



Universidad Nacional Autónoma de México

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Métodos de Muestreo en Investigación Oceanográfica



REPORTE DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA “MIO-HA/2018” - B/O “El Puma”,

29 de abril- 09 de mayo de 2018

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU”

Ciudad de México, Noviembre de 2018



Editores:

QFB Gómez Romero Marcela Elisa

Geol. Ingrid Facio Lince Téllez

M. en C. Víctor Luna Gómez

Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta

MIO-HA/2018

Donde el común denominador siempre fue la sonrisa

“Pero más excepcional que el conocimiento de los viejos y de los libros es la sabiduría secreta del océano. Sea azul, verde, gris, blanco o negro; calmo o tempestuoso, ese océano jamás está callado. Mi vida entera lo he estado contemplando y oyendo, y lo conozco a la perfección. En el comienzo solo me relataba historias sencillas sobre puertos diminutos y playas mansas; pero con el correr de los años se hizo más íntimo y me habló sobre otras cosas; de cosas más extrañas, y más remotas temporal y espacialmente. En el crepúsculo, muchas veces los vahos grisáceos del horizonte se han disipado para permitirme observar los rumbos que hay allí abajo. Mis visiones eran no sólo de los rumbos que existen sino también de los que existieron o pudieron existir; porque el océano es más antiguo que las montañas y contiene los recuerdos y las ensoñaciones del Tiempo.”

El navío blanco, H.P. Lovecraft

A. Alumnos participantes del crucero MIO-HA/2018

		
Biól. Ariel Arias Martínez, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria ariasarielmartinez@hotmail.com	Biól. Emiliano Arroyo Sánchez, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria zappata@ciencias.unam.mx	Geol. Ingrid Facio Lince Téllez, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria ifaciolincet@gmail.com
		
Biól. Pesq. José C. Hernández Payán, Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología Mazatlán jose_carlos_11@hotmail.com	QFB. Marcela Elisa Gómez Romero, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UMDI-Sisal mar.gorom90@gmail.com	Biól. Mar. Marco Antonio Violante Huerta, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria marco_violante@hotmail.com
		
Biól. Nahui Olin Zunun Domínguez, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria; hera220@ciencias.unam.mx	Biól. Saúl Rosales Saldivar, Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria saphilosbul@gmail.com	Biól. Sonia Campos Cerdán, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria soniacamposcerdan@gmail.com
		
Ing. Civil Alejandro Alejandro Ávila Posgrado en Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria alejandrolejandro92@gmail.com	Ing. Civil Ana Gabriel Ríos Pérez, Posgrado en Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria anagabriels07@gmail.com	Ing. Civil Arturo Méndez Leyva, Posgrado en Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria rottenhesse@gmail.com
		
Ing. Civil Carlos Martínez Jiménez, Posgrado en Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria majcarlos8925@gmail.com	M.en.C. Edilson Fernando Salazar Monroy, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Ciudad Universitaria esalazarm@iingen.unam.mx	Ing. Civil Gustavo Rodríguez, Posgrado en Ingeniería, Ciudad Universitaria gusydbaf180@gmail.com

B. Profesores de la etapa teórica



Ciudad Universitaria

Dra. Vivianne Solís Weiss (Coordinadora)

Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta

Dr. Antonio Zoilo Márquez García

Dr. Sergio Licea Durán

M. en C. Margarito Álvarez Rubio

M. en C. Víctor Enrique Luna Gómez

Hidrobiol. Sergio Castillo Sandoval

M. en C. Sergio Rendón

M. en C. Livia Elizabeth Sánchez Rueda

Unidad Académica Mazatlán

Dr. Michel Hendricks

Dr. Samuel Gómez Noguera

Dra. María Nuria Méndez Ubach

Dr. David Ernesto Serrano

Dr. Arturo Ruíz Luna

Ing. Alfredo Galaviz Solís

Dr. Jorge Ruelas Inzunza

Dr. Giovanni Montaña Ley

C. Instructores de la primera fase del Crucero MIO-HA/2018



<p>Dr. Sergio Licea Duran, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM Especialidad: fitoplancton</p>	<p>M. en C. Sergio Rendón Rodríguez, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U-Mazatlán, UNAM Especialidad: zooplancton</p>	<p>Biól. Livia Sánchez Rueda, Facultad de Ingeniería, UNAM Especialidad: microbiología</p>
<p>M. en C. Margarito Álvarez Rubio, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM Especialidad : necton.</p>	<p>Fis. Rodolfo Meza Peredo, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM Especialidad: meteorología</p>	<p>Hidrobiol. Fermín Sergio Castillo Sandoval, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, UNAM Especialidad: oceanografía química</p>
<p>Dra. Vivianne Solis-Weiss, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología U-Puerto Morelos, UNAM Especialidad: bentps</p>	<p>Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, UNAM Especialidad: oceanografía física</p>	<p>M. en C. Víctor Luna Gómez, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, UNAM Apoyo de Jefe de Campaña y auxiliar docente</p>
<p>Dr. Antonio Márquez García, Universidad Autónoma Metropolitana Especialidad: geología marina</p>		

D. Instructores de la primera y segunda fase del Crucero MIO-HA/2018



<p>Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, UNAM Especialidad: oceanografía física</p>	<p>M. en C. Víctor Luna Gómez, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, UNAM Apoyo de Jefe de Campaña y auxiliar docente</p>	<p>Dra. Vivianne Solis-Weiss, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología U-Puerto Morelos, UNAM Especialidad: bentps</p>
<p>Hidrobiol. Fermín Sergio Castillo Sandoval, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, UNAM Especialidad: oceanografía química</p>	<p>Dr. Antonio Márquez García, Universidad Autónoma Metropolitana Especialidad: geología marina</p>	

Agradecimientos



El curso de Métodos de Muestreo de Investigación Oceanográfica fue diseñado por el Dr. Ingvar Emilsson † desde los años setentas y es un curso único en el cual participan numerosos especialistas de diversos campos de conocimiento de la Oceanografía Marina, en el que los estudiantes aprenden las diversas técnicas que se emplean a bordo de los barcos de investigación y para muchos es su primer gran acercamiento a altamar; nuestra más sincera gratitud al Dr. Ingvar Emilsson.

Por otra parte, los autores agradecen al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, en especial a la Coordinadora Ruth Cecilia Vanegas Pérez y a Gabriela Almaraz Mejía, a la Coordinadora de Plataformas Oceanográficas (COPO) Dr. Ligia Pérez Cruz, a la Coordinación General de Posgrado y a la Coordinación de la Investigación Científica, de la UNAM, por otorgar las facilidades económicas y logísticas previo, durante y posterior a la realización de la campaña oceanográfica MIO-HA/2018. Así mismo agradecemos al Posgrado de Ingeniería Civil y al Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM por otorgar el apoyo y las facilidades económicas a sus alumnos.

De igual manera, los autores agradecen a la tripulación a bordo durante la campaña oceanográfica MIO-HA/2018, quienes facilitaron la operación del equipo especializado, colaboraron en el mejoramiento del plan de campaña y por el cumplimiento del código de ética y función a bordo del buque.

Tripulación del B/O “El Puma”

Pascual Barajas Flores Capitán	Adrián Cantú Alvarado Primer oficial de cubierta	Manuel Martínez Díaz Segundo oficial de cubierta
Aurelio Ovalle Martínez Jefe de máquinas	Armando Jaime Ramos Primer oficial de máquinas	Lizardo Lizarraga Gutiérrez Segundo oficial de máquinas
René García Torres Ingeniero Marino	José de Jesús Hernández Flores Ingeniero Marino	Miguel Ángel Aguilar Guzmán Operario especialista
Manuel A. Cortes Castillo Contraaestere	Francisco Osuna López Marinero	Jesús Castañeda Barrón Marinero
José Félix Flores Sandoval Camarero	Raymundo Coronado Torres Camarero	Víctor Ramón Flores Ayudante de cocina

ABREVIATURAS



ACC: Agua de la Corriente de California

AGC: Agua del Golfo de California

AIP: Agua Intermedia del Pacífico

APP: Agua Profunda del Pacífico

ASE: Agua Superficial Ecuatorial

ASsST: Agua subsuperficial Subtropical

atm: atmósferas

B/O: Buque Oceanográfico

CTD: Aparato que mide conductividad, temperatura y presión (por sus siglas en inglés)

H₂SO₄: ácido sulfúrico

ICMyL: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

mL: mililitro

NH₃: amoníaco

NH⁴⁺: amonio

NO²⁻: nitritos

NO³⁻: nitratos

OD: oxígeno disuelto

PVC: policloruro de vinilo

vol: volumen



Índice

Introducción	16
Objetivos	17
Área de estudio	17
Capítulo 1.- Oceanografía física	22
1.1.- Introducción	22
1.2.- Materiales y Métodos.....	25
1.3.- Resultados	26
Capítulo 2.- Oceanografía Química	68
2.1.- Introducción	68
2.1.- Materiales y Métodos.....	69
2.2.- Resultados	71
Capítulo 3.- Geología Marina	107
3.1.- Introducción	107
3.2.- Materiales y Métodos	109
3.3.- Resultados	115
Capítulo 4.- Biología Marina	128
4.1.- Introducción	128
4.2.- Materiales y Métodos.....	129
4.3.- Resultados	129
Literatura citada	133



