1dbar = 0.1bar = $10^5 \text{ dinas/cm}^2 = 10^4 \text{ Pa}$ [Talley, 2005].

La fuerza debida a la presión surge cuando hay una diferencia de presión entre dos puntos. La fuerza es dirigida desde las zonas de presión alta hasta las zonas de presión baja, por lo que se dice que la fuerza está orientada por el gradiente de presión. En el océano, la fuerza vertical hacia abajo de la gravedad es equilibrada mayormente por una fuerza vertical hacia arriba del gradiente

de presión, evitando que el agua se acelere y también que la presión aumente con la profundidad para mantener este balance. Este equilibrio de la fuerza vertical hacia debajo de la gravedad y de la fuerza ascendente del gradiente de presión, sin movimiento, se llama equilibrio o balance hidrostático.

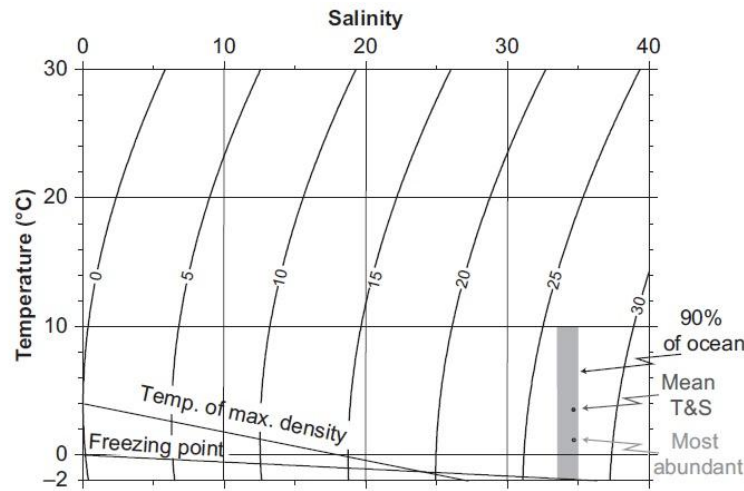


Figura 1. 1: Valores de densidad σ_t , línea de máxima densidad y punto de congelación para el agua de mar como función de la temperatura y la salinidad. [Talley, 2005]

La presión a una profundidad dada depende de la masa de agua situada por encima de esa profundidad. Un cambio de 1 decibar en presión ocurre durante un cambio de profundidad de un poco menos de 1m (tabla 1.1). La presión en el océano por tanto, varía desde alrededor de 0 decibares (en la superficie) hasta 10,000 decibares (en lo más profundo).

La presión es medida generalmente junto con otras propiedades del agua de mar tales como la temperatura, salinidad y la velocidad de la corriente. Las propiedades son a veces presentadas como función de la presión en lugar de la profundidad.

Los gradientes horizontales de presión conducen el flujo horizontal en el océano. Para corrientes de gran escala (escalas horizontales mayores de un kilómetro), los flujos horizontales son mucho más fuertes que sus flujos verticales asociados y son por lo general geostróficos. Las diferencias de presión horizontales que impulsan las corrientes del océano son del orden de un decibar sobre cientos o miles de kilómetros. Esta diferencia es mucho más pequeña que el gradiente vertical de presión, el cual está en equilibrio con la fuerza de gravedad por lo que no produce un flujo. Las variaciones horizontales en la distribución de las masas crean la variación horizontal de la presión en el océano. La presión es mayor cuando la columna de agua por encima de una profundidad dada es más pesada ya sea porque es de mayor densidad o porque es más gruesa o ambos.

La presión se mide generalmente con un instrumento electrónico llamado transductor. La precisión de las mediciones de presión es más alta que otras propiedades tales como temperatura, salinidad y velocidad de la corriente, por lo que pueden utilizarse como función de la presión. Sin embargo, la exactitud sobre 3 decibares en profundidad, no es suficiente para medir los gradientes de presión horizontal por lo que otros métodos, tales como el método geostrófico, o mediciones directas de velocidad, son utilizados para determinar el flujo real. Antes de los años 1960 y 1970, la presión se medía usando un par de termómetros de mercurio, uno de los cuales estaba en un vacío (protegido por una caja de vidrio) y no afectado por la presión, mientras que el otro era expuesto al agua (sin protección) y era afectado por la presión.

Tabla 1. 1: Comparación entre presión (dbar) y profundidad (m) a profundidades oceanográficas estándar usando el algoritmo de la UNESCO de 1983. [Talley, 2005]

Presión (dbar)	Profundidad (m)	Diferencia (%)
0	0	0
100	99	1
200	198	1
300	297	1
500	495	1
1000	990	1
1500	1453	1.1
2000	1975	1.3
3000	2956	1.5
4000	3932	1.7
5000	4904	1.9
6000	5872	2.1

1.1.3 Propiedades térmicas del agua de mar

Una de las características físicas más importantes del agua de mar es su temperatura. La temperatura fue uno de los primeros parámetros oceánicos en ser medido y sigue siendo el más ampliamente observado. En la mayoría de los océanos, la temperatura es el principal determinante de la densidad; la salinidad es de vital importancia sobre todo en regiones de latitudes altas con exceso de lluvia o procesos del hielo marino. En latitudes medias del océano, entre la superficie y 500 metros de profundidad, la temperatura es el parámetro principal que determina la velocidad del sonido.

1.1.3.1 Temperatura

La temperatura es una propiedad termodinámica de un fluido, debido a la actividad o la energía de las moléculas y átomos en el fluido. La temperatura es mayor para energías alta.

La temperatura en oceanografía es por lo general expresada utilizando la escala Celsius, excepto en los cálculos de transferencia de energía en forma de calor, donde la temperatura se expresa en grados Kelvin. Cuando no hay actividad molecular, la temperatura es cero absoluto en la escala de Kelvin.

El rango de temperatura en el océano va desde el punto de congelación, que es aproximadamente de $-1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo de la salinidad, hasta un máximo de alrededor de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los océanos tropicales. Este rango es considerablemente menor que el rango de temperaturas en el aire. Como para todas las otras propiedades físicas, la escala de temperatura ha sido refinada por acuerdos internacionales. La escala de temperatura más utilizada en años anteriores era la Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968 (IPTS-68). En la actualidad se ha sustituido por la Escala de Temperatura Internacional de 1990 (ITS-90). Las temperaturas son reportadas en ITS-90, pero todos los algoritmos informáticos relacionado con la ecuación de estado que datan de 1980 son anteriores a ITS-90. Por tanto, sus temperaturas de ITS-90 deben ser convertidas a IPTS-68 multiplicando ITS-90 por 0.99976 antes de usar las subrutinas de la ecuación de estado de 1980.

1.1.3.2 Calor

La transferencia de energía calorífica del agua de mar es una medida de su energía termodinámica. Se calcula usando mediciones de temperatura, densidad, y del calor específico. El calor específico es una propiedad termodinámica que depende del calor y de la temperatura [Resnick, 2001]. El calor específico depende de la temperatura, la presión y la salinidad. Se obtiene a partir fórmulas que se derivan de mediciones de laboratorio del agua de mar. El calor por unidad de volumen, Q , es calculado a partir de mediciones de temperatura usando la siguiente fórmula:

$$Q = \rho C_p T \quad \text{Ec. 1. 1}$$

Donde T es la temperatura en grados Kelvin, ρ es la densidad del agua de mar, y C_p es el calor específico del agua de mar. Las unidades en el Sistema Internacional del calor son Jules, es decir, unidades de energía. El flujo de calor a través de una superficie se define como la cantidad de energía que pasa a través de la superficie por unidad de tiempo, por lo que las unidades SI del flujo de calor son W/m^2 . El flujo de calor entre la atmósfera y el océano depende en parte de la temperatura del océano y la atmósfera.

1.1.3.3 Temperatura Potencial

El agua de mar no es del todo incompresible. Un aumento de presión provoca que un volumen de agua se comprima ligeramente. Esto aumenta la temperatura en el volumen de agua si se produce sin intercambio de calor con el agua del entorno (compresión adiabática). De forma inversa, si un volumen de agua se mueve desde una presión alta a una más baja, se expande y su temperatura disminuye. Estos cambios de temperatura no están relacionados con el calor superficial o del fondo. A veces es deseable comparar las temperaturas de dos volúmenes de agua que se encuentran a diferentes presiones. La temperatura potencial se define como la temperatura que un volumen de agua tendría si se trasladara de manera adiabática a otro volumen a una presión diferente. Este efecto ha de ser considerado cuando los volúmenes de agua cambian de profundidad.

El gradiente adiabático o el gradiente de temperatura adiabática es el cambio de temperatura por unidad de cambio en la presión para un desplazamiento adiabático de un volumen de agua. La expresión para el gradiente vertical es:

$$\Gamma(S, T, p) = \left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_{heat} \quad \text{Ec. 1. 2}$$

Donde S, T y p son la salinidad, la temperatura y la presión respectivamente, y la derivada manteniendo el calor constante. Tanto la compresibilidad y la tasa de cambio adiabática del agua de mar son funciones de la temperatura, la salinidad y presión.

La temperatura potencial es [Fofonoff, 1985]:

$$\theta(S, T, p) = T + \int_p^{pr} \Gamma(S, T, p) dp \quad \text{Ec. 1. 3}$$

Donde S, T y p son las mediciones in situ de salinidad, temperatura, y presión, Γ es el gradiente adiabático, y θ es la temperatura que un volumen de agua de propiedades (S, T, p) tendría si se mueve adiabáticamente y sin cambios de salinidad a partir de una presión inicial p a una presión de referencia p_r donde p_r puede ser mayor o menor que p. La convención usual para estudios oceanográficos es referenciar la temperatura potencial a la superficie del mar. Cuando se define en relación con la superficie del mar, la temperatura potencial es siempre menor que la temperatura real medida, y solamente igual a la temperatura en la superficie del mar.

1.1.4 Salinidad y conductividad

El agua de mar es una solución compleja que contiene la mayoría de los elementos conocidos. Algunos de los componentes más abundantes, en porcentaje de la masa total de material disuelto, son mostrados en la siguiente tabla [Millero, Feistel, Wright, y McDougall, 2008]:

Tabla 1. 2: Porcentaje de componentes más abundantes de la masa total de material disuelto en el agua de mar. [Millero, Feistel, Wright, y McDougall, 2008]

	Ion		Átomo
55.3%	Cloro	55.3%	Cloro
30.8%	Sodio	30.8%	Sodio
7.7%	Sulfato	3.7%	Magnesio
3.7%	Magnesio	2.6%	Azufre
1.2%	Calcio	1.2%	Calcio
1.1%	Potasio	1.1%	Potasio

Si bien el total de concentración de materia disuelta varía de lugar en lugar, las proporciones de los componentes más abundantes permanecen casi constantes. Esta ley de las proporciones constantes fue propuesta por primera vez por **Dittmar (1884)**, basado en 77 muestras de agua de mar recogida de todo el mundo durante la Expedición Challenger. Por muchos años fue difícil

implementar de manera práctica esta definición de salinidad, por lo cual se tuvo que desarrollar un nuevo método para poder medir la salinidad utilizando un análisis químico de la cantidad de cloro disuelto en el agua. La relación directa entre la cantidad de cloro (Cl) y la salinidad (S), permitió calcular la salinidad a partir de la siguiente fórmula:

$$S = 0.03 + 1.805Cl \quad \text{Ec. 1.4}$$

Posteriormente este método fue sustituido por la medición de conductividad, que era mucho más precisa y tenía mayor facilidad de realización comparada con la medición de clorinidad. Este método se sigue utilizando actualmente y en él se vincula la salinidad con la conductividad a partir de la relación:

$$S = -0.08996 + 28.29729R_{15} + 12.80832R_{15}^2 - 10.67869R_{15}^3 + 5.98624R_{15}^4 - 1.32311R_{15}^5 \quad \text{Ec. 1.5}$$

$$R_{15} = \frac{C(S, 15, 0)}{C(35, 15, 0)} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde $C(S, 15, 0)$ es la conductividad de una muestra de agua de mar a 15 °C, a una presión atmosférica y con salinidad determinada por la escala práctica de salinidad de 1978 (PSS-78) y $C(35, 15, 0)$ es la conductividad del agua de mar estándar. Esta escala es la definición oficial hasta la fecha y en ella se remueve la dependencia de la salinidad con la clorinidad, quedando formalmente expresada como:

$$S = 0.0080 - 0.1692K_{15}^{1/2} + 25.3851K_{15} + 14.0941K_{15}^{3/2} - 7.0261K_{15}^2 + 2.7081K_{15}^{5/2} \quad \text{Ec. 1.7}$$

$$K_{15} = \frac{C(S, 15, 0)}{C(KCl, 15, 0)} \quad \text{Ec. 1.8}$$

$$2 \leq S \leq 42 \quad \text{Ec. 1.9}$$

Donde $C(S, 15, 0)$ es la conductividad de una muestra de agua de mar a una temperatura de 14.996 °C medida en la escala ITS-90 y a una presión atmosférica estándar de 101325 Pa, a una presión atmosférica estándar. $C(KCl, 15, 0)$ es la conductividad de una solución estándar de cloruro de potasio (KCl) a una temperatura de 15° C y a una presión atmosférica estándar. La solución estándar de KCl contiene una masa de 32.4356 gramos de KCl en una masa de 1.000000 Kg de solución [Millero, 1996].

1.1.5 Densidad del agua de mar

La distribución de corrientes dentro del océano depende de la distribución de la presión, la cual a su vez depende de la variación de la densidad en el interior del océano.

Los cálculos del movimiento del agua requieren mediciones de densidad con mucha precisión, lo cual no es fácil de obtener. Debido a la dificultad para medir la densidad absoluta del agua de mar se utiliza la densidad relativa a la densidad del agua pura. En la práctica la densidad no es medida directamente sino que es calculada a partir de mediciones in-situ de presión, temperatura, y conductividad usando la ecuación de estado del agua de mar.

1.2 Masas de agua

La manera conceptual más formal de describir la distribución de las propiedades del agua de mar es a través de las masas de agua. **Helland-Hansen (1916)** Observo que cuando las mediciones de estaciones individuales de temperatura y salinidad se grafican una contra otra, las curvas resultantes eran similares sobre regiones amplias. Este hecho sugirió el concepto útil de masas de agua, definido como un segmento apropiado de una curva regional del diagrama T-S. Los diferentes segmentos de las curvas T-S corresponden a diferentes sitios y mecanismos de formación de masas de agua, dando origen a los diferentes mares.

Es importante notar que la ocupación exclusiva de una región oceánica por una sola masa de agua, ocurre solo en las regiones de formación. Cuando las masas de agua se distribuyen en el océano, se mezclan y como resultado se encuentra que para una misma región oceánica, diferentes tipos de masas de agua están presentes.

Las masas de agua ocupan un volumen medible, el cual es la suma de los volúmenes ocupados por todos sus elementos, independientemente del lugar donde se encuentre. Es posible determinar el porcentaje de contribución de todas las masas de agua a una muestra de agua determinada porque los elementos de las masas de agua conservan sus propiedades, particularmente, su temperatura potencial y su salinidad al salir de la región de formación. Las masas de agua por lo tanto se pueden identificar mediante el trazado del perfil de temperatura y salinidad en un diagrama T-S.

Una descripción elemental de los diagramas T-S y su uso se puede encontrar, en **Dietrich et al. (1980)**. La figura 1.2 es un ejemplo de un diagrama T-S de una región tropical, y muestra cómo los datos de las observaciones se pueden utilizar para identificar las masas de agua a partir de sus diagramas T-S. Se puede ver que las propiedades de las Aguas Centrales en el Mar del Coral corresponden estrechamente a los de su región de formación, lo que indica que una mezcla pequeña ocurre con otras masas de agua a lo largo de su trayecto. Por el contrario, las masas de Agua Intermedias y Profundas no están presentes con sus valores T-S originales, sus propiedades se modifican mediante la mezcla con las aguas de arriba y las de abajo, y su presencia es indicada por la salinidad o temperatura extrema en las proximidades del diagrama T-S que se encuentran en las regiones de su formación.

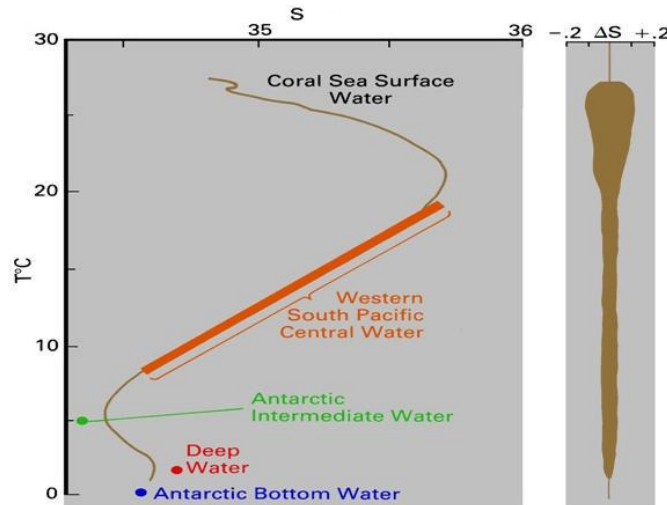


Figura 1. 2: Ejemplo de un diagrama T-S para temperaturas dadas en el este del mar Coral, en comparación con las masas de agua definidas en el Océano Pacífico Sur.[Tomczak, 2001]

Para una descripción completa de una masa de agua es necesario incluir información sobre el grado de variabilidad espacial y de largo plazo durante su formación. Algunas masas de agua, tales como el Agua Intermedia en la figura 1.2, sólo requieren una única combinación de T-S (T-S puntual) y una desviación estándar; otras tales como las Aguas Centrales requieren un conjunto de combinaciones T-S o una relación T-S, junto con la desviación estándar. Los puntos en un diagrama T-S son llamados tipos de aguas, y los puntos que definen masas de agua, son conocidos como fuentes de tipos de agua (Stewart, 2008).

Cuando dos tipos de agua tienen diferente salinidad y temperatura pero poseen la misma densidad, su mezcla está representada por un punto de la recta que une sus posiciones en el diagrama T-S. Si se mezclan en proporciones iguales, la mezcla estará representada por el punto. De este modo se producen en el océano tipos de agua intermedios (entre 500 y 1500 metros); masas de agua profundas (1500-4000 metros) y masas de agua de fondo. El contacto entre masas de agua de diferentes características genera fronteras hidrológicas. La siguiente lista muestra algunas masas de agua y sus características:

- Masa de Agua Central: Se encuentra en el sector central de los océanos, entre las convergencias subtropicales y desde la superficie hasta la termoclina permanente (200 a 1000 m). Es la más salina: 34 a 36.5 partes por mil y de 8 a 25 °C. El agua central es salina porque está sometida a fuerte evaporación. Aquí las corrientes son más rápidas.
- Masas de Agua Intermedias (Antárticas): Bajo la masa de agua central. Se forman en las regiones de convergencias ártica y antártica. La más extendida es la masa de agua intermedia antártica cuyo origen son las aguas subantárticas superficiales. Su temperatura varía de 2 °C a 7 °C y su salinidad entre 34.1 y 34.7 partes por mil. Se encuentra en todas las cuencas oceánicas. Esta masa de agua, junto con las aguas profundas árticas y las aguas de fondo, están sujetas a movimientos de corrientes de densidad (termohalinas) muy lentas, del orden de 40-80 m/h.

- Masas de Agua Profundas Árticas: Se originan en la cuenca oeste del Atlántico Norte (Mar de Labrador) y se producen por la mezcla de aguas de alta salinidad de la corriente del Golfo y las aguas superficiales subárticas. Se encuentran en el Atlántico. Por el contrario en el Pacífico e Índico hay aguas de fondo de origen antártico. Su temperatura varía entre 3-4 °C y su salinidad promedio es de 34.9 partes por mil.
- Agua de fondo de origen Antártico: Es el agua más densa. Se origina en invierno en la región antártica y se encuentra en todas las cuencas oceánicas hasta 30°N. Es muy fría (-1 °C a 0.5 °C) y relativamente poco salina: 34.7 partes por mil.
- Aguas Tropicales Superficiales (ATS): Se presentan normalmente al Norte de los 40° S, y excepcionalmente pueden avanzar varios grados hacia el Sur, cuando ocurre el fenómeno El Niño. Tienen una capa superficial homotérmica y homohalina de hasta 20 m. de espesor, situada encima de una inmensa termoclina SP (Superficial Permanente). Poseen una salinidad menor a 33.8 partes por mil.
- Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES): Se presentan normalmente al Norte de los 6° S, generalmente con gran intensidad en los meses de primavera y verano. En forma parecida a las ATS (Aguas Tropicales Superficiales), presentan una capa superficial aproximadamente homotérmica y homohalina, de alrededor de 20 m. de espesor, por encima de una termoclina SP (Superficial Permanente), que generalmente se debilita hacia abajo y hacia el Este de 83° W, como efecto de las AES (Aguas Ecuatoriales SubSuperficiales) de la Corriente de Cromwell. Sus fluctuaciones geográficas están relacionadas con los desplazamientos del frente ecuatorial. Se presentan grandes variaciones térmicas estacionales y anuales. Poseen una salinidad menor a 34.8 ppm.

La distribución de las masas de agua varía de un mar a otro, para el Océano Pacífico las principales masas de agua se encuentran distribuidas en tres zonas bien diferenciadas: masas de agua de la capa superior (tabla 1.3), masas de aguas intermedias (tabla 1.4), masas de aguas profundas y abisales (tabla 1.5).

Tabla 1. 3: Rangos de temperatura y salinidad característicos de las masas de agua superficiales. [Emery, 2003]

Masa de Agua	Rango de Temperatura	Rango de Salinidad
Pacific Subarctic Upper Water (PSUW)	3.0 - 15.0	32.6 - 33.6
Western North Pacific Central Water (WNPCW)	10.0 - 22.0	34.2 - 35.2
Eastern North Pacific Central Water (ENPCW)	12.0 - 20.0	34.2 - 35.0
Eastern North Pacific Transition Water (ENPTW)	11.0 - 20.0	33.8 - 34.3
Pacific Equatorial Water (PEW)	7.0 - 23.0	34.5 - 36
Western South Pacific Central Water (WSPCW)	6.0 - 22.0	34.5 - 35.8
Eastern South Pacific Central Water (ESPCW)	8.0 - 24.0	34.4 - 36.4
Eastern South Pacific Transition Water (ESPTW)	14.0 - 20.0	34.6 - 35.2

Tabla 1. 4: Rangos de temperatura y salinidad característicos de las masas de agua intermedias. [Emery, 2003]

Masa de Agua	Rango de Temperatura	Rango de Salinidad
Pacific Subarctic Intermediate Water (PSIW)	5.0 - 12.0	33.8 - 34.3
California Intermediate Water (CIW)	10.0 - 12.0	33.9 - 34.4
Eastern South Pacific Intermediate Water (ESPIW)	10.0 - 12.0	34.0 - 34.4
Antarctic Intermediate Water (AAIW)	2.0 - 10.0	33.8 - 34.5

Tabla 1. 5: Rangos de temperatura y salinidad característicos de las masas de agua abisales. [Emery, 2003]

Masa de Agua	Rango de Temperatura	Rango de Salinidad
Circumpolar Deep Water (CDW)	5.0 - 12.0	33.8 - 34.3
Subantartic Surface Water (CIW)	10.0 - 12.0	33.9 - 34.4
Antartic Surface Water (AASW)	10.0 - 12.0	34.0 - 34.4

1.2.1 Aguas superficiales

La capa superior del océano conecta el forzamiento en la superficie proveniente de los vientos, el calor y del agua dulce, con las aguas más profundas en reposo, donde este calor y agua dulce son absorbidos y transferidos en escalas globales más largas de tiempo. Clásicamente la capa de la superficie incluye tanto una capa de mezcla superior que está sujeto a la influencia directa de la atmósfera, y también una zona altamente estratificada por debajo de la capa de mezcla donde los gradientes de las propiedades verticales son fuertes. La estructura vertical de la capa superficial refleja no sólo cambios inmediatos en respuesta al forzamiento en la superficie, sino también los cambios asociados con eventos anteriores de forzamiento. Estos eventos de forzamiento pueden haber ocurrido ya sea localmente en la región, o remotamente en otros lugares y transferidos por las corrientes oceánicas.

1.2.2 La capa de mezcla y la termoclina

El viento que sopla sobre el océano agita las capas superiores lo que conduce a la generación de una fina capa de mezcla en la superficie del mar con una temperatura y salinidad constante desde la superficie hasta una profundidad en la que los valores difieren significativamente de los de la superficie. La magnitud de la diferencia es arbitraria, pero generalmente la temperatura en el límite inferior de la capa de mezcla debe ser no más de 0.1 grado Celsius más fría que en la superficie.

La capa de mezcla mide aproximadamente 10-200 m de espesor en la mayor parte de las zonas tropicales y de latitudes medias. La profundidad y la temperatura de la capa de mezcla varían de día a día y de una estación a otra en respuesta a dos procesos:

- El flujo de calor a través de las superficies calientes y las superficies frías de las aguas superficiales: cambios en la temperatura provocan un cambio en la densidad entre la capa de mezcla y las aguas profundas. Cuanto mayor sea el cambio, más trabajo se necesita para mezclar la capa de abajo y viceversa.
- La turbulencia en la capa de mezcla distribuye el calor hacia abajo: la turbulencia depende de la velocidad del viento y de la intensidad del rompimiento de olas. La turbulencia mezcla el agua en la capa con agua en la termoclina.

La capa de mezcla de latitudes medias es más delgada al final del verano cuando los vientos son débiles, y la luz del sol calienta la capa superficial. A veces, El calentamiento es tan fuerte, y el viento tan débil, que la capa está a sólo unos metros de espesor. En invierno, el calor se pierde, y la capa de mezcla se vuelve cada vez más gruesa al final del invierno.

Debajo de la capa de mezcla, la temperatura del agua disminuye rápidamente con la profundidad, excepto en latitudes altas. El rango de profundidades donde el gradiente de temperatura es grande se llama la termoclina. Puesto que la densidad está estrechamente relacionada con la temperatura, la termoclina también tiende a ser la capa donde el gradiente de densidad es mayor, denominada pycnoclina.

La forma de la termoclina varía ligeramente con las estaciones del año por lo que recibe el nombre de termoclina estacional. Por debajo de la termoclina estacional se encuentra la termoclina permanente.

La capa de mezcla tiende a ser más salada que la termoclina entre 10 y 40 latitud, donde la evaporación excede a la precipitación. En las latitudes altas del capa de mezcla es más fresca porque el hielo lluvia y el deshielo reducir la salinidad. En algunas regiones tropicales, como la piscina de agua caliente en la parte occidental del Pacífico tropical, la lluvia también produce una Delgada capa más fresca mezclada.

1.2.3 Ecuación Termodinámica del agua de mar

La Comisión Oceanográfica Intergubernamental en junio de 2009, con el fin de reemplazar la ecuación de estado del agua de mar de 1980 (EOS-80), adoptó una nueva ecuación de estado para describir las propiedades del agua de mar. La ecuación termodinámica del agua de mar (TEOS-10, por sus siglas en inglés) tiene la ventaja de presentar una descripción termodinámicamente consistente.

La base para TEOS-10 es la construcción de una función de Gibbs, la cual es una función potencial termodinámica (FPT). Una FPT es una función escalar usada para representar el estado termodinámico de un sistema. Una de las grandes ventajas de la función de Gibbs como descripción de un sistema es que todas las propiedades termodinámicas del sistema pueden ser determinadas por una combinación específica de derivadas de esa función.

La función de Gibbs es de fundamental importancia para entender la transferencia de energía o calor del océano. Primero, es necesario considerar dos parámetros termodinámicos importantes: entalpía específica (h) y entropía específica del sistema. En este contexto, específico implica una medida por unidad de masa.

La entalpía específica se define como la suma de dos términos:

$$h = u + Pv \quad \text{Ec. 1.10}$$

Donde u es la energía específica interna del sistema, y Pv es la energía requerida para hacer espacio al sistema mediante el desplazamiento de su entorno. Aquí P es la presión del sistema y v es el volumen específico ($= 1/\rho$). La entalpía específica es una medida del calor del sistema.

La entropía mide la cantidad de desorden en el sistema, o la energía no mecánica que no es accesible. Tiene la propiedad especial de que siempre se produce por procesos de mezcla molecular y turbulenta. Tanto la entropía como la entalpía pueden ser calculadas a través de la función de Gibbs:

$$\eta = -gT \quad \text{Ec. 1.11}$$

$$h = g - Tg_T \quad \text{Ec. 1.12}$$

La relación termodinámica fundamental entre los pequeños cambios en entalpía, energía interna, y entropía es:

$$dh - vdP = du + Pdv = Td\eta + \mu dS_A \quad \text{Ec. 1.13}$$

De lo cual se puede notar que:

- Un cambio en presión dP por si mismo altera la entalpía específica de una parcela de agua.
- El trabajo realizado en compresión (cambio en el volumen) de una parcela de agua Pdv cambia su energía interna.
- Cambios en la salinidad absoluta dS_A resultan en cambios en la entropía $d\eta$, a través de un potencial químico μ .

La función de Gibbs g queda definida formalmente como:

$$g = h - T\eta \quad \text{Ec. 1.14}$$

Es por lo tanto una medida de la energía máxima disponible para realizar trabajo no mecánico en un sistema isotérmico y adiabático. Sin embargo, el océano no es isotérmico. Al mezclarse diferentes masas de agua, ocurrirán cambios de temperatura y salinidad, y por lo tanto la energía se convierte de una forma a otra. El concepto de conservación de la energía se convierte en fundamental para entender completamente la circulación oceánica.

1.2.3.1 Conversión de salinidad practica a salinidad absoluta

Como se vio en el capítulo anterior, la salinidad practica Sp está definida en la escala practica de salinidad de 1978 [UNESCO 1981, 1983] en términos del cociente de conductividad K_{15} el cuál es la conductividad eléctrica de la muestra a una temperatura $t_{68} = 15^\circ\text{C}$ y a una presión igual a una atmósfera estándar, dividida por la conductividad de una solución de cloruro de potasio (KCl) a la misma temperatura y presión. El rango de validez está definido para $2 < Sp < 42$.

Para poder convertir la salinidad practica en salinidad absoluta S_A , primero se estimó una salinidad de referencia, luego se calcularon las anomalías en concentración de sales disueltas con respecto a la salinidad de referencia. Luego se aplicó la siguiente ecuación para obtener la salinidad absoluta:

$$S_A = S_R + \delta S_A = S_A(S_p, \phi, \lambda, p) \quad \text{Ec. 1.15}$$

Donde ϕ representa la latitud en grados norte, λ es la longitud en grados este, y p es la presión del mar.

1.2.3.2 Conversión de temperatura in-situ a temperatura conservativa

La temperatura conservativa está definida de tal forma que es proporcional a la entalpia potencial del sistema de acuerdo a la siguiente función:

$$\Theta(S_A, t, p) = \frac{h(S_A, t, p) - \int_{p_0}^p v(S_A, \theta[S_A, t, p, p']) dP'}{C_p^0} \quad \text{Ec. 1.16}$$

El valor de C_p^0 fue elegido en términos de la entalpia potencial y evaluado para una salinidad absoluta de $S_{SO} = 35.16504 \text{ gkg}^{-1}$ y a una temperatura potencial de $\theta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

1.2.3.3 Obtención de la densidad como función de S_A y TC

La densidad se calculó en función de la temperatura conservativa y de la salinidad absoluta a partir de la función reciproca de gibbs para el volumen específico.

$$\rho = \frac{\delta P|_{S_A, \Theta}}{\delta h} \quad \text{Ec. 1.17}$$

1.2.3.4 Calculo de la profundidad de la capa de mezcla (MLD)

Existen varios métodos para calcular la profundidad de la capa de mezcla (MLD), entre ellos están el método de umbral que es de los más usados en la comunidad científica. Para este estudio se utilizó el método Dividir y Unir (DU en español, split and merge en inglés, SM) sobre los perfiles verticales. Este método aproxima una curva especifica utilizando funciones polinómicas en las cuales se ajusta un punto de corte de la curva de acuerdo a los datos, esto asegura que se tenga una segmentación optima tomando en cuenta un intervalo de error, para luego poder unir todos estos segmentos y poder calcular la MLD. La función es normalizada en Z que representa la profundidad y en ϕ que denota una variable función de la profundidad (temperatura, salinidad o densidad) para evitar problemas de escala en las variables de los perfiles. Además se utilizó un valor inicial de z de 5m en algunos lances y de 10 metros para otros, a fin de evitar efectos de turbulencia y del motor del buque. A partir de la implementación del algoritmo DU se puede obtener la piconclina, termoclina y haloclina sustituyendo la función ϕ para que este en términos de cada una de esas variables.

$$Z^* = \frac{Z - Z_{min}}{Z_{max} - Z_{min}} \quad \text{Ec. 1.18}$$

$$\phi^* = \frac{\phi(Z) - \phi_{min}}{\phi_{max} - \phi_{min}} \quad \text{Ec. 1.19}$$

1.3 Circulación

1.3.1 Dinámica del océano

Básicamente el movimiento en el océano está regido por la conservación del momento, que puede ser derivado de la segunda Ley de Newton a través de la sumatoria de fuerzas que es igual al producto de la masa por la velocidad. En los fluidos esta relación se expresa en términos de fuerzas por unidad de masa, de la siguiente manera:

$$F = \frac{ma}{m} \quad \text{Ec. 1.20}$$

Sustituyendo la aceleración como el cambio de velocidad con respecto al tiempo y simplificándola masa se obtiene esta nueva expresión.

$$F = \frac{dv}{dt} \quad \text{Ec. 1.21}$$

Tomando en cuenta el hecho de que la velocidad en el océano está determinada por las componentes a lo largo de los ejes x, y, z, por lo que la ecuación queda expresada en función de estas componentes.

$$F = \frac{dv(u, v, w)}{dt} \quad \text{Ec. 1.22}$$

Esta ecuación es válida para un sistema de coordenadas absoluto, que puede ser un sistema estacionario o uno que se mueve a velocidad constante. En oceanografía el sistema generalmente está referido a los polos por lo que no se puede considerar ni estacionario ni que se mueve con velocidad constante, sino que está rotando. Para poder utilizarla es necesario entonces tomar en cuenta el efecto de rotación de la Tierra incluyendo una fuerza virtual o aparente denominada Fuerza de Coriolis.

La fuerza de Coriolis es una fuerza aparente y existe sólo para un observador en un sistema de referencia en rotación. En la oceanografía, las corrientes siempre se expresan con respecto al fondo del océano - el cual gira con la tierra - y por lo tanto las mismas pueden ser analizadas correctamente sólo si la fuerza de Coriolis se toma en cuenta en la sumatoria de fuerzas. La magnitud de la fuerza de Coriolis es proporcional a la velocidad de flujo y se dirige perpendicularmente a la dirección del flujo. Actúa hacia la izquierda del flujo en el hemisferio sur y hacia la derecha en el hemisferio norte. Esta preferencia direccional está relacionada con el principio de conservación del momento angular.

Una partícula de agua en reposo sobre el ecuador lleva momento angular como resultado de la rotación de la Tierra. Cuando se mueve hacia cualquiera de los polos, manteniendo su momento angular, se reduce la distancia entre la partícula y el eje de rotación de la Tierra. Para conservar el momento angular, debe aumentar su velocidad de rotación alrededor del eje. La partícula, por lo tanto, comienza a moverse alrededor del eje más rápidamente que la Tierra por debajo, es decir, comienza a trasladarse hacia el este. El resultado es una desviación; en vez de moverse en línea recta hacia el polo, se desvía hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el

hemisferio sur. De igual manera, una partícula que se mueva hacia el ecuador a partir de latitudes mayores aumenta su distancia desde el eje de rotación y se atrasa en la rotación relativa a la tierra. Por debajo; comienza a moverse hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur.

1.3.2 Movimiento inercial

Si a una porción de agua se le transmite algo de momento y luego no se le perturba más, la única fuerza que actúa sobre ella es la de Coriolis. De acuerdo a la segunda Ley de Newton, esta porción de agua debe acelerar constantemente y debido a que la fuerza presente únicamente es la de Coriolis, la aceleración muestra cambios constantes y como resultado la porción de agua se mueve sobre una circunferencia.

METODOLOGIA

2.1 Zona de estudio

Los datos utilizados para este estudio han sido proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) a través de la gerencia de oceanografía. Los datos fueron recolectados en la campaña de medición que se realizó frente a la costa salvadoreña a bordo del buque oceanográfico Miguel Oliver, durante el mes de diciembre de 2009. Los instrumentos de medición utilizados fueron un CTD Sea-Bird SBE 25 y un ADCP ocean surveyor de 150 khz. En total se realizaron 11 transeptos perpendiculares a la costa, entre los cuales se efectuaron 61 estaciones de muestreo. La figura 2.1 muestra la ubicación de las estaciones que se llevaron a cabo para la recolección de datos.

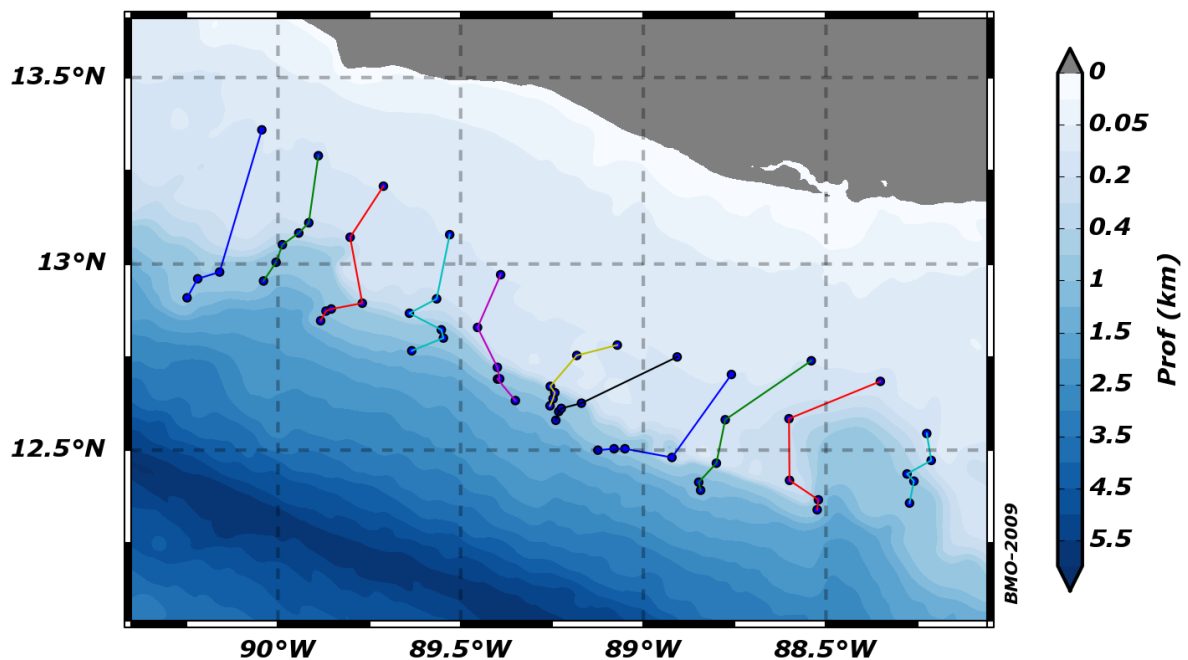


Figura 2. 1: Ubicación de las estaciones realizadas durante la campaña Oceanográfica llevada a cabo en diciembre de 2009.

Tabla 2. 1: Ubicación de las estaciones y transeptos realizados.

Transepto	N° de Lance	Longitud	Latitud
T1	1	-90.24884	12.90933
	2	-90.21967	12.96033
	3	-90.15967	12.97850
	4	-90.04416	13.35983
T2	5	-90.03949	12.95450
	6	-90.00516	13.00467
	7	-89.98782	13.05183
	8	-89.94299	13.08317
	9	-89.91565	13.11067
	10	-89.88950	13.29050
T3	11	-89.88318	12.84767
	12	-89.86850	12.87367
	13	-89.85400	12.87917
	14	-89.76917	12.89483
	15	-89.80249	13.07183
	16	-89.71133	13.20883
T4	17	-89.63385	12.76700
	18	-89.54718	12.80117
	19	-89.55283	12.82333
	20	-89.64017	12.86783
	21	-89.56567	12.90650
	22	-89.53000	13.07883
T5	23	-89.35016	12.63317
	24	-89.39917	12.69100
	25	-89.39316	12.69167
	26	-89.39951	12.72250
	27	-89.45367	12.82967
	28	-89.39050	12.97133
T6	29	-89.25534	12.61917
	30	-89.24701	12.63800
	31	-89.24216	12.65433
	32	-89.25467	12.67133
	33	-89.18216	12.75443
	34	-89.07117	12.78233
T7	36	-89.23950	12.58017
	37	-89.23151	12.60367
	38	-89.22449	12.61217
	39	-89.16934	12.62617
	40	-88.90735	12.75050
T8	41	-89.12433	12.49983
	42	-89.08002	12.50367
	43	-89.05032	12.50367
	44	-88.92166	12.48017
	45	-88.75885	12.70333
T9	46	-88.84317	12.39200
	47	-88.84833	12.41367
	48	-88.79999	12.46483
	49	-88.77582	12.58167
	50	-88.54016	12.74017
T10	51	-88.52417	12.33950
	52	-88.52084	12.36633
	53	-88.59982	12.41867
	54	-88.60132	12.58450
	55	-88.35117	12.68483
T11	56	-88.27133	12.35750
	57	-88.25934	12.41650
	58	-88.27817	12.43583
	59	-88.21182	12.47233
	61	-88.22418	12.54467

2.2 Descripción del equipo de medición

A continuación se presenta una descripción del equipo de medición utilizado durante la campaña oceanográfica, con sus capacidades y elementos característicos.

2.2.1 CTD

El CTD SBE 25 es un instrumento equipado con una serie de sensores que permiten medir continuamente diversos parámetros oceanográficos a medida que se sumerge en el agua. El CTD midió directamente parámetros de conductividad, temperatura, presión y oxígeno, pero se ha descartado este último debido a que el sensor no estaba en buen estado. A través de la medición de conductividad es posible determinar la salinidad del agua debido a la relación directa que existe entre ambas, a mayor salinidad más conductividad. También para calcular la profundidad en el agua de mar se utilizó una relación similar entre profundidad y presión. Aproximadamente un cambio de un decibar equivale a un cambio de un metro en profundidad.

La tabla 2.1 muestra las especificaciones técnicas para el modelo SBE 25, obtenidas de la página oficial del fabricante (www.seabird.com).

Tabla 2. 2: Especificaciones Técnicas del instrumento SBE 25.

Sensor	Rango	Precisión
Conductividad	0 - 7 S/m	0.0003 S/m
	0-70 mmho/cm	0.003 mmho/cm
Temperatura	-5 a +35 °C	0.002 °C
Presión	0 a 2000 m	0.1 m

2.2.2 Procesamiento de datos de CTD

Los datos obtenidos directamente del instrumento CTD se encuentran en formato hexadecimal (*.hex), por lo que se procedió primero a emplear el programa SBE Data Processing, para corregir datos erróneos, y convertirlos al formato ASCII. Para esto se aplicaron una serie de filtros de acuerdo a las recomendaciones del manual incluido con el software.

Este procesamiento se realizó de manera automatizada, para lo cual se preparó un archivo de procesamiento por lotes (batch) que contenía los módulos necesarios a aplicar. A continuación se presenta una lista con los módulos que se incluyeron en dicho archivo:

- DatCnv.psa
- Wild Edit.psa
- Filter.psa
- AlignCTD.psa
- CellTM.psa
- LoopEdit.psa
- Derive.psa
- BinAvg.psa
- AsciiOut.psa

Una vez que se realizaron estos preparativos se ejecutó el archivo batch, teniendo en cuenta que cuando se ejecutó el primer módulo, se generó un archivo *.cnv, que posteriormente se sobre escribió cada vez que se ejecutaba el siguiente modulo. Al final de este proceso se obtuvo un archivo *.cnv por cada archivo *.hex con todas las correcciones efectuadas. En los siguientes párrafos se proporciona una descripción breve de cada uno de los módulos que se ejecutaron para el procesamiento.

- Data Conversión: Usado para convertir los datos hexadecimales (*.hex) al formato ASCII (*.cnv).
- Wild Edit: Usado para eliminar el ruido eléctrico producido por el aparato y reemplazar los datos malos por valores buenos; para ello el programa calculó primero la desviación estándar y después sustituyó las banderas por datos correctos.
- Filter: Se utilizó para aplicar un filtro de paso bajo sobre los datos de presión, debido a que la resolución del sensor era relativamente baja y la señal aparecía pixeleada.
- Align CTD: Sincronizó los datos de acuerdo al tiempo de reacción de los diferentes sensores, para garantizar que las medidas realizadas pertenecían a la misma profundidad. Para el SBE 25 se utilizó un valor de corrección de 0.1 para el sensor de conductividad.
- Cell Thermal Mass: la celda de conductividad es sensible a la temperatura por lo que se modifica su tamaño cuando varía la temperatura. Este modulo suprimió el error producido en la medida de conductividad debido a la modificación del tamaño, aplicando un modelo de decaimiento exponencial, con valores de $\alpha = 0.03$ y $\tau = 7$.
- Loop Edit: Corrigió los movimientos verticales del aparato debidos a movimientos del barco o a condiciones de oleajes desfavorables. El valor de la velocidad de descenso del CTD empleado en este modulo fue de 0.25 m/s
- Derive: Utilizado para calcular magnitudes derivadas como salinidad y densidad potencial.
- Bin Average: Promedió los valores en intervalos constantes (bins) de 1 metro.
- ASCII Out: Separó los archivos de cabecera de los datos.

Luego de esta etapa se procedió a implementar la nueva ecuación de estado para poder hacer el análisis empleando estas nuevas variables.

2.2.2.1 Generación de la malla computacional

Para poder realizar el análisis de transeptos y de distribución horizontal de las variables de interés fue necesario realizar una malla computacional para poder interpolar valores en puntos donde se desconoce el valor de cada parámetro. El método de interpolación utilizado fue Interpolación de Datos de Análisis Variacional (DIVA por sus siglas en ingles), el método consiste en minimizar una función de costo de tal forma que el campo analizado tenga el menor error posible. Las mallas para el análisis del campo de interés y del error asociado, fueron generadas utilizando la herramienta generopt.exe que es distribuida junto con el programa DIVA [Troupin, 2012].

