



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

ATLAS HIDROGRÁFICO DEL DOMO DE COSTA  
RICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERA GEOMÁTICA**

PRESENTA:

**ARANTXA VILLA GUERRERO**

DIRECTORA DE TESIS:  
M.C. MARÍA ELENA OSORIO TAI



México, Ciudad Universitaria, 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*There's no time to waste,  
there's no time at all...*



# Dedicatoria

---

A mi madre, por siempre creer en mí y no dejar que me diera por vencida en ningún momento, por las incontables tardes de pláticas infinitas, toda mi adoración para tan incansable luchadora.

A mi padre, nunca habría llegado tan lejos en la vida de no ser por su sabiduría, paciencia y gran e incondicional amor.

A mis hermanos, los seres más puros que hay en mí vida, la dedicación y pasión que sienten por lo que hacen me inspira a seguir adelante y creer que puedo ser una mejor persona, digna de ser su hermana mayor.

A mi abuela, por animarme a terminar la carrera, por estar siempre conmigo incluso dentro de lo astral.

A todas las razones equivocadas por las que decidí continuar. . .



# Agradecimientos

---

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a mis profesores, por la formación que me inculcaron y la oportunidad que me dieron de aprender y desarrollarme en diferentes ámbitos. Por ayudarme a forjar mi carácter. Al Maestro Alfredo Zatarain Tiznado, por toda la paciencia que me tuvo y el conocimiento compartido, la pasión que tiene por lo que hace es realmente inspiradora y es una de las grandes razones por las que pude continuar en la carrera.

A la M. en C. María Elena Osorio Tai por permitirme aprender e ilustrarme con paciencia, por todos los momentos compartidos y por brindarme su amistad. Al Dr. Jorge Zavala Hidalgo y la Dra. Rosario Romero Centeno por darme la oportunidad de trabajar dentro de las instalaciones del Centro de Ciencias de la Atmósfera, pero sobre todo por brindarme la confianza de poder desarrollar este tema. Por todo lo aprendido y las facilidades que me otorgaron. Agradezco infinitamente todo el tiempo invertido. A Argel y Óscar por toda la ayuda que me proporcionaron, también por la fruta y café compartidos y por supuesto, las risas.

A mis amigos; Omar, washito eres mi familia en esta ciudad de locos; a Vicky, gracias por compartir tanto conmigo y escucharme cuando más lo necesitaba, pero sobre todo por no dejar que me estancara en la carrera; a Nine, por ser un faro en mi latente oscuridad y enfocarme en la realidad. A David por ser siempre honesto conmigo. A Lalo, Migue, Ray, Eli, Rogel, Brenda y Citla por los momentos compartidos.





# Resumen

---

En el Pacífico Tropical Nororiental, el Domo Térmico de Costa Rica es considerado como una zona crítica para la biodiversidad marina ya que la concentración de nutrientes que se encuentran en la zona congregan grandes concentraciones de ricos nutrientes, así como de peces y mamíferos marinos, desarrollándose una cadena alimenticia próspera. El estudio de esta zona ha sido constante desde la primera vez en que se tiene registro de su avistamiento en los años 50, realizándose varias expediciones de las que han quedado registros de los muestreos que se han llevado a cabo. De naturaleza móvil, al estar asociado a corrientes marinas y eólicas, se estima que tiene una variación de entre 300 y 1000 kilómetros de diámetro.

Hay dos teorías principales referentes a su origen. Wyrтки consideró al Domo como parte intrínseca del sistema de circulación del Pacífico Trópico-Oriental mientras que Hoffman propuso, a partir de resultados de un modelo numérico impulsado por vientos medios mensuales, que el esfuerzo del viento es el que le da origen.

El análisis de las observaciones que han sido realizadas sobre el origen y localización del Domo de Costa Rica se ha ido enriquecido con las variadas campañas de recolección de muestreos.

Se cartografiaron las observaciones de cuatro campañas oceanográficas realizadas por investigadores de la UNAM entre los años de 1979 y 1982 en el Domo de Costa Rica. Estos estudios tuvieron el propósito de estudiar las características físicas, químicas y biológicas de ésta región. Las campañas fueron denominadas DOMO 1, 2, 3 y 4.

En este trabajo se cartografían y analizan las observaciones hidrográficas, las cuales fueron realizadas con instrumentos de *Salinity-Temperature-Depth* (STD) para los Domos 1 y 2 y con un *Conductivity-Temperature-Depth* (CTD) en los Domos 3 y 4. Las dos primeras campañas se realizaron a bordo del B/O “Mariano Matamoros” de la Secretaría de Marina de México y las campañas 3 y 4 a bordo del B/O “El Puma”.

Los resultados muestran, a partir del análisis de las observaciones de las campañas DOMO la localización del Domo de Costa Rica. La posibilidad de proteger la sostenibilidad ecológica que surge de este fenómeno es de vital importancia; los factores que afectan la zona podrían impactar negativamente tanto en el ámbito económico como en el social, como consecuencia de la falta de cuidado que se genera al formar parte de una ruta de transporte marítimo mundial de alta relevancia. La importancia de mantener actualizada la información sobre este lugar es gigantesca, ya que es uno de los sitios más ricos del planeta y con una cadena de productividad relevante. La conservación marítima de este punto clave en la migración y alimentación de especies como la ballena azul, tortugas y delfines, es imperativo.



# Índice general

---

<b>Portada</b>	<b>I</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>Índice general</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XIII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>5</b>
<b>3. Antecedentes</b>	<b>7</b>
3.1. Aspectos generales de cartografía . . . . .	7
3.1.1. Tipos de representaciones cartográficas . . . . .	9
3.1.2. Elementos de un mapa . . . . .	10
3.1.3. Generación de mapas temáticos . . . . .	12
3.2. Aspectos generales de los Sistemas de Información Geográfica . . . . .	12
3.3. Aspectos generales de la zona . . . . .	14
3.4. Estudios previos de la formación del Domo de Costa Rica . . . . .	16
<b>4. Datos</b>	<b>19</b>
4.1. Descripción de los datos analizados . . . . .	19
<b>5. Metodología</b>	<b>23</b>
5.1. Procesamiento y representación de datos . . . . .	23
5.2. Método de interpolación aplicado . . . . .	26
5.2.1. Distancias inversas ponderadas . . . . .	26
5.3. Representación y salidas de la información . . . . .	29
5.3.1. Representación cartográfica . . . . .	30

<b>6. Resultados y Discusión</b>	<b>31</b>
6.1. Mapas . . . . .	31
6.2. Secciones verticales . . . . .	85
6.3. Diagramas T/S . . . . .	90
6.4. Análisis de la isoterma de 20°C . . . . .	95
6.5. Mapas de divergencia y vorticidad . . . . .	96
<b>7. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>103</b>
<b>Anexo I</b>	<b>105</b>
.1. Capa de Ekman . . . . .	105
<b>Anexo II</b>	<b>109</b>
.2. Programa para procesado y graficado de planos horizontales . . . . .	109
<b>Anexo III</b>	<b>115</b>
.3. Domos por nivel . . . . .	115
<b>Bibliografía</b>	<b>157</b>

# Índice de figuras

---

1.1. Dinámica en una zona de surgencia . . . . .	1
1.2. Intensidad de tráfico marítimo comercial. . . . .	3
3.1. Escala gráfica . . . . .	11
3.2. Localización del Domo de Costa Rica. . . . .	15
4.1. Estaciones de muestreo . . . . .	20
4.2. Archivo de información de una estación STD . . . . .	21
4.3. Archivo de información de una estación CTD . . . . .	21
5.1. Esquema con niveles en la vertical para elaboración de mapas horizontales . . . . .	24
5.2. Ventana de diálogo IDW . . . . .	25
5.3. Diagrama de interpolación . . . . .	28
5.4. Vecinos IDW . . . . .	29
6.1. Temperatura DOMO 1 (850, 900, 950 y 1000 metros). . . . .	34
6.2. Temperatura DOMO 1 (650, 700, 750 y 800 metros). . . . .	35
6.3. Temperatura DOMO 1 (450, 500, 550 y 600 metros). . . . .	36
6.4. Temperatura DOMO 1 (250, 300, 350 y 400 metros). . . . .	37
6.5. Temperatura DOMO 1 (50, 100, 150 y 200 metros). . . . .	38
6.6. Temperatura DOMO 1 (Superficie). . . . .	39
6.7. Temperatura DOMO 2 (850, 900, 950 y 1000 metros). . . . .	40
6.8. Temperatura DOMO 2 (650, 700, 750 y 800 metros). . . . .	41
6.9. Temperatura DOMO 2 (450, 500, 550 y 600 metros). . . . .	42
6.10. Temperatura DOMO 2 (250, 300, 350 y 400 metros). . . . .	43
6.11. Temperatura DOMO 2 (50, 100, 150 y 200 metros). . . . .	44
6.12. Temperatura DOMO 2 (Superficie). . . . .	45
6.13. Temperatura DOMO 3 (850, 900, 950 y 1000 metros). . . . .	46
6.14. Temperatura DOMO 3 (650, 700, 750 y 800 metros). . . . .	47
6.15. Temperatura DOMO 3 (450, 500, 550 y 600 metros). . . . .	48
6.16. Temperatura DOMO 3 (250, 300, 350 y 400 metros). . . . .	49
6.17. Temperatura DOMO 3 (50, 100, 150 y 200 metros). . . . .	50
6.18. Temperatura DOMO 3 (Superficie). . . . .	51
6.19. Temperatura DOMO 4 (850, 900, 950 y 1000 metros). . . . .	52
6.20. Temperatura DOMO 4 (650, 700, 750 y 800 metros). . . . .	53
6.21. Temperatura DOMO 4 (450, 500, 550 y 600 metros). . . . .	54
6.22. Temperatura DOMO 4 (250, 300, 350 y 400 metros). . . . .	55

6.23. Temperatura DOMO 4 (50, 100, 150 y 200 metros).	56
6.24. Temperatura DOMO 4 (Superficie).	57
6.25. Salinidad DOMO 1 (850, 900, 950 y 1000 metros).	61
6.26. Salinidad DOMO 1 (650, 700, 750 y 800 metros).	62
6.27. Salinidad DOMO 1 (450, 500, 550 y 600 metros).	63
6.28. Salinidad DOMO 1 (250, 300, 350 y 400 metros).	64
6.29. Salinidad DOMO 1 (50, 100, 150 y 200 metros).	65
6.30. Salinidad DOMO 1 (Superficie).	66
6.31. Salinidad DOMO 2 (850, 900, 950 y 1000 metros).	67
6.32. Salinidad DOMO 2 (650, 700, 750 y 800 metros).	68
6.33. Salinidad DOMO 2 (450, 500, 550 y 600 metros).	69
6.34. Salinidad DOMO 2 (250, 300, 350 y 400 metros).	70
6.35. Salinidad DOMO 2 (50, 100, 150 y 200 metros).	71
6.36. Salinidad DOMO 2 (Superficie).	72
6.37. Salinidad DOMO 3 (850, 900, 950 y 1000 metros).	73
6.38. Salinidad DOMO 3 (650, 700, 750 y 800 metros).	74
6.39. Salinidad DOMO 3 (450, 500, 550 y 600 metros).	75
6.40. Salinidad DOMO 3 (250, 300, 350 y 400 metros).	76
6.41. Salinidad DOMO 3 (50, 100, 150 y 200 metros).	77
6.42. Salinidad DOMO 3 (Superficie).	78
6.43. Salinidad DOMO 4 (850, 900, 950 y 1000 metros).	79
6.44. Salinidad DOMO 4 (650, 700, 750 y 800 metros).	80
6.45. Salinidad DOMO 4 (450, 500, 550 y 600 metros).	81
6.46. Salinidad DOMO 4 (250, 300, 350 y 400 metros).	82
6.47. Salinidad DOMO 4 (50, 100, 150 y 200 metros).	83
6.48. Salinidad DOMO 4 (Superficie).	84
6.49. Transectos.	86
6.50. Sección vertical de temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4	87
6.51. Sección vertical de salinidad DOMO 1	88
6.52. Sección vertical de salinidad DOMO 2	88
6.53. Sección vertical de salinidad DOMO 3	89
6.54. Sección vertical de salinidad DOMO 4	89
6.55. Diagrama T/S de DOMO 1	91
6.56. Diagrama T/S de DOMO 2	92
6.57. Diagrama T/S de DOMO 3	93
6.58. Diagrama T/S de DOMO 4	94
6.59. Mapa de isoterma de 20°C (DOMO 1 y DOMO 2)	95
6.60. Mapa de isoterma de 20°C (DOMO 3 y DOMO 4)	96
6.61. Mapas de vorticidad (Enero - Junio)	98
6.62. Mapas de vorticidad (Julio - Diciembre)	99
6.63. Mapas de divergencia (Enero - Abril)	100
6.64. Mapas de divergencia (Mayo - Octubre)	101
6.65. Mapas de divergencia (Noviembre - Diciembre)	102
1. Ekman	105
2. Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (Superficie).	115
3. Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (50 metros de profundidad).	116

4.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (100 metros de profundidad).	117
5.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (150 metros de profundidad).	118
6.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (200 metros de profundidad).	119
7.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (250 metros de profundidad).	120
8.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (300 metros de profundidad).	121
9.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (350 metros de profundidad).	122
10.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (400 metros de profundidad).	123
11.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (450 metros de profundidad).	124
12.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (500 metros de profundidad).	125
13.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (550 metros de profundidad).	126
14.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (600 metros de profundidad).	127
15.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (650 metros de profundidad).	128
16.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (700 metros de profundidad).	129
17.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (750 metros de profundidad).	130
18.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (800 metros de profundidad).	131
19.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (850 metros de profundidad).	132
20.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (900 metros de profundidad).	133
21.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (950 metros de profundidad).	134
22.	Temperatura DOMO 1, 2, 3 y 4 (1000 metros de profundidad).	135
23.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (Superficie).	136
24.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (50 metros de profundidad).	137
25.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (100 metros de profundidad).	138
26.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (150 metros de profundidad).	139
27.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (200 metros de profundidad).	140
28.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (250 metros de profundidad).	141
29.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (300 metros de profundidad).	142
30.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (350 metros de profundidad).	143
31.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (400 metros de profundidad).	144
32.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (450 metros de profundidad).	145
33.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (500 metros de profundidad).	146
34.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (550 metros de profundidad).	147
35.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (600 metros de profundidad).	148
36.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (650 metros de profundidad).	149
37.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (700 metros de profundidad).	150
38.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (750 metros de profundidad).	151
39.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (800 metros de profundidad).	152
40.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (850 metros de profundidad).	153
41.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (900 metros de profundidad).	154
42.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (950 metros de profundidad).	155
43.	Salinidad DOMO 1, 2, 3 y 4 (1000 metros de profundidad).	156





# Abreviaturas

---

<b>MEX</b>	México
<b>GTM</b>	Guatemala
<b>BLZ</b>	Belice
<b>SLV</b>	El Salvador
<b>HND</b>	Honduras
<b>NIC</b>	Nicaragua
<b>CRI</b>	Costa Rica
<b>CIESAS</b>	Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
<b>PTN</b>	Pacífico Tropical Nororiental
<b>B/O</b>	Buque Oceanográfico
<b>PSU</b>	Practical Salinity Unit (Unidades Prácticas de Salinidad)



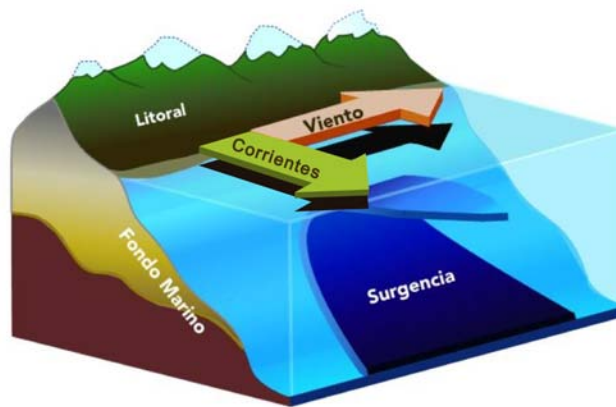
---

## Capítulo 1

# Introducción

---

Dentro del mar se generan fenómenos oceanográficos como consecuencia de las corrientes marinas que existen en él. Una zona de surgencia es un ejemplo de este tipo de fenómenos; la surgencia es el proceso en el cual masas de agua fría subsuperficial emergen hasta la superficie en el caso de una surgencia costera(Figura 1.1); sobre la superficie los vientos interactúan con la superficie marina ocasionando un empuje de las aguas cálidas superficiales separándolas de la costa dando paso a las aguas frías y profundas que emergen y que son altamente ricas en nutrientes, fertilizan así las aguas superficiales generando una alta productividad biológica.



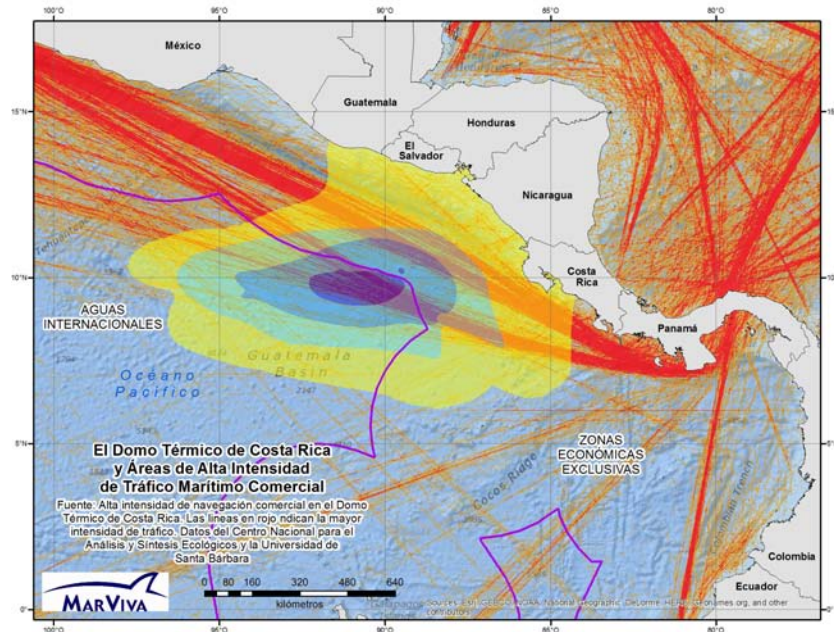
**Figura 1.1:** Dinámica oceanográfica de una zona de surgencia.

Se puede decir que la surgencia tiene una gran influencia en el entorno costero. Durante los periodos de afloramiento, el gradiente de temperatura entre el océano y la tierra se intensifica, incrementando las brisas marinas (Franchito *et al.*, 1998). Además, la surgencia ocasiona veranos más húmedos y tardíos y la formación de frentes en donde el agua fría y más densa se encuentra con el agua cálida superficial de menor densidad (Scott A, 1993).

Este fenómeno se presenta en las costas de Costa Rica y Nicaragua, donde se localiza casi permanentemente el Domo Térmico de Costa Rica; es originado por la interacción de la corriente Norecuatorial Este, la corriente de Costa Rica y la corriente Norecuatorial Oeste, aunados a los vientos que cruzan por el Lago de Nicaragua y las llanuras del norte de Costa Rica. Estos vientos han sido conocidos como papagayos (Romero-Centeno *et al.*, 2007).

Como resultado de la surgencia, las masas de agua que son arrastradas hasta la superficie son ricas en nutrientes, como el nitrato y el fosfato, lo que genera un crecimiento de algas marinas y el florecimiento de fitoplancton. Este es aprovechado por el zooplancton que a su vez es consumido por peces y mamíferos marinos como la ballena azul, el delfín común y el delfín manchado, entre otros organismos. El impacto que tiene este fenómeno en la economía y el turismo de la región es de gran importancia. La actividad pesquera se ve altamente beneficiada ya que muchas especies se favorecen de este hábitat y se trasladan muy cerca de estas zonas. En cuanto a turismo, la anidación de tortugas marinas, el avistamiento de cetáceos e incluso la pesca deportiva forman parte de la recaudación monetaria que ayuda a la economía del Costa Rica y brindan el sustento a muchas personas.

También es importante señalar que el Domo se encuentra en una ruta de transporte marítimo mundial (ver figura 1.2), en particular para el comercio marítimo proveniente del Norte de Asia y de la costa Este de Norteamérica en su ruta hacia el canal de Panamá. Los riesgos ambientales a estos ecosistemas vulnerables causados por las descargas operacionales, la contaminación accidental o intencional, daños físicos a los hábitats marinos u organismos y las colisiones con mamíferos marinos, son temas a considerar para la conservación de este medio marino.



**Figura 1.2:** Áreas de alta intensidad de navegación comercial en el Domo Térmico de Costa Rica. Las líneas en rojo indican la mayor intensidad de tráfico.

La relevancia e impacto que tiene esta zona nos ha lleva a considerar su estudio; las observaciones de Barberan *et al.* (1985), la investigación numérica de Umatani y Yamagata (1991), el modelo numérico impulsado por vientos medios mensuales de Hofmann *et al.* (1981) o la configuración de las isotermas del Domo de Wyrcki (1964) son sólo algunos de los estudios que se han realizado de éste fenómeno. La necesidad de considerar la conectividad que tienen los ecosistemas entre sí es vital para poder proteger la sostenibilidad ecológica, económica y social de esta zona de gran valor.



---

Capítulo 2  
**Objetivos**

---

- Documentar mediante observaciones la distribución horizontal y vertical del Domo de Costa Rica a partir de cuatro campañas oceanográficas realizadas por investigadores de instituciones mexicanas (Febrero y Junio de 1979, Noviembre de 1981 y Julio-Agosto de 1982).
- Analizar si las observaciones de la ubicación o localización del Domo de Costa Rica son consistentes con las distintas teorías que se han expuesto sobre su ubicación y origen.





### 3.1. Aspectos generales de cartografía

Tener conocimiento de lo que hay más allá en cuanto a territorio y saber qué es lo que nos rodea ha sido una pregunta a la que la humanidad ha tratado constantemente de dar respuesta. Desde el cálculo del radio de la tierra hecho por Eratóstenes en el siglo III a.C., la redacción de los diecisiete libros de la *Geografía* de Estrabón, pasando por la compilación de teorías sobre la geografía y el perfeccionamiento de los métodos de proyección de mapas así como la introducción de los términos “paralelo” y “meridiano” para las líneas de latitud y longitud presentadas por Ptolomeo en el siglo II d.C., cúmulos de información han sido documentados y quedan como vestigios del pasado permitiéndonos tener un mejor entendimiento de los avances y de los recorridos que se han hecho a lo largo del tiempo.

La necesidad de trasladarse a otros lugares, bajo diversas circunstancias, forzaron al hombre a buscar una forma de guardar toda esa información y así, de alguna manera, transmitirlo a futuras generaciones, con el objetivo de advertir o dejar información de lo que avistaron en algún lugar nuevo al que llegaron. Es por eso que el uso de mapas y su interpretación son de suma importancia desde las primeras apariciones de estos mismos.

La curiosidad del hombre, siempre infinita, ha conseguido desarrollar diferentes formas para visualizar la Tierra, los cambios geográficos que presencian y la percepción que tienen de ellos hacen que se pregunten por el cambio en el relieve que existe en diversas partes del mundo, aunado a la necesidad de comprender estos accidentes topográficos se dio lugar a la representación de estos de forma gráfica. Es así como surge la Cartografía.

### 3. ANTECEDENTES

---

Incluso siendo uno de los recursos más antiguos de los que se tiene registro, los mapas siguen siendo un instrumento con variadas representaciones gráficas de la superficie terrestre que es tan variada, flexible y cambiante conforme avanza el tiempo, que nos permite un mejor entendimiento del territorio a través del tiempo.

Conforme se tuvieron más recursos científicos, así como el avance de tecnologías que se fueron adquiriendo, se desarrolló aún más la Cartografía. De acuerdo con el grupo cartográfico de la Organización de Naciones Unidas (ONU) *la Cartografía es la ciencia y técnica encargada de la recolección, sistematización, tratamiento, representación y divulgación en mapas y cartas de información referente a fenómenos ubicados sobre o cerca de la superficie de la Tierra o de otros cuerpos celestes* (Campos, 1999).

Como algo más específico se tiene lo que es la Cartografía Temática, que representa sólo una o varias variables relacionadas del medio geográfico; o la de Cartografía Digital, que es la Cartografía asistida con equipo de cómputo, que contiene información numérica que puede manipularse con gran flexibilidad y permite la producción de mapas formales de manera automática.

Su estudio sirve para la representación y comunicación, de forma clara y atractiva, de todo tipo de elementos e información de relevancia, presentándola de forma gráfica y creativa para su uso por cualquier persona.

### 3.1.1. Tipos de representaciones cartográficas

- Mapas, planos y cartas geográficas

La representación gráfica y espacial de diversos fenómenos físicos o geográficos se ve plasmado en lo que es un mapa; a pesar de que la definición de mapa y cartas sea la misma y de que sólo varía la localización geográfica para que el nombre cambie, para la definición de la representación de aspectos artificiales y/o naturales de la tierra donde se permite determinar detalles como distancias y localizaciones. La mayor discrepancia entre estos dos términos viene siendo la escala con la que se trabaja. Pero en realidad lo que caracteriza a los mapas y cartas, cualquiera que sea su definición, es que están ligadas a una proyección cartográfica<sup>1</sup> (López, 1999).

Por otro lado, se puede considerar como plano a los mapas que tienen escalas muy grandes de hasta 1: 10,000, para la representación de estos se desprecia la curvatura de la tierra así que no requiere de una proyección cartográfica. Los levantamientos topográficos tienen como resultado un plano y se caracterizan por su simbología práctica y sencilla.

- Mapas basados en fotografía e imágenes satelitales

Conforme se ha avanzado en el desarrollo de software para la manipulación de información y elaboración de mapas con una mayor precisión, cumpliendo con las especificaciones de lo que se quiere reproducir, el proceso ha ido cambiando y revolucionó la labor tardada y extenuante que en un principio había. El uso de fotografías aéreas y de imágenes satelitales ha sido parte de las nuevas técnicas que se han implementado. Con las nuevas tecnologías, la producción de mapas ha aumentado el valor de la información que se tiene de un mapa digital, claro, en comparación con lo que se conoce como mapa tradicional.

---

<sup>1</sup>Ver proyección cartográfica en capítulo 3.1.2

### 3.1.2. Elementos de un mapa

#### Proyecciones Cartográficas

La proyección cartográfica es un sistema gráfico de representación que relaciona de manera ordenada y proporcional los puntos de la superficie curva de la tierra y los de una superficie plana, a través de una malla o red de meridianos y paralelos (los cuales se visualizan en las coordenadas X y Y). Existen diferentes tipos de proyecciones con características muy variadas para lograr una mejor interpretación de un mapa de acuerdo a las necesidades que se requieran, para el estudio del mismo y, por supuesto, obtener una representación gráfica parecida a lo que es percibido por el ojo.

#### Escala

La escala es la expresión numérica y gráfica de la relación que existe entre la medida del dibujo y la medida real del terreno. Normalmente es representada de dos formas:

- Escala numérica: expresada en la relación (1) en donde el numerador es la magnitud dibujada (medida en el mapa) y el denominador corresponde a la magnitud real (la medida del terreno), por ejemplo (2):

$$Escala : \frac{M.D.}{M.R.} \quad (3.1)$$

$$Esc : \frac{1}{250000} \text{ ó } 1 : 250000 \quad (3.2)$$

Es decir, que cada unidad de distancia en el mapa representa 250,000 de esas mismas unidades en la entidad física cartográficamente representada.

- Escala gráfica: donde se representan las distancias en el terreno sobre una línea recta regularmente graduada (Figura 3.1); ésta escala permite medir distancias sobre la carta y tener un modo más sencillo de visualizar las dimensiones de los objetos que se encuentran en la carta.



**Figura 3.1:** Ejemplo de escala gráfica.

También es muy útil para cuando los mapas o planos son antiguos o las condiciones en las que se almacenan provocan que el papel se deforme. De ésta manera, la escala gráfica sirve para hacer una aproximación de las medidas reales en el terreno basándose en las distancias que muestre el mapa o plano.

### **Simbología**

Los elementos que normalmente se usan como parte de la visualización de un mapa suelen ser puntos, líneas, figuras y colores; la combinación estética de los elementos mencionados facilitan la interpretación de los mapas.

#### 3.1.3. Generación de mapas temáticos

Los mapas temáticos se centran en la variaciones espaciales y en la forma de un sólo atributo o en la relación existente entre varios atributos específicos (Robison *et al.*, 1984).

El objetivo del mapa es dado por el tema que se desea representar, la forma y la estructura de las variables que se tienen como datos. Los temas que son representados en los mapas temáticos es tan grande como los temas existentes con lo que se llegue a trabajar y pueden ser desde lo más simple, como lo es la representación de los resultados de las elecciones de algún lugar, hasta algo más especializado como lo que se abarca con imágenes satelitales; por ejemplo, la cobertura de nubes de algún lugar en específico. Por supuesto otro ejemplo de esta parte de la cartografía serían los mapas de temperatura y salinidad representados en el capítulo 6.

#### 3.2. Aspectos generales de los Sistemas de Información Geográfica

La tecnología se ha ido desarrollando de manera exponencial en las últimas décadas, ayudando siempre al progreso de la humanidad. La sistematización de los procesos de análisis, en este caso de información geográfica, ha sido un proceso que paulatinamente comenzó a cobrar auge, tanto así que en estos tiempos es bastante concurrido por diversas disciplinas.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) *son la integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar, en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión* (CIESAS).

Es fundamental tener una buena gestión de información espacial, y para su mejor análisis y comprensión los programas que se usan para la implementación del SIG permiten separar la información en capas, teniendo así temas independientes para su implementación y uso más sencillo, incluso para relacionar capas entre sí.

Trabajar con información digital es parte de la tecnología moderna, la digitalización es un mapa de obtención de información, utilizado para transferir a un medio digital de mapas impresos con información que se toma en el campo, gracias a la asistencia de un ‘Diseño Asistido por Ordenador’ (DAO o CAD) que cuenta con capacidades de georreferenciación. Una de las fuentes para extracción de datos geográficos son las imágenes orto-rectificadas, tanto aéreas como de satélite.

La representación de las características que son percibidas por el ojo, por ejemplo: carreteras, suelos, agua, son representados en SIG de dos formas abstractas: objetos discretos y continuos. También hay dos formas en que se almacenan los datos: ráster y vectorial.

Los datos discretos, también llamados temáticos, categóricos o discontinuos, representan la mayoría de las veces objetos en los sistemas de almacenamiento de datos ráster y de entidad (vector). Un objeto discreto tiene límites conocidos y definibles. A los datos continuos se les suele conocer también como datos de campo, no discretos o de superficie, deriva de las características que definen una superficie, en la que cada ubicación se miden desde un punto de registro fijo <sup>1</sup>.

Un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información ya sean valores numéricos o identificadores numéricos, como la temperatura, elevación o clasificación de suelo respectivamente. Los rásteres pueden ser fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, mapas escaneados e incluso simples fotografías. El formato vectorial define objetos geométricos (puntos, líneas y polígonos) mediante la codificación explícita de sus coordenadas.

---

<sup>1</sup><https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/discrete-and-continuous-data.htm>



### 3.3. Aspectos generales de la zona

#### Datos geográficos

El Domo térmico de Costa Rica es considerado como una zona crítica para la biodiversidad marina dentro del Pacífico, localizándose al oeste de Centroamérica aproximadamente en los 9° y 15° Norte y 86° y 90° Oeste. Fue detectado por primera vez en el año 1948 y teniendo su descripción científica hasta 1958 en el boletín de la Comisión Interamericana del Atún Tropical; esta área ha sido estudiada en múltiples ocasiones desde los años cincuenta debido a la alta producción pesquera que se empezó a desarrollar en la región, llevándose a cabo varias expediciones de muestreo, destacándose la Expedición del Domo térmico de Costa Rica del Programa de Investigación de Atún del Instituto Oceanográfico Scripps en 1959 y las expediciones mexicanas DOMO entre 1979 y 1982 (Fiedler, 2002).

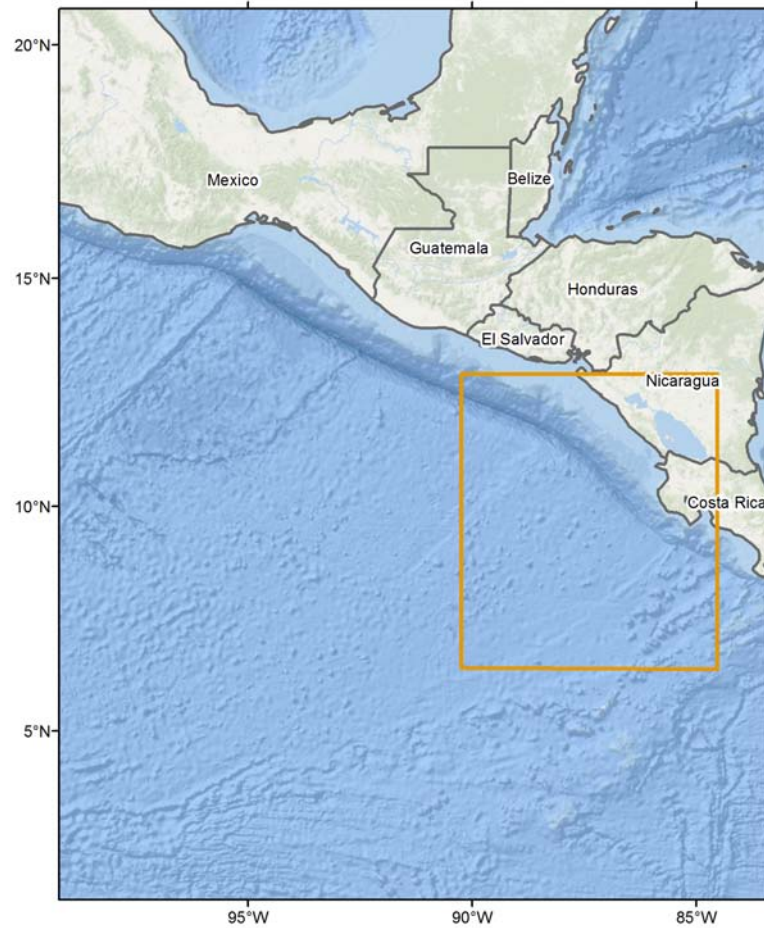
Su nombre se debe a que la termoclina se localiza entre los 10 y 15 metros de profundidad, tomando una forma de domo [Wyrтки (1964); Barberan *et al.* (1985)]; las características físicas y químicas de esta agua permiten el desarrollo de una alta productividad, y una elevada producción pesquera, registrada por Blackburn (1968) al estudiar el micronekton <sup>1</sup> (Aguilar y Alamo, 2015).

#### Localización y superficie

El Domo, al ser un fenómeno causado por corrientes marinas y eólicas en un área dinámica, en ciertos meses del año está justo al lado de la costa del Pacífico costarricense, en el área de Papagayo, en el noroeste del país (Costa Rica) y San Juan del Sur (Nicaragua) y durante la mitad del año se separa, desplazándose mar adentro. Su centro está ubicado a 300 kilómetros de la costa de Costa Rica (Ver figura 3.2).

---

<sup>1</sup>Organismos relativamente pequeños que varían entre el plankton ( $\leq 2$  cm) y el nekton ( $\geq 10$  cm), los cuales tienen la habilidad de nadar libremente sin ser afectados en su totalidad por las corrientes.



**Figura 3.2:** Zona donde se encuentra el Domo de Costa Rica.

Aunque el Domo se registra en aguas territoriales costarricenses, su naturaleza móvil hace que tenga incidencia en la zona económica exclusiva de otros países centroamericanos, como Nicaragua y El Salvador, así como en aguas internacionales.

Durante los meses de mayo a junio el Domo se separa de la costa, y durante el período de julio a octubre se localiza en aguas profundas y migra hacia el norte. Aun cuando el Chorro de Papagayo<sup>1</sup> se debilita, el efecto de los vientos continúa debido al desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical y sus vientos ciclónicos asociados. A finales de año (noviembre-diciembre) el Domo desaparece (Umatani y Yamagata, 1991).

Se estima una variación de entre 300 y 1000 kilómetros de ancho y su diámetro y posición cambia año con año a lo largo de su ciclo anual característico (Fiedler, 2002). Dependiendo del ciclo anual, los patrones que siguen las corrientes y el comportamiento del viento, el Domo se expande o se contrae. Cuando se presenta el fenómeno de El Niño<sup>2</sup>, el Domo se mantiene en aguas profundas (Barberan *et al.*, 1984).

Como consecuencia de la surgencia de esta agua rica en nutrientes en combinación con la luz solar se produce un gran crecimiento de algas y se desarrolla una cadena alimenticia próspera incluyendo desde organismos básicos como fitoplancton y zooplancton hasta mamíferos como delfines y ballenas, que migran desde costas estadounidenses de California.

#### 3.4. Estudios previos de la formación del Domo de Costa Rica

El océano Pacífico tropical oriental no está definido por una sola cuenca oceánica, las masas de agua, ni por un ecosistema. Es una región que se encuentra entre los giros subtropicales del Pacífico Norte y Sur que contienen el sistema ecuatorial del Pacífico actual (Kessler, 2006) y la alberca de agua caliente del Pacífico oriental, que forma la mitad de la alberca de agua caliente del hemisferio occidental que envuelve Centroamérica (Wang y Enfield, 2001).

---

<sup>1</sup>Fuertes vientos generados a sotavento de las interrupciones en las tierras bajas del centro de Nicaragua.

<sup>2</sup>Patrón climático recurrente que implica cambios en la temperatura de las aguas en la parte central y oriental del Pacífico tropical.

A diferencia del Pacífico central, donde los vientos son zonales (Este-Oeste) y las propiedades del océano, así como su circulación, son casi independientes de la longitud, el Pacífico tropical oriental se distingue por la fuerza del viento que se ve altamente influenciada por la topografía del continente americano. Su circulación se caracteriza por su pequeña escala zonal, sus remolinos permanente y su surgencia, significativamente fuera de la zona ecuatorial (Kessler, 2006).

Esta región es un entorno biológico un tan inusual como consecuencia de las características físicas y los forzamientos en la región, incluyendo una termoclina fuerte y poco profunda, la ITCZ (zona de convergencia intertropical por sus siglas en inglés), los jets de viento costero, la surgencia ecuatorial, el Domo de Costa Rica y los sistemas ecuatoriales, una ventilación inadecuada de las subtermoclina y el dominio de la escala del fenómeno de ‘El Niño’ y su variabilidad temporal (Lavín *et al.*, 2006).

La zona de surgencia que se da en Costa Rica es una zona bastante estudiada. Hay varias teorías alrededor de esta formación, generando desde hace años discusión entre ellas.

Los patrones espaciales y temporales se analizan usando mapas de la superficie de la temperatura, la salinidad y nutrientes (fosfato, silicato, nitrato y nitrito), y la termoclina junto con los parámetros de la capa mezclada y las secciones meridional y de temperatura de la zona, salinidad, densidad de potencial, oxígeno y sus nutrientes (Fiedler y Talley, 2006).

Según Hoffman la surgencia del Domo de Costa Rica es estacional y es el resultado del rotacional del esfuerzo del viento. Desde los años 50’s y 60’s se han llevado a cabo varias expediciones oceanográficas donde se observaba la presencia de la surgencia, lo que hizo pensar que el domo era permanente y estacionario. Se tiene como hipótesis que la surgencia que se da en el domo es causada por la divergencia producida por el cambio hacia el norte de la contracorriente ecuatorial mientras se va aproximando a las costas de Centroamérica.

Existen dos teorías principales referentes al origen del Domo de Costa Rica. La primera, expuesta por Wyrтки (1964), explica que la configuración de las isotermas en el domo obedece a requerimientos de conservación de vorticidad en un régimen controlado por las corrientes circundantes; el domo formaría entonces parte intrínseca del sistema de circulación del Pacífico Trópico-Oriental. La segunda está basada en un modelo numérico impulsado por vientos medios mensuales (Hofmann *et al.*, 1981) y sugiere que el Domo resulta del bombeo local por el rotacional del viento y, por lo tanto, varía estacionalmente con una intensidad mayor en invierno. De Diciembre a Abril, cuando los alisios del norte son más intensos, los vientos en el PTN están dirigidos principalmente hacia el oeste, fluyendo de la costa hacia el Pacífico occidental (Romero-Centeno, 2007). Las observaciones de Barberan *et al.* (1985) y una investigación numérica de Umatani y Yamagata (1991) apoyan la primera hipótesis.

Los patrones espaciales a gran escala de algunos de los grupos de zooplancton muestran una amplia coincidencia con las masas de agua que se encuentran en la superficie, las regiones de circulación ciclónica y el afloramiento. De acuerdo con la partición ecológica y dinámica del ecosistema pelágico los patrones de abundancia de biomasa de zooplancton tienen valores más altos en las regiones del afloramiento, incluyendo el Golfo de Tehuantepec, el Domo de Costa Rica, la lengua de agua fría ecuatorial y la costa de Perú (Fernández-Álamo y Färber-Lorda, 2006).

#### 4.1. Descripción de los datos analizados

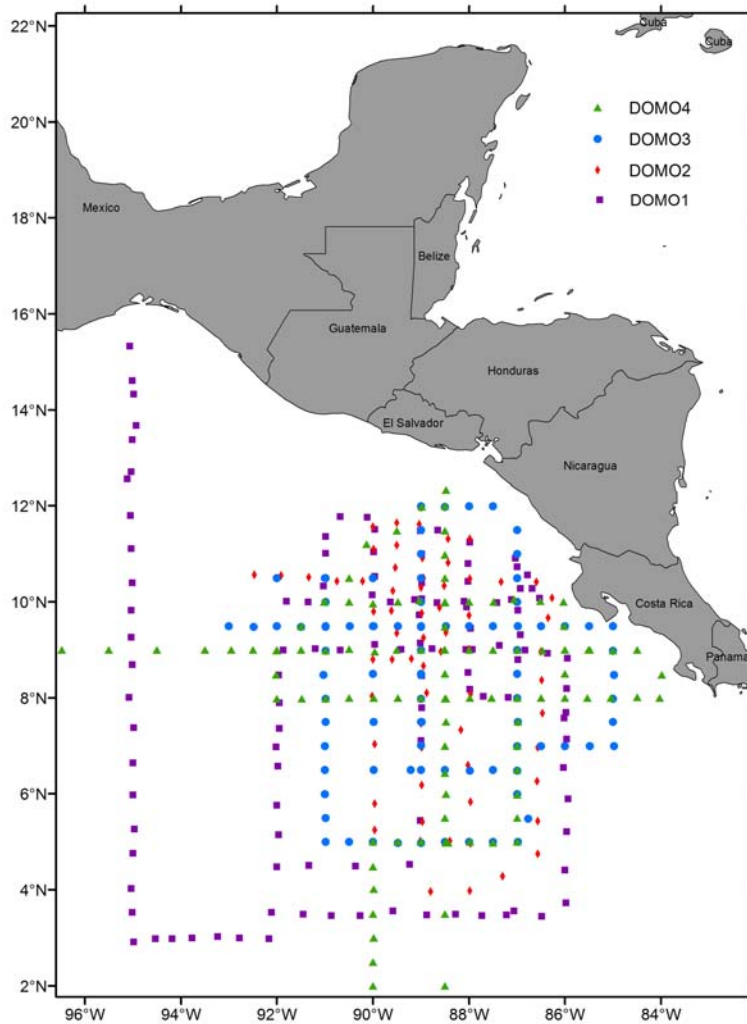
Con los datos de las estaciones del muestreo de la zona del Domo de las cuatro campañas oceanográficas (ver tabla 4.1) realizadas en los periodos de Febrero y Junio de 1979, Noviembre de 1981 y Julio-Agosto de 1982 (Figura 4.1) se obtuvieron datos en formato binario que con ayuda de un programa hecho en MATLAB se exportan a formato .ASC para su lectura.

**Tabla 4.1:** Campañas Oceanográficas.

Campaña	Fecha	Dependencia	Embarcación
DOMO 1	Febrero - Marzo 1979	Secretaria de Marina	B/O "Mariano Matamoros"
DOMO 2	Junio 1979	Secretaria de Marina	B/O "Mariano Matamoros"
DOMO 3	Noviembre 1981	UNAM	B/O "El Puma"
DOMO 4	Julio-Agosto 1982	UNAM	B/O "El Puma"

#### 4. DATOS

---



**Figura 4.1:** Ubicación del área de estudio y estaciones de muestreo de las campañas DOMO 1, DOMO 2, DOMO 3 Y DOMO 4.

Dentro de estos archivos que se generaron se puede observar que cuenta con muchas líneas que contienen la información de los muestreos realizados (Figura 4.2 y 4.3).

---

```

1 15 20 N 95 4 W
STD 0 0
Prof Temp Sal Oxig SigI SigT ALDi
0.00 27.990 33.710 -32767 1430 1430 0
1.00 27.940 33.710 -32767 1450 1446 64
2.00 26.880 33.710 -32767 1795 1786 127
3.00 26.280 33.730 -32767 2003 1990 188
4.00 26.060 33.741 -32767 2084 2067 247
5.00 25.880 33.761 -32767 2159 2137 305
6.00 25.820 33.851 -32767 2250 2224 363
7.00 25.720 33.870 -32767 2299 2269 420
8.00 25.700 33.890 -32767 2325 2290 476
9.00 25.690 33.890 -32767 2332 2293 533
10.00 25.650 33.901 -32767 2357 2314 589

```

**Figura 4.2:** Información obtenida de una de las estaciones STD en formato .ASC

```

1 10 30 N 90 59 W
CTD 0 0
Prof Temp Sal Oxig SigI SigT ALDi
0.00 26.606 33.549 3967 1751 1751 0
0.85 26.606 33.549 3967 1755 1751 52
1.05 26.624 33.541 -32767 1744 1740 64
1.10 26.608 33.539 -32767 1748 1743 67
1.15 26.514 -32767 -32767 -32767 -32767 -32767
1.35 26.453 33.558 3870 1812 1806 83
1.85 26.523 33.550 3855 1786 1778 113
2.15 26.543 -32767 -32767 -32767 -32767 -32767
2.30 26.514 -32767 -32767 -32767 -32767 -32767
2.60 26.514 33.560 3867 1800 1788 160
2.65 26.479 -32767 -32767 -32767 -32767 -32767
2.80 26.502 33.561 3822 1805 1793 172

```

**Figura 4.3:** Información obtenida de una de las estaciones CTD en formato .ASC

La primer línea de cada uno de los archivos que se generaron da primero el número de la estación, inmediatamente a la derecha se encuentra la coordenada de la que se tomó la información en grados y minutos. En este caso las coordenadas, oscilan de 8° a 10° Norte y 88° a 90° Oeste.



## 4. DATOS

---

En la segunda línea se encuentra el tipo de aparato perfilador que se usó. Las estaciones que fueron usadas para la captación de la información que se utilizó para llevar a cabo esta documentación fueron de dos tipos de perfiladores de temperatura y salinidad mejor conocidos como STD (Salinity Temperature Depth) archivo de salida en la figura 4.2, y CTD (Conductivity Temperature Depth) archivo de salida en la figura 4.3. Estos instrumentos muestran a cada cierto tiempo, por lo que no es posible saber con certeza la información que se encuentra dentro de los intervalos que hay en la recolección de datos. Los CTD surgieron después de los STD y toman mediciones más precisas a una escala más fina y a una mayor frecuencia de muestreo.

En el tercer renglón se tiene la descripción de cada columna de información que se obtuvo, la descripción de cada una de las columnas, en orden son: Profundidad en metros, Temperatura en °C, Salinidad en UPS<sup>1</sup>, Oxígeno, SigI (densidad en sitio), SigT (densidad potencial) y AlDi (altura dinámica referida a 1000 metros).

Posterior al tercer renglón, se describe toda la información recolectada a cada metro, desde la superficie hasta una profundidad de aproximadamente 1000 metros.

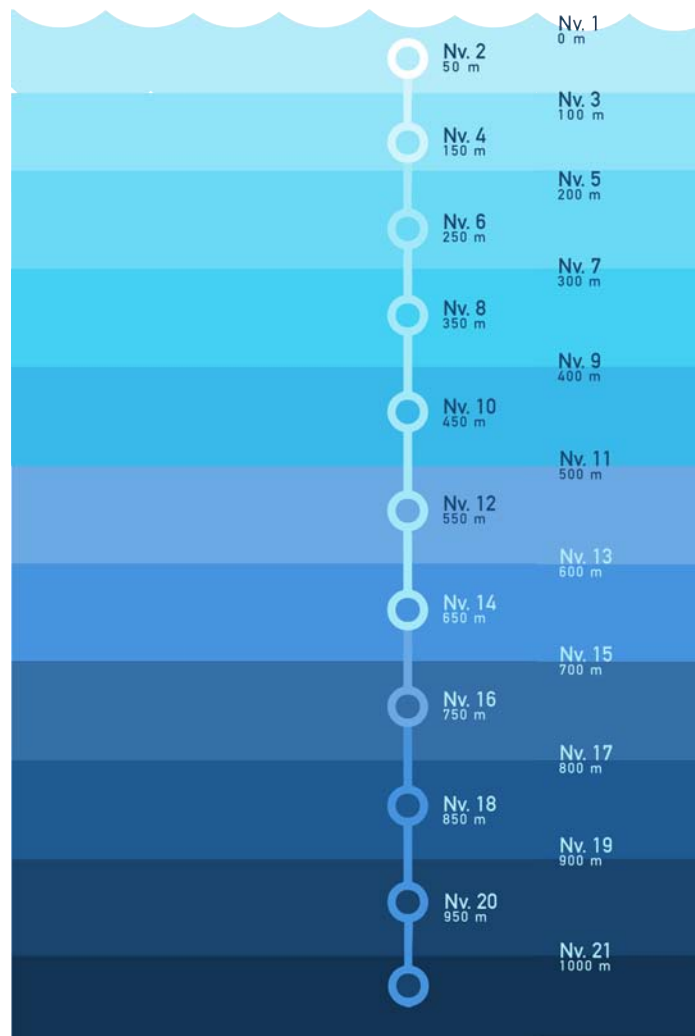
Dentro de algunas estaciones se tiene el valor de '-32767, como se muestra en la figura 4.2 en la columna del oxígeno, lo que significa que no hay registro a esa profundidad de esa variable, estos renglones fueron considerados como *No Data*.

---

<sup>1</sup>UPS: Unidades Prácticas de Salinidad.

### 5.1. Procesamiento y representación de datos

Una vez procesados los archivos de lectura se prosiguió a usar un programa donde se generaron gráficas con la información obtenida por campaña e individualmente, dividida por niveles, para obtener una visualización de los cambios que se tienen en cuanto a temperatura y salinidad en diferentes intervalos de profundidad. Para el caso de esta investigación se decidió hacerlo cada 50 metros, generándose 21 niveles, debido a que la profundidad es de alrededor de 1000 metros, tanto para temperatura como para salinidad (ver Figura 5.1). La presencia del Domo se puede ver en los primeros 400 metros de profundidad.



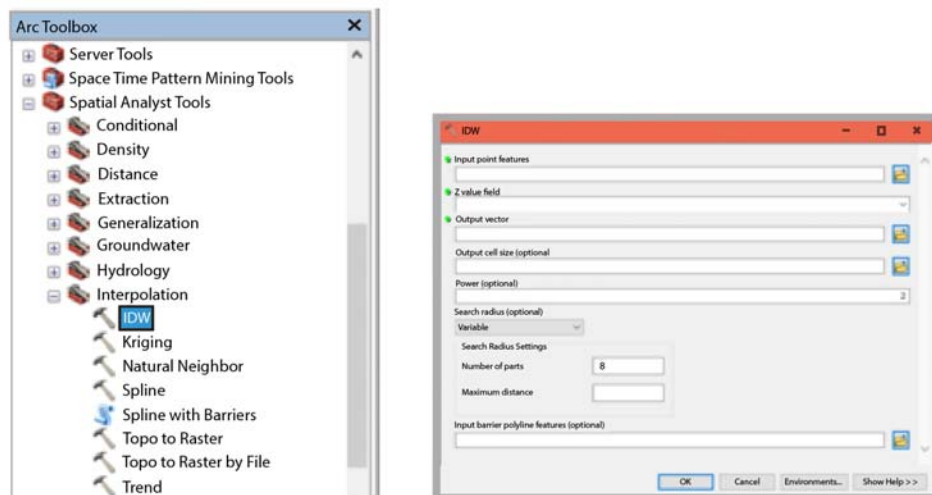
**Figura 5.1:** Esquema de niveles en los que se dividió la columna de agua

Dentro de las variables que se usaron para el programa se guardaron las que almacenan la latitud y longitud de las estaciones, así como las que contenían la información de salinidad y temperatura que posteriormente, en una tabla, fueron asignadas respectivamente a la estación correspondiente. Finalmente se generaron cuatro archivos, uno por cada Domo, y dentro de cada uno de los archivos la respectiva división por niveles.

Las tablas de datos fueron generadas en el programa Excel y se guardaron con extensión .xls para poder introducirlos dentro del programa donde posteriormente se usarían para extraer la información puntual de las estaciones.

Ya con los datos clasificados, dentro del programa de ArcMap se agregó la información de temperatura y salinidad las estaciones por niveles y estas fueron exportadas con una proyección establecida para comenzar a trabajar en ellos y hacer la interpolación que generó los rásters.

Para la interpolación se usaron varios métodos que maneja el programa, pero finalmente el mejor resultado se obtuvo mediante el método IDW (Distancia Inversa Ponderada, por sus siglas en inglés), con éste método se vieron los rangos para una mejor definición en las clasificaciones.



**Figura 5.2:** Localización de la herramienta de interpolación en la caja de herramientas y ventana de diálogo del método de interpolación IDW.

### 5.2. Método de interpolación aplicado

Para la elaboración de mapas se requiere obtener datos de altitud, presión, precipitación, temperatura, salinidad o de cualquier otro tipo de fenómeno que vaya a ser representado. Sin embargo, a veces es imposible medir estos valores de una forma continua y sobre toda superficie terrestre. Es por eso que suelen tomarse valores en puntos estratégicos y georeferenciados, agregándoles a las variables la posición geográfica exacta del lugar en el cual se tomaron las medidas (latitud y longitud). Posteriormente, esto permitirá realizar una interpolación los datos que se obtuvieron. La interpolación genera valores aproximados entre estos puntos, esto en las zonas donde no tenemos ninguna medida. La visualización de estos valores en los mapas son representados por isolíneas. Éstas líneas unen regiones de una misma variable o parámetro con el mismo valor numérico. Por ejemplo, las curvas de nivel de un mapa topográfico son isolíneas de la altura con respecto a un nivel de referencia.

Existen diversos programas que se encargan de generar y trazar estas isolíneas, tienen la posibilidad de usar diversos métodos de interpolación, como los estadísticos y los basados en funciones matemáticas.

#### 5.2.1. Distancias inversas ponderadas

El método de distancias inversas ponderadas o IDW, por sus siglas en inglés, estima valores de celda promediando los valores de los puntos de datos simples en las cercanías de cada celda procesada. El peso es una función de distancia inversa; la influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto al cual se está estimando un valor.

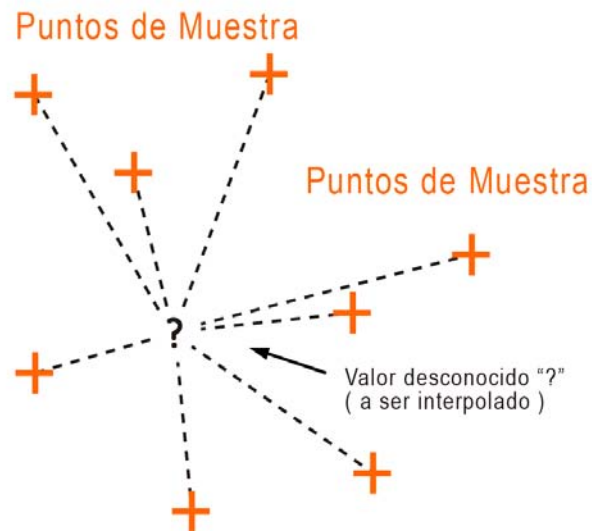
La superficie que es interpolada debe ser la de una variable independiente. Estimando los valores de una propiedad, que se asume depende de su localización, con base en la asignación de pesos a los datos del entorno en función inversa a la distancia que los separa del punto en cuestión. De esta forma se acepta que los puntos más próximos al centroide “z” intervienen de manera más relevante en la construcción del valor definitivo de la propiedad para ese punto. Por otra parte, si las distancias están a su vez afectadas por un exponente de ponderación, cuanto mayor es éste más contribuyen los puntos próximos.

La interpolación ponderada con base al inverso de la distancia se basa en la siguiente fórmula:

$$Z_j = \frac{\sum \frac{Z_i}{d_{ij}^\beta}}{\sum \frac{1}{d_{ij}^\beta}} \quad (5.1)$$

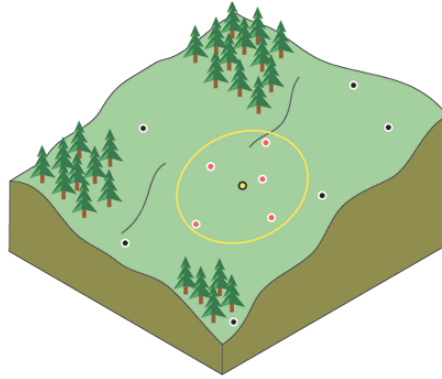
donde  $z_j$  es el punto problema,  $z_i$  es un punto del entorno,  $\beta$  es el exponente de ponderación y  $d_{ij}$  es la distancia entre los puntos.

La ponderación es asignar a los puntos de muestreo mediante la utilización de un coeficiente de ponderación que controla cómo la influencia de la ponderación decae mientras la distancia hacia el punto nuevo se incrementa. Mientras más grande sea el coeficiente de ponderación menor será el efecto que los puntos tendrán si están lejos de punto desconocido durante el proceso de interpolación (Figura 5.3). Conforme el coeficiente se incrementa, el valor de los puntos desconocidos se aproxima al valor del punto de observación más cercano.



**Figura 5.3:** Valores desconocidos interpolados.

El punto más cercano al centro de la celda estimada tiene más influencia o peso en el proceso, cuando la influencia de la variable analizada disminuye es porque la distancia aumenta desde cada punto analizado. Por ejemplo, cuando se intenta interpolar una superficie que representa potencial de compra de los consumidores respecto de una tienda, mientras más lejos se encuentren los consumidores de la tienda, menor será la influencia ejercida por las entidades para atraer a los potenciales clientes y viceversa (Figura 5.4).



**Figura 5.4:** Vecinos IDW para el punto seleccionado.

La calidad del resultado de interpolación puede disminuir si la distribución de los puntos de datos de la muestra es desigual o escasa. Además los valores máximos y mínimos en la superficie interpolada pueden ocurrir únicamente en los puntos de datos de la muestra.

Dentro de la caja de herramientas de análisis espacial se encuentra el método de interpolación usado (Figura 5.2). Se utilizó la herramienta de medida para obtener la distancia entre los puntos y tener una idea para ajustar el radio de búsqueda. Finalmente se introdujeron en los campos del método un valor de 0.045045 grados (que es equivalente a 5 metros) para la salida del tamaño de celda y para el radio de búsqueda óptima de 8 puntos. Este proceso se repitió tanto para salinidad como para temperatura, por separado, y estos valores fueron los que se consideraron para el parámetro de valor  $z$ .