Lista de figuras

Figura i. Zona de estudio de la campaña oceanográfica MIO-HA/2018. Los círculos de colores representan las estaciones de muestreo.....	18
Figura 1.1. Datos del CTD de la Estación 1.....	27
Figura 1.2. Datos del CTD de la Estación 2.....	28
Figura 1.3. Datos del CTD de la Estación 3.....	29
Figura 1.4. Datos del CTD de la Estación 4.....	30
Figura 1.5. Datos del CTD de la Estación 5.....	31
Figura 1.6. Datos del CTD de la Estación 6.....	32
Figura 1.7. Datos del CTD de la Estación 7.....	33
Figura 1.8. Datos del CTD de la Estación 8.....	34
Figura 1.9. Datos del CTD de la Estación 9.....	35
Figura 1.10. Datos del CTD de la Estación 10.....	36
Figura 1.11. Datos del CTD de la Estación 12.....	37
Figura 1.12. Datos del CTD de la Estación 13.....	38
Figura 1.13. Datos del CTD de la Estación 14.....	39
Figura 1.14. Datos del CTD de la Estación 15.....	40
Figura 1.15. Datos del CTD de la Estación 16.....	41
Figura 1.16. Datos del CTD de la Estación 17.....	42
Figura 1.17. Datos del CTD de la Estación 18.....	43
Figura 1.18. Datos del CTD de la Estación 19.....	44
Figura 1.19. Datos del CTD de la Estación 20.....	45



Figura 1.20. Datos del CTD de la Estación 21.....	46
Figura 1.21. Datos del CTD de la Estación 22.....	47
Figura 1.22. Datos del CTD de la Estación 23.....	48
Figura 1.23. Datos del CTD de la Estación 24.....	49
Figura 1.24. Datos del CTD de la Estación 25.....	50
Figura 1.25. Datos del CTD de la Estación 26.....	51
Figura 1.26. Datos del CTD de la Estación 27.....	52
Figura 1.27. Datos del CTD de la Estación 28.....	53
Figura 1.28. Datos del CTD de la Estación 29.....	54
Figura 1.29. Datos del CTD de la Estación 30.....	55
Figura 1.30. Datos del CTD de la Estación 31.....	56
Figura 1.31. Datos del CTD de la Estación 32.....	57
Figura 1.32. Datos del CTD de la Estación 33.....	58
Figura 1.33. Datos del CTD de la Estación 34.....	59
Figura 1.34. Datos del CTD de la Estación 35.....	60
Figura 1.35. Perfil batimétrico norte.....	61
Figura 1.36. Transecto de temperatura norte.....	61
Figura 1.37. Perfil batimétrico sur.....	62
Figura 1.38. Transecto de temperatura sur.....	62
Figura 1.39. Diagrama TS de la campaña MIO-HA/2018.....	63
Figura 1.40. Temperatura media de la fase nocturna (00:00-12:00) y fase diurna (12:00-24:00) de los días del crucero oceanográfico MIO-HA/2018.....	64



Figura 1.41. Temperatura del punto de rocío de la fase nocturna (00:00-12:00) y fase diurna (12:00-24:00) de los días del crucero oceanográfico MIO-HA/2018.....65

Figura 1.42. Distribución de velocidad del viento diaria de los días de crucero oceanográfico MIO-HA/2018.....66

Figura 1.43. Presión atmosférica de los días de crucero oceanográfico MIO-HA/2018....67

Figura 2.1 Corrección de los valores de Oxígeno disuelto (OD).....71

Figura 2.2. Datos de nutrientes y OD de la Estación 1.....72

Figura 2.3. Datos de nutrientes y OD de la Estación 2.....73

Figura 2.4. Datos de nutrientes y OD de la Estación 3.....74

Figura 2.5. Datos de nutrientes y OD de la Estación 4.....75

Figura 2.6. Datos de nutrientes y OD de la Estación 5.....76

Figura 2.7. Datos de nutrientes y OD de la Estación 6.....77

Figura 2.8. Datos de nutrientes y OD de la Estación 8.....78

Figura 2.9. Datos de nutrientes y OD de la Estación 9.....79

Figura 2.10. Datos de nutrientes y OD de la Estación 10..... 80

Figura 2.11. Datos de nutrientes y OD de la Estación 12.....81

Figura 2.12. Datos de nutrientes y OD de la Estación 13.....82

Figura 2.13. Datos de nutrientes y OD de la Estación 14.....83

Figura 2.14. Datos de nutrientes y OD de la Estación 15.....84

Figura 2.15. Datos de nutrientes y OD de la Estación 16.....85

Figura 2.16. Datos de nutrientes y OD de la Estación 17.....86

Figura 2.17. Datos de nutrientes y OD de la Estación 18.....87

Figura 2.18. Datos de nutrientes y OD de la Estación 19.....88



Figura 2.19. Datos de nutrientes y OD de la Estación 20.....	89
Figura 2.20. Datos de nutrientes y OD de la Estación 21.....	90
Figura 2.21. Datos de nutrientes y OD de la Estación 22.....	91
Figura 2.22. Datos de nutrientes y OD de la Estación 23.....	92
Figura 2.23. Datos de nutrientes y OD de la Estación 24.....	93
Figura 2.24. Datos de nutrientes y OD de la Estación 25.....	94
Figura 2.25. Datos de nutrientes y OD de la Estación 26.....	95
Figura 2.26. Datos de nutrientes y OD de la Estación 27.....	96
Figura 2.27. Datos de nutrientes y OD de la Estación 28.....	97
Figura 2.28. Datos de nutrientes y OD de la Estación 29.....	98
Figura 2.29. Datos de nutrientes y OD de la Estación 30.....	99
Figura 2.30. Datos de nutrientes y OD de la Estación 31.....	100
Figura 2.31. Datos de nutrientes y OD de la Estación 32.....	101
Figura 2.32. Datos de nutrientes y OD de la Estación 33.....	102
Figura 2.33. Datos de nutrientes y OD de la Estación 34.....	103
Figura 2.34. Datos de nutrientes y OD de la Estación 35.....	104
Figura 2.35. Comparación de concentraciones de clorofila-a (Estación 27, Estación 28, Estación 31 y Estación 32).....	106
Figura 3.1. Armado y lanzamiento de nucleador de caja.....	109
Figura 3.2. Diagrama de granulometría para análisis textural.....	110
Figura 3.3. Diagrama composicional de sedimentos (Folk, 1980).....	110
Figura 3.4. Funcionamiento de ecosonda.....	111
Figura 3.5. Transectos de batimetría.....	112



Figura 3.6. Perfil acústico Transecto 10-12, con morfología de cañones submarinos.....	113
Figura 3.7. Diseño de plan batimétrico para búsqueda de zona de ventilas hidrotermales.....	116
Figura 3.8. Mapa de desembarque, operación anfibia y localización de los perfiles de playa en la isla Santa Catalina 25.67°N/ 110.76°W.....	116
Figura 3.9. Mapa de localización de las estaciones de lanzamiento de nucleador de caja y muestras obtenidas de núcleo.....	116
Figura 3.10. Análisis textural de las muestras de sedimentos de la campaña MIO-HA/2018.....	119
Figura 3.11. Mapa de tamaño de partículas de sedimentos de las estaciones de la campaña MIO-HA/2018.....	120
Figura 3.12. Mapa composición mineralógica de sedimentos de las estaciones de la campaña MIO-HA/2018.....	122
Figura 3.13. Perfil Acústico del transecto 6-7. Cañón submarino.....	123
Figura 3.14. Perfil Acústico del transecto 9-10. Cañones submarinos.....	123
Figura 3.15. Perfil Acústico del transecto 15-16. Llegada a isla Santa Catalina.....	123
Figura 3.16. Perfil Acústico del transecto 27-18. Prospección para búsqueda de ventila..	124
Figura 3.17. Perfil Acústico del transecto 27-18. Ventilass.....	125
Figura 3.18. Perfiles de Playa norte (A), Playa centro (B) y Playa sur (C) en la isla Santa Catalina 25.67°N/ 110.76°W.....	126
Figura 3.19. Modelo de playa por interpolación de tres perfiles en la isla Santa Catalina 25.67°N/ 110.76°W. Vista al mar hacia el este.....	126
Figura 3.20. Mapa topográfico de la playa y de puntos de visado de la estación total en la isla Santa Catalina. Vista al mar hacia el este.....	127