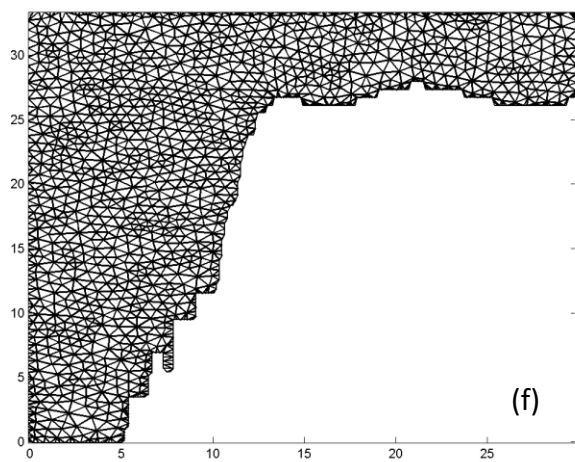
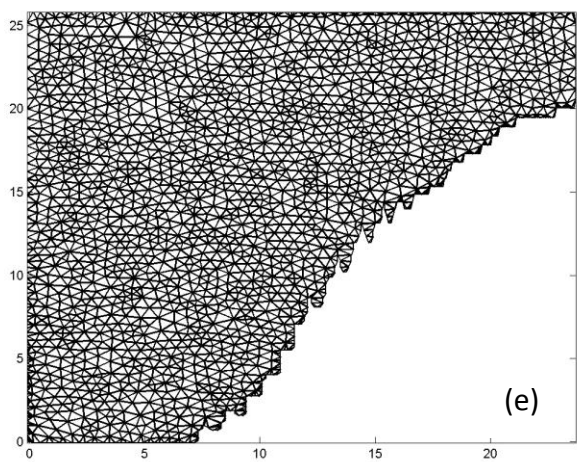
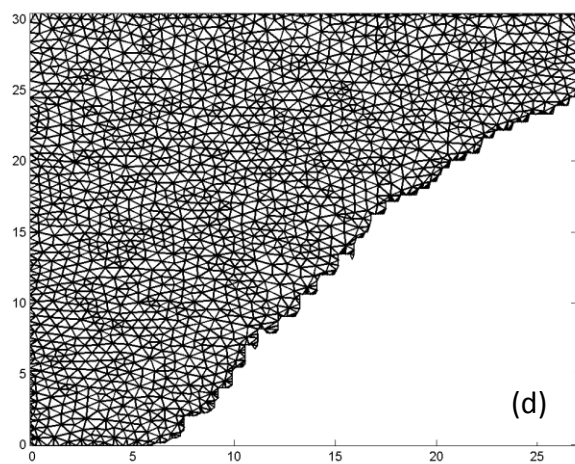
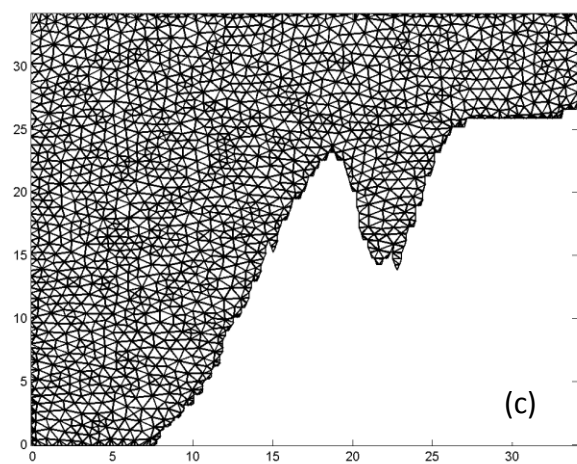
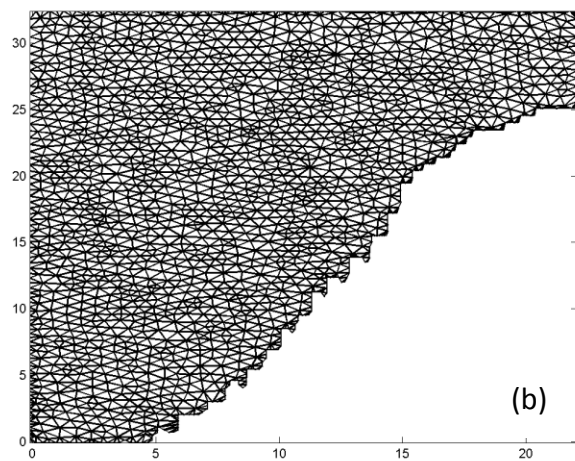
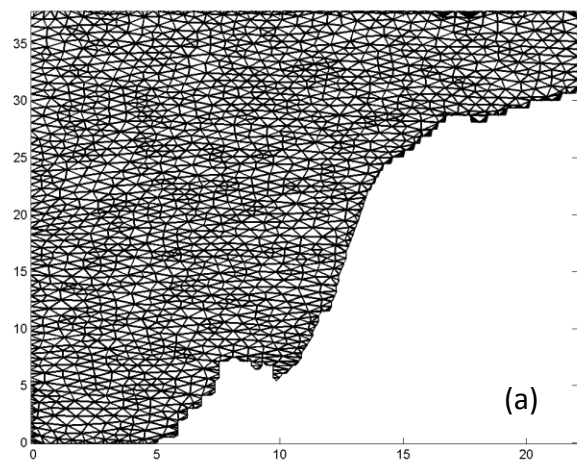


Figura 2. 2: Mallas computacionales: (a) transecto 1, (b) transecto 2, (c) transecto 3, (d) transecto 4, (e) transecto 5 y (f) transecto 6 de la campaña oceanográfica realizada en diciembre de 2009.

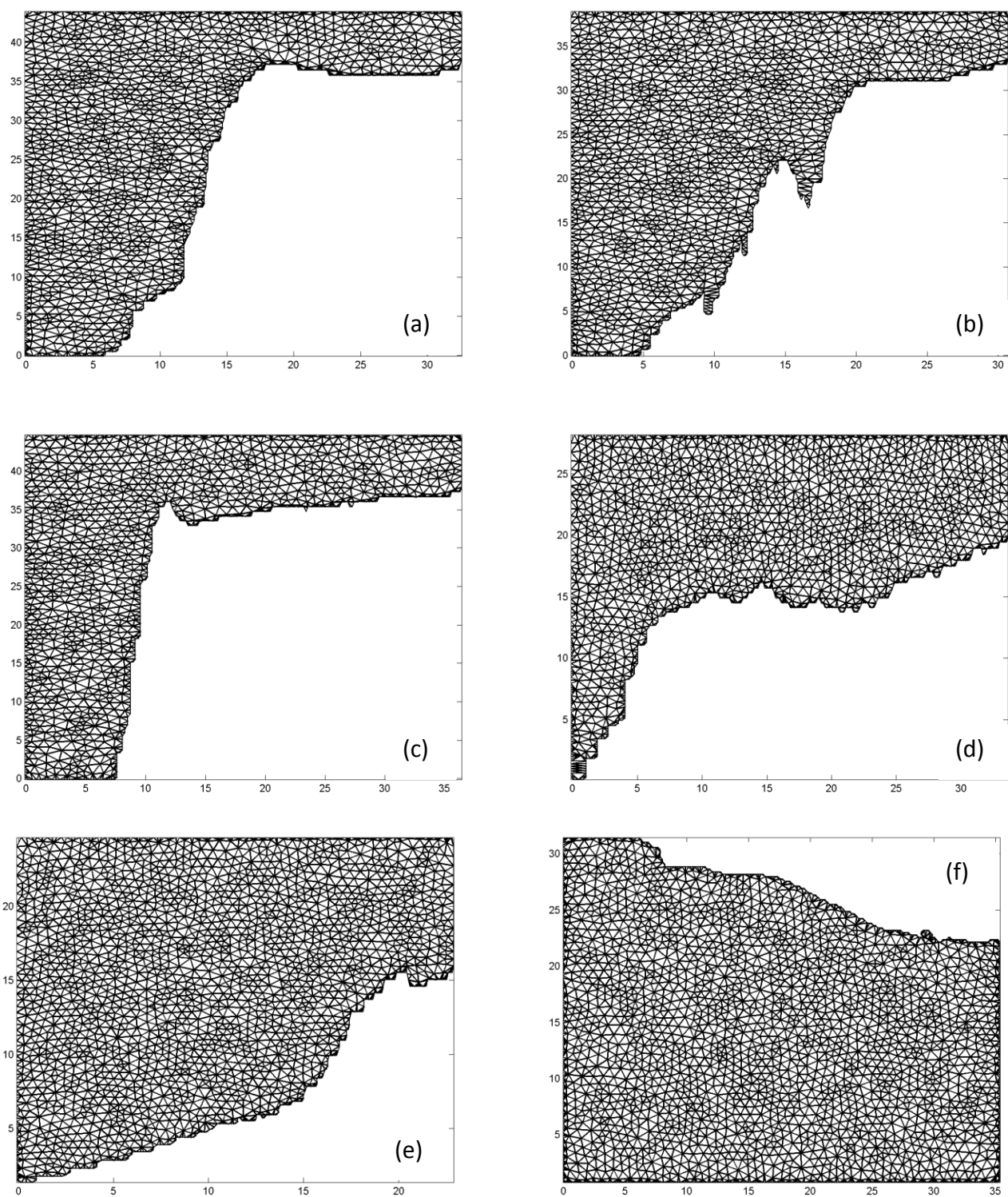


Figura 2. 3: Mallas computaciones: (a) transecto 7, (b) transecto 8, (c) transecto 9, (d) transecto 10, (e) transecto 11 y (f) distribución horizontal de la campaña oceanográfica realizada en diciembre de 2009.

La minimización de la función de costo es realizada a través de un método de elementos finitos. La función de costo a resolver está definida de la siguiente manera:

$$J[\varphi] = \sum_{j=1}^{N_d} \mu_j [d_j - \varphi(x_j, y_j)]^2 + \|\varphi\|^2 \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde el elemento $\|\varphi\|$ representa la suma de todos los factores que penalizan las anomalías, gradientes, variabilidad e inadaptación de datos.

El campo de error obtenido es generado utilizando la estimación de poor man, que consiste en rellenar un campo con una covarianza constante y luego ver la variación del análisis con respecto a este campo. La ventaja de este método es la rapidez para el cálculo de error en todas las posiciones requeridas, obteniendo de esta forma un indicador para aquellas regiones en donde el análisis es poco confiable. La desventaja del método es que algunas veces sobreestima el valor de error debido a la aplicación de un campo de covarianzas constantes, sin embargo para situaciones prácticas donde no se necesita tanta precisión en el error el método es muy útil. Si el análisis va a servir de entrada para una simulación numérica de algún modelo atmosférico, entonces es recomendable calcular primero el campo de error utilizando el método de poor man para tener una primera aproximación de las regiones donde el análisis es poco confiable y luego repetir el análisis utilizando esta vez el método de la covarianza real para la estimación del error.

2.2.3 Perfilador Acústico de Corrientes Doppler

Un perfilador acústico de corrientes doppler (ADCP por sus siglas en inglés) es un sonar que registra la velocidad del agua para un rango de profundidades determinadas. Dependiendo del tipo de medición que se vaya a realizar, un ADCP puede utilizar uno o más materiales piezoeléctricos como transductores, los cuales están dirigidas de tal manera que el pulso de sonido viaja a través del agua en diferentes direcciones conocidas. Cuando el pulso del sonido emitido retorna a la cara del transductor, este se encuentra desplazado en frecuencia, a esto se le conoce como efecto Doppler, debido a la velocidad relativa del agua. A través del muestreo repetitivo de la devolución de eco, y del bloqueo de los datos retornados en el tiempo, el ADCP puede producir un perfil de las corrientes de agua en un rango de profundidades.

Además de los transductores, un ADCP normalmente tiene un amplificador electrónico, receptor, mezclador, oscilador, reloj de precisión, sensor de temperatura, compás, tono y el sensor de balanceo, los convertidores de analógico a digital, memoria, procesador de señal digital y sistema de instrucción. Los convertidores de analógico a digital (ADC) y el procesador de señal digital (DSP) se utilizan para probar la señal de retorno, determinar el efecto Doppler, y probar la brújula y otros sensores para calcular rango y un vector de velocidad relativa a una orientación conocida.

Hay una serie de factores que afectan a la precisión, resolución y la gama de perfiles obtenidos. Los más notables son: la absorción, la difusión, la velocidad del sonido en el agua, el ancho de banda de la energía del sonido, potencia de la señal del pulso transmitido y el eco, el tamaño del transductor, la anchura del haz (sic) del pulso de energía que viaja a través del agua, la frecuencia y una serie de limitaciones asociadas a las técnicas de procesamiento de señales y el hardware, incluyendo la precisión del oscilador/reloj.

Los datos de ADCP que se utilizaron en esta investigación fueron obtenidos por un ADCP Ocean Surveyor de 150 KHz (ADCP OS150). Las especificaciones técnicas para este equipo son las siguientes:

Tabla 2. 3: Especificaciones Técnicas del instrumento ADCP Ocean Surveyor 150.

Frecuencia	Rango	Tamaño de celda
150KHz	375 - 400m	8 m

En modo de largo alcance (Long Range) el ADCP OS150 logra un rango máximo de alcance entre 375 – 400m con una precisión de 19cm/s y en modo de alta precisión logra un alcance máximo entre 220-275m con una precisión de 9cm/s. Los datos fueron colectados utilizando el software VMDAS que viene junto con el equipo.

2.2.4 Procesamiento de datos de ADCP

El procesamiento de datos de ADCP se realizó a través del programa WinADCP junto con rutinas de MATLAB para obtener las componentes de la velocidad de la corriente. Para ello se siguieron estos pasos:

- Se inició el programa y se abrió el archivo .lta para obtener archivos promediados cada 10minutos.
- Se seleccionó la opción de escalado chart para visualizar los datos.
- Se seleccionó la opción de colocar máximos ensambles en la subseccion.

Se generaron gráficas de dirección, porcentaje de bins (intervalos uniformes de medición) buenos y bias (señal medida correlacionada con la velocidad del barco) para identificar los errores y poder hacer las correcciones respectivas. Una vez que se identificaron las fuentes de error se seleccionaron los archivos con el mejor porcentaje de bins buenos y se agregaron a la base de datos del programa UHDAS-CODAS para poder realizar el procesado final.

2.2.5 Calculando la velocidad a partir de datos de ADCP

El ADCP consta de 4 haces ubicados en ángulos de 90 grados los cuales tienen la función de medir las componentes de la velocidad en direcciones específicas. Para cada par de haces se obtiene una componente horizontal y una componente vertical de velocidad. Se tomó como supuesto que la velocidad de la corriente es homogénea en una capa horizontal. Para poder calcular las componentes de la velocidad con los cuatro haces del ADCP se empleó la siguiente ecuación:

$$u_1 = v \sin(\theta) + w \cos(\theta) \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$u_2 = -v \sin(\theta) + w \cos(\theta) \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$u_3 = u \sin(\theta) + w \cos(\theta) \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$u_4 = -u \sin(\theta) + w \cos(\theta) \quad \text{Ec. 2.5}$$

El primer par de haces sirvió para calcular la velocidad este-oeste y la velocidad vertical. El segundo par de haces se utilizó para calcular la velocidad norte-sur y la velocidad vertical.

DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Perfiles verticales y Diagramas TS

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la fase de procesamiento de los datos de CTD y ADCP de la campaña oceanográfica 2009. Los resultados son presentados por lance para poder ver el comportamiento de cada zona de medición y solamente se muestra una parte del perfil vertical ya que se han dejado fijos a los primeros 150 metros para poder ver el comportamiento de la capa de mezcla y poder analizar la variación de la profundidad de inicio de la termoclina, pycnoclina y haloclina. Todas las gráficas presentan un comportamiento similar y se puede observar como el valor de las isopícnas disminuye desde la superficie hasta el fondo mostrando cierta estabilidad en la columna de agua.

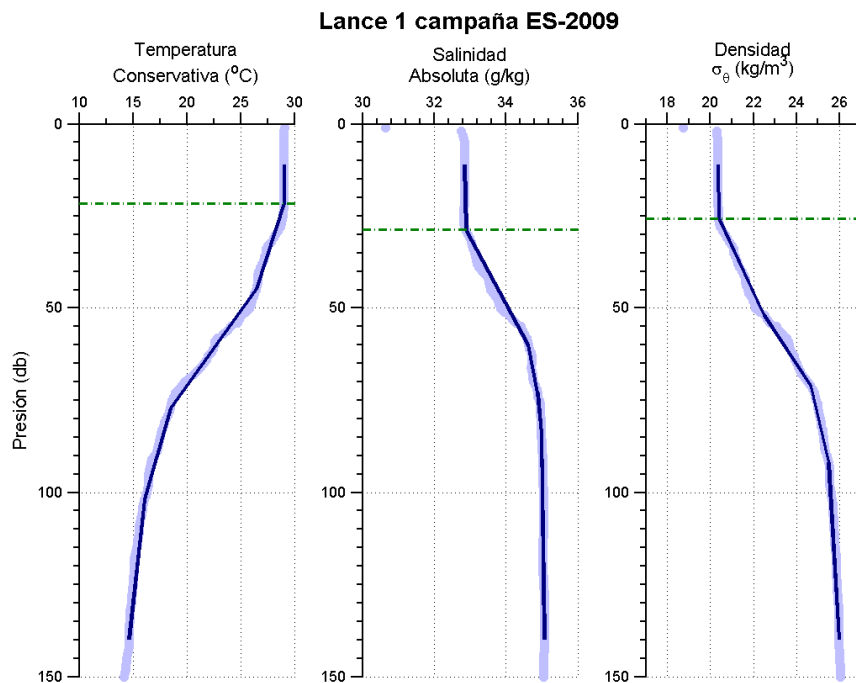


Figura 3. 1: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 1 de la campaña oceanográfica ES-2009.

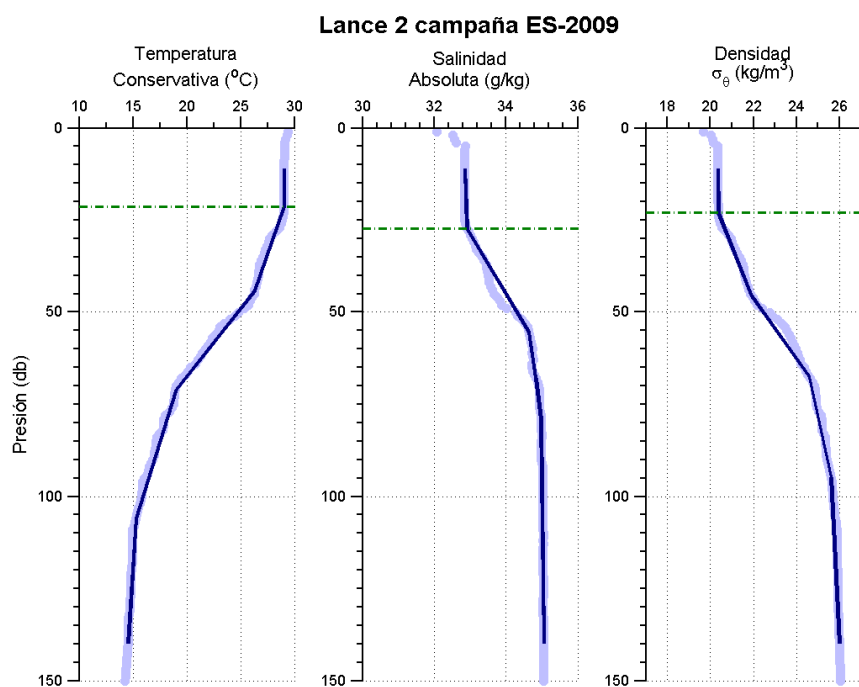


Figura 3. 2: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 2 de la campaña oceanográfica ES-2009.

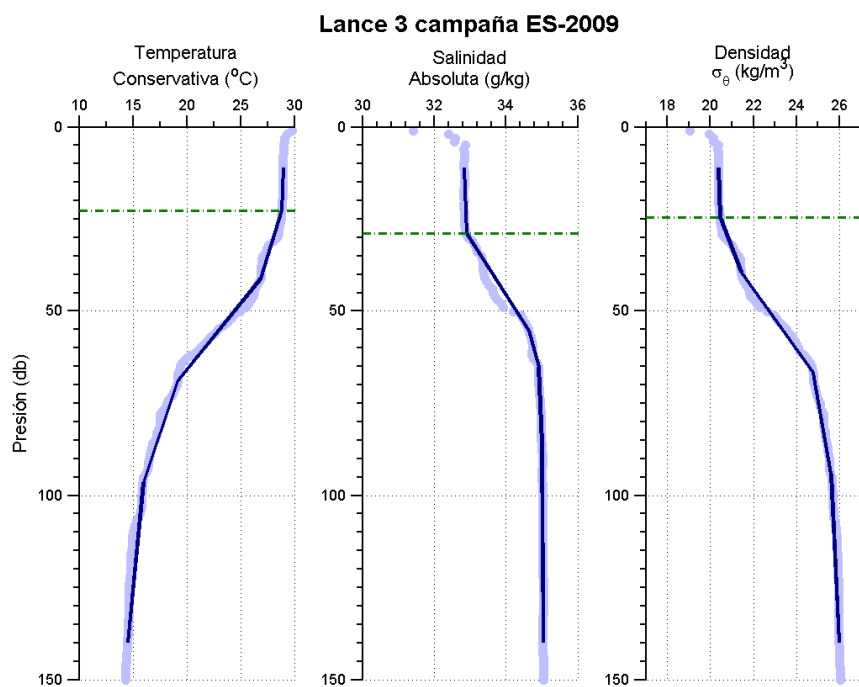


Figura 3. 3: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 3 de la campaña oceanográfica ES-2009.

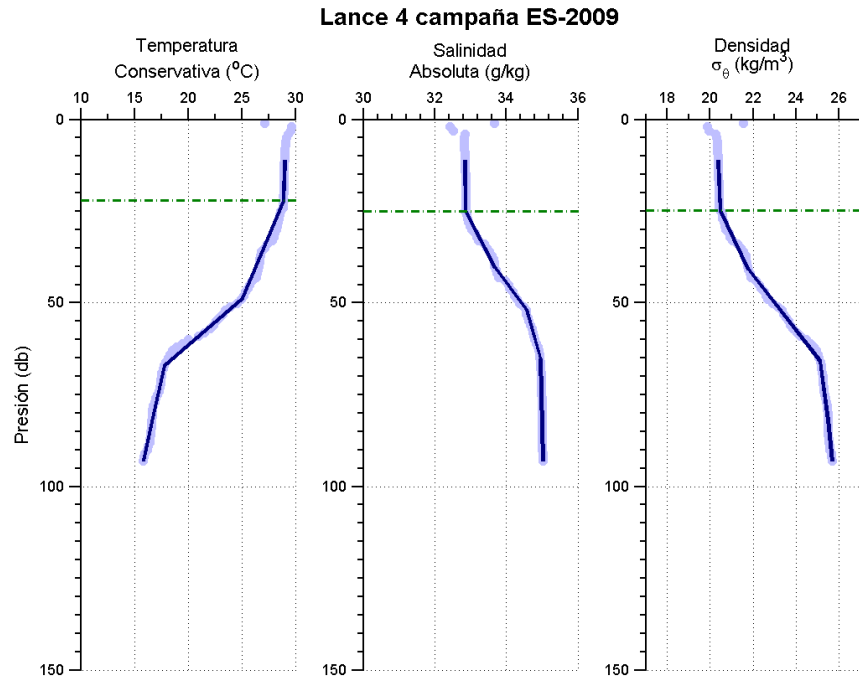


Figura 3. 4: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 4 de la campaña oceanográfica ES-2009.

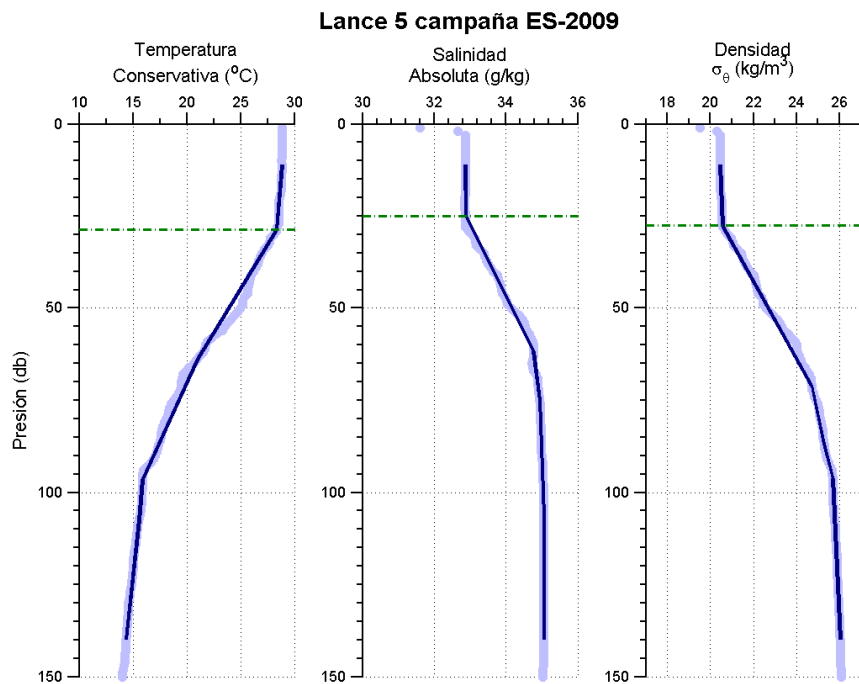


Figura 3. 5: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 5 de la campaña oceanográfica ES-2009

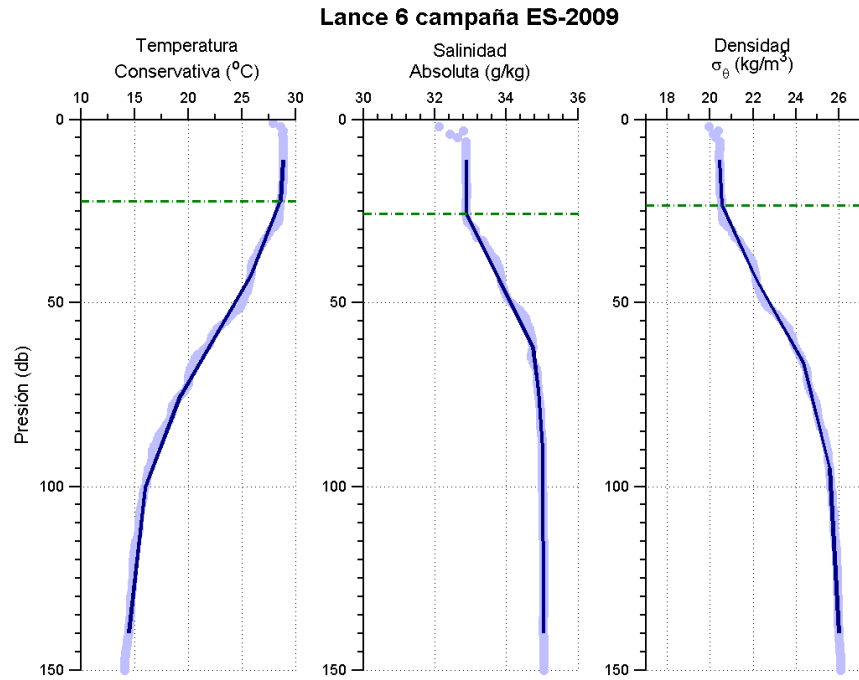


Figura 3. 6: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 6 de la campaña oceanográfica ES-2009.

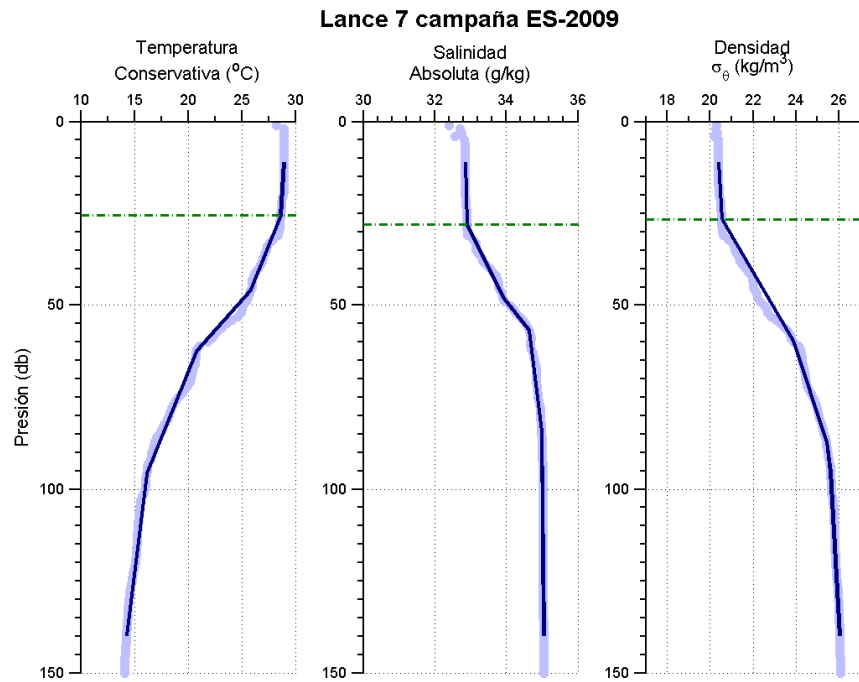


Figura 3. 7: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 7 de la campaña oceanográfica ES-2009.

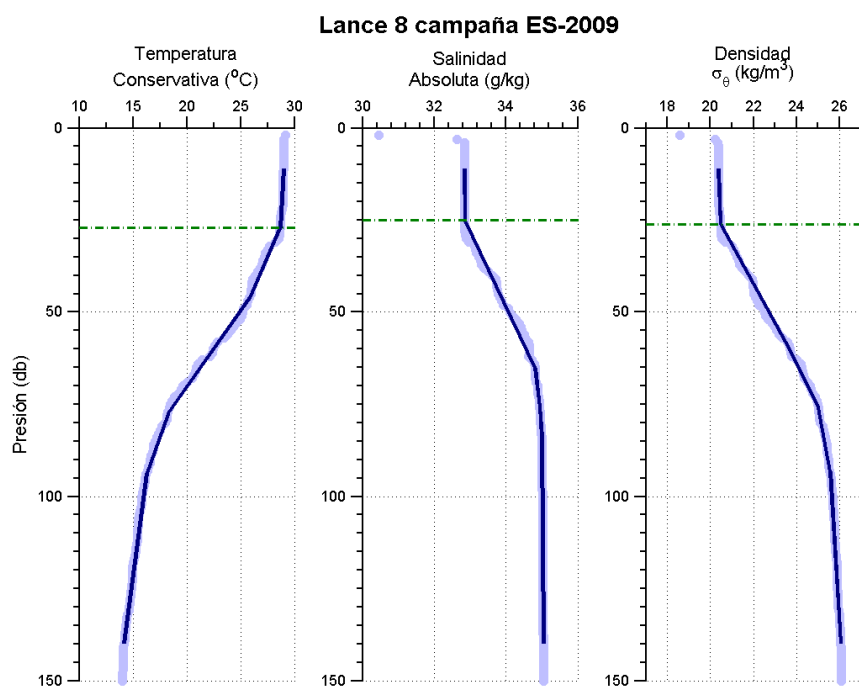


Figura 3. 8: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 8 de la campaña oceanográfica ES-2009.

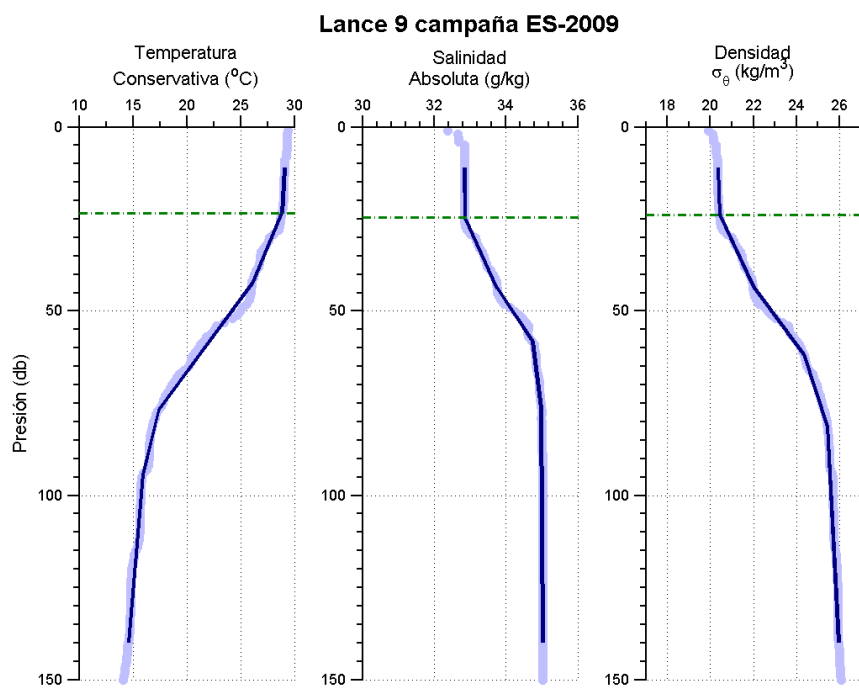


Figura 3. 9: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 9 de la campaña oceanográfica ES-2009.

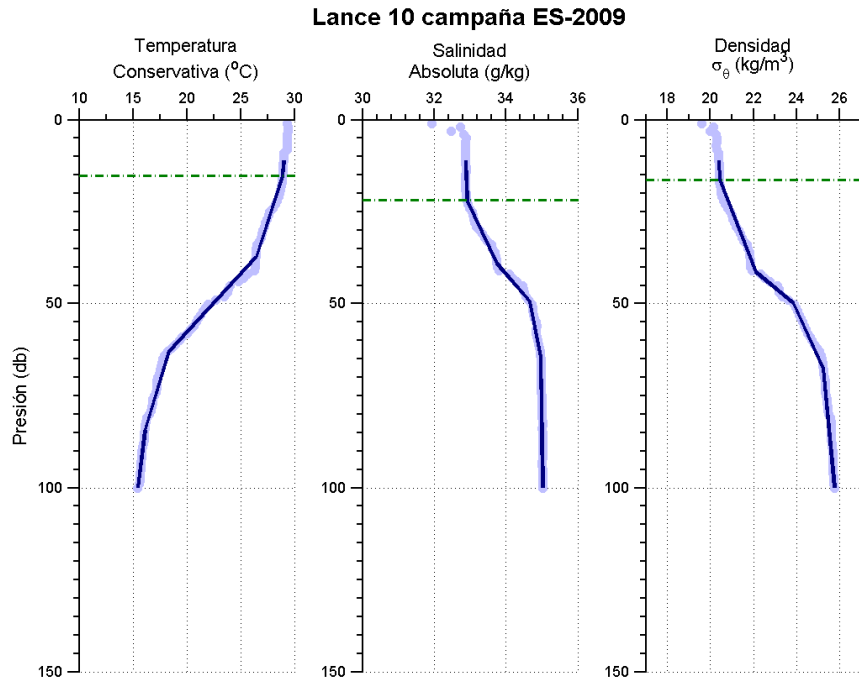


Figura 3. 10: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 10 de la campaña oceanográfica ES-2009.

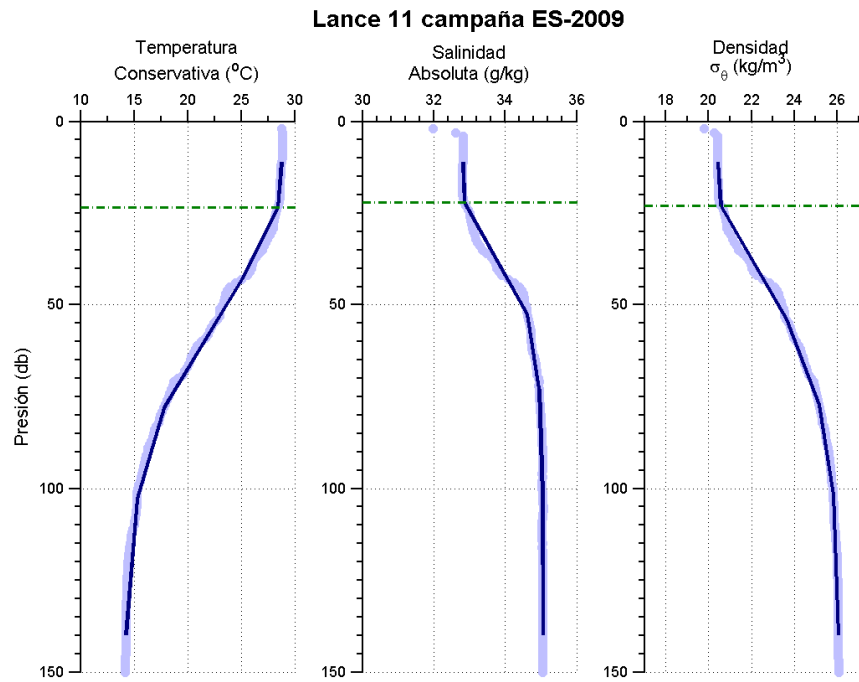


Figura 3. 11: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 11 de la campaña oceanográfica ES-2009.

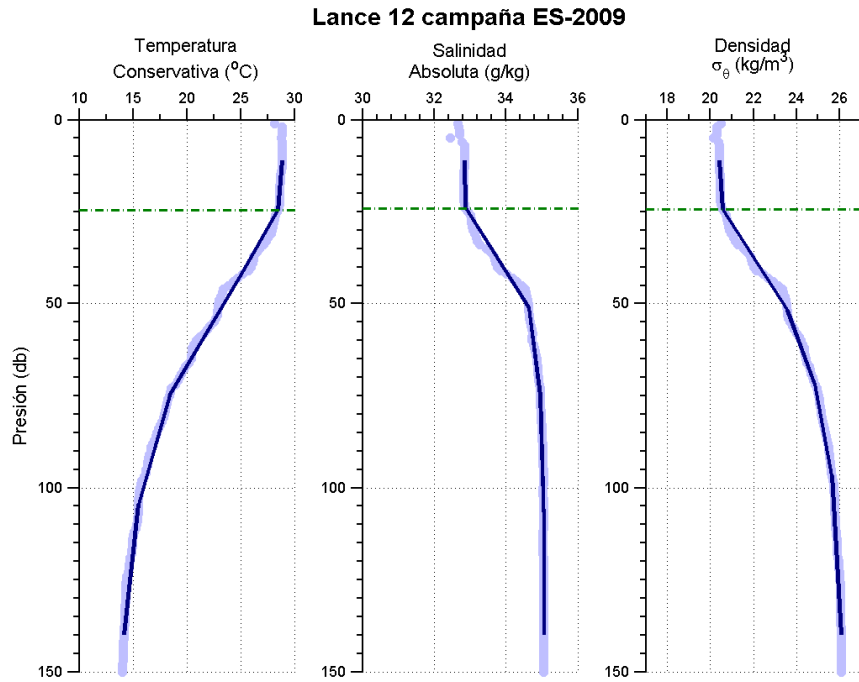


Figura 3. 12: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 12 de la campaña oceanográfica ES-2009.

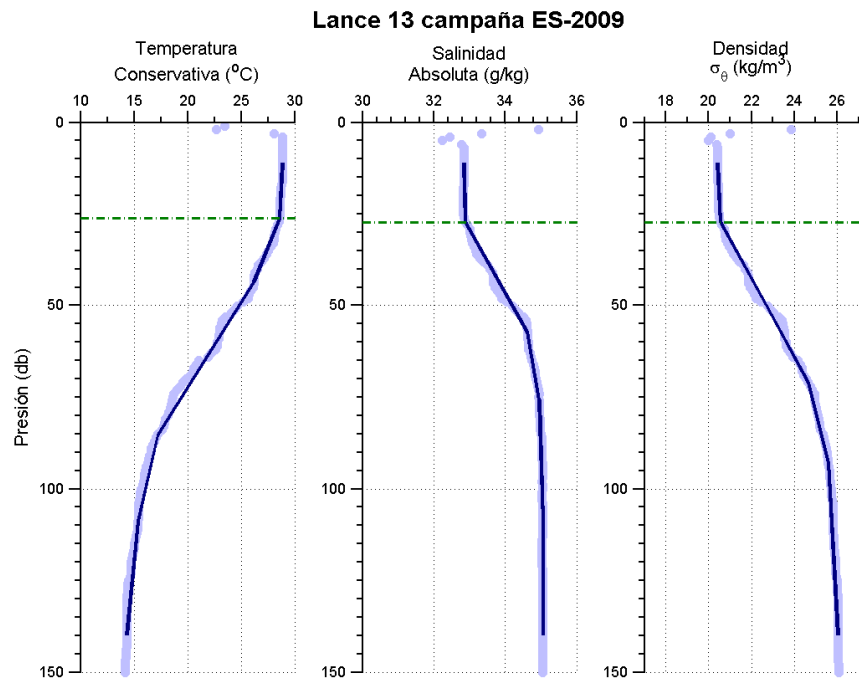


Figura 3. 13: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 13 de la campaña oceanográfica ES-2009.

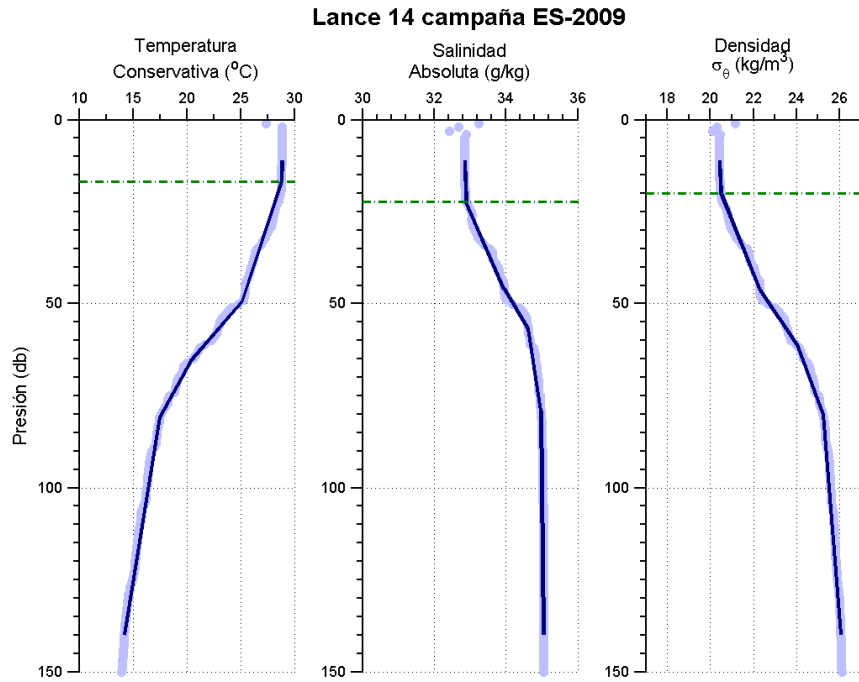


Figura 3. 14: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 14 de la campaña oceanográfica ES-2009.

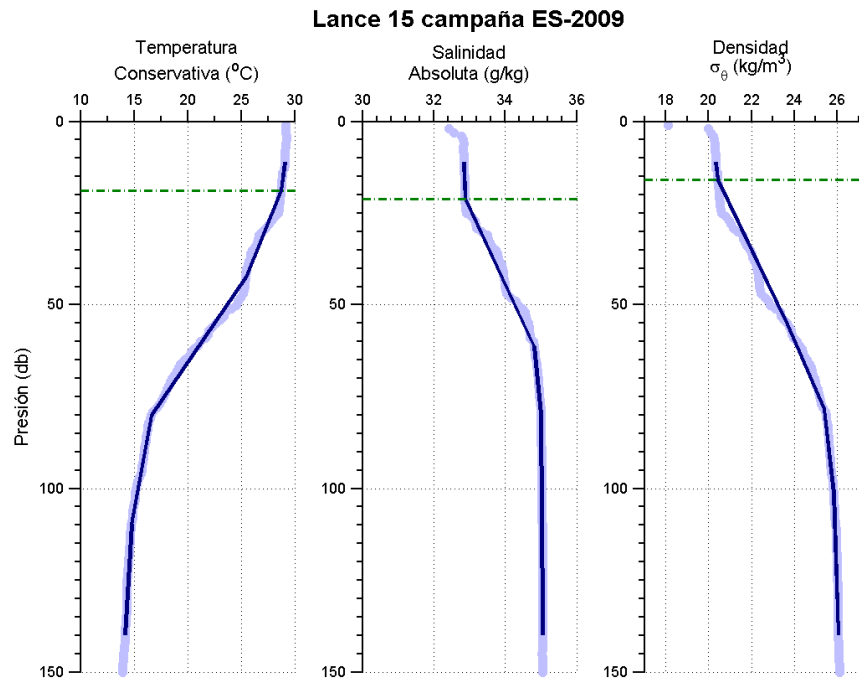


Figura 3. 15: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 15 de la campaña oceanográfica ES-2009.

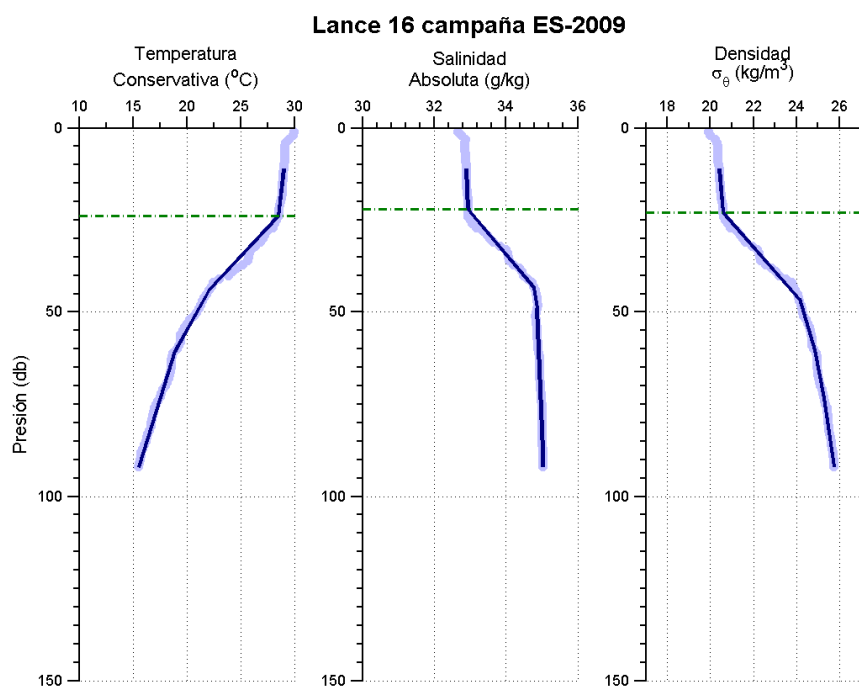


Figura 3. 16: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 16 de la campaña oceanográfica ES-2009.