### 5.3. Representación y salidas de la información

Con los rásters obtenidos, se buscó una simbología similar a la que se tiene en las gráficas generadas en MATLAB para hacer una comparación. A cada uno de los resultados se le dio una simbología clasificada de dieciséis clases y se le asignó una barra de colores similares a los resultados ya obtenidos.



Después se generaron los mapas, colocando cuatro paneles dentro de una hoja y se le asigna una barra de color para fácil interpretación de la clasificación que se tiene en cada una de las representaciones anexadas.

Prosiguiendo con las secciones de cada uno de los domos, se eligieron los segmentos continuos más extensos. Ya con los segmentos seleccionados se extrajeron los valores de cada uno de los niveles y se identificaron las distancias entre estaciones para después generar las gráficas.

Las gráficas generadas contienen en el eje de las abscisas la distancia acumulada entre estaciones y en el eje de las ordenadas la profundidad.

### 5.3.1. Representación cartográfica

La información que se obtiene de las estaciones puede ser interpretada de diferentes formas. Para este trabajo se obtuvo gráficamente una representación por nivel para cada Domo, utilizando MATLAB, las gráficas que fueron generadas en este programa sirvieron como base para tener una visualización de los cambios que se daban a cada intervalo de profundidad y visualizar la formación de la surgencia. Posteriormente, se generaron las gráficas en ArcGIS con las que se hizo una comparación.

Para las secciones se obtuvieron las gráficas en MATLAB donde se puede visualizar la forma del domo (Capítulo 6). Los diagramas T/S, con la misma información con la que se obtuvieron las gráficas del domo, se realizaron en MATLAB (Capítulo 6).

## 6.1. Mapas

Los mapas obtenidos, como se mencionó anteriormente, fueron a cada 50 metros de profundidad (ver figura 5.1), con la información de todas las estaciones de cada una de las campañas DOMO.

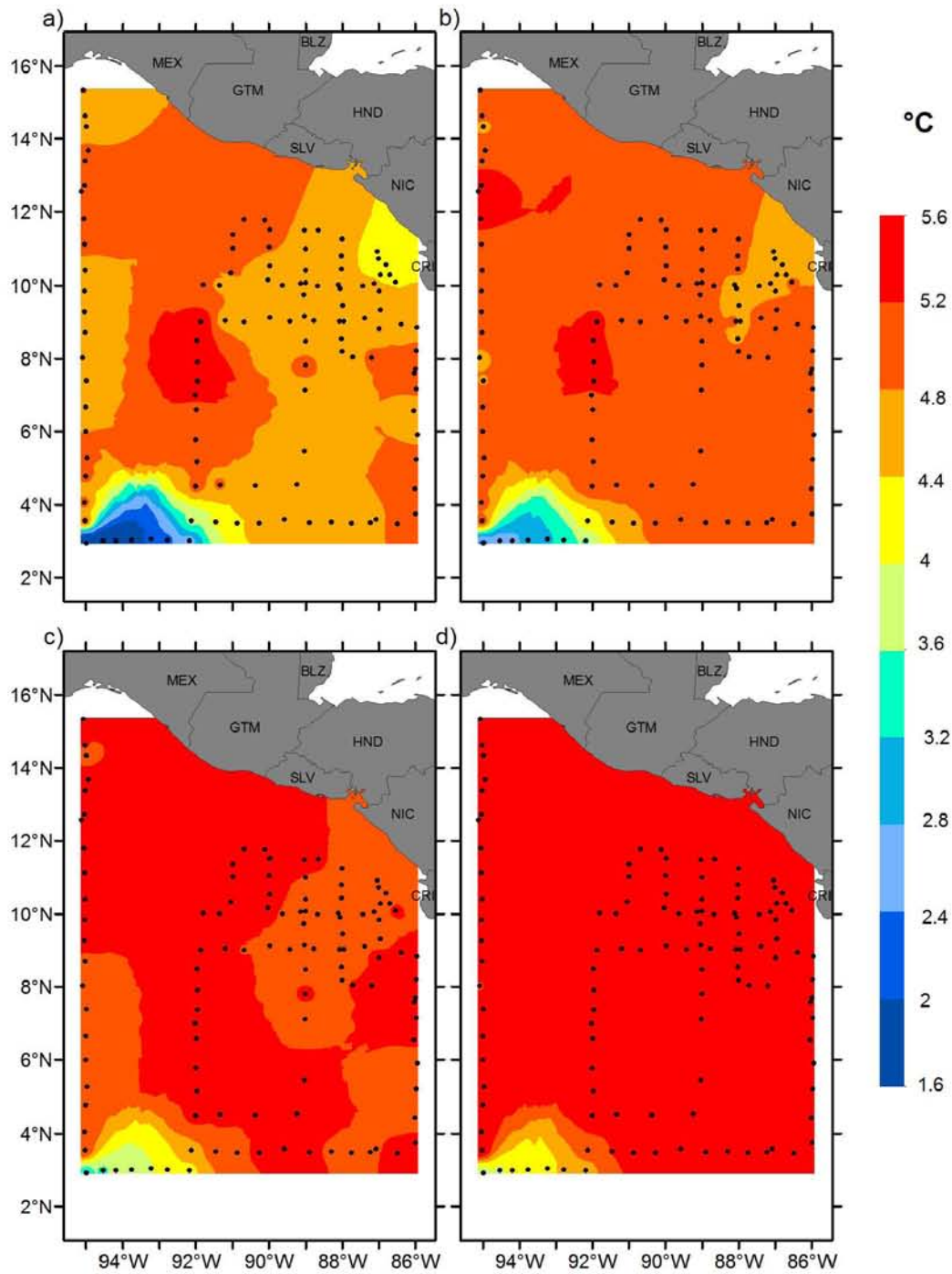
En los mapas generados de la campaña DOMO 1 para los últimos niveles, que abarcan los 850, 900, 950 y 1000 metros de profundidad, se tiene como temperatura más baja 1.6 grados y como temperatura más alta 5.6 grados Celsius, se visualiza una poca variación en el cambio de temperaturas, manteniendo un promedio de entre 4.4 y 5.6 °C entre estos últimos niveles mostrados en la figura 6.1. Para la figura 6.2, la temperatura que se despliega no tiene un cambio tan brusco ya que el rango abarca de 4.4 a 7.4 °C para las figuras, el cambio que se genera es gradual y la temperatura más baja se puede ver en la profundidad de 800 metros (figura 6.2(a)). La información desplegada en las figuras 6.4 y 6.3 para las siguientes profundidades muestra que la temperatura del agua vuelve a disminuir, el rango de temperaturas que se pueden observar para los niveles que van de 250 a 600 metros de profundidad se encuentran entre 6.6 y 13 grados centígrados. En la figura 6.5 (d) se puede distinguir como el agua de temperatura más baja, que oscila entre los 10.4 y 16.8 grados centígrados para los niveles 50, 100, 150 y 200, va siendo sustituida por agua con una mayor temperatura, entre los 18 y los 26.4 grados, como se puede observar dentro de los mapas de la figura 6.5 (a),(b) y (c), la temperatura desciende a mayor profundidad. Se puede observar la presencia del Domo desde la superficie del mar representada en la figura 6.6 hasta una profundidad de 400 metros visualizada en la figura 6.4(a).

Para los mapas correspondientes al DOMO 2, en las profundidades de 650 a 800 y de 850 a 1000 metros de profundidad (en la figura 6.8 y 6.7 respectivamente) se puede observar una baja gradual de temperaturas, los rangos que abarcan van de 5.5 a 7.5 °C y de 4.5 a 5.5 °C respectivamente, se percibe un decremento de temperatura mostrando en la profundidad de 650 metros de la figura 6.8(d) ya que la temperatura más alta del rango es de 7.5 °C. Para los niveles de 450 a 600 metros de profundidad se despliega un rango de entre 6.5 y 9.5 °C, a 450 metros de la figura 6.9 (d) se observa la temperatura más alta dentro de este rango y mientras más descende, más baja la temperatura, mostrando en el nivel de 600 metros desplegada en la figura 6.9 de profundidad temperatura más frías que van de 6.5 a 7.7 °C. Entre los niveles que se encuentran a una profundidad de entre 250 a 400 metros se observan temperaturas de entre 8.2 y 13.2 °C, no es un rango tan grande de cambio, sin embargo se puede observar que hay una baja significativa para la profundidad de 400 metros (a) visualizándose en la figura 6.10 temperaturas de 8.2 a 10.2 °C. Mientras se va descendiendo observamos en la figura 6.11 como va en aumento el cambio de temperatura cálida a fría, aunque con una vasta presencia de agua cálida en los niveles contiguos a la superficie, para la profundidad de 50 metros (d) se muestra la predominancia de agua cálida todavía, mostrando temperaturas de 16.2 hasta 24 grados, mientras que ya para la profundidad de 200 metros (a) se muestran temperaturas de entre 11 y 14.9 °C. En la figura 6.12 se puede observar que la temperatura de la superficie tiene variaciones dentro del rango de 26.9 y 28.9 °C. En general existe congruencia con la variación de temperatura a lo largo de la columna de agua, siendo más fría mientras más profundo se encuentre.

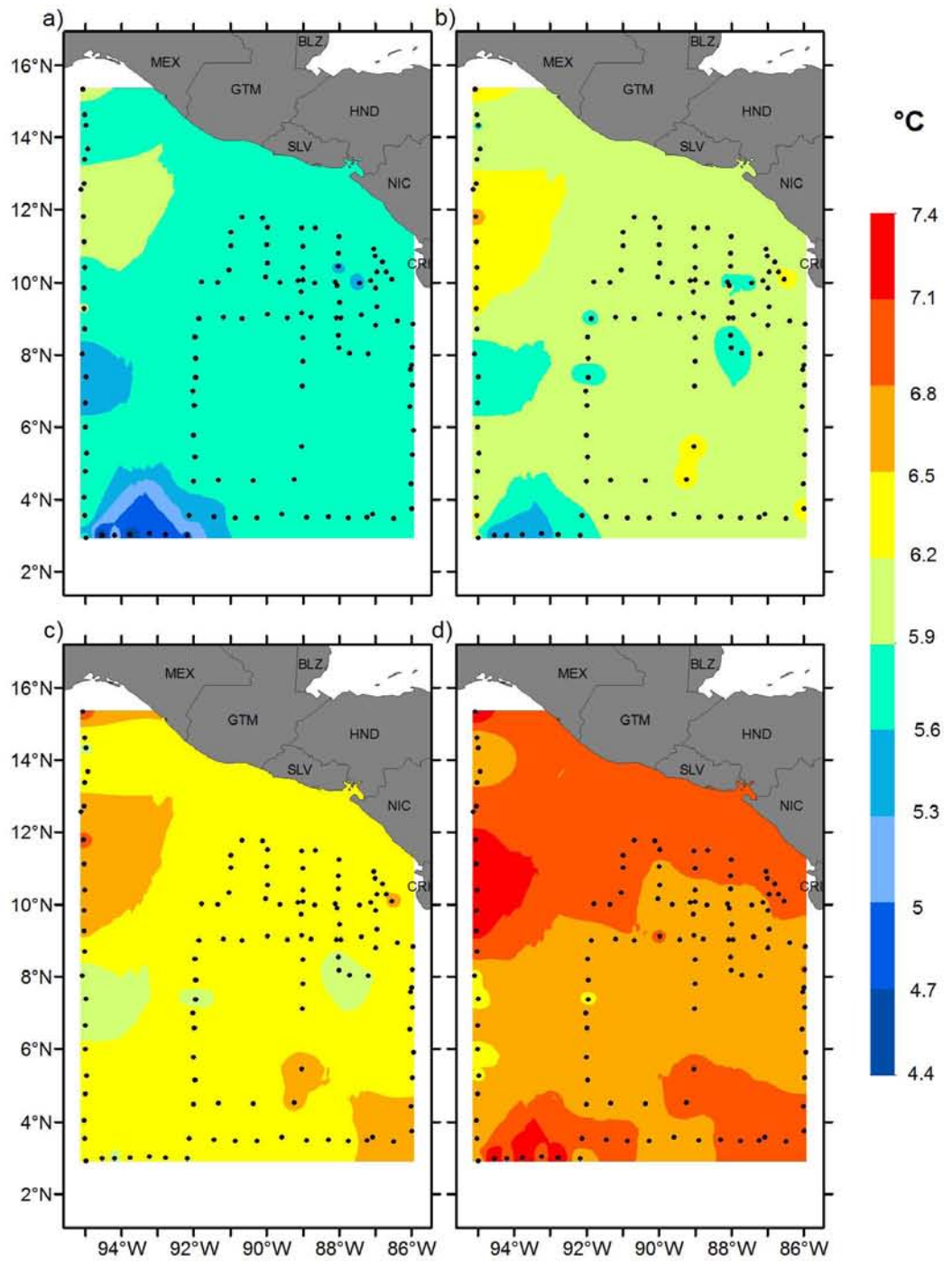
Dentro de los mapas que pertenecen a la campaña del DOMO 3 se puede observar que la figura 6.18 donde se muestra la superficie mantiene temperaturas que van de entre 24.3 y 29.3 grados, sin embargo se observan también zonas que despliegan temperaturas de 29.3 °C o una pequeña porción que muestra incluso una temperatura de 24.3 °C, aunque no son muy grandes estas zonas, posteriormente se puede observar en la figura 6.17 que en los niveles posteriores hay una presencia mucho mayor de agua fría, casi inmediatamente. Para la profundidad de 50 metros (d) todavía hay agua un tanto cálida con temperaturas de hasta 26.5 °C, pero ya para la profundidad de 100 metros (c) la temperatura más alta no pasa de los 17.5 grados disminuyendo para la profundidad de 200 metros(a) hasta una temperatura de 11.5. Para las

profundidades de 250, 300, 350 y 400 metros, la temperatura tiene una variación de 8.6 a 12.6 °C, se muestran las temperaturas más altas dentro de este rango para los 250 (d) y 300 metros (c) con variaciones entre 10.6 y 12.6 °C, mientras que para los 350 (b) y 400 metros (a) es de 8.6 a 11 °C (figura 6.16). Esto mismo se puede observar para los niveles que van de 450 a 600 metros mostrados en la figura 6.15 con un rango de 6.6 a 9.6 °C, los niveles de 650 a 800 metros (figura 6.14) con variaciones de 5.4 a 6.8 °C, y los niveles de 850 a 1000 metros de profundidad con temperaturas que abarcan de los 4.5 a los 6 °C. Se visualiza que para los niveles de 1000, 800 y 600 la temperatura más baja de su respectivo rango de temperaturas, mientras que su temperatura más alta registrada en esos mismos rangos la tienen los niveles 850, 650 y 450.

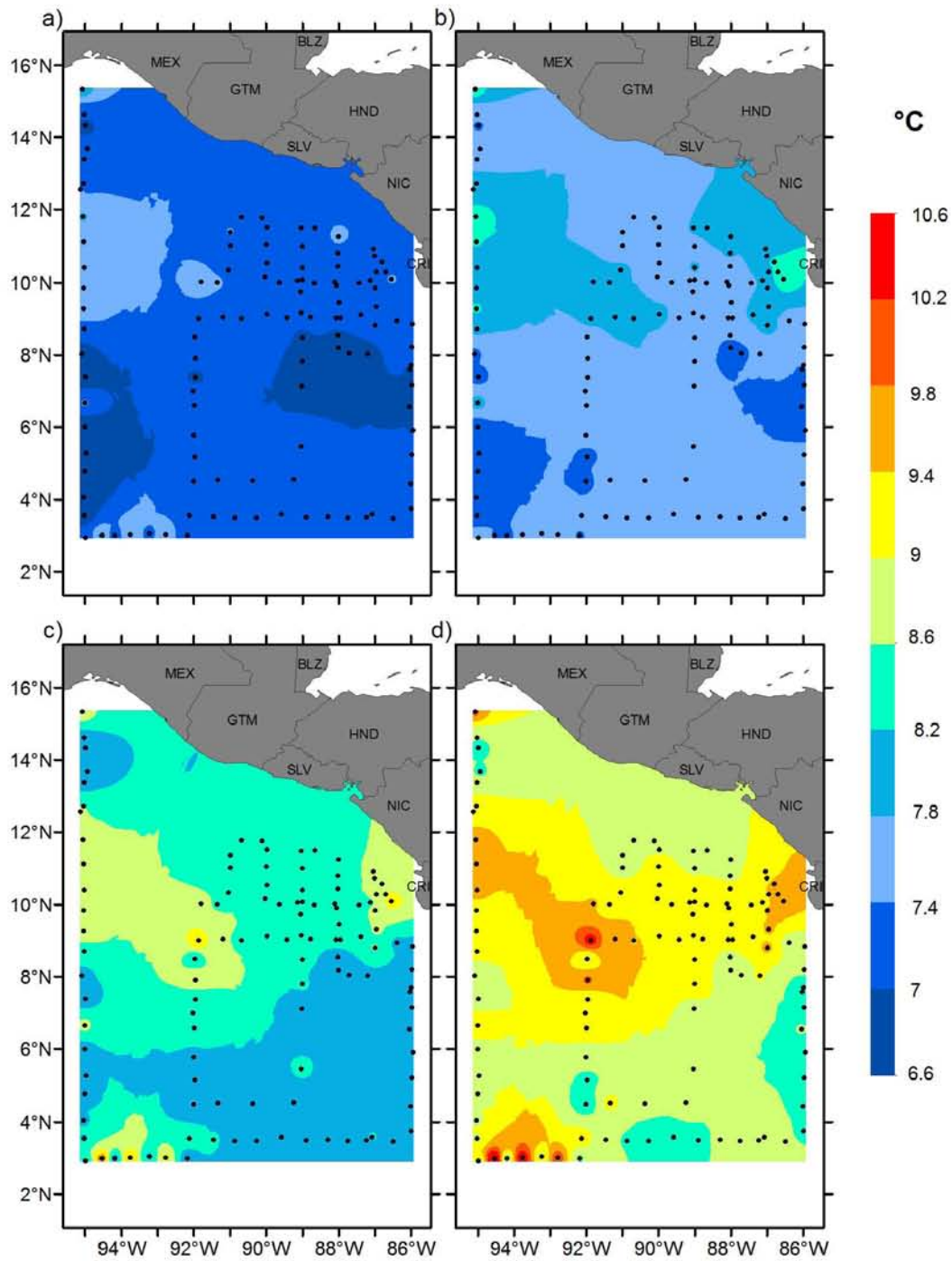
En los mapas del DOMO 4 observamos una gran masa de agua con temperaturas que oscilan en un rango de 30.6 a 34 °C para la figura 6.24. Disminuyendo significativamente el rango de temperatura, que abarca de 10.9 a 27.9 °C, para los niveles de 50 a 200 metros (figura 6.23) y con una masa significativa de agua caliente para la profundidad de 50 metros (d), ya que a partir de la profundidad de 100 metros (c) comienza a bajar la temperatura mostrando en este mapa valores de 19.4 °C como más alta temperatura y de ahí se descende hasta mostrar valores de 10.9 grados para las profundidades de 150 (b) y 200 metros (a). Para los niveles de 250 a 400 metros la temperatura varía de 8 a 13.4 grados, la temperatura más calida en este rango se muestra a una profundidad de 250 metros (d) mientras que la temperatura más baja se ve, aunque en muy poca proporción, en la profundidad de 400 metros (a). Algo semejante sucede para la figura 6.21, 6.20 y 6.19. El rango de temperaturas para la figura 6.21 va de 6.5 a 9.5 °C, mostrando para la profundidad de 450 metros temperaturas de 8.6 a 9.5 °C y para la profundidad de 600 temperaturas de 6.5 a 7.7 grados; para la figura 6.20 el cambio de temperatura es de 5 a 7 °C y para la figura 6.19 el rango va 4.5 a 5.5 °C.



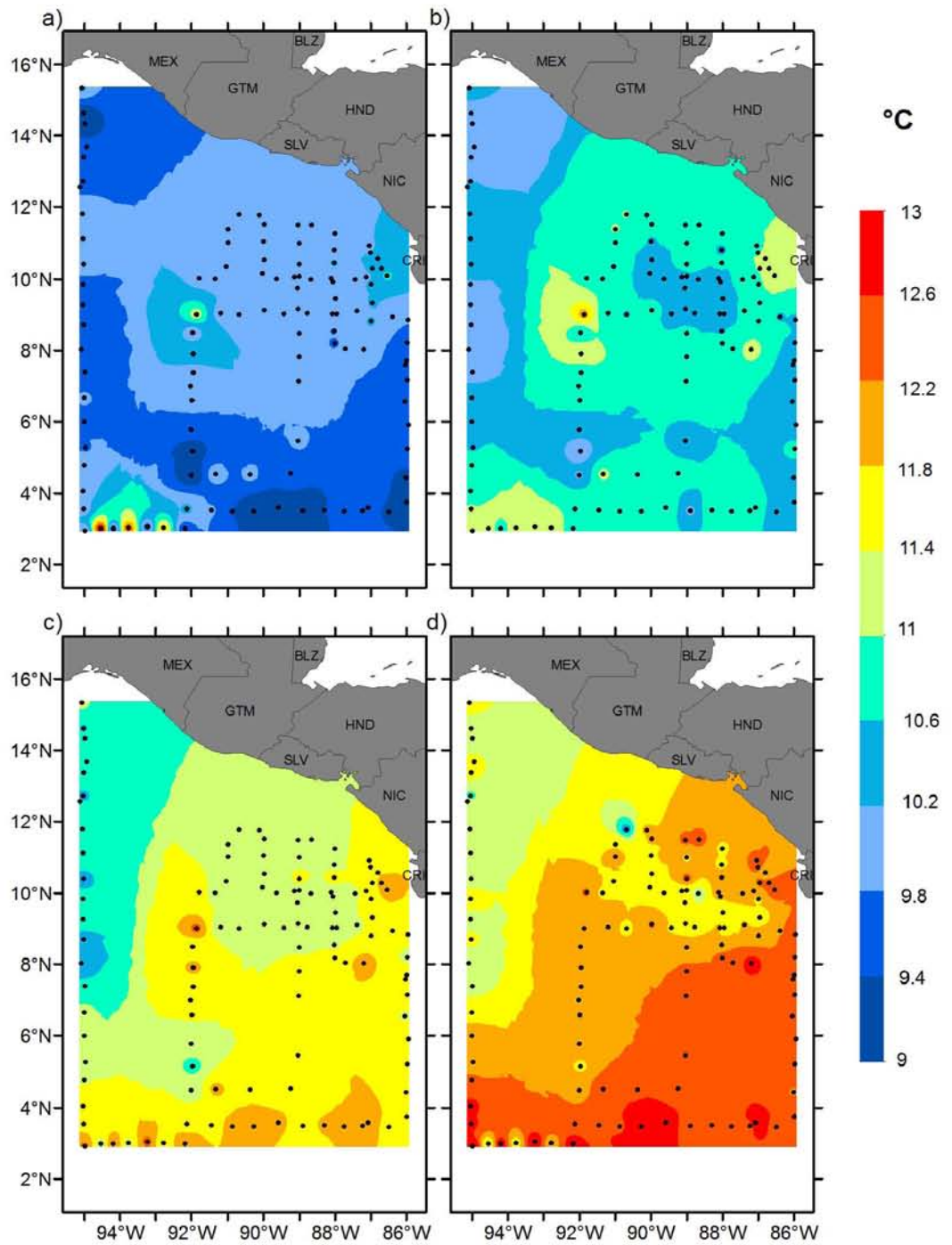
**Figura 6.1:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 1 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.2:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 1 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.

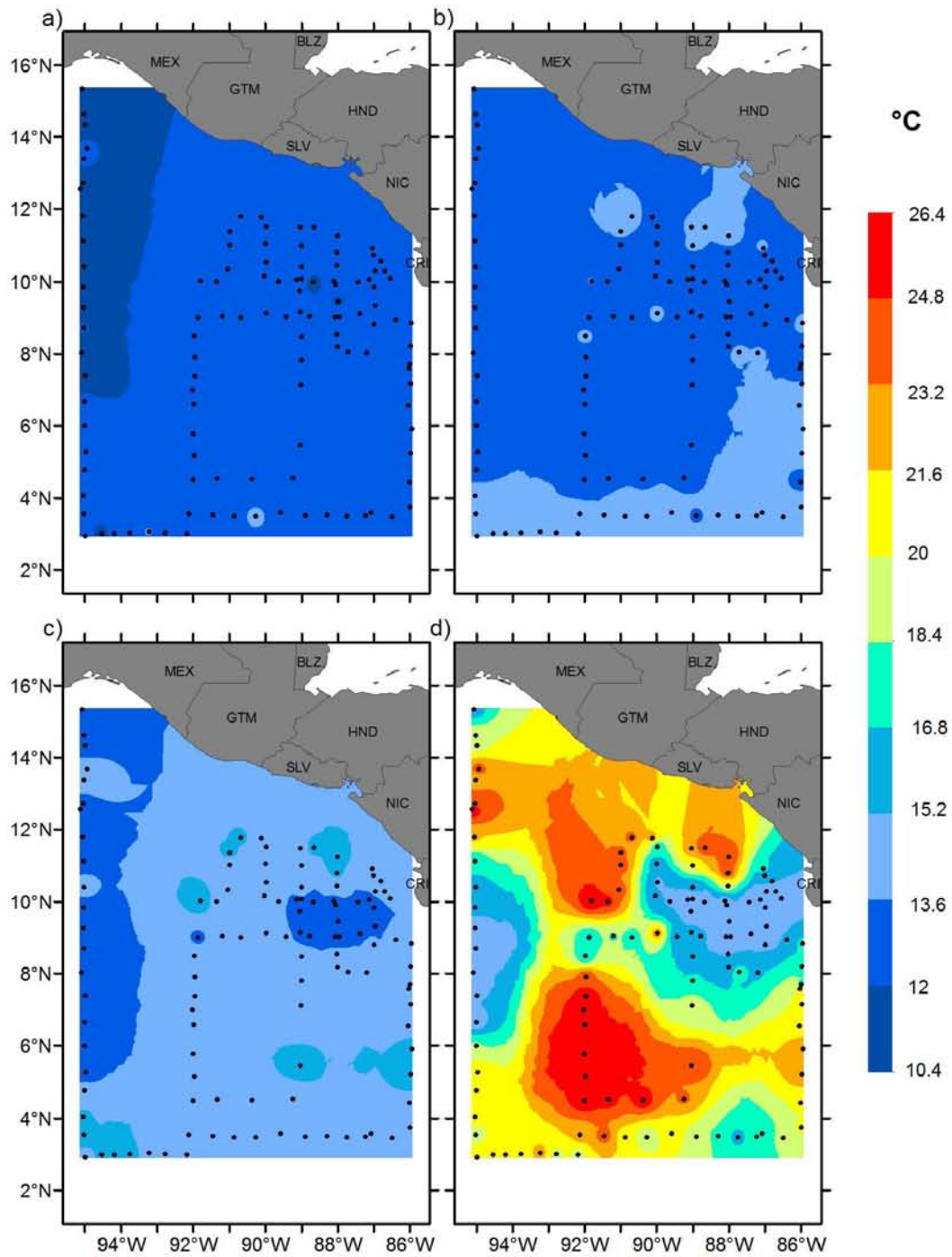


**Figura 6.3:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 1 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.

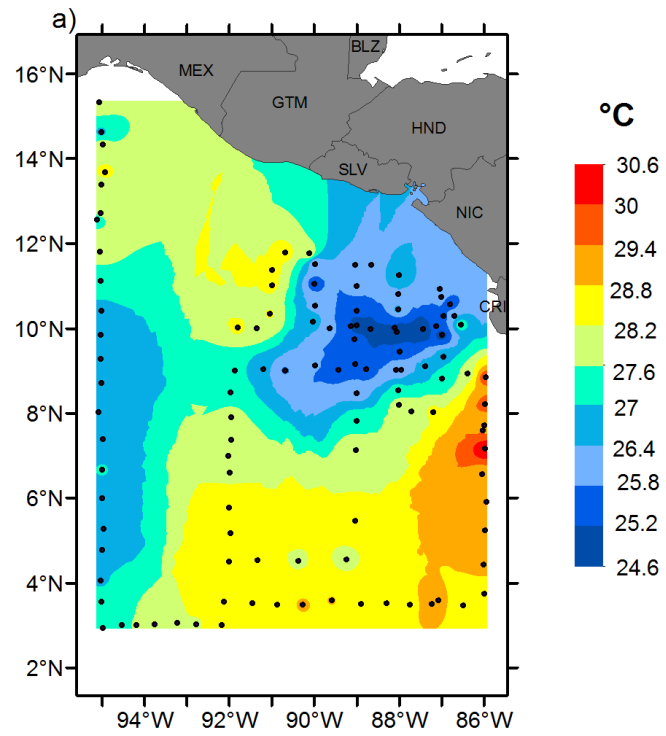


**Figura 6.4:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 1 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.

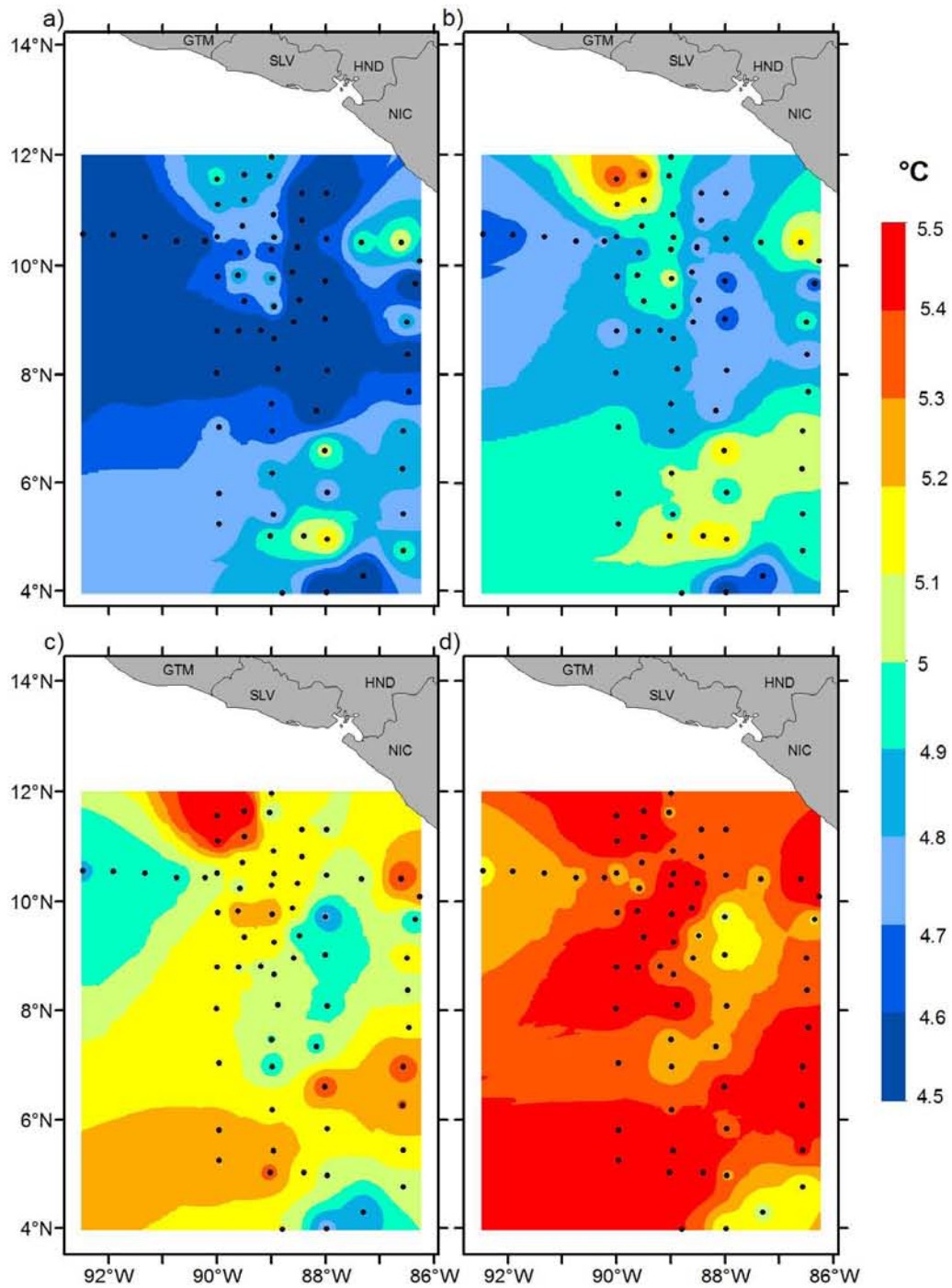




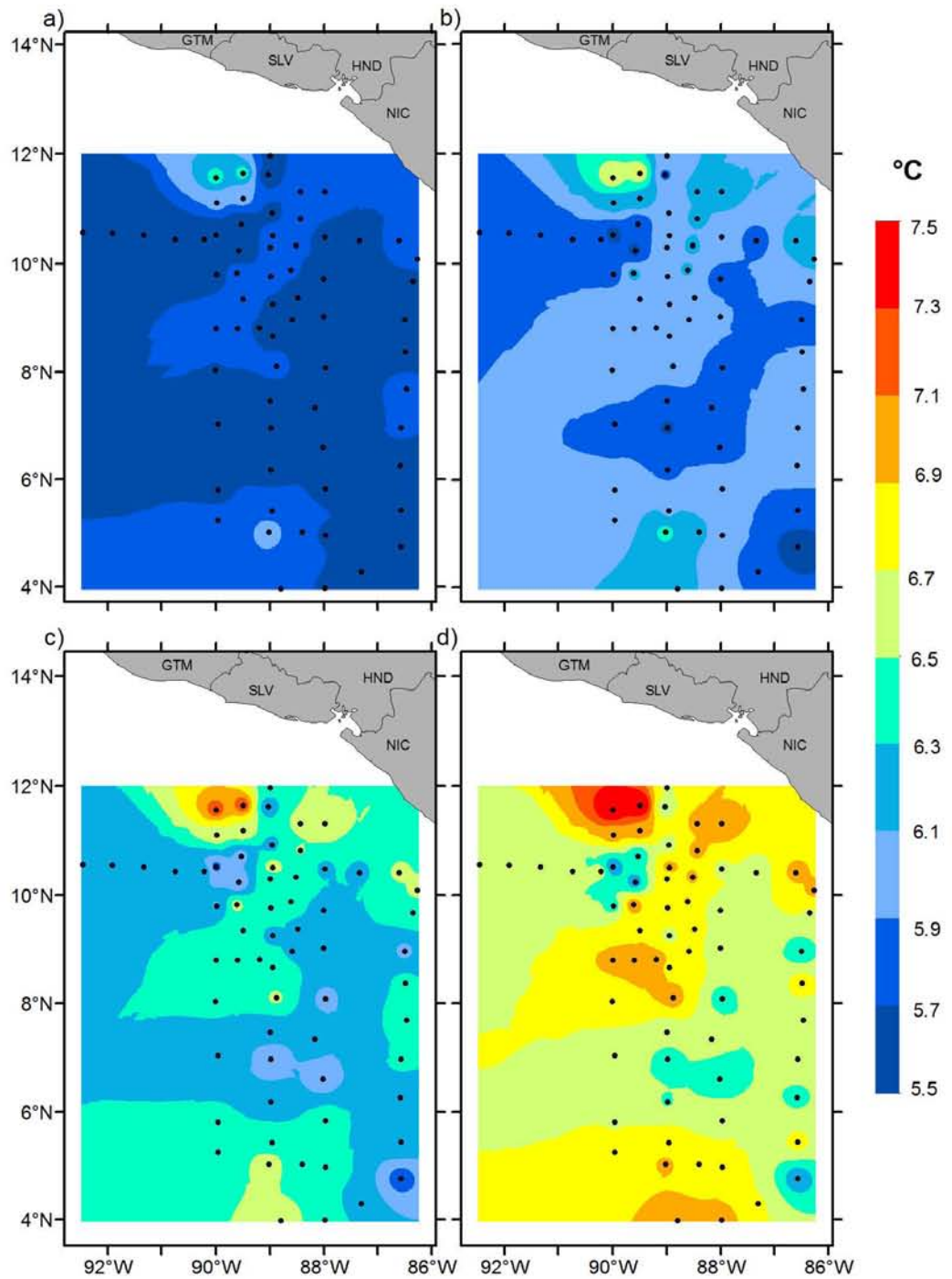
**Figura 6.5:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 1 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.



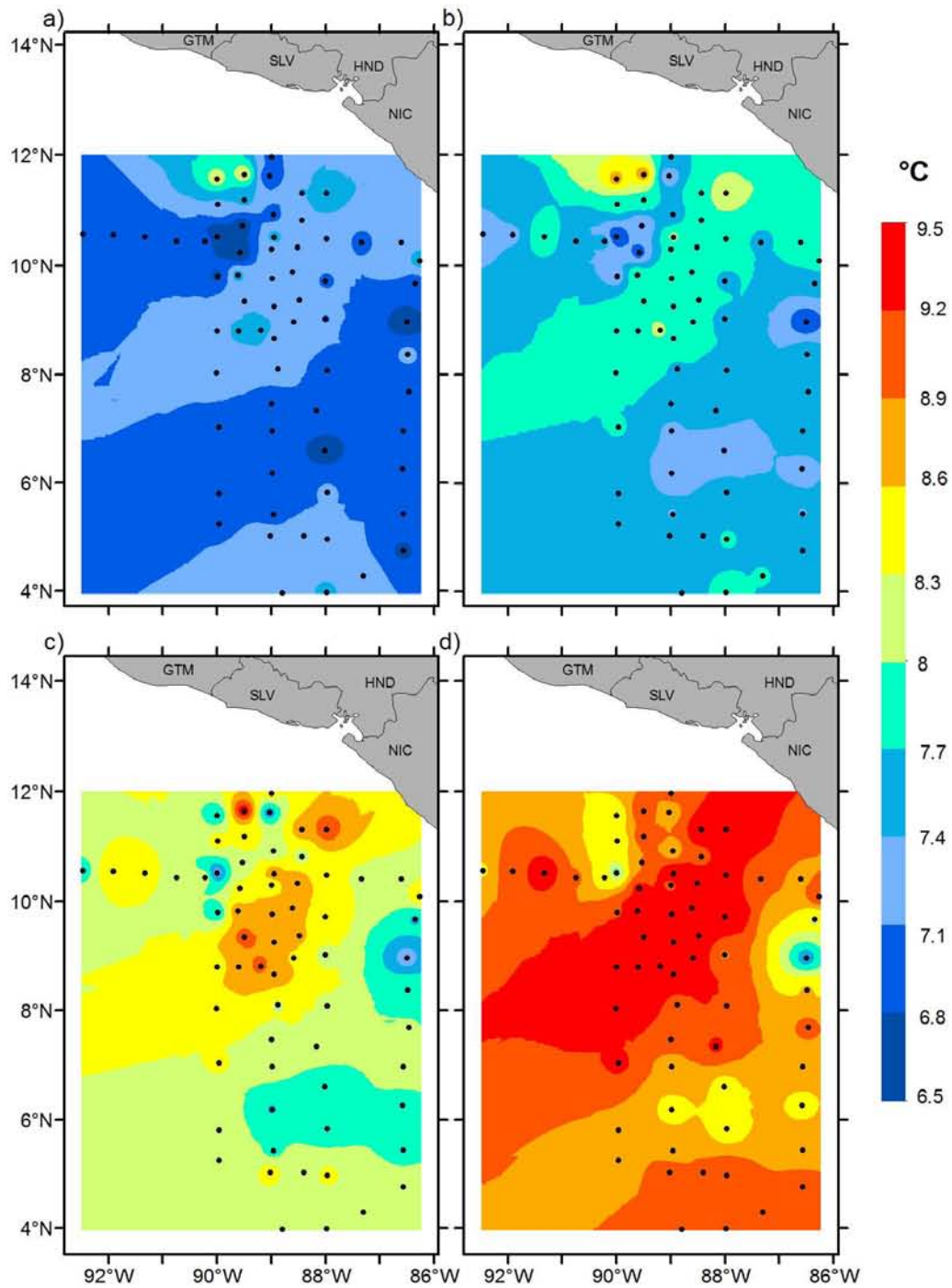
**Figura 6.6:** Mapa de temperatura en superficie de la campaña DOMO 1.



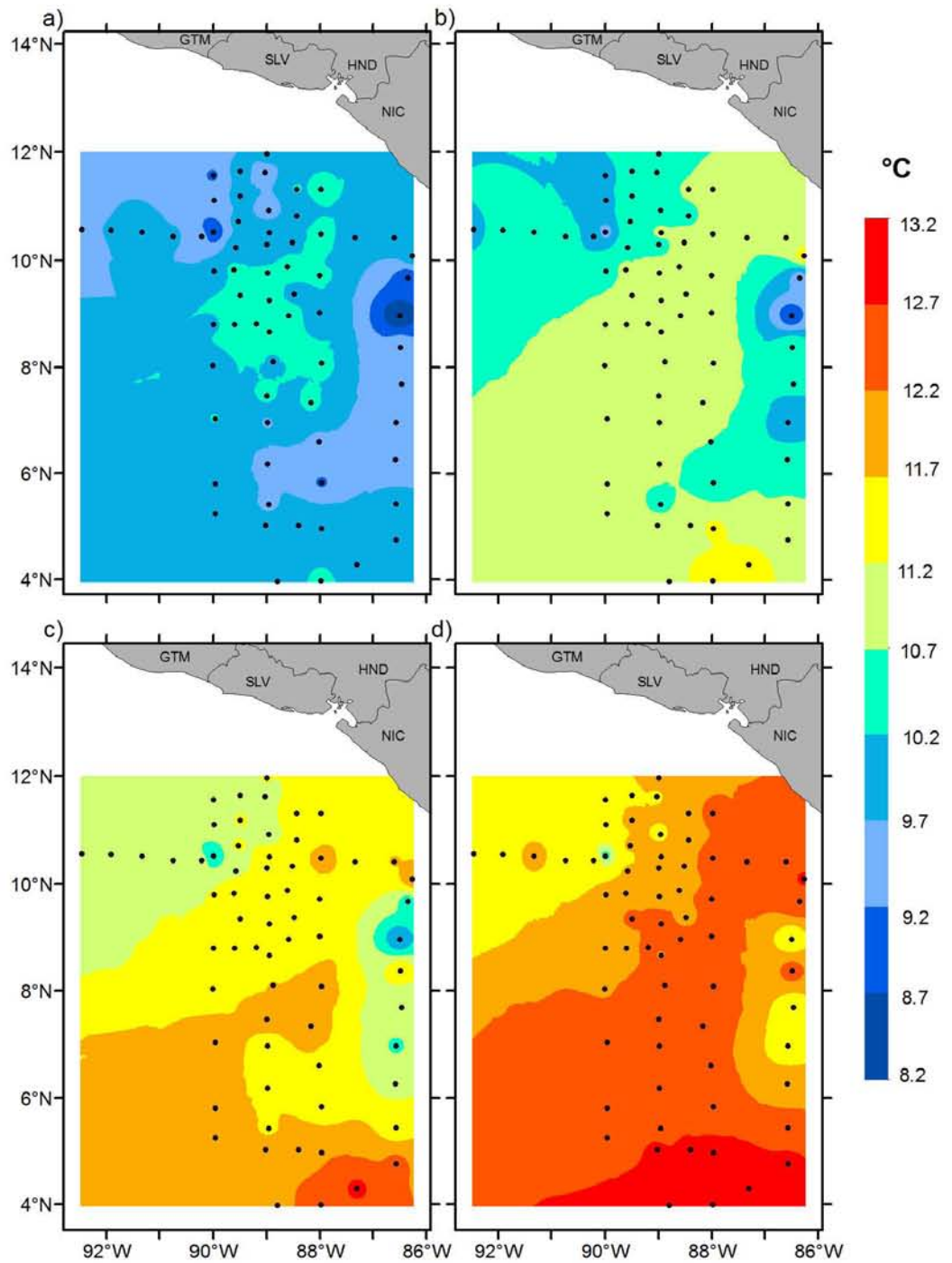
**Figura 6.7:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 2 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.



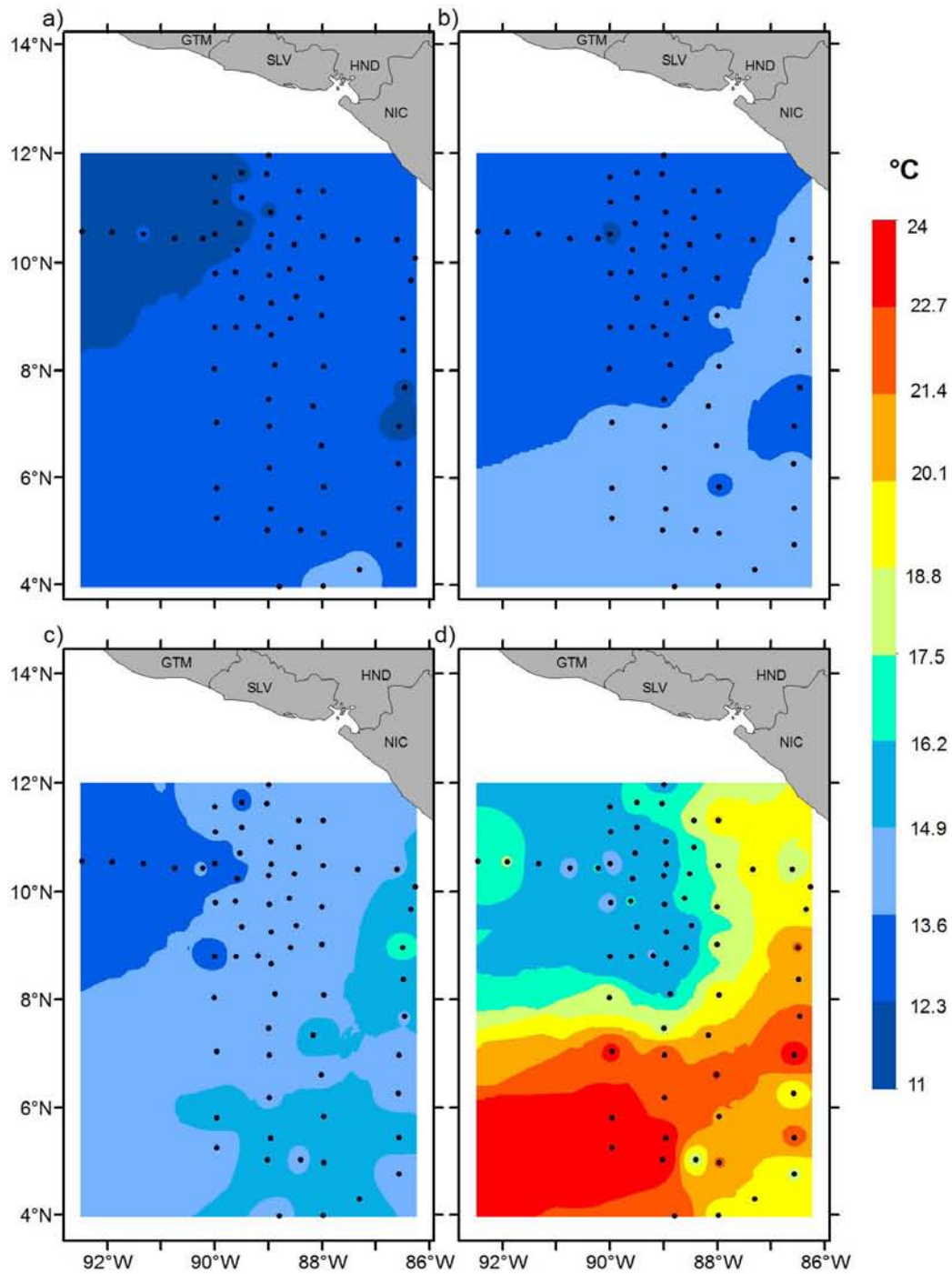
**Figura 6.8:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 2 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.



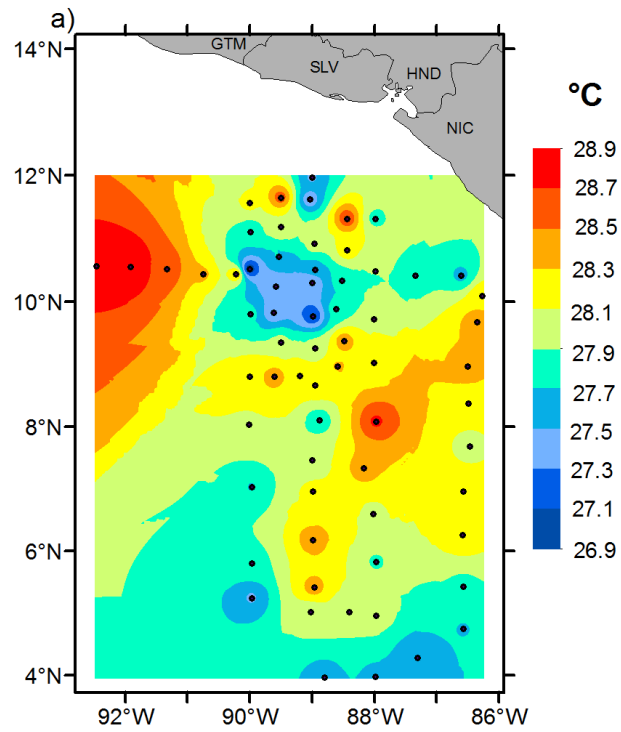
**Figura 6.9:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 2 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.10:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 2 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.

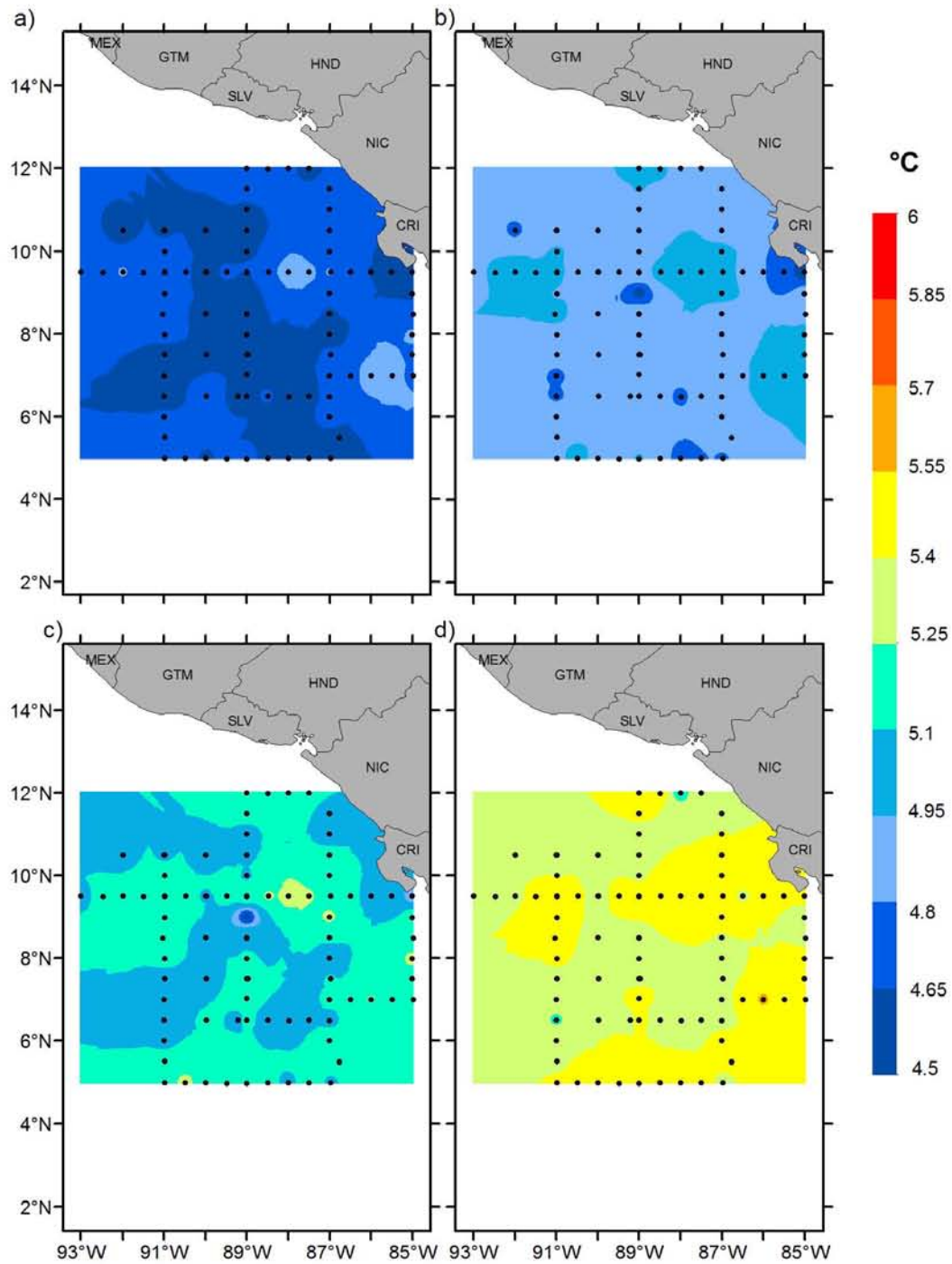


**Figura 6.11:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 2 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.

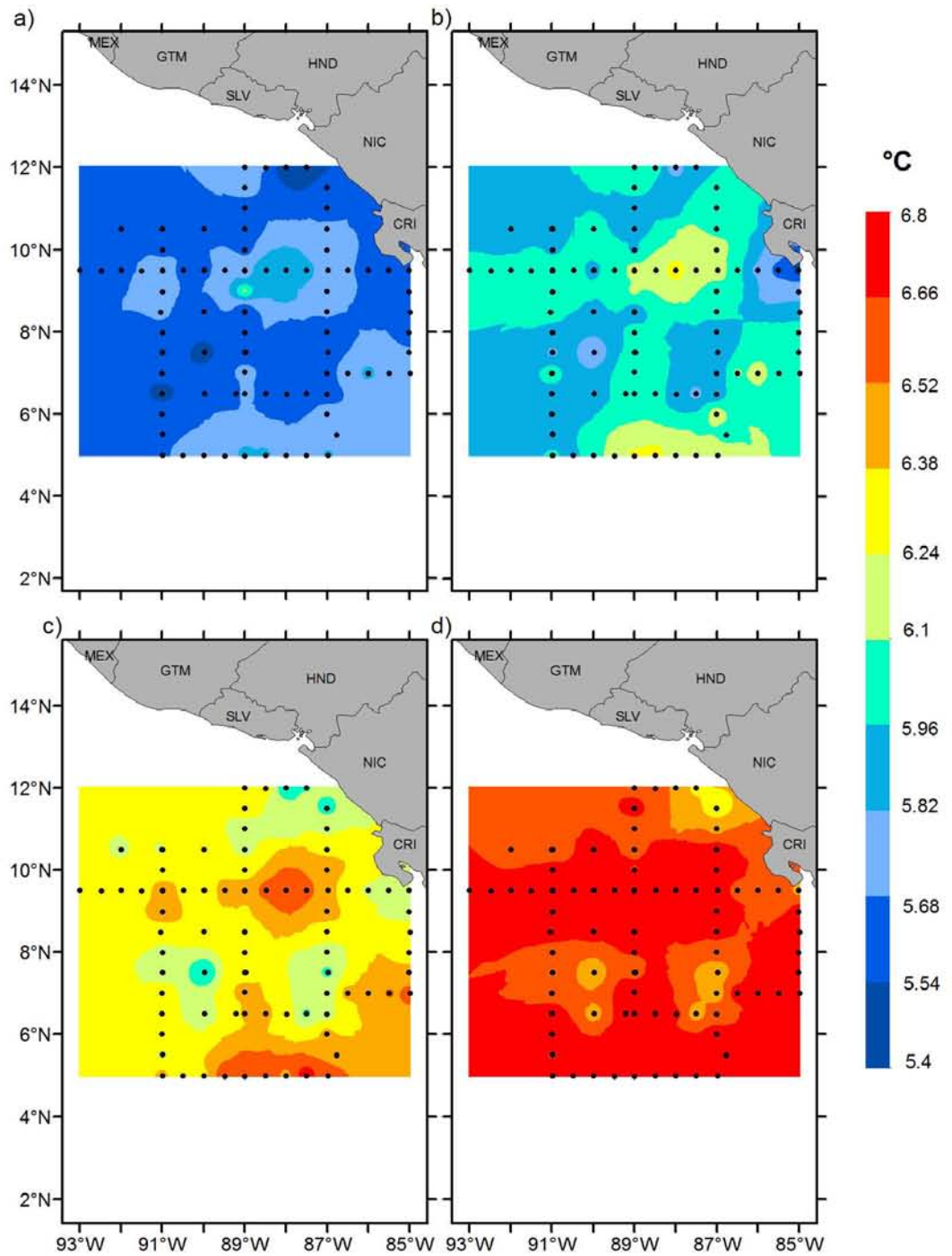


**Figura 6.12:** Mapa de temperatura en superficie de la campaña DOMO 2.

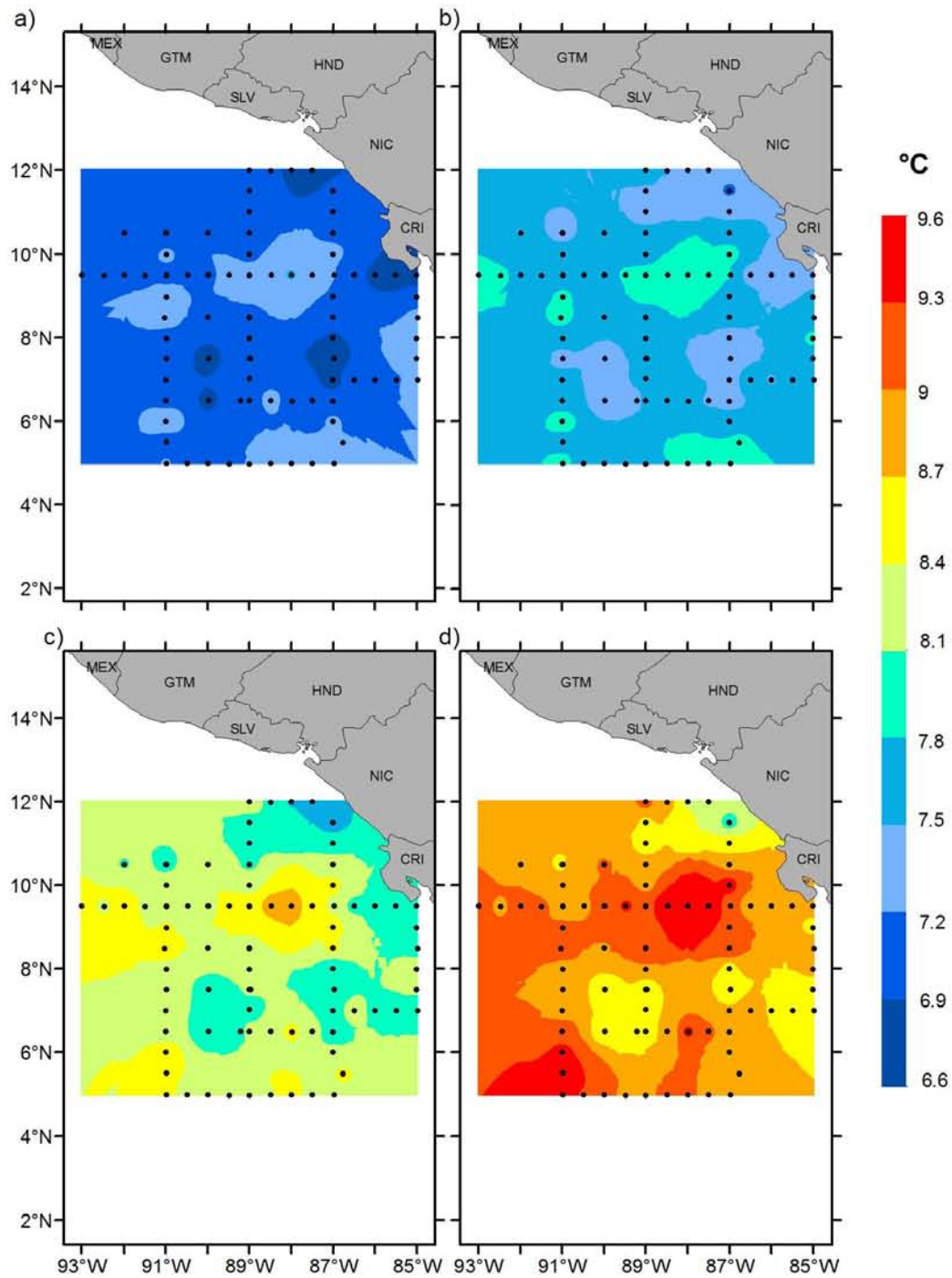




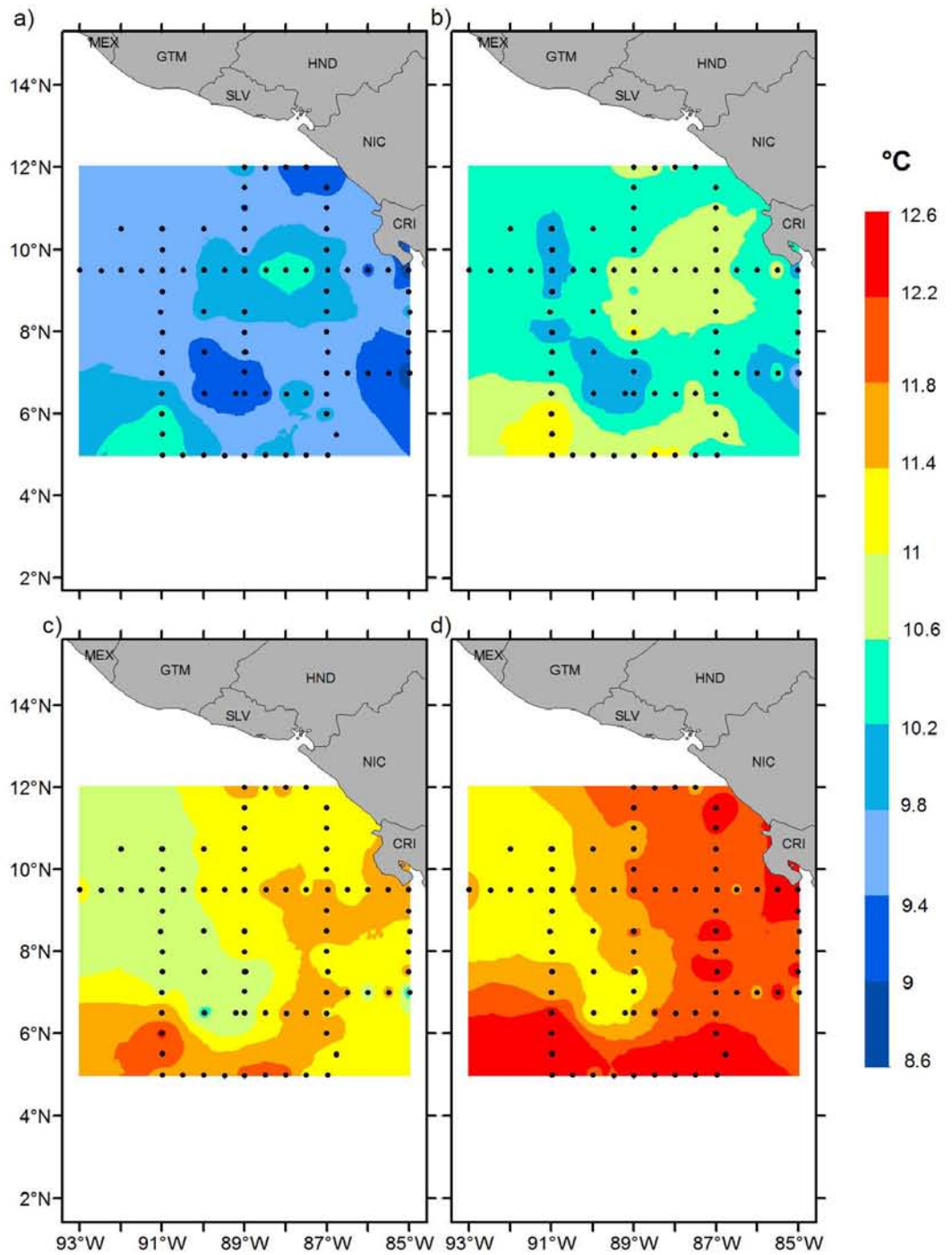
**Figura 6.13:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 3 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.