Figura 3.21. Modelo de la playa por interpolación de los puntos de visado de la estación total Sokkia 650x.....	127
Figura 4.1. Grupos taxonómicos hallados en el bentos durante la campaña oceanográfica MIO-HA/2018.....	131
Figura 4.2. Grupos taxonómicos hallados en el bentos durante la campaña oceanográfica MIO-HA/2018.....	132



Lista de Tablas

Tabla i. Datos generales de crucero MIO-HA/2018.....	18
Tabla ii. Muestreos realizados por estación.....	20
Tabla 1.1. Características técnicas del CTD utilizado durante la campaña oceanográfica MIO-HA/2018.....	26
Tabla 1.2. Características de las masas de agua (Torres-Orozco, 1993).....	63
Tabla 2.1. Concentración de clorofila-a obtenida por los métodos de Fluorometría y Espectrofotometría	105
Tabla 3.1. Muestreo de sedimentos.....	115
Tabla 3.2. Localización y profundidad de llegada del buque y de fondo en el lanzamiento del nucleador de caja.....	117
Tabla 3.3. Muestras de sedimentos obtenidos mediante un núcleo de PVC de longitud de 1m. en la caja Reineck	118
Tabla 3.4. Porcentaje volumétrico de tamaño de partículas sedimentarias y clasificación de las muestras de la campaña MIO-HA/2018.....	118
Tabla 3.5. Composición mineralógica y clasificación de los sedimentos de las muestras de la campaña MIO-HA/2018.....	121
Tabla 4.1. Grupos taxonómico que se presentaron en las diferentes estaciones de muestreo.....	130



Introducción

El Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM imparte el curso de “Métodos de Muestreo en Investigación Oceanográfica”, la cual tiene como objetivo el que el alumno sea capaz de “diseñar, organizar, dirigir y ejecutar observaciones, muestreos y análisis en el ambiente marino en las diferentes ramas de las ciencias marinas” (Granados, 2000). Este curso cuenta de una sección teórica y otra práctica. La parte práctica se realiza en el B/O “El Puma” y cuenta de dos fases. La primera fase se realiza para conocer el buque así como sus instrumentos y aparatos. La segunda fase consiste en la realización de un crucero oceanográfico, crucero que en este caso se llevó a cabo en la parte sur del Golfo de California (Fig.i).

El Golfo de California se encuentra ubicado en la región noroeste de la república mexicana, con un litoral costero que corresponde al 20% de los 10,000 km totales con los que cuenta México (Obeso-Nieblas, 2003). Sus aguas son reconocidas por su gran diversidad y alta productividad biológica, características que son posibles por el estado semicerrado del Golfo (Peguero-Icaza *et al.* 2008, Sánchez-Velasco *et al.* 2009, Álvarez-Borrego 2012) en donde la circulación de las masas de agua superficiales, por la presencia de remolinos ciclónicos de mesoescala, aumentan la conectividad entre las zonas más cercanas al océano pacífico (Emilson y Alatorre, 1997; Lavín *et al.*, 2014) favoreciendo el intercambio químico y biológico por la mezcla (Contreras-Catala *et al.* 2015). Además, el Golfo de California es resultado de procesos geológicos de gran actividad e importancia, que contribuyen al aporte de nutrientes, diversidad del relieve batimétrico y la composición del suelo marino a diferentes niveles estratigráficos, por su origen tectónico (Durán-Calderón, 2016).

La complejidad que representan los fenómenos físicos, geológicos, químicos, climatológicos y biológicos, hace del Golfo de California una región importante para la investigación oceanográfica que involucre interdisciplinariedad en los grupos de trabajo altamente capacitados. Por tal motivo, el presente trabajo plantea un análisis integral de la zona nerítica (principalmente) y oceánica del sur-centro del Golfo de California, a través de la aplicación de equipos y métodos oceanográficos de alto nivel.



Objetivos

Objetivo general

Analizar los parámetros oceanográficos de las aguas neríticas y oceánicas de la zona sur-centro del Golfo de California durante la primera semana de mayo de 2018, por medio de la aplicación del muestreo sistemático de variables físicas, químicas, geológicas y biológicas con equipo altamente especializado.

Objetivos específicos

- Analizar la variación horizontal y vertical de los principales parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas neríticas y oceánicas del sur-centro del Golfo de California.
- Analizar la variación de los principales parámetros geológicos del suelo marino y costero del sur-centro del Golfo de California.

Área de estudio

La región de estudio se ubicó entre los paralelos 23° 11' y 25° 52' N y los meridianos 106° 31' y 110° 49' W en donde se establecieron 35 estaciones de muestreo (Fig. 1) ubicadas en la zona nerítica y oceánica del sur-centro del Golfo de California, cubriendo 635 millas náuticas durante 9 singladuras (Tabla i).

Durante la campaña MIO-HA/2018 se realizaron muestreos de por medio de instrumentos tales como CTD, para mediciones de conductividad, temperatura y densidad del agua de mar, y otros parámetros con diferentes herramientas como redes para zooplancton y fitoplancton, el nucleador para sedimentos y organismos bentónicos, estación total de topografía para los perfiles de playa (Tabla ii).

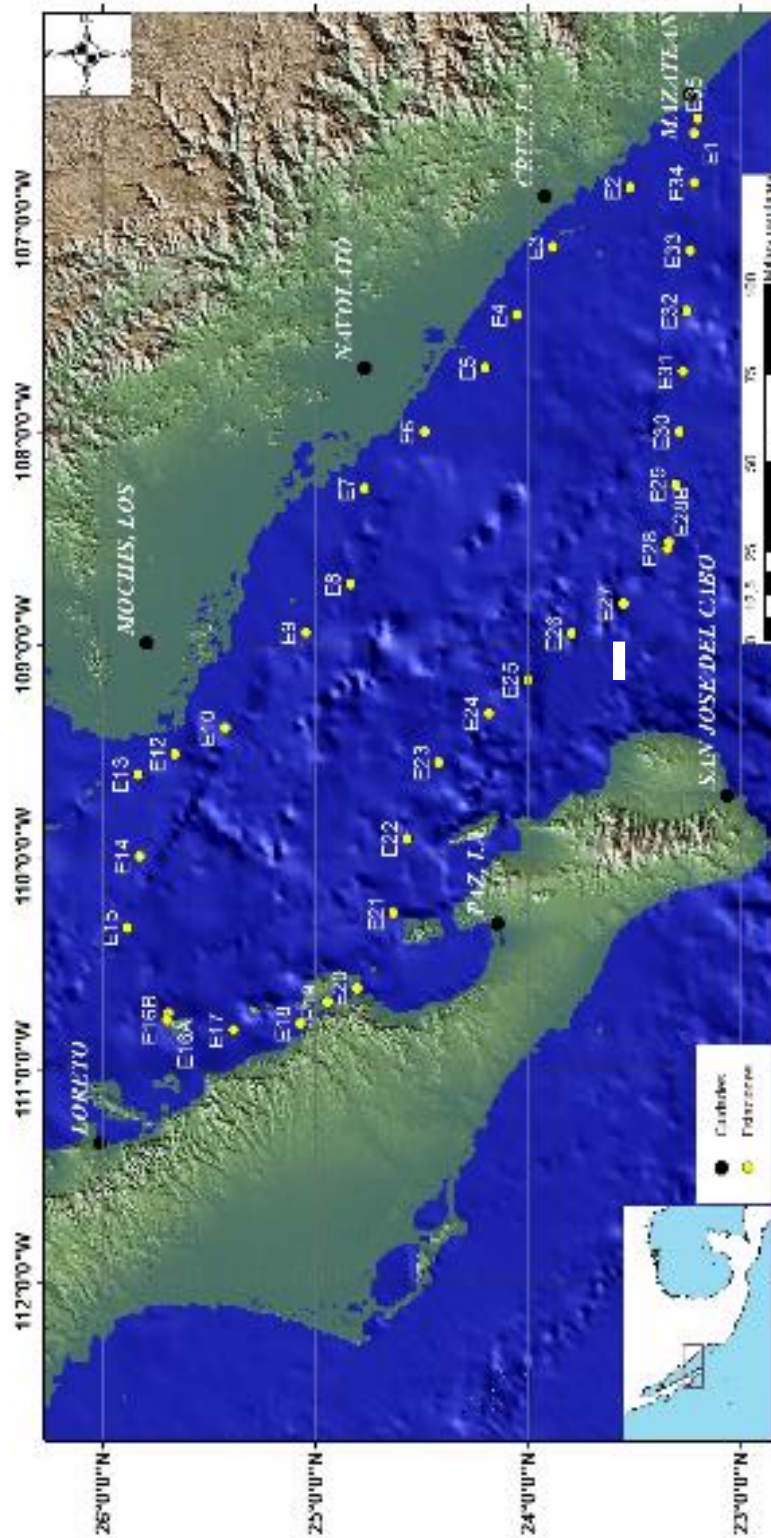


Figura i. Zona de estudio de la campaña oceanográfica MIO-HA/2018. Los círculos de colores representan las estaciones de muestreo.