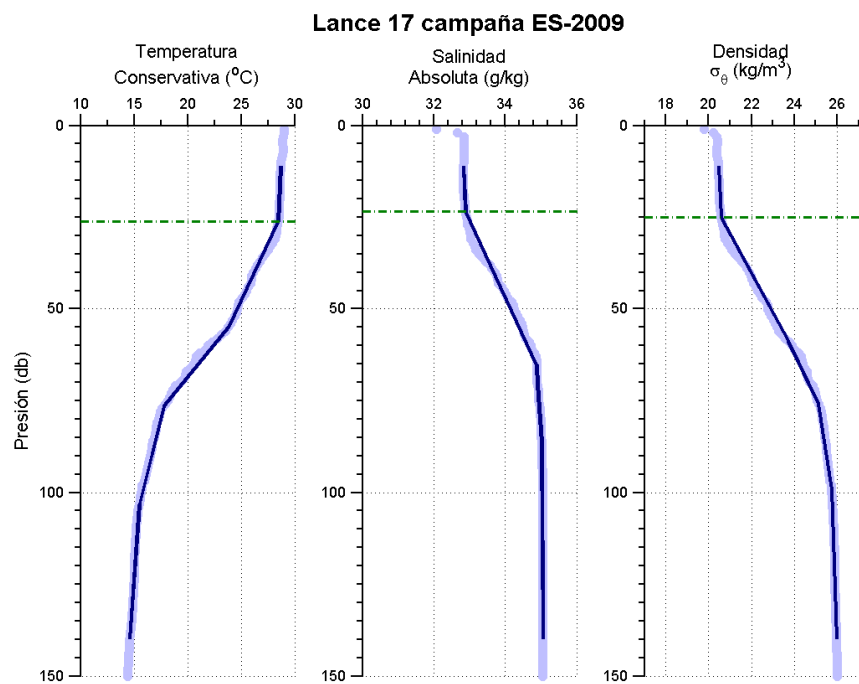


Figura 3. 17: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 17 de la campaña oceanográfica ES-2009.

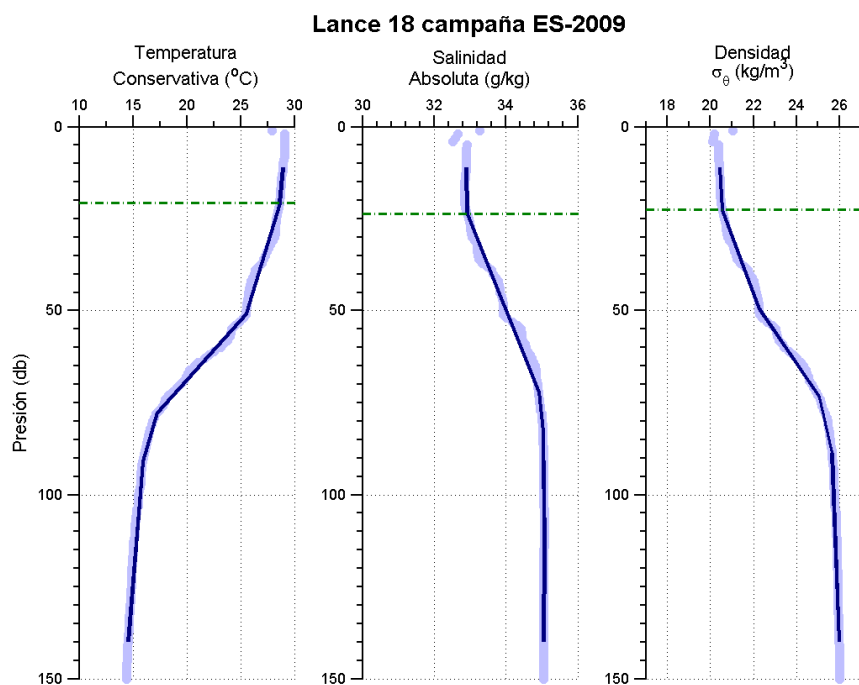


Figura 3. 18: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 18 de la campaña oceanográfica ES-2009.

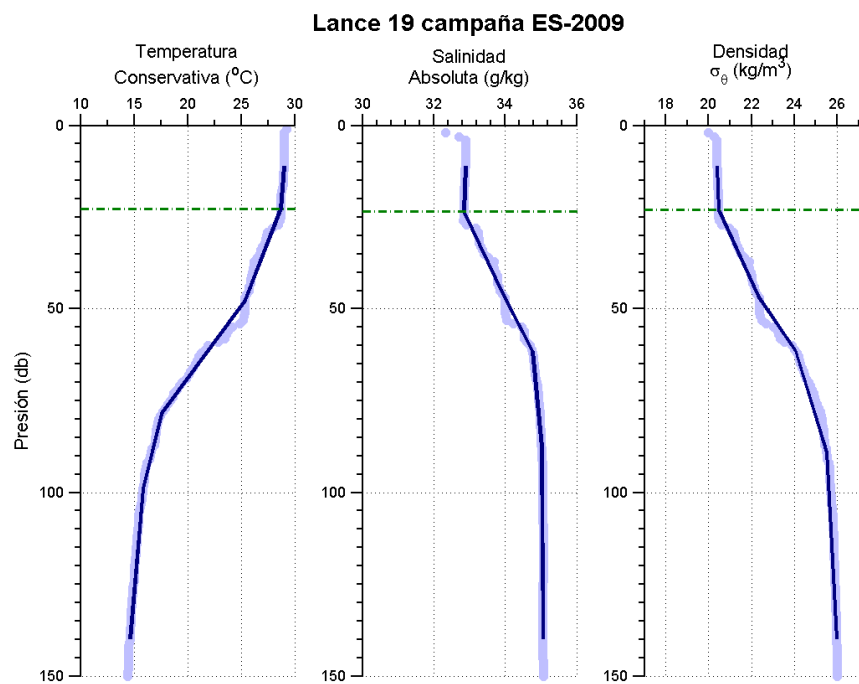


Figura 3. 19: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 19 de la campaña oceanográfica ES-2009.

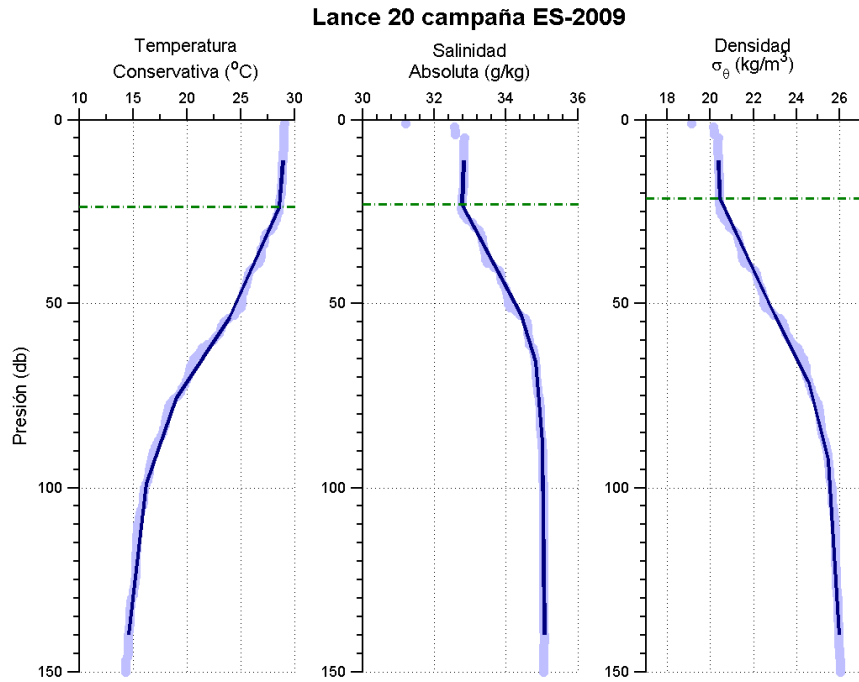


Figura 3. 20: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 20 de la campaña oceanográfica ES-2009.

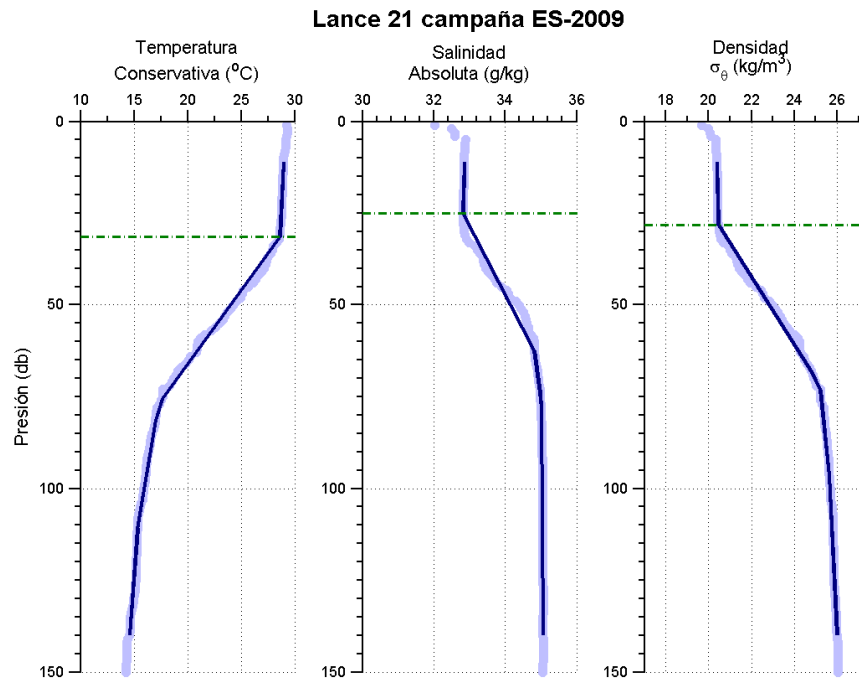


Figura 3. 21: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 21 de la campaña oceanográfica ES-2009.

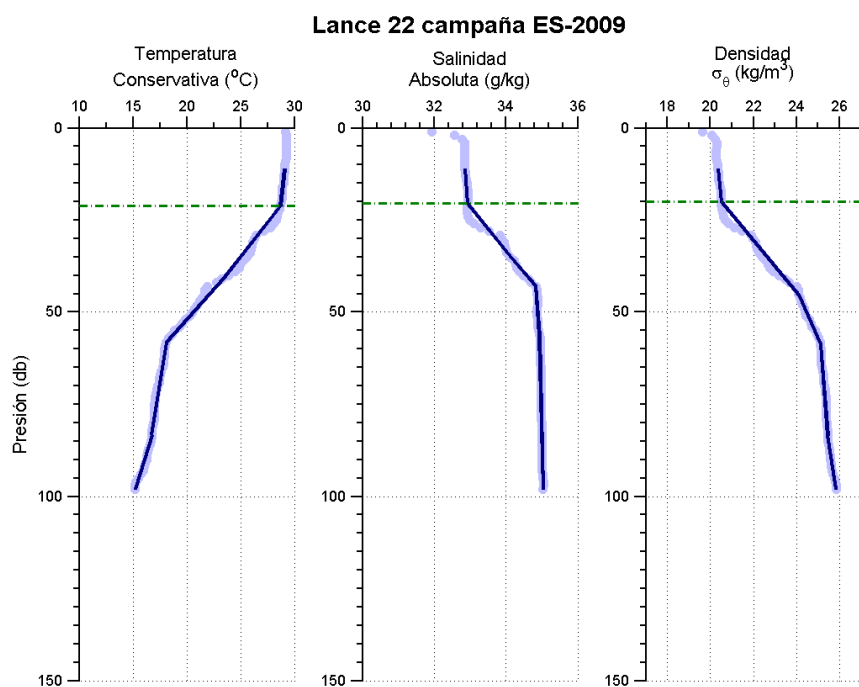


Figura 3. 22: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 22 de la campaña oceanográfica ES-2009.

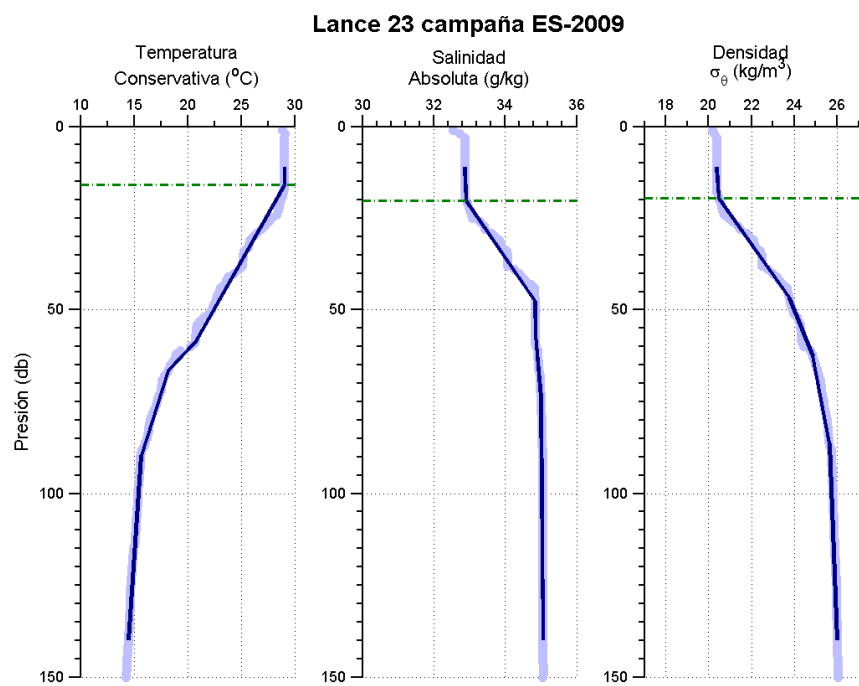


Figura 3. 23: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 23 de la campaña oceanográfica ES-2009.

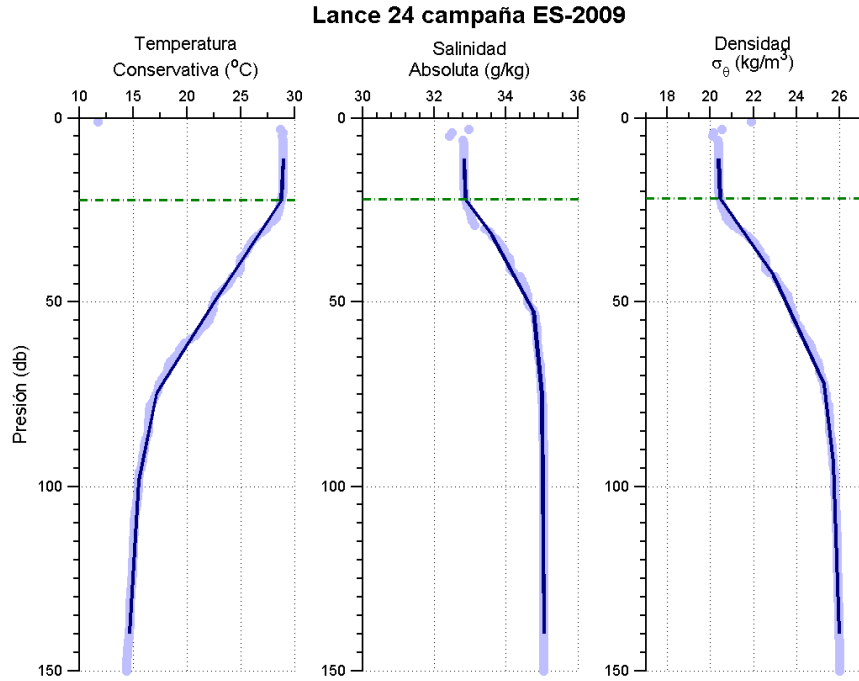


Figura 3. 24: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 24 de la campaña oceanográfica ES-2009.

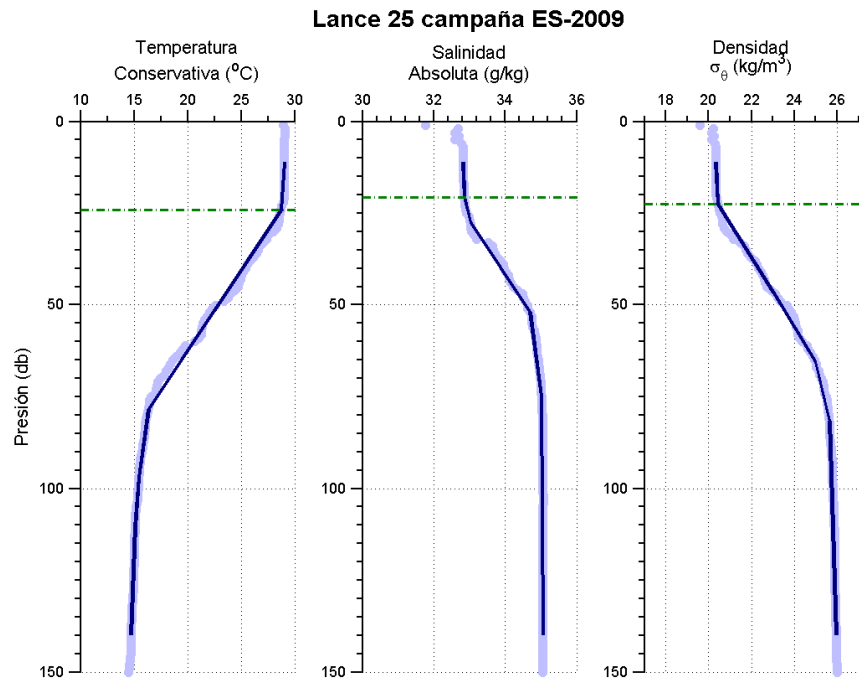


Figura 3. 25: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 25 de la campaña oceanográfica ES-2009.

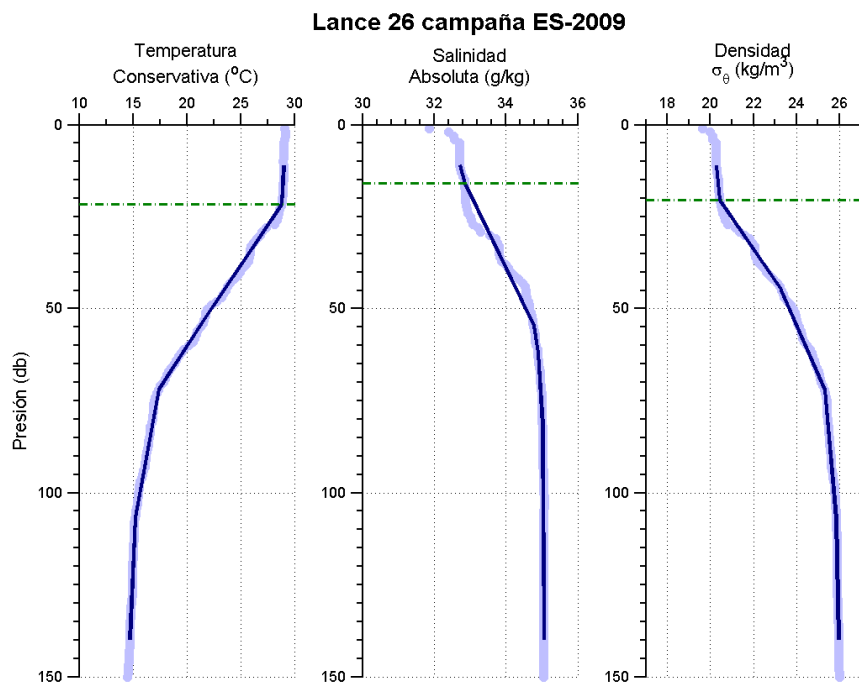


Figura 3. 26: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 26 de la campaña oceanográfica ES-2009.

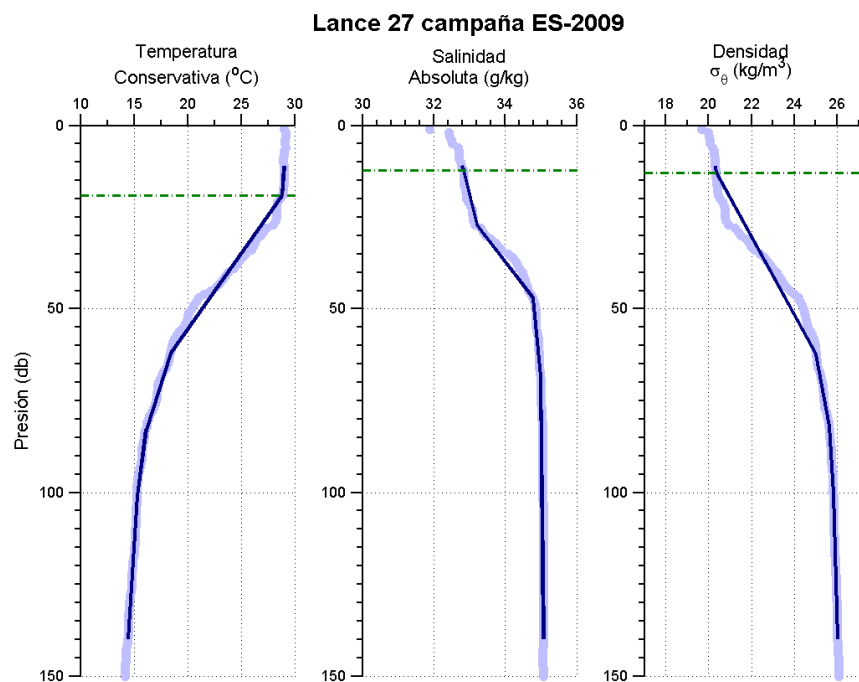


Figura 3. 27: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 27 de la campaña oceanográfica ES-2009.

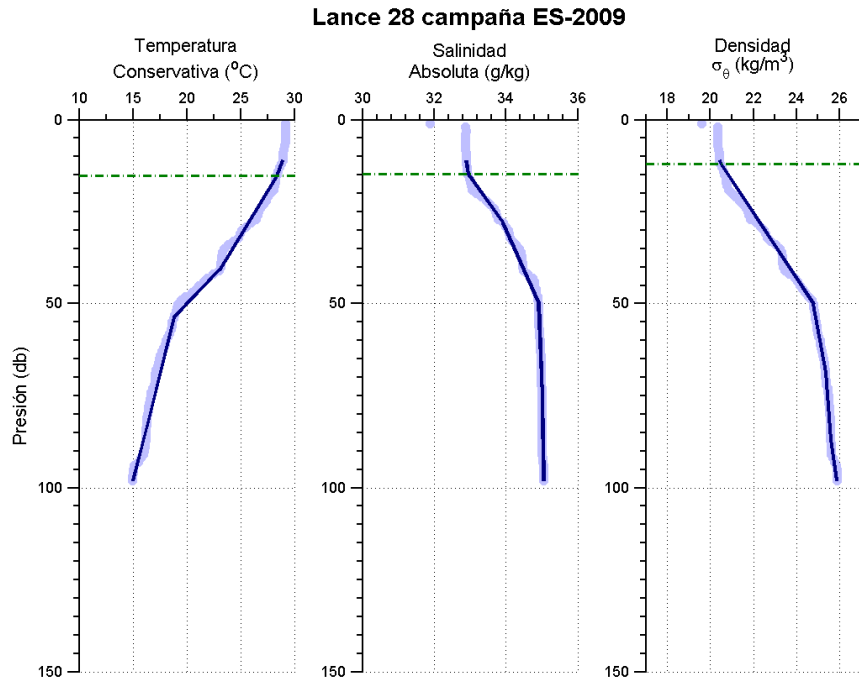


Figura 3. 28: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 28 de la campaña oceanográfica ES-2009.

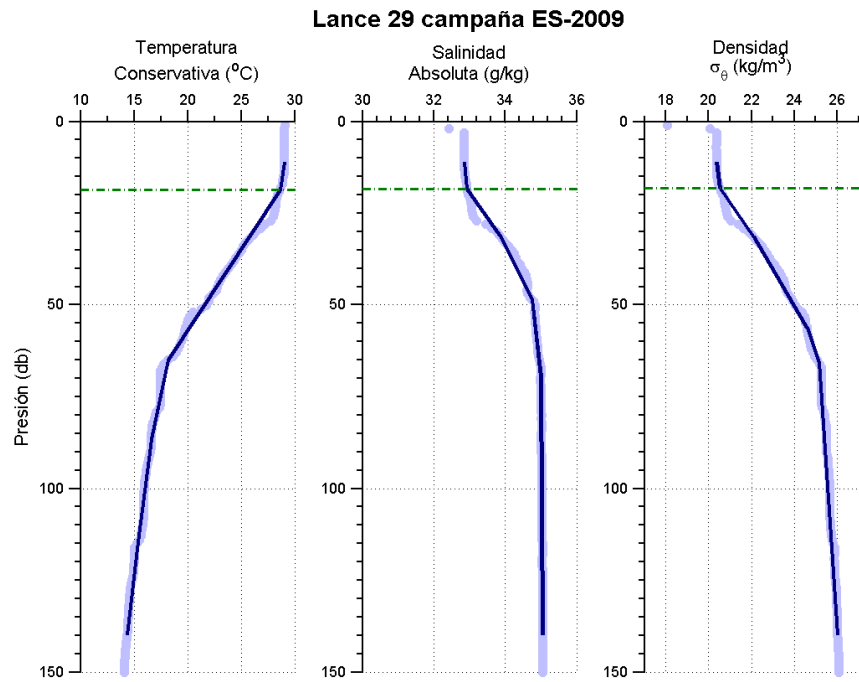


Figura 3. 29: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 29 de la campaña oceanográfica ES-2009.

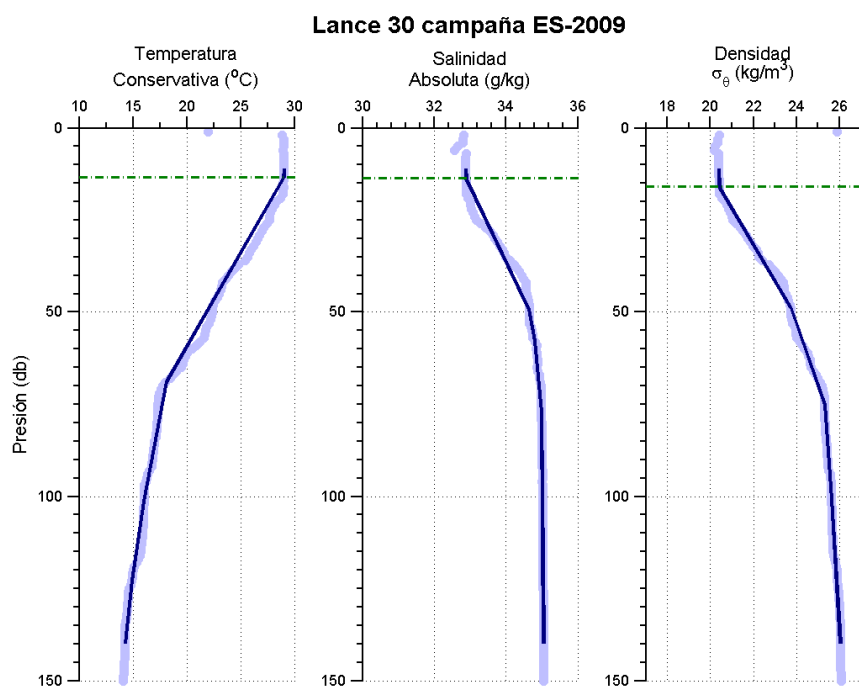


Figura 3. 30: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 30 de la campaña oceanográfica ES-2009.

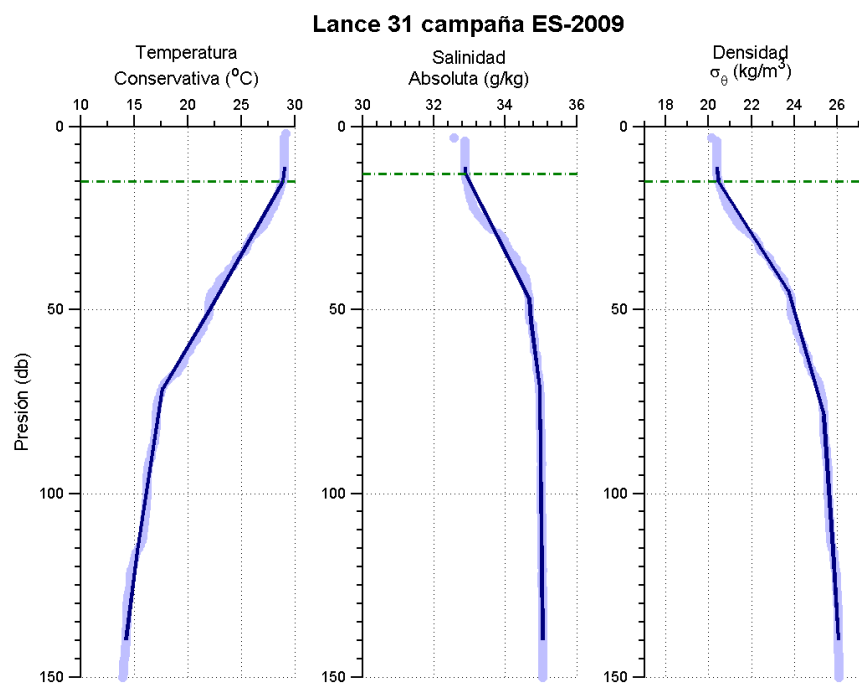


Figura 3. 31: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 31 de la campaña oceanográfica ES-2009.

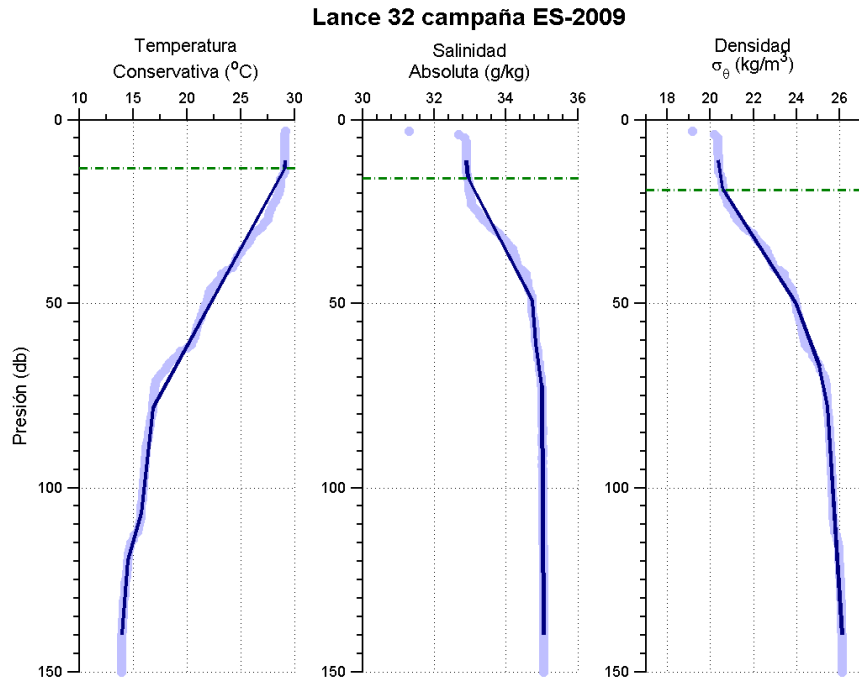


Figura 3. 32: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 32 de la campaña oceanográfica ES-2009.

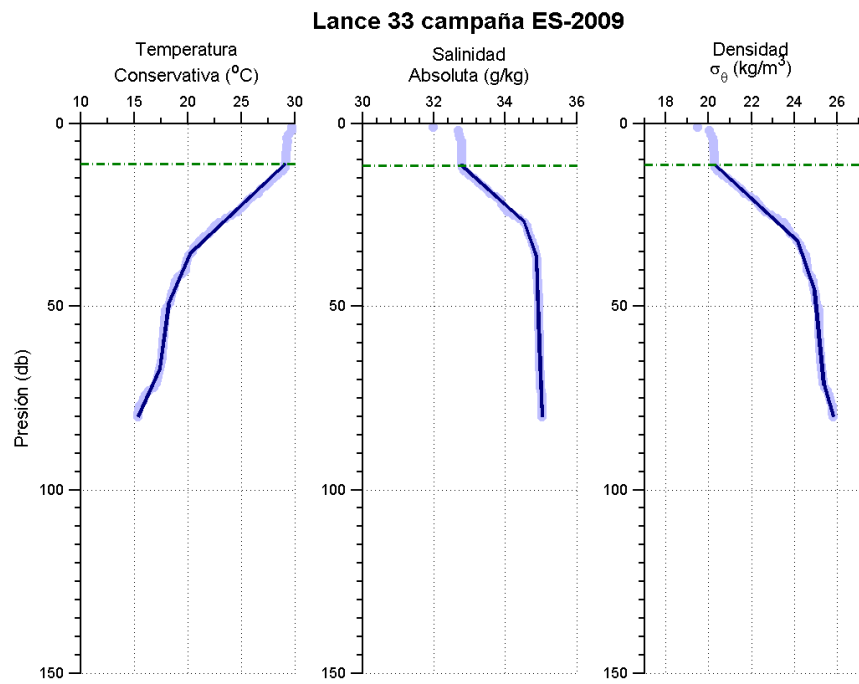


Figura 3. 33: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 33 de la campaña oceanográfica ES-2009.

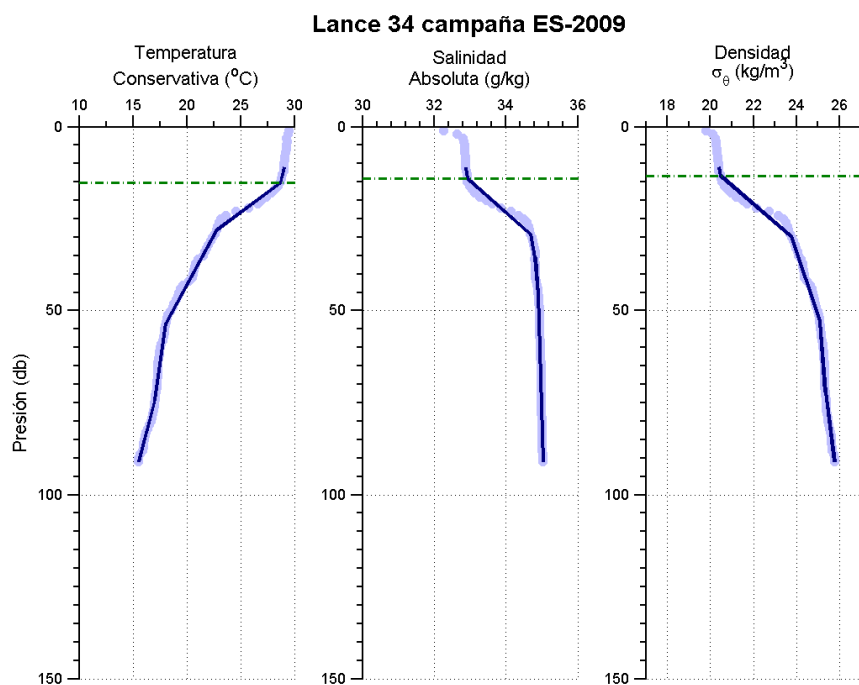


Figura 3. 34: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 34 de la campaña oceanográfica ES-2009.

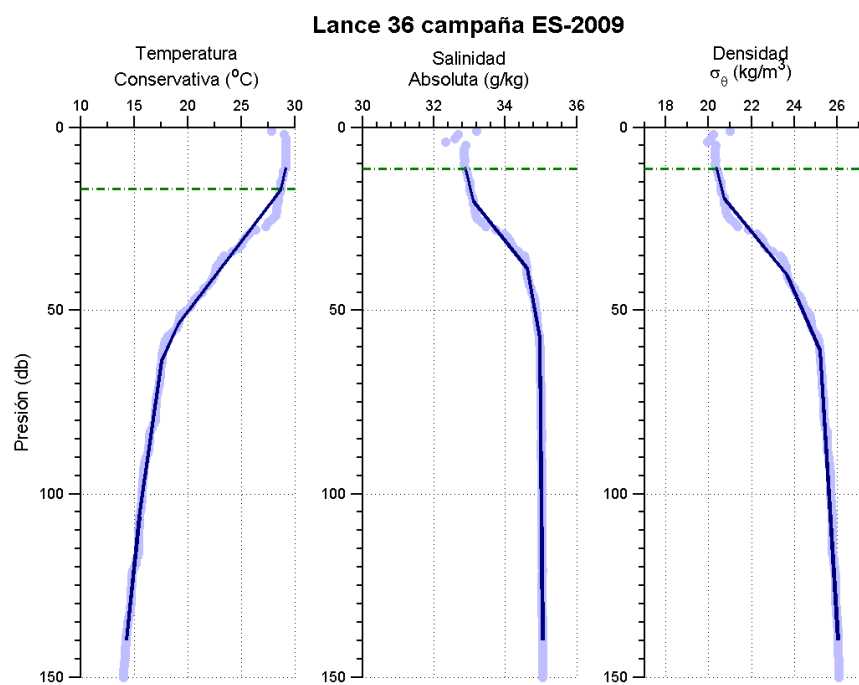


Figura 3. 35: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 36 de la campaña oceanográfica ES-2009.

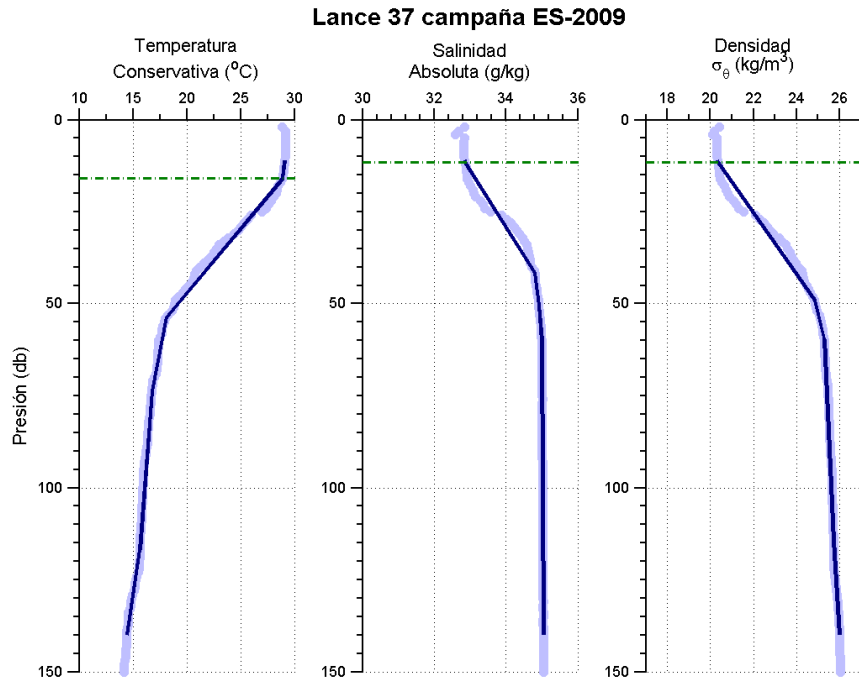


Figura 3. 36: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 37 de la campaña oceanográfica ES-2009.

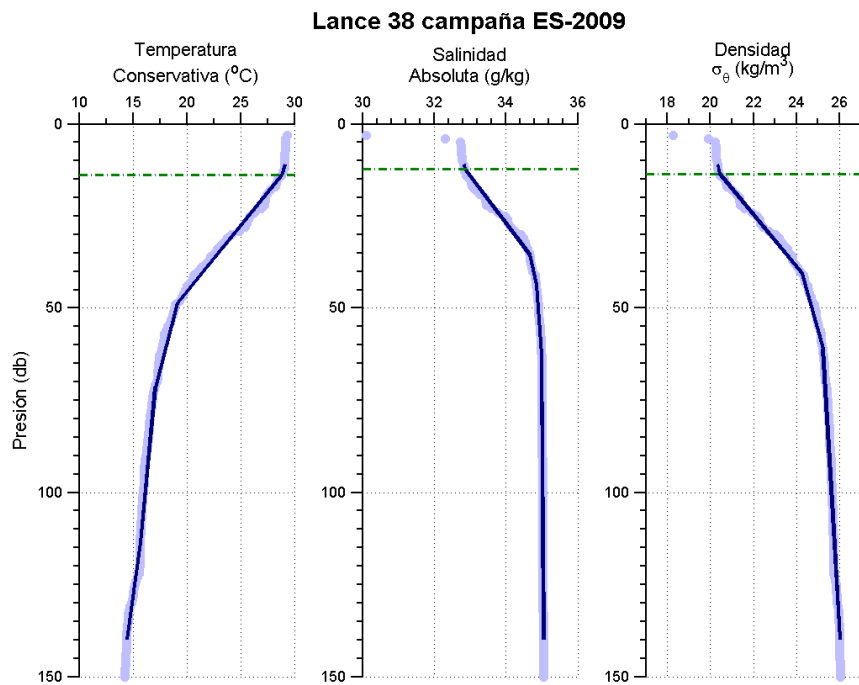


Figura 3. 37: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 38 de la campaña oceanográfica ES-2009.

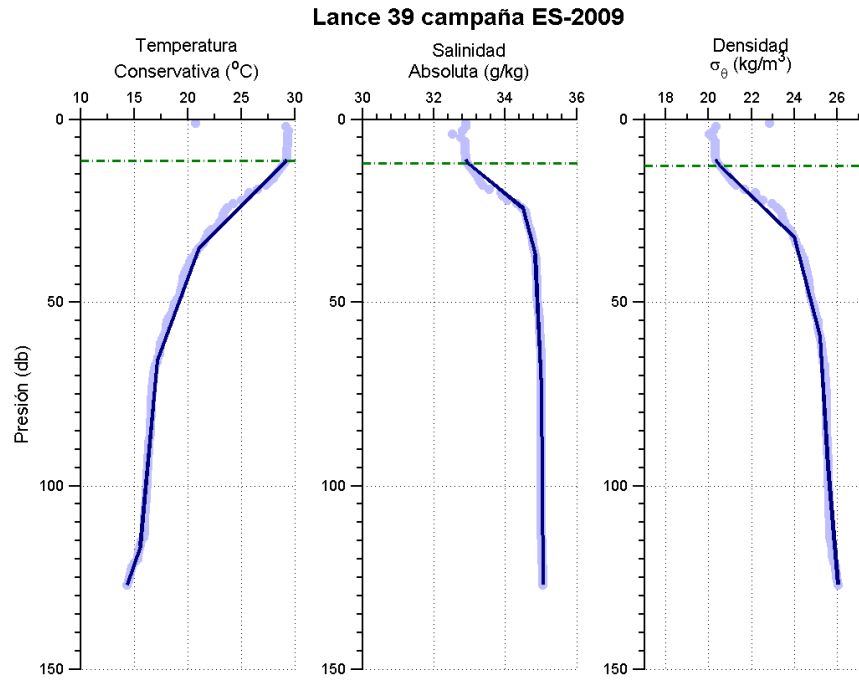


Figura 3. 38: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 39 de la campaña oceanográfica ES-2009.

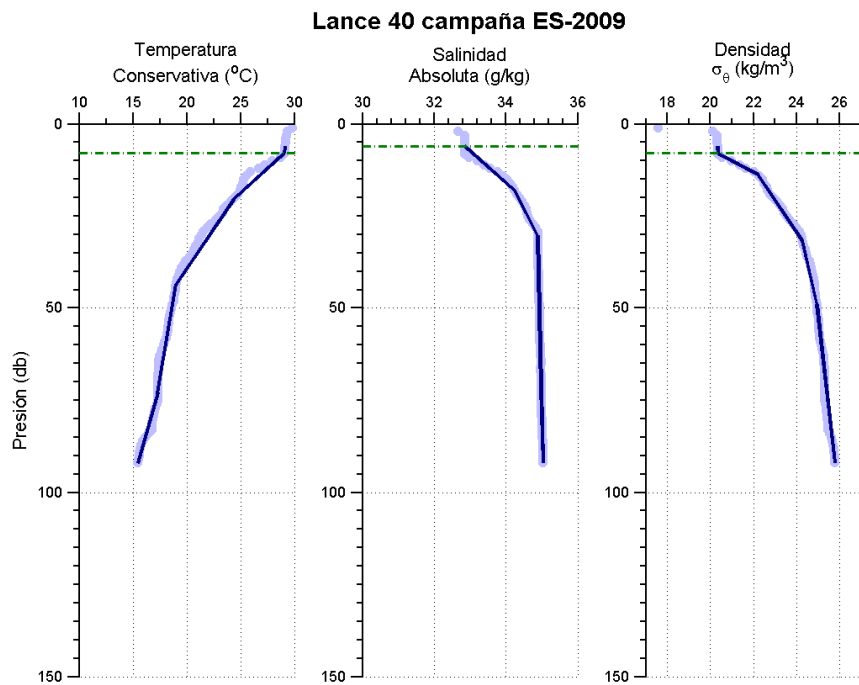


Figura 3. 39: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 40 de la campaña oceanográfica ES-2009.