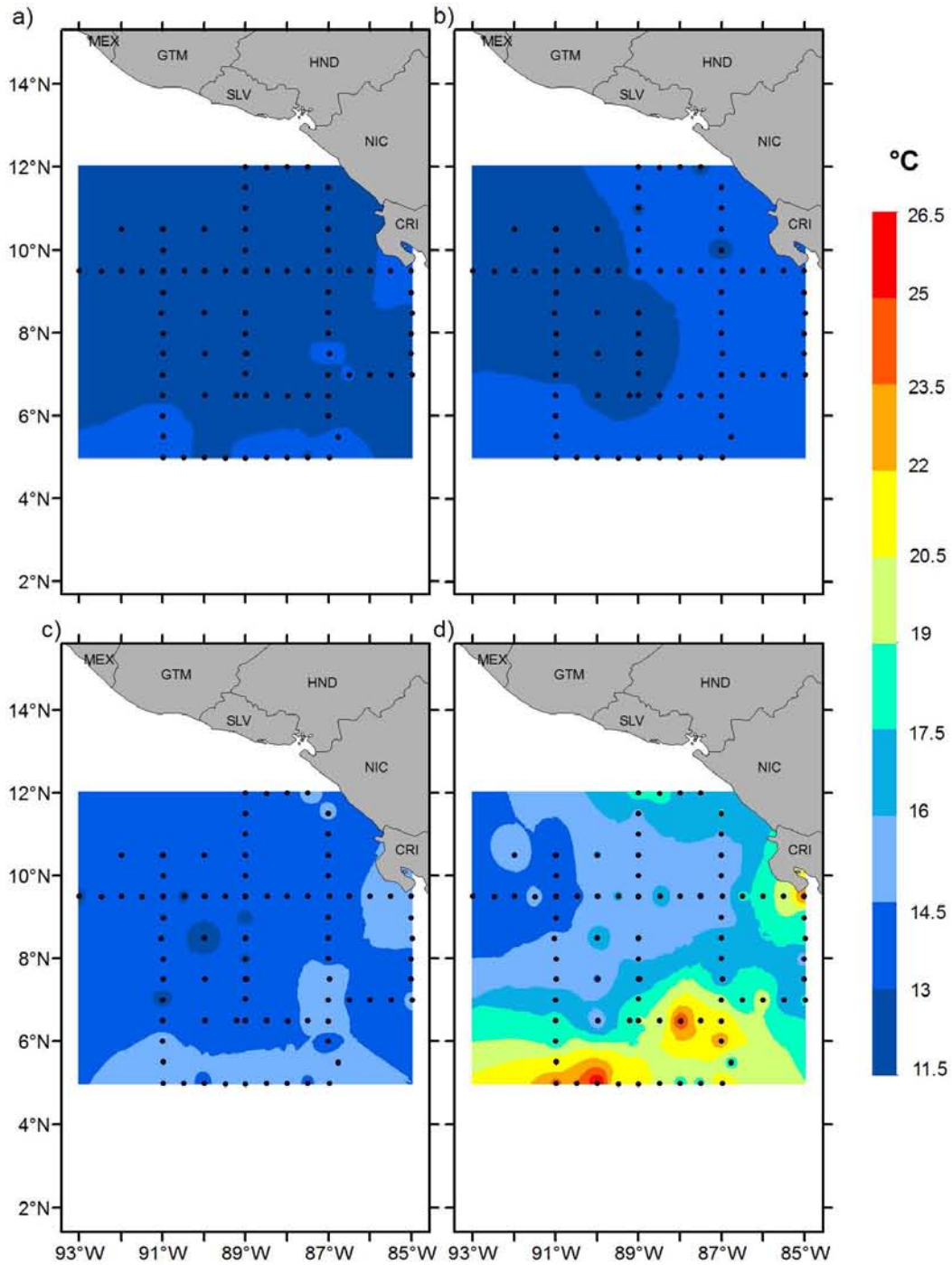
**Figura 6.14:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 3 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.



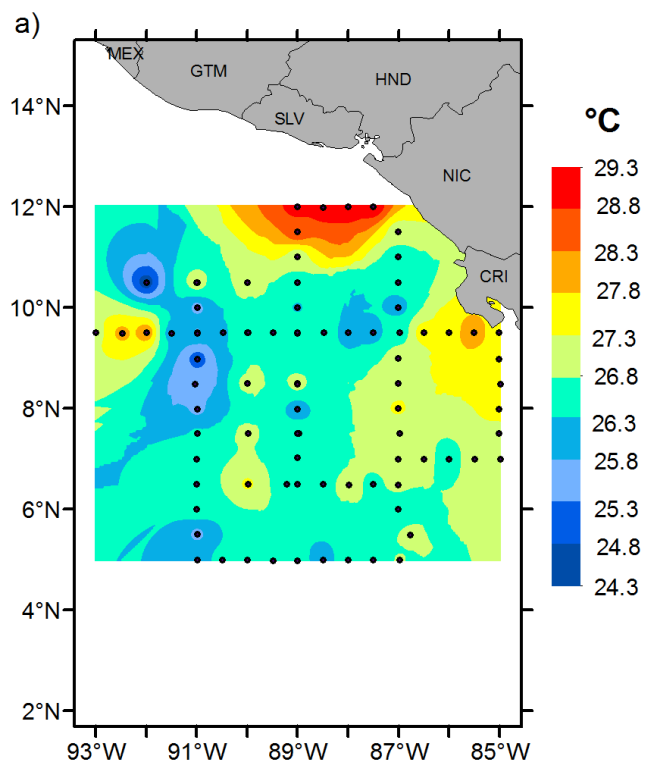
**Figura 6.15:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 3 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.



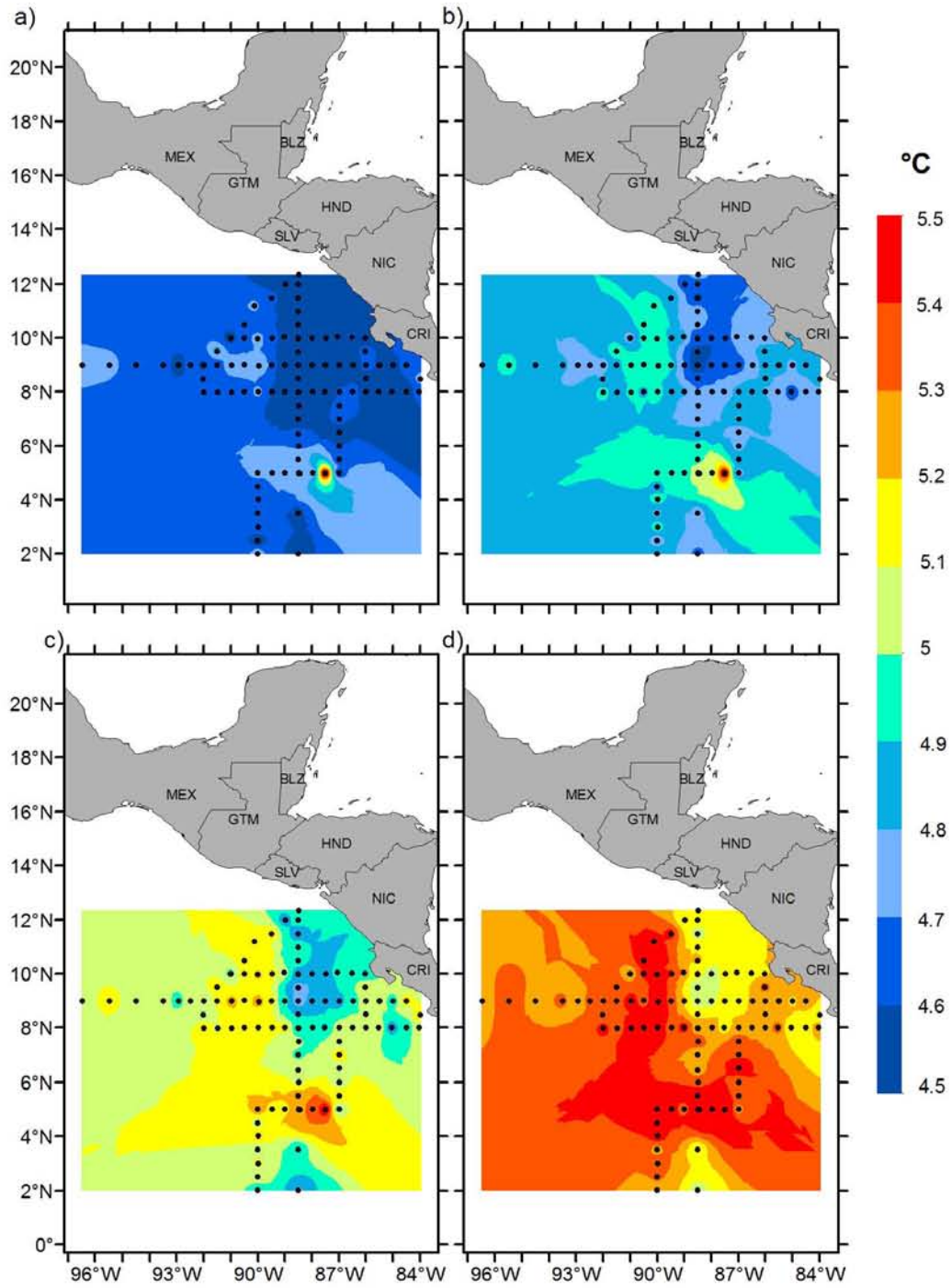
**Figura 6.16:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 3 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.



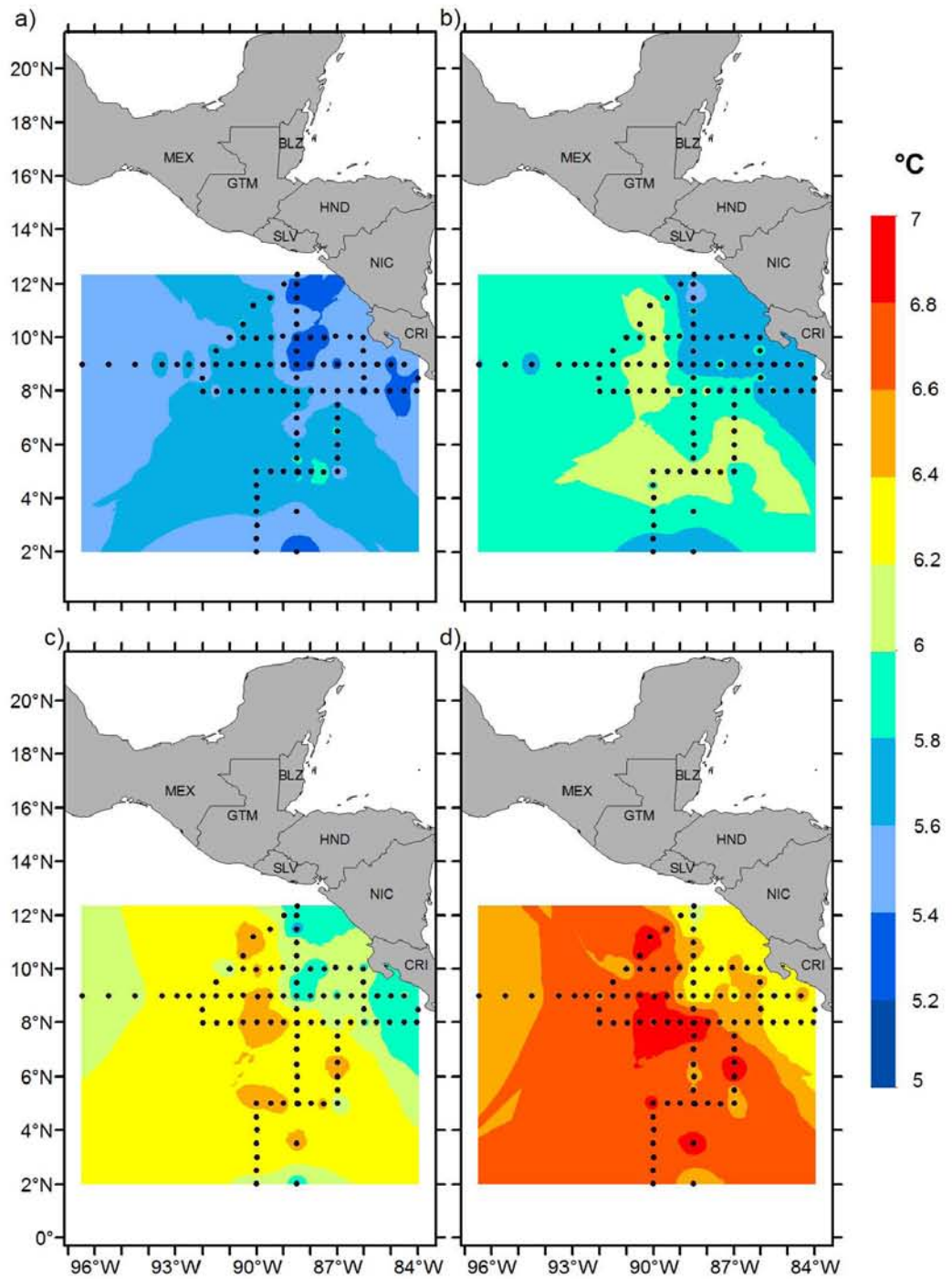
**Figura 6.17:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 3 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.18:** Mapa de temperatura en superficie de la campaña DOMO 3.

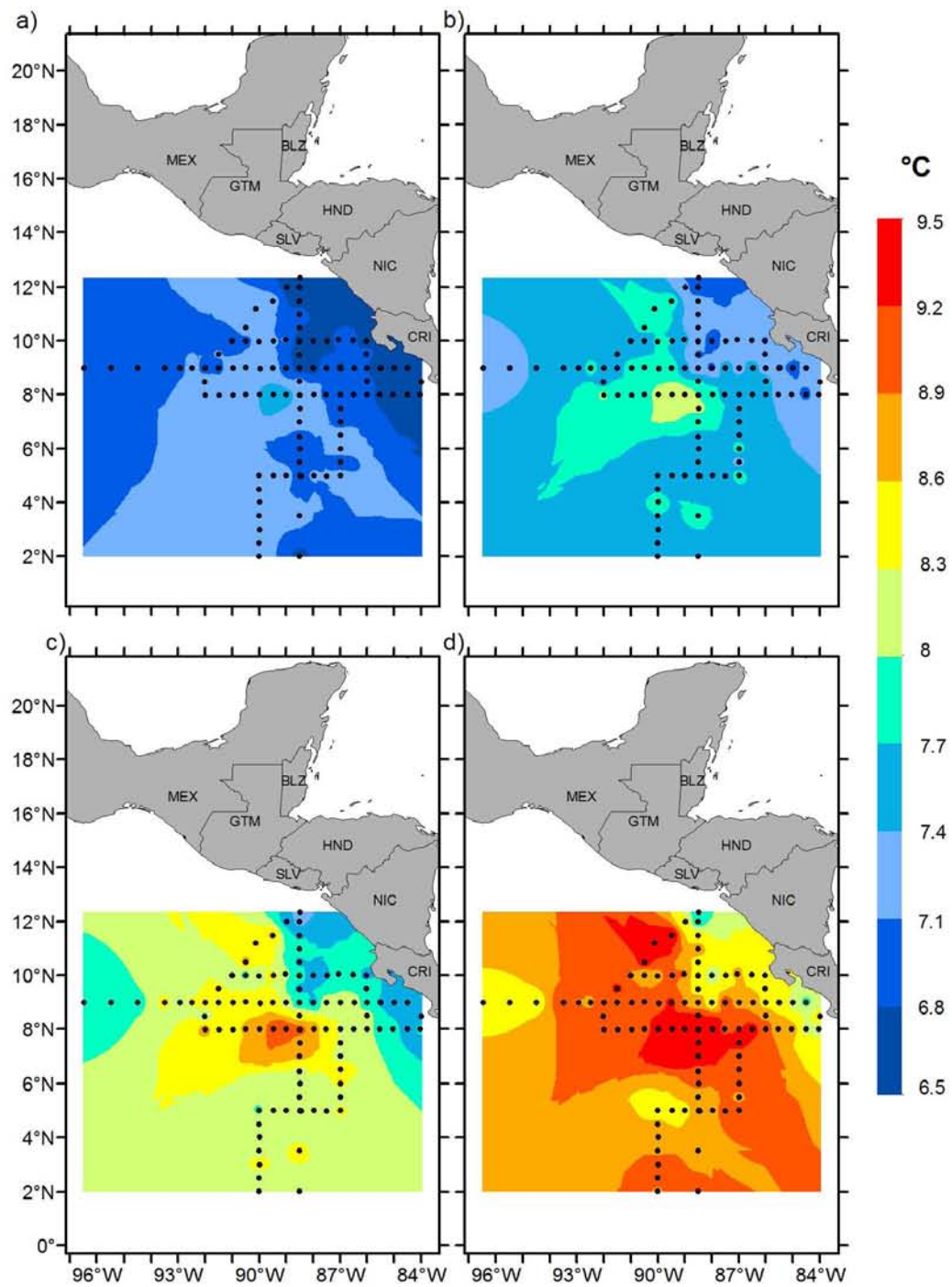


**Figura 6.19:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 4 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.

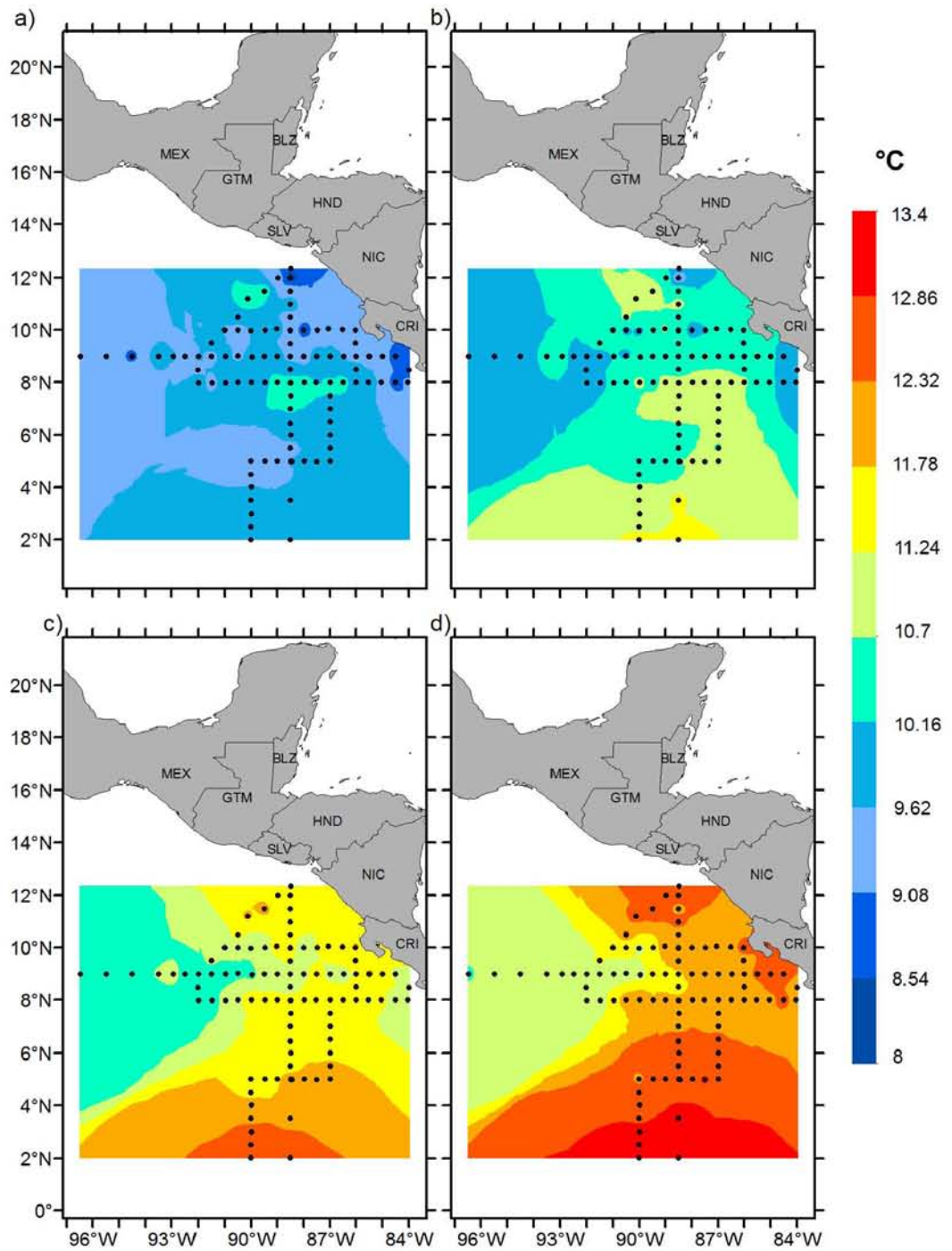


**Figura 6.20:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 4 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.

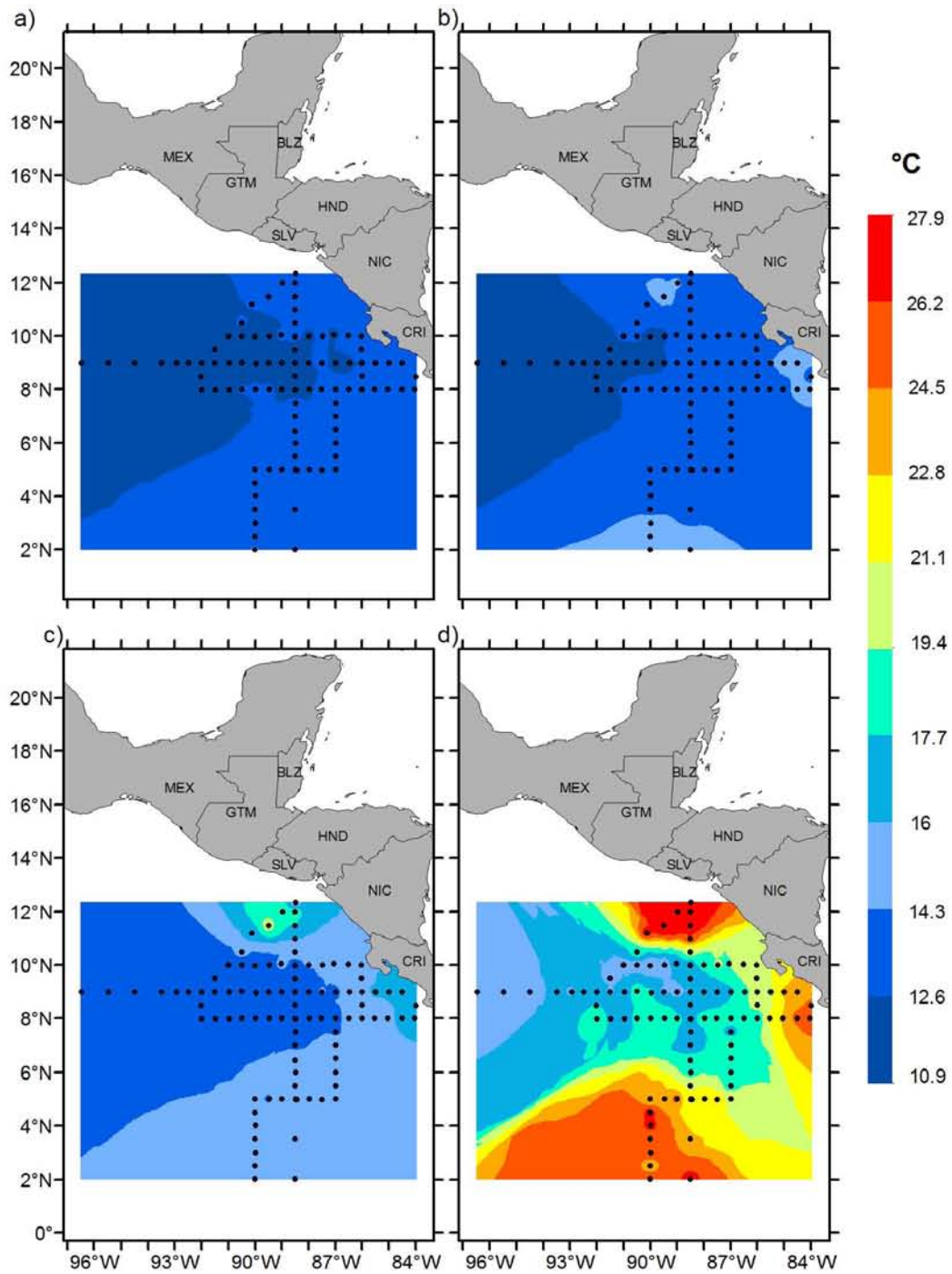




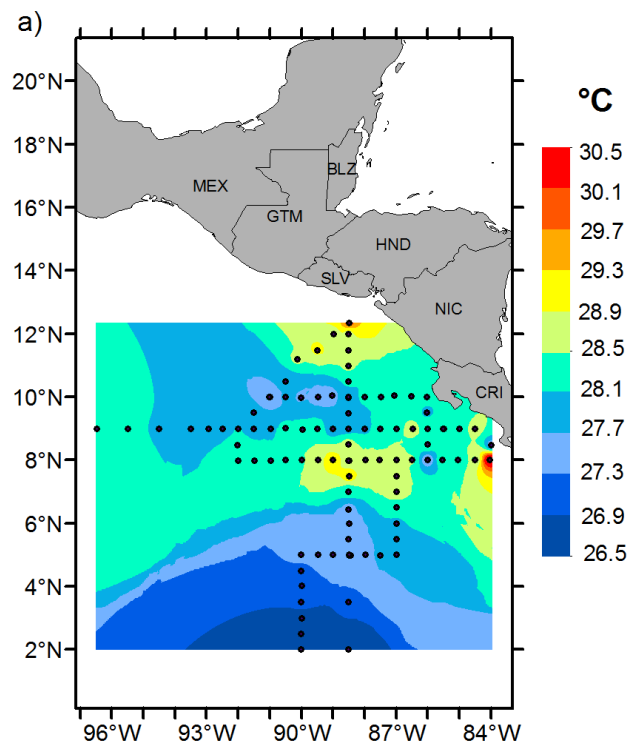
**Figura 6.21:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 4 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.22:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 4 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.23:** Mapas de temperatura de la campaña DOMO 4 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.24:** Mapa de temperatura en superficie de la campaña DOMO 4.

Para los mapas de salinidad, dentro de los que se generaron para la campaña de DOMO 1 el rango de variaciones de salinidad va de 30.3 a 35.3 UPS; para la figura 6.25 la variación es de 34.4 a 35 UPS, a una profundidad de 1000 metros se observan la máxima acumulación con 35 UPS en una pequeña parte del mapa. Posteriormente, para la figura 6.26 se tiene un rango que abarca de 34.4 a 34.6, hay muy pocas variaciones en las cuatro figuras desplegadas, manteniendo un promedio de entre 34.52 a 34.58 UPS para cada una de las profundidades. Dentro de la figura 6.27 se observa que se mantienen entre 34.5 y 34.7 UPS en promedio para las representaciones de los niveles de 450, 500, 550 y 600 metros de profundidad y dentro del rango que va de 34.3 a 34.8 UPS. Para la figura 6.28, se ve un aumento en las unidades de salinidad, los valores de salinidad aumentan y la información desplegada abarca un rango de 34.4 a 35 UPS, igual se mantienen para los cuatro mapas un nivel de variación de entre 34.52 a 34.88 UPS. Los niveles de 50, 100, 150 y 200 metros desplegados en la figura 6.29 tienen un rango de 33.3 a 35.3 UPS, el mayor cambio se ve a una profundidad de 50 metros, se puede observar en ella que hay una variación de entre 33.7 a 34.9 UPS mientras que en los otros 3 mapas el rango que despliegan abarca el de entre 34.5 hasta 35.3. En la superficie se distinguen valores de entre 30.3 a 34.5 UPS.

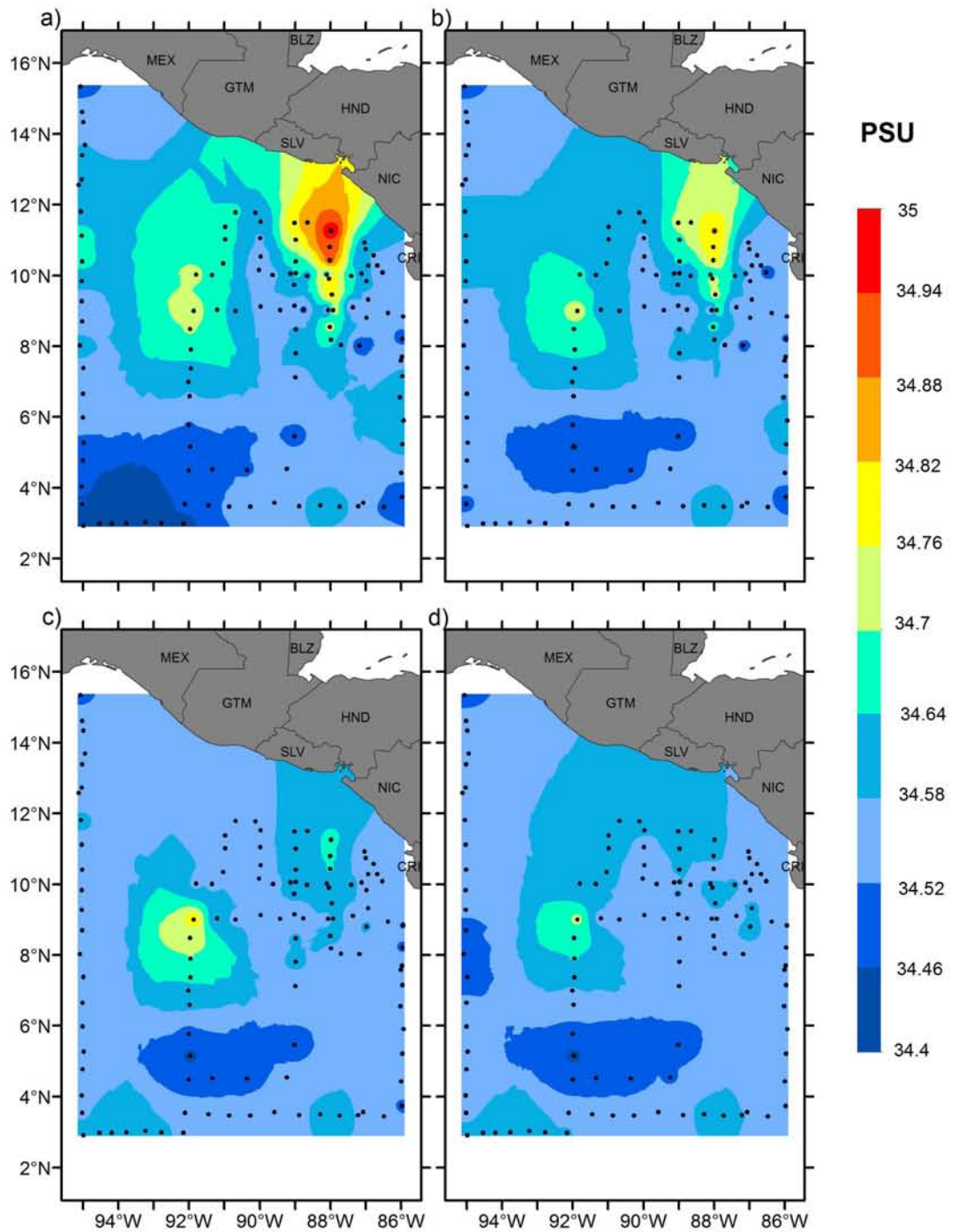
Para los mapas de salinidad de la campaña de DOMO 2 la variación de salinidad abarca de 32.9 a 35.2 UPS. Los niveles más bajos mostrados en la figura 6.31 tienen variaciones de entre 34.5 a 34.7 UPS con presencia de algunos cúmulos de 34.75 hasta incluso de 35 UPS, aunque estos son mínimos. En la figura 6.32 se observa nuevamente una “estabilización” sin cambios muy bruscos en los niveles de 650, 700, 750 y 800 metros de profundidad, se pueden ver valores que oscilan de entre 34.56 a 34.66, con pequeñas agrupaciones de valores extremos dentro del rango de 34.5 a 34.7 UPS. Para los niveles de 450, 500, 550 y 600 metros de la figura 6.33 el rango de valores que abarca es de 34.5 a 34.7 PSU, aquí se puede observar que mientras más asciende la acumulación de unidades de salinidad va en aumento, para el nivel de 450 metros los valores más altos abarcan casi en su totalidad el mapa, desplegando valores de 34.66 a 34.7 UPS. Dentro de la figura 6.34, el nivel que muestra los valores más altos de salinidad es a una profundidad de 50 metros, desplegando valores de entre 34.84 a 35 UPS, mientras que en los mapas de 300, 350 y 400 metros de profundidad se observan valores sin cambios tan bruscos, abarcando de 34.68 a 34.88 de un rango de 34.6 a 35 UPS. Para la figura 6.35 el rango de valores oscila de entre 34.8 a 35.2 UPS, se puede ver que los valores desplegados son van de 34.6 a 35.04 en su mayoría, casi no hay presencia de valores más altos dentro del rango. La superficie

mostrada en la figura 6.36 muestra valores de 32.9 a 34.5 UPS, se ve una acumulación de entre 34.16 y 34.5 UPS en la parte norte mientras que en la parte sur se observan valores de entre 32.06 y 33.7 con pequeños cúmulos de los valores extremos del rango.

Los mapas de salinidad correspondientes a la campaña de DOMO 3 para los niveles de 850 a 1000 metros de profundidad desplegados en la figura 6.37 tienen un rango de 34.52 a 34.55 UPS, se observa que predominan valores que van de 34.54 a 34.55 UPS como pequeñas zonas con menor salinidad. En la figura 6.38 la variación es de 34.51 a 34.58 UPS, para las profundidades de 800, 750 y 700 metros se observan valores de entre 34.524 y 34.559 sin cambios tan bruscos, sin embargo para la profundidad de 650 hay ya una zona con mayor salinidad, desplegando valores de 34.58. Para los niveles de 450 a 600 metros desplegadas en la figura 6.39 se tiene un rango que va de 34.5 a 34.7 UPS, los mapas desplegados no muestran zonas muy grandes de valores extremos y despliegan información de valores que van de 34.54 a 34.66 UPS. Por el contrario, en la figura 6.40 se muestra en los 4 mapas de profundidades de 250, 300, 350 y 400 metros de profundidad, zonas muy grandes con valores de 34.53 a 34.8 UPS de un rango que va de entre 33.9 a 34.8 UPS. Algo similar sucede en la figura 6.41, desplegando valores de 34.58 a 34.9 UPS de un rango que oscila entre 33.3 y 34.9 UPS, para el mapa del nivel de 50 metros hay un poco más de variaciones desplegando zonas con valores más bajos. Para la superficie, mostrada en la figura 6.42, los valores van de 31.5 a 34 PSU, en su mayoría hay valores de entre 33.25 a 34 UPS con pequeñas zonas con salinidad menor.

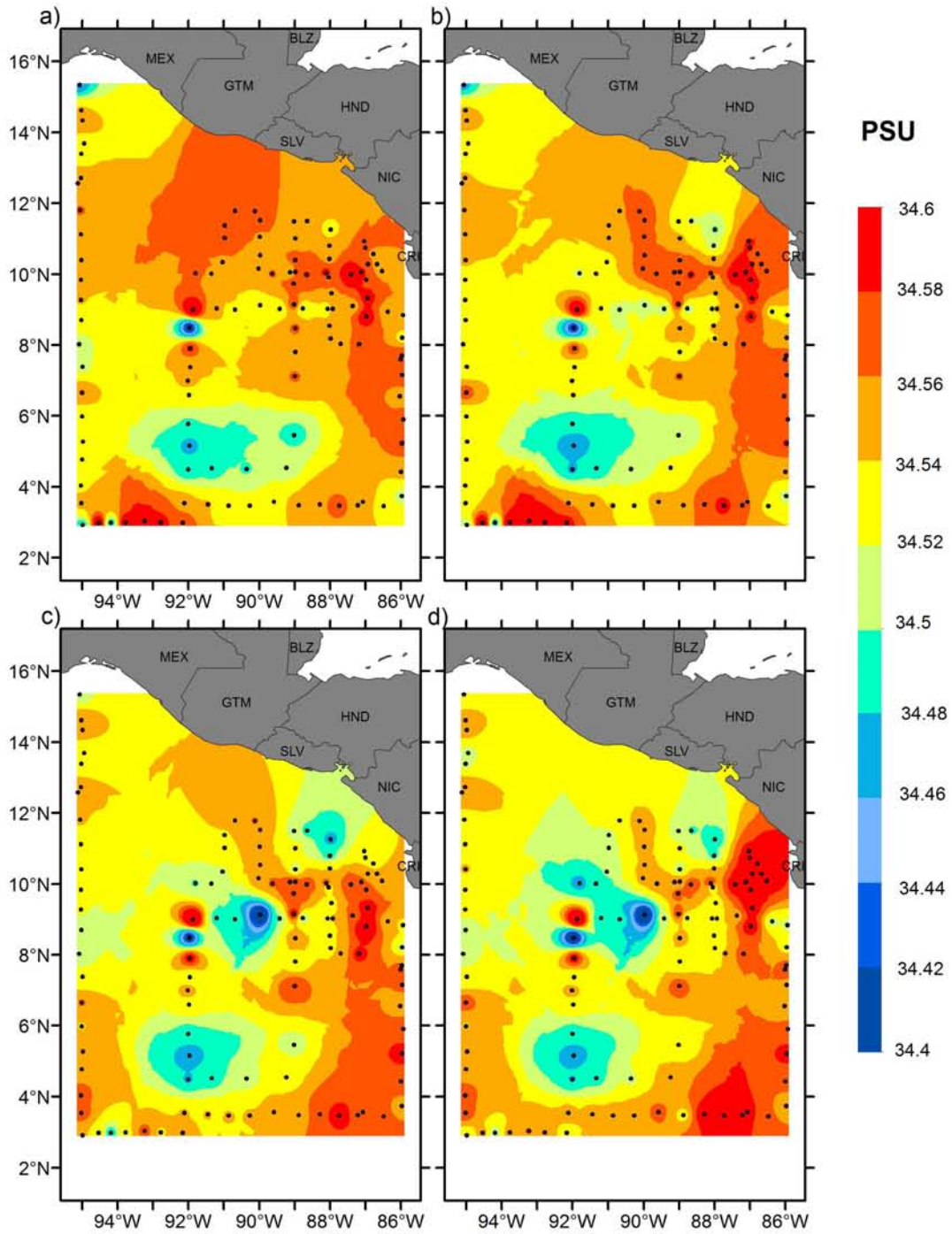
En los mapas de salinidad generados de la campaña de DOMO 4 el rango de unidades de salinidad abarca de 30.6 a 34.95 UPS. En la figura 6.43 los mapas mostrados tienen un rango de 34.47 a 34.57 UPS, con cambio gradual, se pueden observar en su mayoría valores que van de 34.5 a 34.55 UPS. Para las profundidades de 650, 700, 750 y 800 metros desplegadas en la figura 6.44 se muestran valores de 34.51 a 34.57 UPS, para la profundidad de 800 metros se ve una zona grande con valores mínimos de entre 34.51 a 34.522 UPS, mientras que en los otros tres mapas se despliegan valores de entre 34.528 y 34.552 UPS, sin mostrar cambios muy marcados entre estos. Dentro de la figura 6.45, se observa para profundidad de 600 metros valores mínimos de entre 34.55 a 34.57 UPS, aumentando para la profundidad de 550 metros, aumentando el rango a valores de 34.60, hasta que para la profundidad de 450 metros se observa el cambio más drástico con valores de 34.59 a 34.65 UPS, dentro del rango asignado de 34.55

a 34.65 UPS. Para la figura 6.46 se tiene un rango de 34.5 a 34.67 UPS, para el nivel de 250 metros de profundidad se pueden observar los valores máximos de salinidad en un rango de 34.69 a 34.87 UPS. El rango de valores para la figura 6.47 es de 32.85 a 34.95 UPS, para las profundidades de 200, 150 y 100 metros de profundidad tienen valores que forman parte del valor máximo del rango, oscilando entre 34.32 a 34.95 UPS, para la profundidad de 50 metro se muestran más variaciones, aunque la mayor parte tiene valores de entre 34.32 a 34.53 UPS. En la figura 6.48 se despliega la superficie que tiene un rango de 30.6 a 34 UPS, los valores que se observan están entre 34.62 a 33.66, con pequeñas zonas con valores extremos dentro del rango.

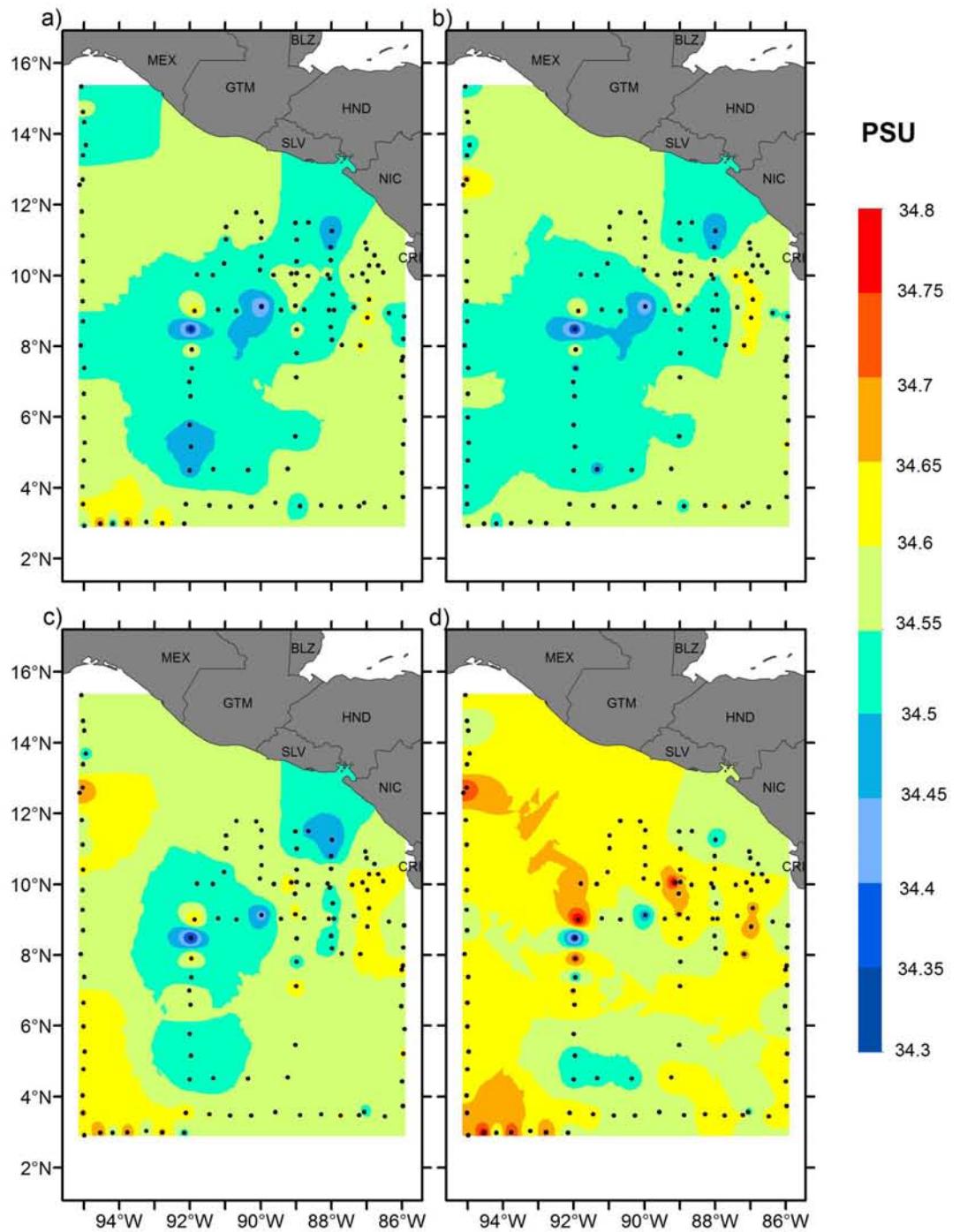


**Figura 6.25:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 1 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.

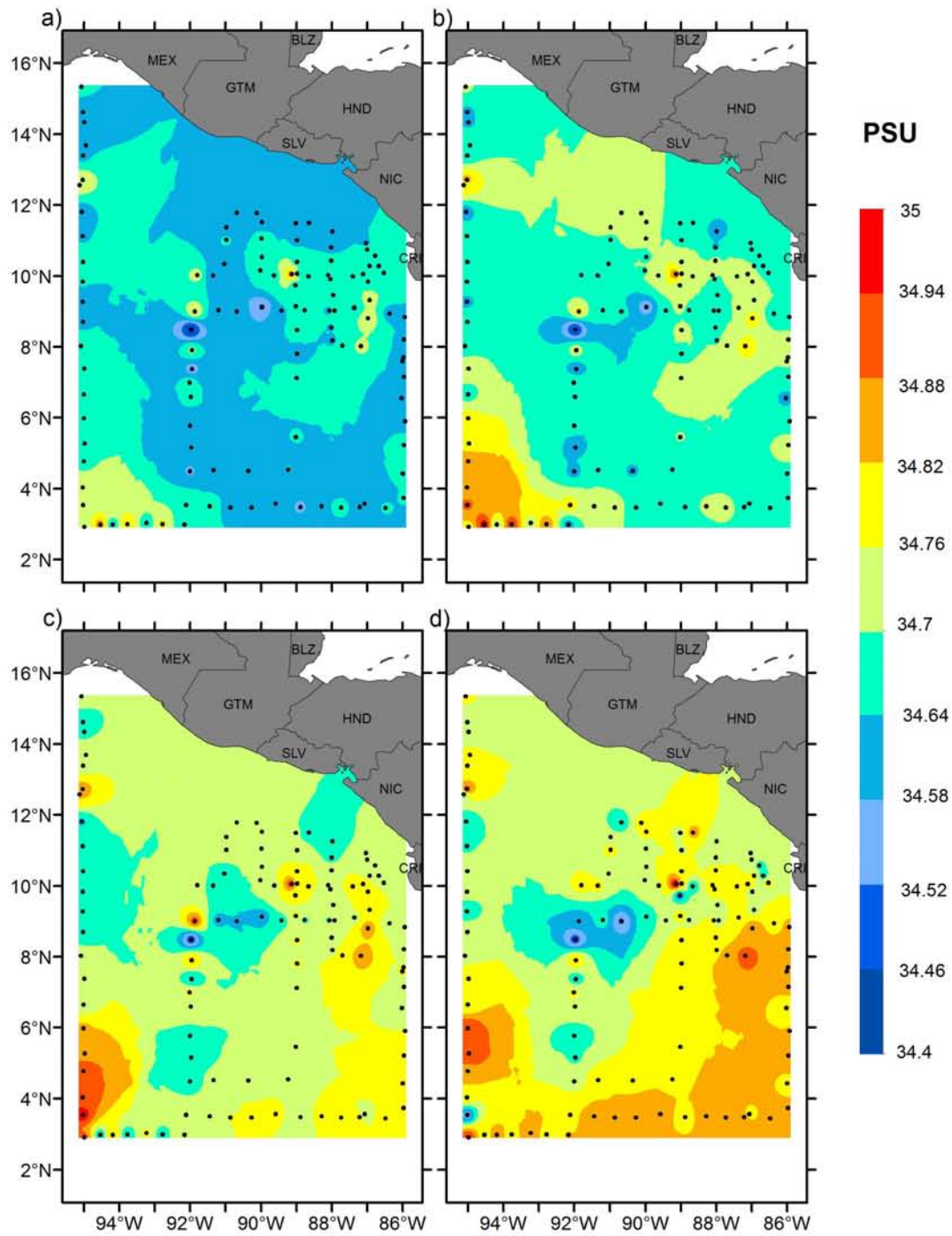




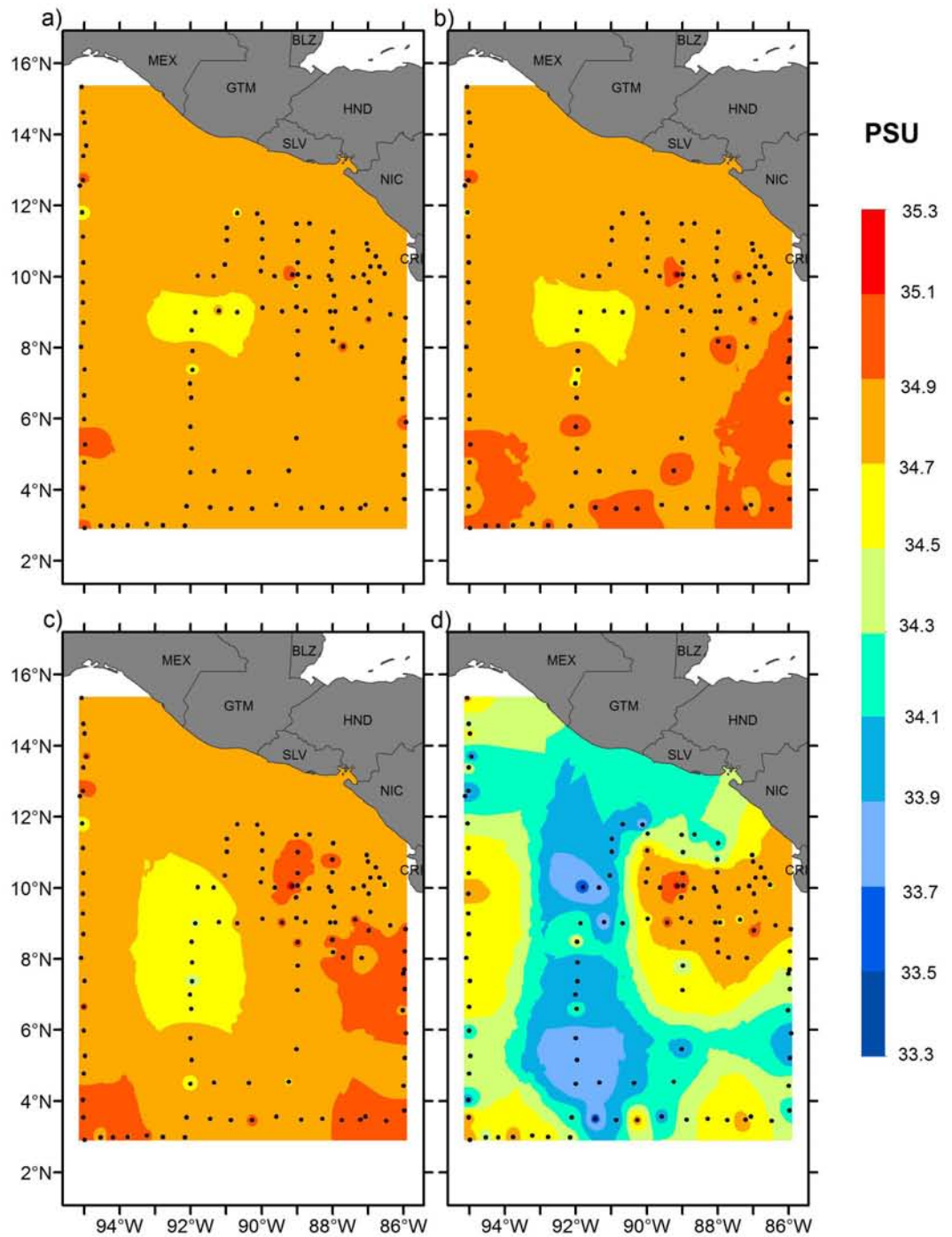
**Figura 6.26:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 1 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.



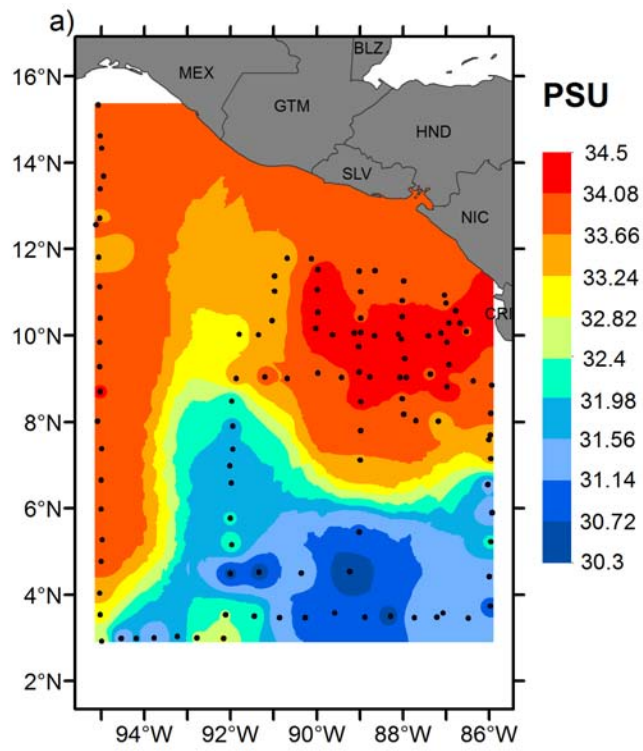
**Figura 6.27:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 1 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.