Tabla i. Datos generales de crucero MIO-HA/2018.

Estación	Coordenadas	Fecha	Hora llegada	Hora salida
E1	23°13.05'N 106°36.1'W	04/05/2018	09:59	10:25
E2	23°30.98'N 106°51.09'W	04/05/2018	13:38	13:50
E3	23°52.90'N 107°07.95' W	04/05/2018	17:30	18:04
E4	24°02.98'N 107°27.03'W	04/05/2018	20:18	20:32
E5	24°11.93'N 107°42.10'W	04/05/2018	23:04	23:18
E6	24°28.89'N 108°00.05' W	05/05/2018	02:54	03:15
E7	24°45.89'N 108°15.99' W	05/05/2018	05:53	06:00
E8	24°49.88' N 108°36.01 W	05/05/2018	08:28	09:32
E9	25°02.41'N 108°56.65' W	05/05/2018	12:11	12:37
E10	25°25.31' N 109°23.84'W	05/05/2018	15:59	16:20
E11	CANCELADA	-	-	-
E12	25° 39.52'N 109°31.05' W	05/05/2018	17:52	18:51
E13	25°49.89'N 109°36.96'W	05/05/2018	20:06	20:40
E14	25°49.29'N 109°59.86'W	05/05/2018	22:44	01:15
E15	25°52.92'N 110°20.01'W	06/05/2018	03:09	03:45
E16A	25°41.19'N 110°44.07'W	06/05/2018	06:12	06:26
E16B	25°41.79'N 110°46.00'W	06/05/2018	08:00	17:05
E17	25°22.99'N 110°49.00'W	06/05/2018	17:09	17:28
E18	25°4.02'N 110°46.98'W	06/05/2018	19:42	20:42
E19	24°56.40'N 110°41.11'W	06/05/2018	21:42	22:05
E20	24°48.01'N 110°37.03'W	06/05/2018	23:36	23:51
E21	24°37.99'N 110° 15.95'W	07/05/2018	03:09	04:31
E22	24° 34.01'N 109° 54.96'W	07/05/2018	06:24	06:55
E23	24° 24.95'N 109° 33.52'W	07/05/2018	08:55	09:21
E24	24° 10.94' N 109°19.60 W	07/05/2018	13:04	13:38
E25	24° 00.02' N 109°10.00'W	07/05/2018	14:55	15:30
E26	23°47.53'N 108° 57.09'W	07/05/2018	17:03	17:33
E27	23°32.88' N 108°48.56'W	07/05/2018	19:33	20:08



Estación	Coordenadas	Fecha	Hora llegada	Hora salida
E28	23°20.47 'N 108°33.15W	07/05/2018	21:49	22:21
E28b	23°20.134 'N 08°31.40'W	08/05/2018	01:00	03:43
E29	23°18.09'N 108°14.97'W	08/05/2018	04:17	04:52
E30	23°17.04'N 108°00.08'W	08/05/2018	06:30	06:59
E31	23°16.04'N 107°43.08'W	08/05/2018	08:49	09:16
E32	23°15.12'N 107°25.96'W	08/05/2018	11:00	11:31
E33	23°14.01'N 107°09.00'W	08/05/2018	13:03	13:37
E34	23°13.02'N 106°50.05'W	08/05/2018	15:08	15:38
E35	23°11.97'N 106°31.93'W	08/05/2018	17:03	17:24

Tabla ii. Muestreos realizados por estación.

N°	Profundidad máxima (m)	Profundidad muestreo (m)	Muestreos realizados					
			B	C	S	Z	CTD	P
E1	72.0	55.0		X			X	
E2	60.7	45.0					X	
E3	31.2	22.0		X			X	
E4	47.3	37.0					X	
E5	46.9	30.0		X		X	X	
E6	41.5	30.0					X	
E7	57.1	57.1	X	X	X		X	
E8	662.7	640.0	X		X		X	
E9	248.0	230.0					X	
E10	156.5	140.0					X	
E11	2160.0	100.0					X	
E12	160.0	145.0	X	X	X		X	
E13	97.4	82.0	X	X	X		X	
E14	1593.0	1520.0	X	X	X		X	



N°	Profundidad máxima (m)	Profundidad muestreo (m)	Muestreos realizados					
			B	C	S	Z	CTD	P
E15	1644.0	600.0					X	
E16A	93.4	75.0					X	
E16B								X
E17	718.0	200.0					X	
E18	366.0	305.0	X	X	X		X	
E19	219.6	195.0	X	X	X		X	
E20	106.9	91.0	X	X	X		X	
E21	672.8	6000.0	X		X		X	
E22	930.0	500.0					X	
E23	1517.0	500.0	X	X	X		X	
E24	1458.0	500.0					X	
E25	1302.0	500.0		X			X	
E26	1916.0	500.0					X	
E27	2627.0	500.0		X			X	
E28	2326.0	500.0	X	X	X		X	
E28b					X			
E29	2417.0	500.0		X			X	
E30	2479.0	500.0		X			X	
E31	2178.0	500.0		X			X	
E32	951.2	500.0		X			X	
E33	984.1	500.0		X			X	
E34	281.0	240.0		X			X	
E35	47.4	35.0		X			X	

CTD=del inglés *conductivity, temperaure, depth* (conductividad, temperatura, profundidad),
B=bentos, C=clorofila-a, P=perfil de playa, S=sedimentos, Z=zooplancton.



Capítulo 1.- Oceanografía física

1.1.- Introducción

La circulación general del Golfo de California está determinada principalmente por las mareas, los vientos, la distribución de densidad, además del intercambio de calor y agua con la atmósfera y con el océano Pacífico (Lavín et al. 1997). Las principales corrientes que se han registrado son la corriente de California, que penetra al Golfo en forma incipiente en diciembre y enero mezclándose con la del propio Golfo y sale con fuerza hasta llegar al Golfo de Tehuantepec en el mes de marzo; en mayo se presenta un flujo procedente del sur del Pacífico, que corresponde a la corriente Costera de Costa Rica, alcanzando su máximo en el mes de julio. Cuando los vientos locales cambian de dirección, la Corriente Norecuatorial entra al Golfo de California de agosto a septiembre, y en octubre se presenta un estado de calma. En noviembre se detecta nuevamente la Corriente de California (De la Lanza-Espino 2001).

Además del patrón general de circulación, existen corrientes geostróficas en el centro del Golfo o en su parte inferior (que parte del límite anterior hasta Cabo San Lucas-El Dorado, Sinaloa y Cabo San Lucas-Cabo Corrientes), siendo este último donde se registran frentes de todas las masas de agua y corrientes del Golfo de California (De la Lanza-Espino 2001).

Las masas de agua superficiales en el Golfo de California se comportan de un modo variable a lo largo del año, pero en general hasta los 150 metros de profundidad existen principalmente dos masas de agua: el Agua del Golfo de California y el Agua Superficial Ecuatorial (Lavín et al. 1997).

El Agua del Golfo de California ocupa los primeros 150 m y se localiza en la región norte del Golfo, donde es la única masa de agua hasta esa profundidad. Se distingue por su alta salinidad, mayor a 35 UPS (unidades prácticas de salinidad), y se considera como agua ecuatorial que ha sido transformada en la superficie por evaporación; debido a su alta temperatura tiende a ocupar las capas superficiales, donde es modificada constantemente a lo largo del Golfo y de manera estacional. El Agua Superficial Ecuatorial, por su parte, se extiende hacia el interior del Golfo y tiene una variación estacional característica, con una



máxima intrusión en verano (cuando se encuentra solo en la boca del Golfo) (Lavín et al. 1997).

Entre los 150 y los 500 metros, se encuentra otra masa de agua denominada Agua Superficial Subtropical, la cual varía estacionalmente. El límite superior está definido por una salinidad menos a los 35 UPS y una temperatura menor a los 18 °C (Lavín et al. 1997). Esta masa de agua penetra al Canal de Ballenas, hasta una profundidad de 400 m del umbral de San Lorenzo (Romero-Centeno 1995).

Por su parte, una masa denominada Agua Intermedia del Pacífico constituye al 33% del volumen del Golfo. Abarca de los 500 m a los 1200 m aproximadamente; y su salinidad varía poco, entre 34.5 y 34.6 UPS. Debido a que el límite superior de esta masa está por encima del umbral de San Estebas, esta masa de agua penetra hasta la Cuenca Tiburón pasando por la Cuenca de San Felipe (Lavín et al. 1997).

Desde aproximadamente 1200 m de profundidad hasta el fondo y delimitada por la isoterma de 4 °C, está el Agua Profunda del Pacífico, y representa el 41% del volumen del Golfo de California (Torres-Orozco 1993). La salinidad aumenta hacia el fondo de 34.5 a 34.7 UPS. Esta masa de agua es muy estable debido a que está aislada de la influencia meteorológica que afecta a las capas superficiales (Lavín et al. 1997).