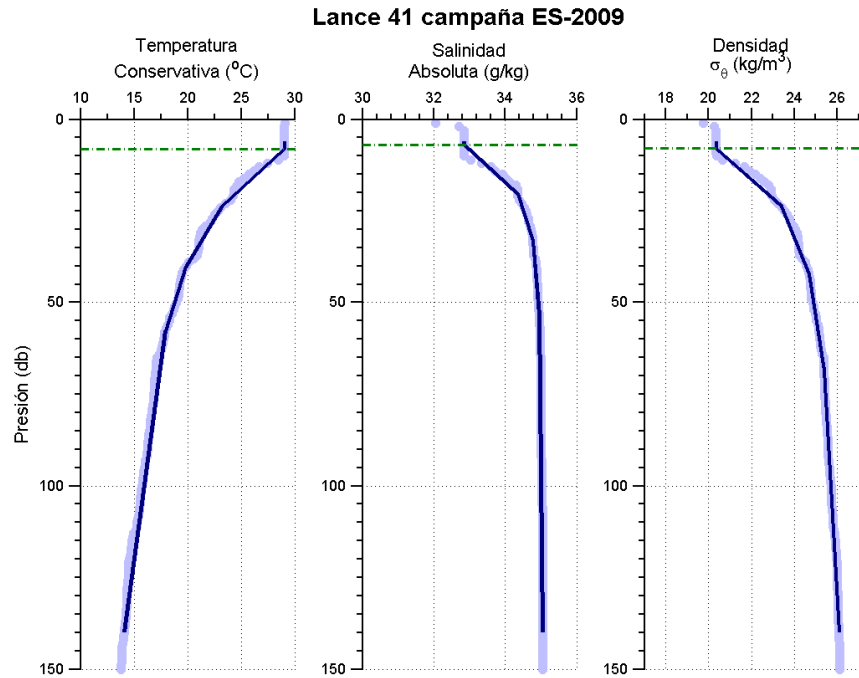


Figura 3. 40: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 41 de la campaña oceanográfica ES-2009.

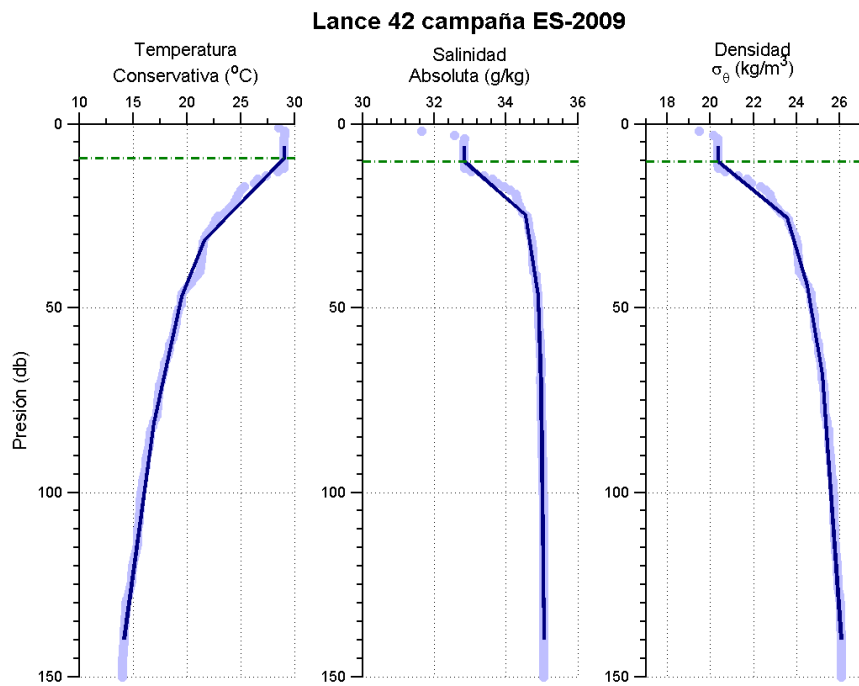


Figura 3. 41: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 42 de la campaña oceanográfica ES-2009.

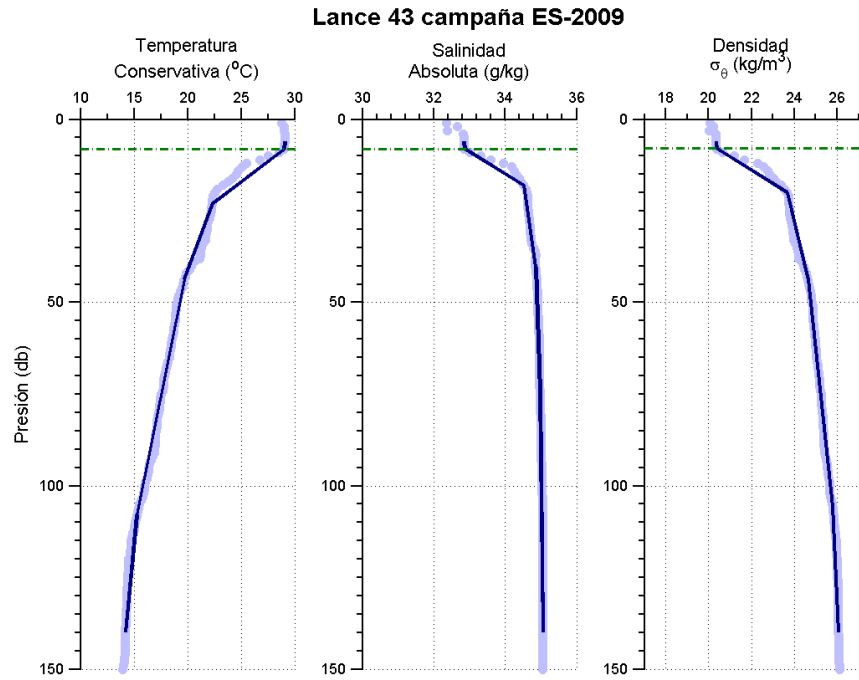


Figura 3. 42: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 43 de la campaña oceanográfica ES-2009.

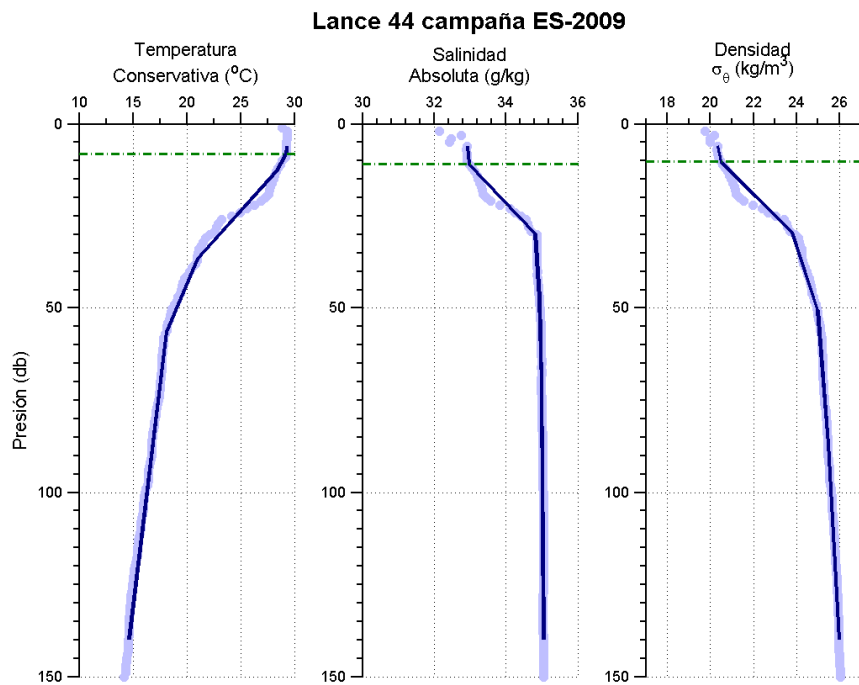


Figura 3. 43: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 44 de la campaña oceanográfica ES-2009.

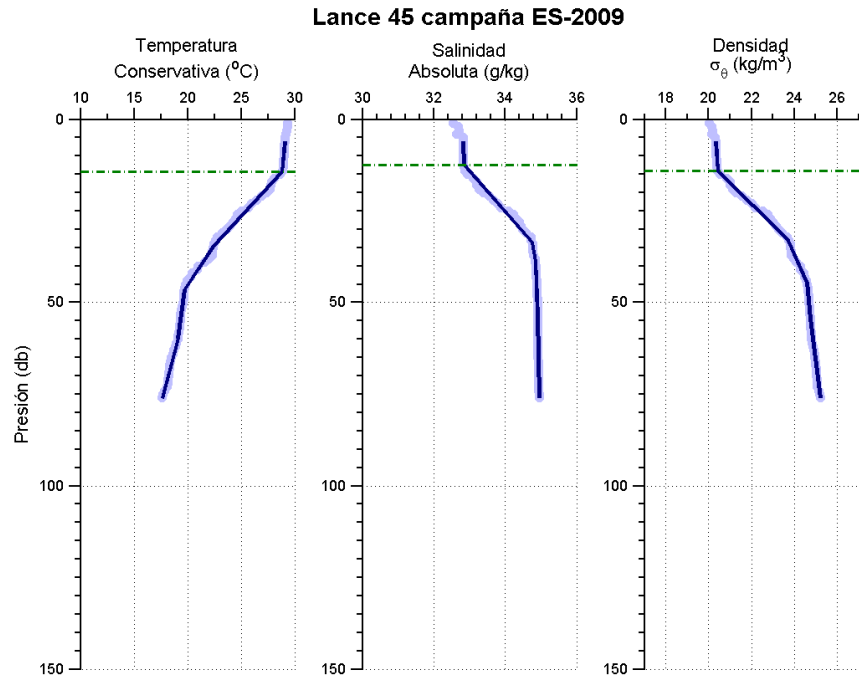


Figura 3. 44: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 45 de la campaña oceanográfica ES-2009.

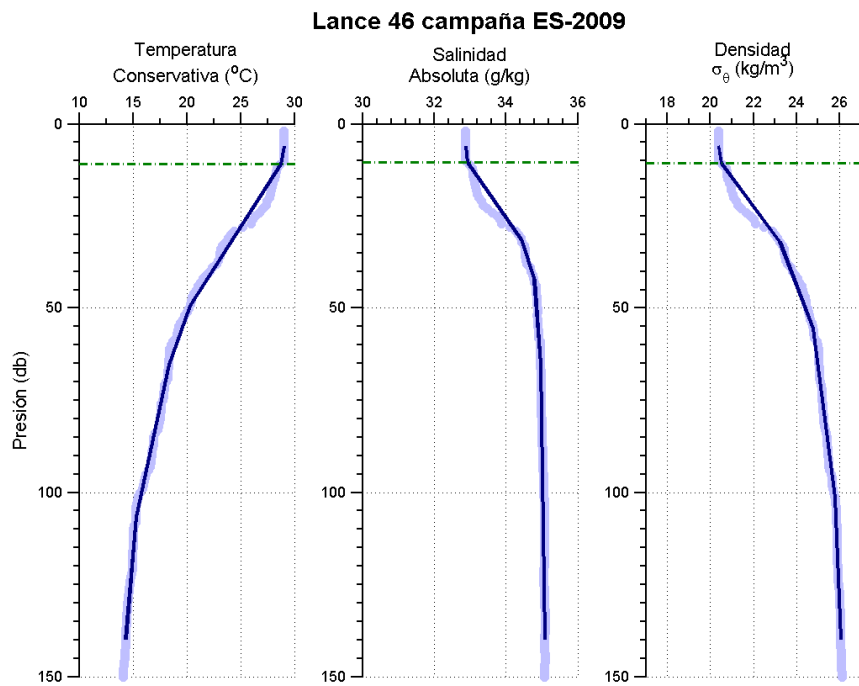


Figura 3. 45: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 46 de la campaña oceanográfica ES-2009.

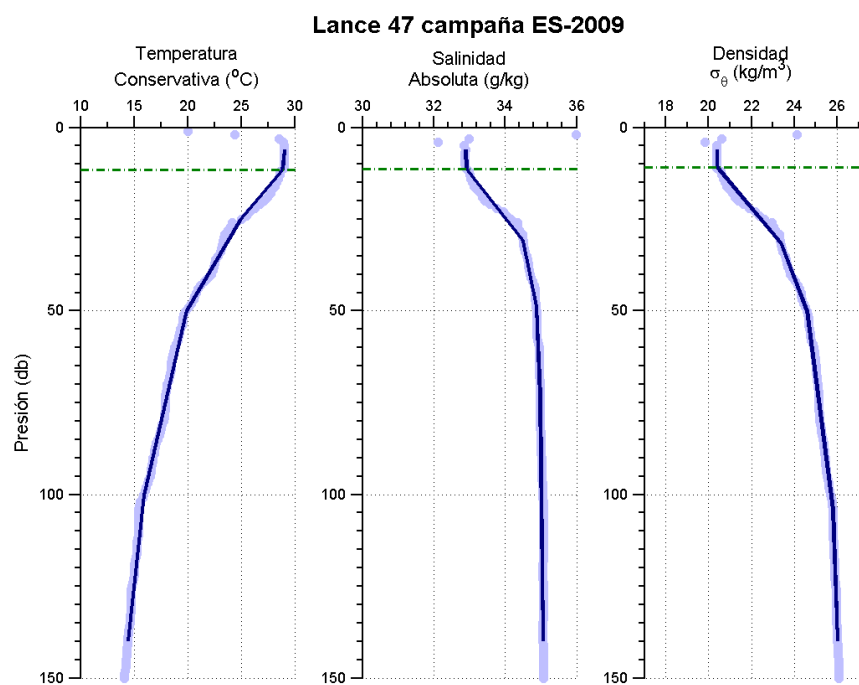


Figura 3. 46: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 47 de la campaña oceanográfica ES-2009.

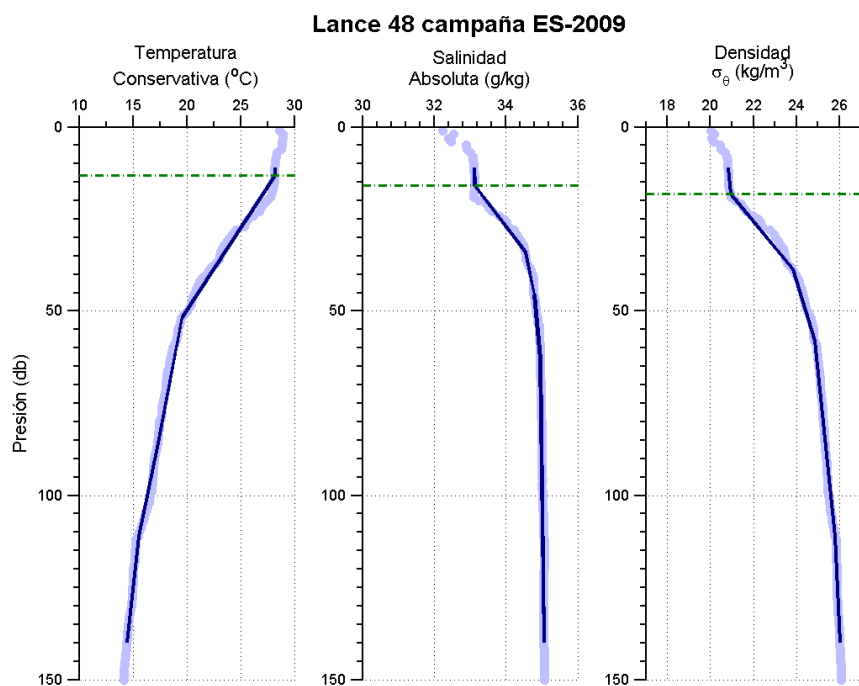


Figura 3. 47: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 48 de la campaña oceanográfica ES-2009.

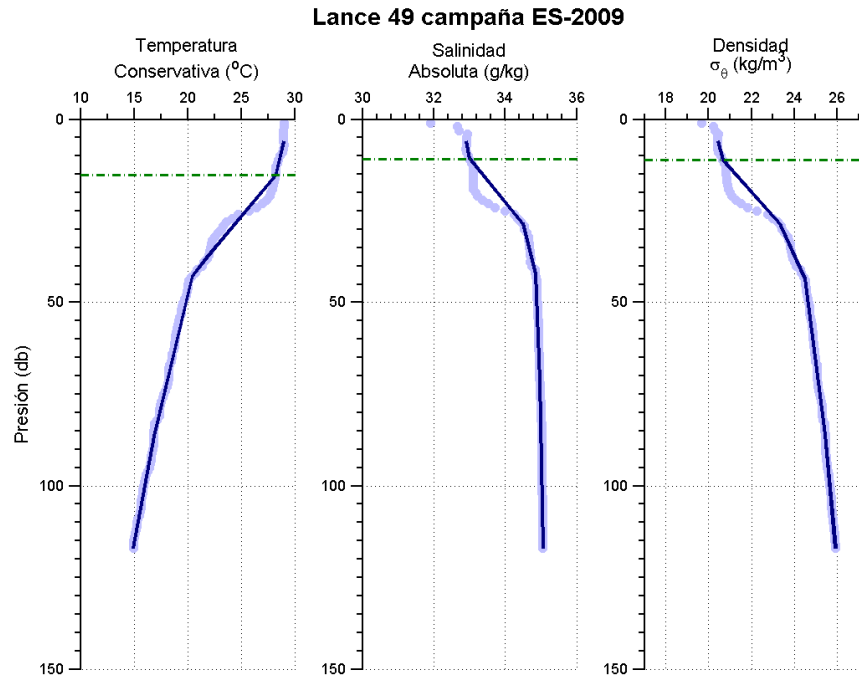


Figura 3. 48: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 49 de la campaña oceanográfica ES-2009.

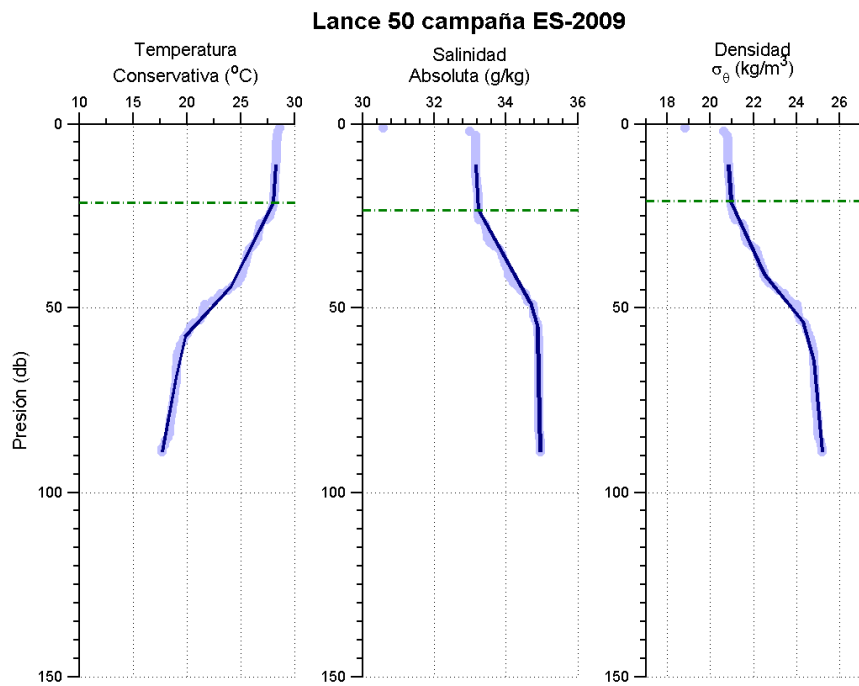


Figura 3. 49: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 50 de la campaña oceanográfica ES-2009.

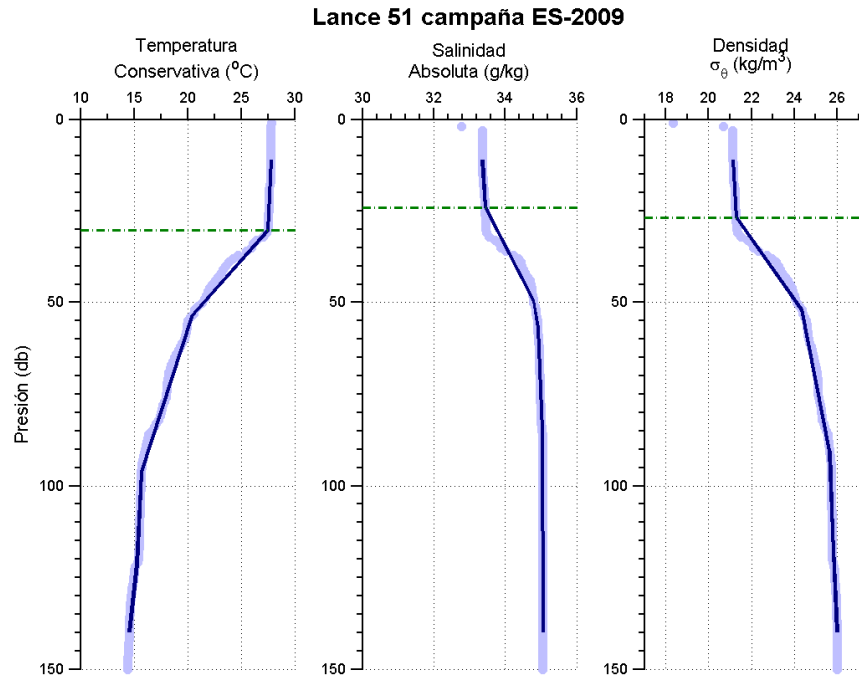


Figura 3. 50: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 51 de la campaña oceanográfica ES-2009.

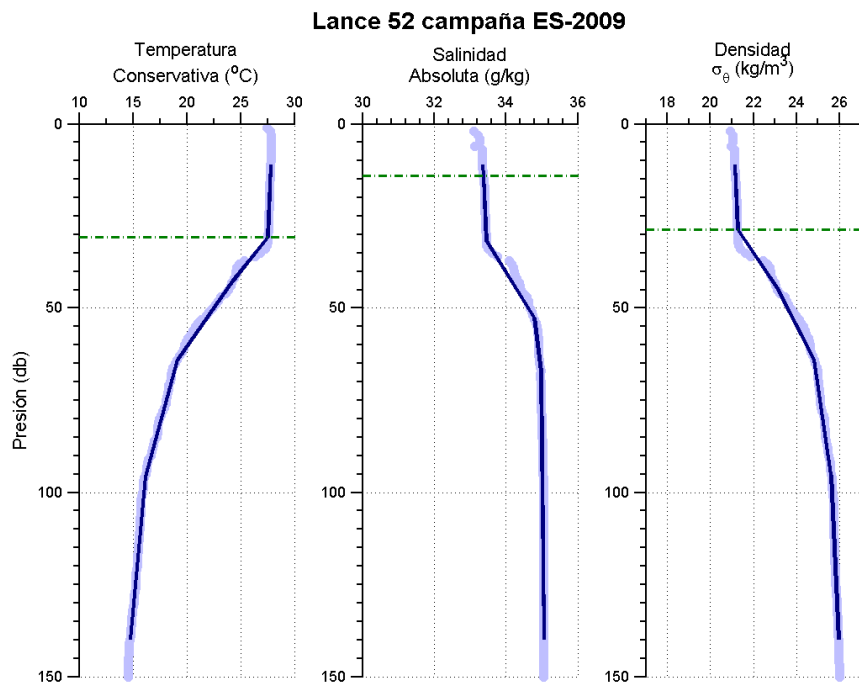


Figura 3. 51: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 52 de la campaña oceanográfica ES-2009.

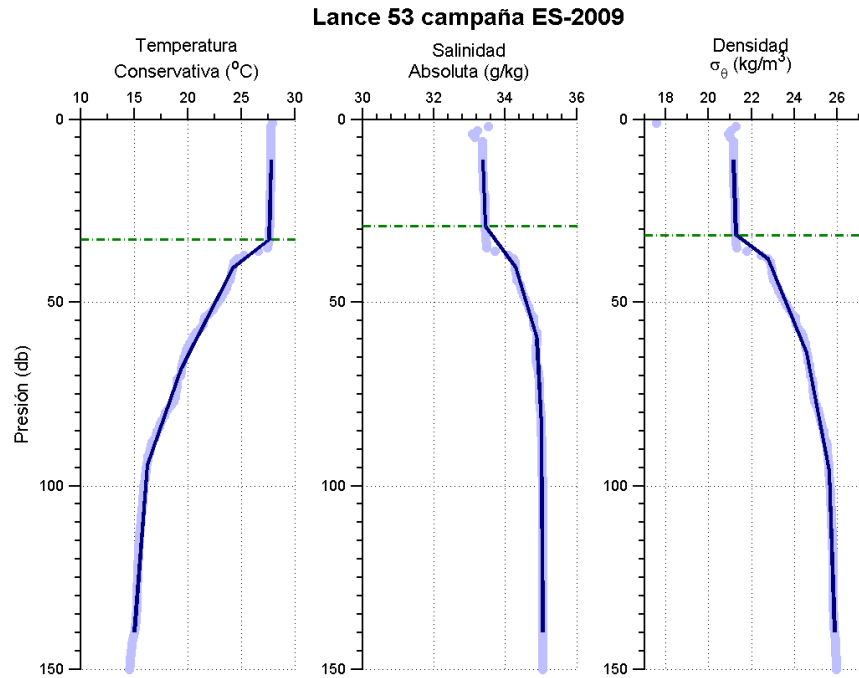


Figura 3. 52: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 53 de la campaña oceanográfica ES-2009.

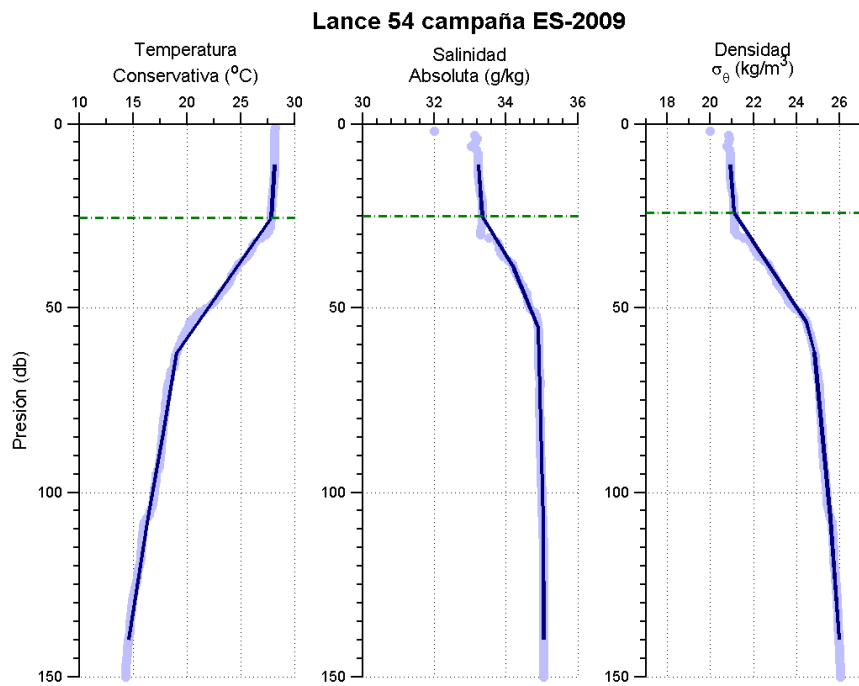


Figura 3. 53: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 54 de la campaña oceanográfica ES-2009.

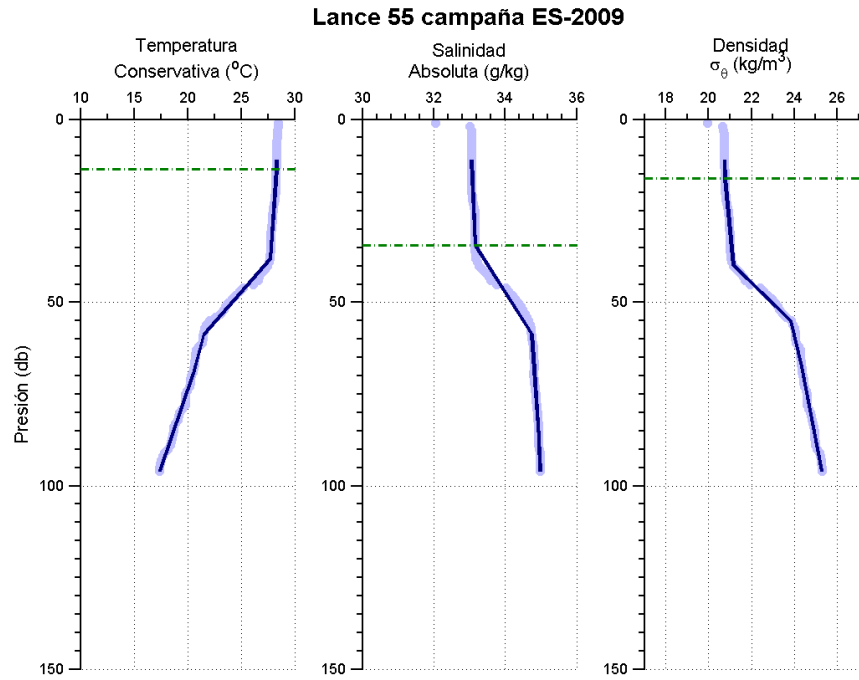


Figura 3. 54: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 55 de la campaña oceanográfica ES-2009.

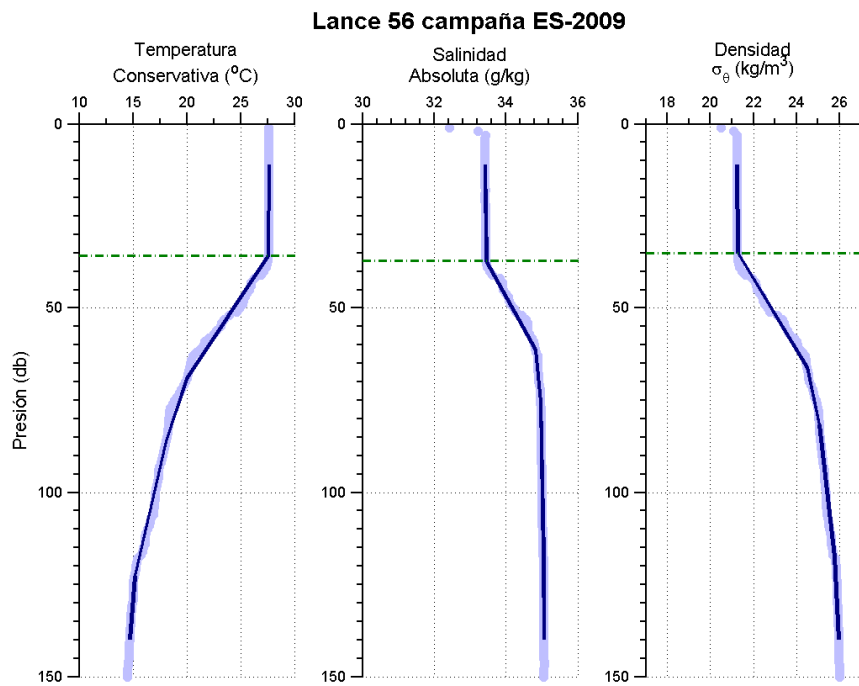


Figura 3. 55: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 56 de la campaña oceanográfica ES-2009.

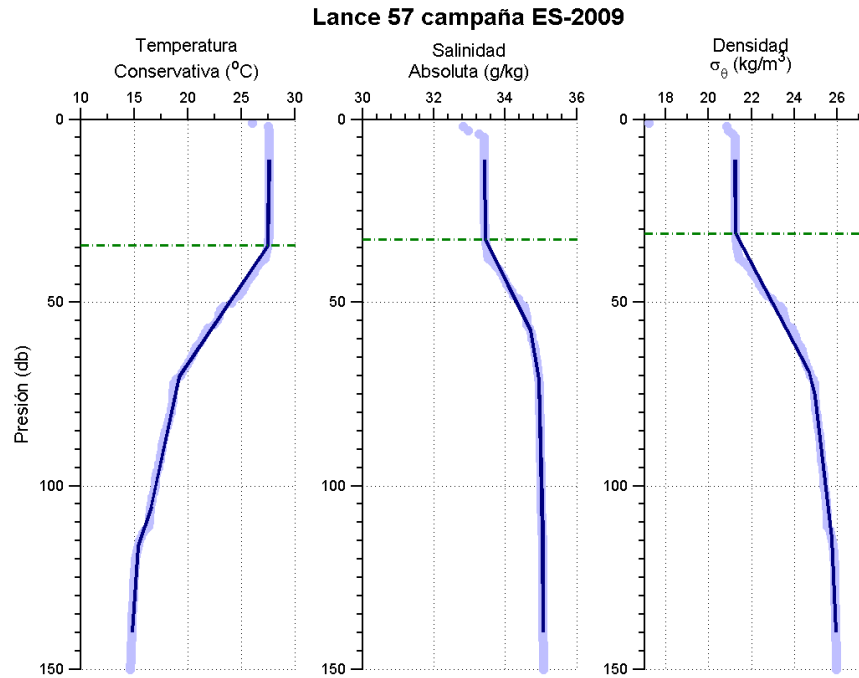


Figura 3. 56: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 57 de la campaña oceanográfica ES-2009.

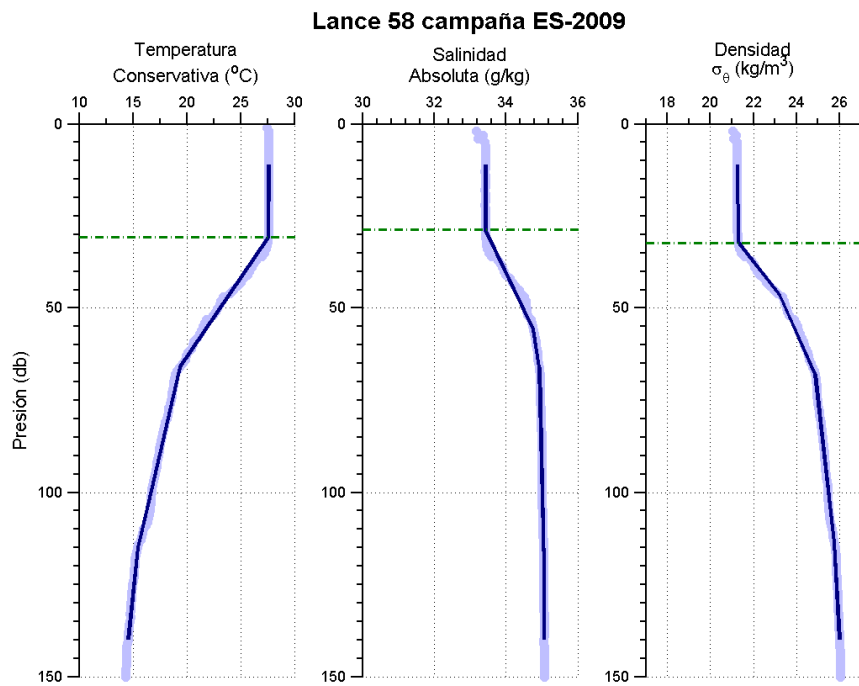


Figura 3. 57: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 58 de la campaña oceanográfica ES-2009.

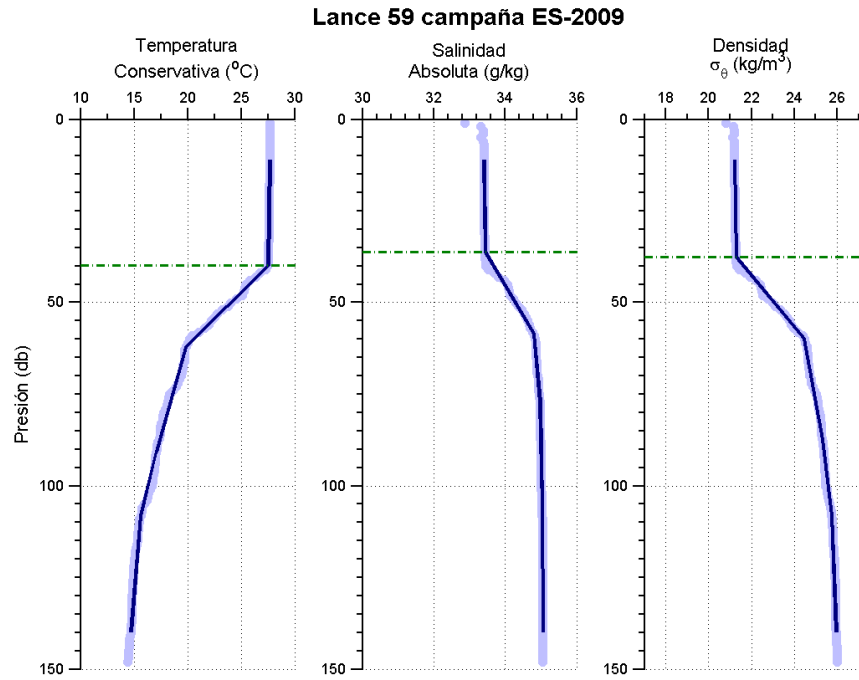


Figura 3. 58: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 59 de la campaña oceanográfica ES-2009.

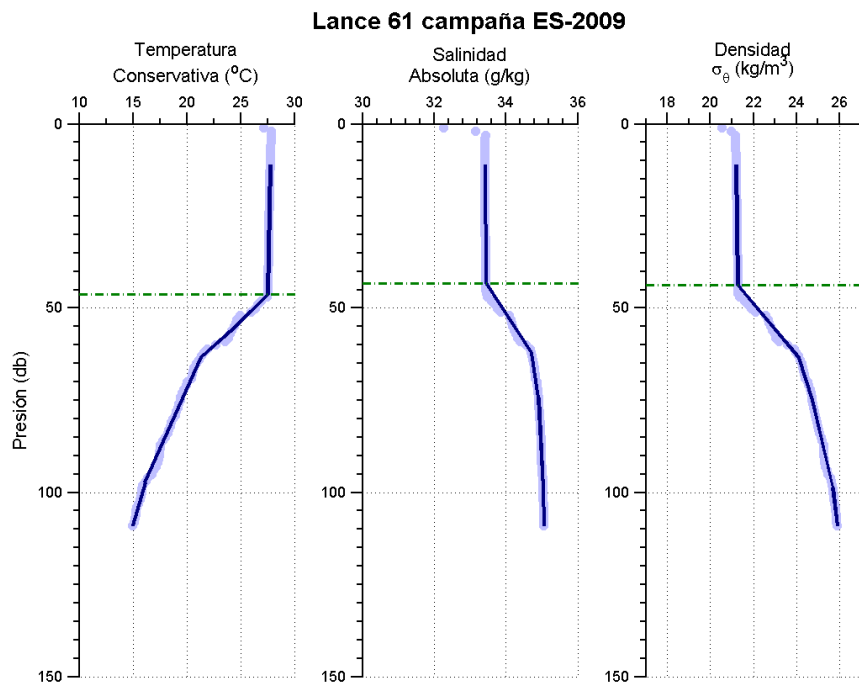


Figura 3. 59: Distribución de Temperatura Conservativa, Salinidad Absoluta y Densidad para las estación 61 de la campaña oceanográfica ES-2009.

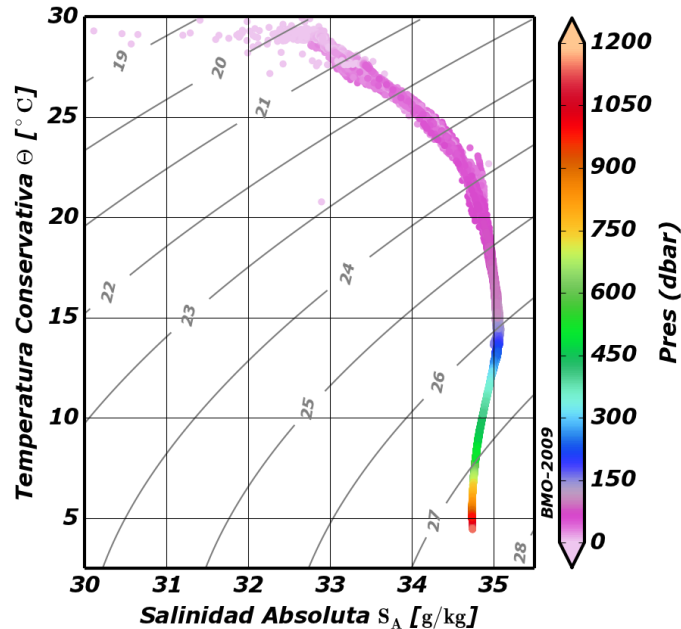


Figura 3. 60: Diagrama TS que agrupa todos los lances efectuados en la campaña oceanográfica.

En el diagrama TS presentado en la Figura 3.60 se pueden distinguir 3 capas. La primera es una capa superficial en donde los valores de los parámetros se mantienen casi constantes (gradiente vertical cercano a cero), que se asocia a una zona de mezcla. La segunda es una capa sub-superficial en donde los valores de los parámetros cambian rápidamente (gradiente vertical fuerte) identificada como clina y la tercera capa es una zona donde los valores de los parámetros cambian lentamente (gradiente vertical débil) o zona de estratificación.

De acuerdo a las características observadas donde el rango de salinidad es entre 32 y 35 ups, podemos nombrar esas tres masas de agua como:

- Masa de agua superficial tropical: que posee un rango de salinidad entre 32 y 34 ups con un valor de temperatura entre 25 y 29 grados centígrados.
- Masa de agua de la corriente de california: que posee valores de temperatura entre 15 y 20 grados centígrados con rangos de salinidad entre 33 y 35.
- Masa de agua ecuatorial: que posee un rango de temperatura entre 20 y 30 grados centígrados con valores de salinidad entre 34 y 35 ups.

Al analizar los perfiles verticales, se puede observar que la profundidad de inicio de la capa de mezcla varia de occidente a oriente, así podemos ver que en la parte occidental la capa de mezcla se ubica a una profundidad de alrededor de 20 metros mientras que en la parte oriental la capa de mezcla tiene una profundidad que ronda los 35 a 47 metros. La tabla 3.1 y 3.2 muestran la variación del inicio de la termoclina, piconclina y haloclina. Como se puede observar, la capa de mezcla en promedio se situó durante el periodo del 3 al 14 de diciembre de 2009, a una profundidad de 20.4 metros, y el espesor promedio de la termoclina fue de 27.1 metros, mientras que el espesor promedio de la haloclina fue de 23.3 metros y el espesor promedio de la piconclina fue de 24.4 metros.

Tabla 3. 1: Profundidades de inicio y fin de termoclina, haloclina y picnoclina.

TRANSEPTO	LANCE	TERMOCLINA		HALOCLINA		PICNOCLINA	
		INICIO	FIN	INICIO	FIN	INCIO	FIN
1	1	21.6	44.8	28.7	59.9	25.6	51.9
	2	21.2	44.1	27.2	55.4	23.0	45.6
	3	22.7	41.1	29.0	55.3	24.5	39.3
	4	22.1	48.7	25.0	40.4	24.8	40.8
2	5	28.7	63.8	24.9	61.7	27.5	71.1
	6	22.2	42.4	25.6	62.0	23.3	43.5
	7	25.4	45.7	28.0	47.8	26.6	59.6
	8	27.0	46.1	25.1	65.1	26.1	60.6
	9	23.3	42.4	24.6	43.8	23.8	43.3
	10	15.3	37.4	21.7	39.1	16.3	41.4
3	11	23.5	42.8	22.0	52.5	23.0	54.0
	12	24.6	42.7	24.0	51.1	24.3	51.7
	13	26.2	43.5	27.2	57.2	27.2	49.8
	14	16.7	49.5	22.4	46.1	19.9	46.2
	15	18.8	42.4	21.1	61.4	15.9	55.3
	16	23.8	44.0	22.1	43.2	23.0	46.4
4	17	26.2	54.9	23.3	65.3	25.1	58.8
	18	20.8	50.7	23.7	72.0	22.5	49.5
	19	22.7	47.5	23.3	46.4	23.0	46.4
	20	23.7	53.8	22.9	53.2	21.2	53.2
	21	31.4	75.6	24.9	62.4	28.2	68.6
	22	21.2	40.7	20.5	35.3	20.0	45.3
5	23	15.8	58.8	20.3	47.7	19.6	46.7
	24	22.4	49.6	22.0	31.9	21.9	42.8
	25	24.0	78.5	20.6	27.5	22.5	46.4
	26	21.6	52.7	15.9	54.6	20.4	44.9
	27	19.1	62.0	12.2	27.4	12.9	62.5
	28	15.3	40.9	14.8	28.0	12.0	50.2
6	29	18.5	64.9	18.3	30.9	18.2	31.4
	30	13.3	68.8	13.7	49.3	15.9	48.7
	31	15.0	50.1	12.9	46.7	15.0	44.6
	32	13.2	78.2	15.8	49.1	19.0	49.6
	33	11.1	35.6	11.5	26.9	11.4	32.0
	34	15.2	27.8	14.0	29.2	13.4	29.8
7	36	16.9	53.8	11.4	20.1	11.4	19.5
	37	15.9	53.5	11.6	41.6	11.6	49.0
	38	13.8	48.7	12.2	35.4	13.5	40.6
	39	11.2	35.0	12.1	24.3	12.7	32.0
	40	8.0	20.4	6.2	18.0	8.0	13.8

Tabla 3. 2: Profundidad de inicio de termoclina, haloclina y picnoclina para los transeptos 8 al 11.