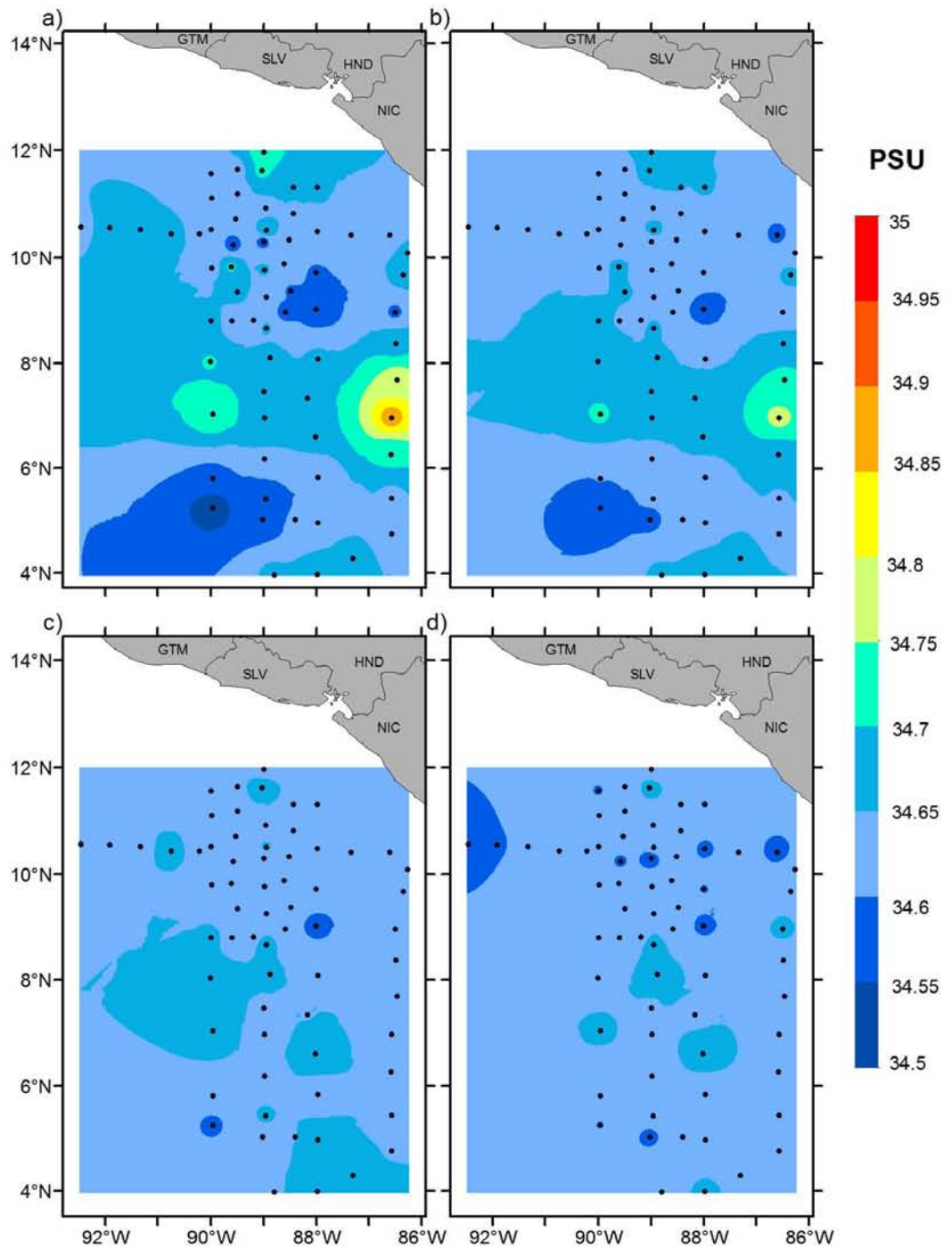
**Figura 6.28:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 1 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.



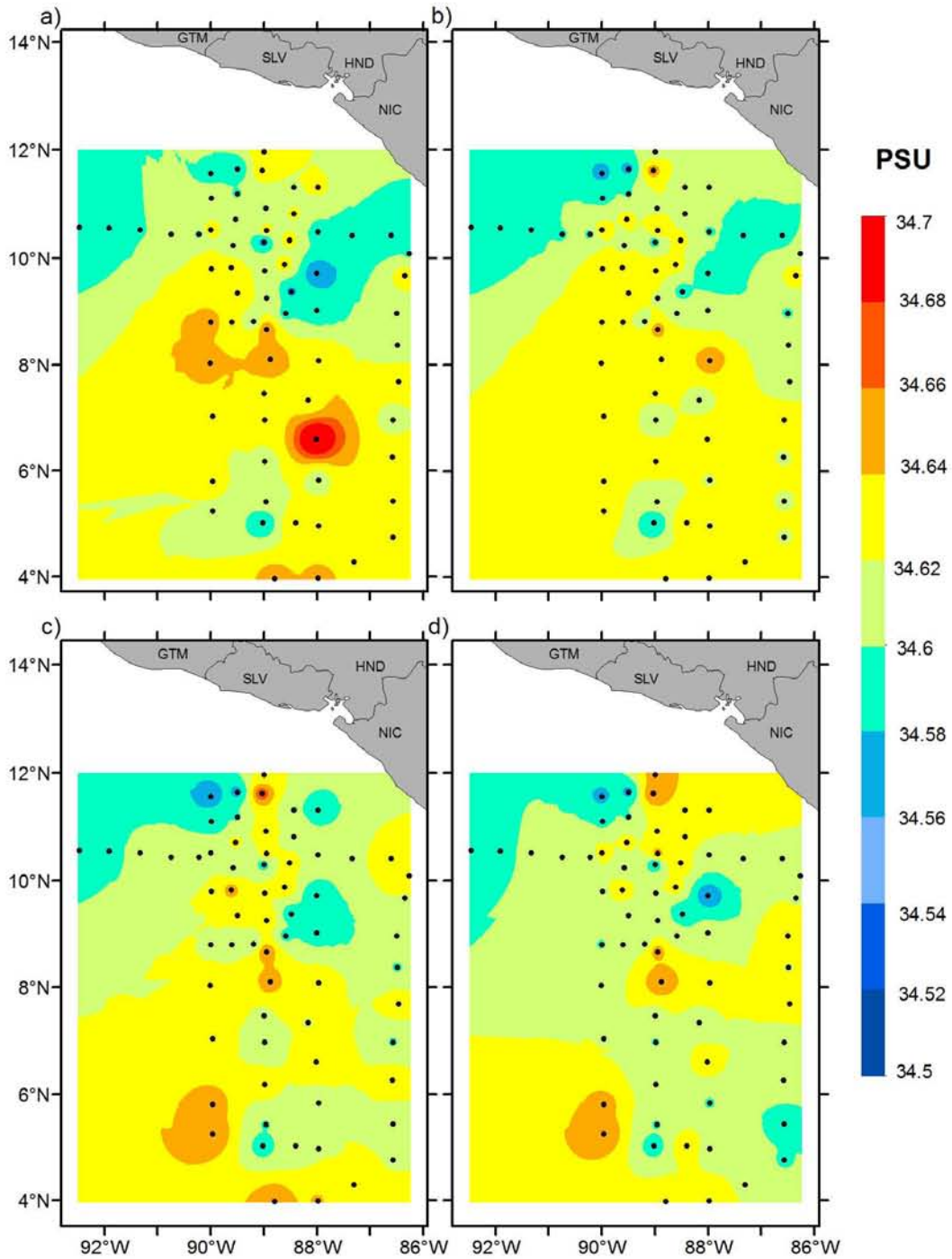
**Figura 6.29:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 1 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.



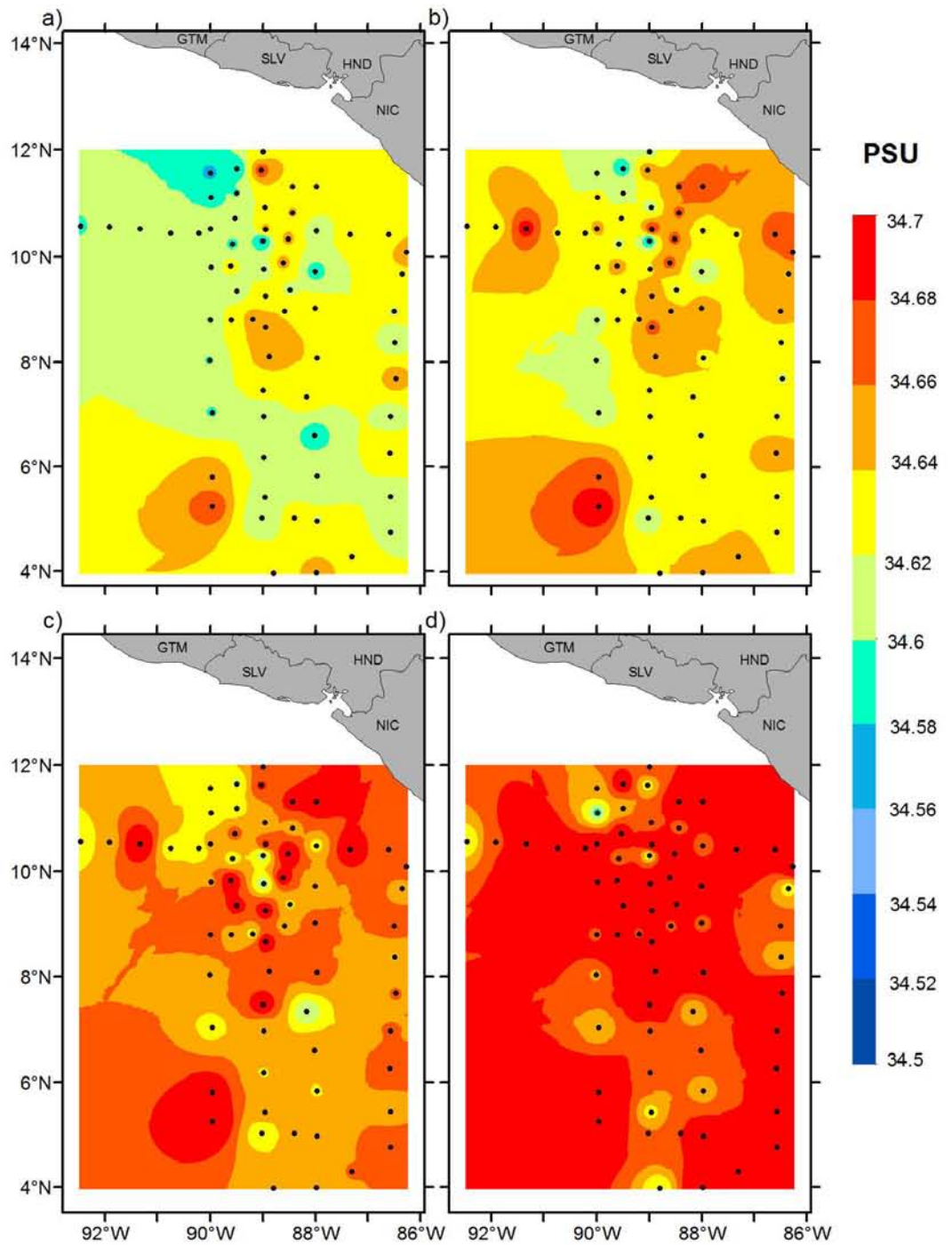
**Figura 6.30:** Mapa de salinidad en superficie de la campaña DOMO 1.



**Figura 6.31:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 2 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.

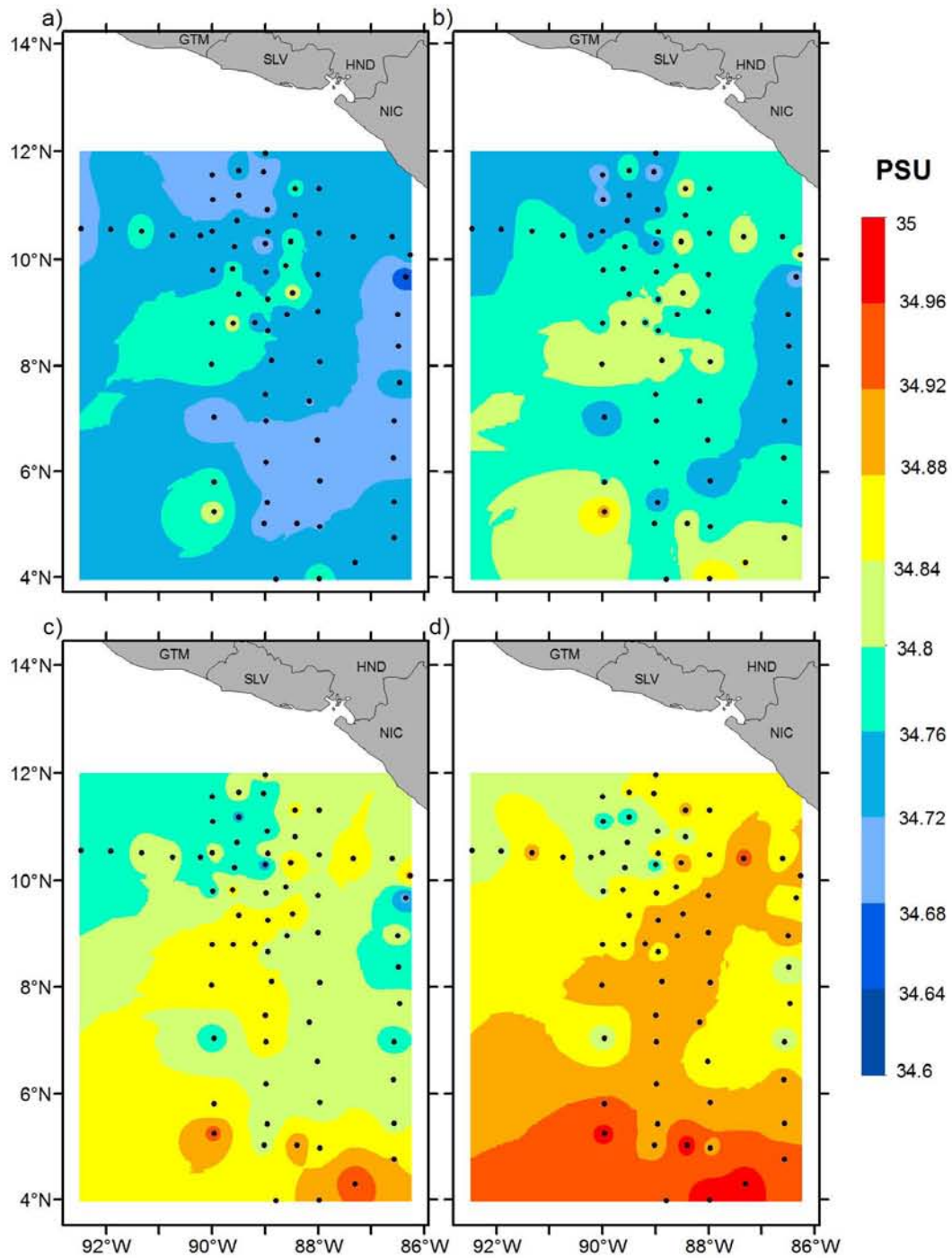


**Figura 6.32:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 2 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.

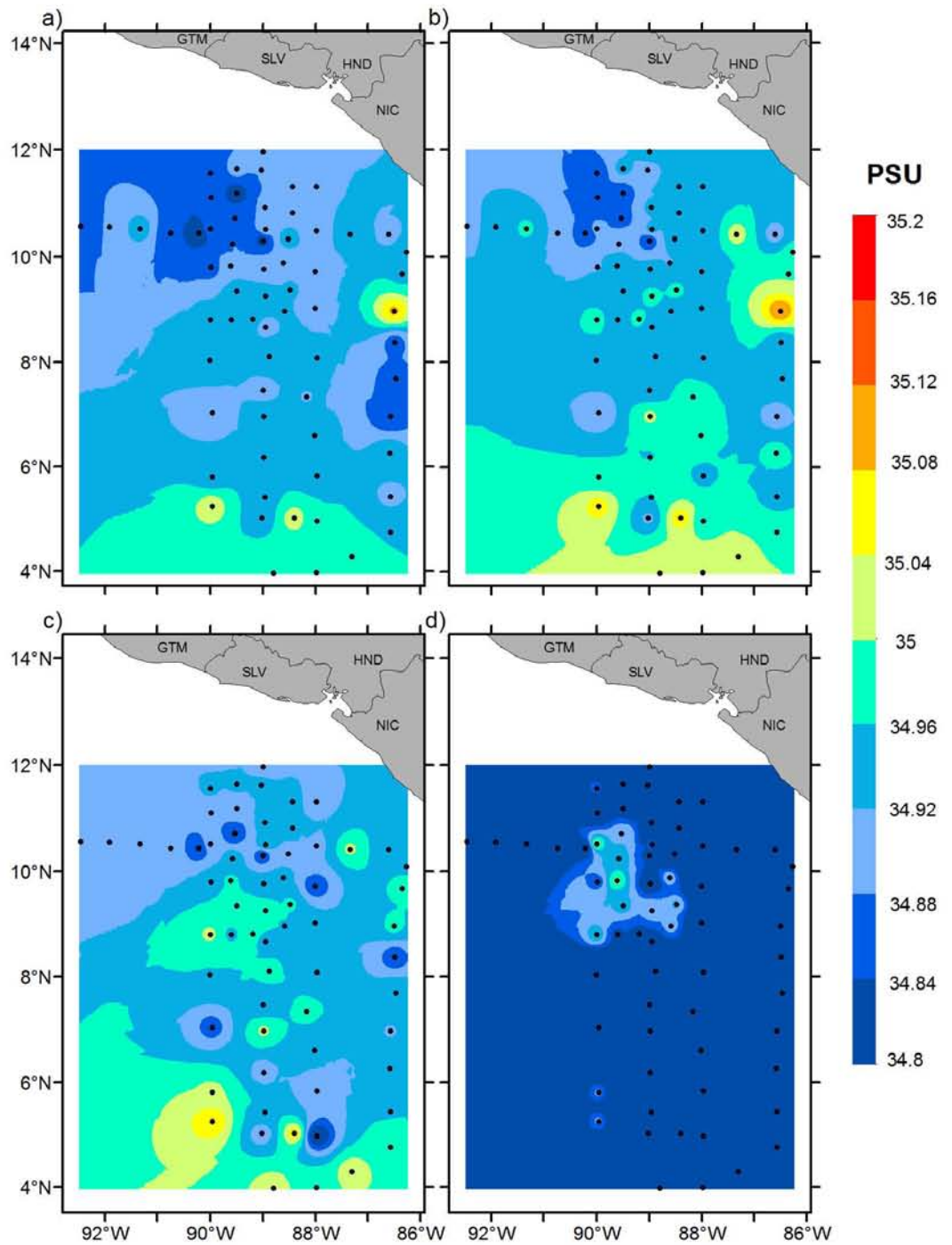


**Figura 6.33:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 2 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.

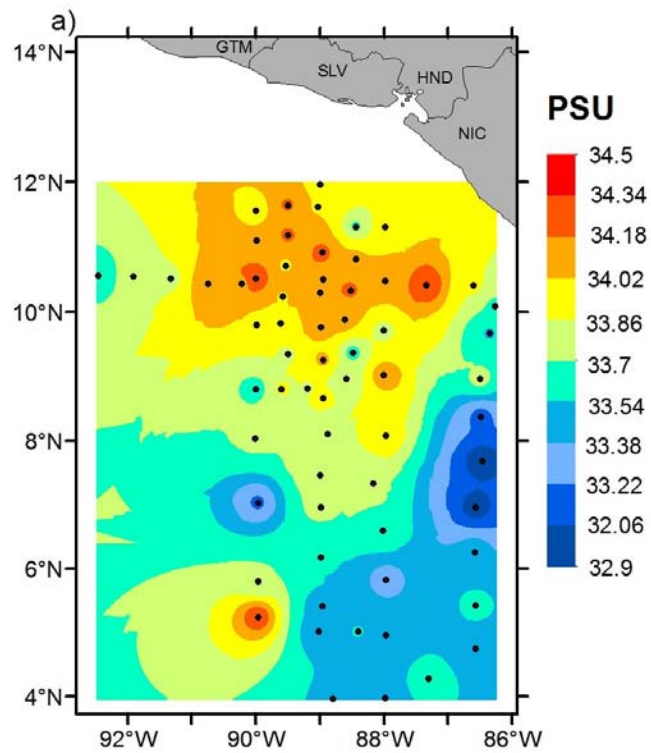




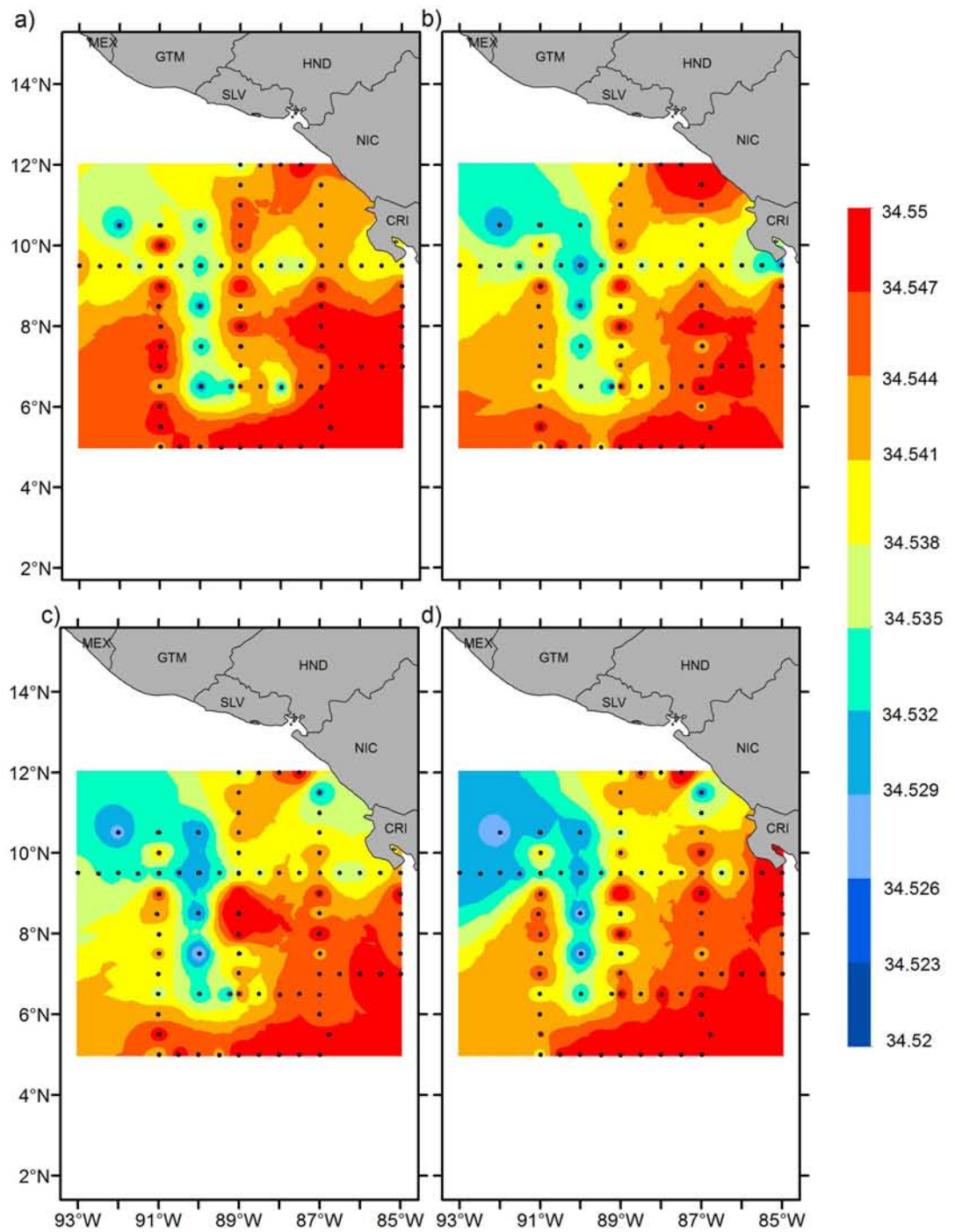
**Figura 6.34:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 2 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.



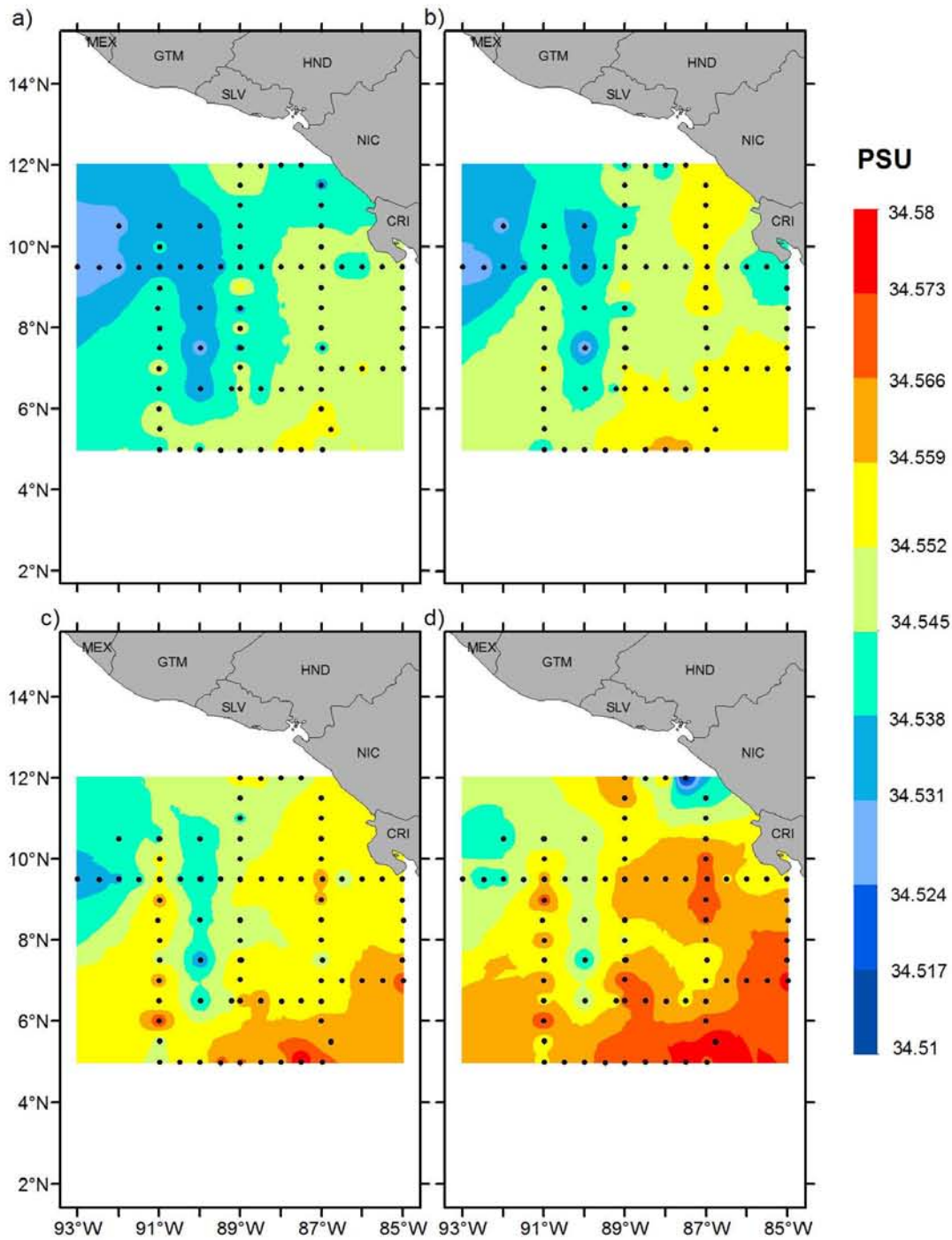
**Figura 6.35:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 2 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.



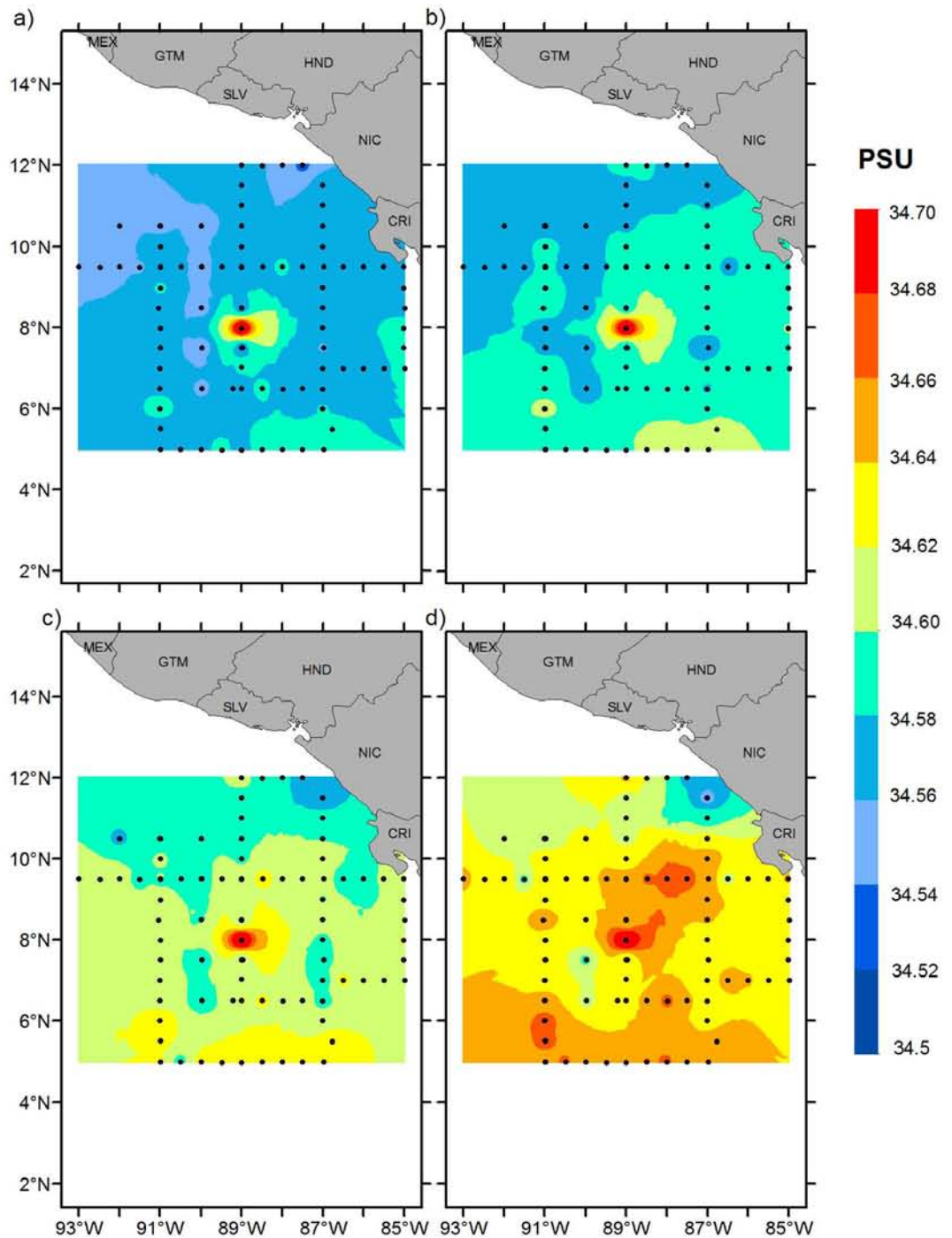
**Figura 6.36:** Mapas de salinidad en superficie de la campaña DOMO 2.



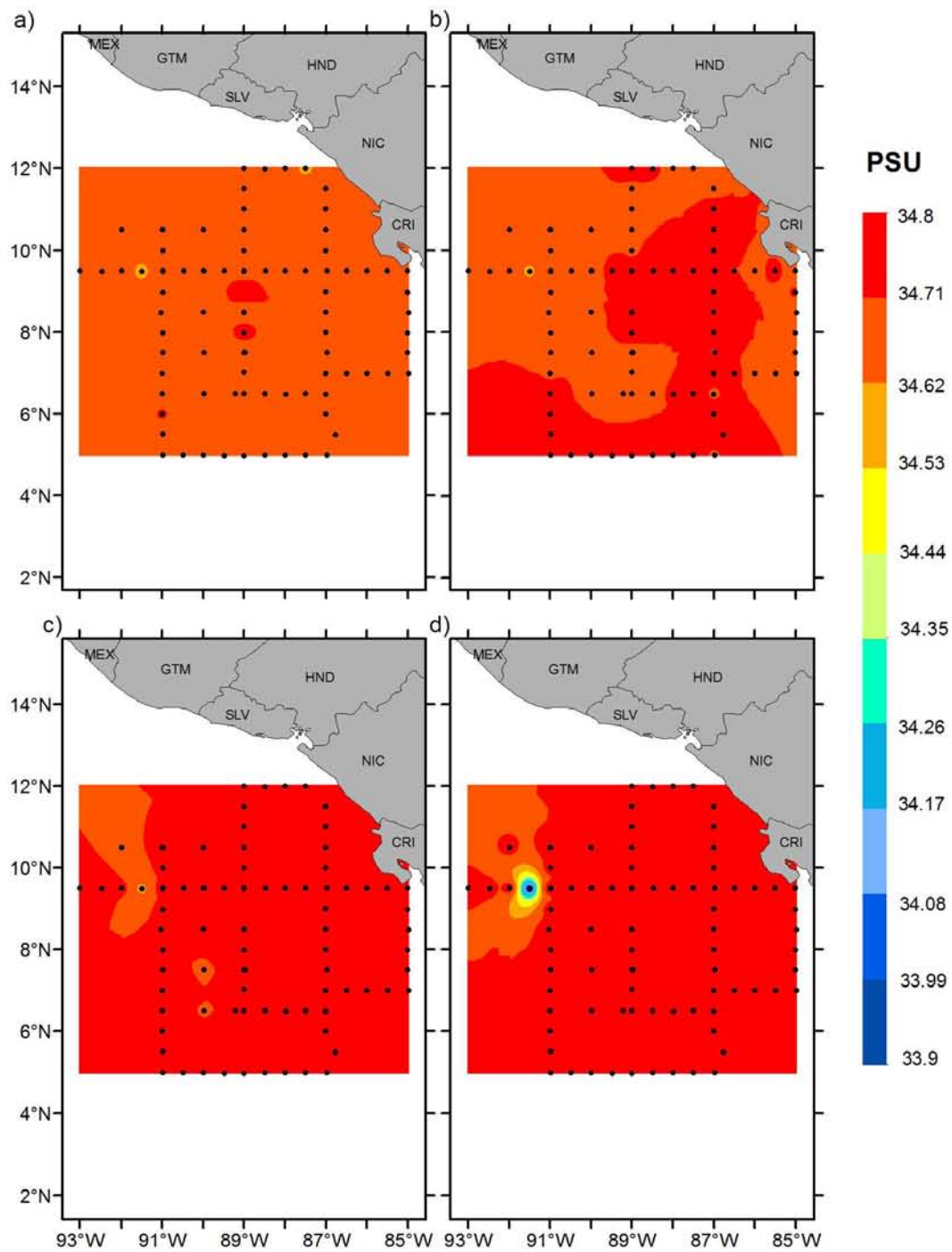
**Figura 6.37:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 3 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.



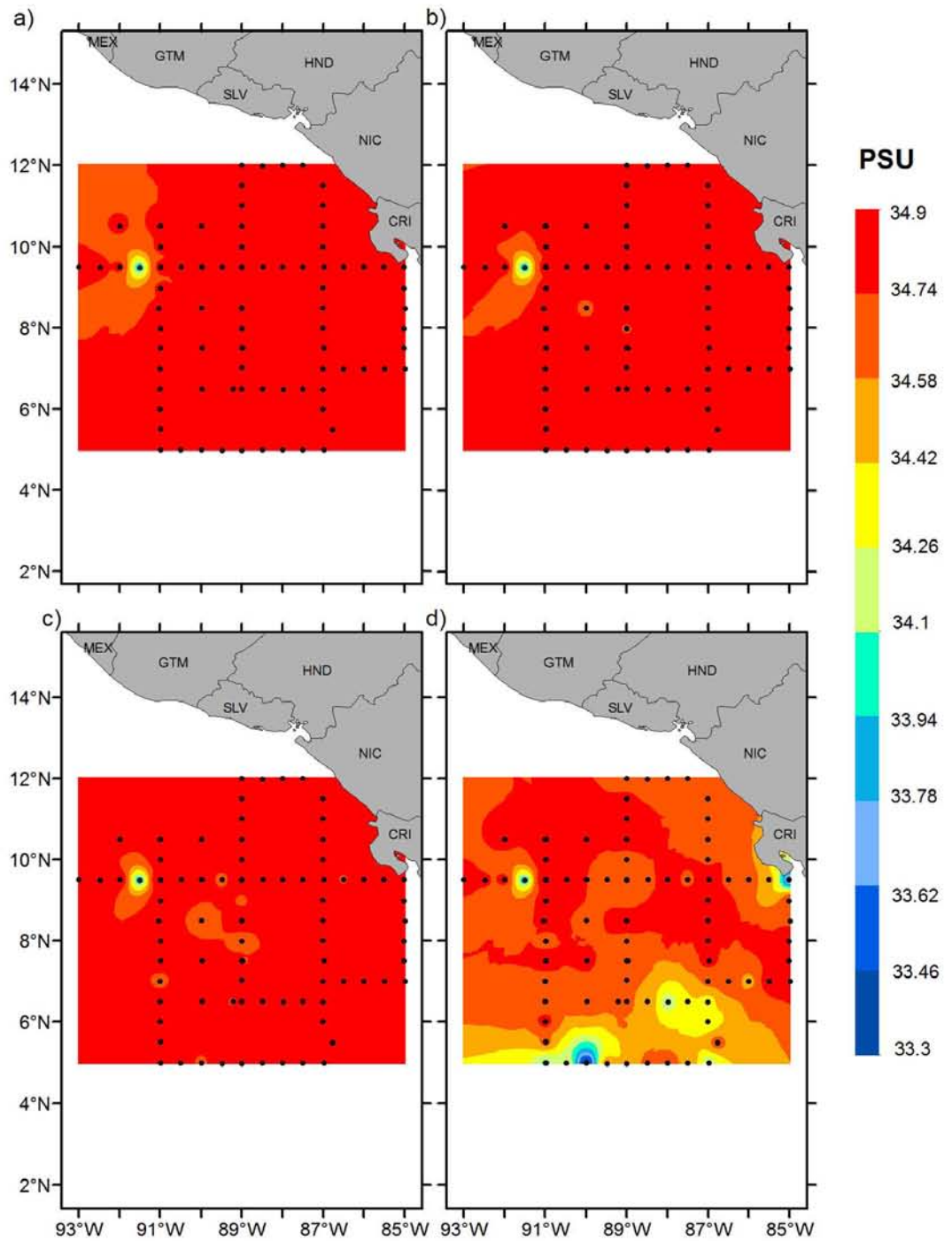
**Figura 6.38:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 3 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.39:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 3 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.

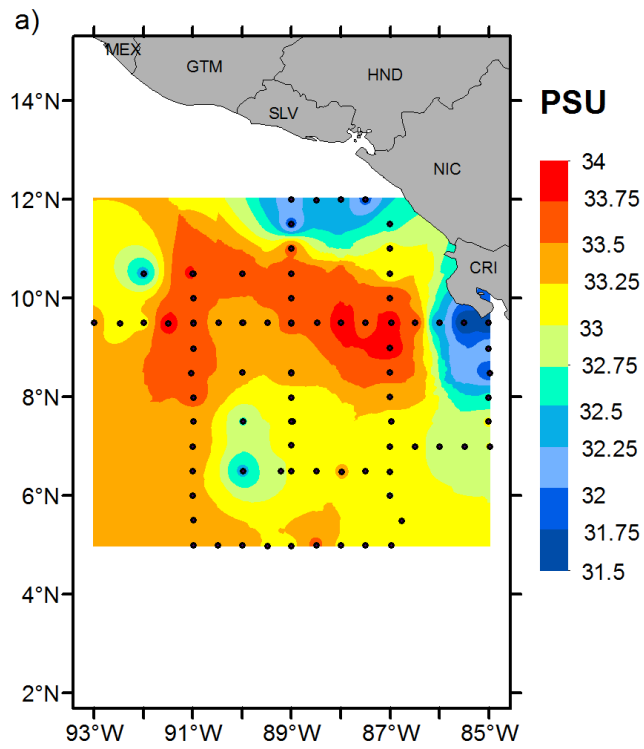


**Figura 6.40:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 3 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.

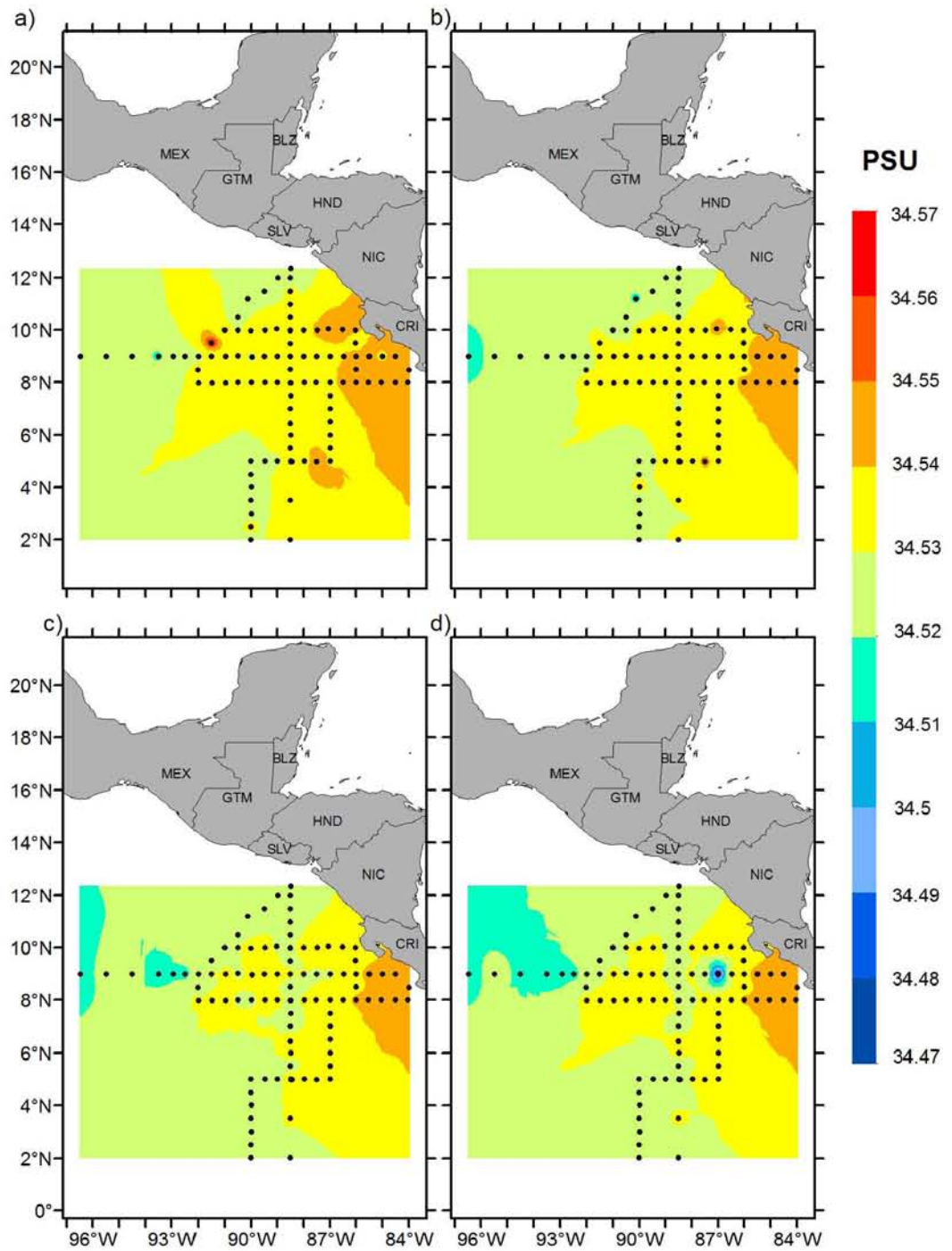


**Figura 6.41:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 3 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.

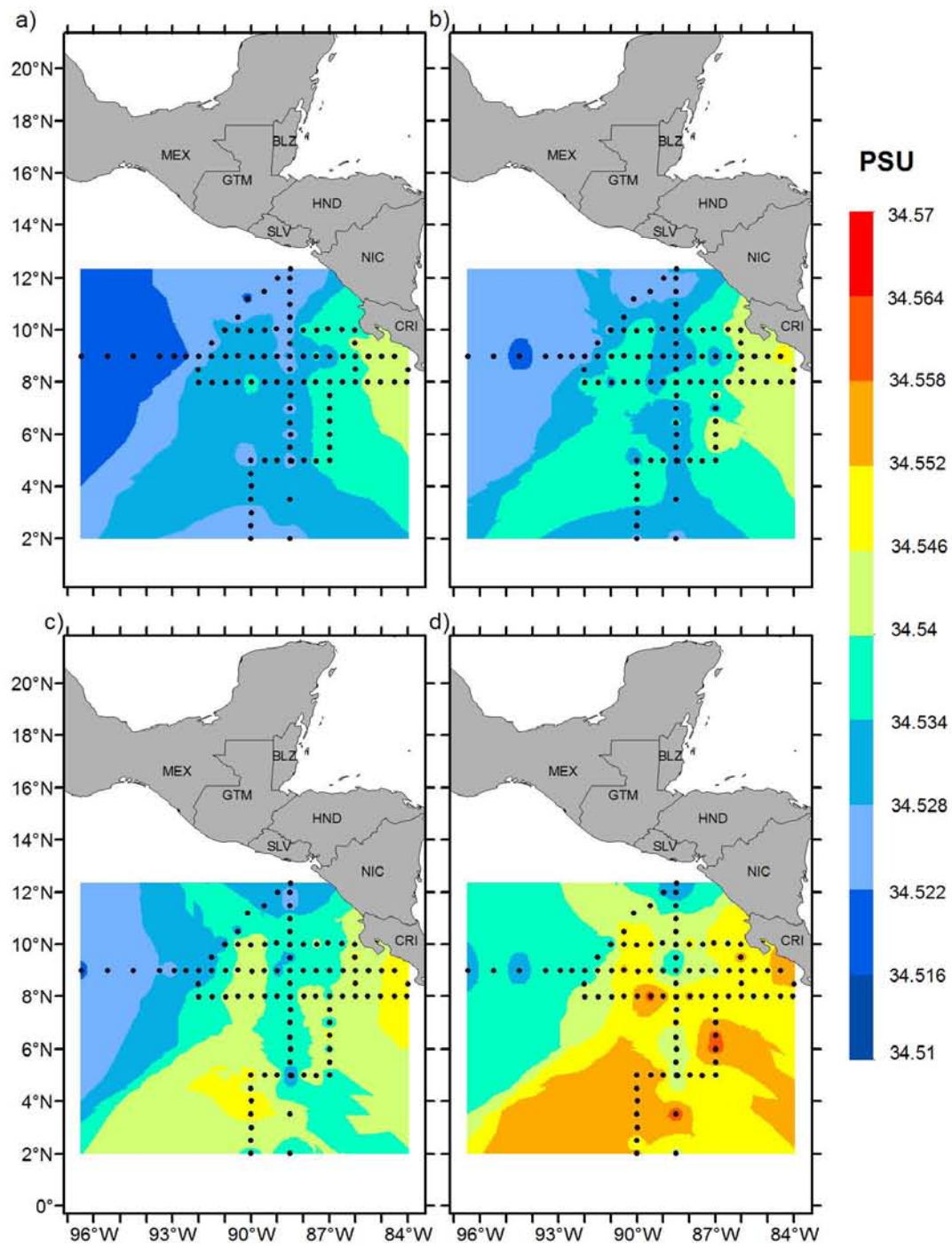




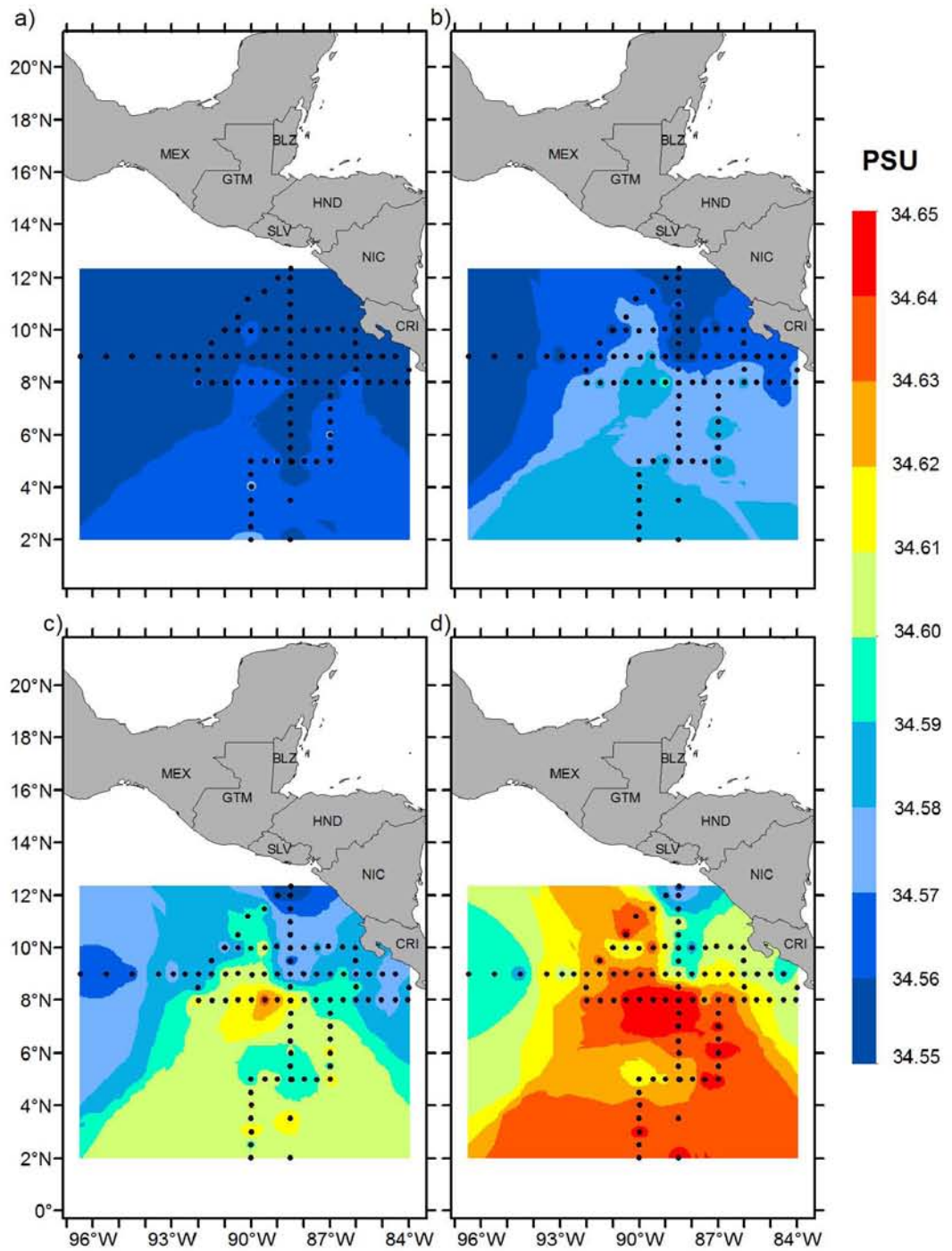
**Figura 6.42:** Mapas de salinidad en superficie de la campaña DOMO 3.



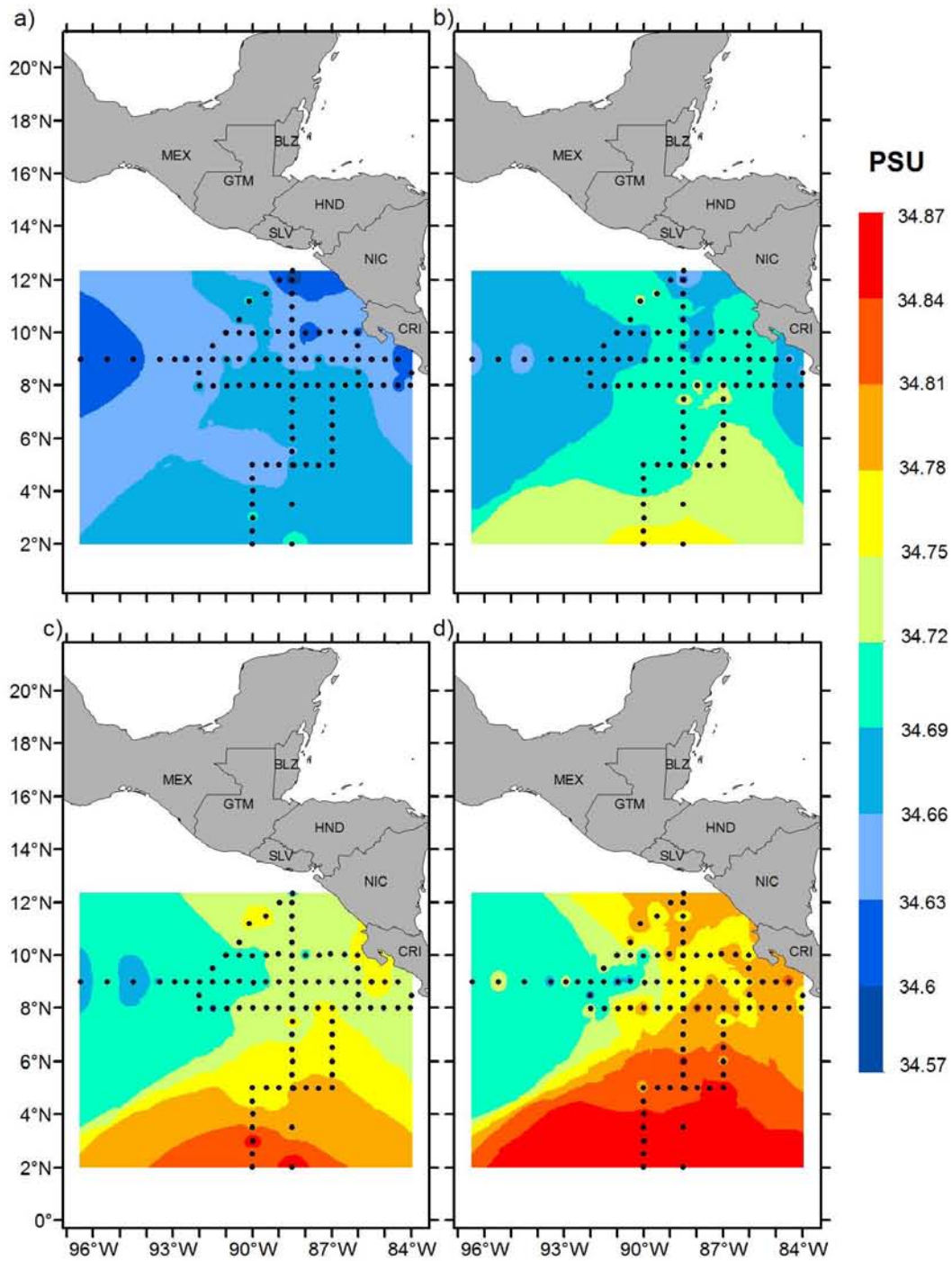
**Figura 6.43:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 4 a 1000 (a), 950 (b), 900 (c) y 850 (d) metros de profundidad.



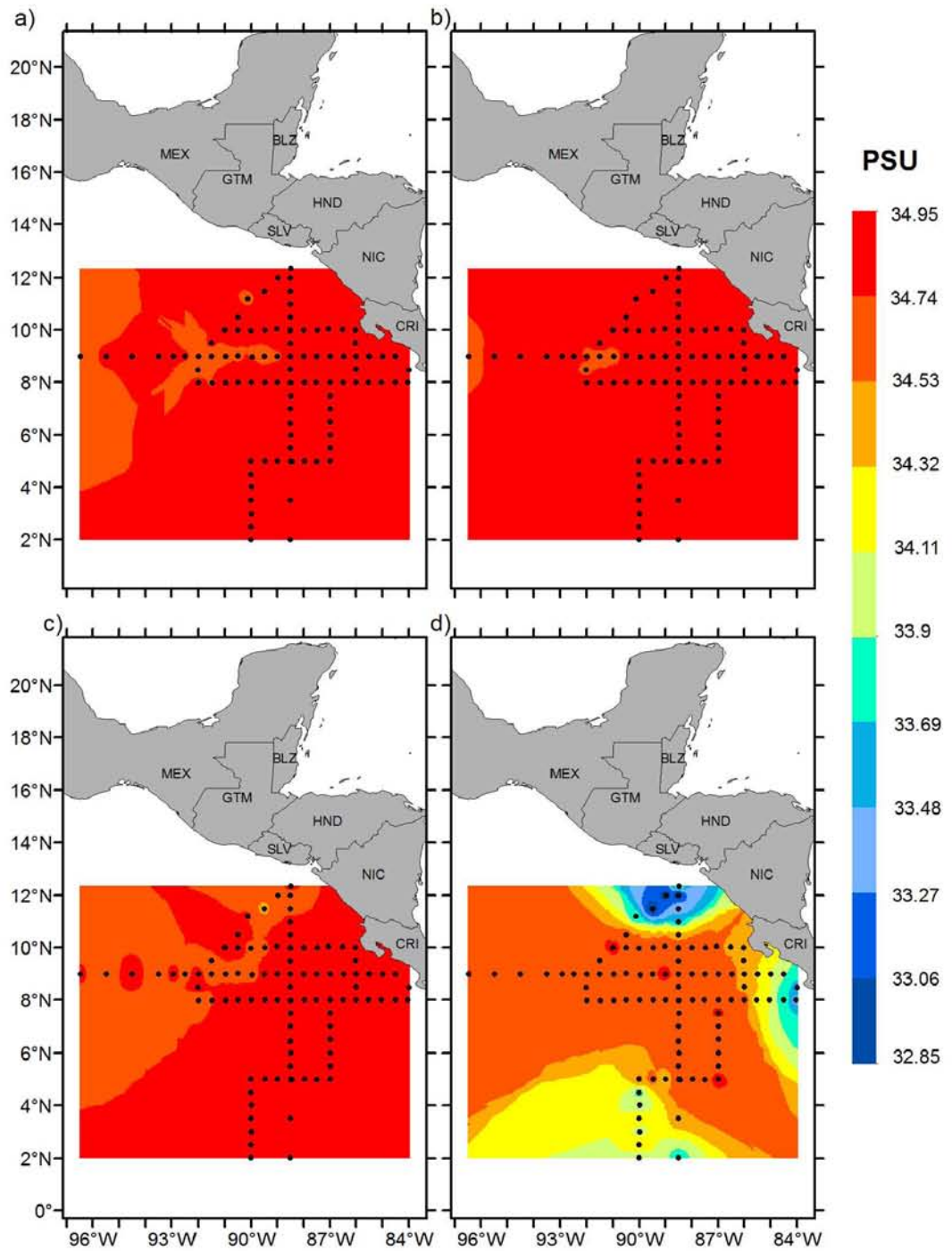
**Figura 6.44:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 4 a 800 (a), 750 (b), 700 (c) y 650 (d) metros de profundidad.