El régimen de mareas en el Golfo de California es del tipo mixto semidiurno. La marea del Golfo es generada por conciliación con la marea del Pacífico; es decir, que las variaciones se deben a las fluctuaciones del nivel del mar en la entrada del Golfo, y no tanto a la atracción gravitatoria del Sol y la Luna (Ripa y Velázquez 1993)

Las corrientes de marea son muy intensas y provocan una mezcla profunda de la columna de agua, lo cual promueve que la productividad de la región sea elevada y a su vez genere una alta diversidad y densidad de invertebrados y vertebrados marinos.

Cuando describimos las condiciones atmosféricas en un momento y lugar concretos, estamos hablando del tiempo atmosférico. Hablando del Golfo de California, las características geográficas son de gran importancia cuando se trata de estudiar los fenómenos en escala local, ya que la gran extensión meridional del Golfo hace que éste sea afectado por



fenómenos de medias y bajas latitudes en el transcurso del año; las cordilleras montañosas de la Península de Baja California y de la Sierra Madre Occidental generan un forzamiento dinámico en los niveles inferiores de la circulación atmosférica, de tal manera que las características de los parámetros termodinámicos son afectados, dando como resultado que las condiciones climatológicas y meteorológicas sean muy diferentes tanto dentro como fuera del Golfo (Hernández, 1989).

El clima que impera en el Golfo de California es, en forma general, muy semejante a los climas de las costas adyacentes: vertiente oriental de la península de Baja California y la porción continental (oeste de Sonora y noroeste de Sinaloa) fundamentalmente en lo que se refiere a baja precipitación y veranos extremadamente calientes; esto se puede atribuir a diferentes causas como la configuración del Golfo, que se extiende de norte a sur por más de 1000 km (Hernández, 1989).

Conocer el comportamiento de la temperatura, la precipitación y los vientos, así como otras características climáticas de la zona, ayuda a tener una mejor representación meteorológica de la zona que se quiere estudiar.

La temperatura en el Golfo de California se incrementa de norte a sur y es algo mayor a lo largo de la costa de Baja California que en la de Sonora y Sinaloa, de tal forma que el área se puede delimitar en dos zonas térmicas, una cálida con temperaturas mayores a 22 ° C, que comprende las porciones noroeste, centro y sur abarcando más de la mitad de la zona en cuestión (García, E., Vidal y E. Hernández, 1988).

La temperatura de la superficie terrestre está determinada principalmente por la cantidad de radiación solar que recibe y que es absorbida selectivamente por los gases atmosféricos. Aproximadamente el 70% de la energía solar que llega a la Tierra alcanza la superficie, directa o indirectamente, aunque este porcentaje está en función principalmente de la latitud, época del año, humedad y nubosidad (De la Lanza, 2001; Wright, 1995).

Una vez que la radiación solar llega al océano no penetra a más de unos pocos cientos de metros y la mayoría es absorbida en los primeros 10 m, por lo cual la transferencia de calor a mayores profundidades ocurre principalmente por mezcla y convección, ambos procesos muy lentos. Por otra parte, en la superficie la mezcla por vientos, ondas y corrientes producen



una capa de mezcla con un grosor promedio de 200-300 m, debajo de la cual se encuentra una termoclina permanente en la que la temperatura desciende hasta aproximadamente 5°C y por debajo de la cual la temperatura decrece gradualmente hacia el fondo, comúnmente hasta los 0 o 3°C. En latitudes medias se puede desarrollar una termoclina estacional en verano por encima de la termoclina permanente, también pueden desarrollarse termoclinas diurnas a profundidades de 10-15 m (Wright, 1995).

1.2.- Materiales y Métodos

En la campaña oceanográfica MIO-HA se realizaron 35 estaciones de muestreo donde se llevaron a cabo mediciones de conductividad, temperatura, presión, oxígeno disuelto y fluorescencia con el CTD (por sus siglas en inglés, *Conductivity, Temperature, Depth*). La adquisición de las muestras de agua de mar se hizo con la roseta tipo carrusel, usando 12 botellas Niskin. El CTD cuenta con un fluorómetro y un conjunto de botellas para la obtención de las muestras de agua de mar. Estas se activan automáticamente a una profundidad monitoreada con el apoyo de una ecosonda monohaz, que permite conocer la batimetría del punto de interés.

Una vez activado, el CTD descendió a la profundidad deseada y se determinan los puntos importantes como máximos y mínimos para tomar la muestra de agua con la roseta para posteriormente obtener datos de oxígeno disuelto y nutrientes. Al llegar a la superficie el CTD se detiene brevemente para posteriormente subirlo con seguridad a la cubierta.

Posteriormente, se generó una redundancia en los datos del CTD (3 equipos con archivos binarios y *.cnv*), donde se transforman de archivos binarios a *.cnv*, los cuales se leyeron como columna de texto, con un encabezado que contuvo todas las características del equipo (calibración) y 5 columnas de los parámetros mencionados anteriormente.



Tabla 1.1. Características técnicas del CTD utilizado durante la campaña oceanográfica MIO-HA/2018.

CTD SEABIRD SBE 9 PLUS	
Velocidad de muestreo	24 Hz
Profundidad máxima	6800 m (22,300 ft)
Canales	8 A/D para sensores auxiliares
Toma de muestras de agua en tiempo real	
Interface NMEA 0183 para entrada de datos GPS e integrarlos con datos del CTD	
Carrusel con capacidad para activación de hasta 12 botellas de PVC de 10 litros c/u.	

Cada una de estas mediciones fue procesada, teniendo en cuenta un orden cronológico y espacial, sin considerar mediciones con variaciones en profundidad negativas, con el fin de evitar repeticiones en las muestras y reducir el ruido de la señal. Asimismo, a las 4 señales (conductividad/salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia, todo en función de la profundidad) se les redujo el ruido presente, con un filtro Gaussiano de banda ancha, que dependió del rango de cada medición.

Meteorología: La estación meteorológica fue colocada del lado de estribor en la parte superior exterior del puente de mando.

1.3.- Resultados

En todas las estaciones registradas (Estación 11 cancelada), se graficaron los 5 parámetros medidos por el CTD (Fig. 1.1 a la Fig 1.34), con algunos ajustes; 1) sólo se utilizaron los datos registrados durante la bajada del instrumento, 2) por cada metro de profundidad, con ayuda del programa R, se obtuvo el promedio para cada parámetro, 3) la salinidad se obtuvo mediante la fórmula descrita en la página de internet <http://salinometry.com/pss-78/> y 4) para el OD se realizó una corrección utilizando los datos obtenidos por el método de Winkler (ver Oceanografía Química). También se realizaron los perfiles de temperatura de los transectos norte y sur (Fig. 1.35 a Fig 1.38).