TRANSEPTO	LANCE	TERMOCLINA		HALOCLINA		PICNOCLINA	
		INICIO	FIN	INICIO	FIN	INCIO	FIN
8	41	8.1	23.8	6.9	20.3	7.9	23.8
	42	9.3	31.5	10.1	24.8	10.1	25.3
	43	8.1	22.8	8.1	18.0	7.9	20.0
	44	8.1	12.6	10.8	29.7	10.3	29.4
	45	14.3	34.6	12.3	33.8	14.0	33.2
9	46	10.8	49.3	10.4	31.4	10.6	32.0
	47	11.4	25.2	11.3	31.0	10.8	31.4
	48	13.2	51.6	15.9	34.0	18.2	38.5
	49	15.1	37.1	10.8	28.4	11.1	29.0
	50	21.3	44.5	23.3	48.4	21.0	40.8
10	51	30.3	53.8	24.0	49.5	26.7	51.9
	52	30.8	42.2	14.1	31.9	28.7	44.5
	53	32.7	40.6	29.1	40.3	31.6	38.2
	54	25.4	62.0	24.9	39.5	24.1	53.8
	55	13.5	38.0	34.3	58.7	16.0	39.7
11	56	35.8	69.1	37.2	61.4	34.9	66.1
	57	34.5	70.3	32.7	57.7	31.1	68.5
	58	30.8	65.9	28.7	55.7	32.2	46.6
	59	39.8	62.2	36.2	58.5	37.5	59.9
	61	46.2	55.4	43.2	62.3	43.8	63.4
Promedio		20.7	47.7	20.5	43.7	20.4	44.8

3.2 Transeptos

Transepto 1:

Las figuras 3.61, 4.62 y 3.63 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa, salinidad absoluta y el campo de error, respectivamente a lo largo del primer transepto perpendicular a la costa de El Salvador. En general al comparar todos los transeptos se puede observar una distribución de aguas más cálidas en la superficie como es de esperarse y un poco más frías a medida que aumenta la profundidad. Además también se tiene que existe una capa de mezcla de mayor espesor en la región occidental y en la región oriental comparada con la zona central donde la capa de mezcla es menos profunda. En color gris se muestra la zona de plataforma continental, mostrando su perfil batimétrico y sus rasgos característicos.

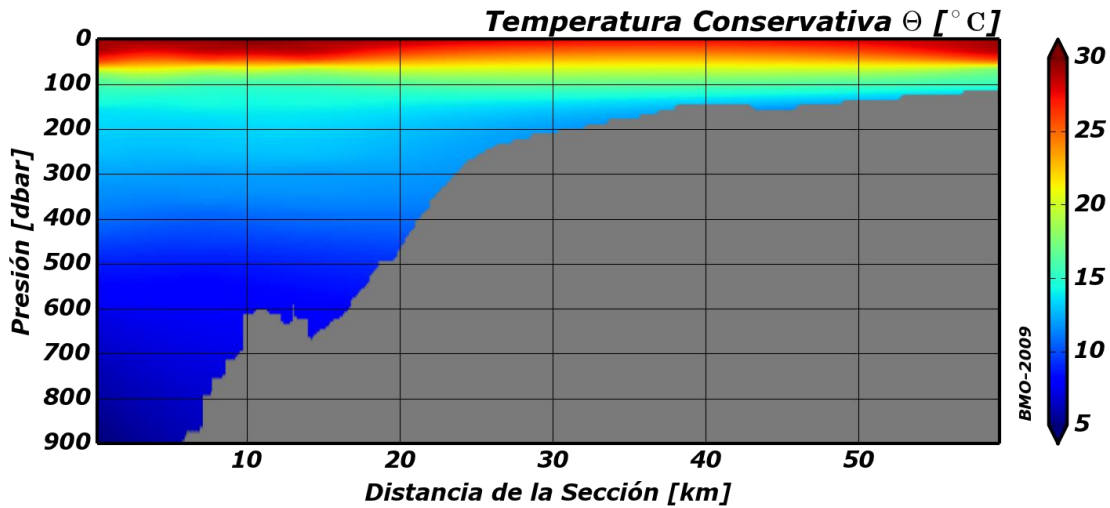


Figura 3. 61: Distribución de la temperatura conservativa en el transepto 1.

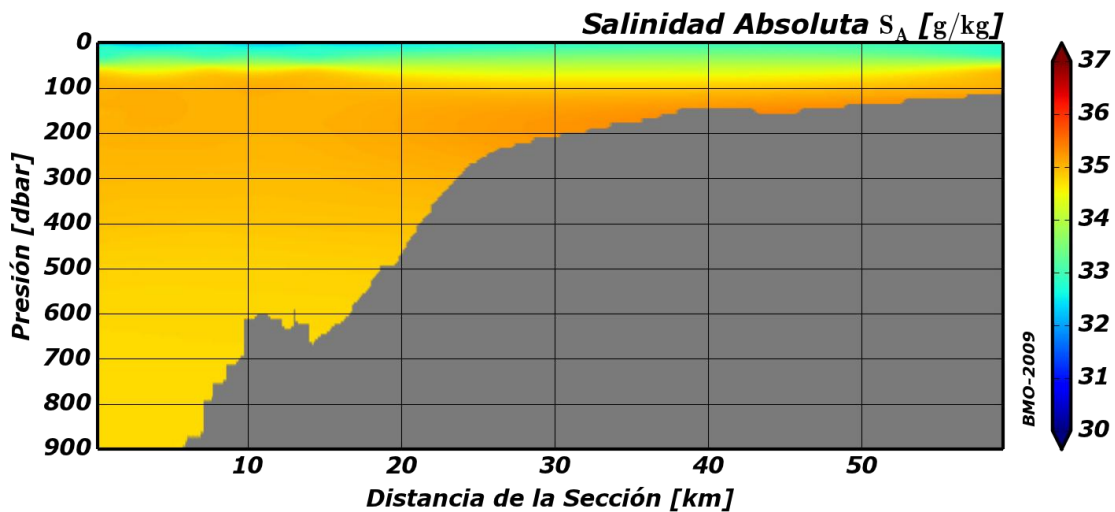


Figura 3. 62: Distribución de la salinidad absoluta en el transepto 1.

La distribución muestra que la columna de agua para esta zona tiene cierta estabilidad ya tanto la temperatura como la salinidad tienen comportamientos opuestos, es decir, que a medida que aumenta la profundidad la temperatura disminuye mientras que la salinidad aumenta, lo cual hace que la densidad sea mayor en el fondo y no genere desplazamiento vertical de la columna. El campo de error mayor en las zonas donde se carece de datos, alcanzando un valor porcentual de cerca del 50% de error en la interpolación de los datos para esas zonas.

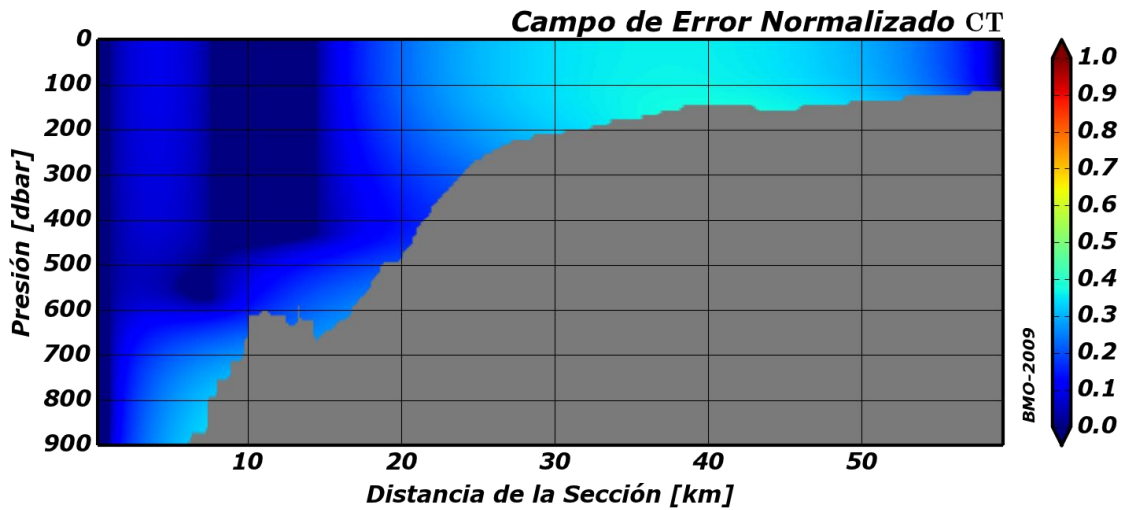


Figura 3. 63: Distribución del campo de error en el transepto 1.

Transecto 2:

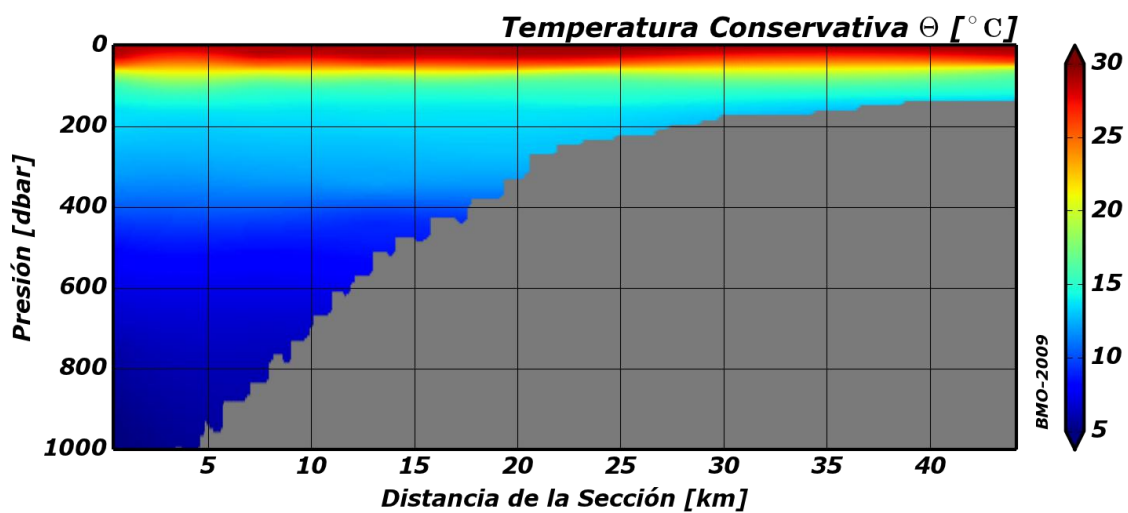


Figura 3. 64: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 2.

Las figuras 3.64, 3.65 y 3.66 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del segundo transepto perpendicular a la costa de El Salvador. Se puede notar como la temperatura tiene valores por encima de 20 grados en los primeros 100 metros de profundidad y valores de salinidad relativamente bajos, lo que sugiere un fuerte proceso de mezcla en estos primeros metros.

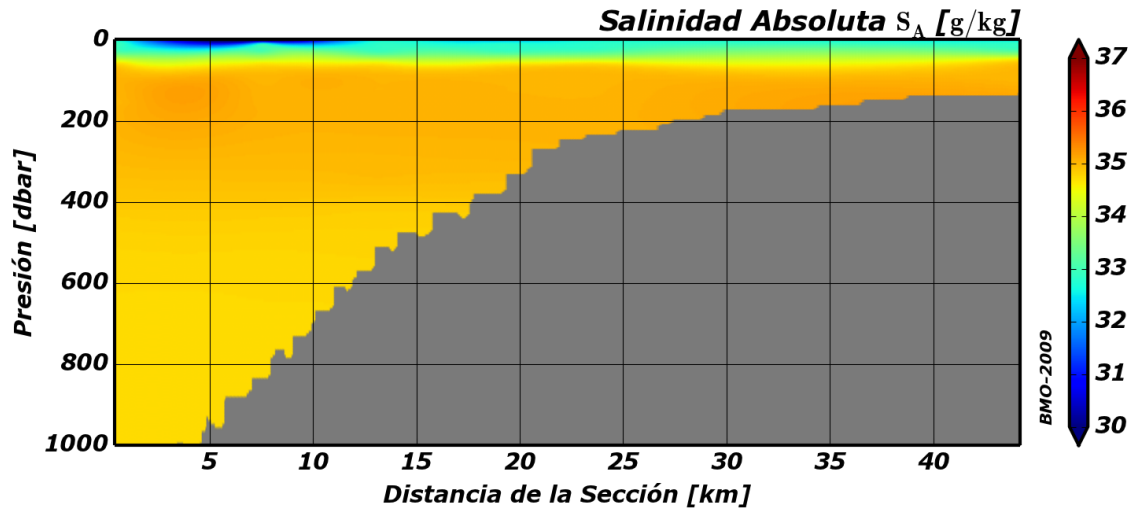


Figura 3. 65: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 2.

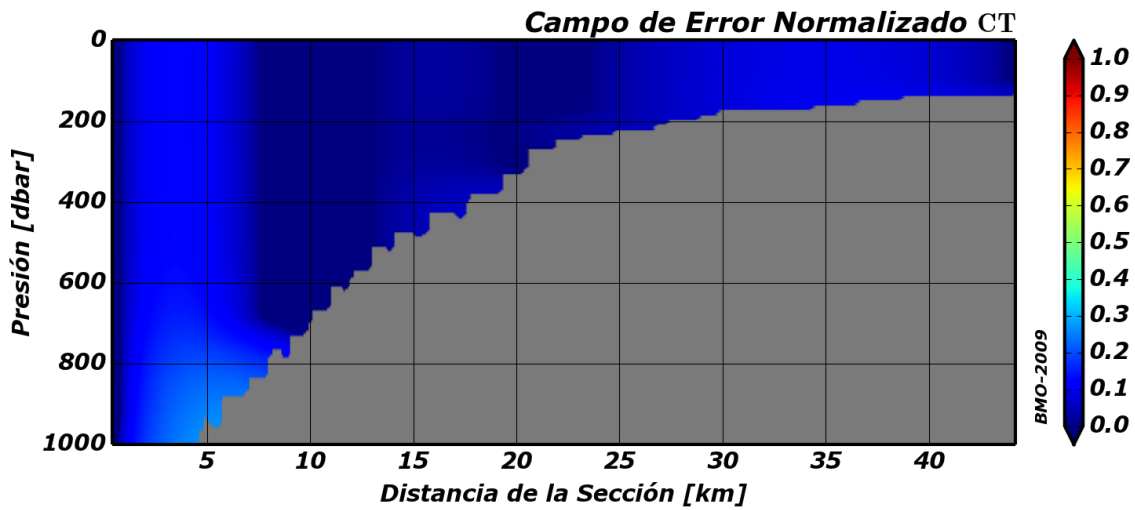


Figura 3. 66: Distribución del campo de error en el transepto 2.

El campo de error es mayor en las zonas donde se carece de datos, alcanzando un valor porcentual que ronda entre 20% a 30% de error en la interpolación de los datos para esas zonas. Sin embargo el error es bastante bajo, en general, para una gran parte del transepto.

Transecto 3:

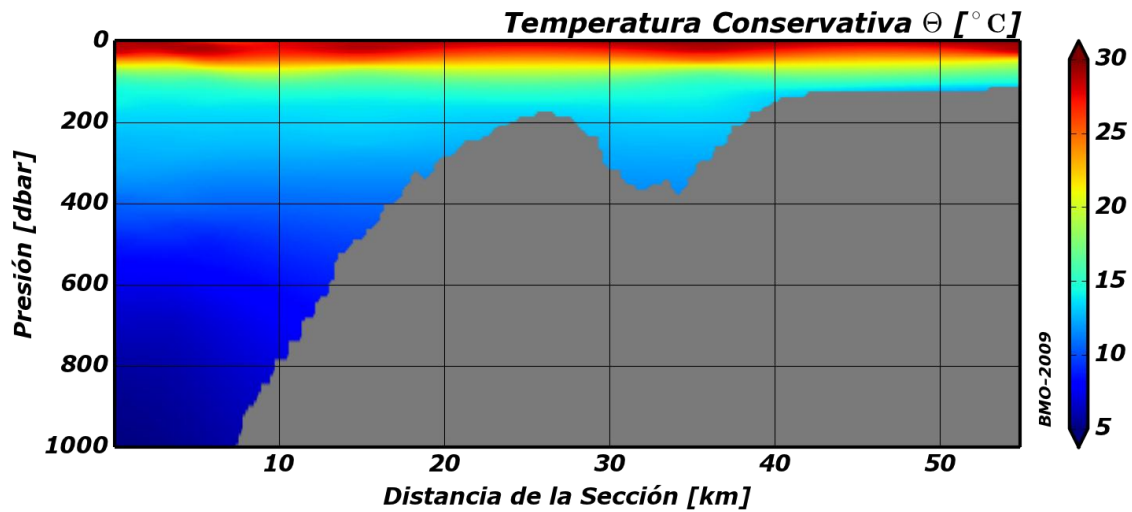


Figura 3. 67: Distribución de temperatura conservativa en el transecto 3.

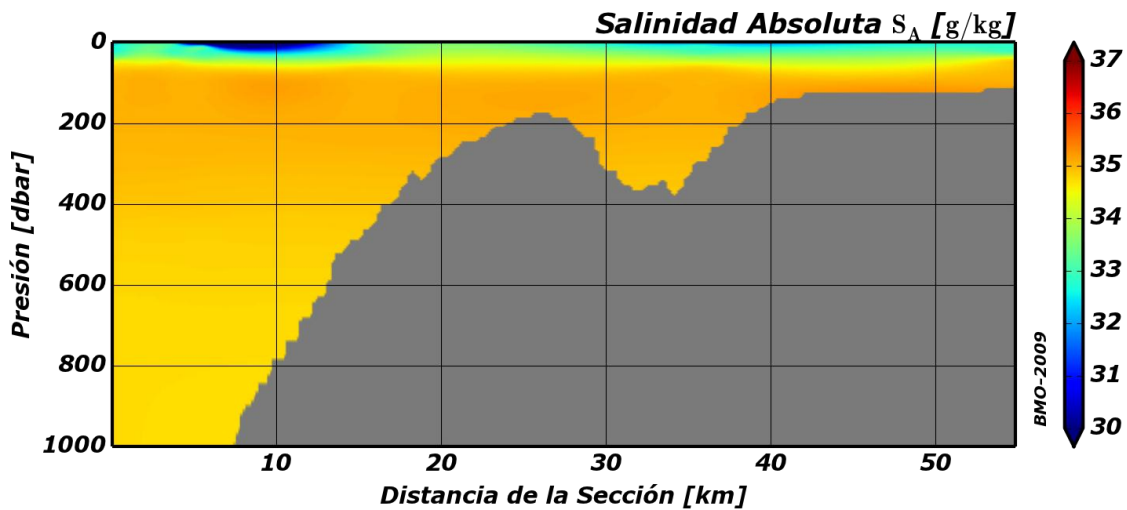


Figura 3. 68: Distribución de salinidad absoluta en el transecto 3.

Las figuras 3.67, 3.68 y 3.69 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del tercer transecto perpendicular a la costa de El Salvador. A diferencia del transecto anterior este presenta temperaturas arriba de los 20 grados centígrados en los primeros 100 metros y valores un poco más altos de salinidad, por lo cual se observa un proceso de mezcla de menor intensidad comparado con el transecto anterior.

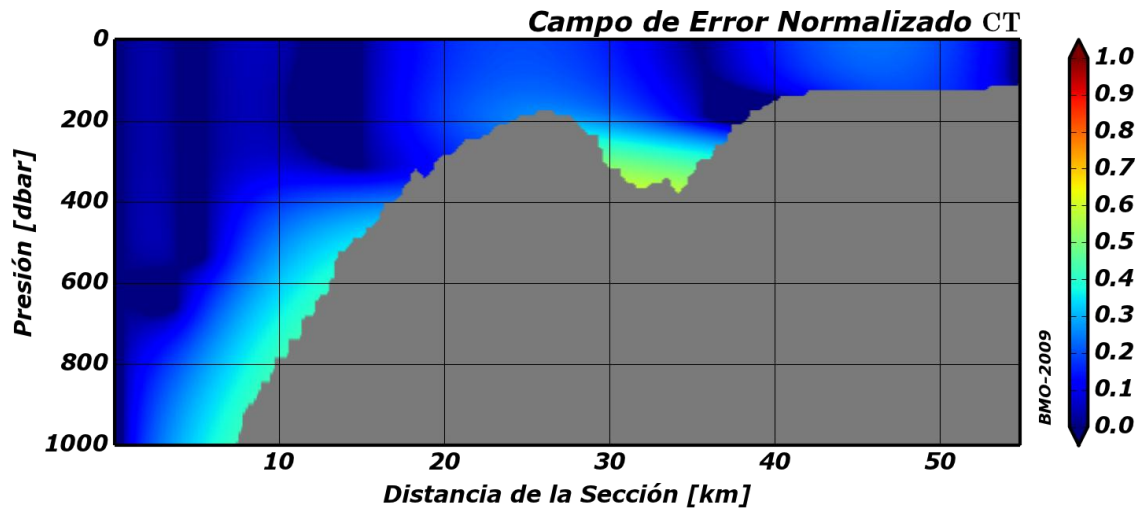


Figura 3. 69: Distribución del campo de error en el transepto 3.

Transepto 4:

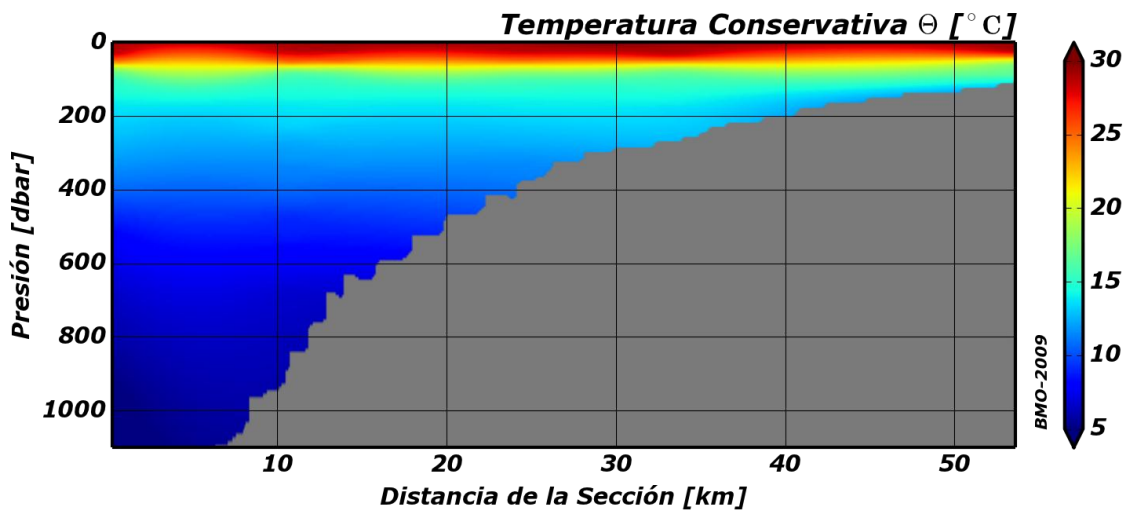


Figura 3. 70: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 4.

Las figuras 3.70, 3.71 y 3.72 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del cuarto transepto perpendicular a la costa de El Salvador. La temperatura en los primeros metros del transepto se distribuye homogéneamente y la salinidad tiene valores relativamente bajos nuevamente, probablemente exista una fuerte mezcla, además los valores del campo de error son bajos para la mayor parte del transepto.

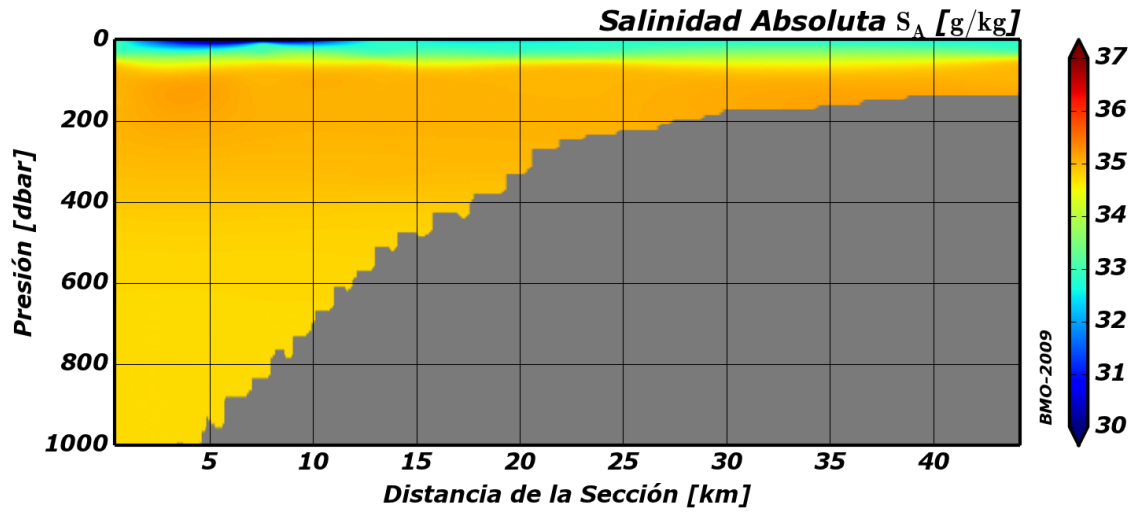


Figura 3. 71: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 4.

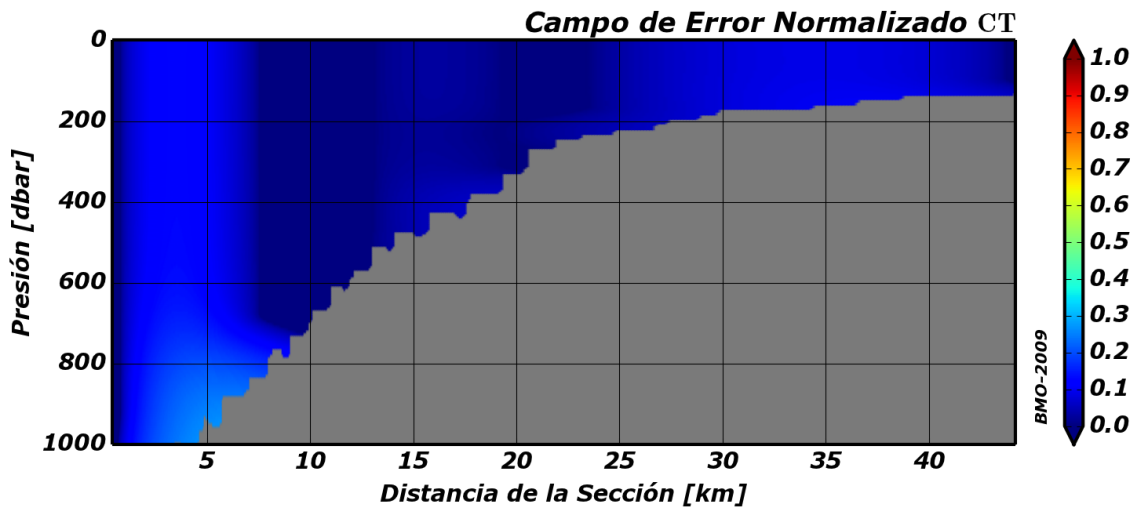


Figura 3. 72: Distribución del campo de error en el transepto 4.

La distribución de los parámetros presenta bastante homogeneidad y también estabilidad, lo cual garantiza que no hay desplazamientos verticales abruptos de la columna de agua para esta zona específicamente.

Transecto 5:

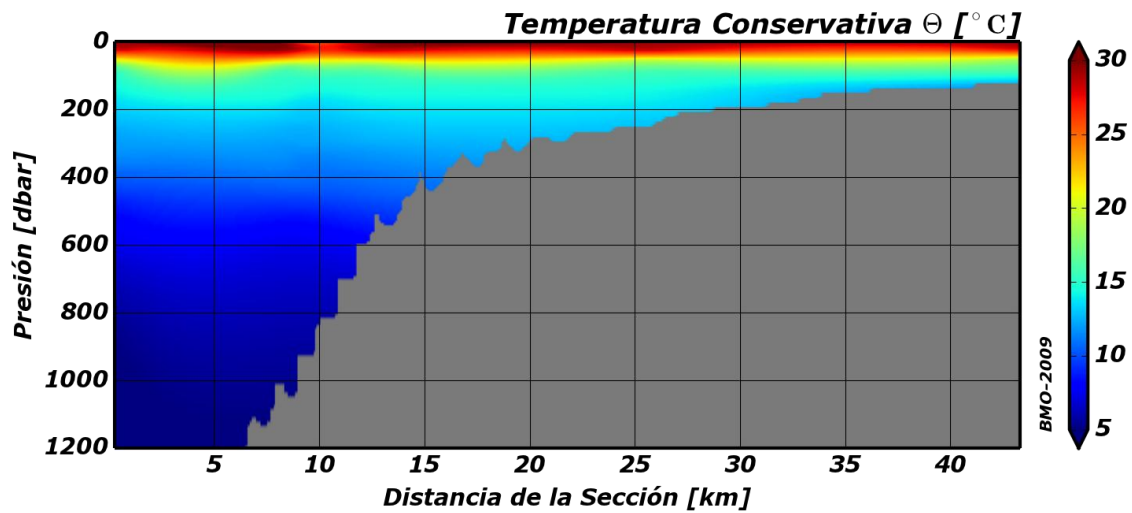


Figura 3. 73: Distribución de temperatura conservativa en el transecto 5.

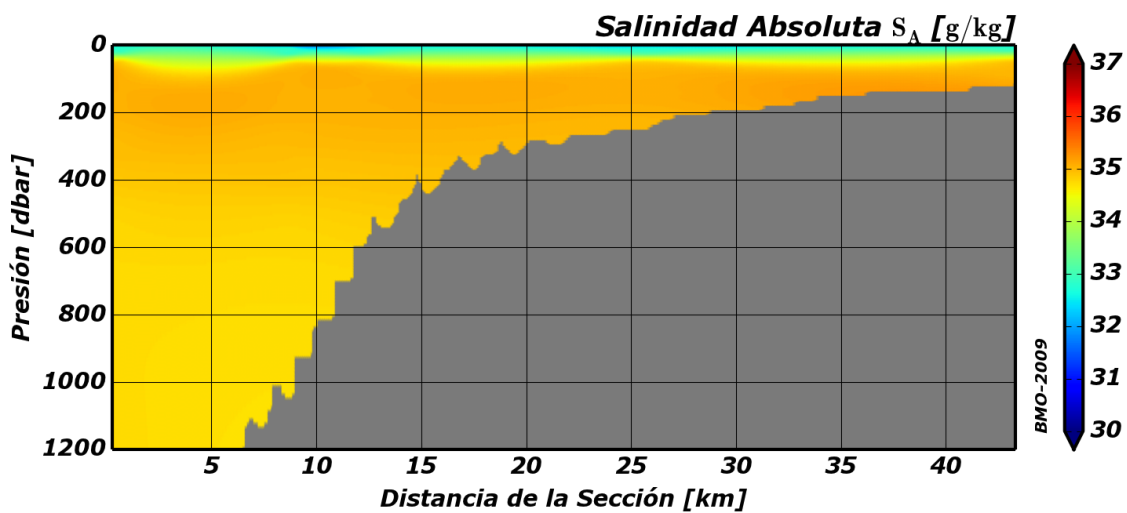


Figura 3. 74: Distribución de salinidad absoluta en el transecto 5.

Las figuras 3.73, 3.74 y 3.75 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del quinto transecto perpendicular a la costa de El Salvador. Se puede notar una leve disminución en la profundidad de la capa de mezcla, aunque nuevamente se observa estabilidad a lo largo de todo el transecto.

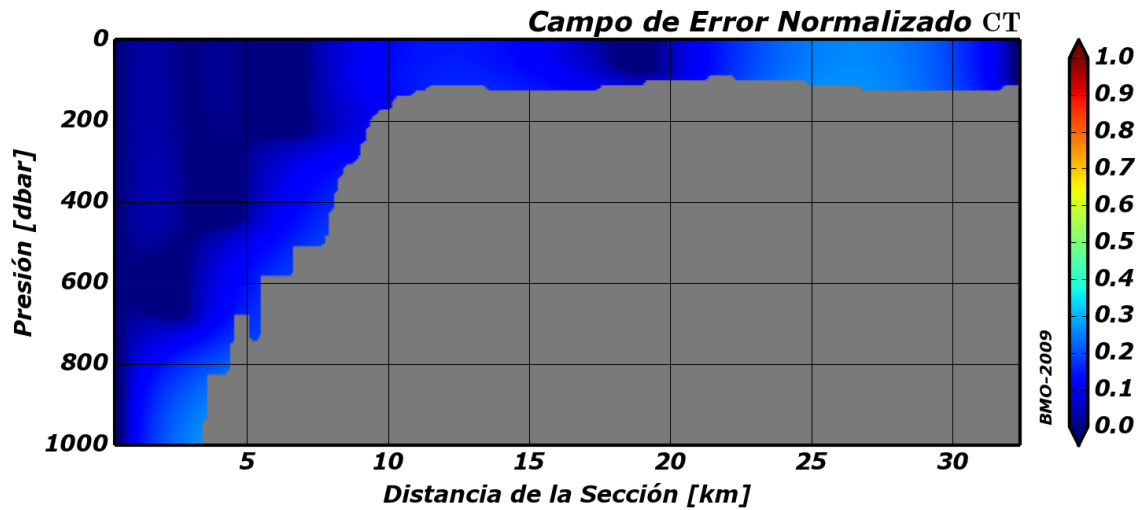


Figura 3. 75: Distribución del campo de error en el transepto 5.

Transepto 6:

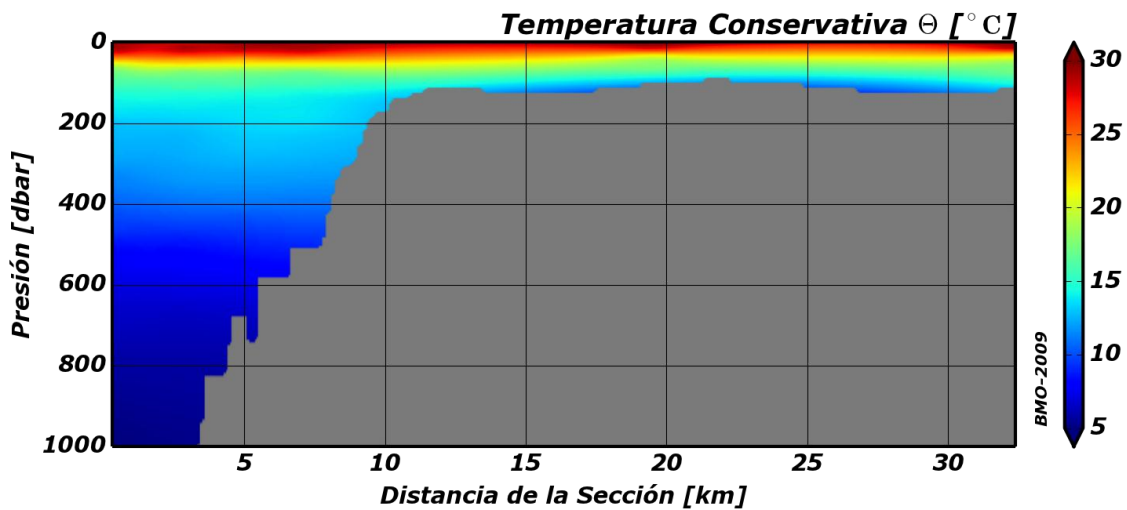


Figura 3. 76: Distribución de temperatura conservativa en el transepto 6.

Las figuras 3.76, 3.77 y 3.78 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del sexto transepto perpendicular a la costa de El Salvador. La distribución de los parámetros nuevamente presenta estabilidad en algunas zonas, aunque existen partes donde la temperatura se distribuye de manera poco uniforme formando áreas con estrechamiento de la capa de mezcla.

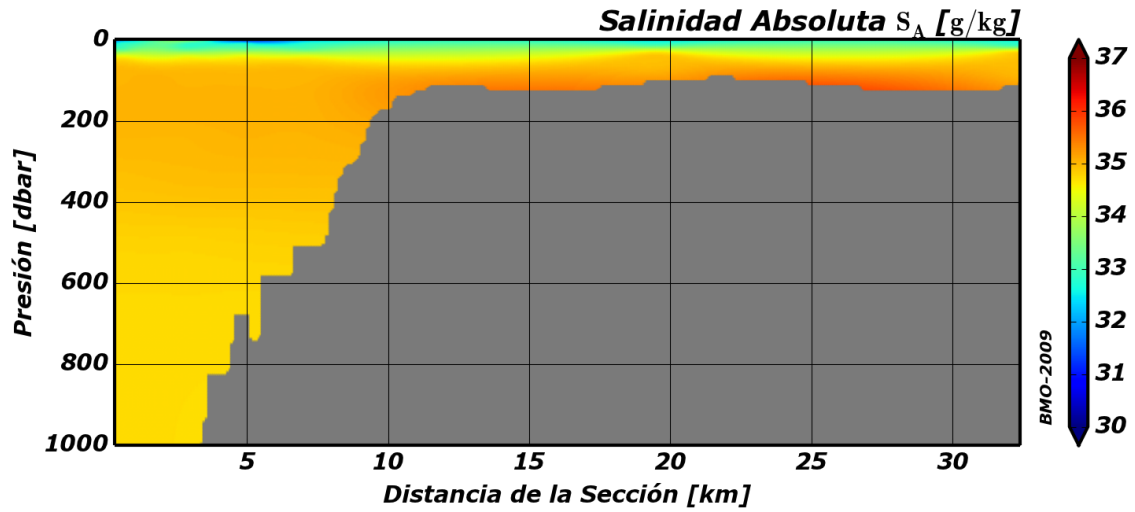


Figura 3. 77: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 6.

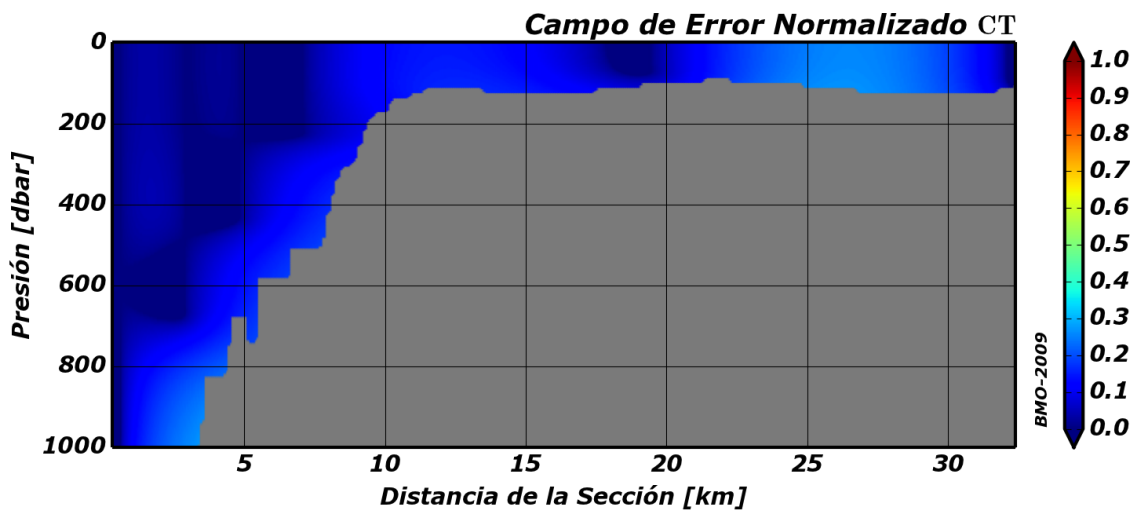


Figura 3. 78: Distribución del campo de error en el transepto 6.

El campo de error analizado tiene valores bajos a lo largo de todo el transepto; además la distribución de la salinidad presenta valores un poco mayores en la superficie comparado con transeptos anteriores lo cual puede ser ocasionado por una evaporación menor debido al área con estrechamiento en la capa de mezcla.

Transecto 7:

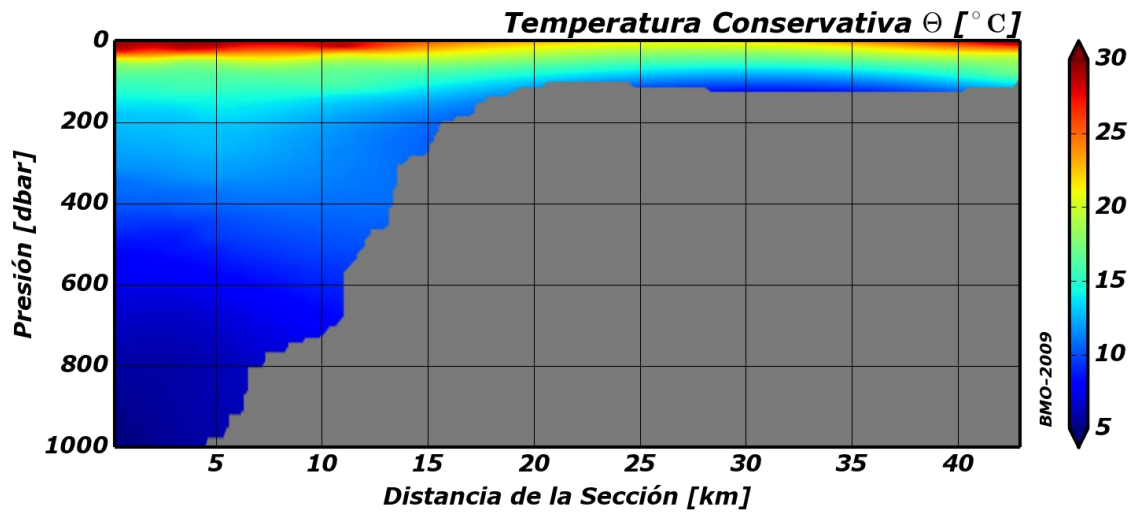


Figura 3. 79: Distribución de salinidad absoluta en el transecto 7.

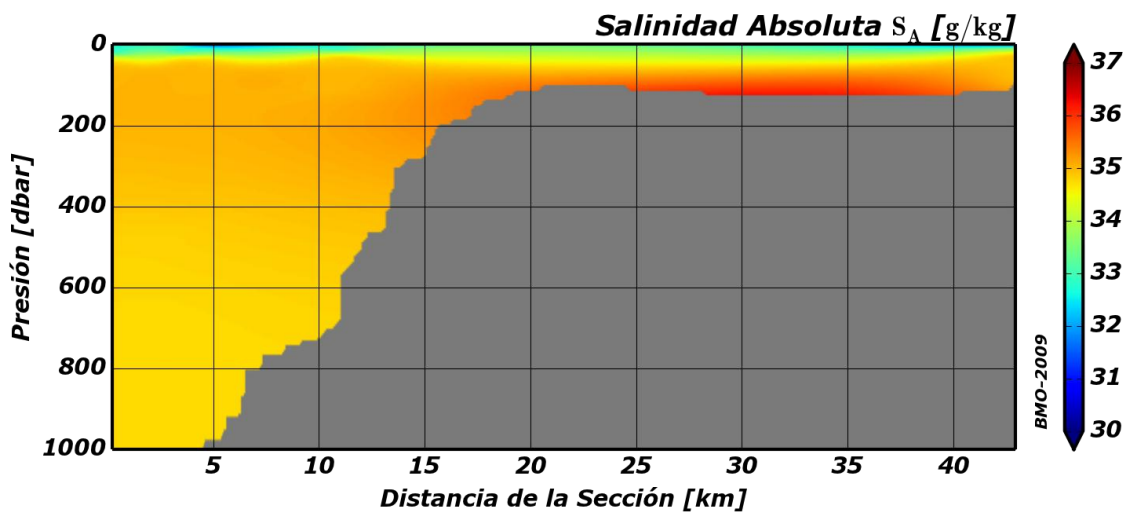


Figura 3. 80: Distribución del campo de error en el transecto 7.

Las figuras 3.79, 3.80 y 3.81 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del séptimo transecto perpendicular a la costa de El Salvador. La distribución de los parámetros a lo largo del transecto, presentan una zona de estrechamiento de la capa de mezcla, sin embargo esta vez el campo de error es demasiado alto para esa zona por lo cual no puede decirse que se deba a una mezcla débil de los parámetros.

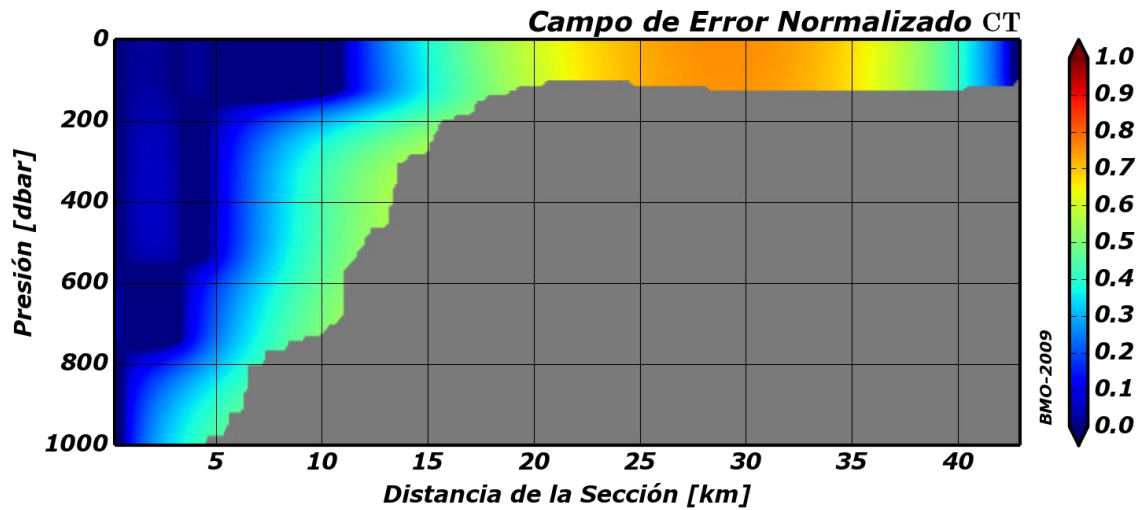


Figura 3. 81: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 7.

Transepto 8:

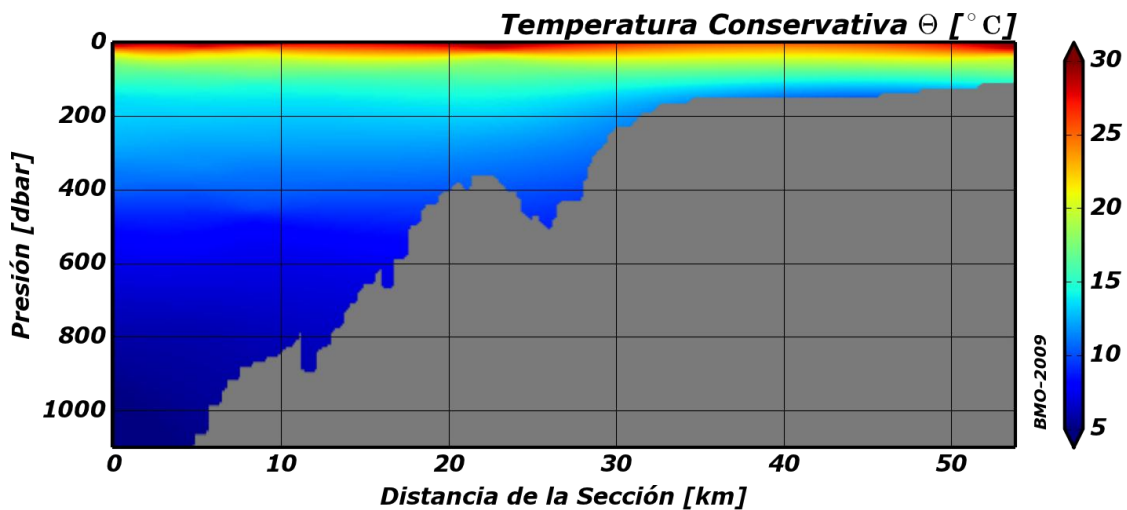


Figura 3. 82: Distribución del campo de error en el transepto 8.