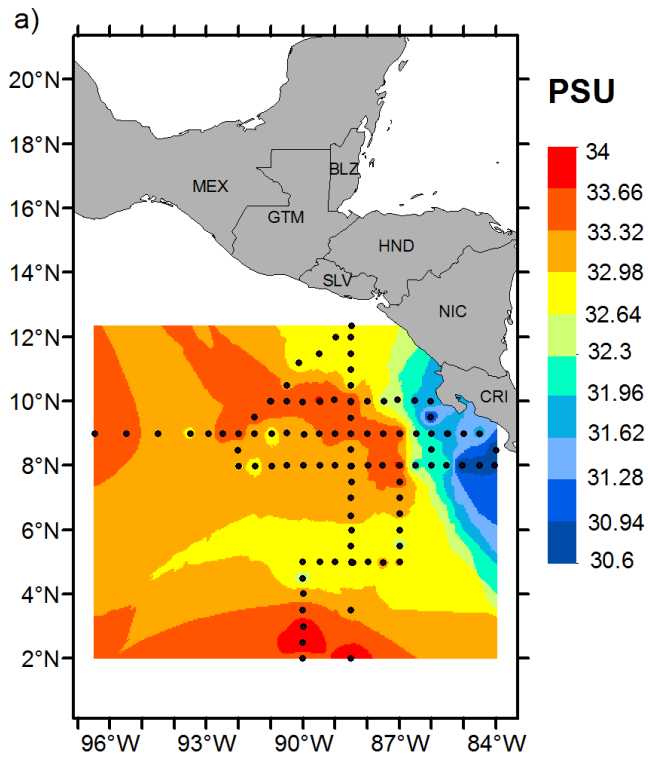
**Figura 6.45:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 4 a 600 (a), 550 (b), 500 (c) y 450 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.46:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 4 a 400 (a), 350 (b), 300 (c) y 250 (d) metros de profundidad.



**Figura 6.47:** Mapas de salinidad de la campaña DOMO 4 a 200 (a), 150 (b), 100 (c) y 50 (d) metros de profundidad.



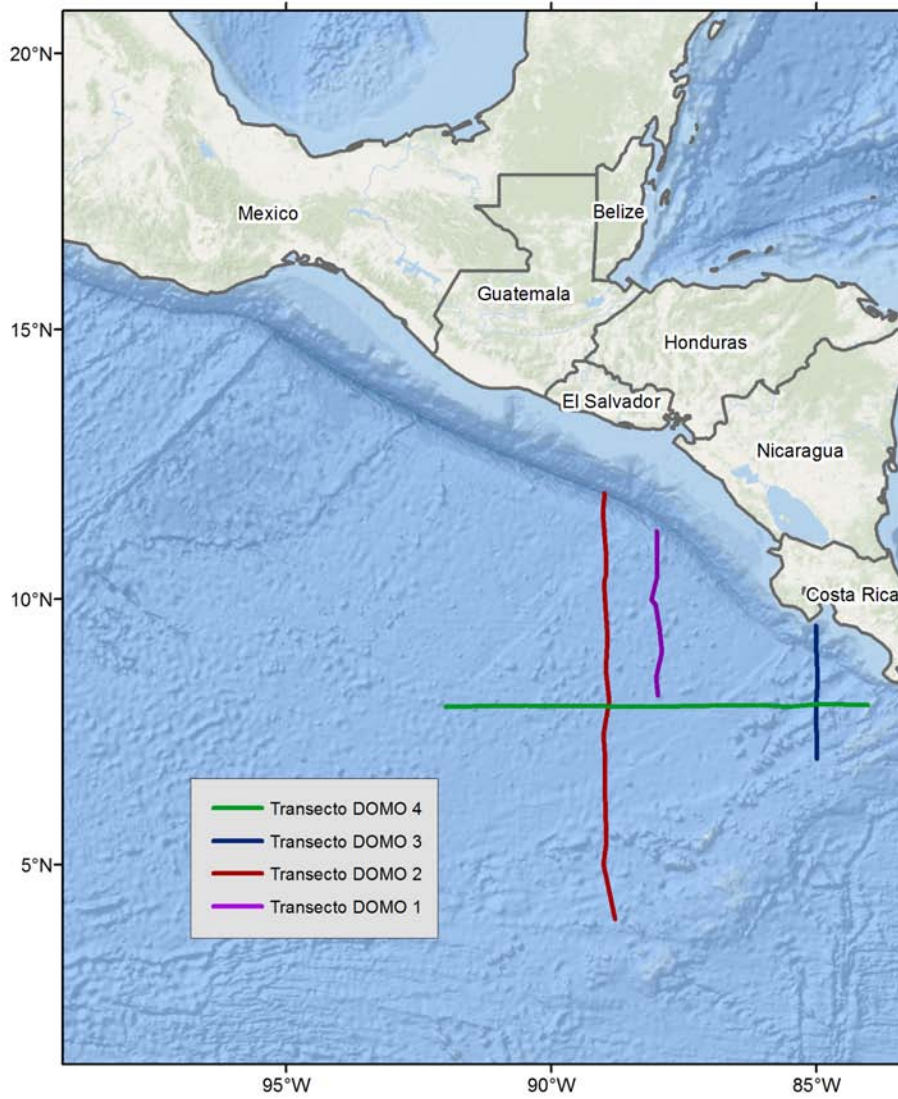
**Figura 6.48:** Mapas de salinidad en superficie de la campaña DOMO 4.

## 6.2. Secciones verticales

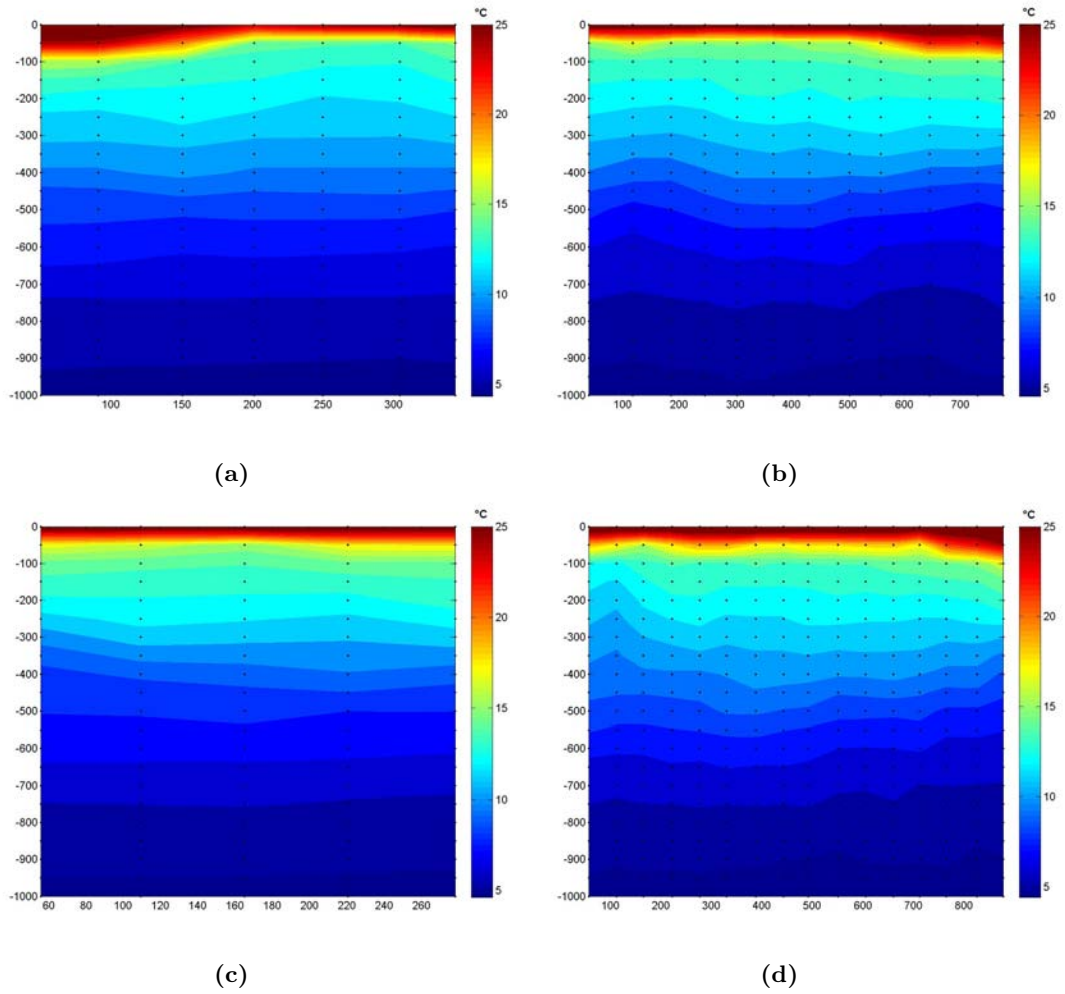
La interacción de corrientes, contracorrientes, frentes y surgencias o afloramiento costeros influyen en el comportamiento del agua del mar, causando cambios constantes en sus propiedades. Las condiciones oceanográficas no son las mismas en la superficie en comparación a las que se tienen por debajo de esta.

Las secciones verticales que a continuación se muestran en las figuras 6.49, 6.50, 6.51 y 6.52, son ejemplos de cuatro de los transectos que fueron seleccionados para cada una de las campañas DOMO. En ellas se tiene una mejor visualización del cambio que hay de temperatura y así mismo se puede identificar el DOMO en diferentes periodos y niveles. Se ve claramente que el fenómeno sucede entre la superficie y una profundidad de hasta 500 metros. También en cuanto a la salinidad se ve que el máximo intervalo de cambio en su valor se da donde acontece la formación del Domo (Figura 6.53) con un intervalo de valores con cambio drástico que se distingue más hasta una profundidad de 400 o 500 metros.

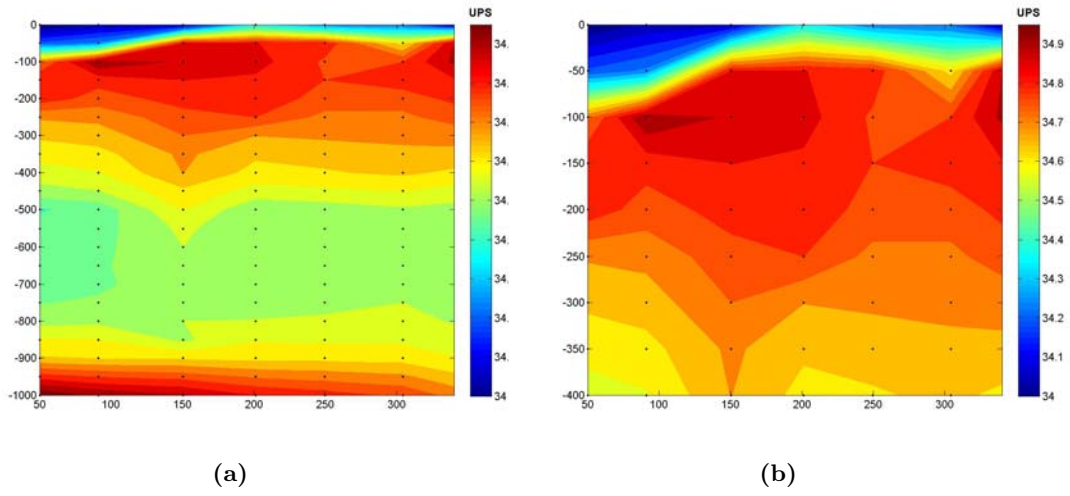




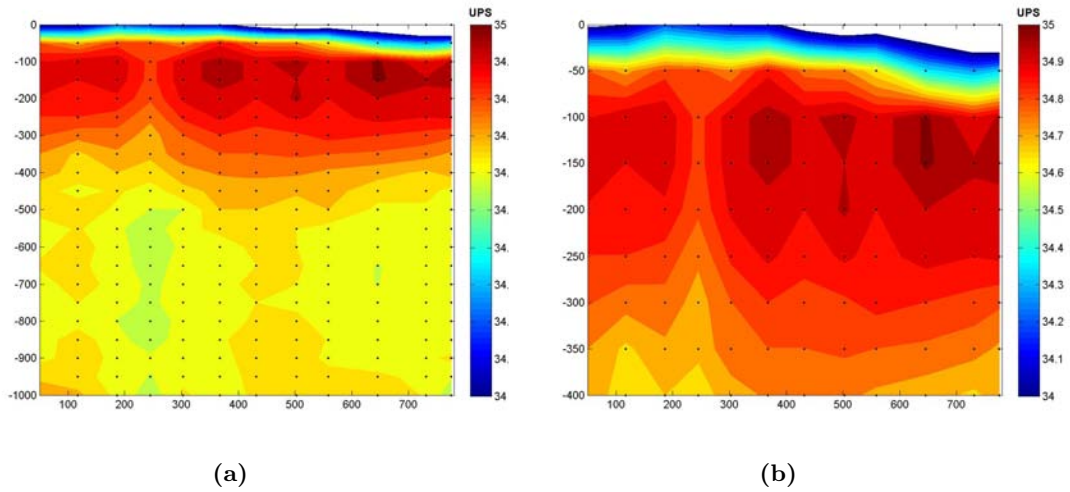
**Figura 6.49:** Ejemplos de transectos seleccionados para cada una de las campañas DOMO respectivamente.



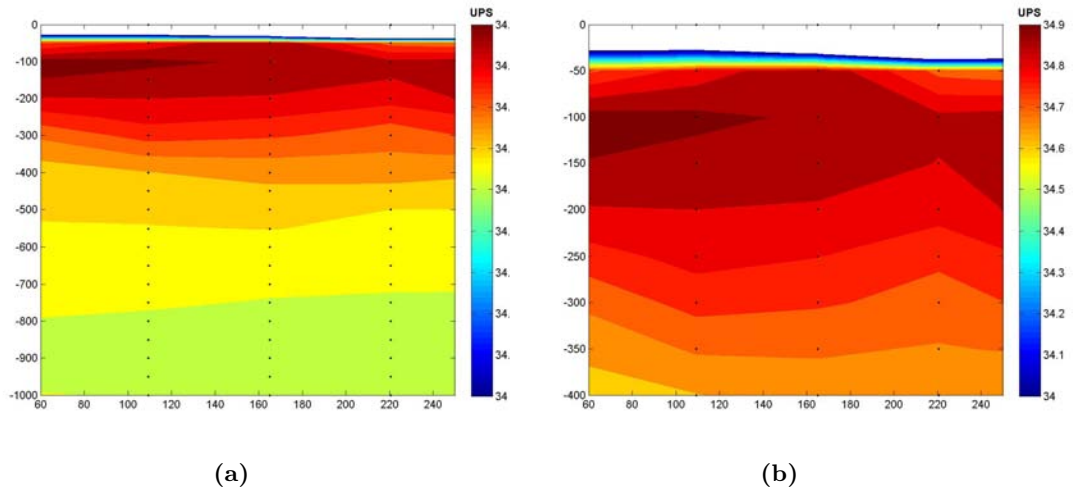
**Figura 6.50:** Sección vertical de temperatura DOMO 1 (a), DOMO 2 (b), DOMO 3 (c) y DOMO 4 (d); donde el eje de las abscisas representa la distancia teniendo como origen la estación 83 para el caso de DOMO 1, la estación 1 para DOMO 2, la estación 55 para DOMO 3 y la estación 15 para DOMO 4. El eje de las ordenadas representa la profundidad en metros.



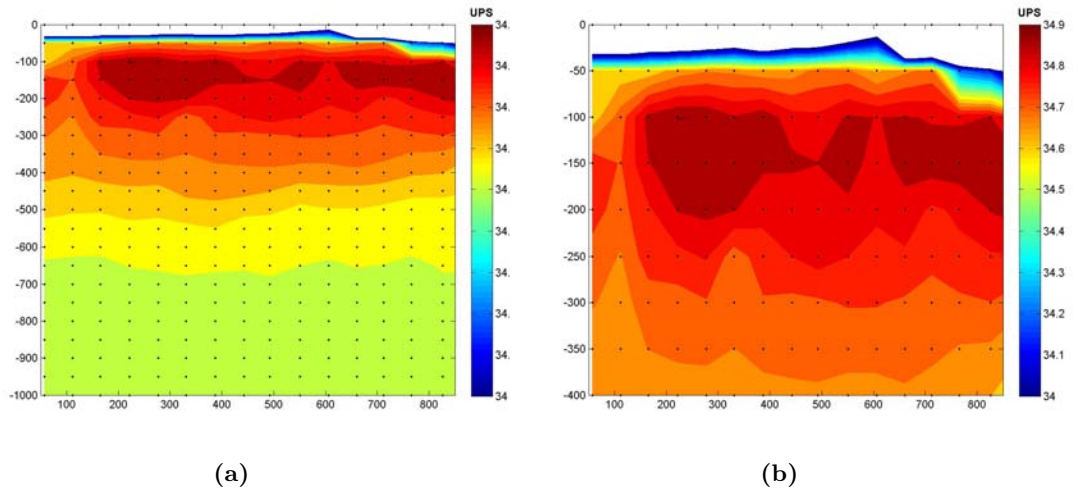
**Figura 6.51:** Sección vertical de salinidad DOMO 1. Transecto que abarca las estaciones 1 a 22 (a); donde el eje de las abscisas representa la distancia teniendo como origen las estación 1. Acercamiento a profundidad de 400 (b).



**Figura 6.52:** Sección vertical de salinidad DOMO 2. Transecto que abarca las estaciones 1 a 36 (a); donde el eje de las abscisas representa la distancia teniendo como origen las estación 1. Acercamiento a profundidad de 400 (b).



**Figura 6.53:** Sección vertical de salinidad DOMO 3. Transecto que abarca las estaciones 55 a 60 (a); donde el eje de las abscisas representa la distancia teniendo como origen las estación 55. Acercamiento a profundidad de 400 (b).



**Figura 6.54:** Sección vertical de salinidad DOMO 4. Transecto que abarca las estaciones 15 a 19 y 41 a 52 (a); donde el eje de las abscisas representa la distancia teniendo como origen las estación 15. Acercamiento a profundidad de 400 (b).

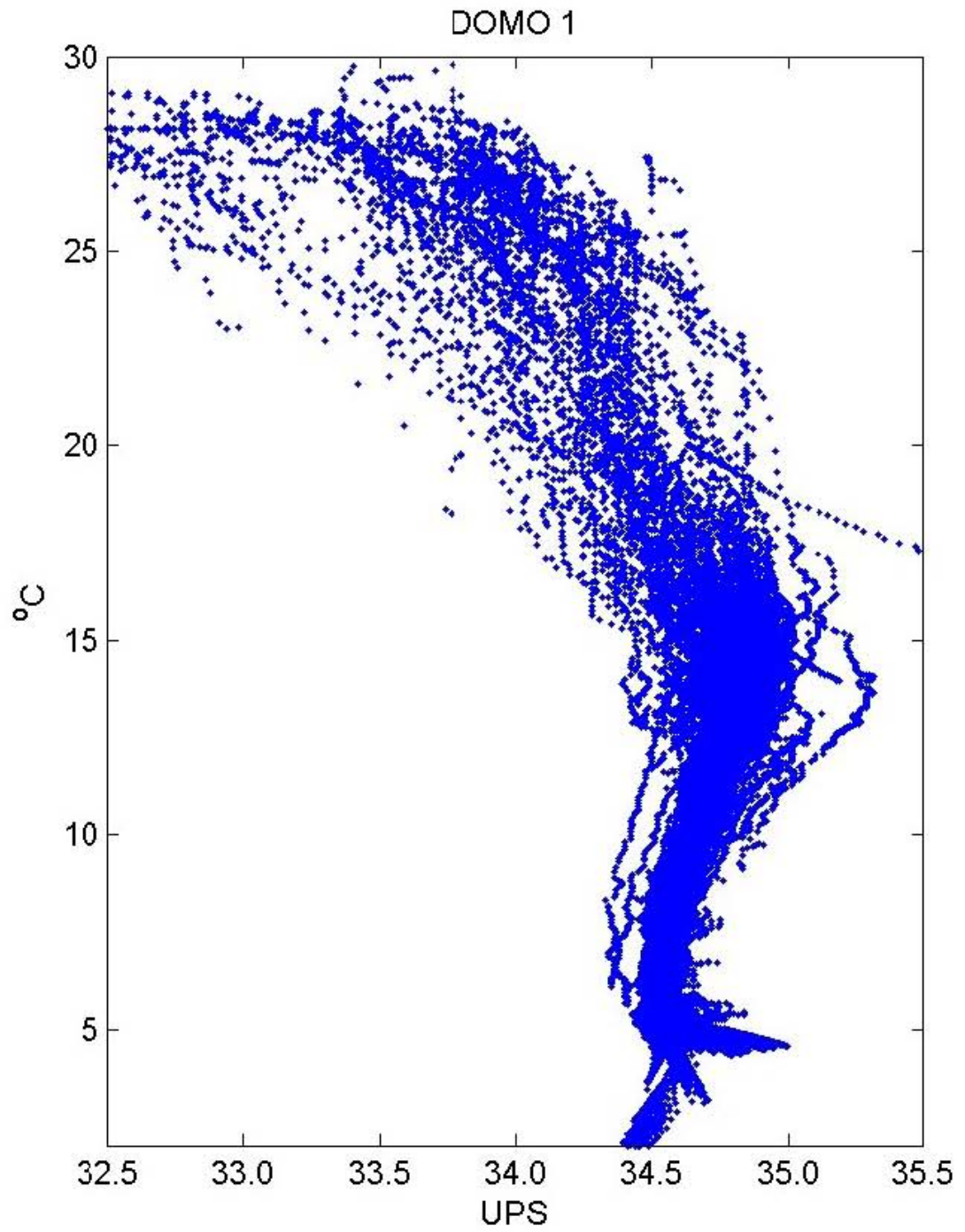
### 6.3. Diagramas T/S

La mayoría del conocimiento que se tiene sobre el agua profunda se infiere de distribuciones medidas de las masas de agua con sus distintivas temperaturas, salinidades y sus concentraciones de oxígeno, silicatos, tritio, fluorocarbonos, entre otros trazadores. Estas mediciones son mucho más estables que las mediciones de corriente.

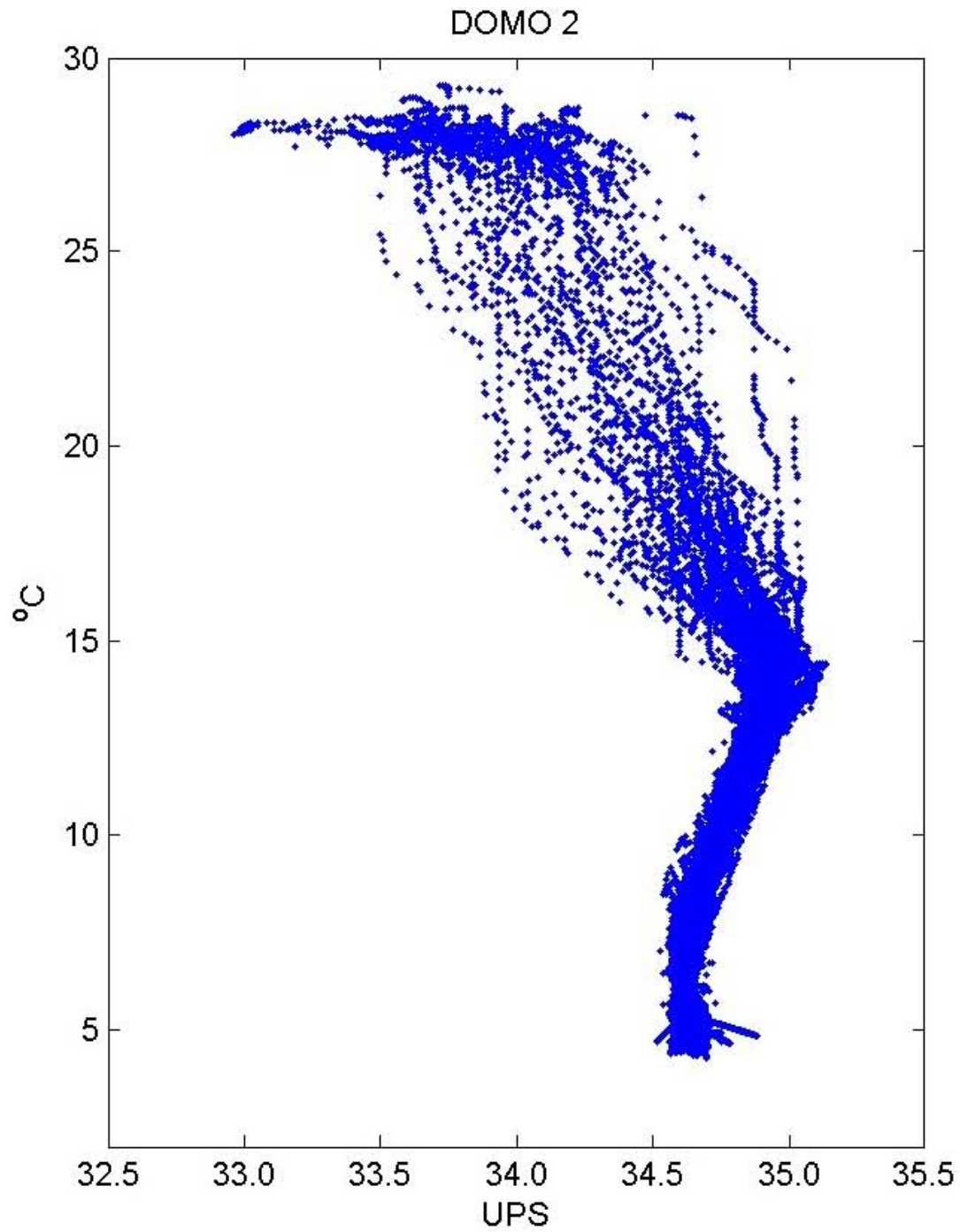
Las gráficas de la salinidad en función de la temperatura, llamados diagramas T/S, se usan para trazar masas de agua y su distribución geográfica, permiten describir la mezcla que se da en las masas de agua e inferir el movimiento del agua en la profundidad del océano. Estos diagramas son de gran ayuda ya que las propiedades del agua, como la temperatura y la salinidad, sólo se forman cuando esta se encuentra en la superficie o en una capa de mezcla. El calentamiento, el enfriamiento, la lluvia y la evaporación, son factores que contribuyen a determinar la temperatura y salinidad característica de una masa de agua. Una vez que el agua de la superficie desciende por debajo de la capa de mezcla la temperatura y la salinidad pueden cambiar sólo si se mezcla con masas de agua adyacentes. Así el agua de una región tiene una temperatura en particular asociada con una salinidad en particular, y la relación cambia muy poco mientras el agua sigue moviéndose en aguas profundas.

La temperatura y salinidad no son variables independientes, sin embargo son propiedades conservativas porque no hay fuentes o 'sumideros de calor' y sal en el interior del océano. Cada punto del diagrama T/S es un tipo de agua. Este es un ideal matemático. Algunas masas de agua pueden ser muy homogéneas y ocupan puntos del diagrama. Otras masas de agua son menos homogéneas y ocupan diversas regiones del diagrama.

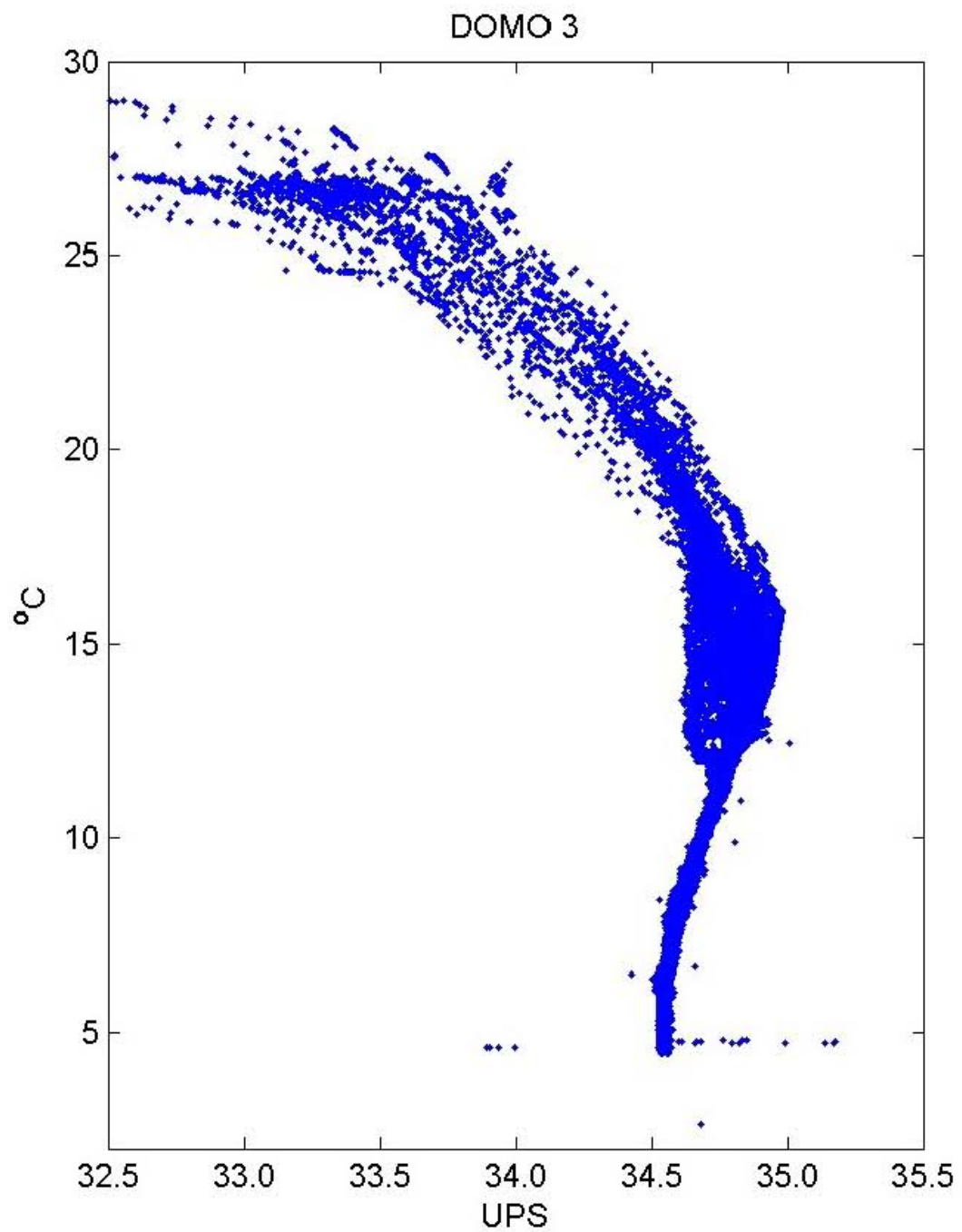
Mezclar dos tipos de agua genera una línea recta en el diagrama T/S. Sin embargo, debido a que las líneas de densidad constante en el diagrama T/S son curvas, la mezcla puede cambiar la densidad del agua.



**Figura 6.55:** Gráfica de la salinidad en función de la temperatura en un Diagrama T/S para la campaña de muestreo DOMO 1.

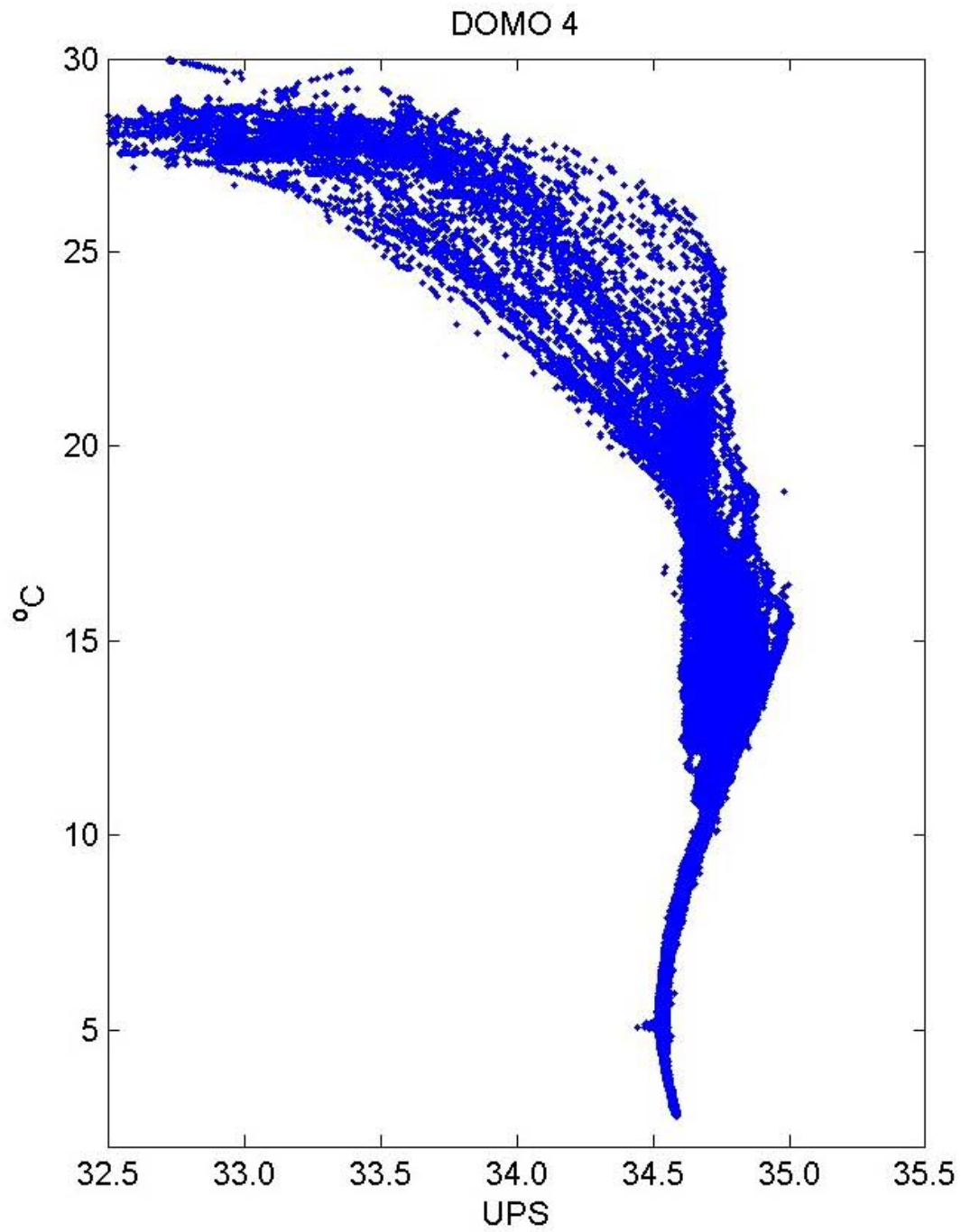


**Figura 6.56:** Gráfica de la salinidad en función de la temperatura en un Diagrama T/S para la campaña de muestreo DOMO 2



**Figura 6.57:** Gráfica de la salinidad en función de la temperatura en un Diagrama T/S para la campaña de muestreo DOMO 3.

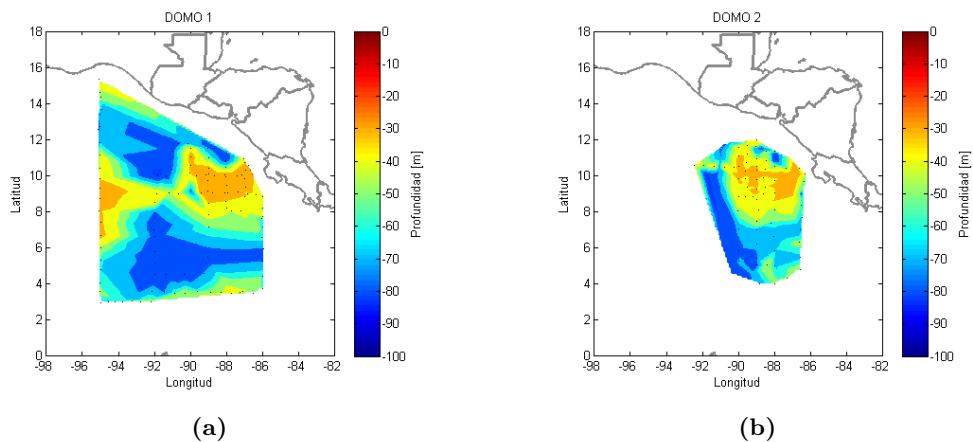




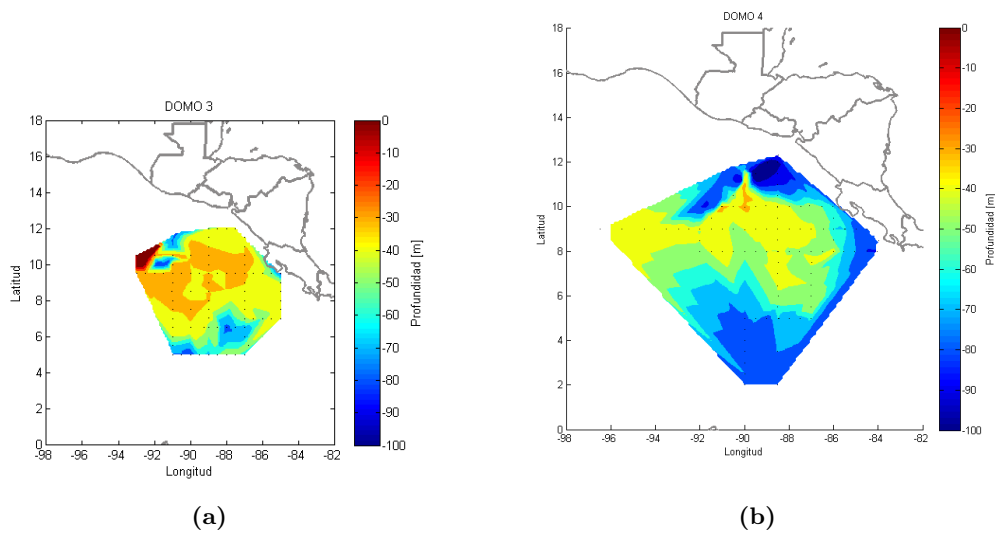
**Figura 6.58:** Gráfica de la salinidad en función de la temperatura en un Diagrama T/S para la campaña de muestreo DOMO 4.

#### 6.4. Análisis de la isoterma de 20°C

La corriente costera de Costa Rica forma parte del sistema de circulación ecuatorial y se extiende desde unos 5° hasta 23° de latitud norte, un sistema que abarca entonces poco más de 2000 kilómetros de longitud. Su anchura es aparentemente muy variable, típicamente del orden de 100 a 500 km. Su expresión en profundidad se desconoce con detalle, pero se le infiere un espesor cercano a los 600 metros con base en la estructura de las corrientes con las cuales confluye y la composición en masas de agua (Wyrтки, 1967). En esta región de afloramiento el movimiento de ascenso de las aguas confiere una curvatura en forma de domo a las isotermas (ver Figura 6.56) [Brandhorst (1958); Thomas (1979); Hofmann *et al.* (1981)].



**Figura 6.59:** Profundidad, en metros, de la isoterma de 20°C para la campaña de muestreo DOMO 1 (a) y DOMO 2 (b).



**Figura 6.60:** Profundidad, en metros, de la isoterma de  $20^{\circ}\text{C}$  para la campaña de muestreo DOMO 3 (a) y DOMO 4 (b).

Se puede observar en la figura 6.59 y 6.60 que para las cuatro campañas la isoterma de  $20^{\circ}\text{C}$  se encuentra entre 0 y 100 metros de profundidad, con esto se puede percibir mejor el área de domo y se hace notar el cambio de temperatura que hay, recalcando el proceso donde el desplazamiento de las aguas cálidas de superficie dan paso a las aguas frías, las cuales emergen.

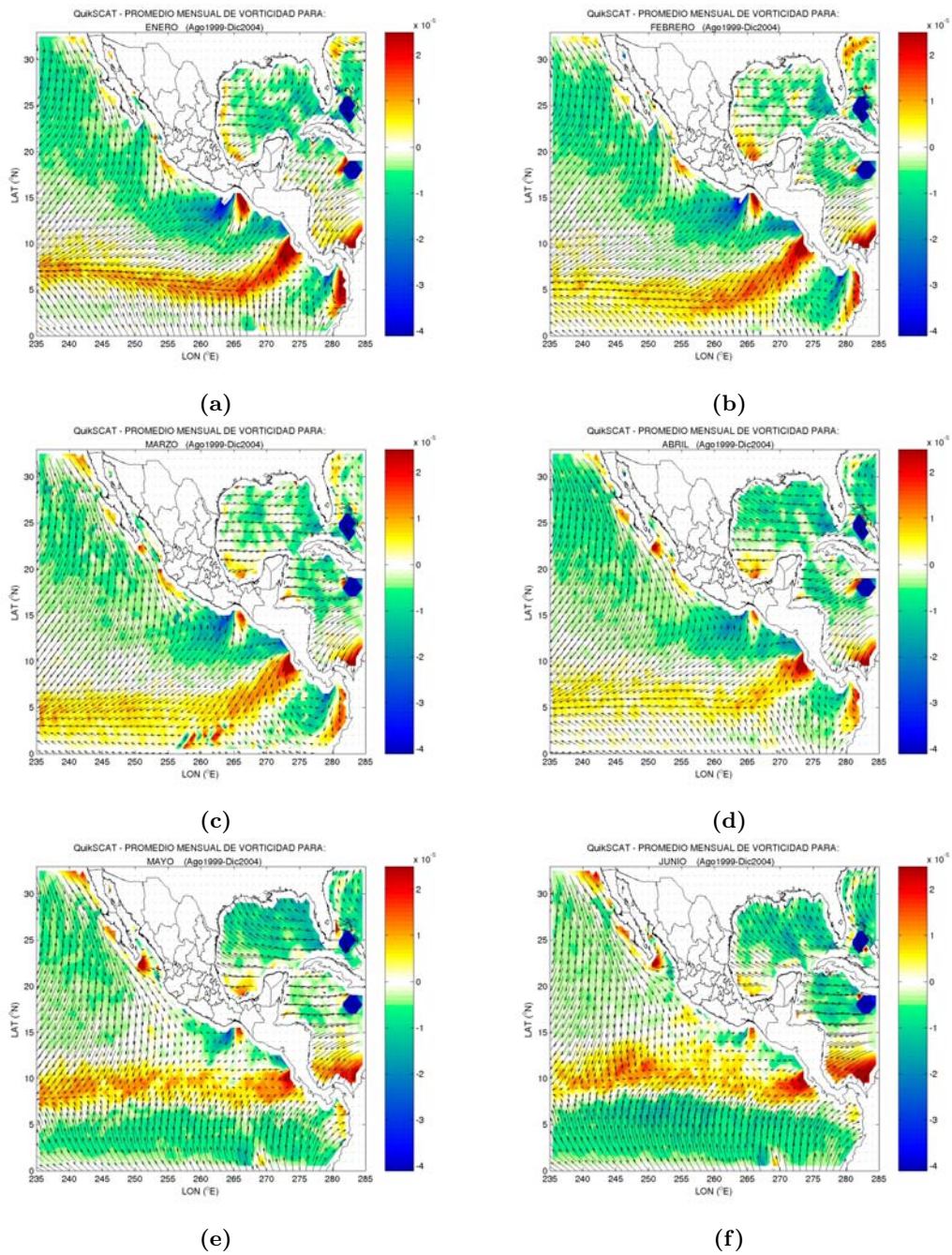
### 6.5. Mapas de divergencia y vorticidad

Los vientos en la frontera limítrofe oriental soplan generalmente hacia el suroeste (noroeste) a lo largo de la costa en el hemisferio norte (sur) y cambian progresivamente de dirección en los alisios ecuatoriales (ver figuras 6.61 y 6.62). La circulación en el Pacífico Trópico-Oriental está íntimamente relacionada con el viento (Reid, 1948) y con el final de la Contracorriente Ecuatorial, caracterizada por dos giros con sentido de rotación opuesto, centrado en  $8^{\circ}\text{N}$ ;  $89^{\circ}\text{W}$  y  $5^{\circ}\text{N}$ ;  $88^{\circ}\text{W}$ . El primero es la estructura hidrográfica del Domo de Costa Rica. La porción superficial de la Corriente Costera de Costa Rica se alimenta de la Contracorriente Nor-ecuatorial y consiste en Agua Tropical de Superficie. La fracción subsuperficial tiene aportes de Agua Subtropical Subsuperficial de la Subcorriente Ecuatorial, que induce un máximo de salinidad por debajo de la termoclina, a profundidades cercanas a los 200 metros (Wyrtki, 1967).

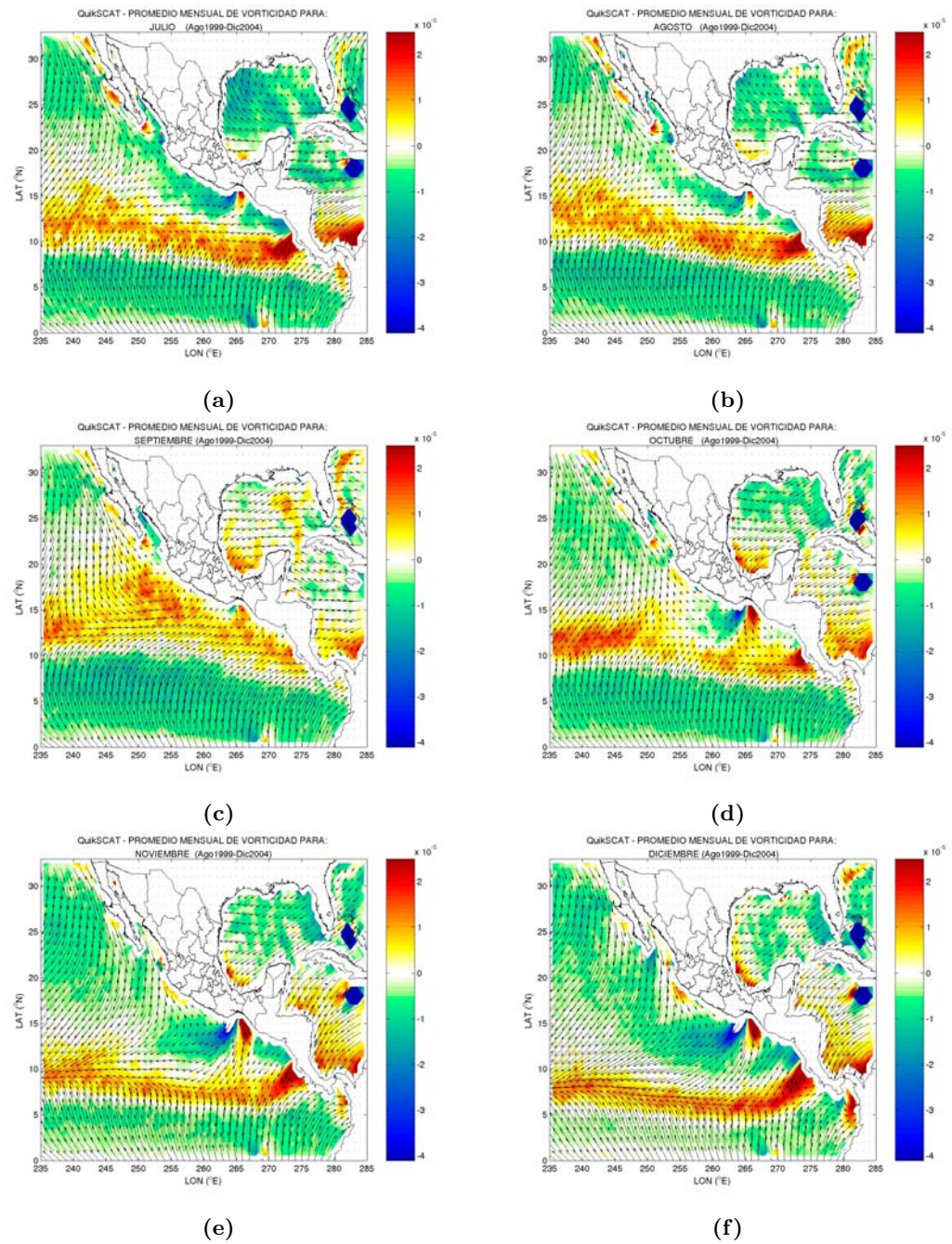
Durante los meses de diciembre a febrero suelen presentarse presiones atmosféricas particularmente elevadas en el Golfo de México y Mar Caribe, contenidas por la orografía del continente centroamericano. En los lugares en los que la cordillera de la Sierra Madre tiene elevaciones menores, como es en el Istmo de Tehuantepec, en Cabo Papagayo (frente a la región de los lagos en Nicaragua) y en Panamá, el gradiente transcontinental impulsa vientos fuertes del Golfo de México hacia el Pacífico (McCreary *et al.*, 1989). El resultado es un chorro oceánico perpendicular a la costa del Pacífico, con velocidades intensas y surgencias en su eje central, cizallamientos considerables en sus bordes y alimentado por una convergencia cercana a la costa [Alvarez *et al.* (1989); Csanady (1980)]. La extensión del agua fría a través de la Corriente Costera de Costa Rica forma un sistema de frentes térmicos, que son una manifestación común de estos sistemas de viento. Estos chorros suelen ir acompañados de un notable giro anticiclónico a la derecha del chorro de viento y, a veces, de un segundo giro ciclónico menor en el lado opuesto [Clarke (1988); Trasviña *et al.* (1995)].

Los mapas de vorticidad del viento (figuras 6.61 y 6.62) muestran la presencia de ésta a lo largo del año, en menor cantidad para los meses de Septiembre y Octubre, resaltando más éste fenómeno en los meses de Noviembre a Diciembre. También se puede observar como los vientos alisios no tienen tanta influencia en los primeros meses del año pero van avanzando con dirección norte a partir del mes de Mayo, teniendo más fuerza y cubriendo más área en los meses de Agosto, Septiembre y Octubre, para disminuir a finales del año. Los mapas de divergencia muestran que para la zona de estudio, en los primeros meses del año (Enero-Abril) se incrementa la divergencia. En los meses de Mayo a Noviembre se puede observar que hay convergencia, sin embargo para el mes de Diciembre nuevamente regresa la tendencia a divergencia (figuras 6.63, 6.64 y 6.65).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



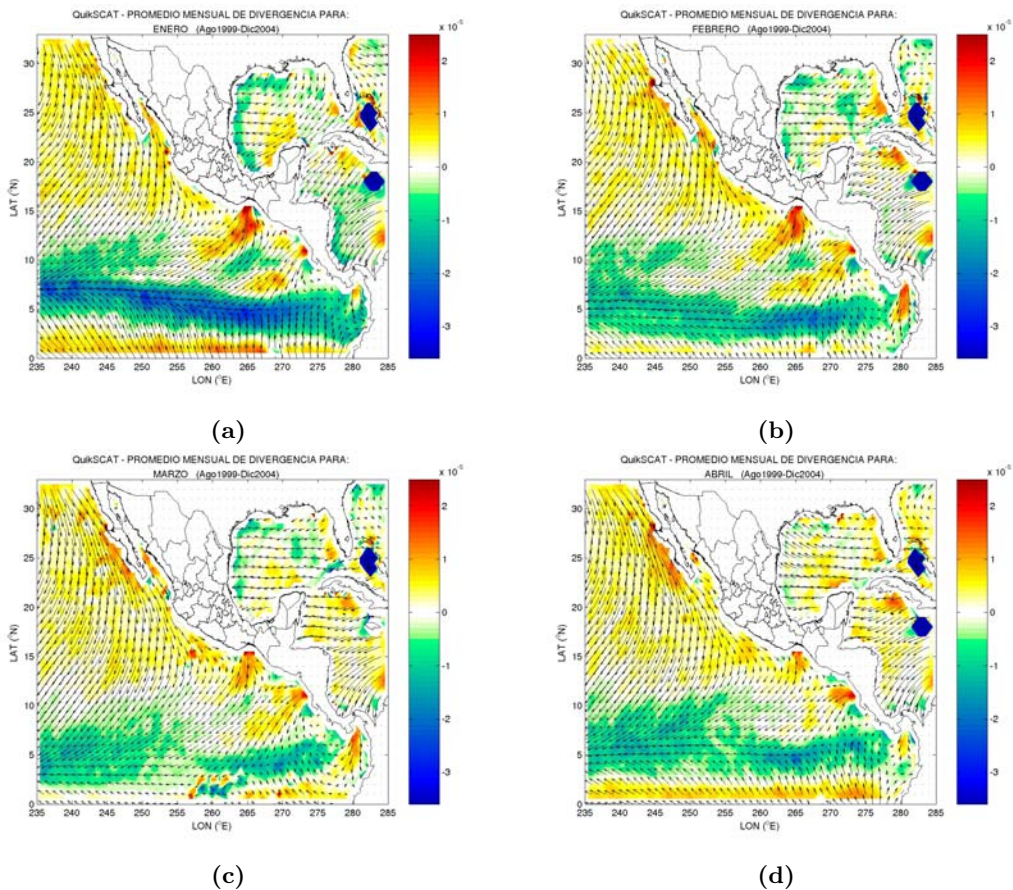
**Figura 6.61:** Promedio mensual de vorticidad del viento para los meses de Enero a Junio de los años de 1999 a 2004 (Romero-Centeno *et al.*, 2007).



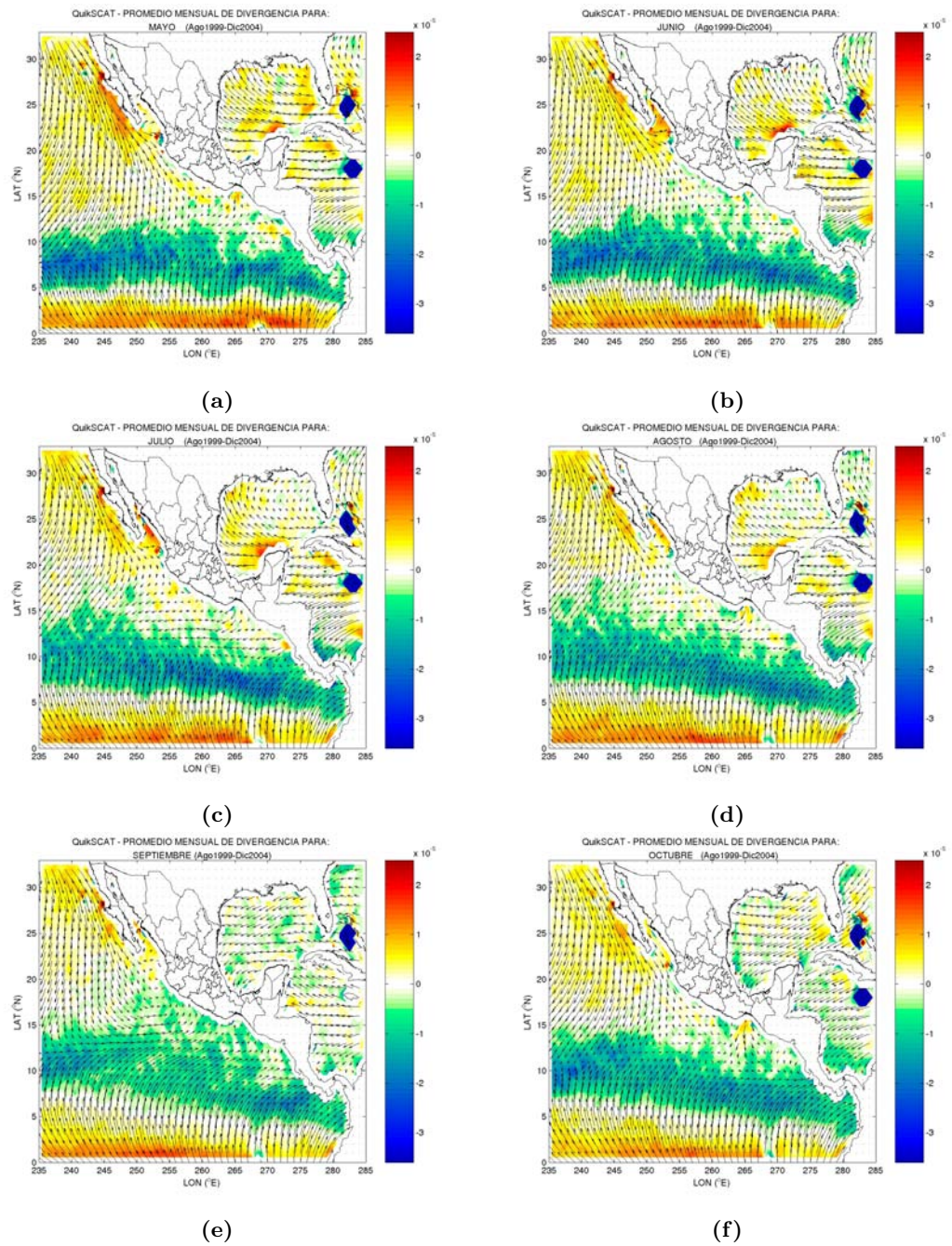
**Figura 6.62:** Promedio mensual de vorticidad del viento para los meses de Julio a Diciembre de los años de 1999 a 2004 (Romero-Centeno *et al.*, 2007).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado de los vientos tehuanos y papagayos se forman giros que tienen una transferencia de *momentum* comparable a la energía típica de los giros del Pacífico Trópico-Oriental. Estos giros son virtualmente circulares en su inicio, pero se alargan zonalmente durante su existencia, que es del orden de 6 meses (Stumpf y Legeckis, 1977). Estos giros juegan un papel importante en la redistribución y modificación de las masas de agua, en la mezcla de oxígeno disuelto hacia las capas profundas del Pacífico Trópico-Oriental (Figuras 6.63, 6.64 y 6.65).



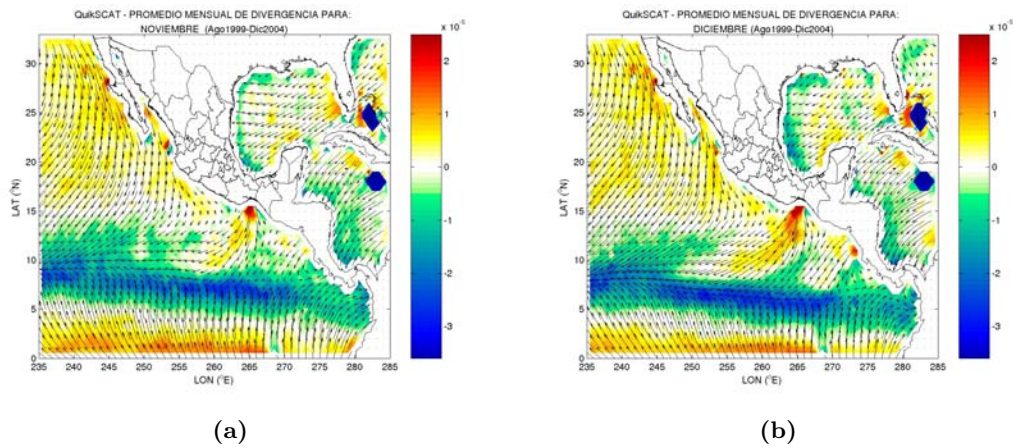
**Figura 6.63:** Promedio mensual de divergencia del viento para los meses de Enero a Abril de los años de 1999 a 2004 (Romero-Centeno *et al.*, 2007).



**Figura 6.64:** Promedio mensual de divergencia del viento para los meses de Mayo a Octubre de los años de 1999 a 2004 (Romero-Centeno *et al.*, 2007).