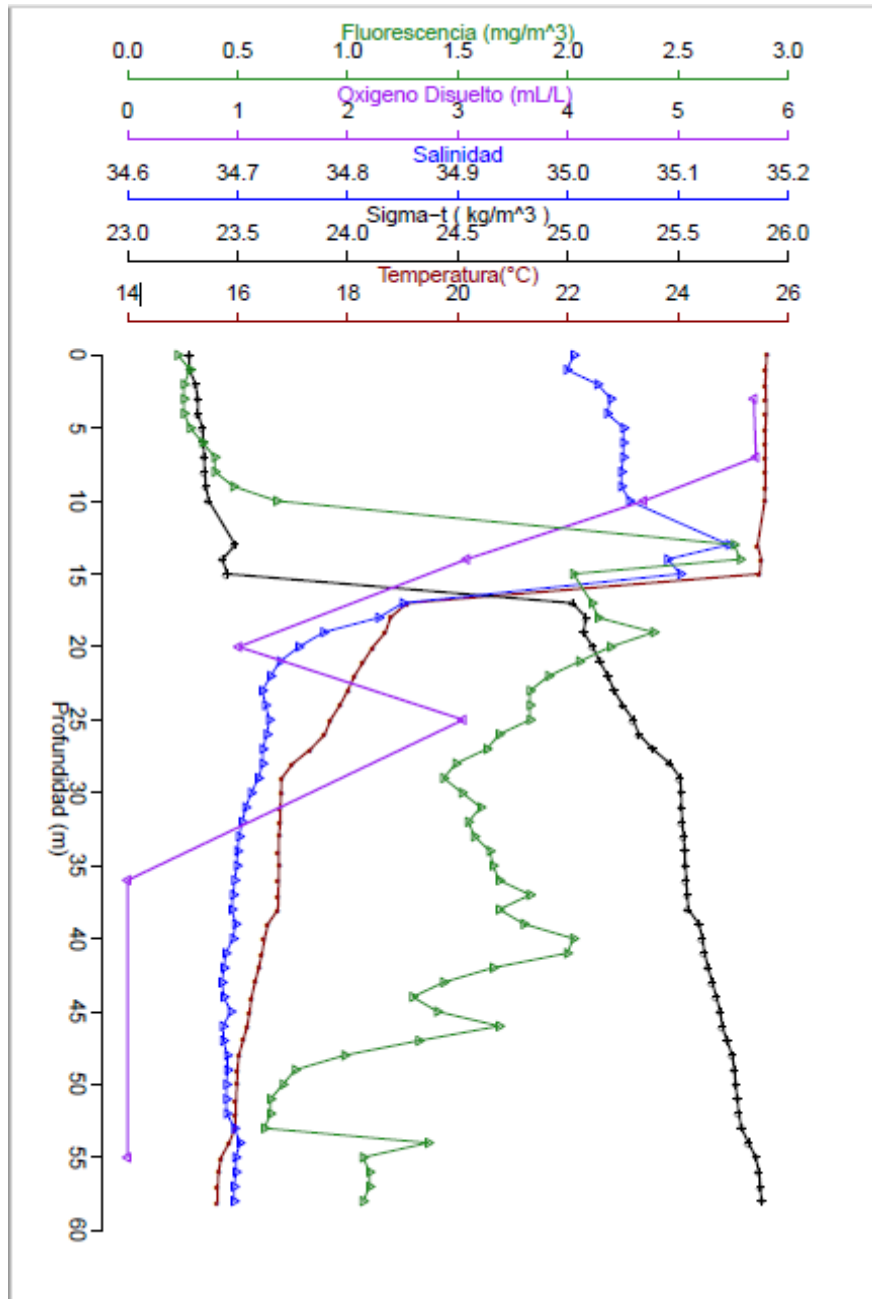


Figura 1.1. Datos del CTD de la Estación 1.

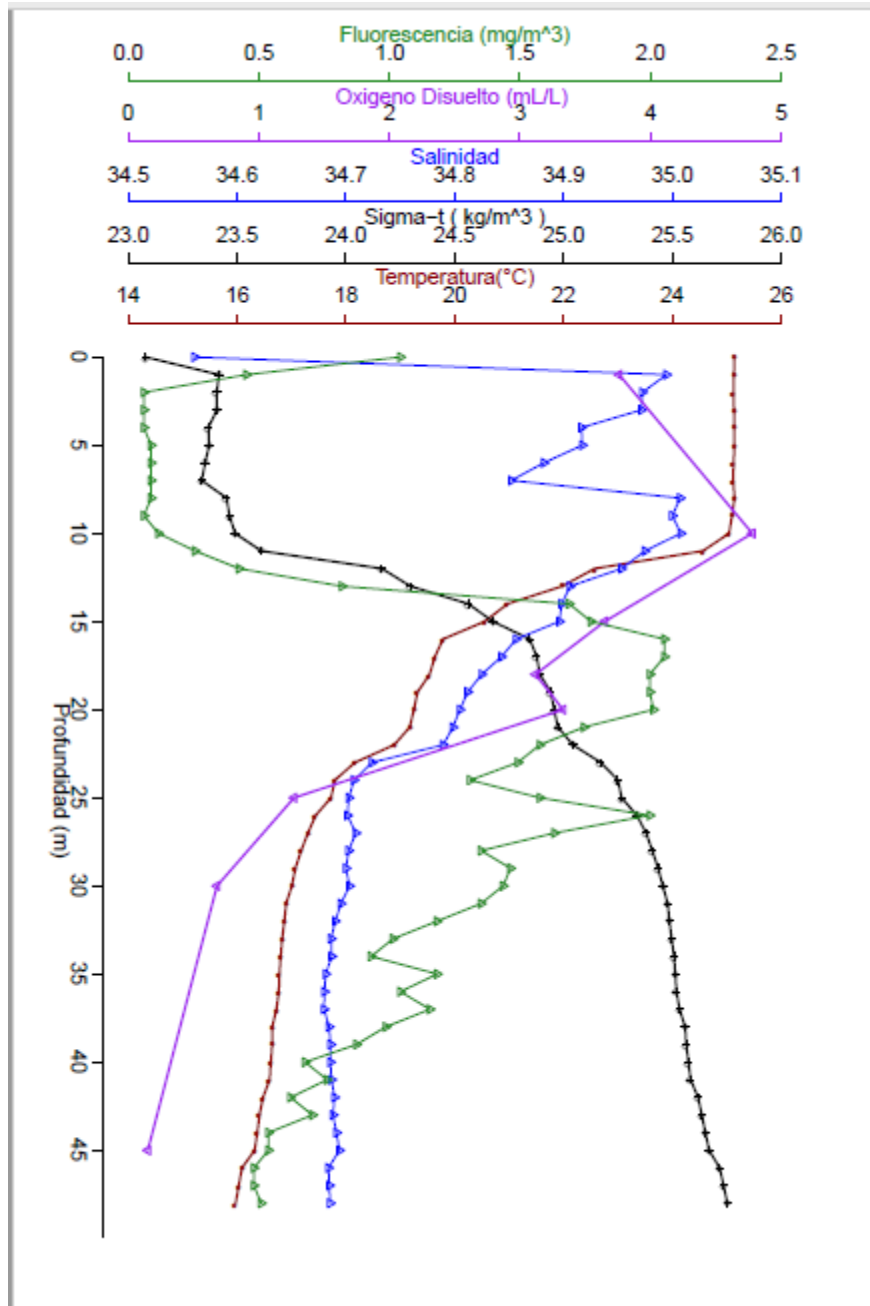


Figura 1.2. Datos del CTD de la Estación 2.

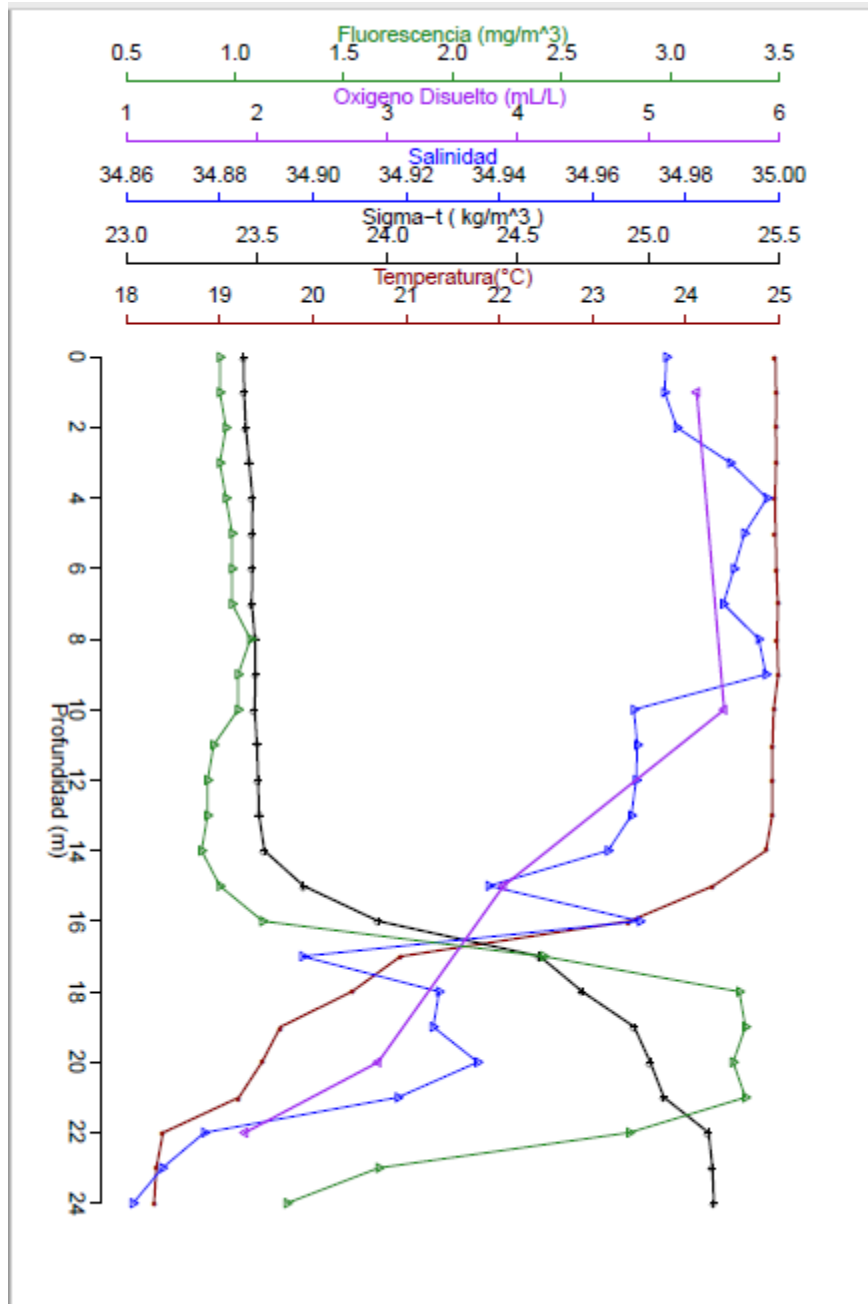


Figura 1.3. Datos del CTD de la Estación 3.