Las figuras 3.82, 3.83 y 3.84 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del octavo transepto perpendicular a la costa de El Salvador. Se percibe nuevamente la disminución de la capa de mezcla y sectores donde la salinidad es relativamente alta en superficie, lo cual sugiere que existió poca mezcla entre los parámetros.

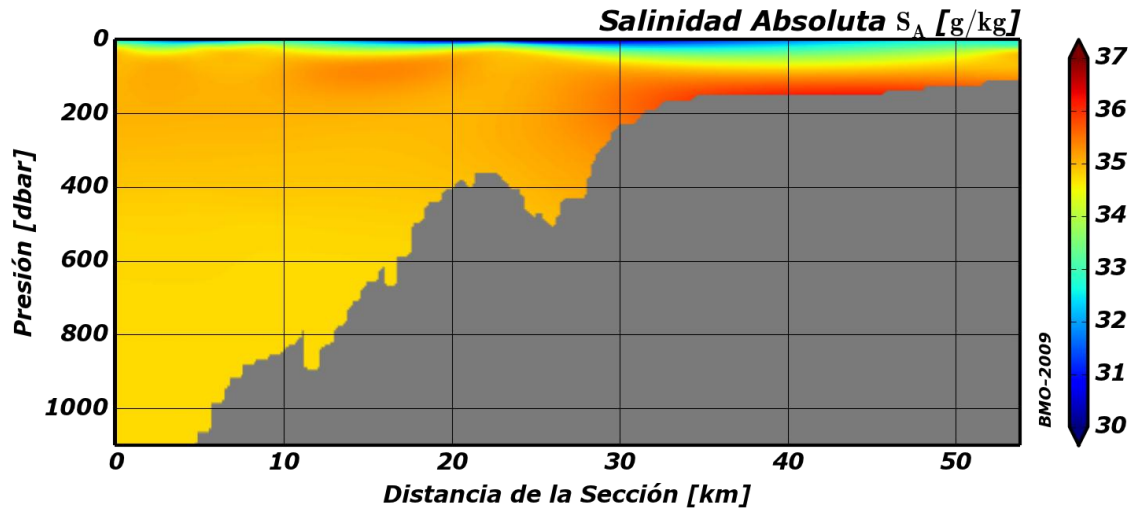


Figura 3. 83: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 8.

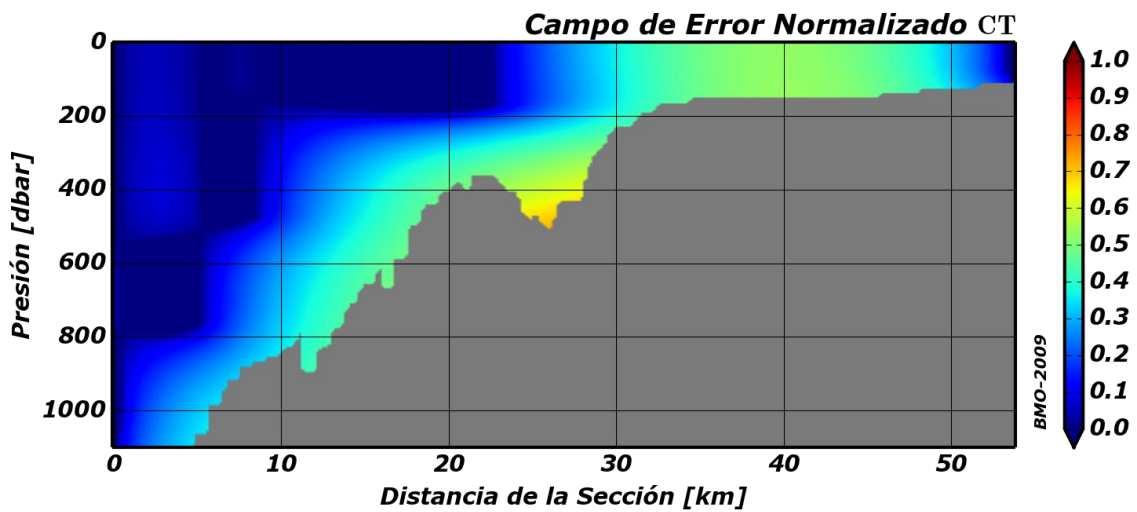


Figura 3. 84: Distribución del campo de error en el transepto 8.

El campo de error analizado tiene valores muy altos en algunas partes, esto se puede atribuir a la distribución desigual de los perfiles realizados, con espaciamentos muy altos.

Transecto 9:

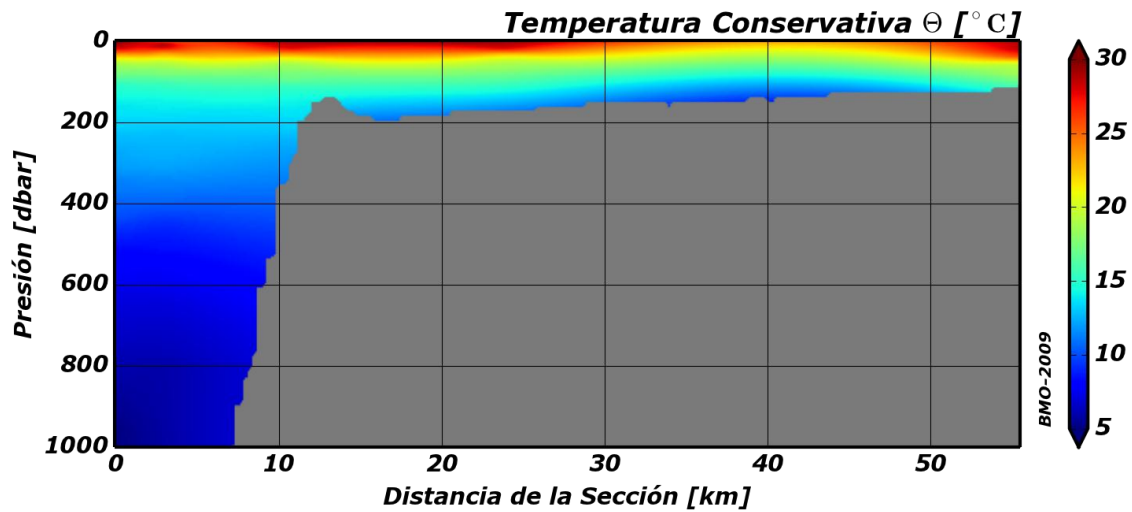


Figura 3. 85: Distribución de salinidad absoluta en el transecto 9.

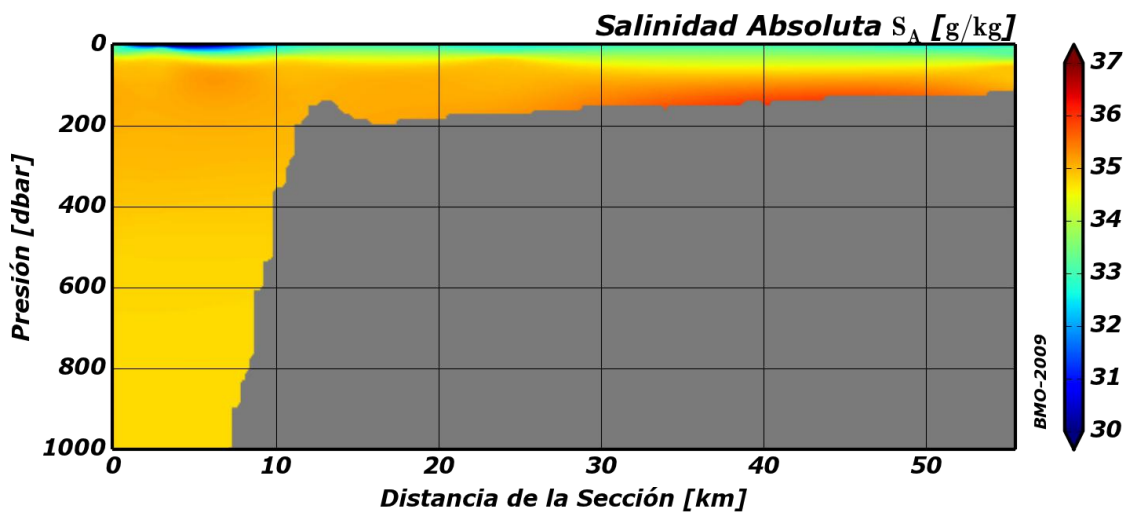


Figura 3. 86: Distribución del campo de error en el transecto 9.

Las figuras 3.85, 3.86 y 3.87 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del noveno transecto perpendicular a la costa de El Salvador. El campo de error es muy alto en algunas zonas, sin embargo la distribución de los parámetros mantiene el mismo comportamiento del transecto anterior, y sigue observándose una disminución en la profundidad de la capa de mezcla.

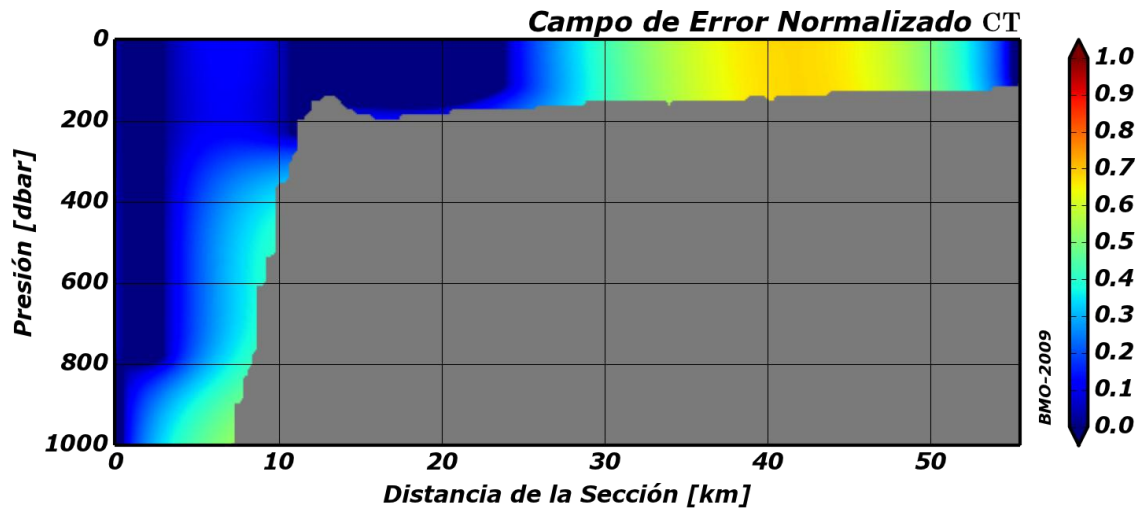


Figura 3. 87: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 9.

Transepto 10:

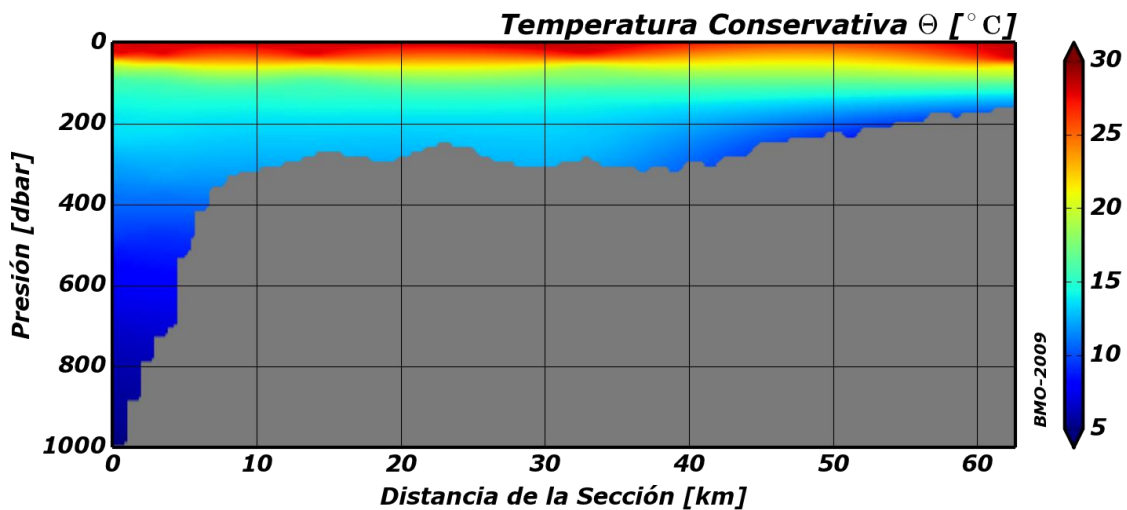


Figura 3. 88: Distribución del campo de error en el transepto 10.

Las figuras 3.88, 3.89 y 3.90 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del decimo transepto perpendicular a la costa de El Salvador. Se puede notar un ligero incremento en la profundidad de la capa de mezcla así como también una zona con una alta salinidad a una profundidad de alrededor de 200 metros.

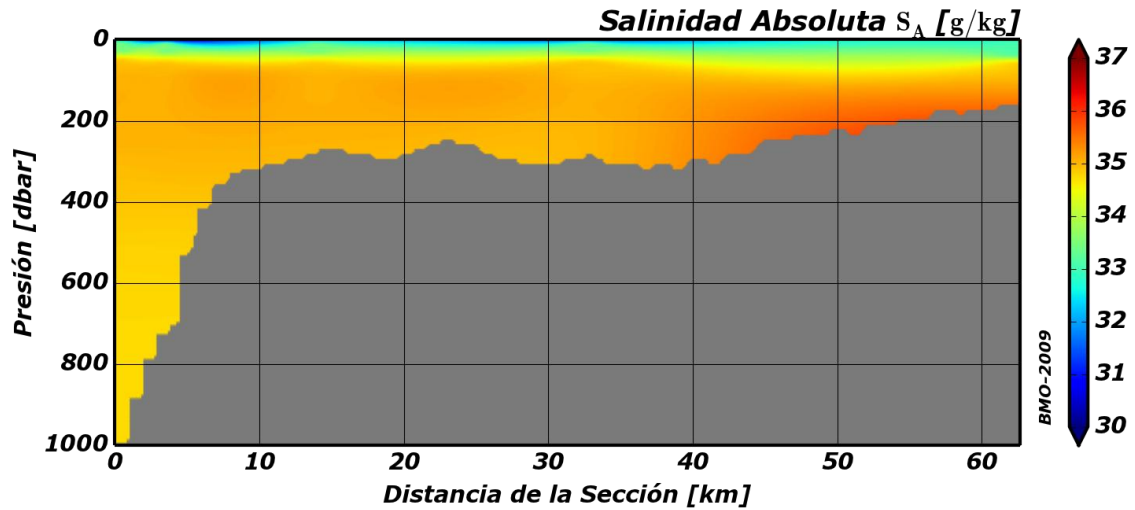


Figura 3. 89: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 10.

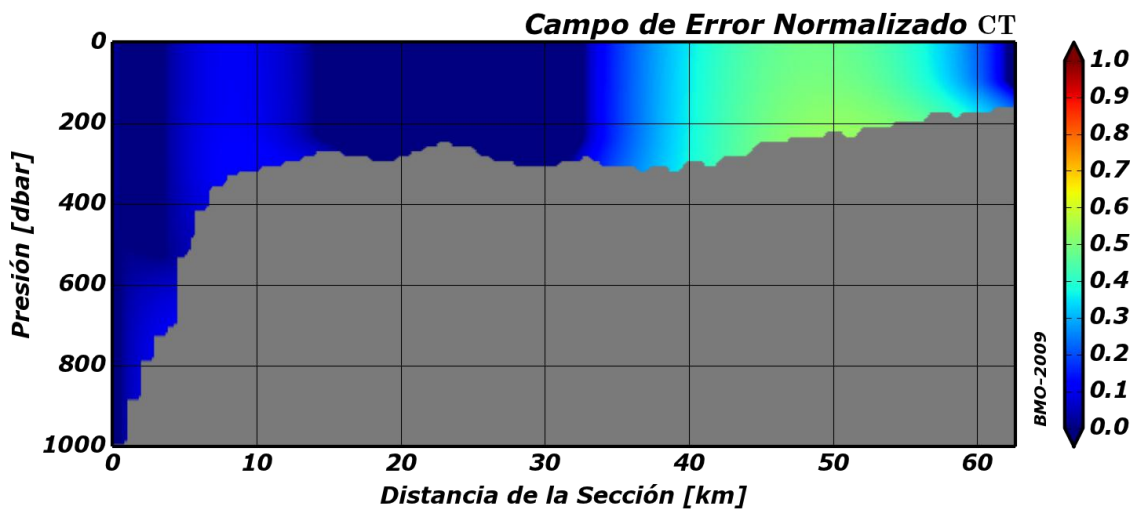


Figura 3. 90: Distribución del campo de error en el transepto 10.

La distribución de los parámetros en general presenta comportamientos similares a los transeptos anteriores. El campo de error nuevamente presenta valores muy altos en la zona con profundidad cercana a los 200 metros por lo cual los valores altos de salinidad mostrados podrían estar sobreestimados.

Transecto 11:

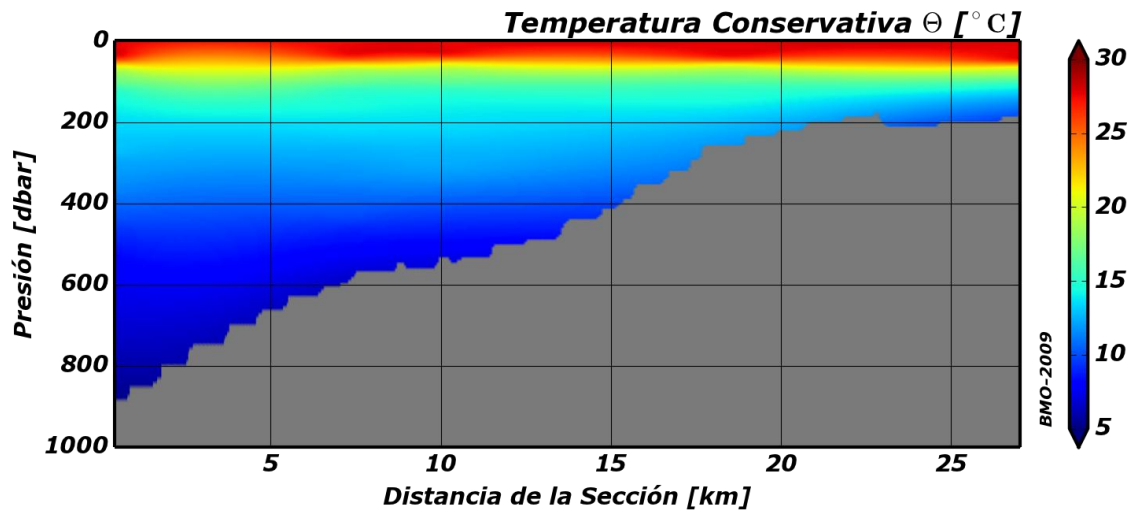


Figura 3. 91: Distribución de salinidad absoluta en el transecto 11.

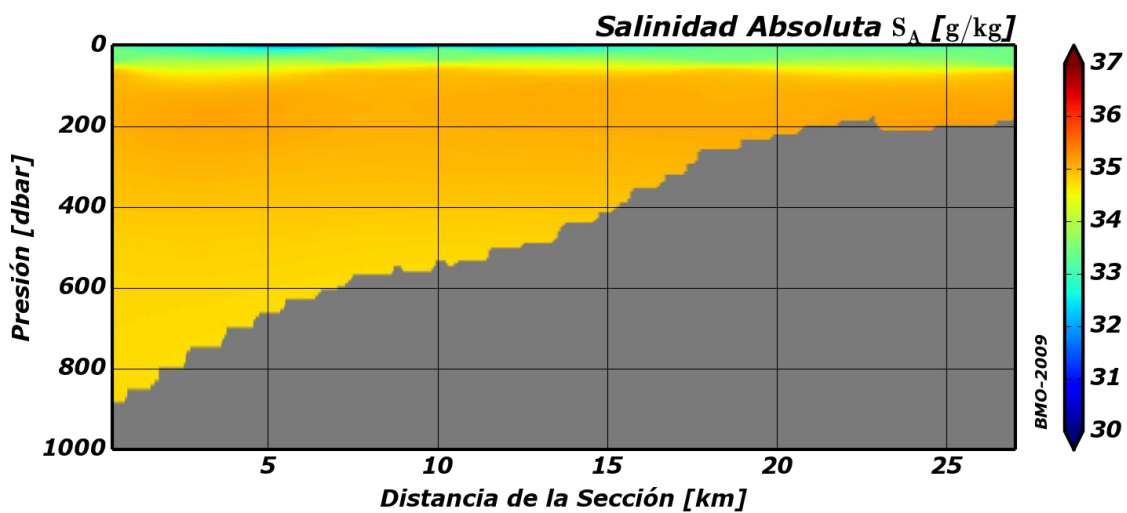


Figura 3. 92: Distribución del campo de error en el transecto 11.

Las figuras 3.91, 3.92 y 3.93 muestran el comportamiento de la temperatura conservativa y salinidad absoluta y el campo de error a lo largo del onceavo transecto perpendicular a la costa de El Salvador. La profundidad de la capa de mezcla se ha incrementado ligeramente y además el campo de error es menor en esta zona. La distribución de los parámetros presenta también estabilidad a lo largo de la columna de agua.

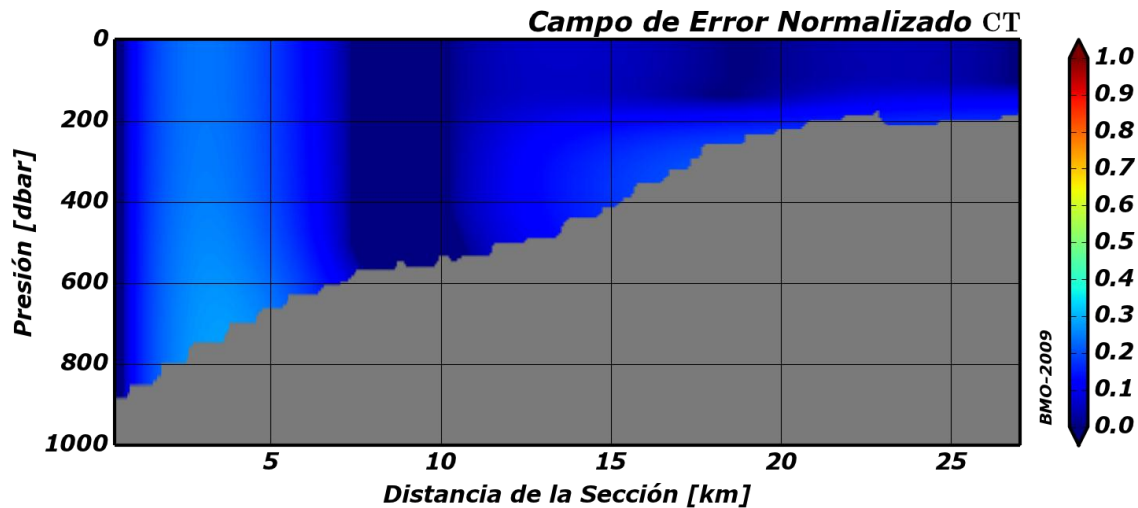


Figura 3. 93: Distribución de salinidad absoluta en el transepto 11.

3.3 Distribución horizontal

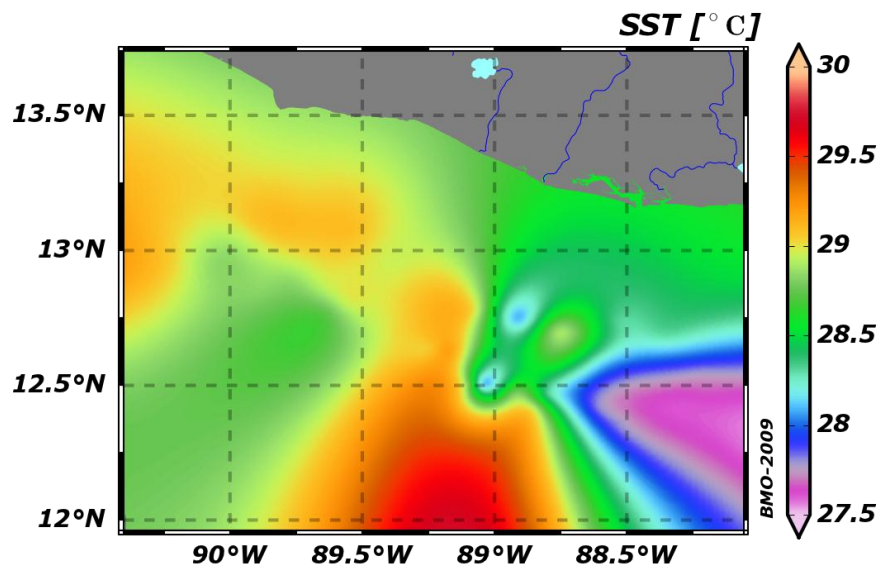


Figura 3. 94: Distribución superficial de temperatura conservativa.

La distribución horizontal de los datos de temperatura a una profundidad de 10 metros es representativa de la temperatura superficial, tal como se ha encontrado en los perfiles anteriores, donde la capa de mezcla se extiende en promedio hasta los primeros 20 metros de profundidad. La Figura 3.94 muestra claramente una distribución de aguas mas frías hacia el oriente, con pequeños parches en la zona central. Estas zonas de aguas más frías se asocian a menudo con la aparición de fenómenos de surgencias que desplazan aguas frías y nutrientes a las partes altas.

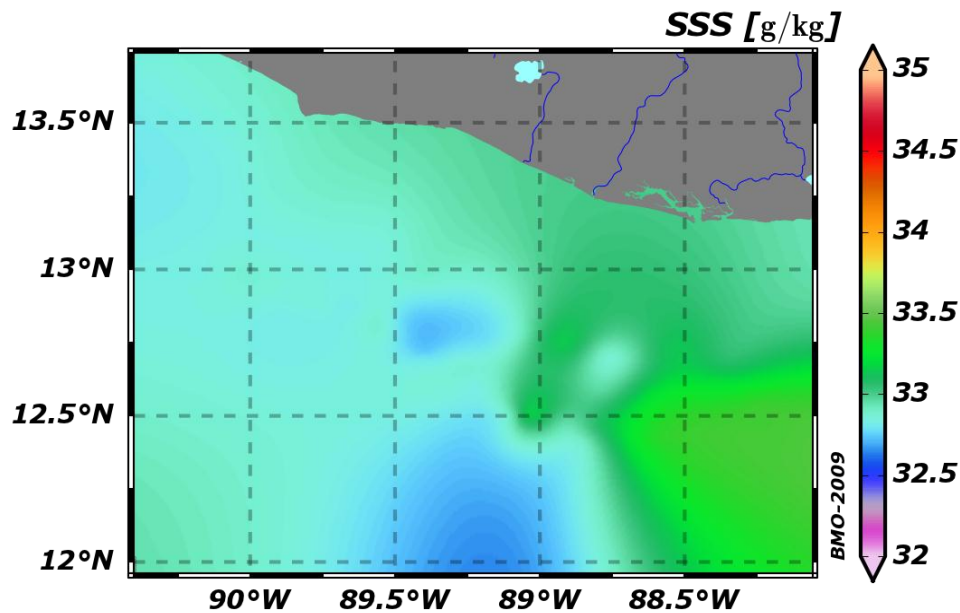


Figura 3. 95: Distribución superficial de salinidad absoluta.

Los valores de salinidad que aparecen en la Figura 3.95 son tomados a una profundidad de referencia de 10 metros, y es representativa de la salinidad superficial. En contraste con la distribución de temperatura, se observa también aguas menos salobres en la parte occidental del país, y aguas ligeramente más salinas en la parte oriental.

Aunque no podría afirmarse completamente, la disminución de salinidad en la zona central puede ser ocasionada por la descarga de agua dulce proveniente de los ríos que desembocan en estas costas, pero se tendría que realizar un estudio de estos parámetros en diferentes épocas del año y de manera continua para poder asociar este patrón de comportamiento en temperatura y salinidad de la zona central sobre la plataforma continental.

3.4 Magnitud y dirección de la corriente

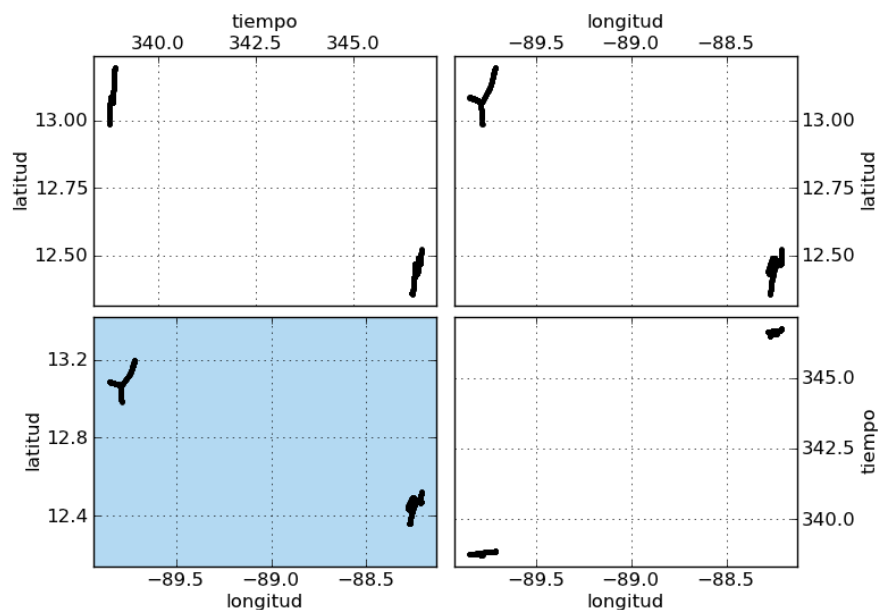


Figura 3. 96: Trayectoria de recolección de datos en modo de largo alcance y promediados en intervalos de 1 minuto.

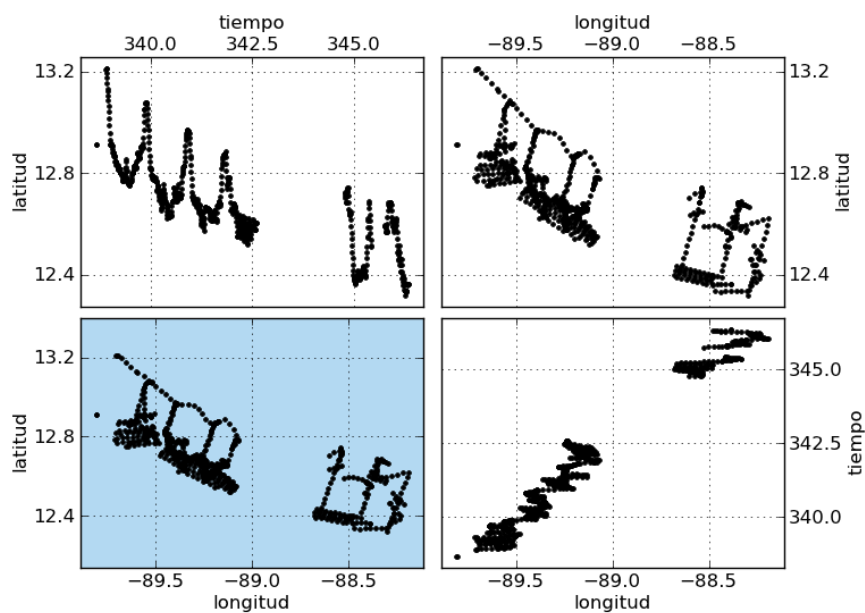


Figura 3. 97: Trayectoria de recolección en modo de largo alcance y promediados en intervalos de 10 minutos.

En las figuras 3.96 y 3.97 se muestran los recorridos efectuados por el buque oceanográfico, en los cuales se realizaron sondeos acústicos para la obtención de la velocidad de la corriente.

Las siguientes graficas muestran el comportamiento de la corriente sobre la plataforma continental de El Salvador, durante los días 5 al 13 de diciembre de 2009. Se han generado graficas de vectores de velocidad cada 10 bins donde era posible, y se puede observar como la dominancia de la dirección hacia la que fluye la corriente, para este periodo específico, fue hacia el sureste. La configuración utilizada fue en modo de largo alcance y promediados cada minuto y cada 10 minutos. El número de bins utilizados es de 100 y espaciados uniformemente cada 2 metros. Se puede observar en las graficas de velocidad del barco que existen fuertes variaciones en la velocidad del mismo, lo que en cierta medida ocasiona errores muy altos en los datos recibidos, particularmente al tratar de ajustar la capa de referencia, por lo que algunos valores presentan magnitudes un poco altas.

Se identifica también que el mayor número de datos con porcentaje de bins buenos, se sitúa entre los primeros 80 y 100 metros de profundidad. Esto puede ser ocasionado por efectos de dispersión o de retardo en la señal recibida, debido a un tiempo alto de promediado del ensemble o a un tiempo muy corto de promediado.

Adicionalmente se muestra también en las graficas, la temperatura medida por el sensor del adcp, las cuales son consistentes con los resultados analizados anteriormente de ctd, en los cuales se apreciaba una disminución de la temperatura en la parte oriental del país.

Como se sabe, las corrientes marinas son generadas en parte por la dinámica misma generada por los cambios en los parámetros oceanográficos, específicamente de temperatura y de salinidad, quienes dan origen a gradientes de presión que impulsan la columna de agua, aunque hay que hacer énfasis que no son los únicos responsables del movimiento. Por lo tanto, una de las posibles consecuencias que se puede observar es que la disminución de temperatura en la parte oriental influye en la velocidad de la corriente, debido a la mayor estabilidad en la columna de agua y a gradientes de presión menores que impulsan las capas de agua. Otra posibilidad de esta disminución de la velocidad podría ser la zona de influencia de dos corrientes que giran en sentido contrario disminuyendo la magnitud del vector de velocidad de la corriente predominante.

En promedio la magnitud de velocidad encontrada durante el periodo de tiempo del 5 al 13 de diciembre de 2009, tiene un valor aproximado de 21 cm/s, lo cual es consistente con el valor promedio conocido de corrientes que es de alrededor de 20 cm/s para nuestra región.

En las gráficas de vectores de velocidad presentadas se puede apreciar un pequeño giro anti horario a medida que aumenta la profundidad. Debido a la cantidad de datos con errores muy altos por la variación de velocidad del barco, no se puede conocer con precisión el perfil completo de la variación de la velocidad con la profundidad, pero si se puede percibir como en la parte central de la plataforma continental frente a El Salvador, tiende a formar giros anti horarios a medida que aumenta la profundidad. Esto no se puede apreciar claramente en la parte más oriental y todo apunta a que la velocidad es mayoritariamente hacia el norte buscando entrar hacia el golfo.

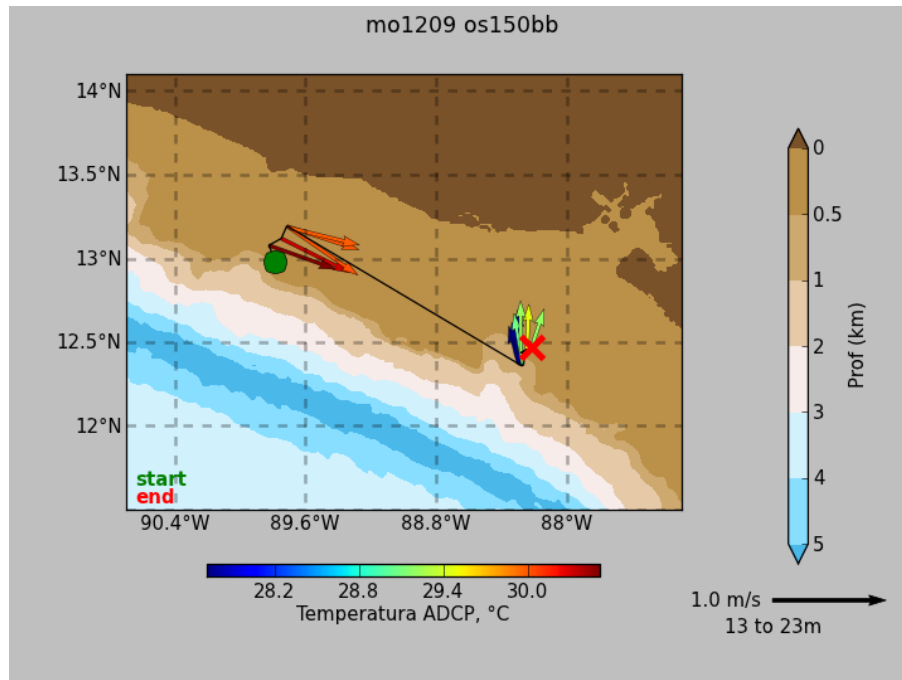


Figura 3. 98: Vectores de velocidad de la corriente para los días 5 y 13 de diciembre del 2009, en el rango de profundidades de 13 a 23 metros.

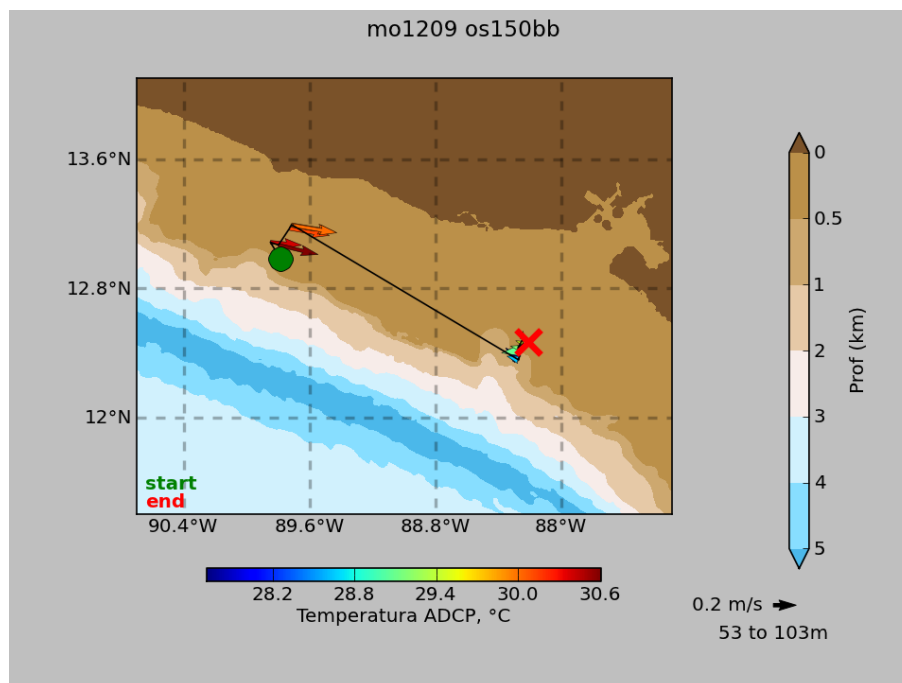


Figura 3. 99: Vectores de velocidad de la corriente para los días 5 y 13 de diciembre del 2009, en el rango de profundidades de 53 a 103 metros.

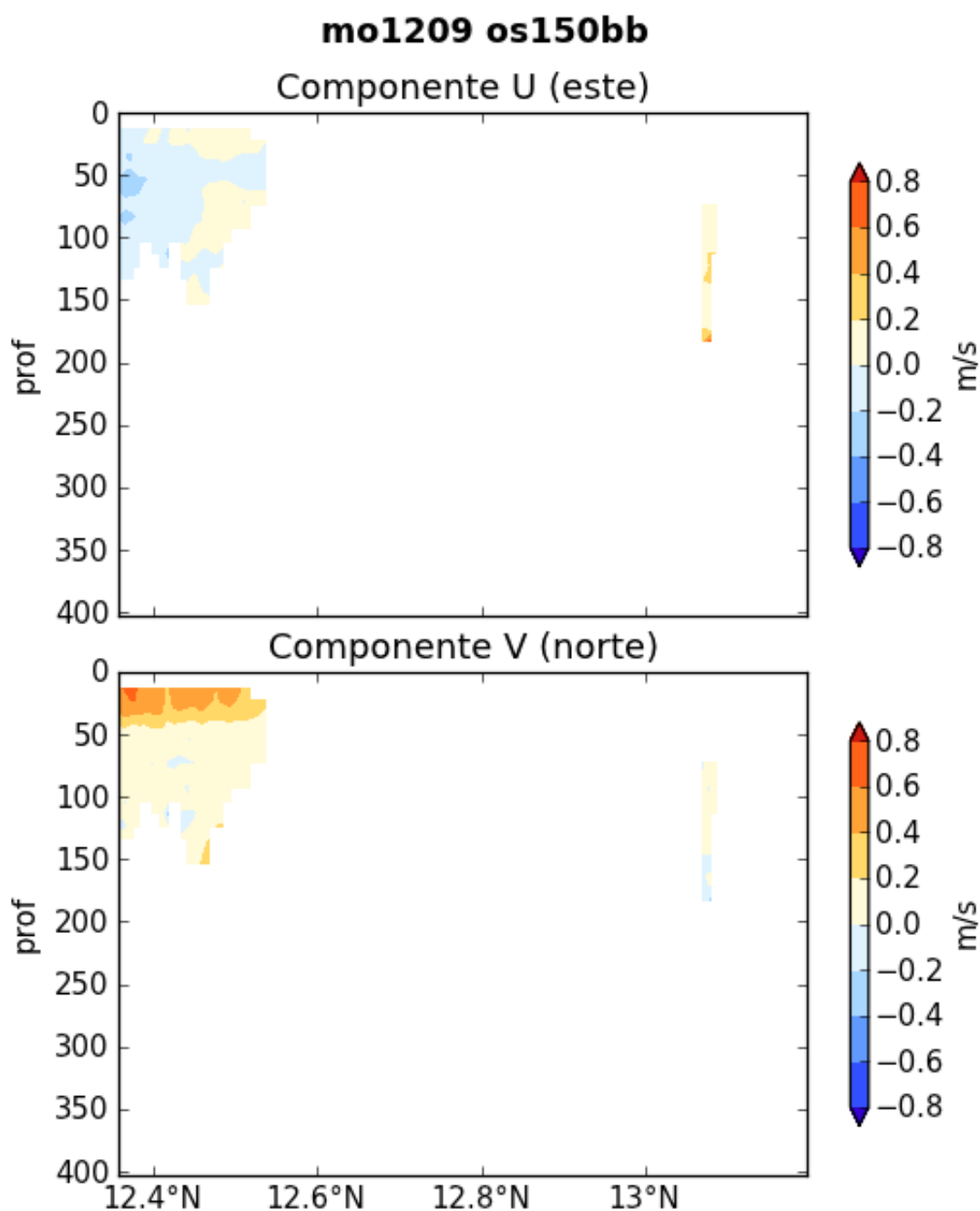


Figura 3. 100: Perfil vertical de las componentes de la velocidad para los días 5 y 13 de diciembre.

En la Figura 3.100 se presentan las componentes de velocidad de la corriente, conocidas como componentes zonales y meridionales. La convención es que la componente u es positiva cuando va hacia el este y negativa cuando va hacia el oeste, mientras que la componente v es positiva cuando va hacia el norte y negativa cuando va hacia el sur. Como se puede apreciar en la grafica la componente u apunta mayoritariamente hacia el este en latitudes altas y la componente v apunta mayoritariamente hacia el norte en latitudes bajas.

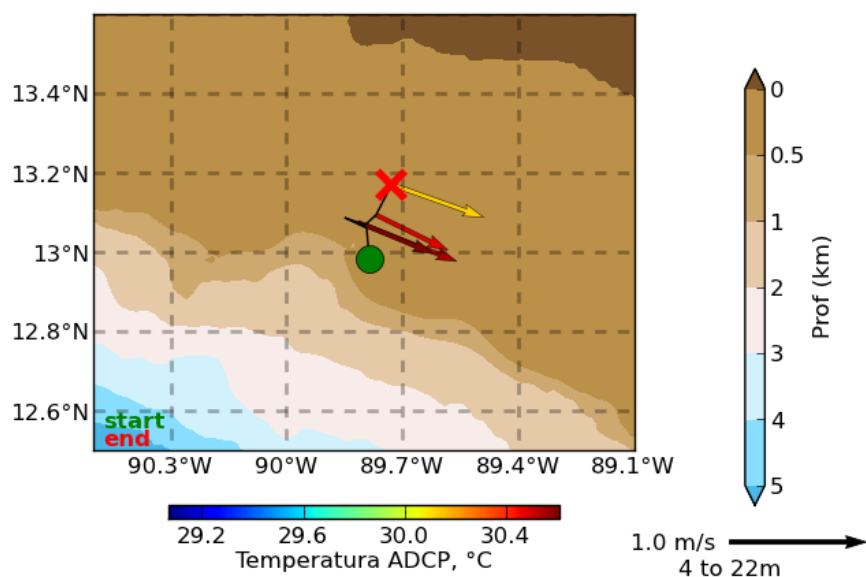


Figura 3. 101: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 4 a 22 metros.