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



**Figura 6.65:** Promedio mensual de divergencia del viento para los meses de Noviembre a Diciembre de los años de 1999 a 2004 (Romero-Centeno *et al.*, 2007).

La configuración de este sistema acusa la importancia de la circulación ecuatorial (Leetmaa *et al.*, 1981) y de la Corriente de California (Chelton *et al.*, 1982), que sin duda imponen los gradientes de presión básicos. Si bien el Domo de Costa Rica no parece deber su existencia a un efecto atmosférico directo, es de esperarse que tanto el esfuerzo superficial del viento como su rotacional tengan efectos locales apreciables, alterando la forma de la termoclina (Hofmann *et al.*, 1981). Este mecanismo deber ser particularmente importante cerca de la costa, donde el cizallamiento del campo de viento ciclónico tiene el sentido correcto para impulsar la Corriente Costera de Costa Rica (Allen y Smith, 1981). El sistema de subcorrientes extremadamente desarrollado debe jugar un papel indudable sobre la circulación del Pacífico Trópico-Oriental.

## Conclusiones y Recomendaciones

---

En conclusión, el Domo de Costa Rica es un giro ciclónico encofrado, al sur, por la Contracorriente Norecuatorial, al este y norte, por la corriente Costera de Costa Rica, y al norte y noroeste, por la prolongación de la corriente de California e inicios de la Corriente Norecuatorial.

Las dos teorías principales referentes al origen del Domo de Costa Rica, la primera donde se considera el domo como parte intrínseca del sistema de circulación del Pacífico Trópico-Oriental expuesta por Wyrтки (1964) y la segunda que se basa en un modelo numérico impulsado por vientos medios mensuales expuesta por Hofmann *et al.* (1981), muestran que los estudios que se han hecho de la zona aún tienen que conciliar el origen del Domo, el considerar que son teorías incluyentes podría ayudar a obtener un mejor análisis de la zona.

La intensidad de la circulación está relacionada con la intensidad de los vientos, pues existe una congruencia apreciable entre las fluctuaciones de los sistemas atmosféricos y la posición de los puntos de confluencia de las corrientes. La complejidad que resulta de la presencia de esas masas de agua en conjunto con los procesos de mesoescala conforma las estructuras dominantes en el pacífico mexicano (Badan, 1997).

Lo cierto es que el mecanismo que causa el afloramiento costero no es único y puede ser de exhaustivo análisis. El más común se da por el transporte de Ekman, ya que la superficie del océano y la componente de viento a lo largo de la costa están en constante contacto, generando así fricción, y a esto se suma la rotación terrestre.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

El esfuerzo del viento sobre el océano genera capas y corrientes de Ekman, La capa superficial de Ekman es la porción del océano en la cual el gradiente de presión, la fuerza de Coriolis y el arrastre turbulento están balanceados. Así la componente del viento a lo largo la costa genera transporte ya sea costa dentro o costa afuera.

Otros mecanismos de surgencia consideran factores como la fricción del agua con el fondo, el efecto de Coriolis, topografía, estratificación, dinámica no lineal, vorticidad, curvatura de la costa, variaciones de la viscosidad turbulenta, cizallamiento de la corriente cerca del talud (Jiménez-Lagunes, 2004).

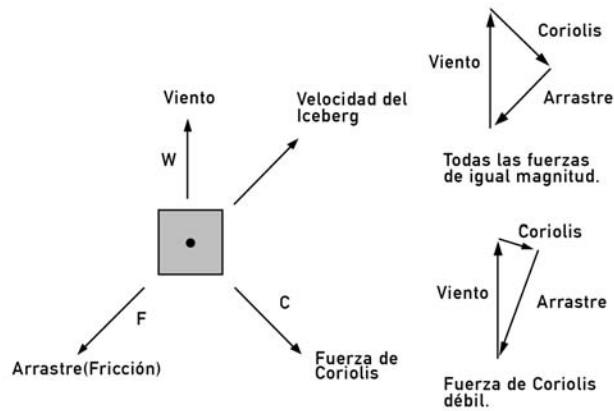
El análisis de las observaciones que se han realizado sobre la localización del Domo de Costa Rica se ha ido enriquecido con las variadas campañas de recolección de información. La posibilidad de proteger la sostenibilidad ecológica que surge de este fenómeno es de vital importancia; los factores que afectan la zona podrían impactar negativamente tanto en el ámbito económico como en el social, como consecuencia de la falta de cuidado que se genera al formar parte de una ruta de transporte marítimo mundial de lata relevancia.

Es importante mantener actualizada la información sobre este lugar de vital importancia, ya que es uno de los sitios más ricos del planeta y con una cadena de productividad relevante. La conservación marítima de este punto clave en la migración y alimentación de especies como la ballena azul, tortugas y delfines, es imperativo.

## .1. Capa de Ekman

Los vientos que soplan constantemente sobre la superficie del mar producen una capa límite, horizontal y delgada, conocida como la capa de Ekman. Al decir que esta capa es delgada nos referimos a un grosor de varios metros en comparación con la profundidad promedio del océano. También existe una capa similar en el fondo conocida como la capa de Ekman del fondo (Stewart, 2008).

Se buscaba tener un mejor entendimiento de cómo es que los vientos guían la circulación de los océanos así como el estudio teórico de la influencia que tiene la rotación de la Tierra en las corrientes de aire (Figura 1).



**Figura 1:** El balance de las fuerzas que hay en un iceberg movido por el viento a consecuencia de la rotación de la Tierra.

La profundidad de la capa de Ekman está íntimamente relacionada con la profundidad en donde se puede encontrar que la fuerza de fricción es igual a la fuerza de Coriolis en la ecuación del momento. La fuerza de Coriolis es  $fu$ , y la fuerza de fricción es  $A_z \delta^2 U / \delta z^2$ . La relación de las fuerzas, la cual es no dimensional, se le conoce como número de Ekman:

$$E_z = \frac{\text{FuerzadeFriccion}}{\text{FuerzadeCoriolis}} = \frac{A_z \frac{\delta^2 u}{\delta z^2}}{fu} = \frac{A_z \frac{u}{d^2}}{fu} \quad (1)$$

$$E_z = \frac{A_z}{fd^2} \quad (2)$$

Donde se han aproximado los términos usando velocidades típicas  $u$ , y las profundidades típicas  $d$ . El subíndice  $z$  es necesario porque el océano se encuentra estratificado y la mezcla en lo vertical es mucho menor que la mezcla en lo horizontal.

Debido a que los vientos que constantemente soplan sobre la superficie del mar producen una capa de Ekman que transporta el agua en un ángulo recto con respecto a la dirección del viento.

La componente del viento paralela a la costa induce un transporte de las aguas superficiales hacia afuera (o adentro) de la costa generando surgencias (subsidiencias).

Las surgencias son importantes porque:

- Mejoran la productividad biológica, la cual “alimenta” a la pesca.
- Las aguas frías de la surgencia alteran el clima local. El tiempo en tierra de las regiones de afloramiento tienden a tener niebla, estratos de nubes bajas, una atmósfera estratificada estable, poca convección y poca lluvia.
- La variabilidad espacial de los transportes en el océano abierto conduce al afloramiento y hundimiento, lo que conduce a la redistribución de la masa en el océano, lo que conduce al impulso del viento de las corrientes geostroficas derivadas del bombeo de Ekman.



## .2. Programa para procesado y graficado de planos horizontales

```
% Program HorizontalPlanesDomos
%
% This program generate horizontal planes for
% the Domos cruises at presicribed depths
% It uses the data calibrated by DIMA
%
\clear
\close all
\Niveles = [0:50:1000];

\for ij=1:4;

    if ij==1
        NumEstaciones=119;
    elseif ij==2
        NumEstaciones=68;
    elseif ij==3
        NumEstaciones=88;
    else
        NumEstaciones=108;
    end
end
```



```
Sal(1:NumEstaciones,1:length(Niveles)) = NaN;
Temp(1:NumEstaciones,1:length(Niveles)) = NaN;
LatEst(1:NumEstaciones) = NaN;
LonEst(1:NumEstaciones) = NaN;

for ii=1:NumEstaciones
    ii

    if ((ij==1 & ii~=72) & (ij==1 & ii~=93)) | ...
        ((ij==2 & ii~=46) & (ij==2 & ii~=47)) | ...
        ij==3 |...
        ij==4

        FileNum=num2str(ii);
        if ii < 10
            FileNum=strcat('00',FileNum);
        elseif ii < 100
            FileNum=strcat('0',FileNum);
        else
            FileNum=strcat(FileNum);
        end;

        if ij==1
            FileIn=strcat('C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\asc\DOMO_1\D1D',FileNum,'.ASC');
        elseif ij==2
            FileIn=strcat('C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\asc\DOMO_2\D2D',FileNum,'.ASC');
        elseif ij==3
            FileIn=strcat('C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\asc\DOMO_3\D3D',FileNum,'.ASC');
        else
            FileIn=strcat('C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\asc\DOMO_4\D4D',FileNum,'.ASC');
        end
    end
end
```

```
fid=fopen(FileIn,'rt');
tline1 = fgets(fid);
tline2 = fgets(fid);
tline3 = fgets(fid);

Lon = str2num(tline1(15:20));
Lat = str2num(tline1(6:10));
LatD =Lat(1,1);
LatM= Lat(1,2);
Latitu = LatD + LatM/60;
LonD =Lon(1,1);
LonM= Lon(1,2);
Longitu = -(LonD + LonM/60);
CountLine = 1;
tline = fgets(fid);

    while length(tline) >= 2
        Z(CountLine) = str2num(tline(1:9));
        T(CountLine) = str2num(tline(10:17));
        S(CountLine) = str2num(tline(18:25));
        CountLine = CountLine +1;
        tline = fgets(fid);
    end

fclose(fid);
Est(ii)=ii;
LatEst(ii) = Latitu;
LonEst(ii) = Longitu;
if ij>=3 % this is to avoid repeated depth which cause errors
    for ik=1:length(Z)
        Z(ik)=Z(ik)+rand(1)*.001;
    end
```

```
end
I = find(abs(S) < 50); % to avoid -99
Sal_1 = interp1(Z(I),S(I),Niveles,'nearest','extrap');
Temp_1 = interp1(Z,T,Niveles,'nearest','extrap');
Sal(Est(ii),:) = Sal_1;
Temp(Est(ii),:) = Temp_1;
end
clear Sal_1 Temp_1 Z T S
end

LonMax = -84;
LonMin = -96;
LatMin = 1;
LatMax = 16;

XX = LonMin:0.1:LonMax;
YY = LatMin:0.1:LatMax;

%%
for jj=1:length(Niveles)
I = find(isnan(Sal(:,jj))==0);
if length(I) >= 3
Sal2D = [LonEst(I)' LatEst(I)' Sal(I,jj)];
ZZ = griddata(Sal2D(:,1),Sal2D(:,2),Sal2D(:,3), XX,YY' );
figure
MinSal = min(Sal(I,jj))-0.01;
MaxSal = max(Sal(I,jj))+0.01;
RangoSal = [MinSal MaxSal];
VecSal = MinSal:(MaxSal-MinSal)/17:MaxSal;
contourf(XX,YY,ZZ,VecSal), caxis(RangoSal), colormap(jet(16)), shading flat
colorbar
hold on
```

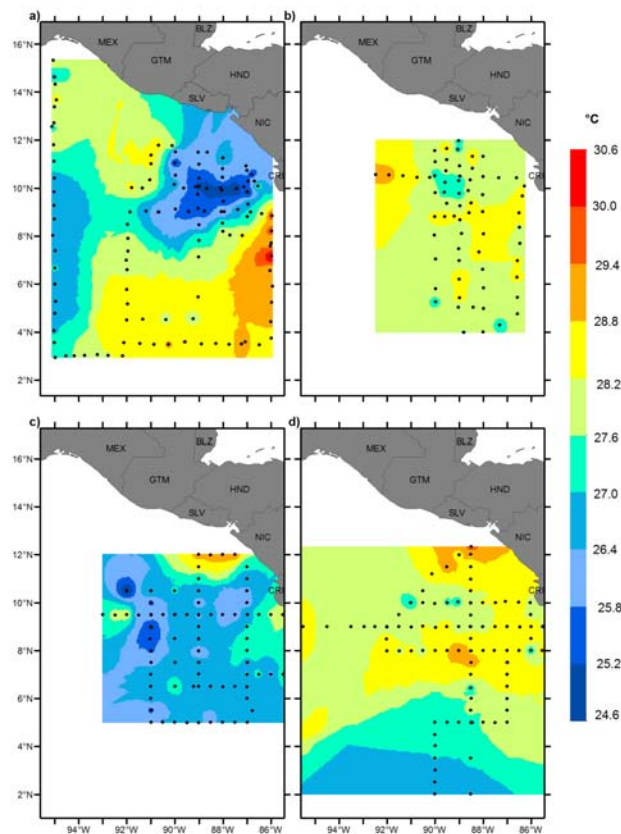
```
plot(LonEst(I),LatEst(I),'o','MarkerEdgeColor','k',...
     'MarkerFaceColor','k','MarkerSize',3);
StrNivel = num2str(Niveles(jj),'%05.2d');
Titulo = ['Salinity at: ', StrNivel, ' m'];
title(Titulo)
if ij==1
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D1\H_Sal',StrNivel];
elseif ij==2
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D2\H_Sal',StrNivel];
elseif ij==3
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D3\H_Sal',StrNivel];
else
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D4\H_Sal',StrNivel];
end
print('-dpng',Arch)
end
end

for jj=1:length(Niveles)
    I = find(isnan(Temp(:,jj))==0);
    if length(I) >= 3
        Temp2D = [LonEst(I) LatEst(I) Temp(I,jj)];
        ZZ = griddata(Temp2D(:,1),Temp2D(:,2),Temp2D(:,3), XX,YY' );
        figure
        MinTemp = min(Temp(I,jj))-0.01;
        MaxTemp = max(Temp(I,jj))+0.01;
        RangoTemp = [MinTemp MaxTemp];
        VecTemp = MinTemp:(MaxTemp-MinTemp)/17:MaxTemp;
        contourf(XX,YY,ZZ,VecTemp), caxis(RangoTemp), colormap(jet(16)),shading flat
        colorbar
        hold on
        plot(LonEst(I),LatEst(I),'o','MarkerEdgeColor','k',...
```

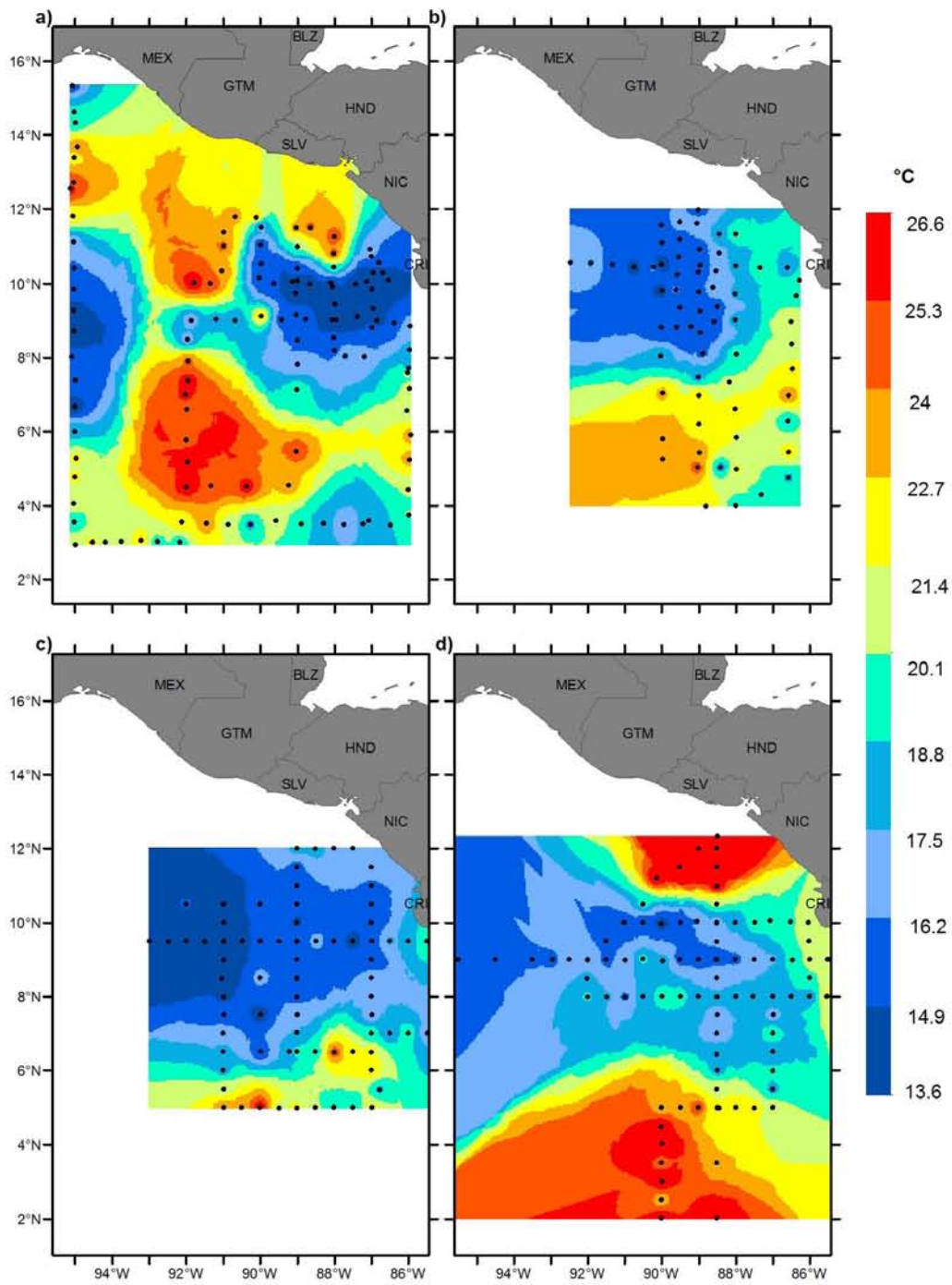
```
        'MarkerFaceColor','k','MarkerSize',3);
%colorbar
StrNivel = num2str(Niveles(jj),'%05.2d');
Titulo = ['Temperature at: ', StrNivel, ' m'];
title(Titulo)
if ij==1
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D1\H_Temp',StrNivel];
elseif ij==2
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D2\H_Temp',StrNivel];
elseif ij==3
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D3\H_Temp',StrNivel];
else
    Arch = ['C:\Users\arantxa\Desktop\Domo\imagenes\D4\H_Temp',StrNivel];
end
    print('-dpng',Arch)
end
end
end
```

## .3. Domos por nivel

A continuación se muestran los mapas de temperatura y salinidad ordenados de acuerdo a la misma profundidad para las cuatro campañas. De ésta manera, la comparación resulta más eficiente y se obtiene una mejor interpretación de estos mismos.



**Figura 2:** Mapas de temperatura en la superficie para las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 3:** Mapas de temperatura a 50 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

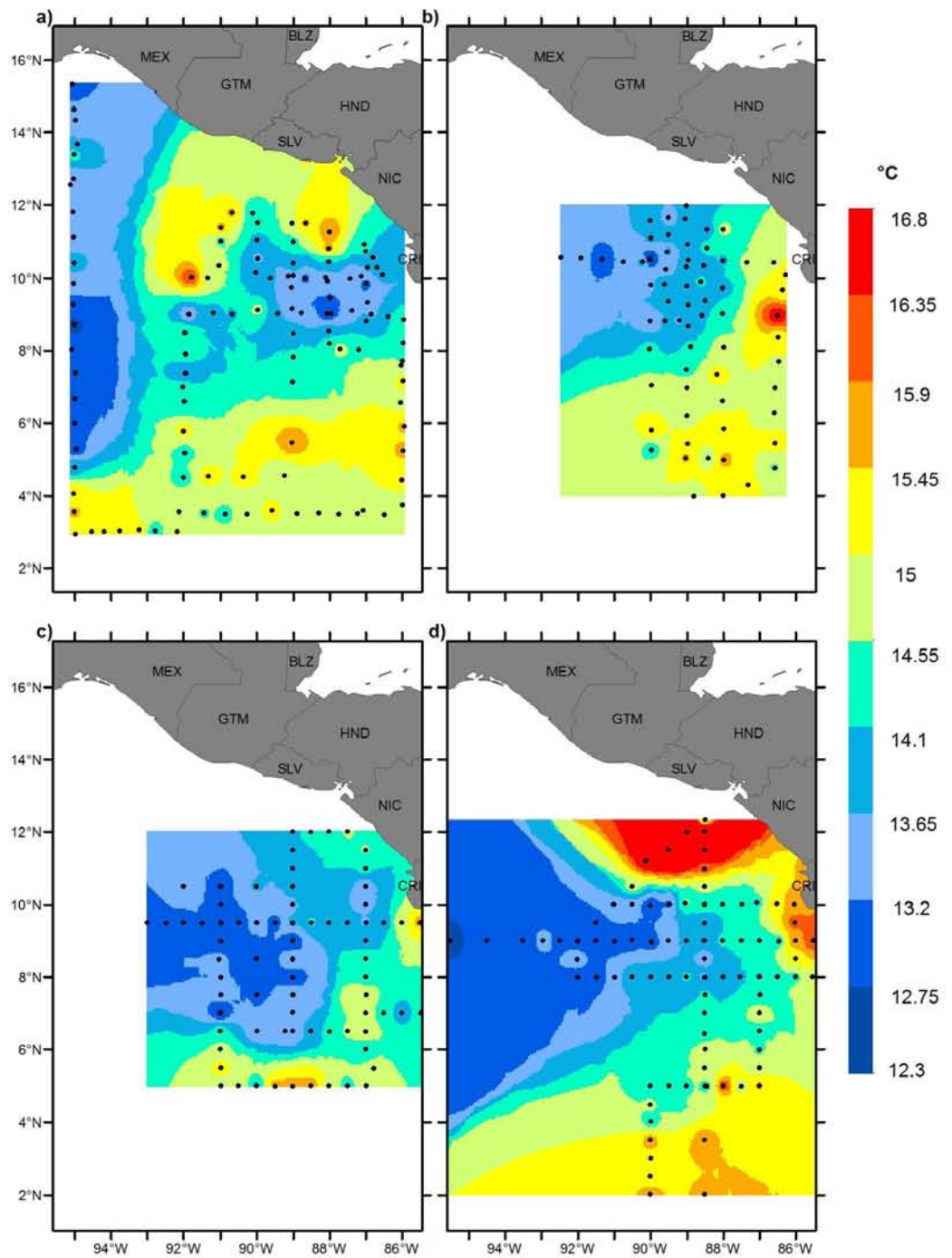
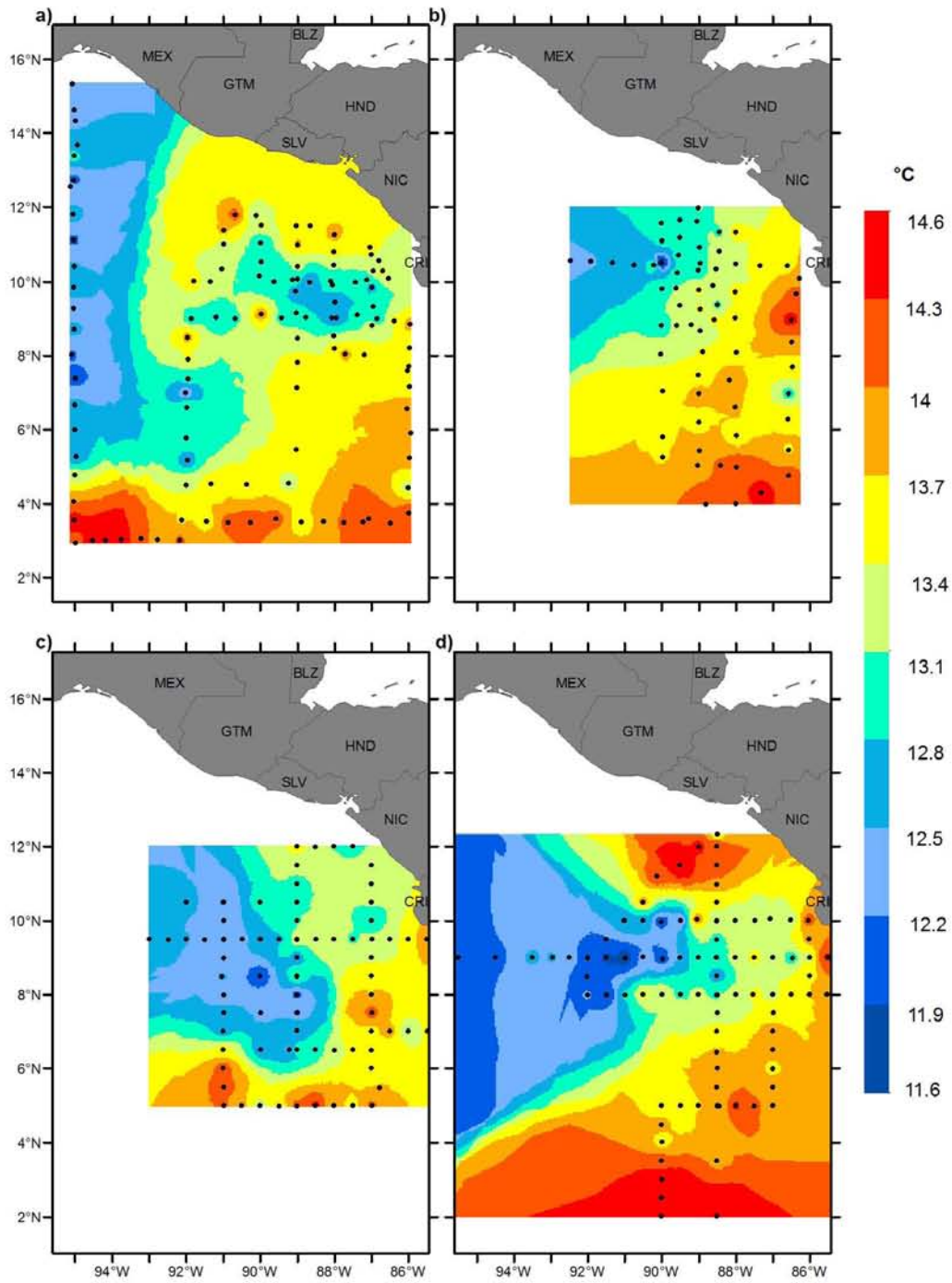


Figura 4: Mapas de temperatura a 100 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2 ,3 y 4.





**Figura 5:** Mapas de temperatura a 150 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

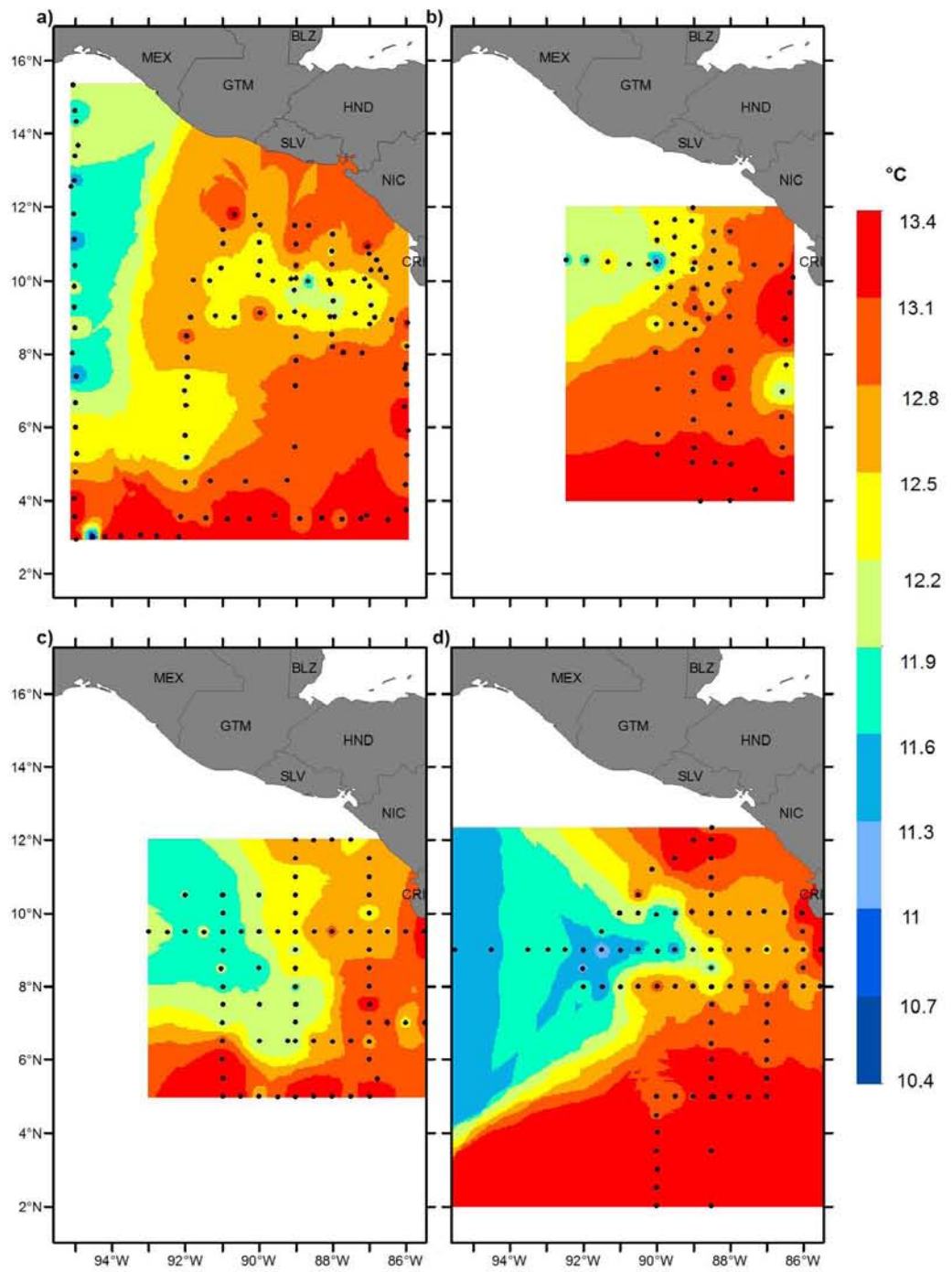
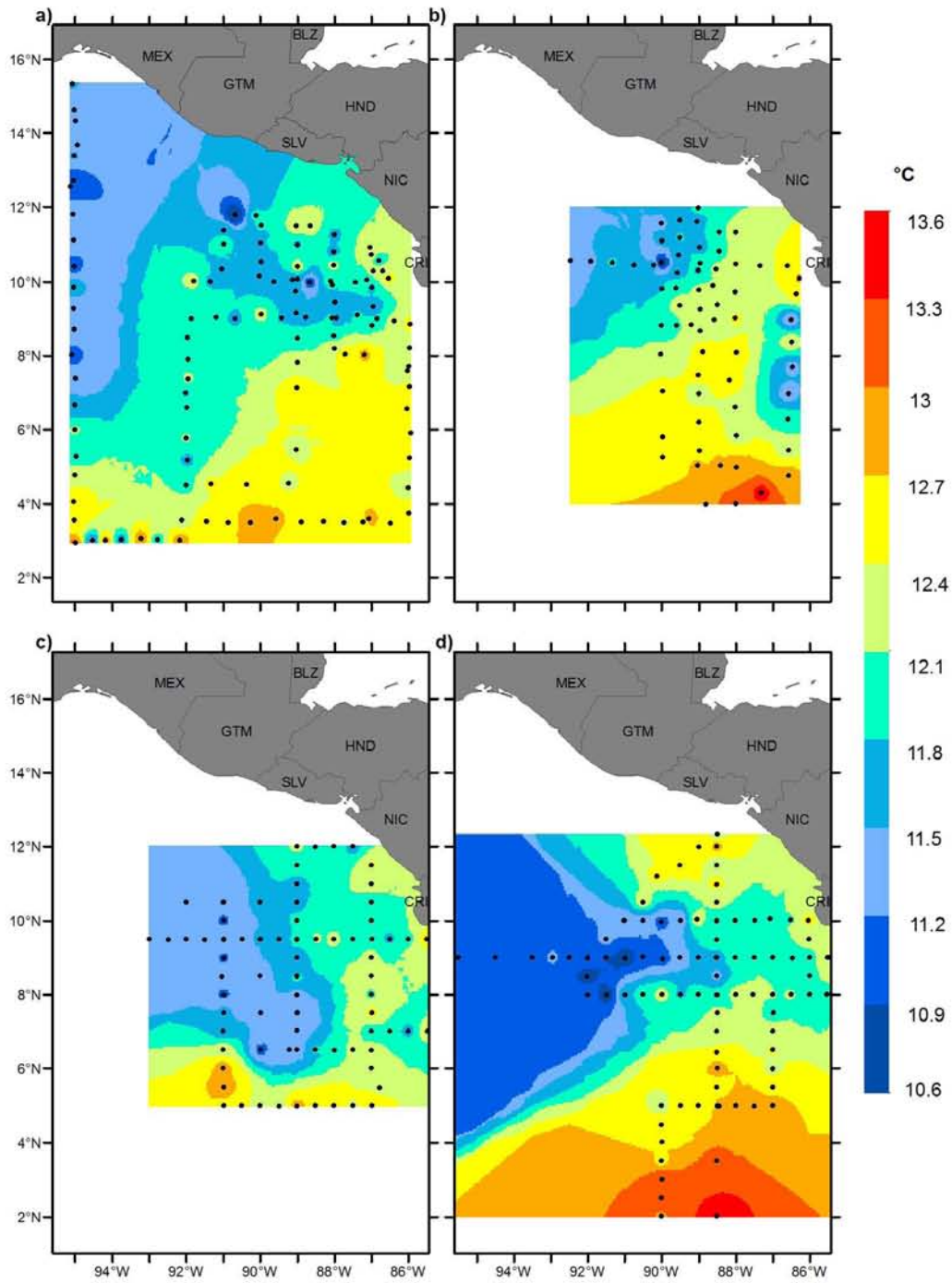


Figura 6: Mapas de temperatura a 200 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 7:** Mapas de temperatura a 250 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

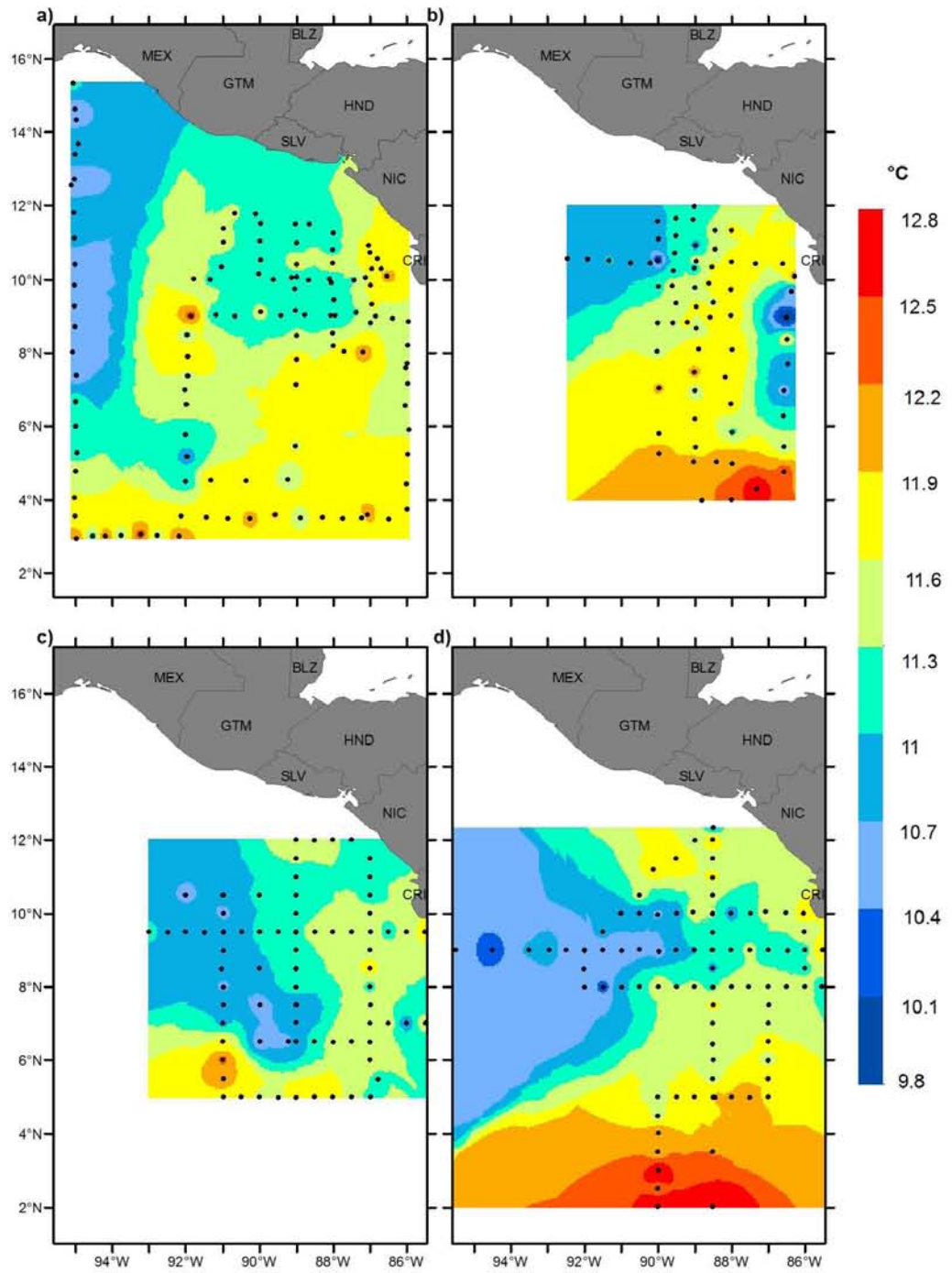
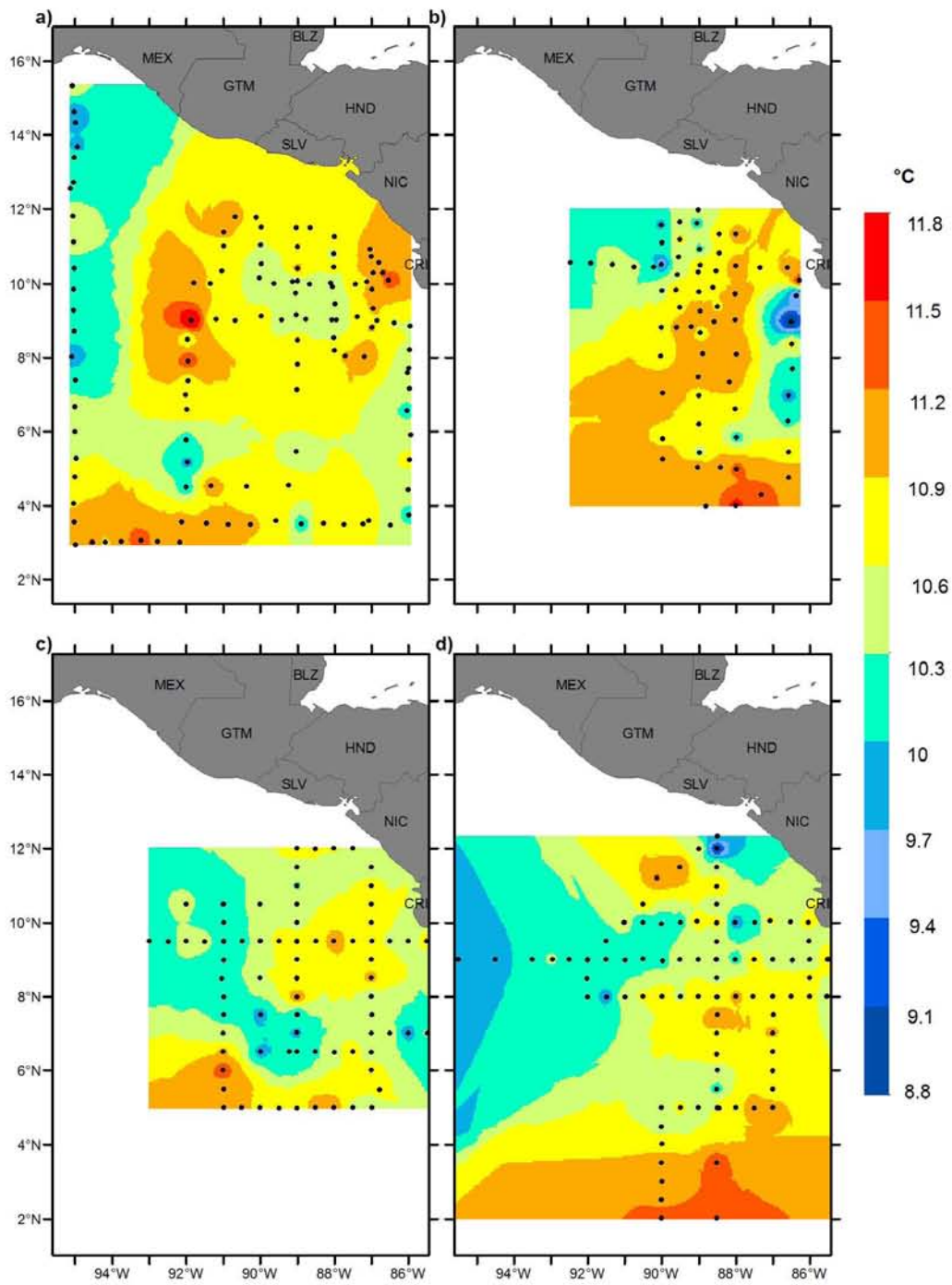


Figura 8: Mapas de temperatura a 300 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 9:** Mapas de temperatura a 350 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

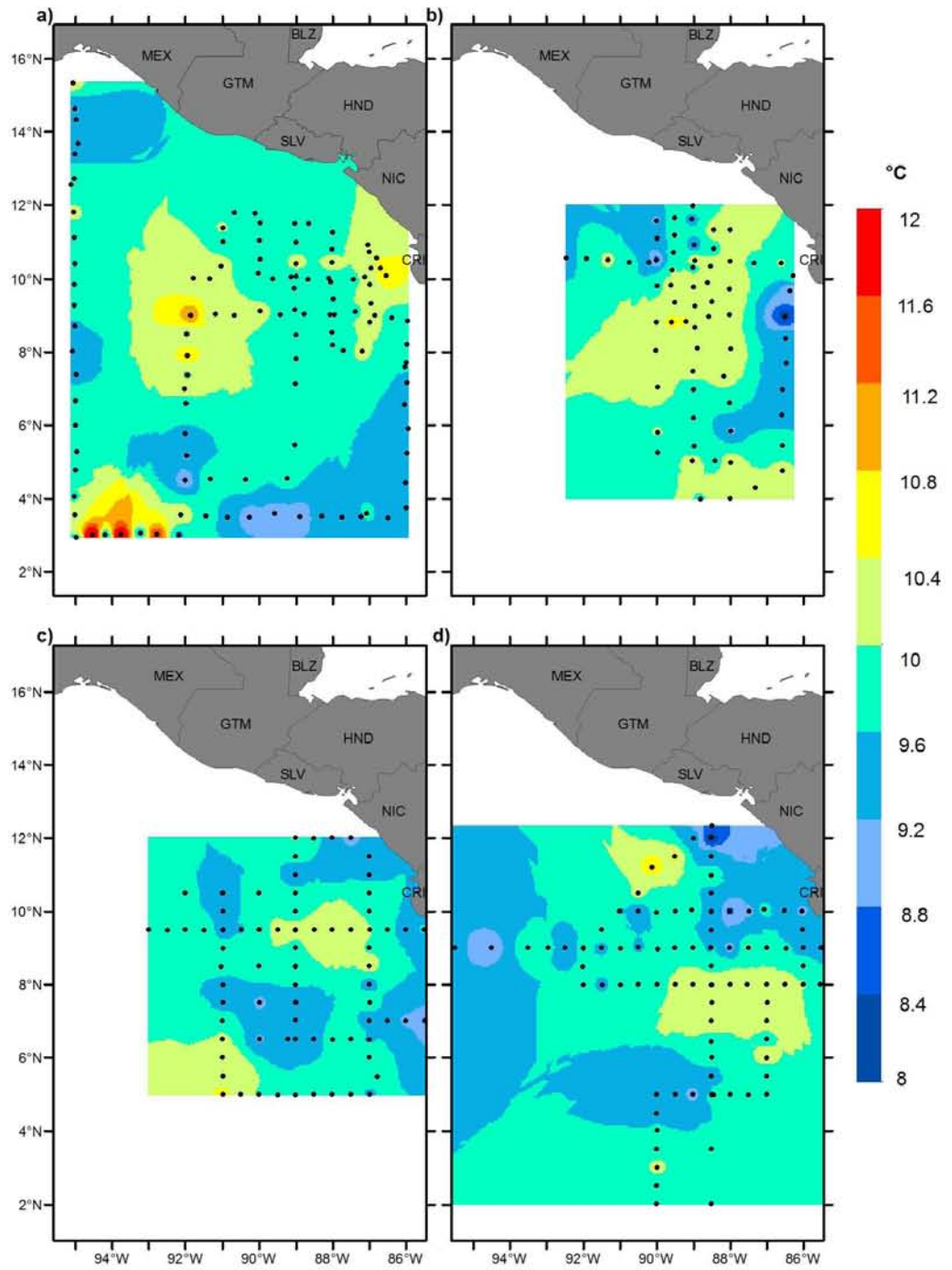


Figura 10: Mapas de temperatura a 400 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

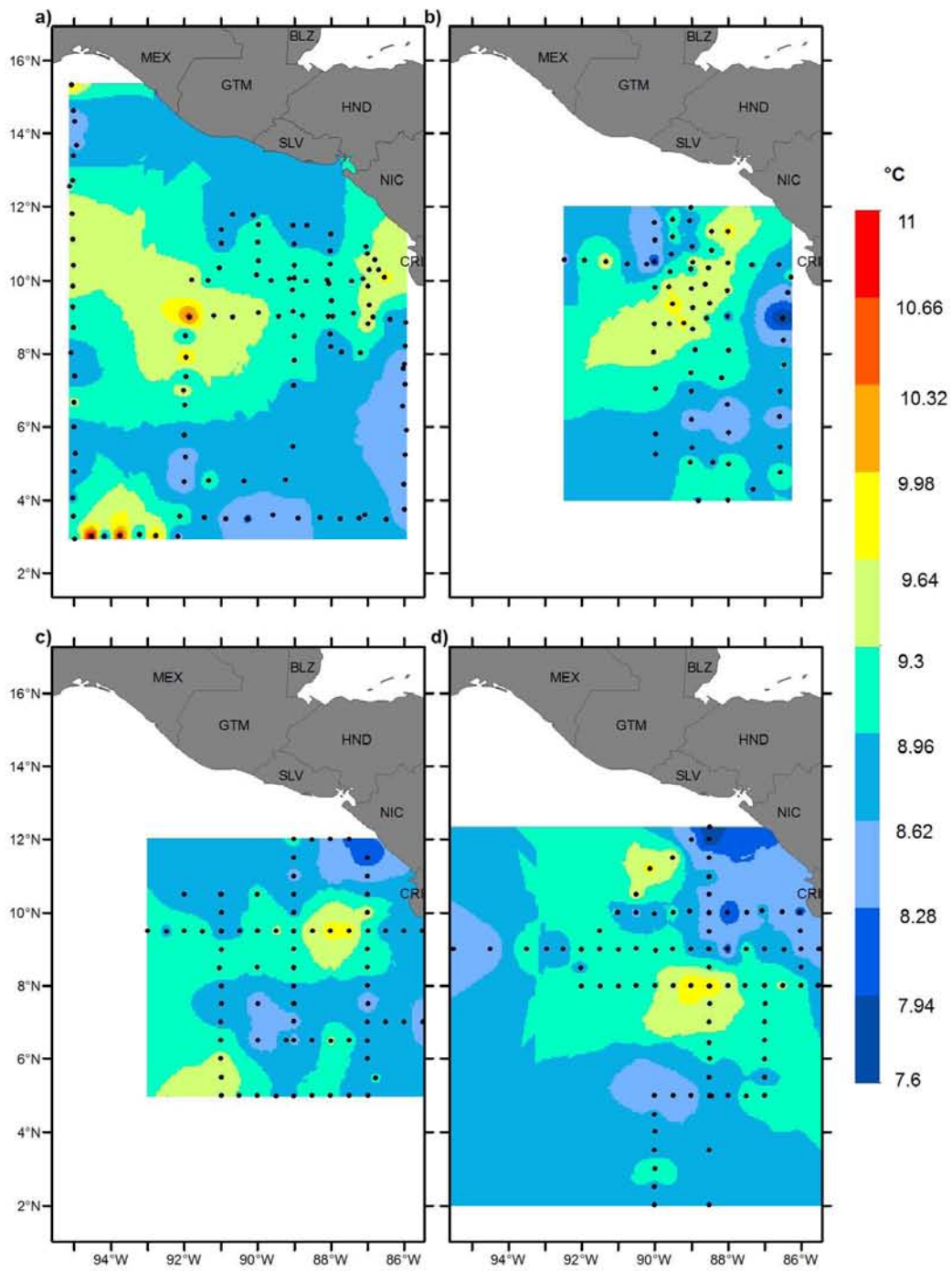
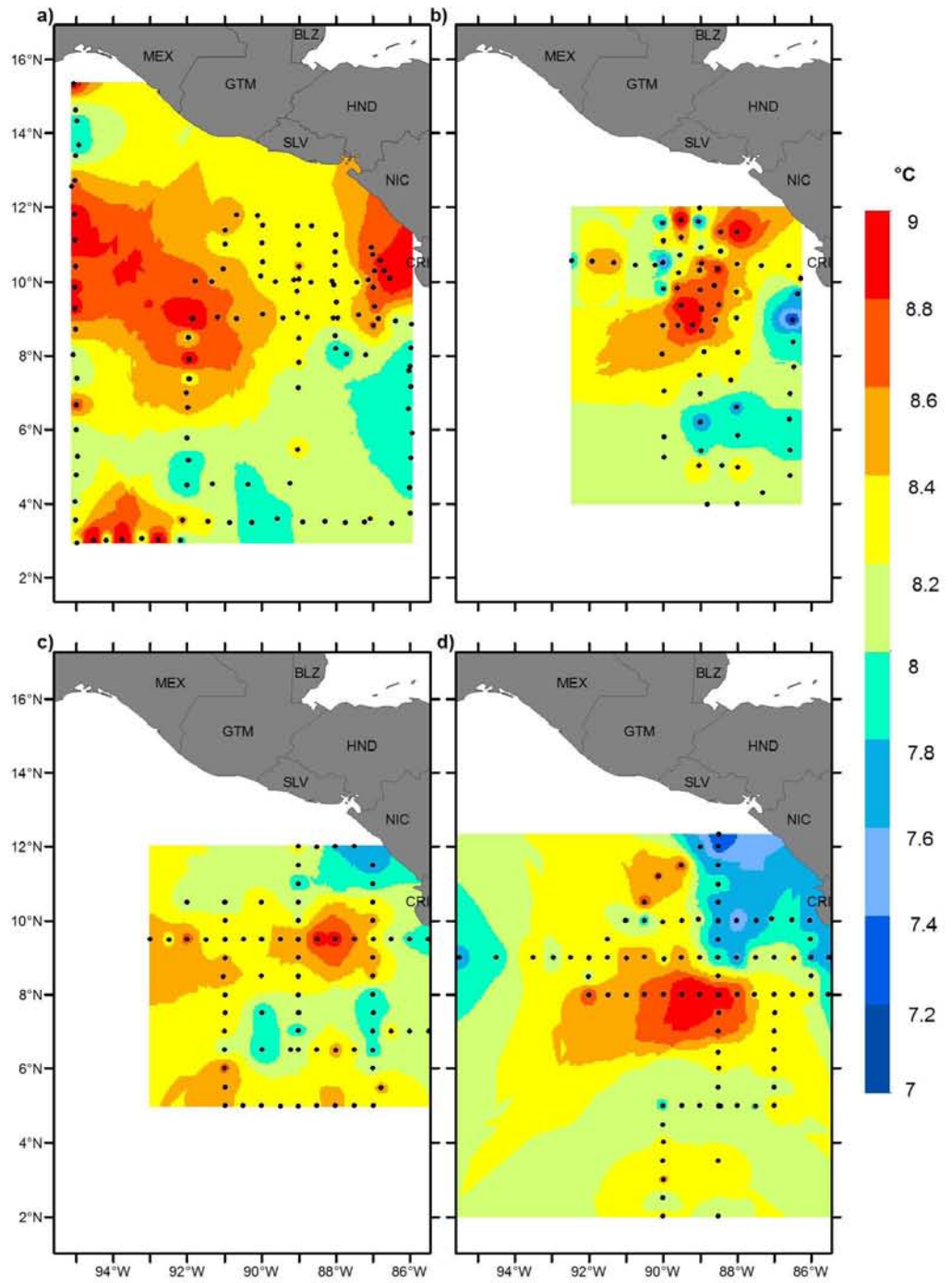


Figura 11: Mapas de temperatura a 450 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 12:** Mapas de temperatura a 500 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



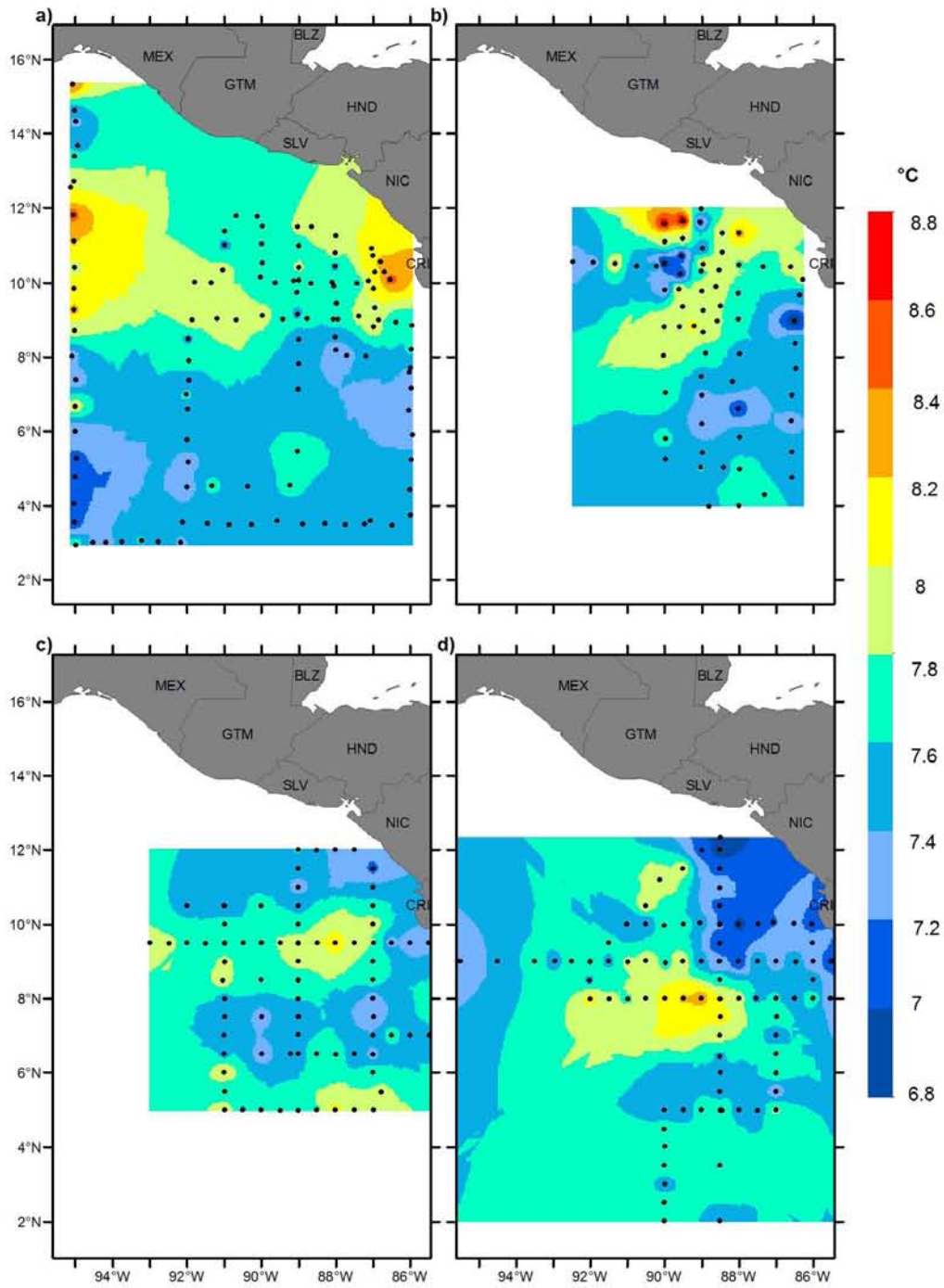


Figura 13: Mapas de temperatura a 550 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

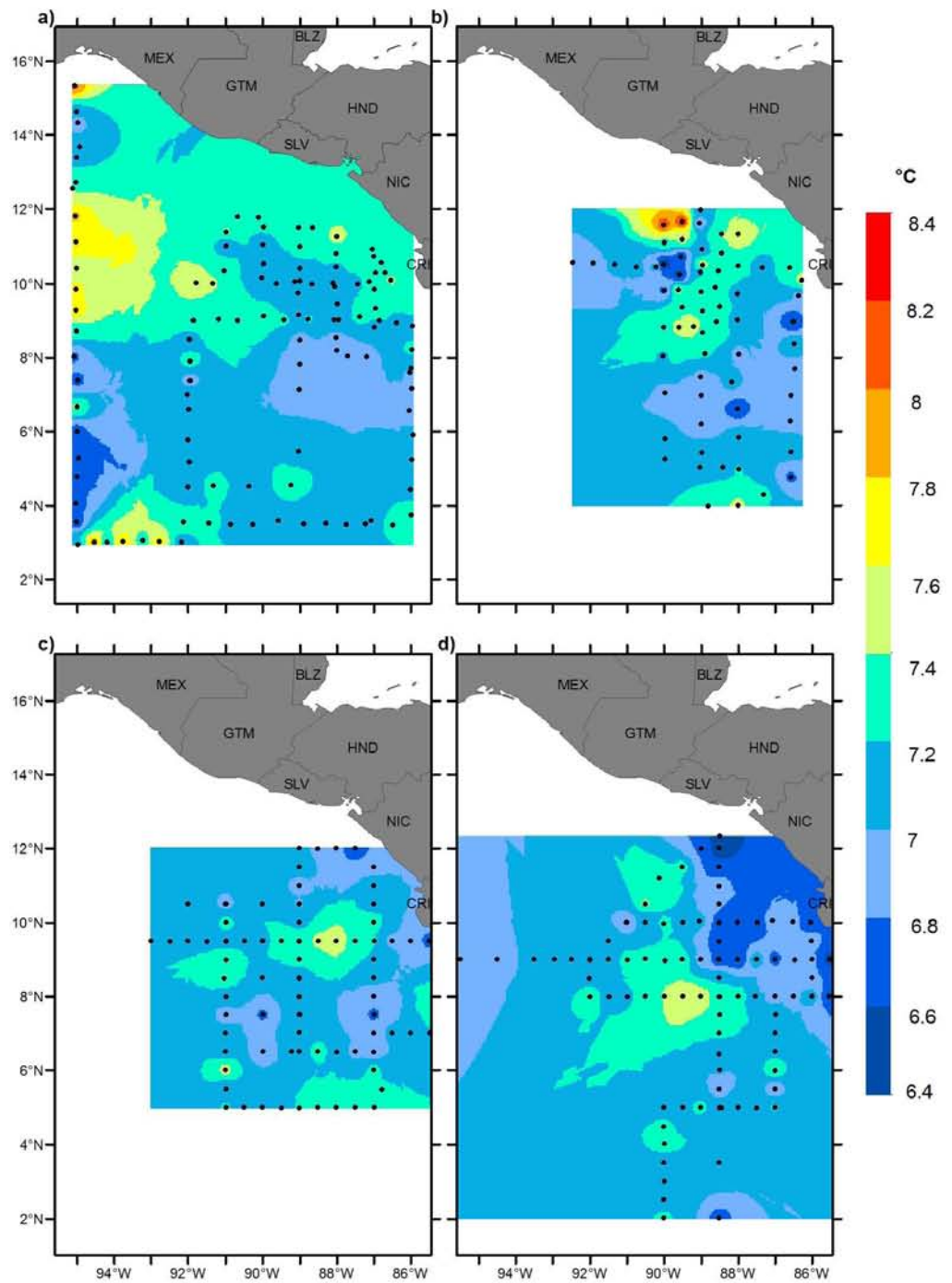


Figura 14: Mapas de temperatura a 600 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