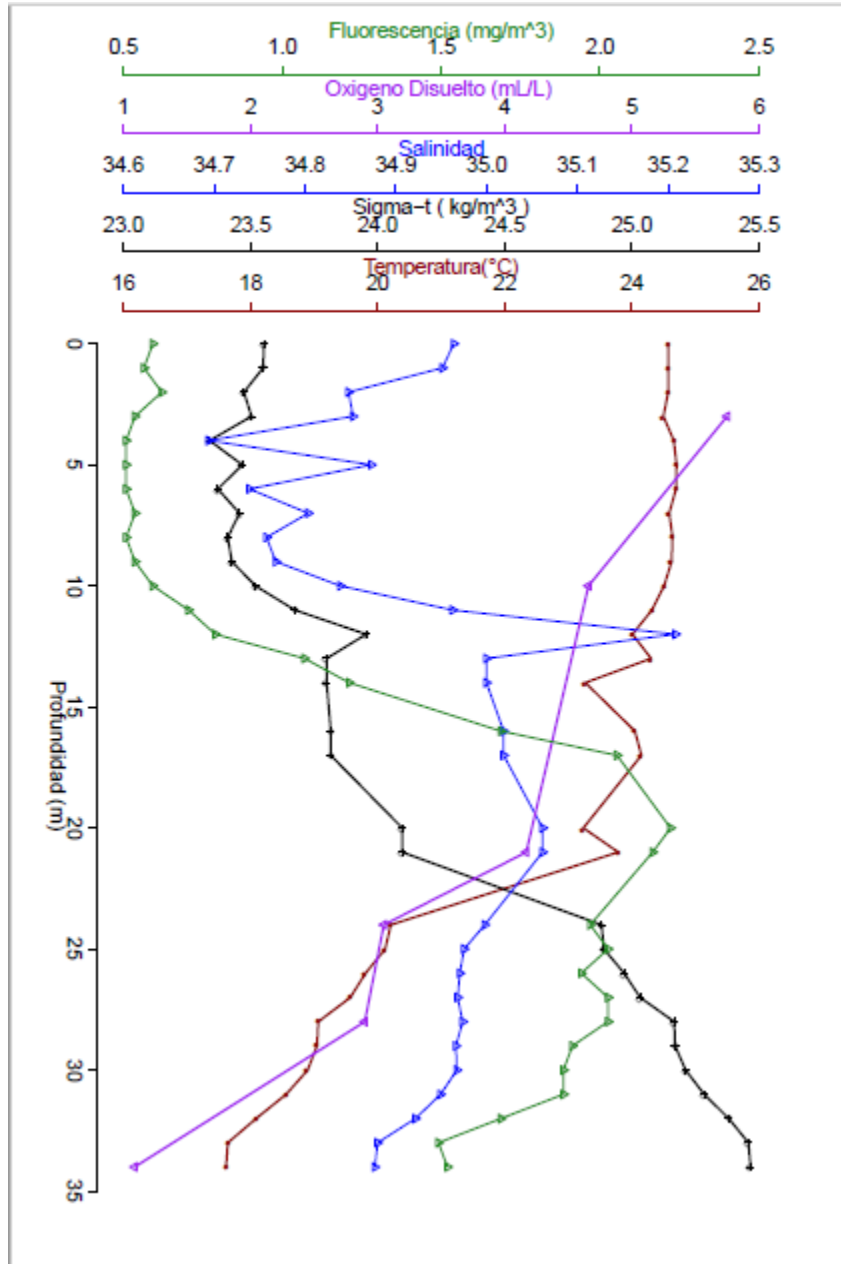


Figura 1.4. Datos del CTD de la Estación 4.

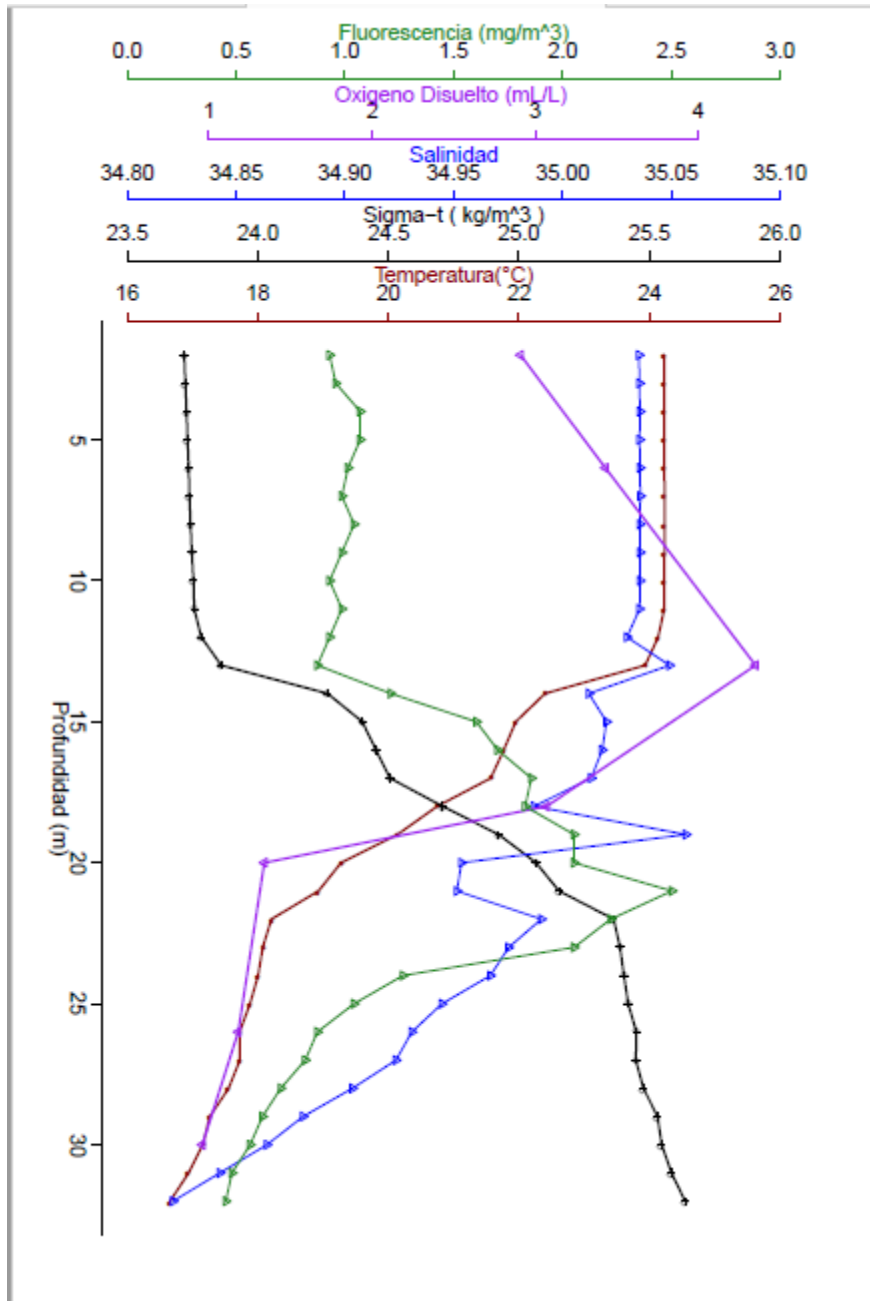


Figura 1.5. Datos del CTD de la Estación 5.