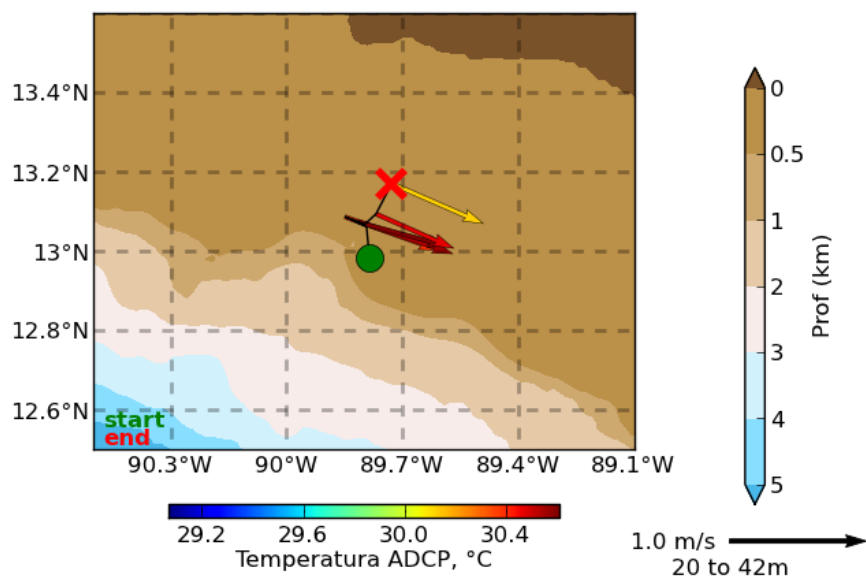


Figura 3. 102: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 20 a 42 metros.

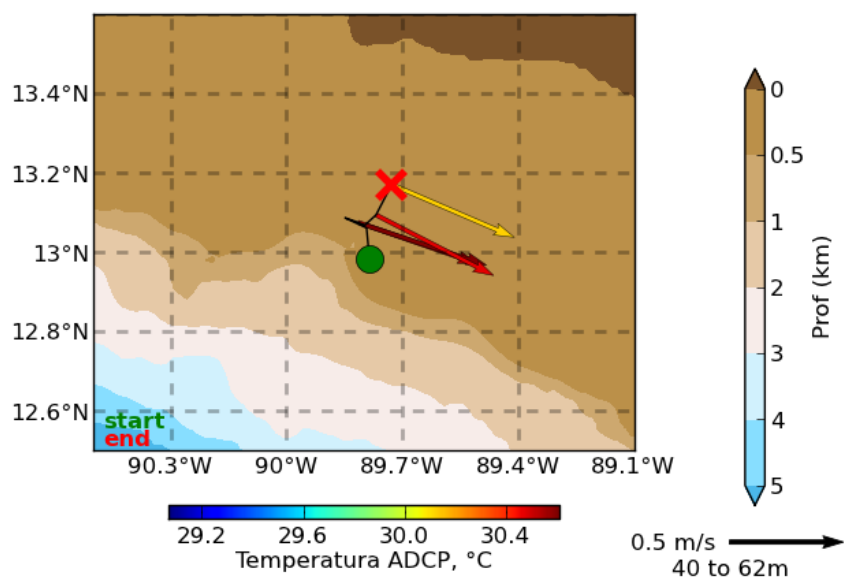


Figura 3. 103: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 40 a 62 metros.

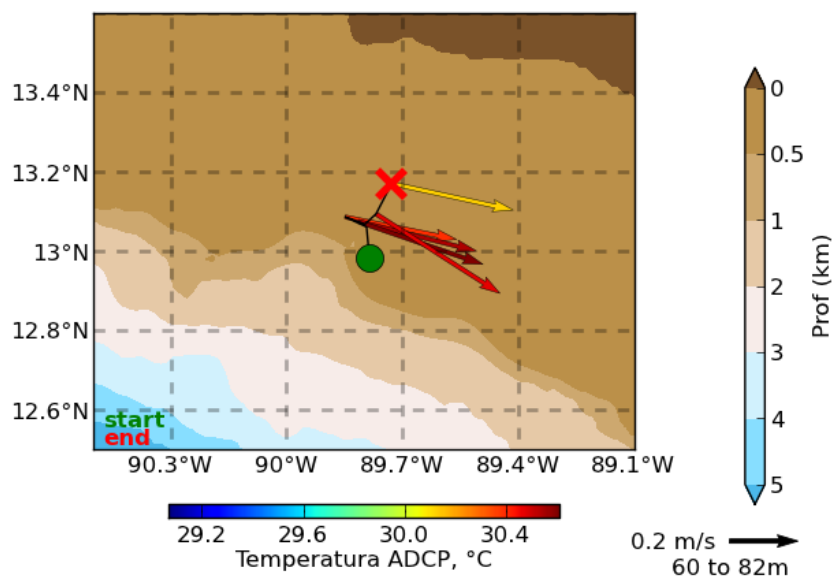


Figura 3. 104: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 60 a 82 metros.

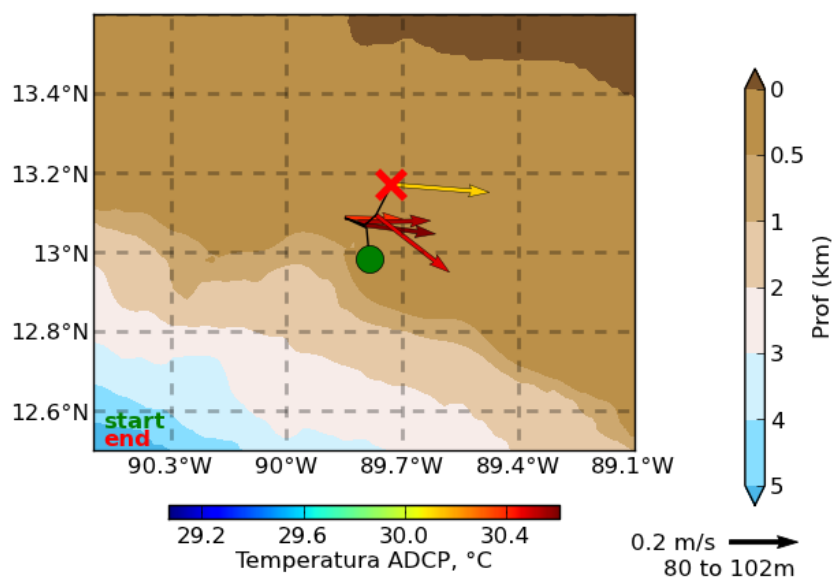


Figura 3. 105: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 80 a 102 metros.

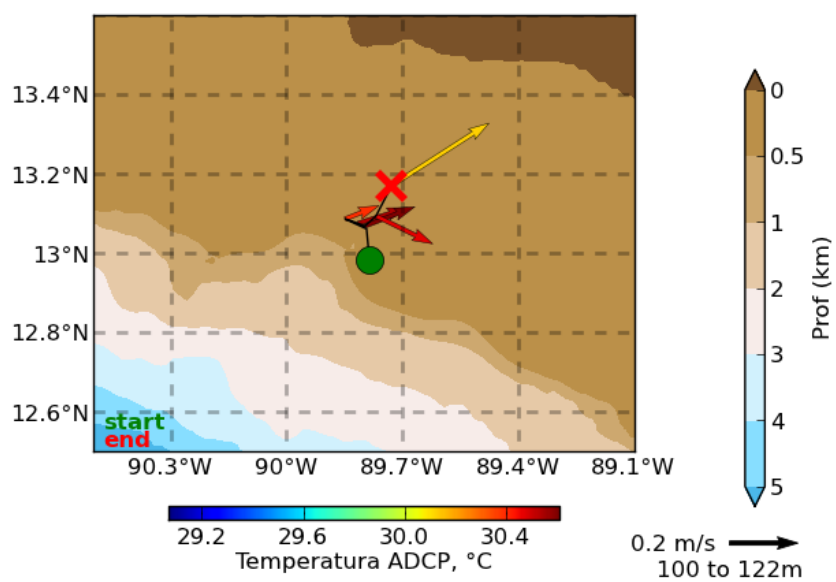


Figura 3. 106: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 100 a 122 metros.

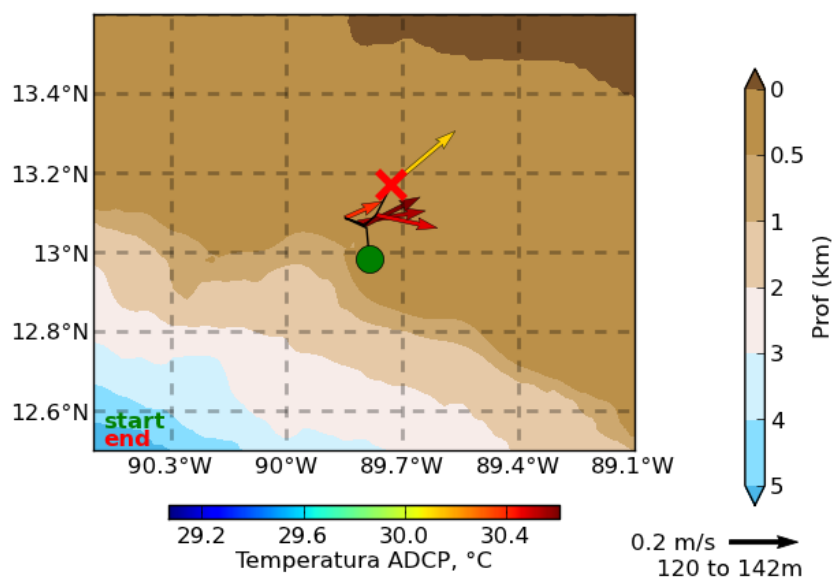


Figura 3. 107: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 120 a 142 metros.

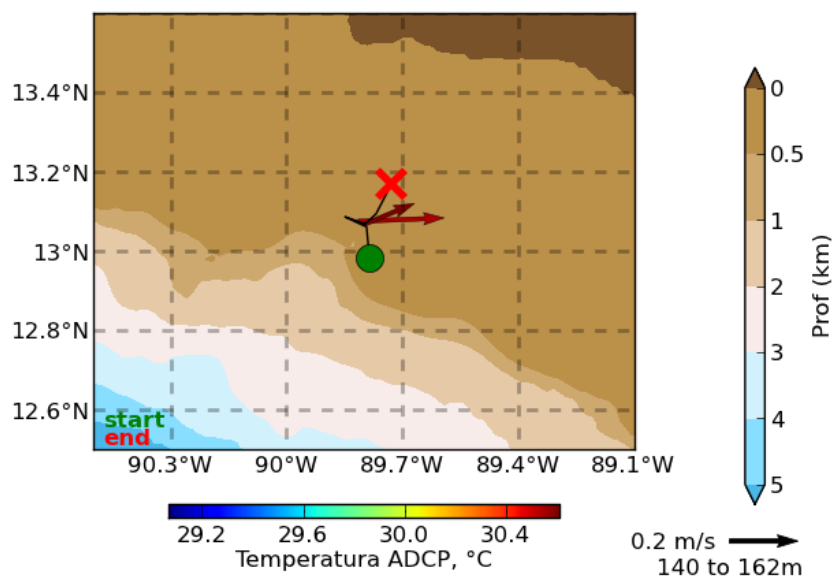


Figura 3. 108: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 140 a 162 metros.

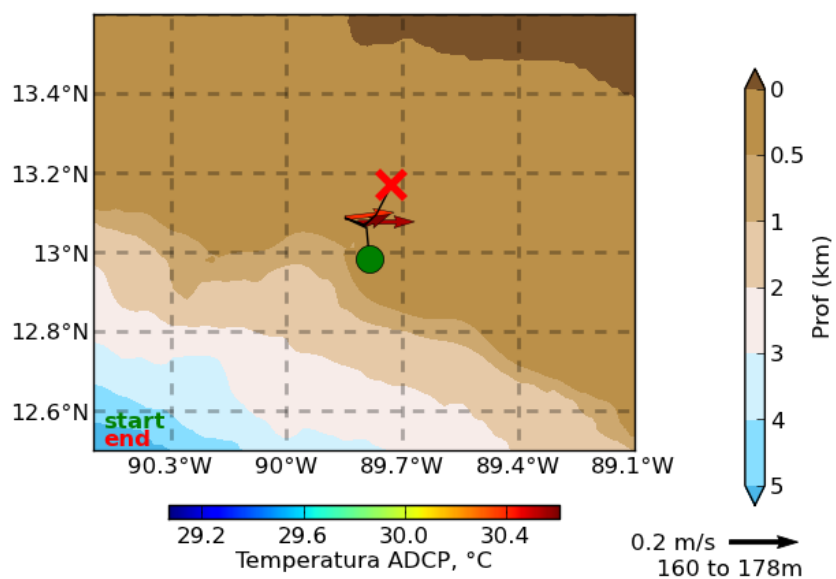


Figura 3. 109: Vectores de velocidad para el día 5 de diciembre, en el rango de profundidades de 160 a 178 metros.

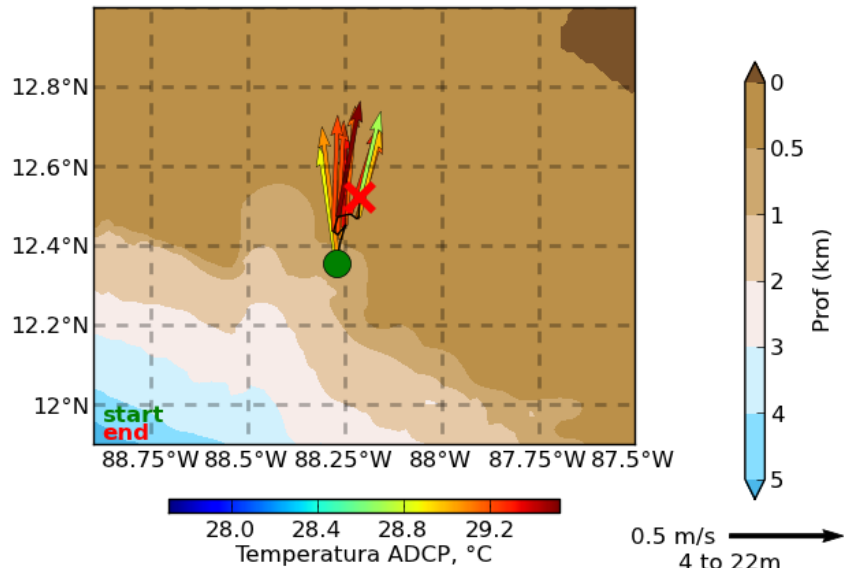


Figura 3. 110: Vectores de velocidad para el día 13 de diciembre, en el rango de profundidades de 4 a 22 metros.

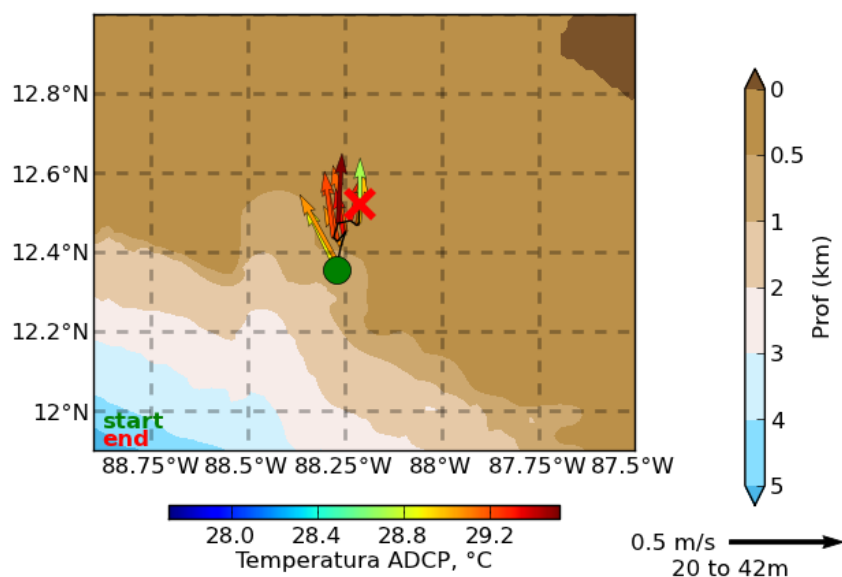


Figura 3. 111: Vectores de velocidad para el día 13 de diciembre, en el rango de profundidades de 20 a 42 metros.

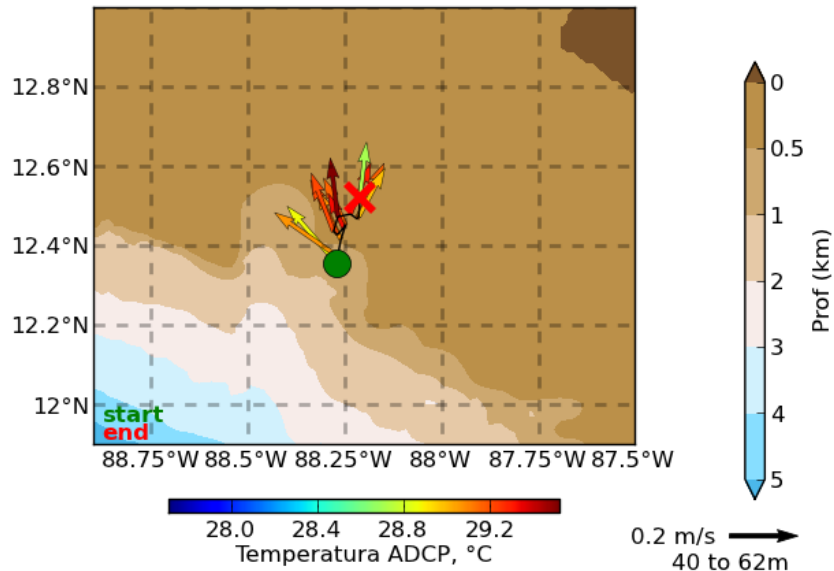


Figura 3. 112: Vectores de velocidad para el día 13 de diciembre, en el rango de profundidades de 40 a 62 metros.

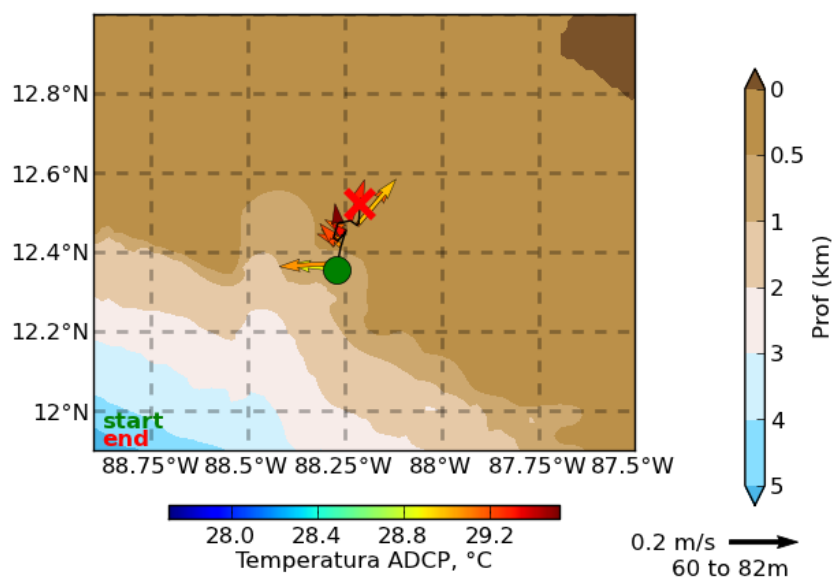


Figura 3. 113: Vectores de velocidad para el día 13 de diciembre, en el rango de profundidades de 60 a 82 metros.

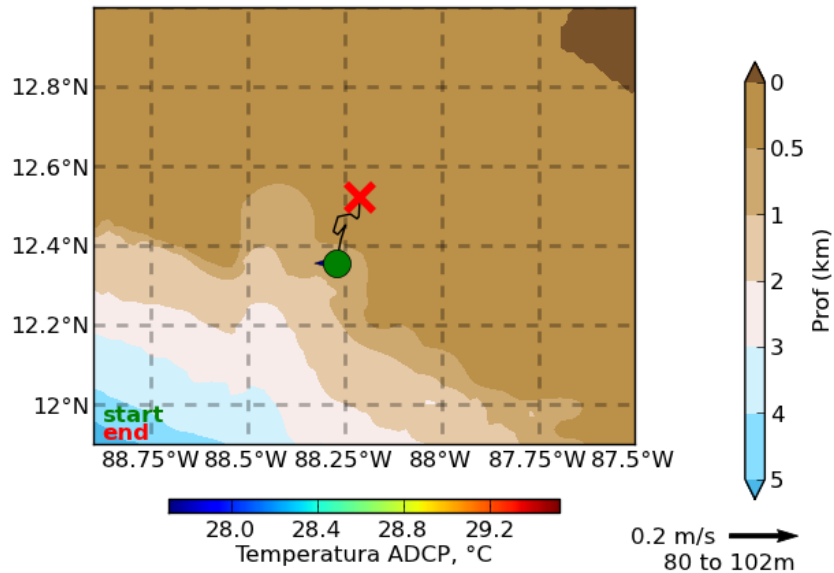


Figura 3. 114: Vectores de velocidad para el día 13 de diciembre, en el rango de profundidades de 80 a 102 metros.

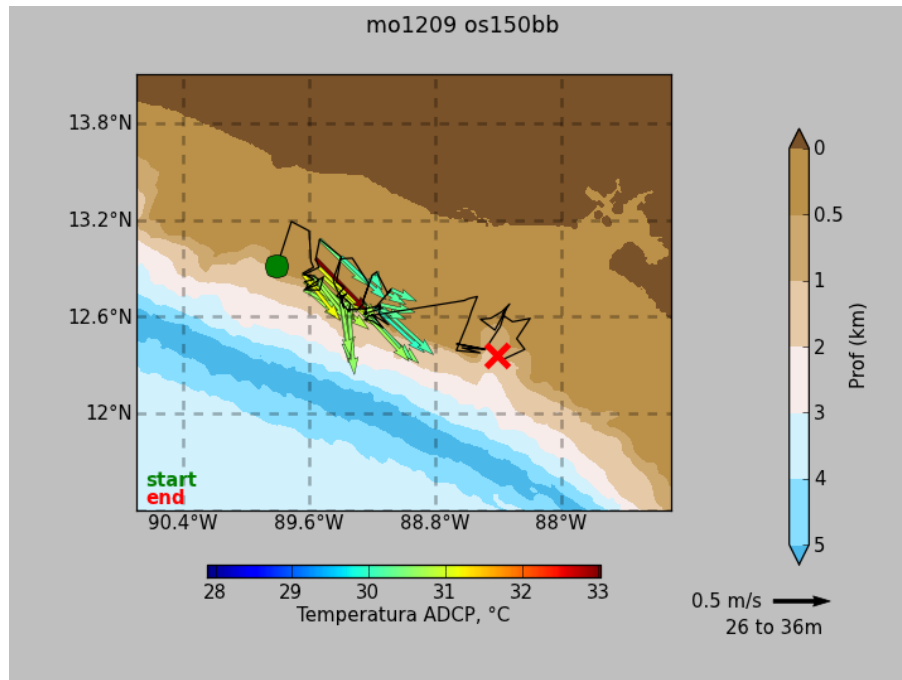


Figura 3. 115: Vectores de velocidad de la corriente para los días 5 al 12 de diciembre de 2009, en los rangos de profundidad de 26 a 36 metros.

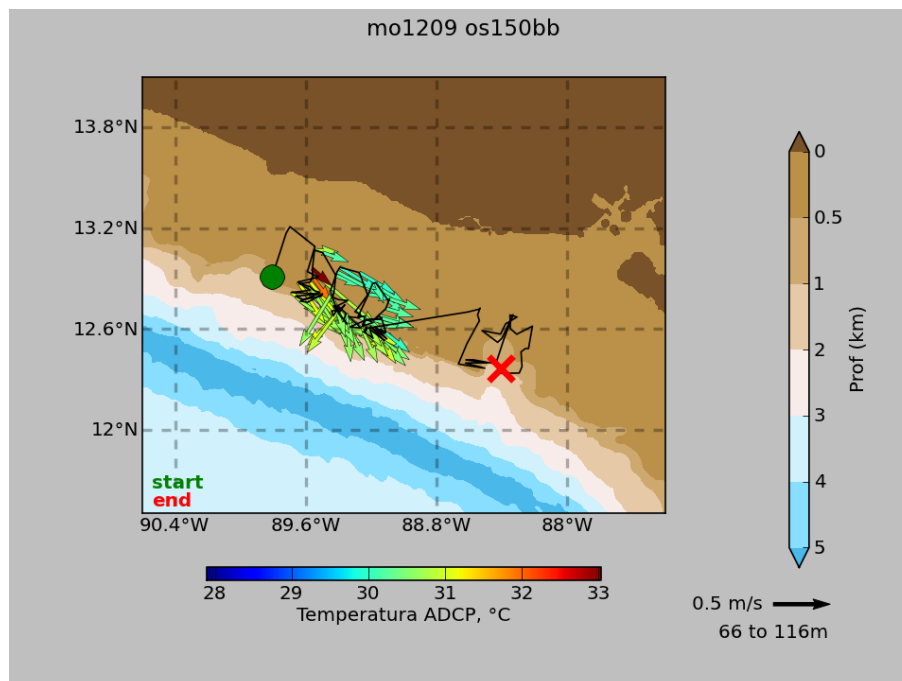


Figura 3. 116: Vectores de velocidad de la corriente para los días 5 al 12 de diciembre de 2009, en los rangos de profundidad de 66 a 116 metros.

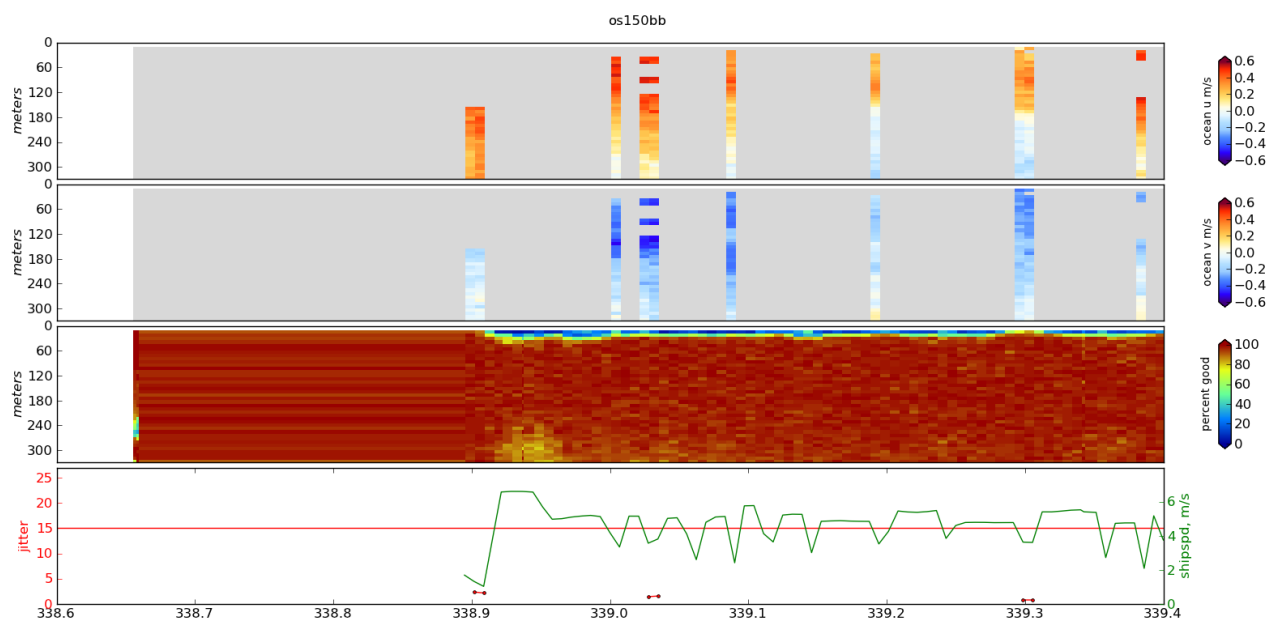


Figura 3. 117: Perfil vertical de las componentes de velocidad de la corriente (zonales y meridionales) para los días 5 al 6 de diciembre de 2009.

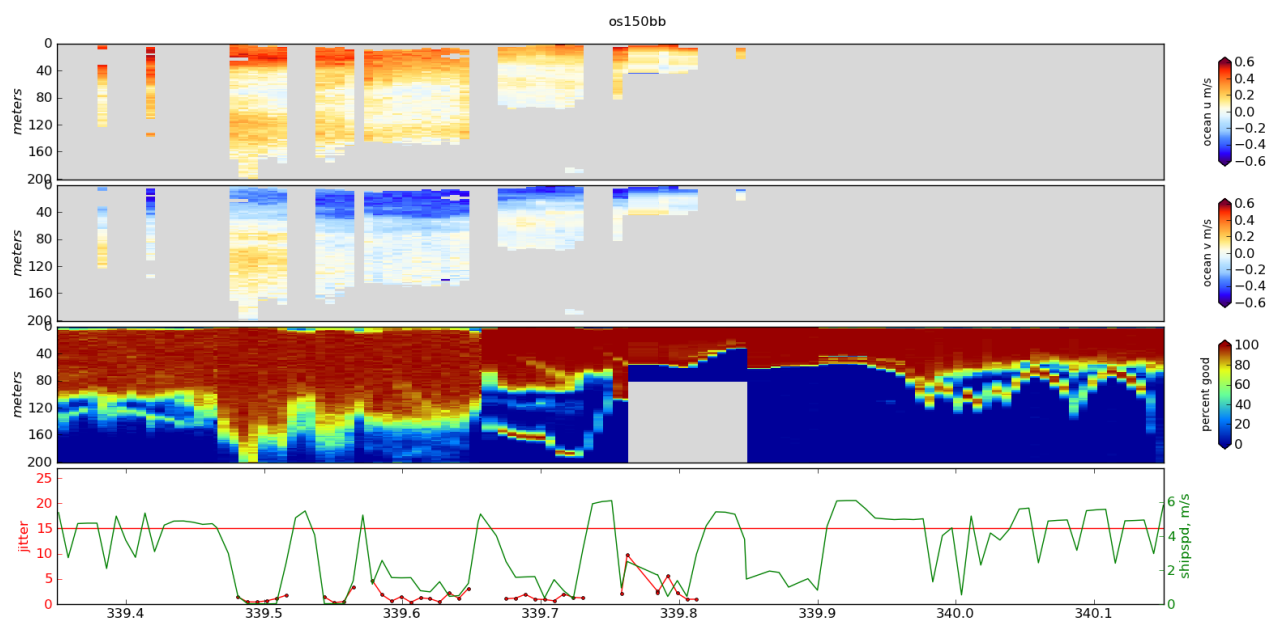


Figura 3. 118: Perfil vertical de las componentes de velocidad de la corriente (zonales y meridionales) para los días 6 al 7 de diciembre de 2009.

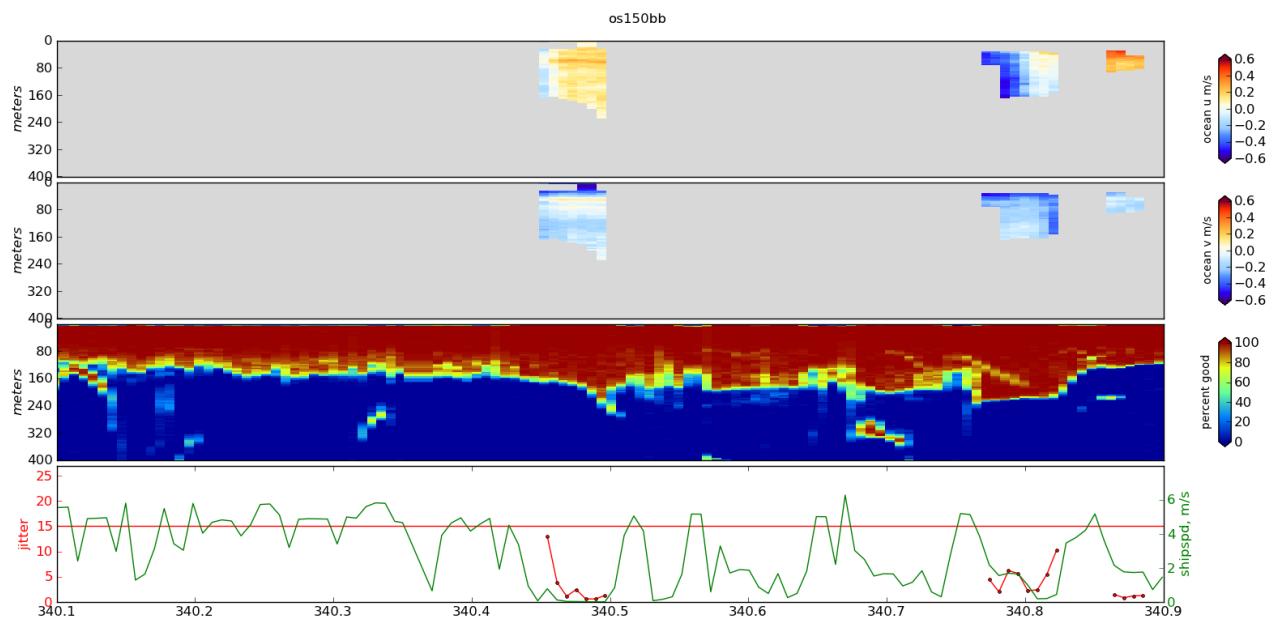


Figura 3. 119: Perfil vertical de las componentes de velocidad de la corriente (zonales y meridionales) para los días 7 al 8 de diciembre de 2009.

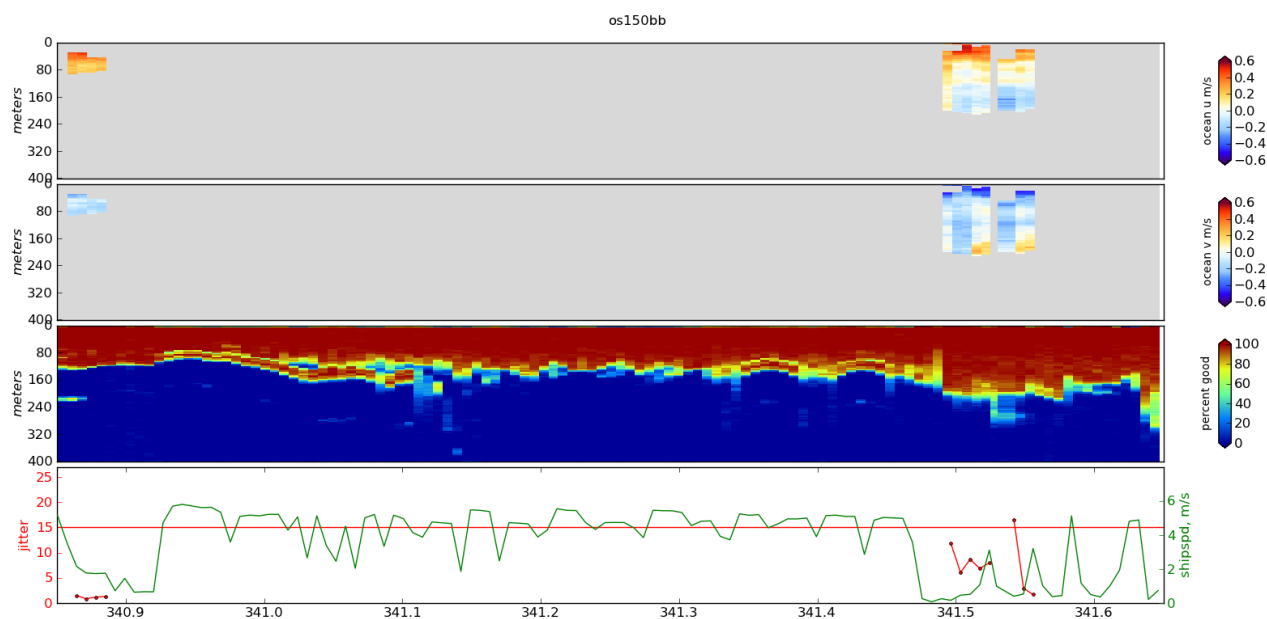


Figura 3. 120: Perfil vertical de las componentes de velocidad de la corriente (zonales y meridionales) para los días 8 al 9 de diciembre de 2009.

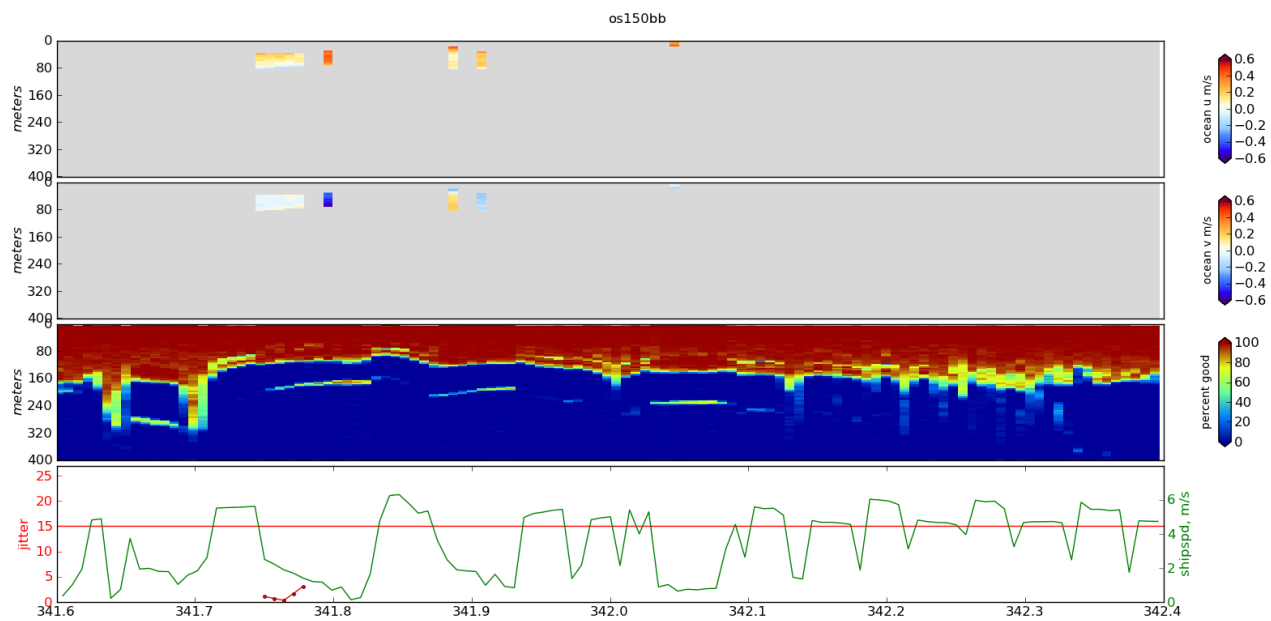


Figura 3. 121: Perfil vertical de las componentes de velocidad de la corriente (zonales y meridionales) para los días 9 al 11 de diciembre de 2009.

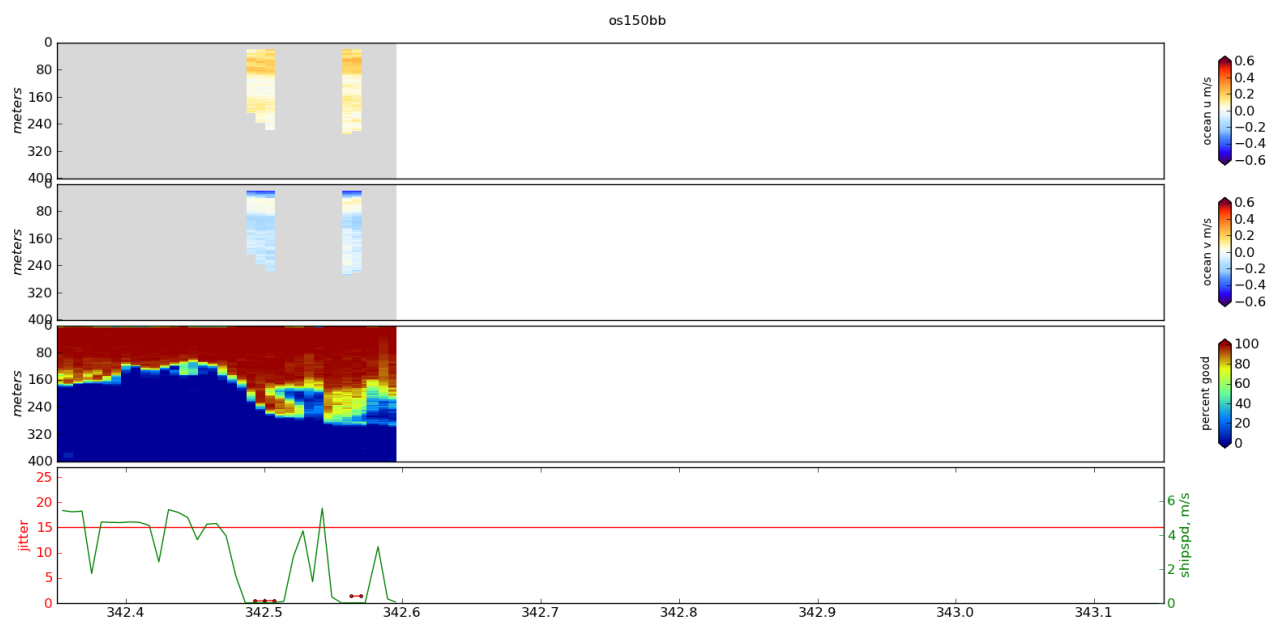


Figura 3. 122: Perfil vertical de las componentes de velocidad de la corriente (zonales y meridionales) para los días 11 al 12 de diciembre de 2009.

Tabla 3. 3: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante los días 5 y 6 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	338.901748	338.912135	339.00684	339.027616	339.038073	339.058877	339.090104	339.121395
22.5			0.57288723			0.62792549	0.56613881	0.49094929
27.5			0.58634967			0.57467513	0.45625845	0.44422381
32.5			0.56532062			0.48346119	0.35781019	0.31617737
37.5			0.51389884	0.62496523	0.55800349	0.53527671	0.37669996	0.31801192
42.5	0.40353936	0.41488746	0.43986031	0.47861043	0.49366284	0.45535416	0.40232536	0.28670879
47.5	0.3820804	0.44528449	0.2955569	0.39517716	0.40486282	0.41626289	0.40254656	0.3407157
52.5	0.36462203	0.43926097	0.22567561	0.32029686	0.33993508	0.31104311	0.34302193	0.20855348
57.5	0.31556984	0.35600651	0.19258642	0.323369	0.32158768	0.29092978	0.25788461	0.18908806
62.5	0.28215679	0.33049315	0.15420005	0.26940005	0.30883855	0.29521556	0.22940485	0.13080835
67.5	0.22413198	0.33889275	0.12513172	0.15732254	0.25349728	0.25993519	0.19935269	0.19205646
72.5	0.24265093	0.34633951	0.03359336	0.12576864	0.14140756	0.20544238	0.15372581	0.11820464
77.5	0.26783101	0.32825781	0.04154294	0.12663365	0.13474023	0.10482332	0.08603379	0.08760073
82.5	0.31478129	0.37581212	0.03841588	0.11212269	0.17717261	0.12827116	0.10299604	0.09814151
87.5		0.49337088	0.03249395	0.16006563		0.14134182	0.0492516	0.04900617
92.5		0.31070119	0.05813898	0.16165422		0.07291175	0.04690756	0.03698573
97.5		0.12901554	0.04272769			0.05994115	0.04055126	0.08128676
102.5	0.04195415	0.01036125	0.01408908			0.05079908	0.04396255	0.04927197
107.5	0.17617678	0.02999553	0.04456653			0.04245698	0.0544177	0.04290149
112.5			0.04645509				0.04810752	
117.5			0.05149368					
122.5			0.07640062					
127.5			0.08741708					
PROMEDIO	0.27413587	0.31061994	0.19267283	0.27128218	0.31337081	0.2808926	0.22196828	0.19337179

La tabla 3.3 muestra los valores de velocidad de la corriente para todos los bins recolectados durante el día 5 y 6 de diciembre, cabe destacar que la ubicación de estos es aproximadamente frente a las costas de la libertad, en la interface entre el talud continental y la plataforma, tal como se aprecia en la gráfica 3.115, en un rango de profundidades entre 1 y 2 kilómetros. La magnitud de la corriente es fuerte en la superficie, pero esto puede deberse a efectos de dispersión del barco. Además puede observarse que a medida aumenta la profundidad, la magnitud de la corriente disminuye. El promedio de velocidades para el día 5 y 6 es de aproximadamente 26 cm/s.

Tabla 3. 4: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante la mañana del día 6 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	339.142234	339.194306	339.246383	339.298507	339.308906	339.361788	339.382604	339.403443
22.5	0.6006294	0.38747405	0.64313014	0.42988949	0.49338678			
27.5	0.50237171	0.39208106	0.55707158	0.37061024	0.4223883			
32.5	0.41093447	0.26580831	0.45204416	0.3393319	0.35679481	0.4877434		0.48563389
37.5	0.40107967	0.10804662	0.43442925	0.31469897	0.33868144	0.44728841	0.50614052	
42.5	0.37916154	0.09042355	0.37893685	0.19829947	0.27544872	0.43463435	0.41597282	
47.5	0.27873789	0.16265303	0.2675121	0.22872777	0.17770906	0.4049998	0.36986911	0.41780829
52.5	0.24679991	0.12790105	0.23640869	0.19775403	0.18186471	0.37102779	0.2785219	0.38652173
57.5	0.20812026	0.06176893	0.23489141	0.182501	0.1597367	0.3133199	0.17953428	0.30906272
62.5	0.21830338	0.06065726	0.16726348	0.16460864	0.10409993	0.26304379	0.17409752	0.30084571
67.5	0.25331039	0.08242326	0.07111158	0.13762288	0.10085071	0.168845	0.0780037	0.19265795
72.5	0.2421844	0.11036895	0.084795	0.13859576	0.16069652	0.10425014	0.0552326	0.16707769
77.5	0.10695836	0.18221144	0.1650073	0.13182774	0.10699095	0.12649569	0.13872446	0.25170647
82.5	0.111488	0.17335853	0.17228469	0.06166172	0.08538894	0.14077251	0.10096272	0.22413472
87.5	0.10466984	0.14855951	0.14320725	0.06524423	0.10488503	0.16909052	0.11851012	0.21255271
92.5	0.09005113	0.1281494	0.10466296	0.02569849	0.11137408	0.15383164	0.17767435	0.18223395
97.5	0.08808201	0.12889338	0.11947873	0.08320611	0.09774893	0.17706799	0.16832619	0.17023443
102.5	0.0952387	0.14154961	0.15885914	0.07056197	0.07918956	0.18551788	0.16331991	0.13608813
107.5	0.09796495	0.11040187		0.06624412	0.13099695	0.17380221	0.15327765	
112.5	0.10510723	0.17128199		0.07893991	0.1202529		0.17139239	
117.5		0.19688639		0.04870899	0.11204405		0.17738833	
122.5		0.15042425		0.05443534	0.14516823			
127.5								
PROMEDIO	0.23901017	0.16101535	0.25829967	0.16138899	0.18408082	0.25760819	0.20158521	0.26435064

En la tabla 3.4 se muestran las magnitudes de velocidad de la corriente para la mañana del día 6 de diciembre. Nuevamente se repite el mismo comportamiento donde la velocidad es mayor en profundidades menores y disminuye cuando aumenta la profundidad. El rango de variación de la velocidad varía desde los 65 cm/s hasta los 10 cm/s. Al promediar todos los valores de los perfiles matutinos de velocidad, se obtuvo un valor de 22 cm/s levente menor comparado con el día anterior.