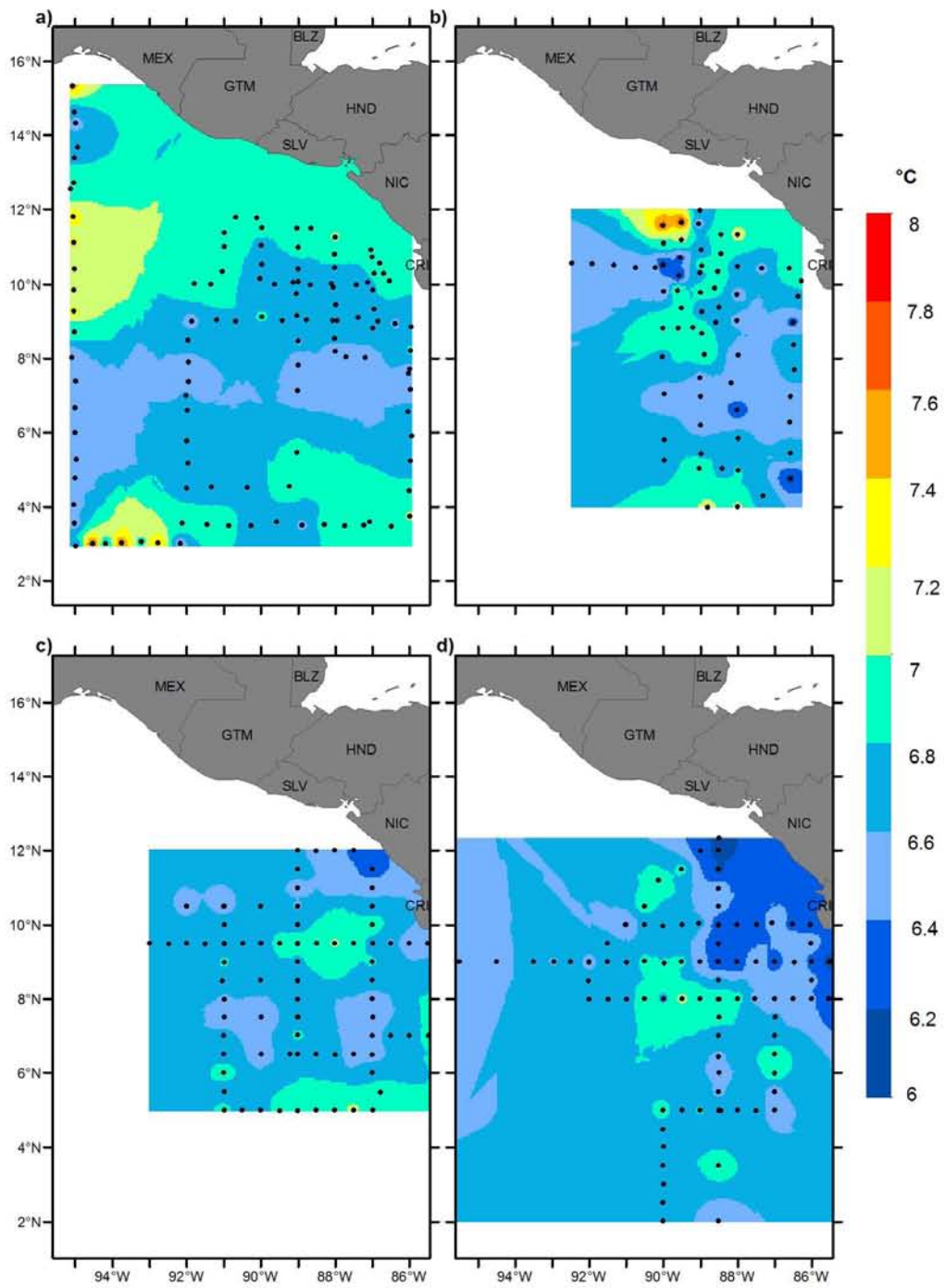


Figura 15: Mapas de temperatura a 650 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

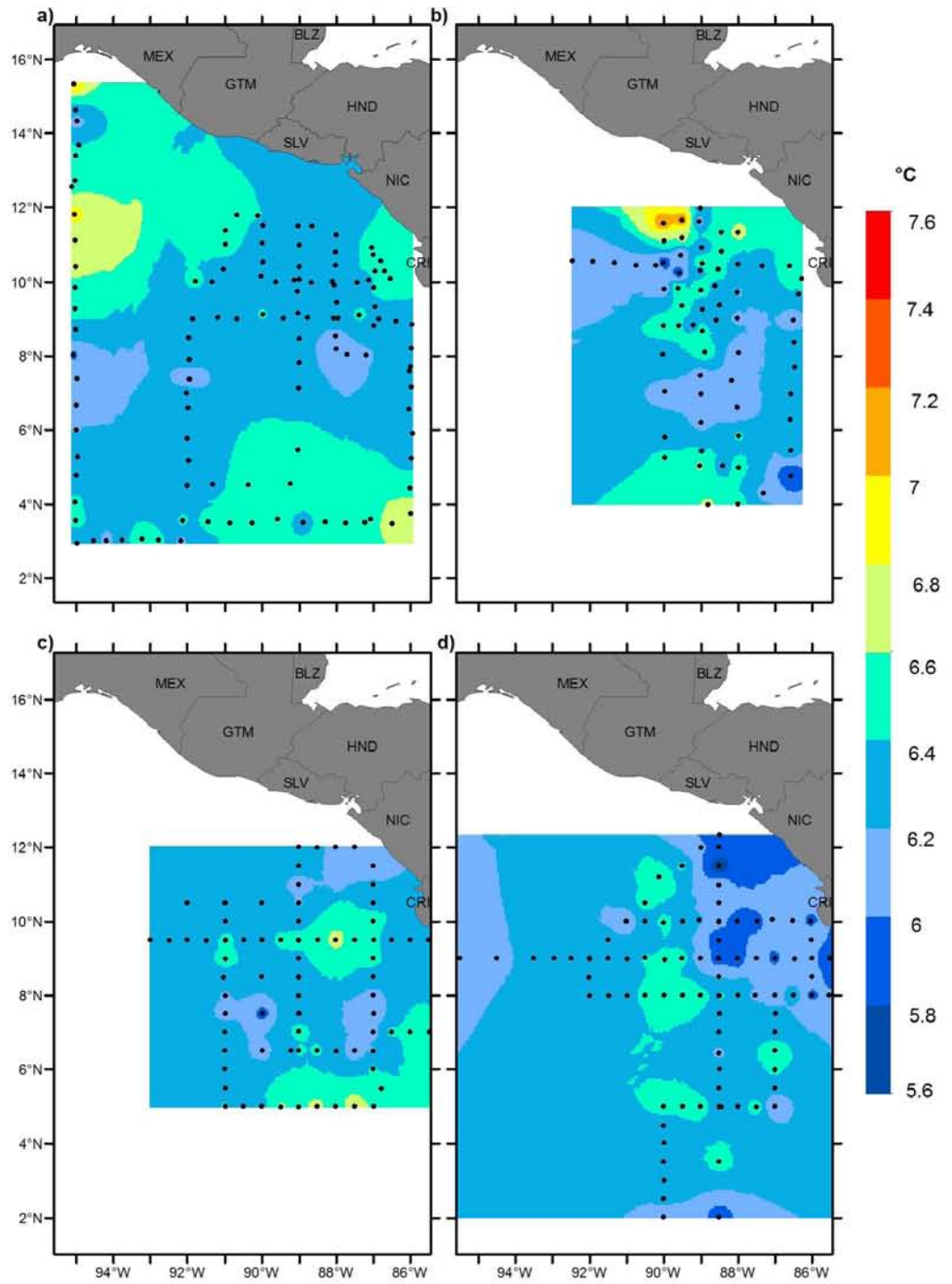
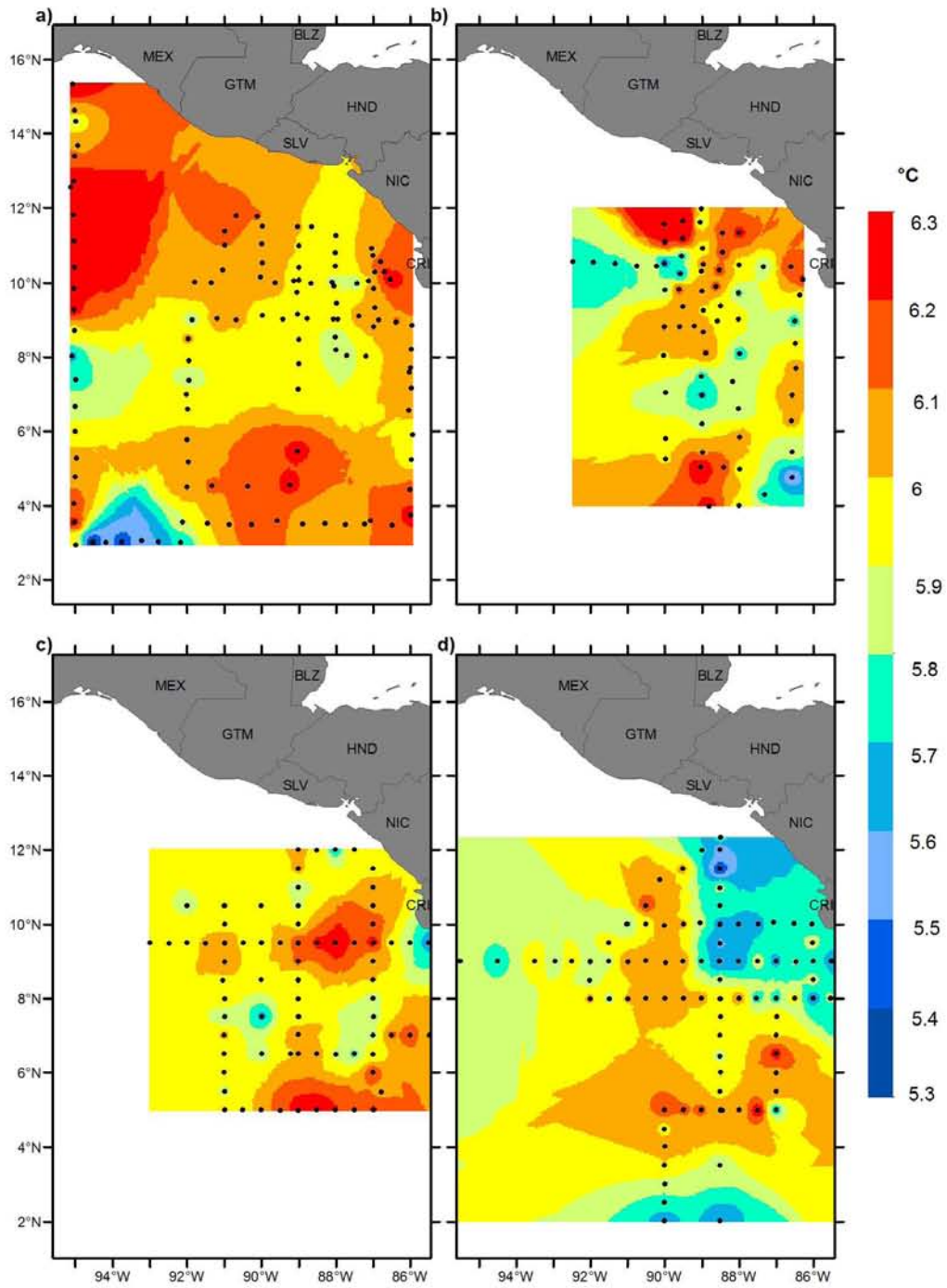


Figura 16: Mapas de temperatura a 700 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 17:** Mapas de temperatura a 750 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

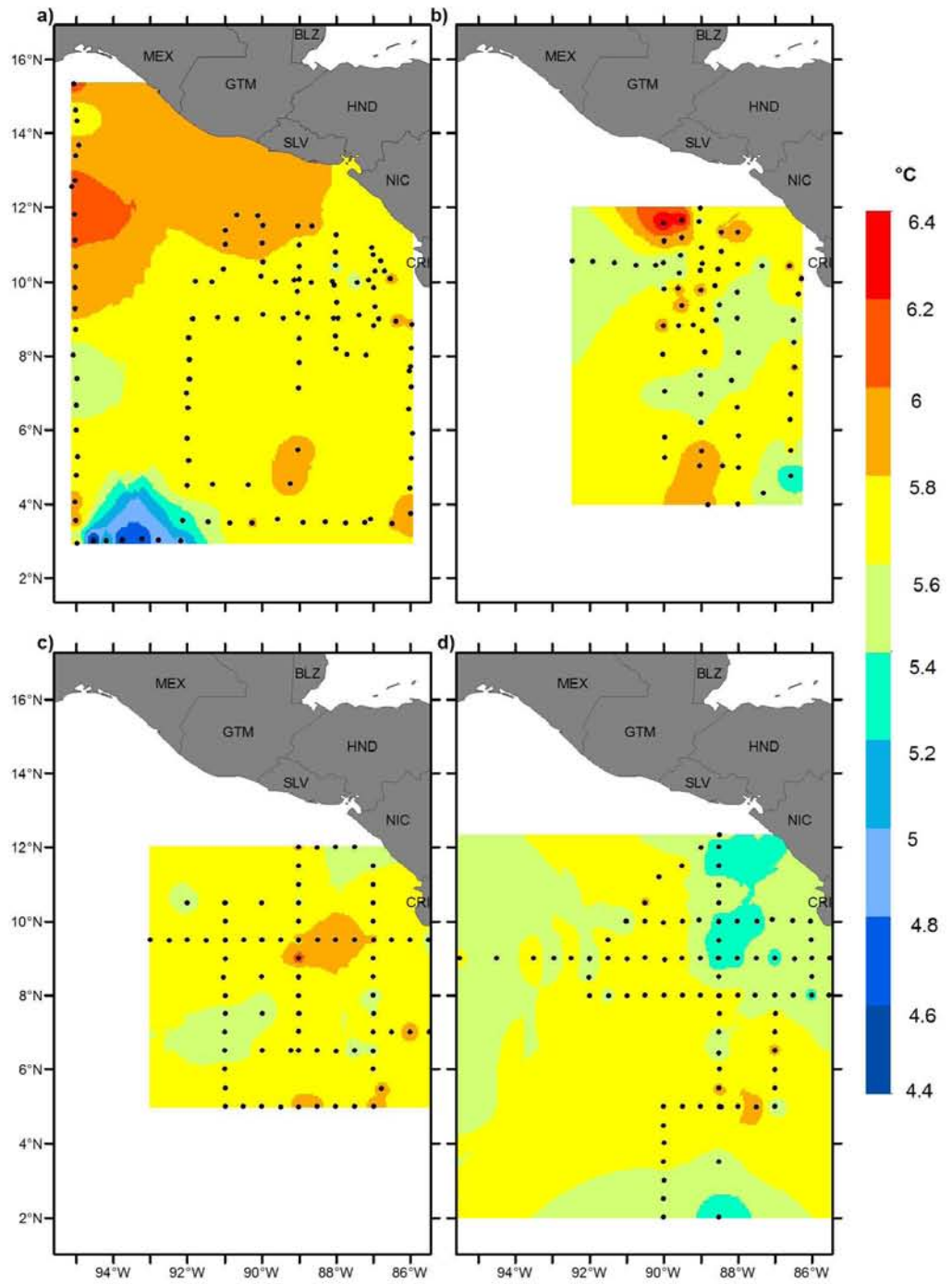
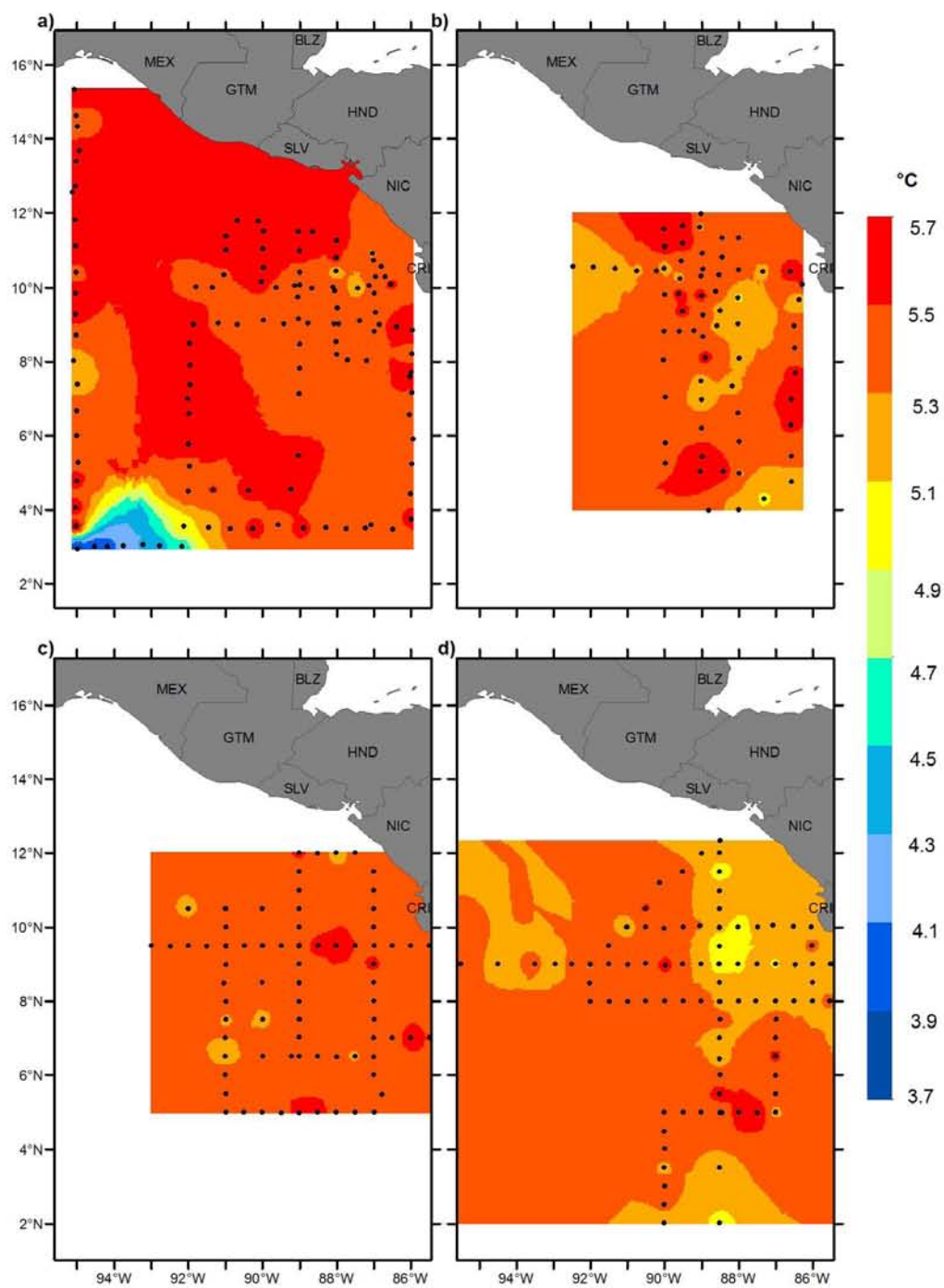
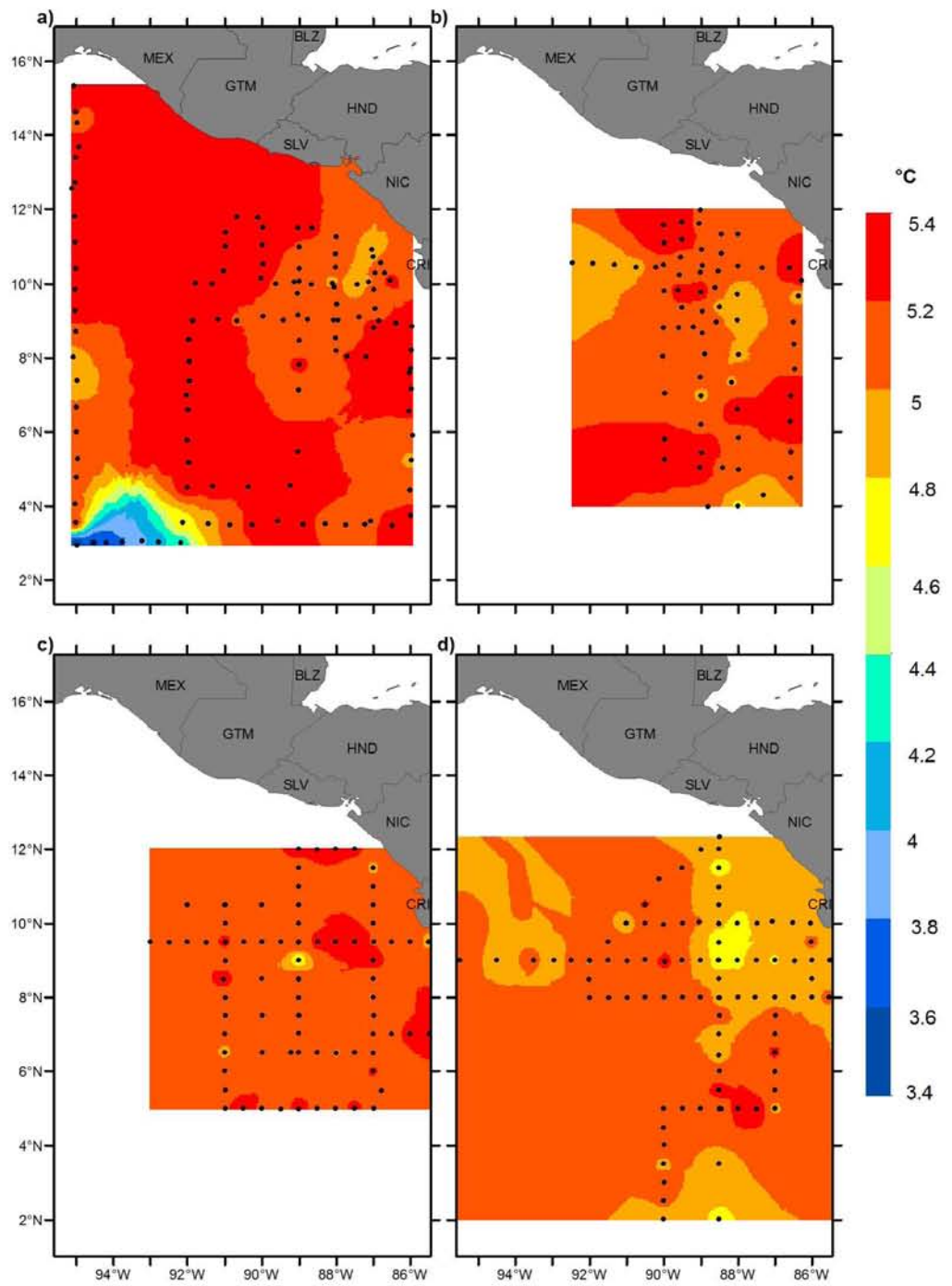


Figura 18: Mapas de temperatura a 800 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

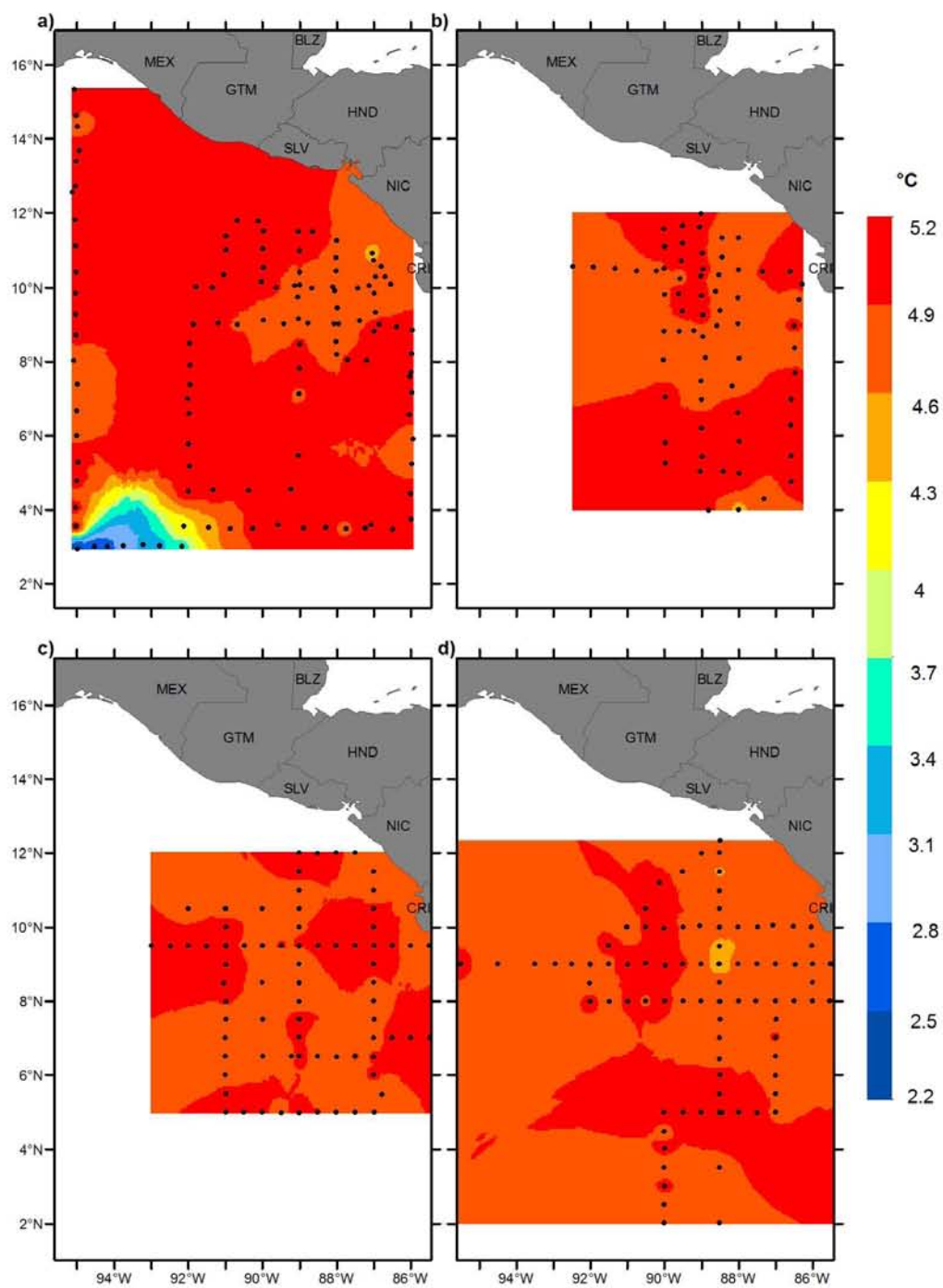


**Figura 19:** Mapas de temperatura a 850 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 20:** Mapas de temperatura a 900 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.





**Figura 21:** Mapas de temperatura a 950 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

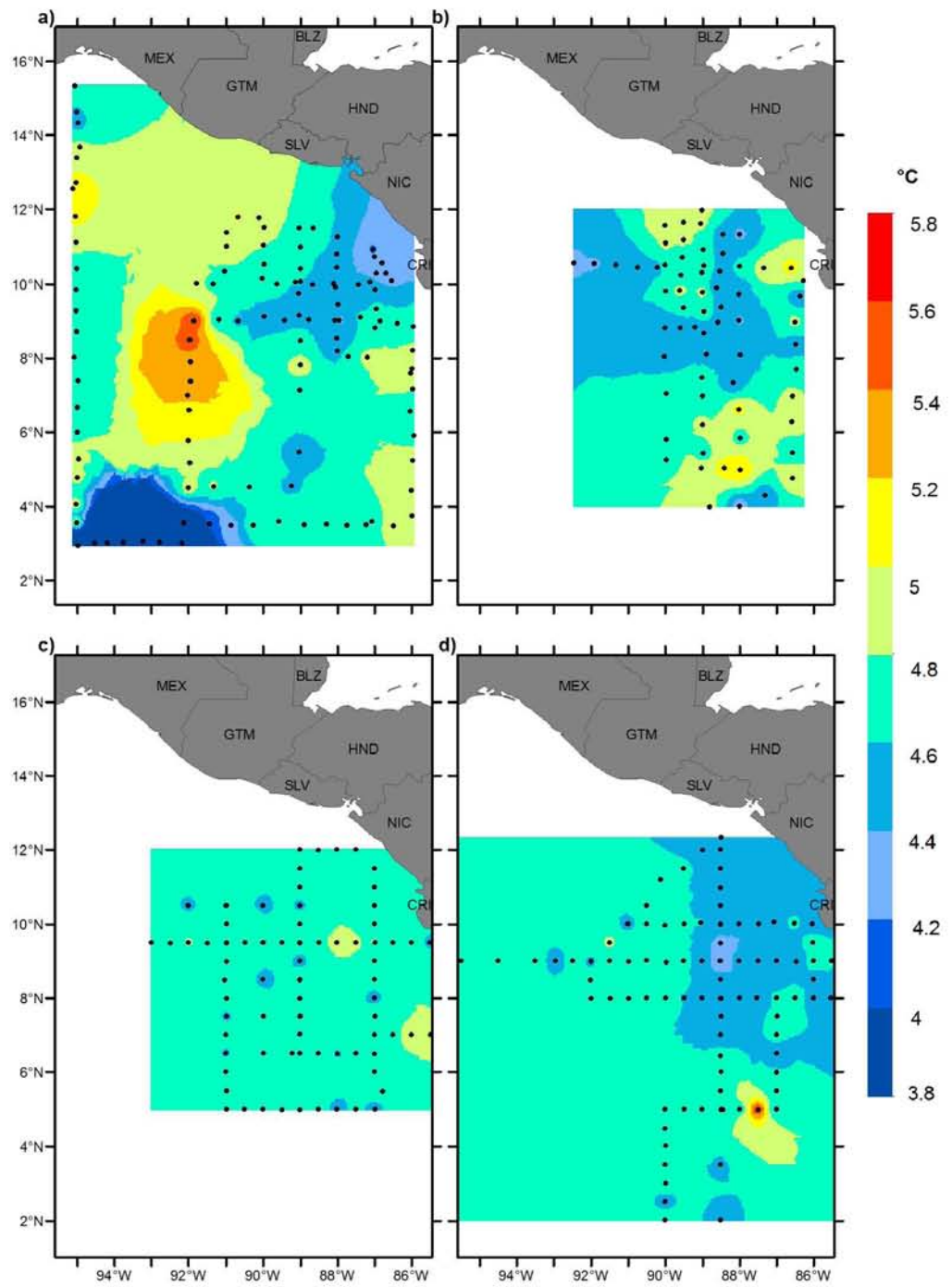
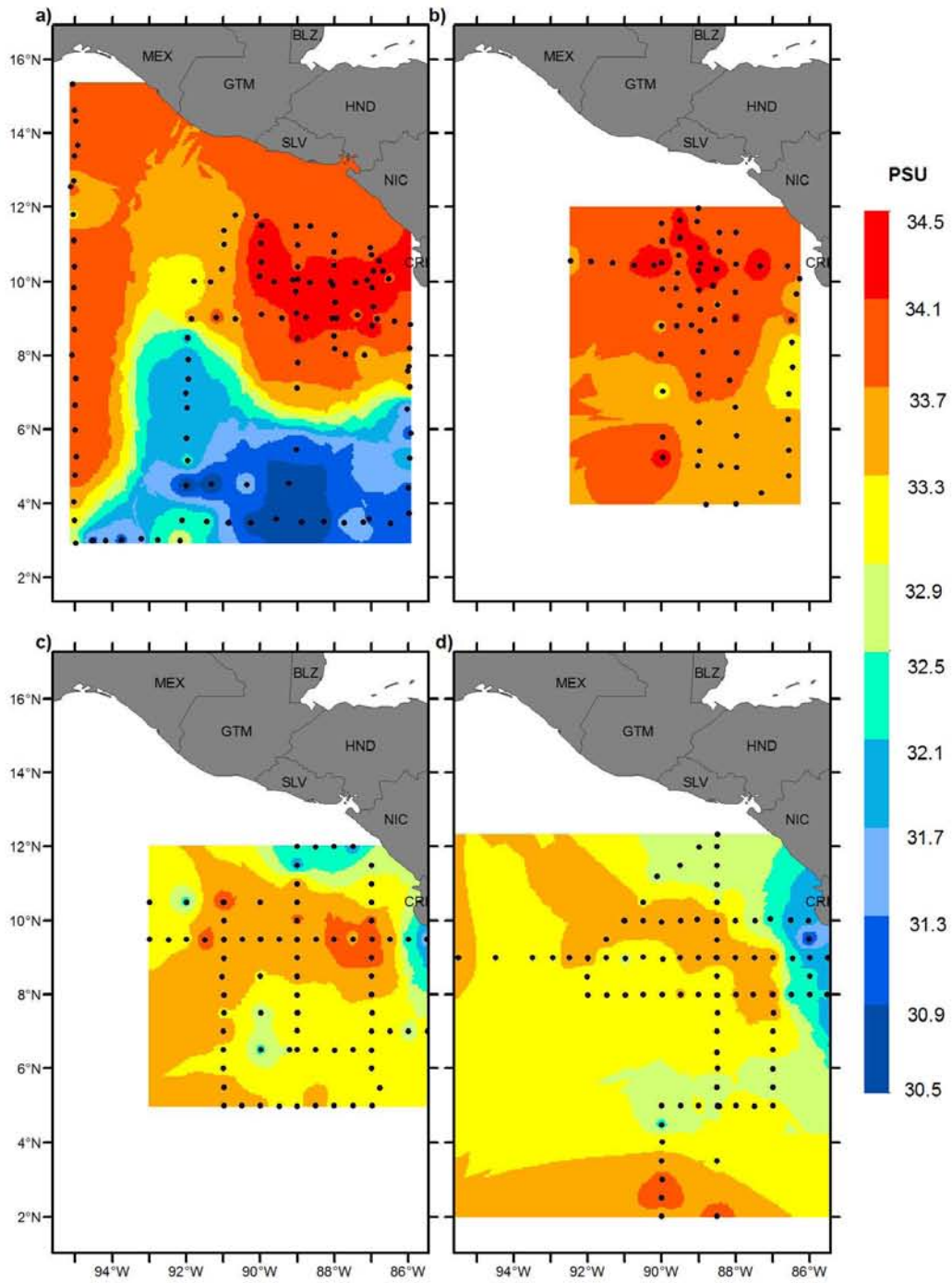
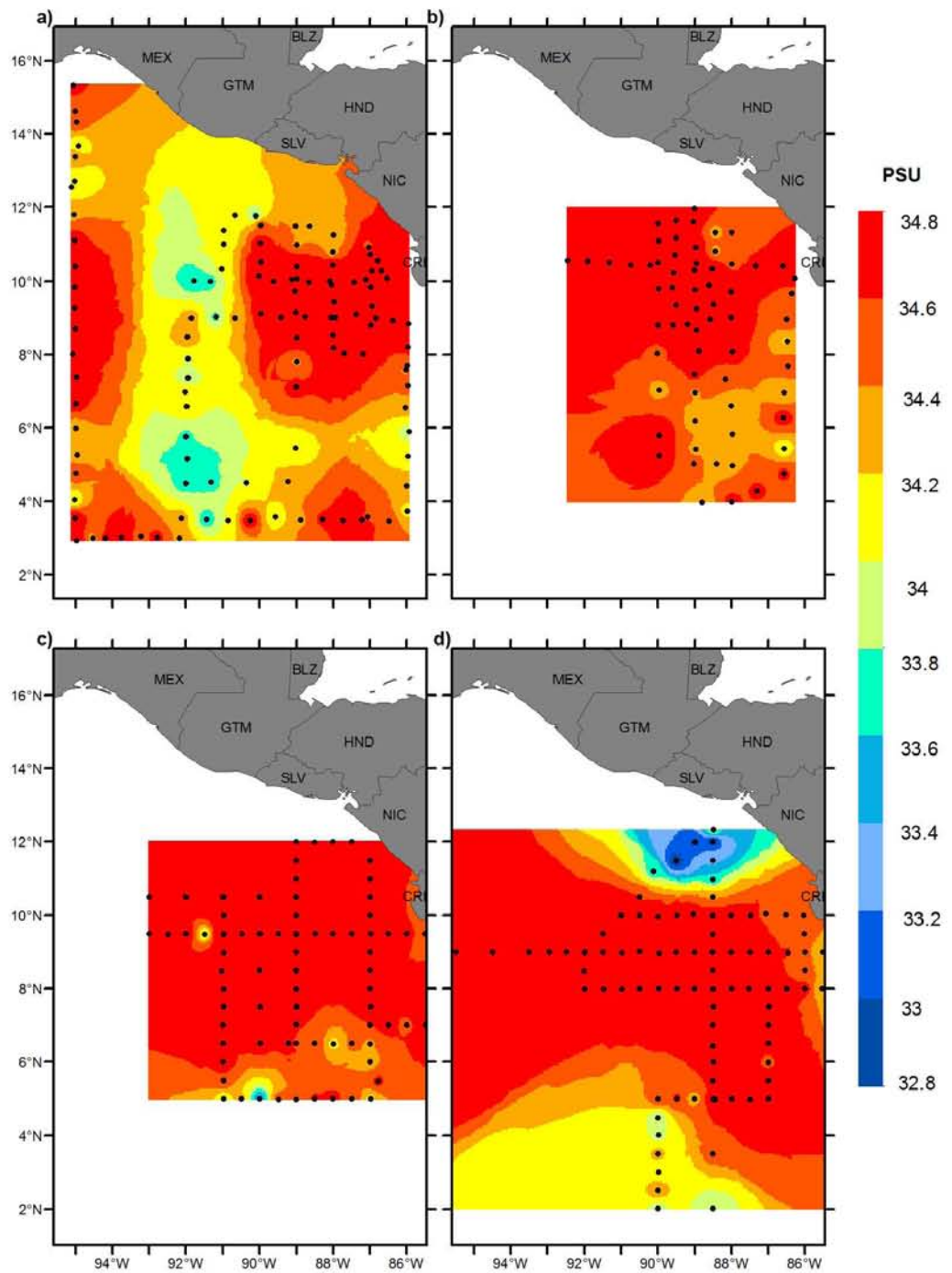


Figura 22: Mapas de temperatura a 1000 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 23:** Mapas de salinidad en la superficie para las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 24:** Mapas de salinidad a 50 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

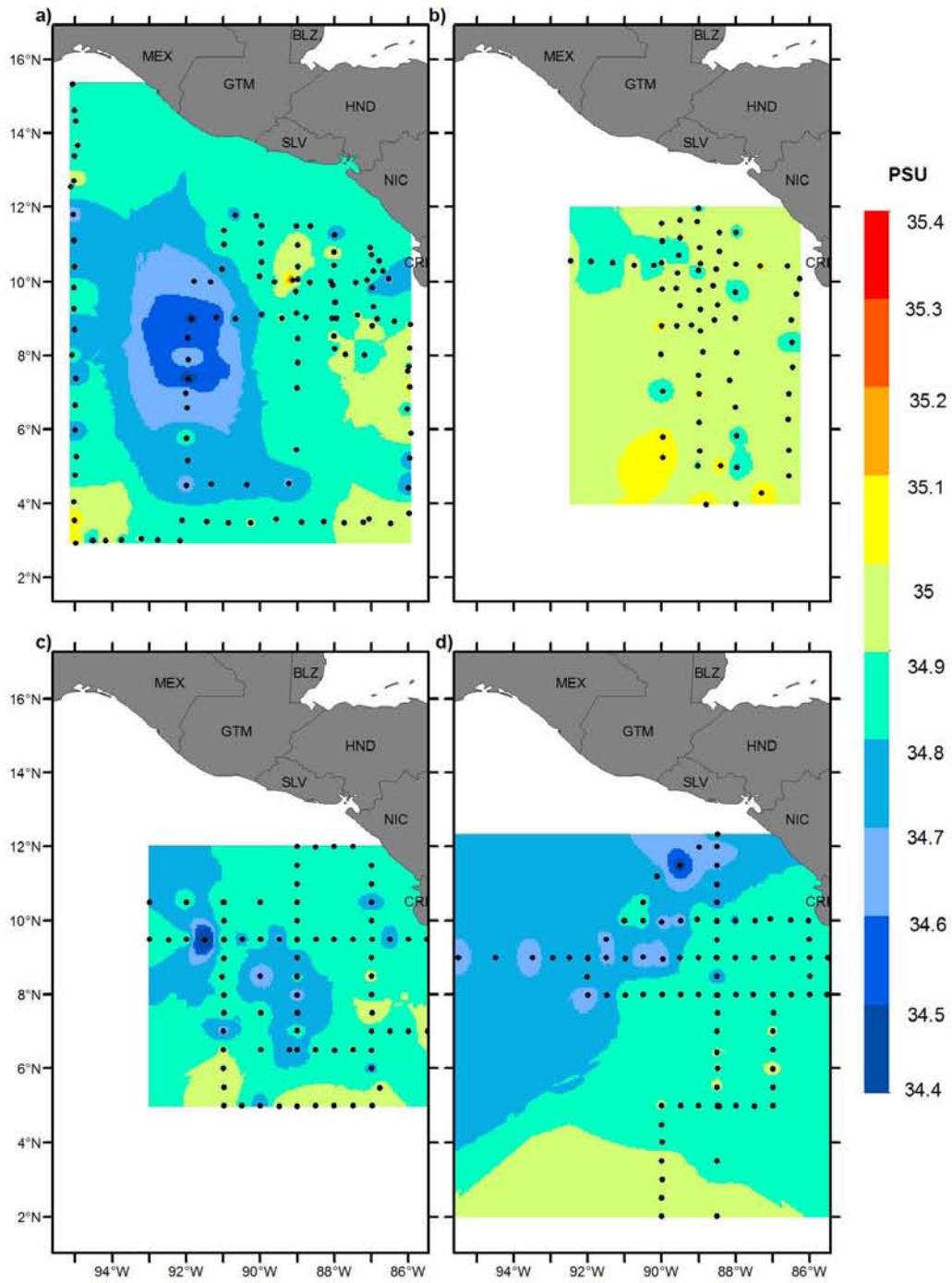


Figura 25: Mapas de salinidad a 100 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

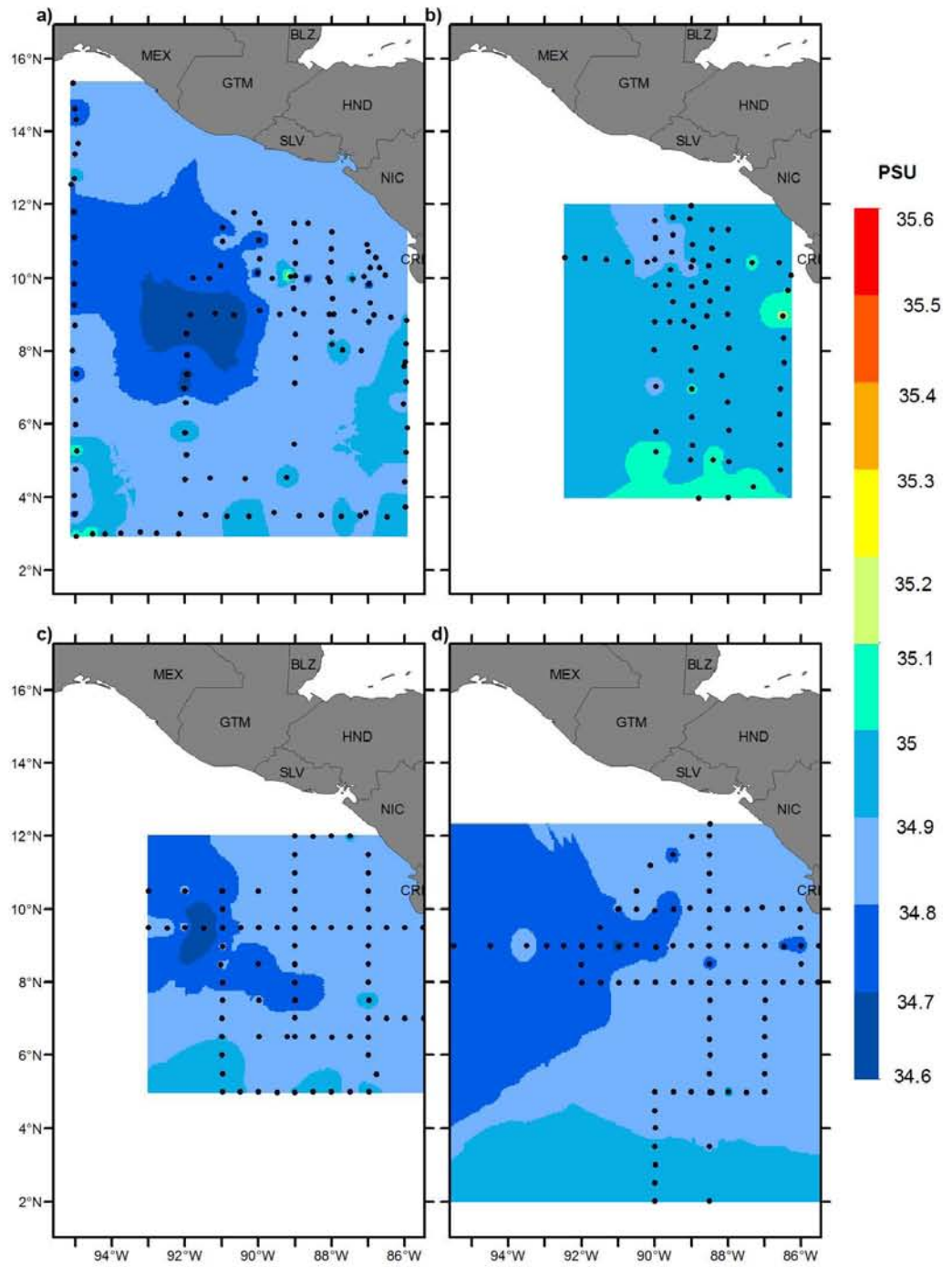
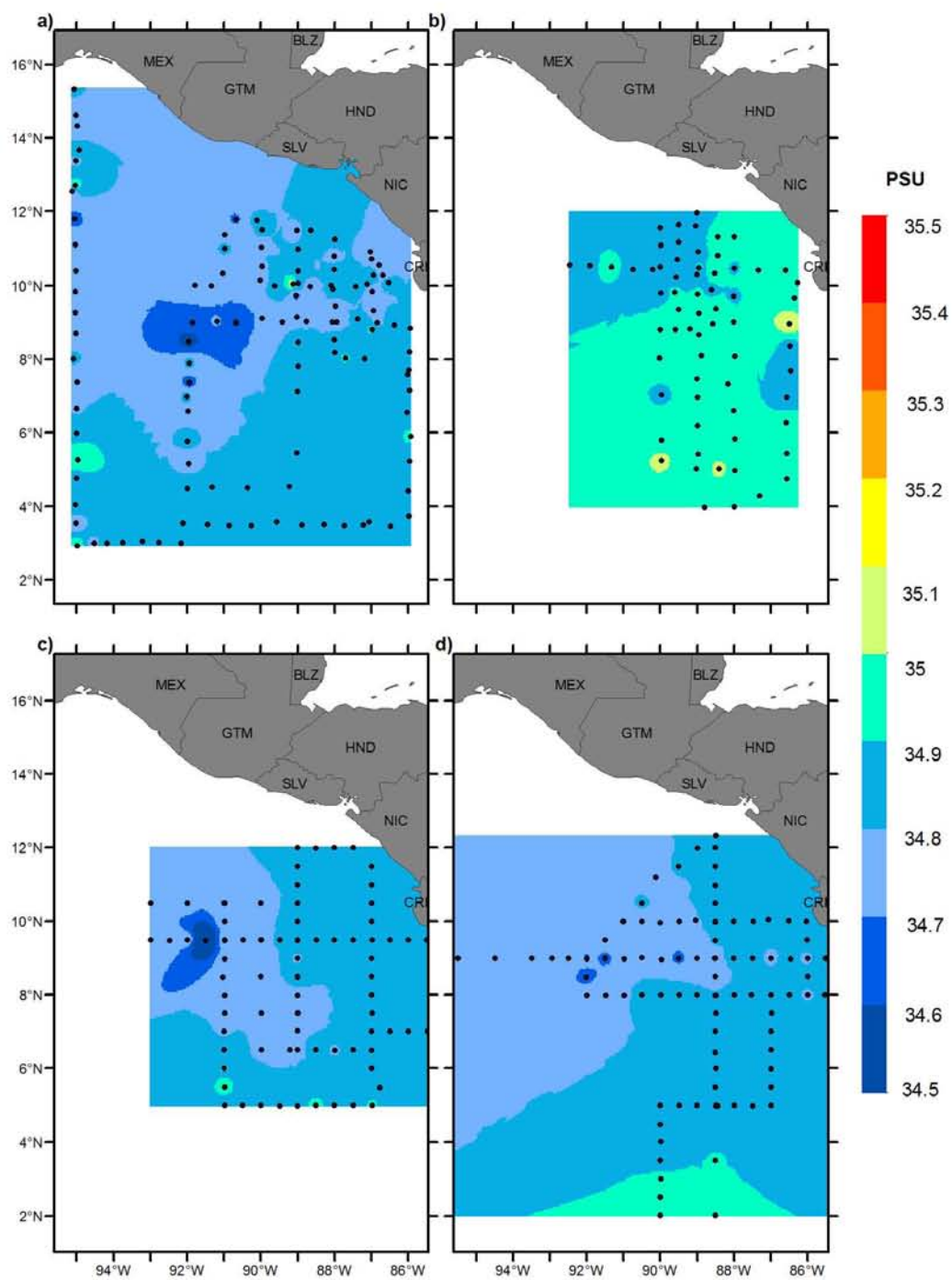


Figura 26: Mapas de salinidad a 150 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 27:** Mapas de salinidad a 200 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

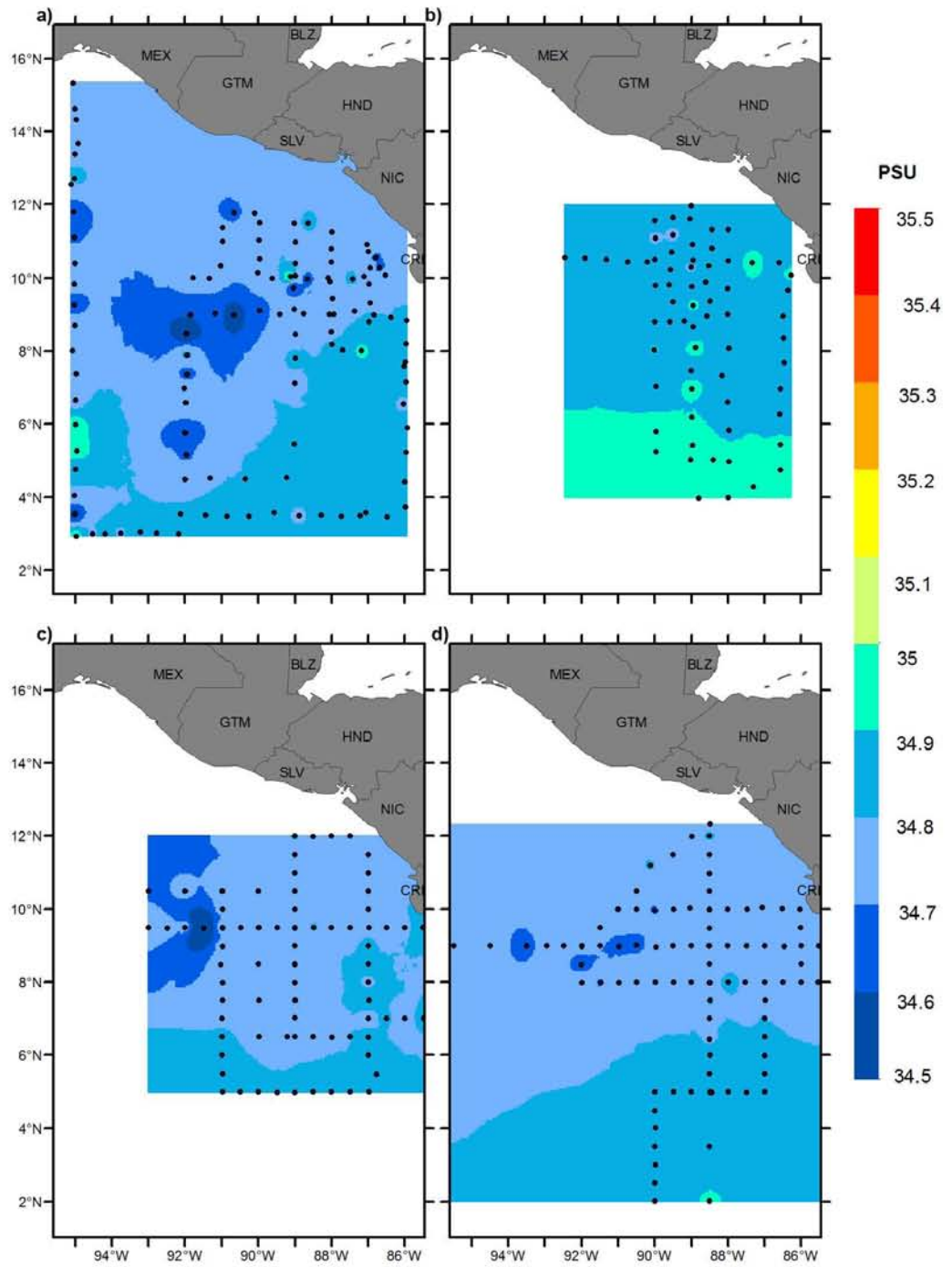
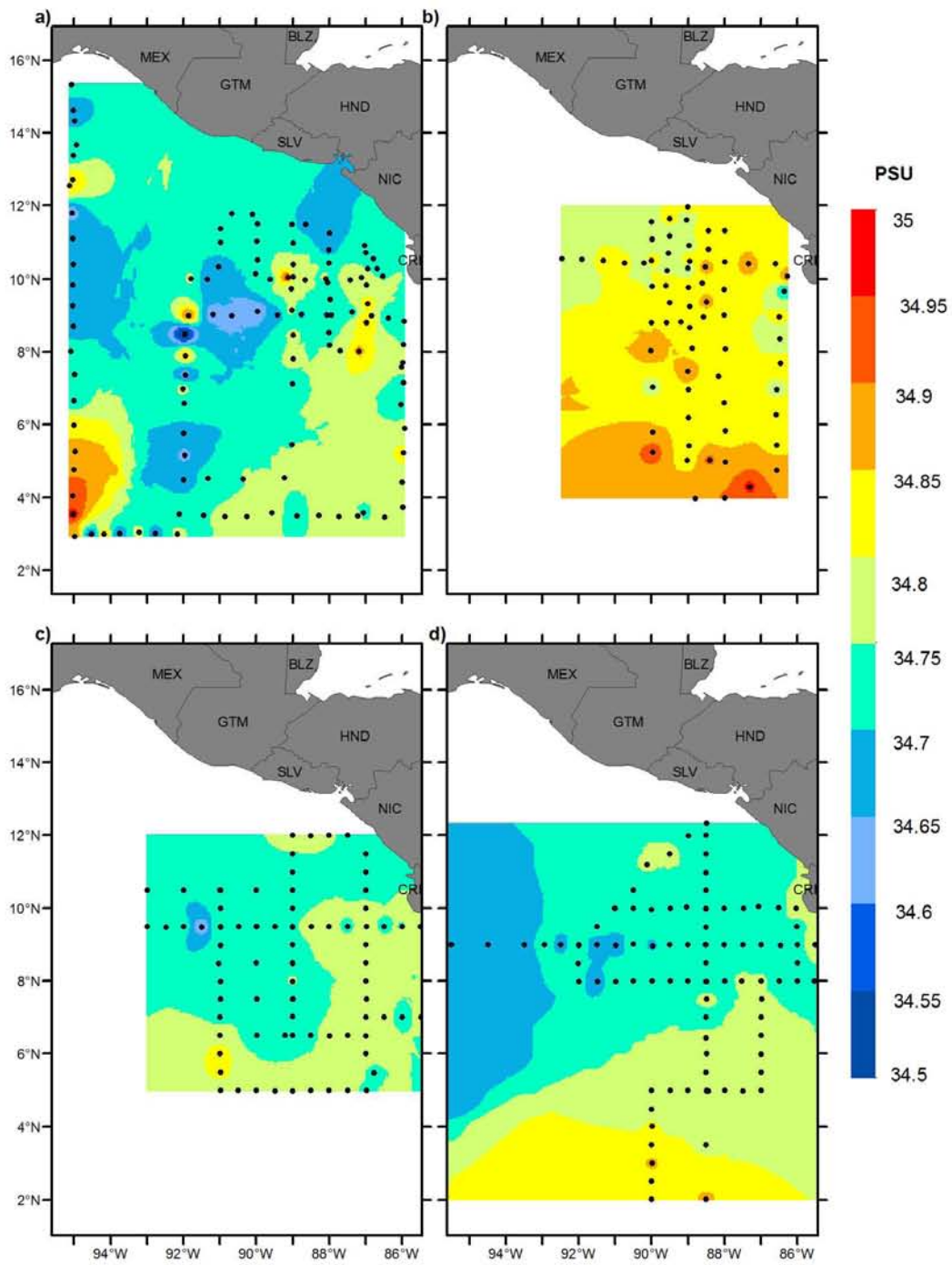


Figura 28: Mapas de salinidad a 250 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.





**Figura 29:** Mapas de salinidad a 300 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

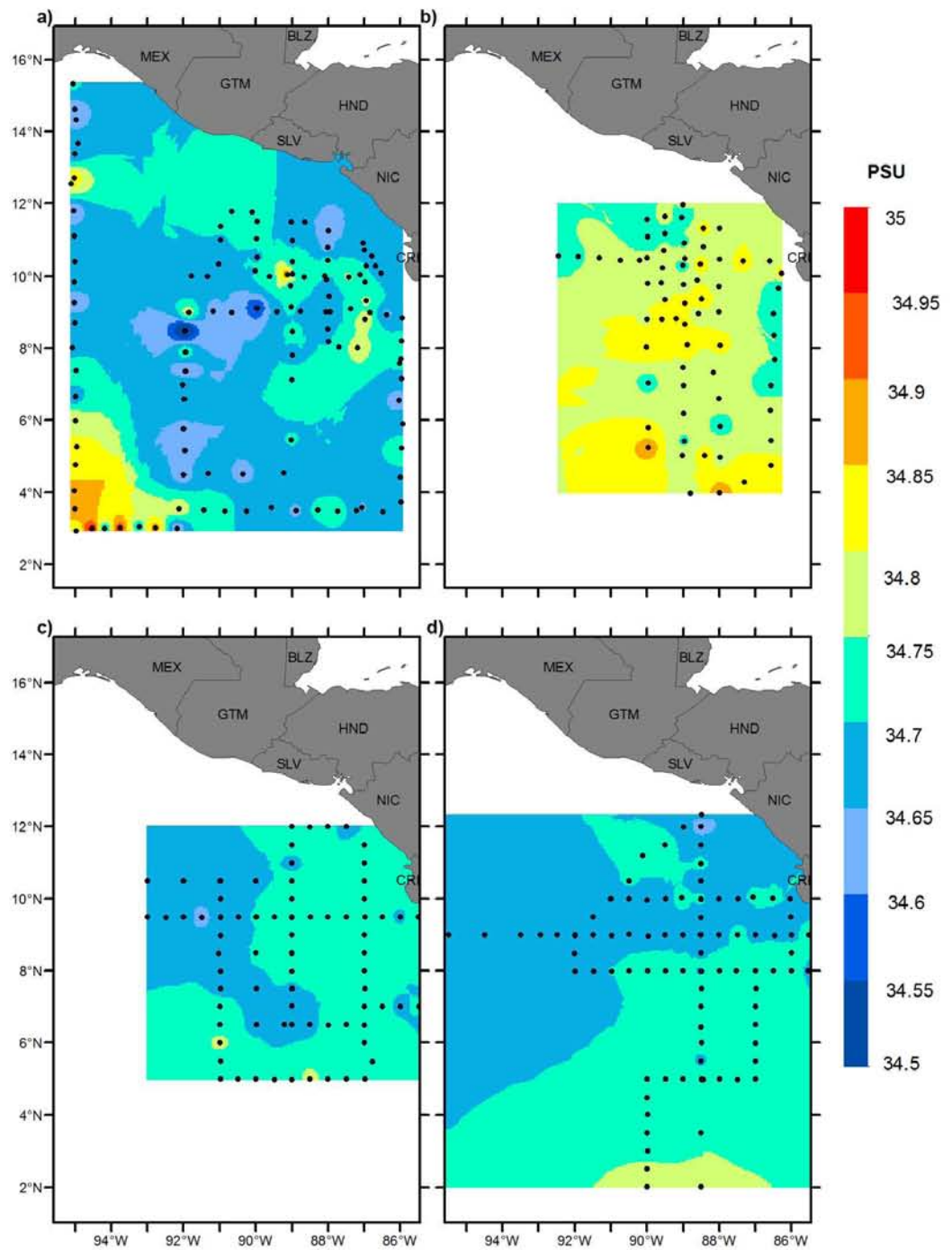


Figura 30: Mapas de salinidad a 350 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

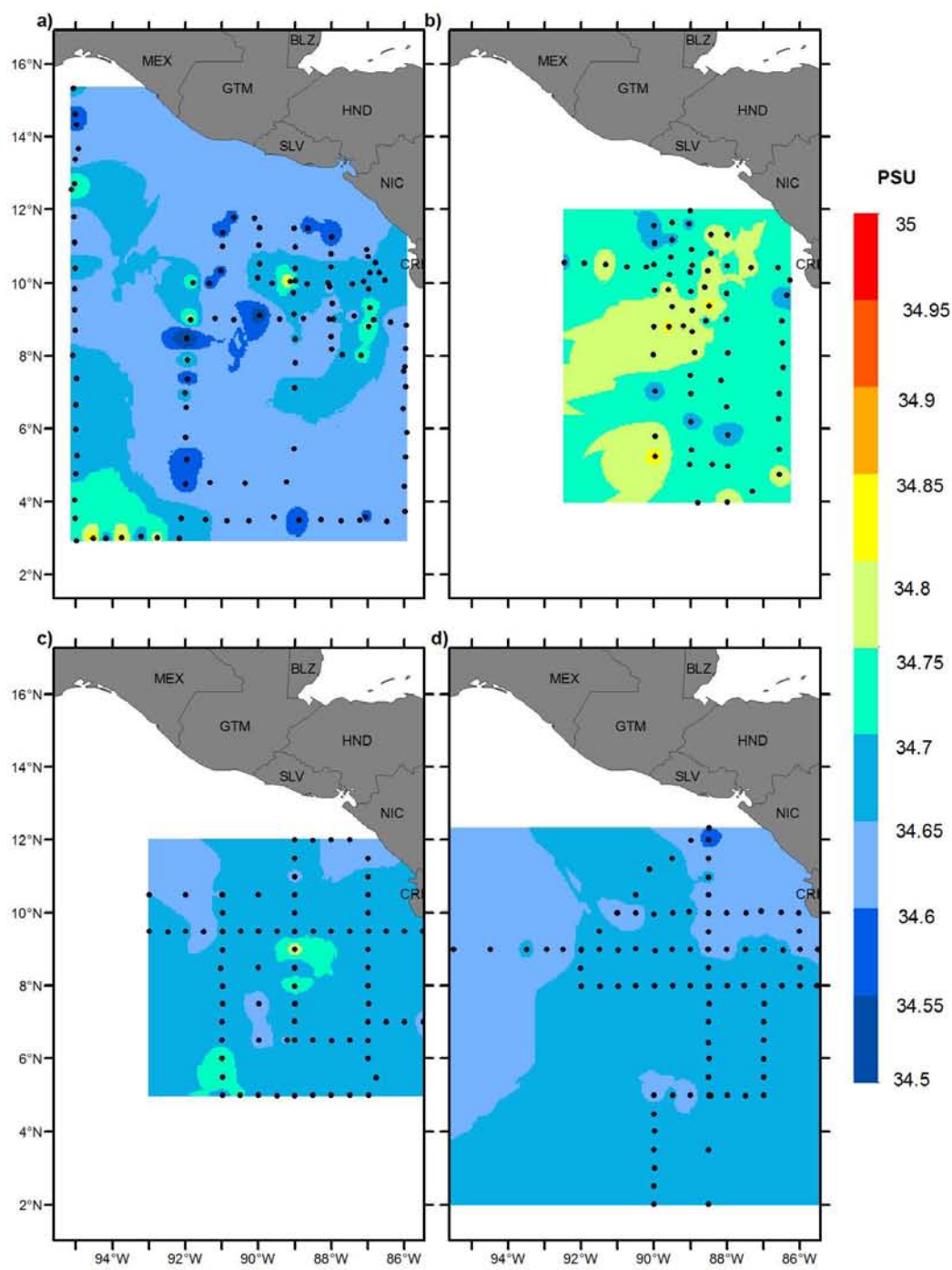
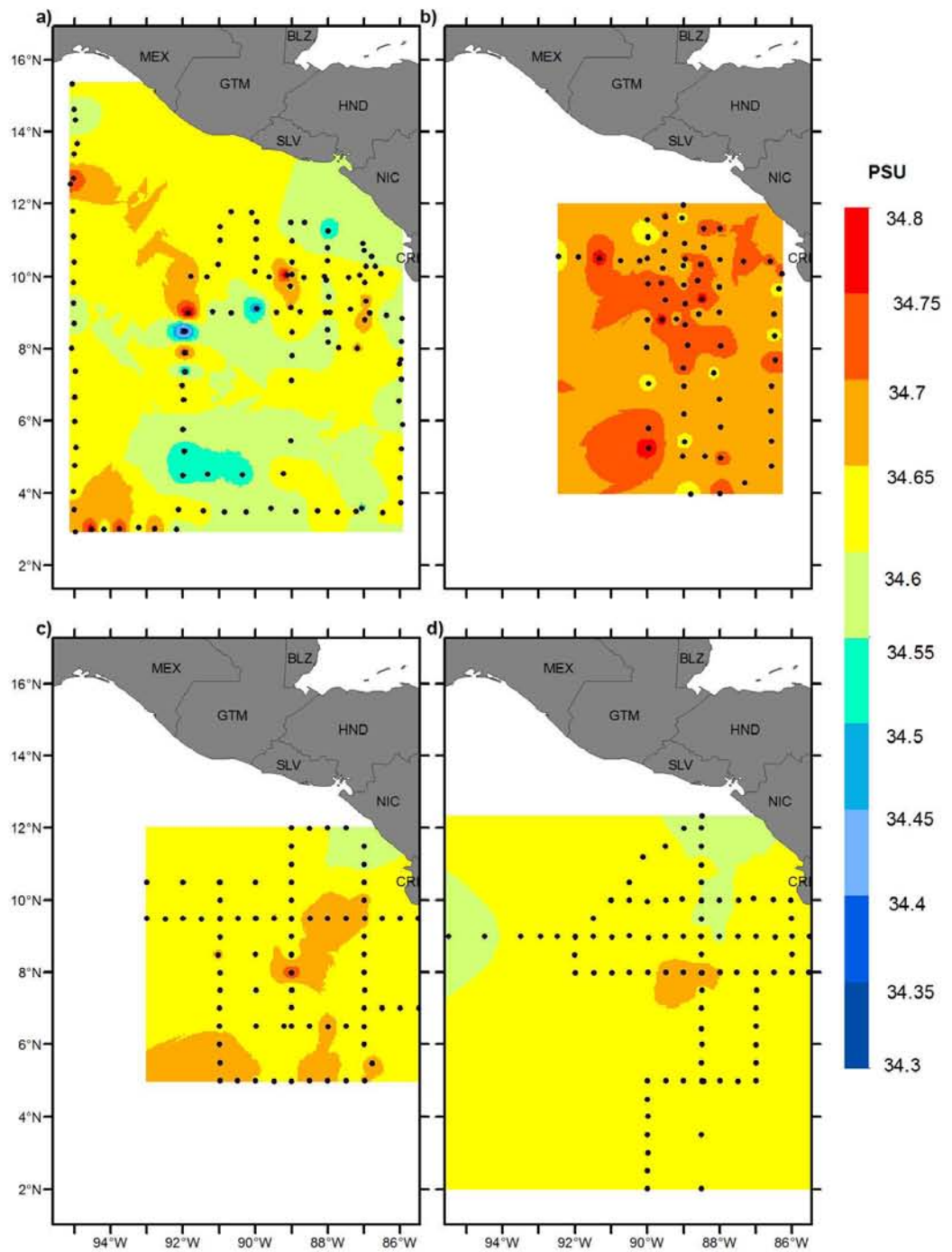
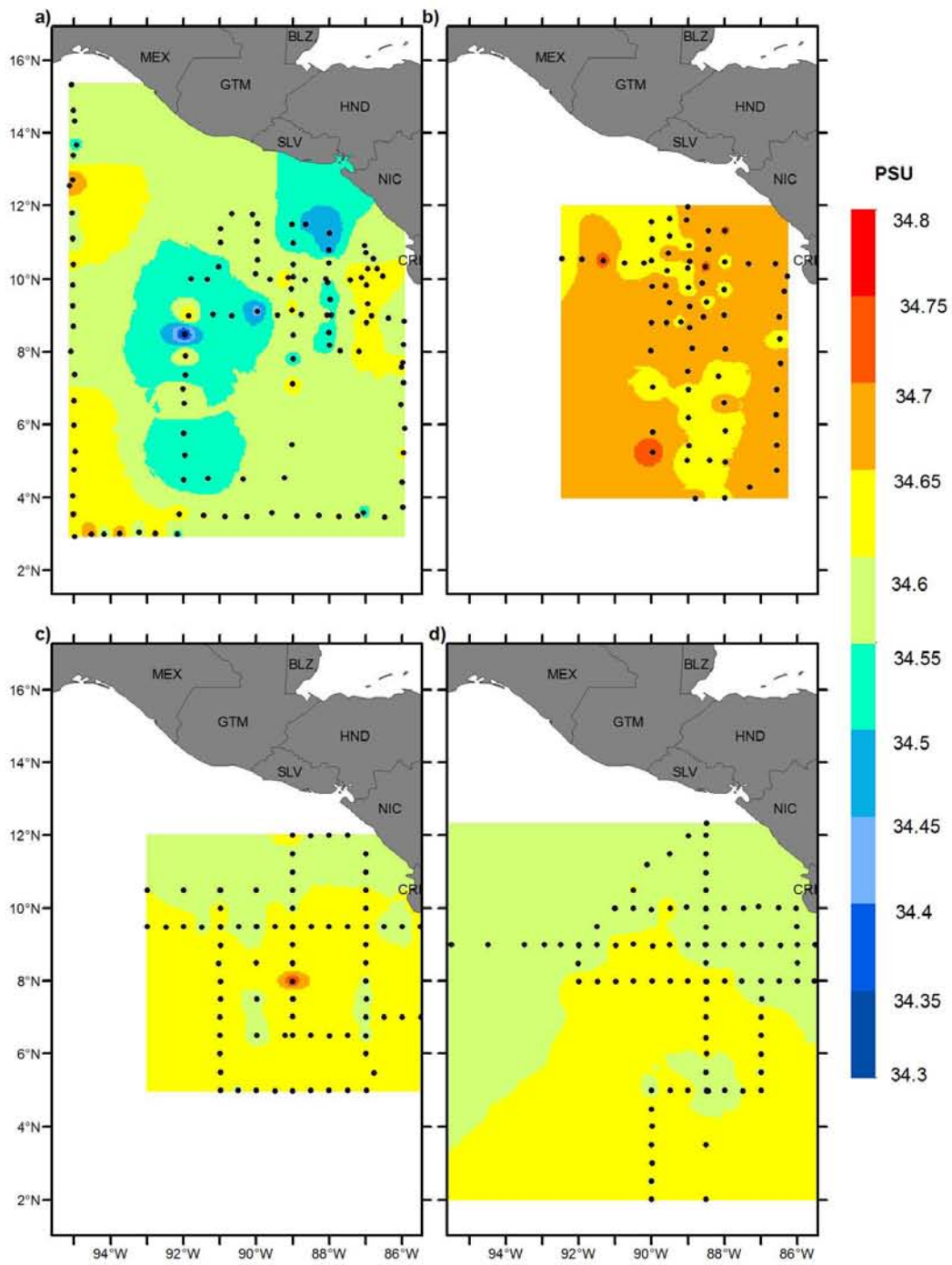


Figura 31: Mapas de salinidad a 400 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 32:** Mapas de salinidad a 450 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 33:** Mapas de salinidad a 500 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

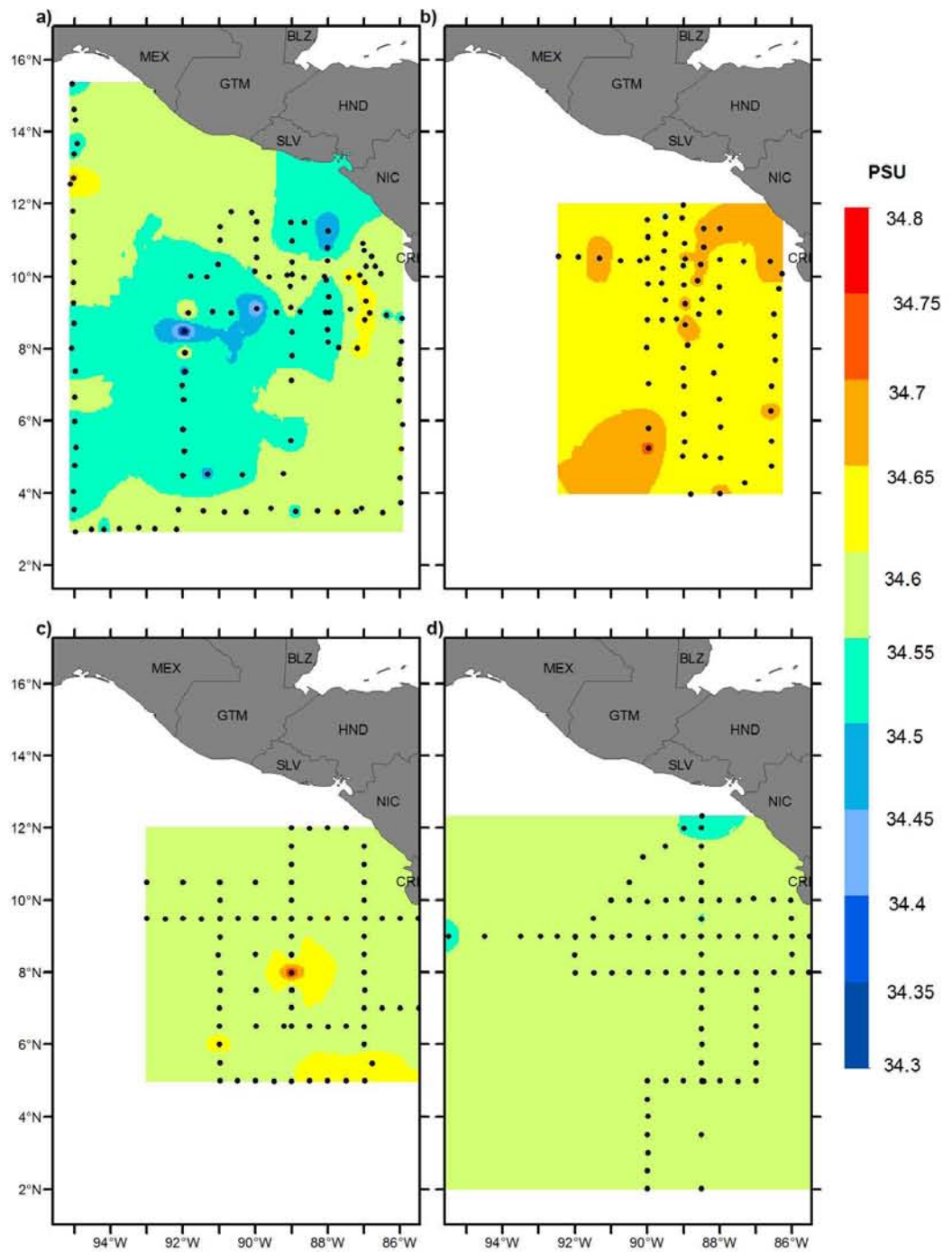
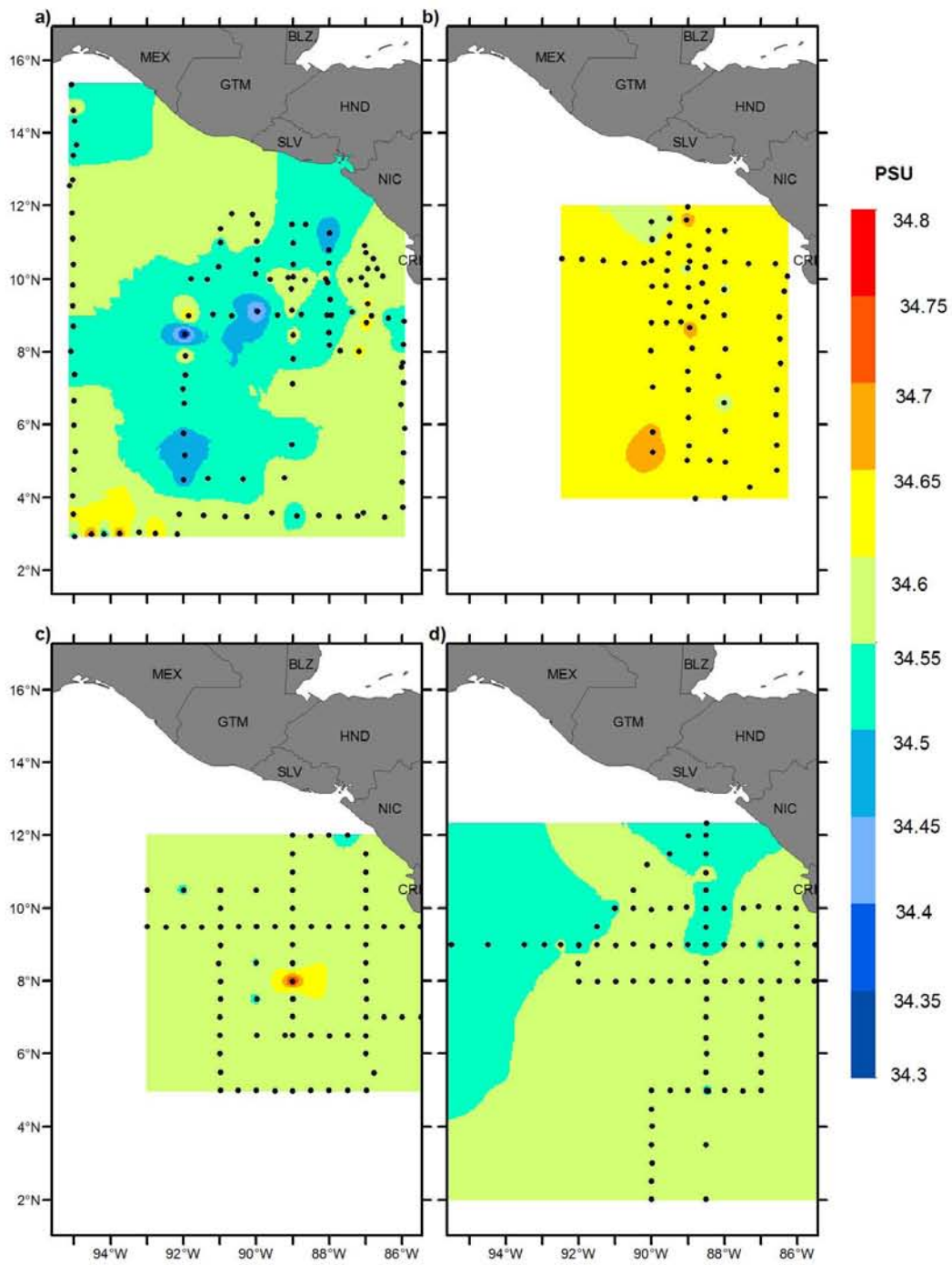
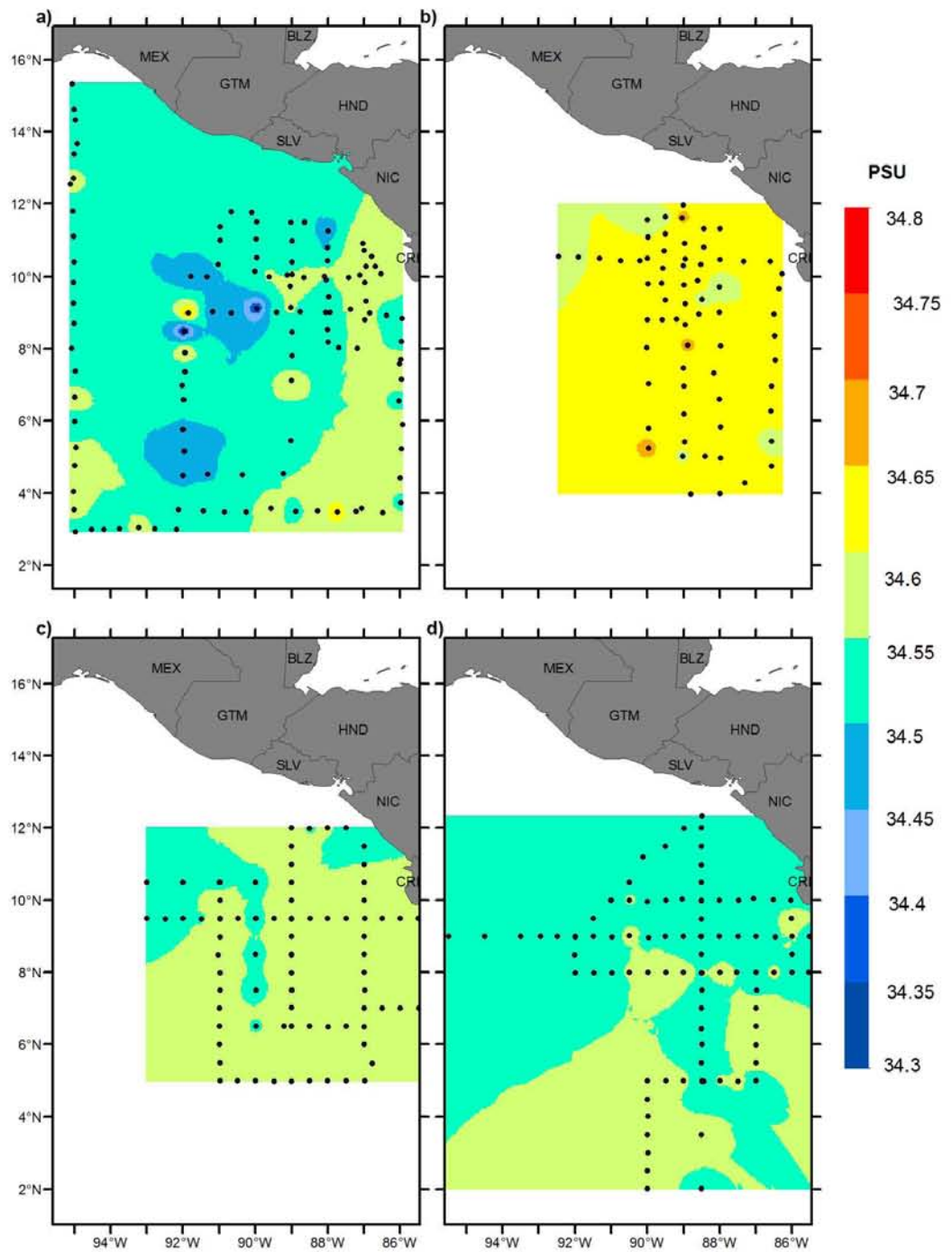


Figura 34: Mapas de salinidad a 550 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

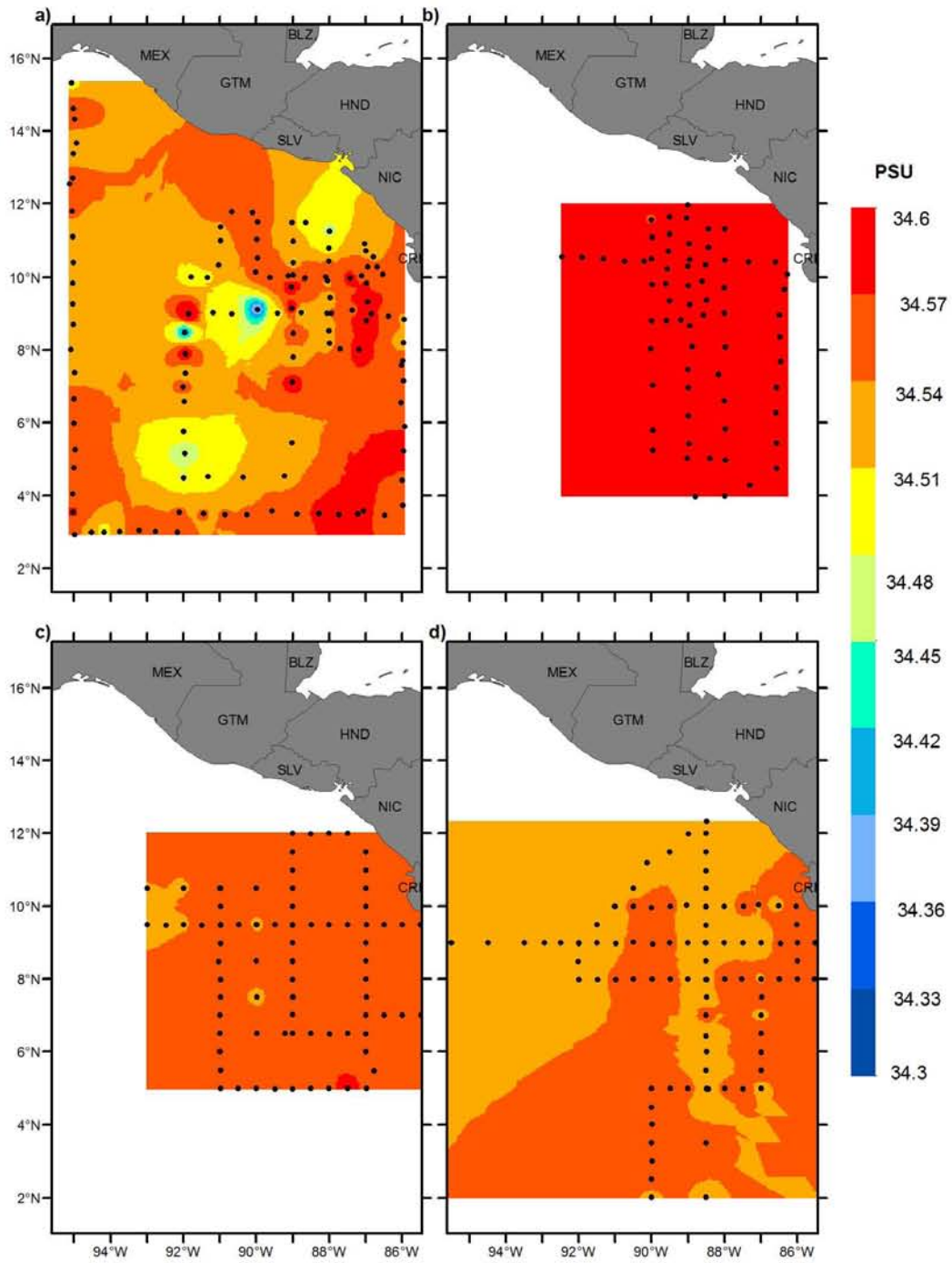


**Figura 35:** Mapas de salinidad a 600 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 36:** Mapas de salinidad a 650 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.





**Figura 37:** Mapas de salinidad a 700 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

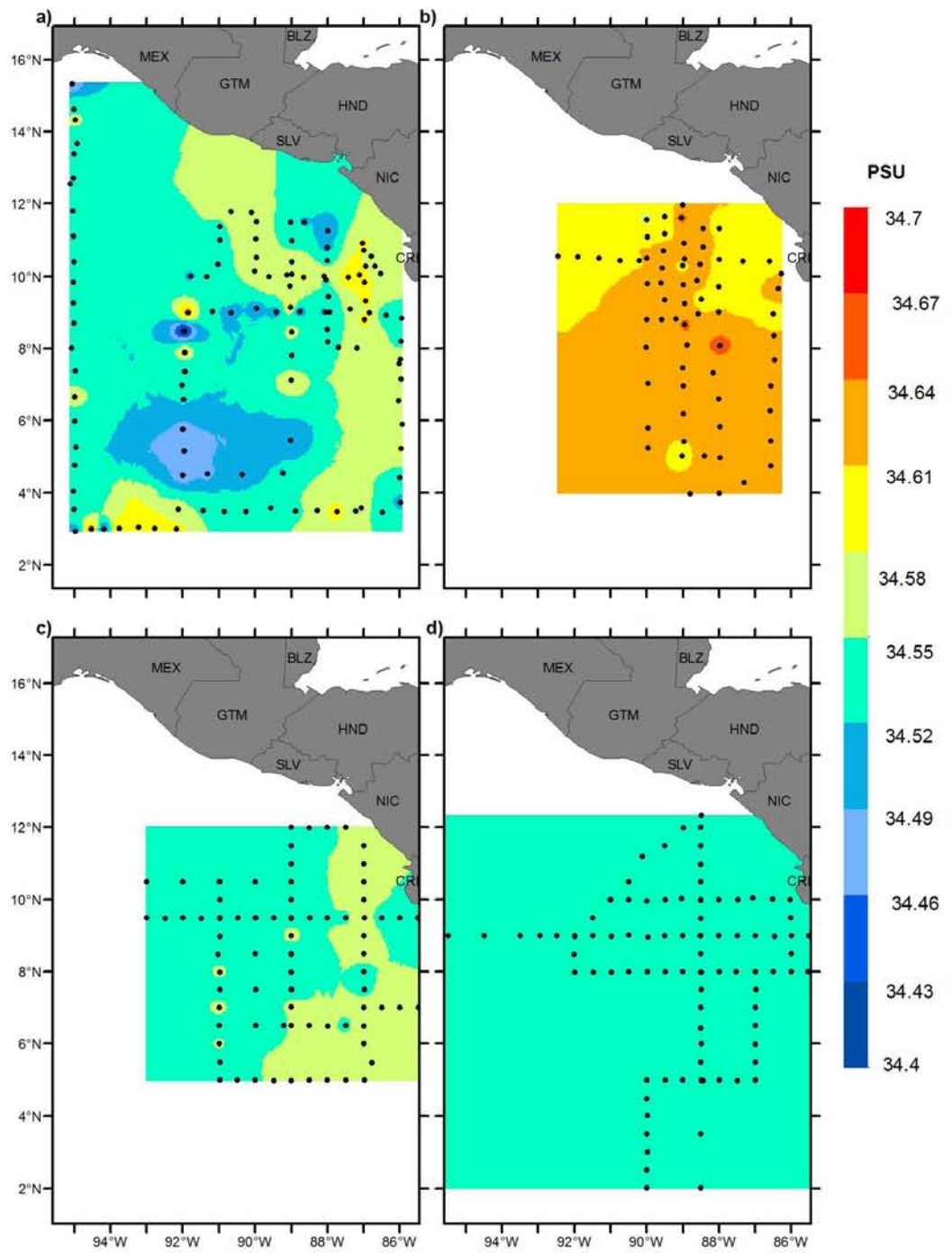
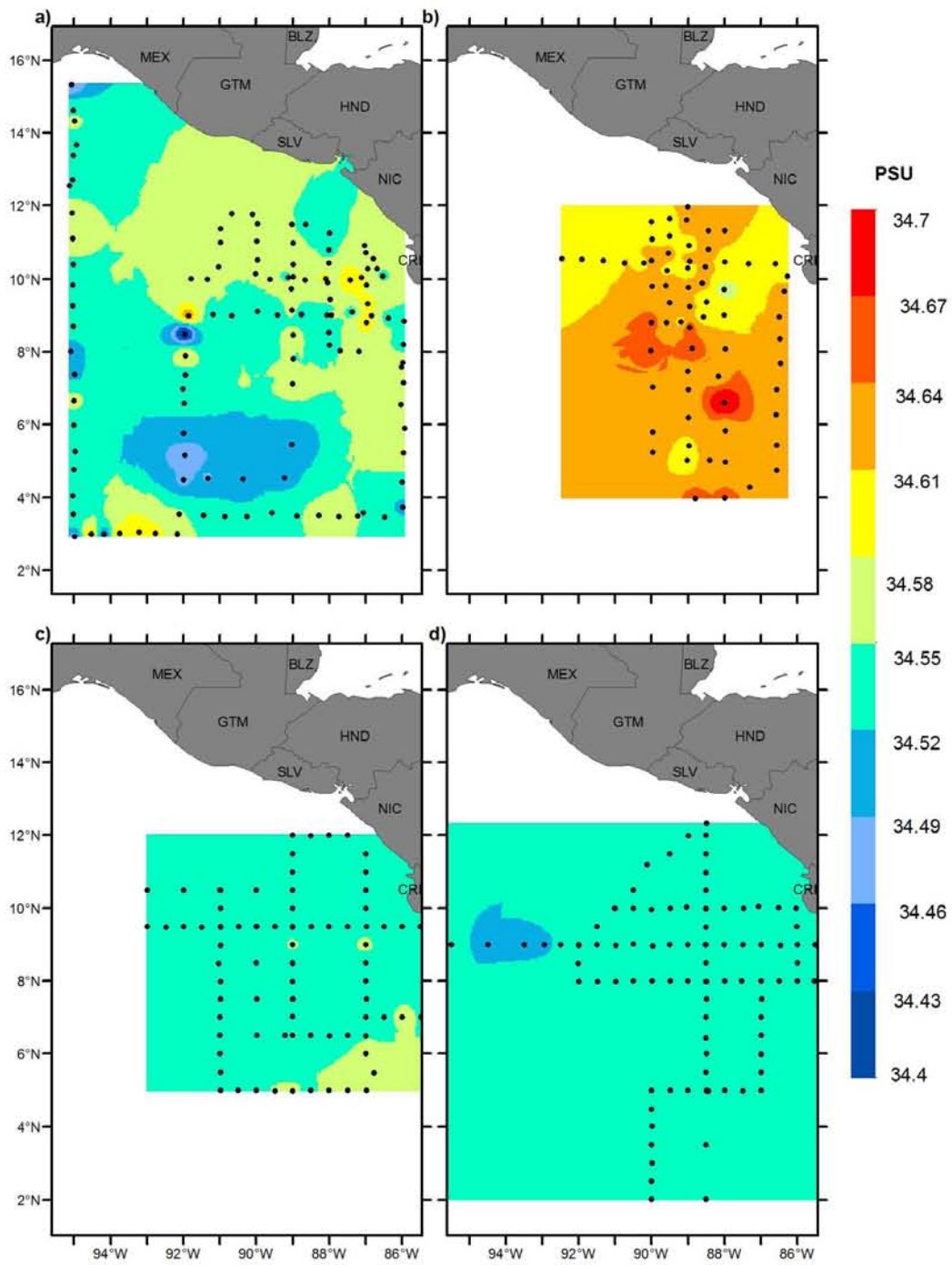


Figura 38: Mapas de salinidad a 750 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 39:** Mapas de salinidad a 800 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

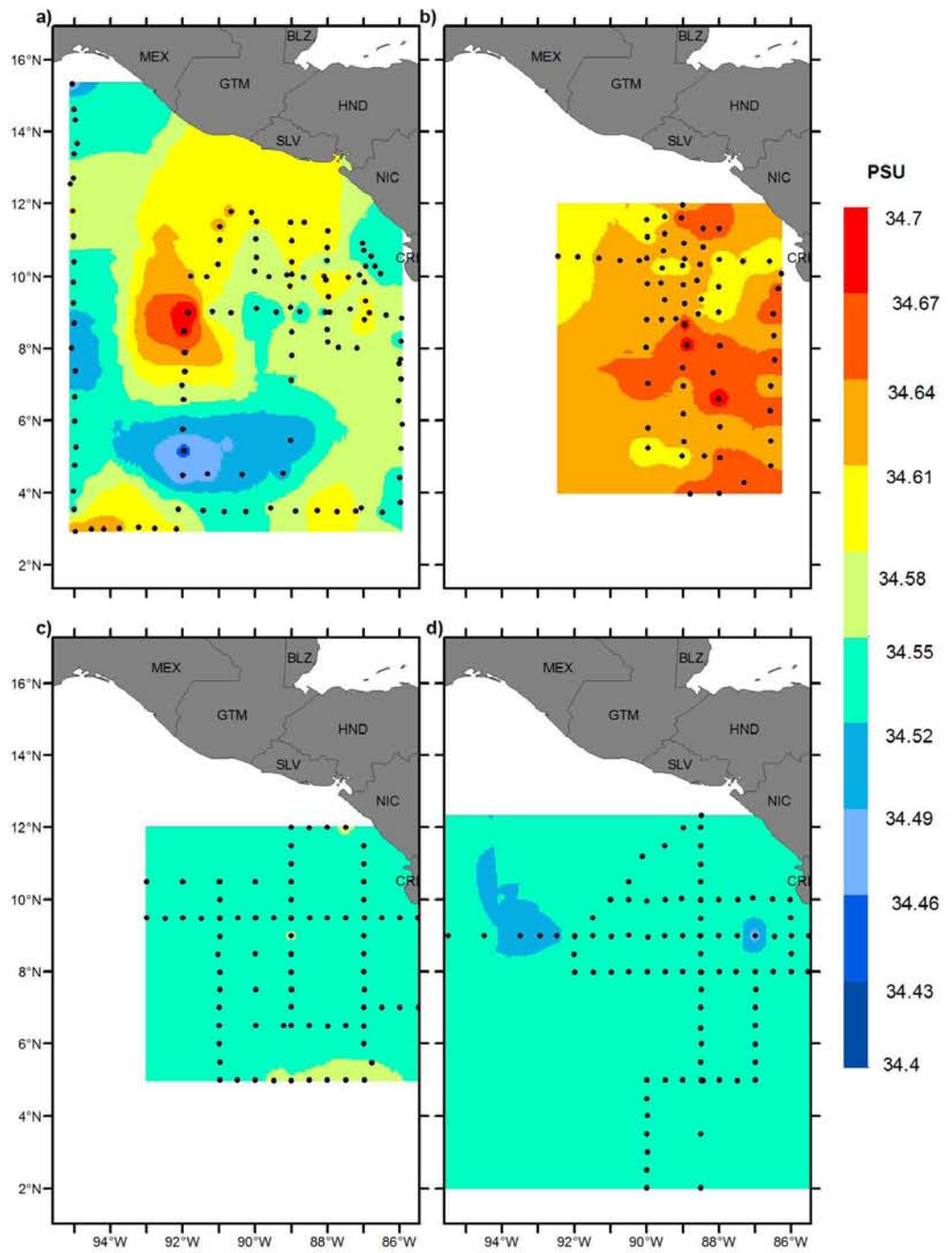


Figura 40: Mapas de salinidad a 850 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

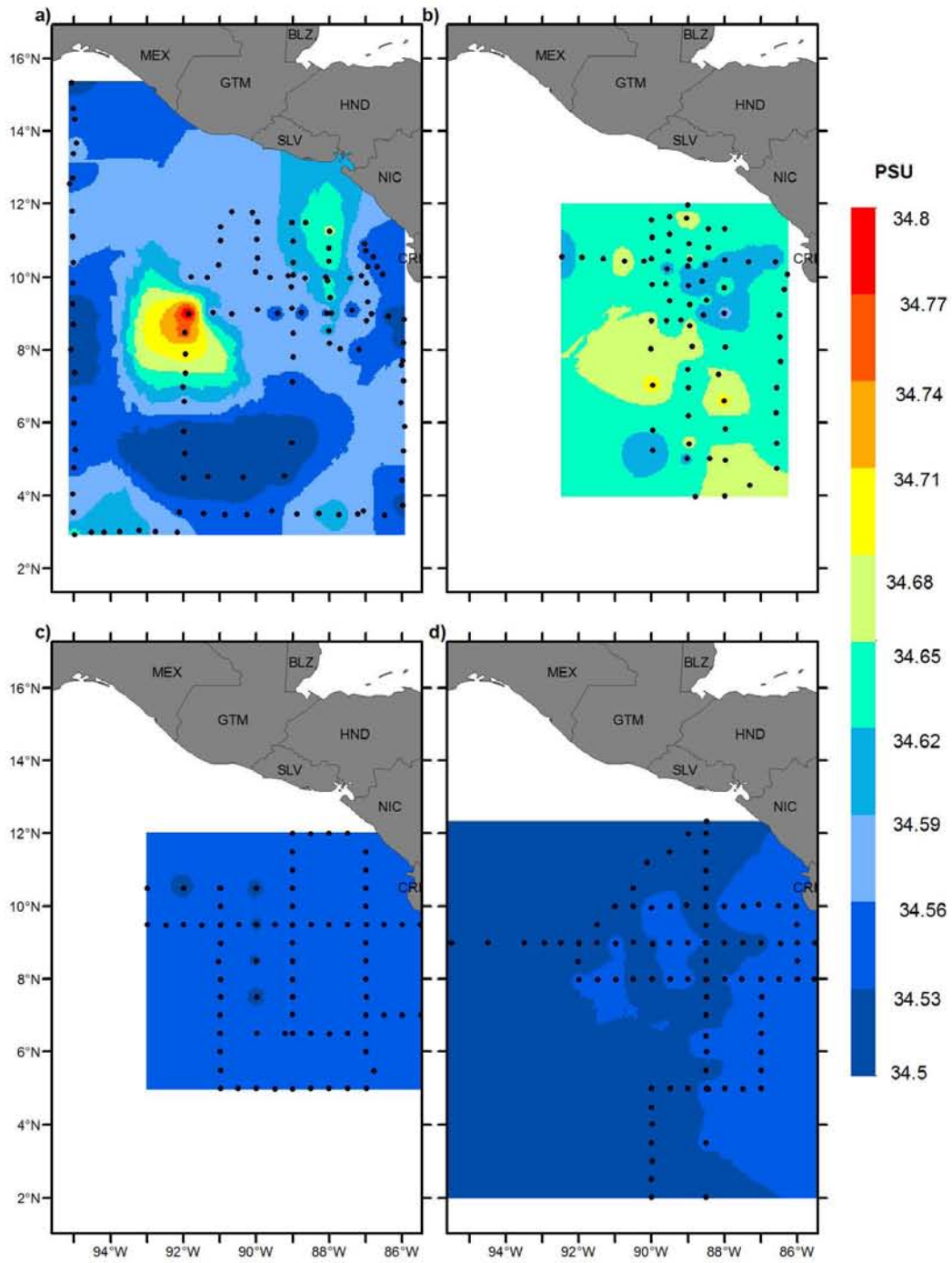


Figura 41: Mapas de salinidad a 900 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

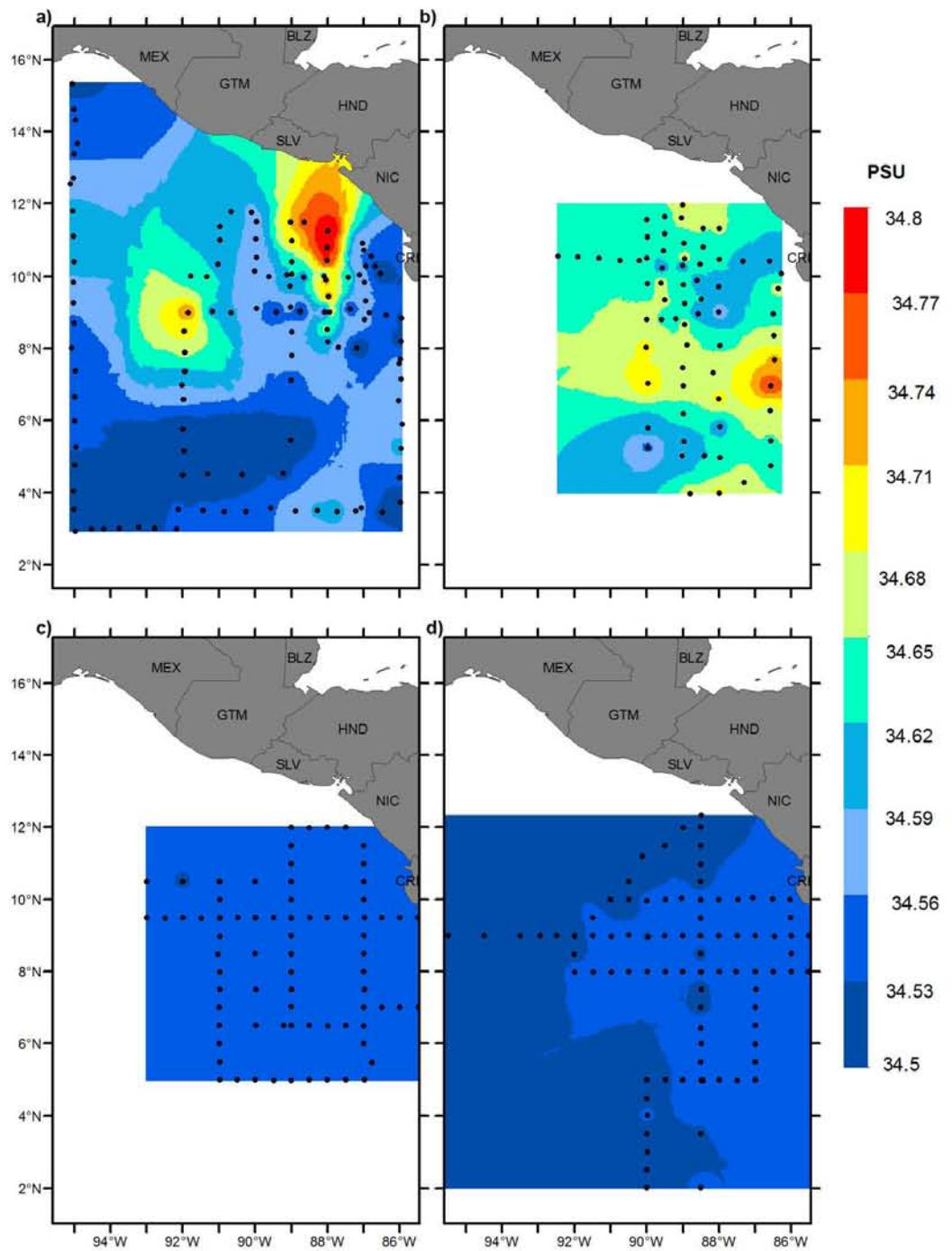
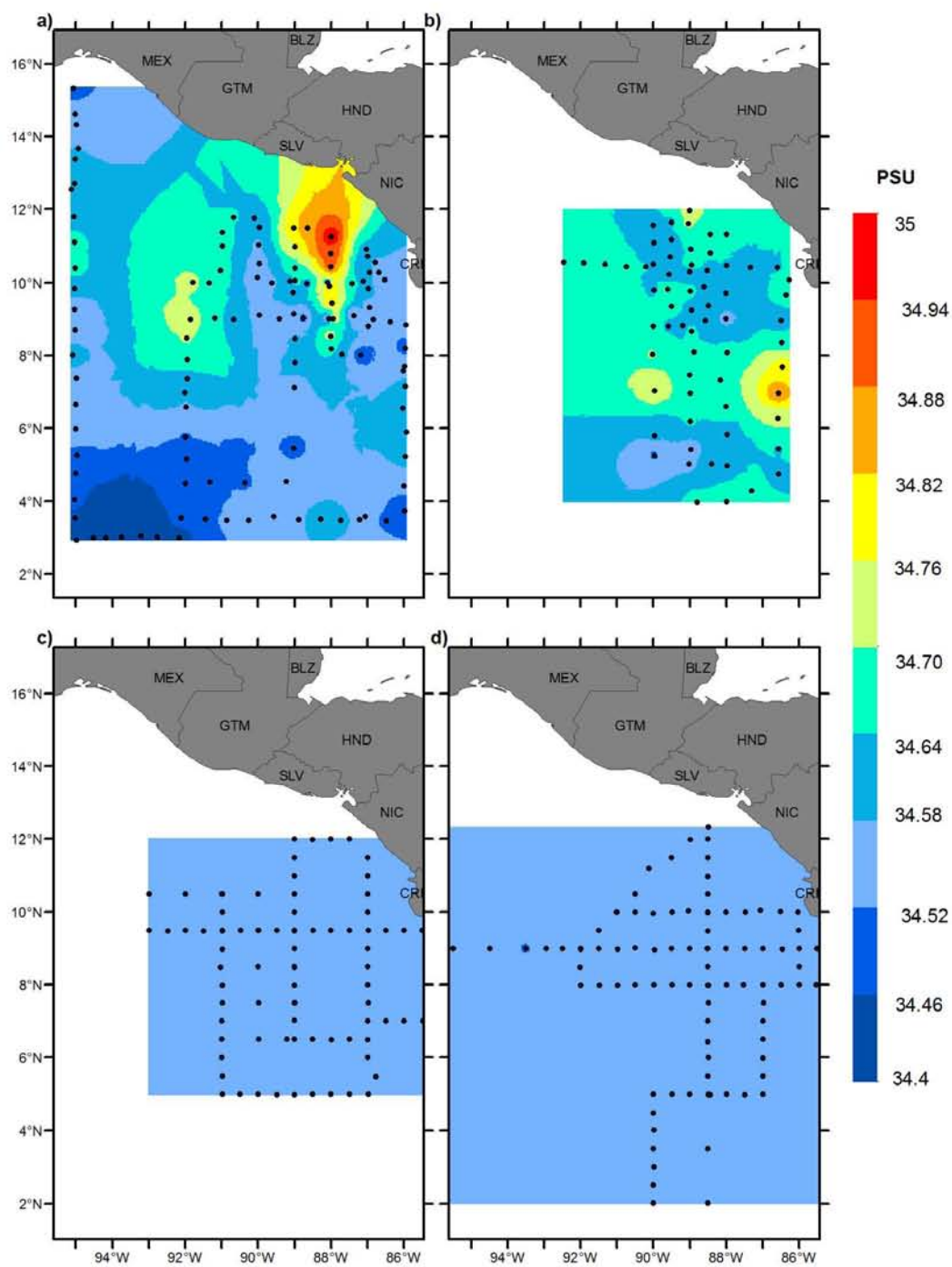


Figura 42: Mapas de salinidad a 950 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.



**Figura 43:** Mapas de salinidad a 1000 m de profundidad de las campañas DOMO 1, 2, 3 y 4.

# Bibliografía

---

- Aguilar, M. E. V. y Alamo, M. A. F. (2015). Zooplancton del Domo de Costa Rica: taxonomía y biogeografía. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 44(2 A):631–642. [14](#)
- Allen, J. y Smith, R. (1981). On the dynamics of wind-driven shelf currents. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 302(1472):617–634. [102](#)
- Alvarez, L., Badan-Dangon, A., y Valle, A. (1989). On coastal currents of tehuatepec. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 29(1):89–96. [97](#)
- Badan, A. (1997). La corriente costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. *Contribuciones a la oceanografía física en México, Monografía*, 3:99–112. [103](#)
- Barberan, J., Gallegos, A., Fernandez, A., y Mee, L. (1985). Subsurface origin of the Costa Rica Dome. *Unpublished manuscript*. [3](#), [14](#), [18](#)
- Barberan, J., Gallegos, A., y Padilla, A. (1984). The Costa Rica dome during the onset of the 1982–83 El Niño. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, 24:13–14. [16](#)
- Blackburn, M. (1968). Micronekton of the eastern tropical pacific ocean: family composition, distribution, abundance, and relations to tuna. *Fish. Bull. US*, 67:71–115. [14](#)
- Brandhorst, W. (1958). Thermocline topography, zooplankton standing crop, and mechanisms of fertilization in the eastern tropical pacific. *Journal du conseil*, 24(1):16–31. [95](#)
- Campos, J. d. J. (1999). *Cartografía Moderna*. Centro de Investigación en Geografía y Geomática, Jorge L. Tamayo A.C. SEP-CONACyT. Apuntes de Diplomado en Geomática. [8](#)



- Chelton, D. B., Bernal, P., y McGowan, J. A. (1982). Large-scale interannual physical and biological interaction in the California current. *Journal of Marine Research*, 40(4):1095–1125. [102](#)
- Clarke, A. J. (1988). Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93(C12):15491–15501. [97](#)
- Csanady, G. (1980). Longshore pressure gradients caused by offshore wind. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 85(C2):1076–1084. [97](#)
- Fernández-Álamo, M. A. y Färber-Lorda, J. (2006). Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: a review. *Progress in Oceanography*, 69(2):318–359. [18](#)
- Fiedler, P. C. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica dome. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(2):321–338. [14](#), [16](#)
- Fiedler, P. C. y Talley, L. D. (2006). Hydrography of the eastern tropical pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2):143–180. [17](#)
- Franchito, S., Rao, V., Stech, J., y Lorenzetti, J. (1998). The effect of coastal upwelling on the sea-breeze circulation at cabo frio, Brazil: a numerical experiment. En *Annales Geophysicae*, volumen 16, pp. 866–881. Springer. [1](#)
- Hofmann, E. E., Busalacchi, A. J., y Q'BRIEN, J. J. (1981). Wind generation of the Costa Rica dome. *Science*, 214(4520):552–554. [3](#), [18](#), [95](#), [102](#), [103](#)
- Jiménez-Lagunes, L. (2004). Modelación numérica del afloramiento en la plataforma continental de Yucatán. Departamento de Oceanografía Física. [104](#)
- Kessler, W. S. (2006). The circulation of the eastern tropical pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2):181–217. [16](#), [17](#)
- Lavín, M., Fiedler, P., Amador, J., Ballance, L., Färber-Lorda, J., y Mestas-Nuñez, A. (2006). A review of eastern tropical pacific oceanography: Summary. *Progress in Oceanography*, 69(2):391–398. [17](#)
- Leetmaa, A., McCreary Jr, J. P., y Moore, D. W. (1981). Equatorial currents: observations and theory. *Evolution of Physical Oceanography*, pp. 184–197. [102](#)

- 
- López, A. (1999). *Principios de Cartografía*. Centro de Investigación en Geografía y Geomática, Jorge L. Tamayo A.C. SEP-CONACyT. Apuntes de Diplomado en Geomática. [9](#)
- McCreary, J. P., Lee, H. S., y Enfield, D. B. (1989). The response of the coastal ocean to strong offshore winds: With application to circulations in the gulfs of tehuantepec and papagayo. *Journal of Marine Research*, 47(1):81–109. [97](#)
- Reid, R. O. (1948). The equatorial currents of the eastern pacific as maintained by the stress of the wind. *Journal of Marine Research*, 7(2):74–99. [96](#)
- Robison, A., Sale, R., Morrison, J., y Muhrcke, P. (1984). Elementos de cartografía, ediciones omega. SA, Barcelona, España. [12](#)
- Romero-Centeno, R., Zavala-Hidalgo, J., y Raga, G. (2007). Midsummer gap winds and low-level circulation over the eastern tropical pacific. *Journal of climate*, 20(15):3768–3784. [2](#), [98](#), [99](#), [100](#), [101](#), [102](#)
- Romero-Centeno, R. d. L. (2007). Variabilidad de parámetros meteorológicos en distintas escalas espacio-temporales en el pacífico tropical nororiental. Tesis. [18](#)
- Scott A, C. (1993). Formation and stability of shelf break fronts. *Journal of geophysical research*, 98(C7):12–405. [1](#)
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to physical oceanography*. Citeseer. [105](#)
- Stumpf, H. G. y Legeckis, R. V. (1977). Satellite observations of mesoscale eddy dynamics in the eastern tropical pacific ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 7(5):648–658. [100](#)
- Thomas, W. H. (1979). Anomalous-nutrient-chlorophyll interrelationships in the offshore eastern tropical pacific ocean. interrelaciones anómalas de nutrientes y clorofila cercana a la costa pacífica oriental tropical. *Journal of Marine Research.*, 37(2):327–336. [95](#)
- Trasviña, A., Barton, E., Brown, J., Velez, H., Kosro, P. M., y Smith, R. L. (1995). Offshore wind forcing in the gulf of tehuantepec, mexico: The asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 100(C10):20649–20663. [97](#)
- Umatani, S. y Yamagata, T. (1991). Response of the eastern tropical pacific to meridional migration of the itcz: The generation of the costa rica dome. *Journal of Physical Oceanography*, 21(2):346–363. [3](#), [16](#), [18](#)

Wang, C. y Enfield, D. B. (2001). The tropical western hemisphere warm pool. *Geophysical Research Letters*, 28(8):1635–1638. [16](#)

Wyrski, K. (1964). Upwelling in the Costa Rica dome. *Fish. Bull.*, 63(2):355–372. [3](#), [14](#), [18](#), [103](#)

Wyrski, K. (1967). Equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanol. & Limnol. Vol.*, 1(2):117–147. [95](#), [96](#)