Tabla 3. 5: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante el mediodía del 6 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	339.424265	339.484502	339.494942	339.505313	339.515729	339.546997	339.557431	339.56783
22.5	0.74547508		0.58291632	0.60216654	0.58804803	0.62838505	0.59418801	0.6492685
27.5	0.62019827		0.49630123	0.528164	0.49065187	0.56562437	0.55600414	0.51411775
32.5	0.55028716	0.4497862	0.44437025	0.40801488	0.39334763	0.51730684	0.54401351	0.50448604
37.5	0.49507361	0.28152644	0.27378819	0.26979956	0.25188641	0.38876181	0.43939125	0.4072386
42.5	0.51310074	0.19353015	0.1580728	0.19031513	0.19056231	0.38006732	0.41855272	0.44202067
47.5	0.48098364	0.15787375	0.16152901	0.16559663	0.18270357	0.35327073	0.41570039	0.37270018
52.5	0.37606325	0.13021367	0.11119743	0.12815618	0.13244778	0.26819434	0.2830026	0.28638875
57.5	0.34135408	0.06662619	0.03198285	0.05679438	0.01718403	0.21068617	0.25813882	0.17798839
62.5	0.24782949	0.11025309	0.08821823	0.04218896	0.05254591	0.21354638	0.19401307	0.17104605
67.5	0.14539642	0.07095976	0.05044925	0.01242422	0.04919113	0.18250375	0.14762659	0.15398722
72.5	0.15937015	0.0975547	0.08128536	0.09537383	0.08737006	0.08173303	0.072697	0.09668352
77.5	0.2223801	0.11791021	0.11863394	0.14771204	0.11981764	0.08037148	0.13551355	0.02421841
82.5	0.22978581	0.11972507	0.10013904	0.1155206	0.08741075	0.11107225	0.11204972	0.07335821
87.5	0.24636204	0.12571763	0.10553985	0.06983763	0.01082709	0.11883968	0.1120355	0.08270306
92.5	0.22738616	0.12633466	0.13163804	0.08967684	0.02666077	0.06336123	0.11129137	0.0559732
97.5	0.22698635	0.1887949	0.16737043	0.12368663	0.11792327	0.08129953	0.06138868	0.0446258
102.5	0.17270042	0.21991395	0.20168563	0.16789473	0.14808431	0.11873665	0.08749751	0.05666204
107.5	0.19349722	0.26755488	0.26997325	0.20862185	0.15961992	0.1454949	0.11326178	0.04908617
112.5		0.28818057	0.28305608	0.25055165	0.22883045	0.14678227	0.15755241	0.05096331
117.5		0.30357108	0.30344987	0.24296845	0.23223741	0.17603218	0.1620772	0.11050871
122.5		0.28295707	0.30030076	0.24200158	0.20824918	0.16819943	0.19156657	0.10298022
127.5		0.25244573	0.23465535	0.21572679	0.19070218	0.1728145	0.16588158	0.13531114
132.5		0.25327695	0.20252176	0.19035648	0.18737803	0.20092904	0.18826714	0.16729439
137.5		0.24440687	0.24274332	0.19422609	0.17603328	0.17153464	0.18961993	0.14912542
142.5		0.2172469	0.24048745	0.20817438	0.12078313	0.16283873	0.13601247	0.15092177
147.5		0.16627387	0.21120399	0.16756612	0.1412839	0.11635966	0.07293112	0.032403
152.5		0.1538134	0.16297866	0.12547722	0.10495105	0.06115041		
157.5		0.11383727	0.13372465	0.08715816	0.05680739	0.03854956		
162.5		0.07875763	0.08857733	0.07751738	0.03259038			
167.5		0.08805835	0.11589961		0.04123816			
172.5		0.1120267	0.08191867		0.0619985			
177.5		0.06198591	0.08256666					
182.5		0.11767358	0.11575408					
187.5		0.09670056	0.07675083					
192.5		0.09263663	0.05120769					
197.5			0.13433943					
PROMEDIO	0.34412389	0.17115528	0.18436742	0.18702307	0.15772147	0.21158736	0.22770287	0.19469463

Analizando los datos de la tabla 3.5, que corresponden al mediodía del 6 de diciembre y los datos de la tabla 3.6 correspondientes a la tarde de ese mismo día, se puede observar que el valor de corriente disminuye al aumentar la profundidad. El perfil vertical muestra valores entre 55 y 61 cm/s alrededor de los 22.5 metros de profundidad. Promediando todos estos datos obtenemos un valor de velocidad de aproximadamente 21 cm/s para el mediodía y 19 cm/s para la tarde. Nuevamente el valor ha disminuido con respecto a la mañana. En la tabla 3.7 se muestran los datos restantes para completar las mediciones del día 6 de diciembre, donde nuevamente al promediar los datos obtenemos una disminución en la velocidad de la corriente, esta vez con un valor de 15 cm/s aproximadamente.

Tabla 3. 6: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante la tarde del día 6 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	339.578194	339.588652	339.599063	339.609497	339.619919	339.630307	339.640718	339.652874
22.5	0.61270977	0.55289895	0.57535689	0.53494656	0.56858852	0.55490909		
27.5	0.57054015	0.53249603	0.50669485	0.48223197	0.47931129	0.50967191		0.52415456
32.5	0.53046531	0.5012003	0.49729111	0.45308922	0.48163866	0.48877508	0.45091153	0.44345041
37.5	0.46925285	0.46278152	0.43748997	0.42197879	0.45519718	0.4619395	0.42548105	0.44929596
42.5	0.43349344	0.46820432	0.43599536	0.45583247	0.43719706	0.41941699	0.42930935	0.40842803
47.5	0.34938942	0.35627197	0.32197239	0.37487719	0.42379412	0.37644712	0.29989657	0.29741188
52.5	0.34219169	0.23981891	0.23034816	0.25217191	0.21918597	0.21269581	0.1635614	0.20140182
57.5	0.26426932	0.2054615	0.16483072	0.18492208	0.1865396	0.15437211	0.12799909	0.18781897
62.5	0.21378174	0.16940001	0.14205853	0.16260345	0.19333336	0.16886898	0.13444728	0.1384762
67.5	0.14597801	0.15999689	0.1673078	0.13911452	0.16839958	0.15027068	0.15457231	0.13013342
72.5	0.09221382	0.09442941	0.09269528	0.05369595	0.12944465	0.06023306	0.04342627	0.13378987
77.5	0.07449047	0.05830528	0.05936306	0.02773975	0.07011519	0.05398839	0.06968306	0.11092726
82.5	0.11698654	0.09728612	0.06355335	0.03280326	0.04122125	0.06877751	0.07584492	0.1484135
87.5	0.11475976	0.0776748	0.04085172	0.05698515	0.10156651	0.03574353	0.07023044	0.13395182
92.5	0.1040765	0.08957175	0.0517802	0.03708899	0.0704734	0.05449219	0.05905688	0.11128256
97.5	0.06736079	0.09120631	0.06553427	0.02904971	0.06458238	0.05731568	0.03367016	0.11506025
102.5	0.09539327	0.08386458	0.09167871	0.03903988	0.07094027	0.05040542	0.04078794	0.07703905
107.5	0.09164835	0.07945843	0.04141922	0.02250578	0.06486703	0.05470974	0.07991904	0.08359379
112.5	0.06133842	0.02148506	0.04899789	0.05795461	0.02699448	0.04098658	0.08849431	0.13024229
117.5	0.05595312	0.04209699	0.04204459	0.04929038	0.11064112	0.07306094	0.09284994	0.11921992
122.5	0.10530065	0.08930637	0.10317472	0.11105502	0.07537563	0.10813204	0.12148692	0.15766211
127.5	0.12751964	0.12448089	0.10839035	0.13909835	0.1535435	0.14558135	0.15438523	0.18053804
132.5	0.17810834	0.1381285	0.12375824	0.13412982	0.10605978	0.14242732	0.14433149	0.24140699
137.5	0.2223166	0.16084445	0.12006801	0.12297362	0.08143019	0.11892352	0.13893421	0.17507241
142.5	0.19397871	0.12382359	0.08419771	0.09464081	0.02418585	0.03538045	0.07143357	
PROMEDIO	0.22534067	0.20081972	0.18467412	0.17879277	0.19218506	0.183901	0.15090056	0.2042944

Tabla 3. 7: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante la tarde del día 6 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	339.671377	339.681782	339.692211	339.702627	339.713038	339.723438	339.73386	339.754693
22.5	0.49577411	0.49124102	0.49650014	0.50826615	0.52679273	0.50299343	0.49111062	0.66999697
27.5	0.43364341	0.42598077	0.42991529	0.42592184	0.44790189	0.46004033	0.43202724	0.59176754
32.5	0.39911753	0.38796728	0.3725799	0.36055721	0.41912914	0.42031421	0.37633641	0.56067818
37.5	0.42745418	0.42568796	0.35904316	0.3251627	0.34243781	0.3477305	0.32934836	0.57359805
42.5	0.43038802	0.39651954	0.33190694	0.28243848	0.30118196	0.30126155	0.31515229	0.42546675
47.5	0.35618034	0.30336574	0.24723866	0.16100209	0.24502405	0.24232979	0.27620279	0.3908042
52.5	0.26937537	0.23962258	0.19220263	0.13462337	0.16620239	0.16292719	0.1792836	0.3406386
57.5	0.26527864	0.23469572	0.19816435	0.13216244	0.16066402	0.15371909	0.16156803	0.26729176
62.5	0.21228958	0.21058474	0.1850309	0.15191499	0.14384153	0.16048598	0.17612187	0.22805228
67.5	0.18944545	0.17108515	0.15740733	0.14101103	0.12222037	0.12506049	0.1664096	0.17436854
72.5	0.12901976	0.13588107	0.10896589	0.12331852	0.0724711	0.10841237	0.11120262	0.16432497
77.5	0.10333843	0.07179802	0.04564877	0.08418728	0.04020172	0.09599796	0.06406197	0.12999561
82.5	0.04751025	0.05851653	0.03755073	0.05931776	0.0939076	0.09775683	0.0868371	0.08875742
87.5	0.01303237	0.0340161	0.03318449	0.05327505	0.05889948	0.06385363	0.05557873	0.1095708
92.5	0.03694786	0.02378486	0.03171991	0.04797769	0.04585583	0.05421802	0.04537733	0.13761242
97.5	0.06647041	0.02322299	0.06946001	0.04430003	0.02573826	0.04763333	0.0510482	0.14463007
102.5	0.07763765	0.07417967	0.09200649	0.09082834	0.03913433	0.03697642	0.04519966	0.12356079
107.5	0.09777092	0.09368271	0.10492117	0.08619465	0.07212223	0.05998902	0.04914897	0.14372698
112.5	0.09243795	0.09449431	0.12018894	0.08159577	0.09052882	0.12322384	0.06621468	0.19756251
117.5	0.0662642	0.10463559	0.11884723	0.05144385	0.09661897	0.11143376	0.08073548	0.17369611
122.5	0.0776466	0.09799058	0.12437575	0.04682885	0.08420876	0.09619286	0.09369919	0.16576844
127.5	0.08328435	0.08534096	0.10223136	0.05562614	0.08326333	0.10759886	0.07981966	0.16805138
132.5	0.07751525	0.05259538	0.06431104	0.05082311	0.07411991	0.11305993	0.08189441	0.18314874
137.5	0.06563205	0.06270638	0.04678209	0.03407452	0.06765598	0.07344918	0.04089781	0.19270666
142.5	0.0580588	0.07593887	0.02834143	0.03914284	0.06077709	0.0670062	0.07459403	0.18040582
147.5	0.05685452	0.06223396	0.0333642	0.05247753	0.03774112	0.07093005	0.07726897	0.1657024
152.5	0.05392592	0.04422021	0.04818595	0.04806099	0.051859	0.0840851	0.03633175	0.09444446
157.5	0.03514014	0.04290389	0.03670755	0.0673174	0.06051143	0.08003987	0.03948107	0.08336725
162.5	0.04683541	0.03383057	0.02148238	0.02883479	0.04117247	0.09152447	0.06979553	0.08145412
167.5	0.02525566	0.02807122	0.01228217	0.03869222	0.03665695	0.10023914		
172.5	0.04420044	0.03582296	0.00108439	0.02327701	0.01417221	0.08682001		
177.5	0.05971374	0.04915207	0.01108612	0.03420086	0.01799633	0.04789633		
182.5		0.02788335	0.03035651	0.00674864	0.03751386	0.08102231		
187.5		0.01066197			0.06951545			
PROMEDIO	0.15291998	0.13853867	0.13009315	0.11732134	0.1249423	0.144734	0.14319821	0.23969482

Tabla 3. 8: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante el día 6 y 7 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	339.762384	339.786705	339.798634	339.809063	339.847911	340.454676	340.465133	340.475509
22.5	0.60613834	0.5914516	0.6611799					
27.5	0.51421581	0.55525029	0.61742967					
32.5	0.52791292	0.5078537	0.57024913			0.44932377	0.38591501	0.34114519
37.5	0.57482444	0.45907087	0.52807111			0.34056388	0.28840154	0.28308462
42.5	0.45273536	0.41797386	0.47039855	0.50023203	0.41300451	0.24246156	0.19737725	0.21512125
47.5	0.36669767	0.37961541	0.41026681	0.43969103	0.33160407	0.1174514	0.09447656	0.14098878
52.5	0.31284983	0.33236416	0.35611742	0.36199465	0.28027045	0.02031151	0.13161244	0.17783528
57.5	0.21477456	0.27684885	0.29608265	0.29609177	0.23721195	0.08427638	0.17924507	0.23701509
62.5	0.18517152	0.22007662	0.23371117	0.24185256	0.19454042	0.15952325	0.21744525	0.27609476
67.5	0.14992393	0.17922355	0.18748992	0.19553974	0.17132434	0.11796596	0.17263563	0.20117556
72.5	0.11547048	0.13938559	0.15153512	0.16062845	0.16418235	0.07194159	0.09088618	0.1767017
77.5	0.0706534	0.09305705	0.12035165	0.13750002	0.17755806	0.07650779	0.08903715	0.16427188
82.5	0.06056556	0.07159468	0.08958234	0.10020237	0.1880597	0.11064982	0.11047928	0.16882889
87.5		0.06427535	0.06960992	0.0722493	0.19397268	0.16187332	0.10079576	0.14955872
92.5		0.07202476	0.08902506	0.08553295		0.16073473	0.08514258	0.12253809
97.5		0.08361891	0.10087385	0.0956079		0.15491092	0.08329554	0.10963391
102.5		0.09528174	0.10365366	0.09957443		0.18610817	0.10079385	0.13171655
107.5		0.10762425	0.10428151	0.10122176		0.1944541	0.12270685	0.14614605
112.5		0.11827668	0.1099659	0.10249644		0.2371698	0.1598925	0.17456241
117.5		0.12268576	0.12279196	0.10452491		0.24365845	0.20646644	0.20421836
122.5		0.09303906	0.13444871	0.11819311		0.22475048	0.22120084	0.23803579
127.5		0.05238587	0.14008375	0.13061893		0.23583203	0.21801228	0.23822117
132.5		0.02263295	0.12194441	0.12061159		0.25299685	0.21379821	0.23470675
137.5		0.01071665	0.09453164	0.10451228		0.26430506	0.21156603	0.19406888
142.5		0.01350388	0.06164649	0.08525516		0.28580119	0.18224058	0.15305467
147.5		0.0388889	0.0408268	0.07069083		0.2540396	0.16971137	0.18383749
152.5		0.07029165	0.02967214	0.05433081		0.22951636	0.1701074	0.18956388
157.5		0.09828609	0.02900557	0.03196793		0.23447172	0.16726089	0.14908135
162.5		0.11580852	0.01271429	0.03249014		0.27669381	0.1822103	0.16528823
167.5		0.12786541	0.01877969	0.06361444			0.19459662	0.16235398
172.5		0.13217198	0.05645323	0.09214147				0.15940507
177.5		0.12131298	0.08662662	0.11483648				
PROMEDIO	0.31937952	0.1807643	0.19435627	0.14693584	0.23517285	0.19956643	0.16954676	0.18925015

De acuerdo a los datos de la tabla 3.8, durante el final de día 6 y el principio del día 7 el promedio de velocidad ha aumentado y se obtuvo un valor de 20 cm/s aproximadamente, mostrando un incremento con respecto al resto del día.

Tabla 3. 9: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante el día 7 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	340.485955	340.496343	340.777622	340.788044	340.798472	340.808877	340.819282	340.860961
22.5	0.51108504							
27.5	0.45448563							
32.5	0.37295973	0.37368612						
37.5	0.3146998	0.29214182						0.49257069
42.5	0.24800741	0.24425272	0.62468854	0.57204692	0.4257435	0.36919351	0.43103515	0.43813438
47.5	0.1697074	0.19218522	0.58236531	0.54923489	0.37825293	0.29651351	0.37116382	0.39010841
52.5	0.16714332	0.17416986	0.56494591	0.51534452	0.3449009	0.26153435	0.31395447	0.35915452
57.5	0.21474788	0.20652677	0.495895	0.45546912	0.3088488	0.23596475	0.29744049	0.30553829
62.5	0.24369288	0.24339821	0.47983725	0.40110246	0.28748679	0.24066336	0.2960565	0.27140583
67.5	0.21485516	0.25818731	0.49839584	0.44701755	0.31950488	0.21741836	0.31349154	0.26453056
72.5	0.1535249	0.1823009		0.49168571	0.3398696	0.21103508	0.27994284	0.26949077
77.5	0.16935432	0.16564727		0.49004815	0.31430659	0.1916343	0.25204273	0.24975872
82.5	0.14487293	0.16085839		0.47171544	0.28830668	0.20509178	0.26157921	0.27771732
87.5	0.11195146	0.15228819		0.47035423	0.29286919	0.19726242	0.272595	0.27338719
92.5	0.10612933	0.13629118		0.47603629	0.32290379	0.18348182	0.30512427	
97.5	0.1163329	0.10901562		0.45978119	0.33642397	0.18265325	0.30717242	
102.5	0.14544015	0.14611883		0.47104367	0.34842773	0.19347629	0.30722672	
107.5	0.16701162	0.15538588		0.48829639	0.35986641	0.18685565	0.32249889	
112.5	0.19585648	0.21225905		0.50599305	0.38347188	0.17857795	0.31169064	
117.5	0.21711973	0.2256662		0.53622272	0.37875538	0.16199091	0.29476866	
122.5	0.21902462	0.23264094		0.55366516	0.34745076	0.15061788	0.29935604	
127.5	0.20520009	0.21501648		0.53828594	0.363863	0.15084762	0.29411548	
132.5	0.21111275	0.18202276		0.52369955	0.36137509	0.12733076	0.29815075	
137.5	0.19509144	0.20138258		0.53420519	0.32387953	0.12148712	0.29413916	
142.5	0.16892131	0.17840835		0.516547	0.30364077	0.10994415	0.27930703	
147.5	0.15916502	0.17674248		0.49363088	0.30013888	0.11633011	0.29170692	
152.5	0.16541978	0.15662865		0.49295889	0.31595009	0.13911477	0.23728048	
157.5	0.15849087	0.16047234		0.49466542	0.33623152	0.15570853	0.2111656	
162.5	0.14142036	0.15551172		0.53137373	0.35548715	0.17936592	0.21401418	
167.5	0.15737603	0.18229349						
172.5	0.15566775	0.18985283						
177.5	0.12583255	0.18671606						
182.5	0.13925929	0.15109087						
187.5	0.1652766	0.13936681						
192.5	0.11149975	0.12155862						
197.5	0.13318887	0.11396305						
202.5		0.12410095						
207.5		0.09374758						
212.5		0.08438826						
217.5		0.08208639						
222.5		0.06252397						
PROMEDIO	0.19585944	0.17489474	0.54102131	0.49921696	0.33751823	0.19056377	0.29428076	0.32652697

Tabla 3. 10: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante el día 8 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	340.871331	340.881759	341.496377	341.506806	341.517234	341.526765	341.541944	341.548866
22.5				0.63841989	0.62431	0.59134467		
27.5				0.58762181	0.59584112	0.56946637		
32.5			0.52688922	0.56163963	0.56919381	0.5683062		0.51138603
37.5	0.52523874		0.44904816	0.48293329	0.4891919	0.51953593		0.40903919
42.5	0.44523332		0.42913264	0.36110559	0.38947673	0.3920421		0.39488873
47.5	0.39341796		0.40137252	0.30500991	0.34353606	0.34663856		0.36994848
52.5	0.346205	0.33338143	0.3593844	0.24730347	0.28867261	0.32477446		0.34931774
57.5	0.29583583	0.30995795	0.29222065	0.18890522	0.22541376	0.28623565	0.33048554	0.28421336
62.5	0.26621847	0.28358469	0.23686803	0.16125422	0.14972586	0.19142733	0.32824216	0.18781769
67.5	0.198968	0.26797222	0.22354074	0.15173872	0.1149946	0.12275963	0.28070571	0.12358274
72.5	0.20562805	0.25812362	0.26739317	0.11975055	0.12954916	0.15208105	0.22013944	0.10756297
77.5	0.24842961	0.2554204	0.25225143	0.11060025	0.11045896	0.16242156	0.18287874	0.13896786
82.5	0.2587882	0.25716738	0.21616661	0.12802481	0.06719314	0.16020985	0.15716431	0.15793652
87.5			0.17242636	0.1239513	0.04143608	0.12019033	0.13117773	0.14436385
92.5			0.14588869	0.13505882	0.03132101	0.06137267	0.13255734	0.08682165
97.5			0.14609067	0.16389866	0.04536014	0.06732852	0.17418845	0.04310165
102.5			0.14678561	0.17192052	0.06230909	0.08734751	0.20451185	0.07032977
107.5			0.14842236	0.19594453	0.09627755	0.09863308	0.19747818	0.10940407
112.5			0.15475476	0.23039951	0.1266231	0.10851936	0.24787495	0.14129809
117.5			0.1666754	0.24668547	0.12903667	0.12624337	0.28506048	0.17157362
122.5			0.17361885	0.23974492	0.12147322	0.07276432	0.27599826	0.14336657
127.5			0.09368477	0.24076723	0.07109389	0.03600363	0.25735091	0.06731472
132.5			0.06663331	0.24966766	0.07694328	0.02978919	0.24558203	0.0523477
137.5			0.0600651	0.23552731	0.05371038	0.0289441	0.28158676	0.087569
142.5			0.07802277	0.21431666	0.03938957	0.02852042	0.2690515	0.12093644
147.5			0.06239122	0.21832146	0.07515852	0.05885727	0.25756831	0.11477876
152.5			0.0966445	0.22588956	0.06752776	0.07000713	0.24892199	0.11127776
157.5			0.07147715	0.22219322	0.06883504	0.07712767	0.26393899	0.11157865
162.5			0.06625499	0.21055279	0.09612792	0.06934927	0.2650554	0.13012472
167.5			0.07620011	0.22412915	0.07590308	0.1065354	0.32524038	0.16764004
172.5			0.04422261	0.22206797	0.0731702	0.16171879	0.29679633	0.17545875
177.5			0.06798269	0.21941935	0.13169422	0.19842979	0.27708054	0.19066917
182.5			0.09921266	0.20475772	0.14830734	0.19019666	0.26254944	0.19266344
187.5			0.11286041	0.19590367	0.18808303	0.19144493	0.26114063	0.20389709
192.5			0.1095162	0.16739765	0.2211863	0.18563281	0.25555795	0.21654101
197.5			0.07226482	0.18442602	0.26425577	0.16602548	0.21846814	0.20745234
202.5				0.20564684	0.26927147	0.17011037		0.14124467
207.5					0.19797103			
PROMEDIO	0.31839632	0.2808011	0.17901069	0.24305123	0.18079009	0.1864415	0.24601215	0.17818328

Tabla 3. 11: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante el día 8 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos							
	341.559288	341.7468	341.757199	341.767633	341.778079	341.7989	341.892627	341.913455
27.5							0.37142509	
32.5	0.5089645						0.24245606	
37.5	0.3793046					0.56809924	0.1767628	
42.5	0.35236095					0.55081224	0.16240111	0.30017238
47.5	0.36480062	0.19347074	0.18175727	0.16893766	0.10859877	0.59330078	0.14989254	0.3060592
52.5	0.30641235	0.1488884	0.15440985	0.15040852	0.11102411	0.62636357	0.16862856	0.28524848
57.5	0.24534199	0.14945889	0.13493446	0.13543615	0.13450985	0.63112185	0.1799496	0.26000831
62.5	0.19321232	0.12445254	0.10020663	0.10032343	0.10815369	0.63962236	0.2063563	0.25288922
67.5	0.13714973	0.0965641	0.09774014	0.06541238	0.04998429	0.6500602	0.2348934	0.25541972
72.5	0.10551934	0.09144603	0.07886411	0.02388262	0.06643302		0.22731697	0.24514372
77.5	0.08018074	0.04086393	0.01391321	0.05768004			0.2359645	0.23239278
82.5	0.0886712	0.05250028					0.20535975	0.15479503
87.5	0.07351797							
92.5	0.0742898							
97.5	0.08457491							
102.5	0.09688096							
107.5	0.14116363							
112.5	0.16972593							
117.5	0.19080557							
122.5	0.15621953							
127.5	0.0754205							
132.5	0.0561918							
137.5	0.08242672							
142.5	0.11213361							
147.5	0.14664423							
152.5	0.16684695							
157.5	0.16246816							
162.5	0.18279318							
167.5	0.21737798							
172.5	0.23331514							
177.5	0.22063488							
182.5	0.20301489							
187.5	0.24806444							
192.5	0.21397619							
PROMEDIO	0.18395168	0.11220561	0.10883224	0.10029726	0.09645062	0.60848289	0.21345056	0.25468098

Tabla 3. 12: Magnitud de velocidad de la corriente en m/s durante el día 9 de diciembre de 2009.

Profundidad	Días Julianos			
	342.496788	342.507211	342.5593	342.57136
32.5	0.29490927	0.29941625	0.34189638	0.33352702
37.5	0.24463311	0.30087157	0.30442358	0.27221315
42.5	0.12849384	0.2234398	0.1750501	0.14438584
47.5	0.14722873	0.1220526	0.16297223	0.20989792
52.5	0.20159172	0.16749367	0.24492161	0.27040143
57.5	0.20702118	0.21829635	0.2641157	0.25929017
62.5	0.19033559	0.19997476	0.21927092	0.24191097
67.5	0.15853206	0.20055172	0.20660582	0.20842455
72.5	0.16666025	0.17382434	0.19199986	0.20625088
77.5	0.20402325	0.1762213	0.18898726	0.17932247
82.5	0.22076132	0.20585268	0.18017023	0.19274159
87.5	0.21512482	0.20750528	0.19132363	0.20634448
92.5	0.18056532	0.17915932	0.1740869	0.19973633
97.5	0.17573769	0.18225109	0.13472468	0.17191452
102.5	0.17613329	0.18241862	0.13600764	0.20140946
107.5	0.18556375	0.17200841	0.13492366	0.19691034
112.5	0.16202638	0.16218294	0.14738856	0.20039689
117.5	0.14841945	0.14882312	0.13575044	0.19997202
122.5	0.15305578	0.1367761	0.11867153	0.17067151
127.5	0.15057791	0.15688648	0.1676337	0.18357865
132.5	0.15222659	0.15533649	0.13688902	0.17988479
137.5	0.12924026	0.12731	0.08378317	0.14779029
142.5	0.09250157	0.09339074	0.06486038	0.0993797
147.5	0.10056474	0.1104106	0.07525073	0.09185207
152.5	0.10220895	0.11063064	0.09741432	0.09640784
157.5	0.09583191	0.09930867	0.10854892	0.14004065
162.5	0.12133286	0.12455398	0.13930529	0.12701346
167.5	0.12075332	0.12824741	0.13559567	0.11538553
172.5	0.12495677	0.11736934	0.1388522	0.12923933
177.5	0.12519581	0.15027217	0.11258352	0.12269694
182.5	0.13761898	0.15265012	0.1052514	0.09220297
187.5	0.13914929	0.12092435	0.09832257	0.1254069
192.5	0.14561235	0.10935703	0.08897192	0.13107372
197.5	0.1593619	0.14804392	0.08084862	0.127176
202.5	0.15261545	0.18512289	0.09711841	0.12173172
207.5	0.13928618	0.15333494	0.08204588	0.08130233
212.5	0.09976107	0.10753416	0.06748912	0.06431791
217.5	0.11207252	0.14208323	0.05863741	0.04343269
222.5	0.08874148	0.13734762	0.07240768	0.07254032
PROMEDIO	0.15513915	0.16126243	0.14525899	0.16303014

Al promediar los datos de la tabla 3.9 se obtuvo un valor de velocidad de corriente aproximadamente de 32 cm/s, para la tabla 3.10 se obtuvo una velocidad de 23 cm/s, en la tabla 3.11 el resultado obtenido fue de 21 cm/s y la tabla 3.12 dio como resultado un valor de velocidad de 16 cm/s.

En general se puede decir, de acuerdo a estos datos, que la corriente disminuye en la plataforma continental frente a la zona oriental de nuestro país y que es mayor en la zona centro-occidental, además al revisar los vectores de desplazamiento se puede notar como la corriente es principalmente paralela a la costa de nuestro país y en dirección sureste aproximadamente, presentando unos pequeños giros en sentido anti horario a medida que aumenta la profundidad y en sentido horario en las zonas orientales debida probablemente a un choque con la Contra Corriente de Costa Rica. La siguiente gráfica, muestra de manera resumida este comportamiento a lo largo de todos los perfiles desde el día 5 al día 9 de diciembre.

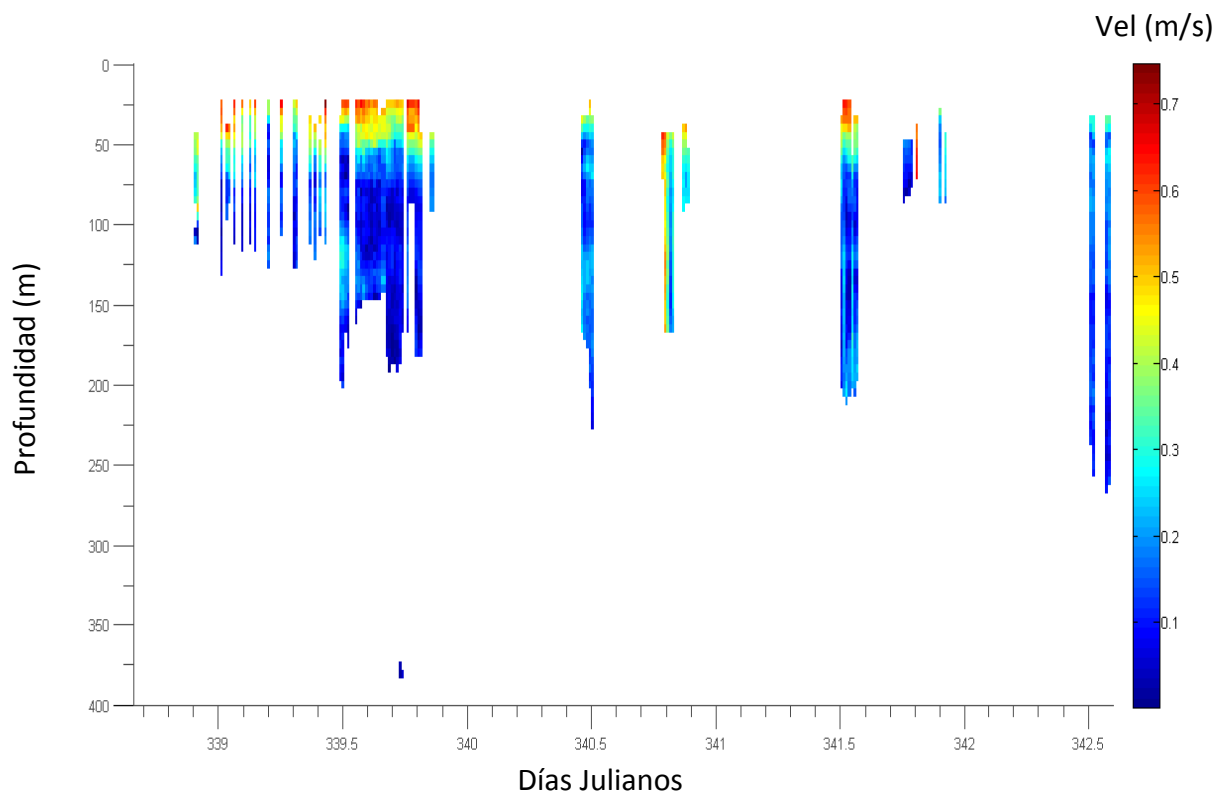


Figura 3. 123: magnitud de la corriente durante la campaña de medición de diciembre de 2009. Se puede observar como es mayor en las partes occidentales y disminuye para la zona oriental.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- A partir de la información de la distribución en transectos perpendiculares de los datos de temperatura conservativa y salinidad absoluta se concluye que la capa de mezcla varía para la región occidental, central y oriental en un factor que va desde los 20 a los 50 metros de profundidad.
- Se observa que la distribución horizontal de los parámetros de temperatura para el mes de diciembre de 2009 pudo haber sido influenciado por fenómenos de surgencia en la parte oriental, de acuerdo a la presencia de aguas más frías en esta zona.
- La velocidad y magnitud de la corriente sobre la plataforma continental frente a El Salvador posee valores promedios de 21.14 cm/s con una dirección casi constante hacia el sureste.

Recomendaciones:

- ❖ El comportamiento de la corriente así como también la distribución de parámetros de temperatura y salinidad varía estacionalmente, por lo que se recomienda realizar campañas oceanográficas en épocas de invierno y verano para poder conocer la variación de dichos parámetros en cada una de estas estaciones.
- ❖ La medición de oxígeno disuelto es de mucha importancia en áreas biológicas por lo que se recomienda recolectar también datos de oxígeno disuelto para poder conocer la profundidad a la que se ubica la zona de mínimo oxígeno.
- ❖ El tiempo estándar sugerido por los fabricantes del ADCP para promediar los datos LTA es de 5 minutos, sin embargo en este estudio se utilizaron datos promediados cada minuto y otros cada 10 minutos, se recomienda por tanto para una próxima campaña promediarlos cada 5 minutos de tal forma que se optimice el tiempo de recolección así como la calidad en la recepción de datos.

Bibliografía:

Brenes, Carlos, 2008. Oceanographic aspects of the central american pacific. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, **5**:3–15, 1998.

Brenes et al. 1995. Características oceanográficas de la plataforma pacifica de América Central y aguas oceánicas adyacentes. PRADEPESCA, 1995.

Brewer, P. G. and A. Bradshaw, 1975. The effect of non-ideal composition of seawater on salinity and density. *J. Mar. Res.* **33**:157-175, 1975.

CENDESPESCA, 2006: Estadísticas pesqueras y acuícolas. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura, Vol. **33**:67, 2006.

Cromwell, T. 1958. Thermocline topography, horizontal currents and riding in the eastern tropical pacific. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, **3**, 1958.

Dietrich et al. 1980. General oceanography. New York, 1980.

Fiedler, Paul C. & Lynne D. Talley, 2006. Hydrography of the eastern tropical pacific: A review. *Progress in oceanography*, **69**:143–180, 2006.

Gierloff Emden, H. G., 1974. La Costa de El Salvador. Kartographische Nachrichten, 1974.

Greatbatch, R. J. and T. J. McDougall, 2003: Revised release on the iapws formulation 1995 for the thermodynamic properties of ordinary water substance for general and scientific use. *Journal of Physical Oceanography*, **33**:1231–1239, June 2003.

Helland-Hansen, B. 1916. Nogen hydrografiske metoder. (Some hydrographical methods). 1916.

IAPWS, 2009b: Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. The International Association for the Properties of Water and Steam. Doorwerth, The Netherlands, September 2009, disponible desde <http://www.iapws.org>.

IUPAC, 1997: Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1997. XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006-) created by M. Nic, J.

Kessler, William S. 2006. The circulation of the eastern tropical pacific: A review. *Progress in oceanography*, **69**:181–217, 2006.

Levinson & Bosley, 2003. Reversing circulation patterns in a tropical estuary. *Journal of Geophysical Research*, **108**, C10, Octubre 2003.

Reddy, M. P. M., 2001. Descriptive Physical Oceanography, A. A. Balkema Publishers, 2001.

Resnick, 2001. Física Vol. 1, cuarta edición, compañía editorial continental, 2001.

Schlitzer, R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2012.

Stewart, Robert H. 2008. Introduction To Physical Oceanography. Texas A M University, 2008.

Tomczak, M., 2002. Introduction to physical oceanography, 2002.

Troupin, C, Barth, A, Sirjacobs, D, Ouberdous, M, Brankart, J.-M, Brasseur, P, Rixen, M, Alvera Azcarate, A, Belounis, M, Capet, A, Lenartz, F, Toussaint, M.-E, & Beckers, J.-M. (2012). Generation of analysis and consistent error fields using the Data Interpolating Variational Analysis (Diva). Ocean Modelling, 52-53, 90-101.

Wieser, M. E., 2006: Atomic weights of the elements 2005 (IUPAC Technical Report). Pure Appl. Chem. **78**:2051-2066, 2006. www.iupac.org/publications/pac/78/11/2051/pdf/

Wyrski, K. 1966. Oceanography of the eastern equatorial pacific ocean. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., **4**:33–68, 1966.

ANEXOS

A.1 Tipos de datos generados por VMDAS

- .ENJ:** Datos crudos del ADCP después de realizar los ajustes cuando se cierra el programa.
- .ENR:** Datos crudos del ADCP.
- .ENS:** Datos de ADCP después de haber sido seleccionadas para la correlación de VmDas, o ajustados por el usuario a través de la salida de la aplicación. También tiene registros de NAV que se fusionaron en los ensembles del archivo .NMS.
- .ENX:** Un solo ping del ADCP mas el dato de NAV después de haber sido convertido a coordenadas de la Tierra. Este archivo es el que se encuentra listo para promediarlo.
- .LTA:** Datos de ADCP mas datos de NAV que han sido promediados usando el periodo largo especificado en las opciones.
- .N1J, .N2J:** Datos crudos de NMEA después de haber sido ajustados por el cierre de la aplicación.
- .N1R, .N2R, .N3R:** Datos crudos de NMEA incluyendo estampado de tiempo con el formato eeeee,yyyymmdd,hhmmss,- nnnnn.nn. Donde eeeee = número de ensemble de ADCP; yyyymmdd = Año, Mes, Día(fecha del ping de ADCP); hhmmss.ss = Hora, minuto, segundos. Centésimas(Hora del ping de ADCP); -nnnnn.nn = (signo)
- .NMS:** Archivo de Formato binario de NAV después de haber sido pre promediado.
- .STA:** Datos de ADCP que han sido promediados usando el formato de periodo corto.
- .VMO:** Opciones utilizadas para la colección de datos.
- .VMP:** Opciones utilizadas para el reprocesamiento.

A.2 Pasos seguidos en UHDAS-CODAS

Los pasos seguidos para procesar los datos de corrientes con UHDAS CODAS fueron:

- Configuración del directorio de trabajo: se ejecutó en la ventana de comandos de msdos la sentencia `adcptree.py crucero -datatype lta`
- Se creó un archivo llamado `qpy.cnt` con la siguiente información:
 - `-yearbase 2009`
 - `-cruisename bmo09`
 - `-dbname mo1209`
 - `-datatype lta`
 - `-sonar os150bb`
 - `-ens lens 600`
 - `-proc engine matlab`
- Luego se guardó el archivo dentro de la carpeta `crucero` creada por `adcptree.py`
Se copiaron los archivos *.LTA elegidos después de hacer las gráficas con WindADCP al directorio `crucero/ping` creado por `adcptree.py`
- Se ejecutó en la ventana de comandos de msdos `quick adcp.py -cntfile q py.cnt -auto` para escanear los datos.
- Se revisó la base de datos para asegurarse de que los datos habían sido ingresados correctamente:
 - `cd adcpdb`
 - `showdb mo1209`
 - `ENTERCHOICE ==>1`

- Se editó el archivo timegrid.cnt que está dentro de crucero/grid con el rango de tiempo mostrado por showdb
- Se configuro el archivo adcpsectvec.cnt con la información específica del crucero. Luego se ejecutó en una ventana de comandos de msdos la sentencia adcpsect adcpsectvec.cnt
Se configuro el archivo vectorfull.cnt y se ejecutó la sentencia vector vectorfull.cnt
- Desde el directorio crucero/edit se corrieron dos programas: profst00.cnt y profst02.cnt.
- Se configuraron con los parámetros adecuados y después se ejecutaron las sentencias:
profstat profst00.cnt
profstat profst02.cnt
- Se editó el archivo threshld.m ingresando los datos obtenidos de profst00.cnt y profst02.cnt y se ejecutó dentro de la command window de Matlab threshld. Se copiaron los valores mostrados en la command window de matlab, D2UVTHRESHOLD, D2WTHRESHOLD y WVARTHRESHOLD al archivo setup.m.
- En la command window de Matlab, se ingresó el comando gautoedit para producir gráficos de contornos y vectores usando como referencia la navegación del barco y también desde ahí se pueden enmascarar valores anómalos. Luego se ejecutaron una serie de comandos para poder actualizar la base de datos y que los cambios hechos en MATLAB fueran reflejados en ella.
- En la ventana de comandos de Windows (cmd):
dbupdate ../adcpdb/mo1209 abottom.asc
dbupdate ../adcpdb/mo1209 abadprf.asc
badbin ../adcpdb/mo1209 abadbin.asc
setlgb ../adcpdb/mo1209
setflags setflags.cnt
cd ../nav
adcpsect asnav.tmp
refabs refabs.tmp
smoothr smoothr.tmp
En la command window de Matlab:
cd ../nav
refsm
cd ../edit
- Por último en la ventana de comandos de Windows:
putnav putnav.tmp

A.3 Lectura de archivos binarios de diva en matlab

Al utilizar el método de interpolación diva, desde ocean data view, se crea una carpeta cuyo nombre es generado automáticamente utilizando el formato año, mes, día, hora, minutos y segundos (yyyymmddhhmmss) en el folder de ODV creado al instalar el programa. Los archivos generados dentro de esa carpeta desaparecen al cerrar ocean data view. Si se desea utilizarlos, se tiene que copiar la carpeta divawork antes de cerrar el programa. Los datos generados están en formato binario, por lo que anexo la rutina que he escrito para poder leer tales archivos y poder graficar las mallas o incluso editar algunos parámetros para poder utilizar diferentes métodos de cálculo de error. La rutina la he nombrado iodv2mat.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
iodv2mat.m
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%% Comandos de Limpieza

```

```

clear all
close all
clc

```

```

%% Parámetros generales de la grid

```

```

gridinfo = dlmread('fort.13');
x0 = gridinfo(1,1);
y0 = gridinfo(2,1);
dx = gridinfo(3,1);
dy = gridinfo(4,1);
nx = gridinfo(5,1);
ny = gridinfo(6,1);
valex = gridinfo(7,1);
parámetros = dlmread('fort.23');
nvtx = parámetros(1); % número de vértices
nint = parámetros(2); % número de interfaces
nelt = parámetros(3); % número de elementos
clear grindinfo parámetros
x = x0:dx:nx*dx;
y = y0:dy:ny*dy;

```

```

% Archivo binario de odv con los datos re-escalados

```

```

fid = fopen('fort.20');
data = [];
while ~feof(fid)
    res = fread(fid,[1,4],'double');
    data = [data;res];
end
fclose(fid);

```

```

%% Archivo binario de odv de la malla del campo analizado

```

```

fid = fopen('fort.83');
anl = fread(fid,[nx,ny],'double');
fclose(fid);
anl(anl==valex) = nan;
figure
pcolor(x',y',anl');
shading flat;
colorbar;
set(gca,'YDir', 'reverse');

```

```

%% Archivo binario de odv de la malla de error en el campo analizado
fid = fopen('fort.86');
err = fread(fid,[nx,ny],'double');
fclose(fid);
err(err==valex) = nan;
figure
pcolor(err);
shading flat;
colorbar;

%% Archivo binario de odv de la malla generada por generopt
fid = fopen('fort.11');

% vertices
nnt1 = nan(nvtx,3);
for k = 1: nvtx
    fread(fid,1,'int32');
    nnt1(k,1) = fread(fid,1,'int32');
    nnt1(k,2) = fread(fid,1,'double');
    nnt1(k,3) = fread(fid,1,'double');
    fread(fid,1,'int32');
end

% interfaces
nnint = nan(nint,1);
for k = 1: nint
    fread(fid,1,'int32');
    nnint(k,1) = fread(fid,1,'int32');
    fread(fid,1,'int32');
end

% elementos
nnelt = nan(nelt,6);
for k = 1: nelt
    fread(fid,1,'int32');
    nnelt(k,:) = fread(fid,6,'int32');
    fread(fid,1,'int32');
end
fclose(fid);
clear res fid

figure
triplot([nnelt(:,1),nnelt(:,3),nnelt(:,5)],nnt1(:,2),nnt1(:,3),'k','LineWidth',1)
axis tight

```