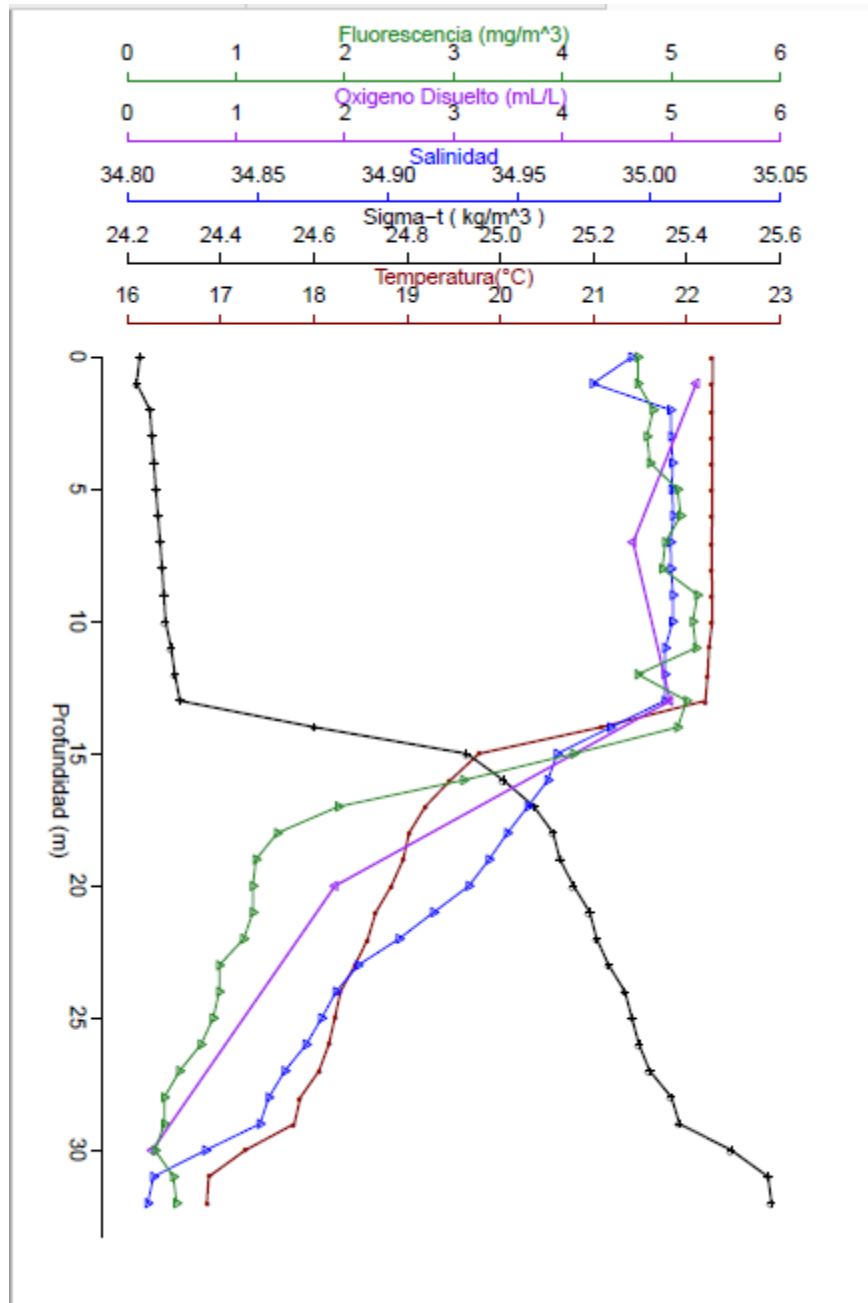


Figura 1.6. Datos del CTD de la Estación 6.

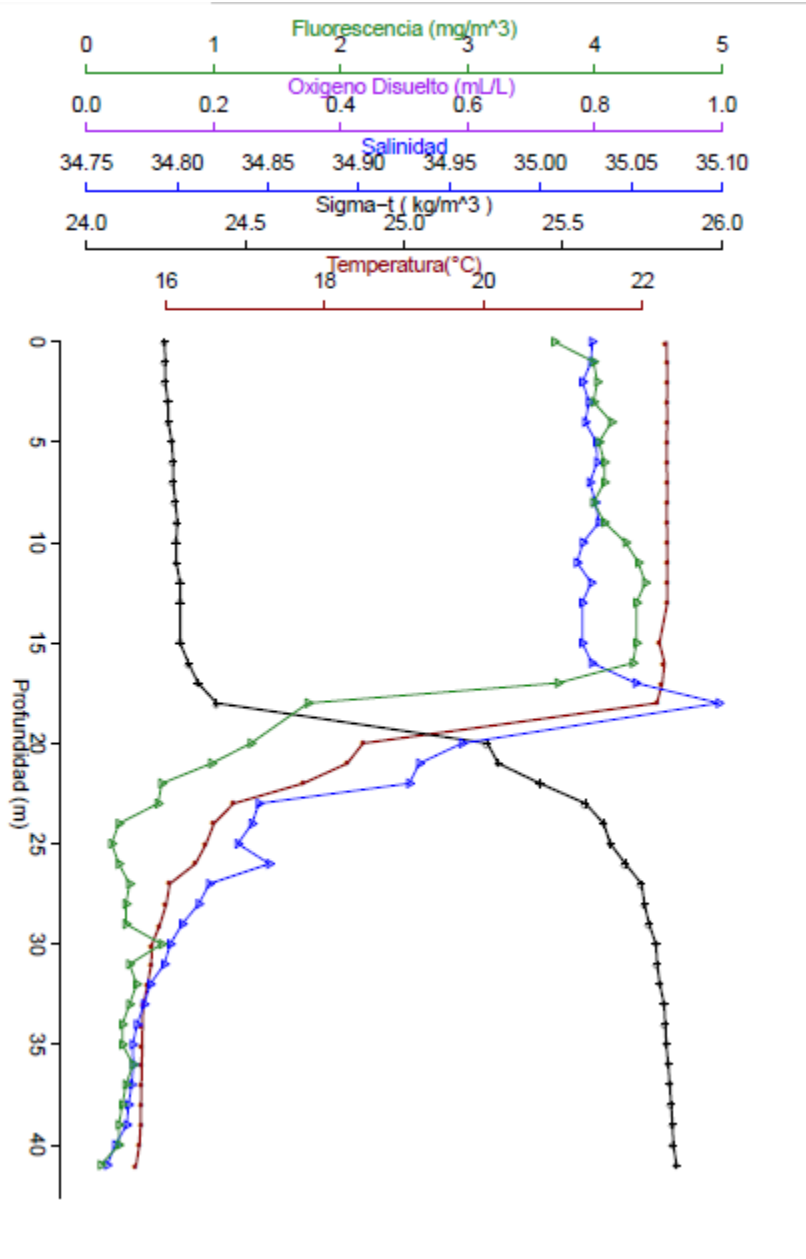


Figura 1.7. Datos del CTD de la Estación 7.

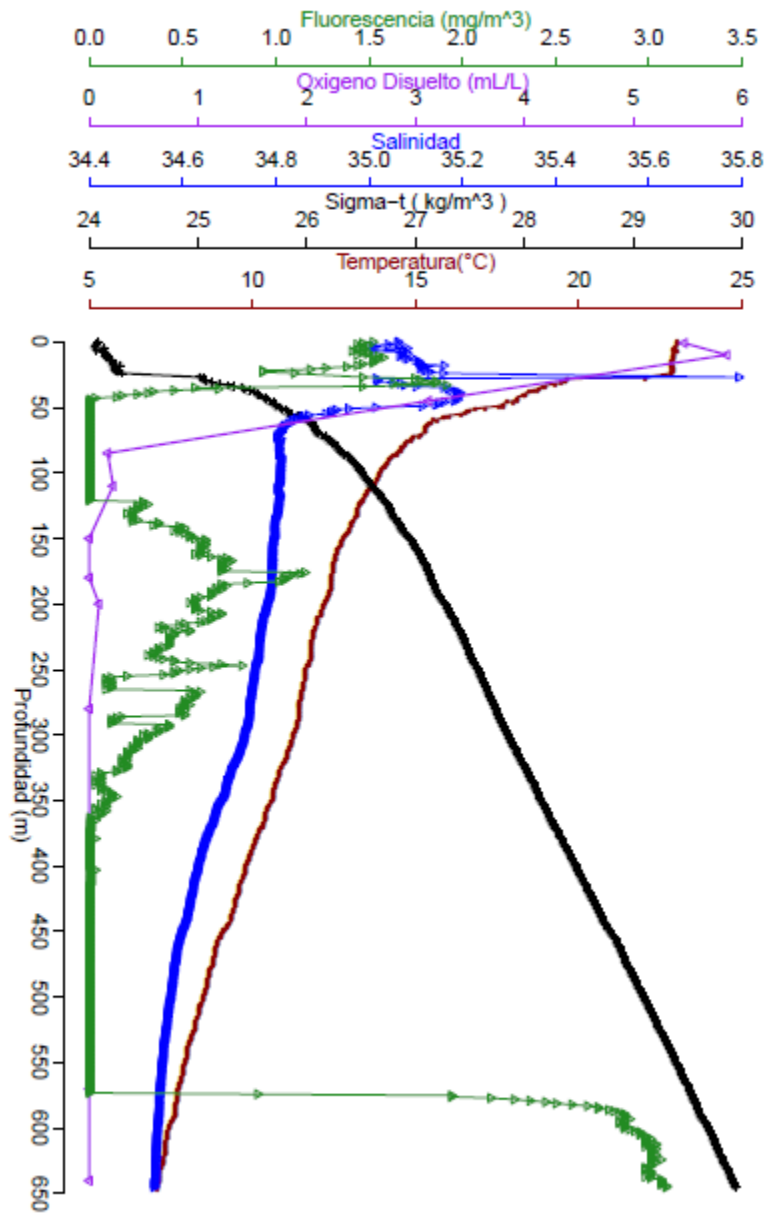


Figura 1.8. Datos del CTD de la Estación 8.

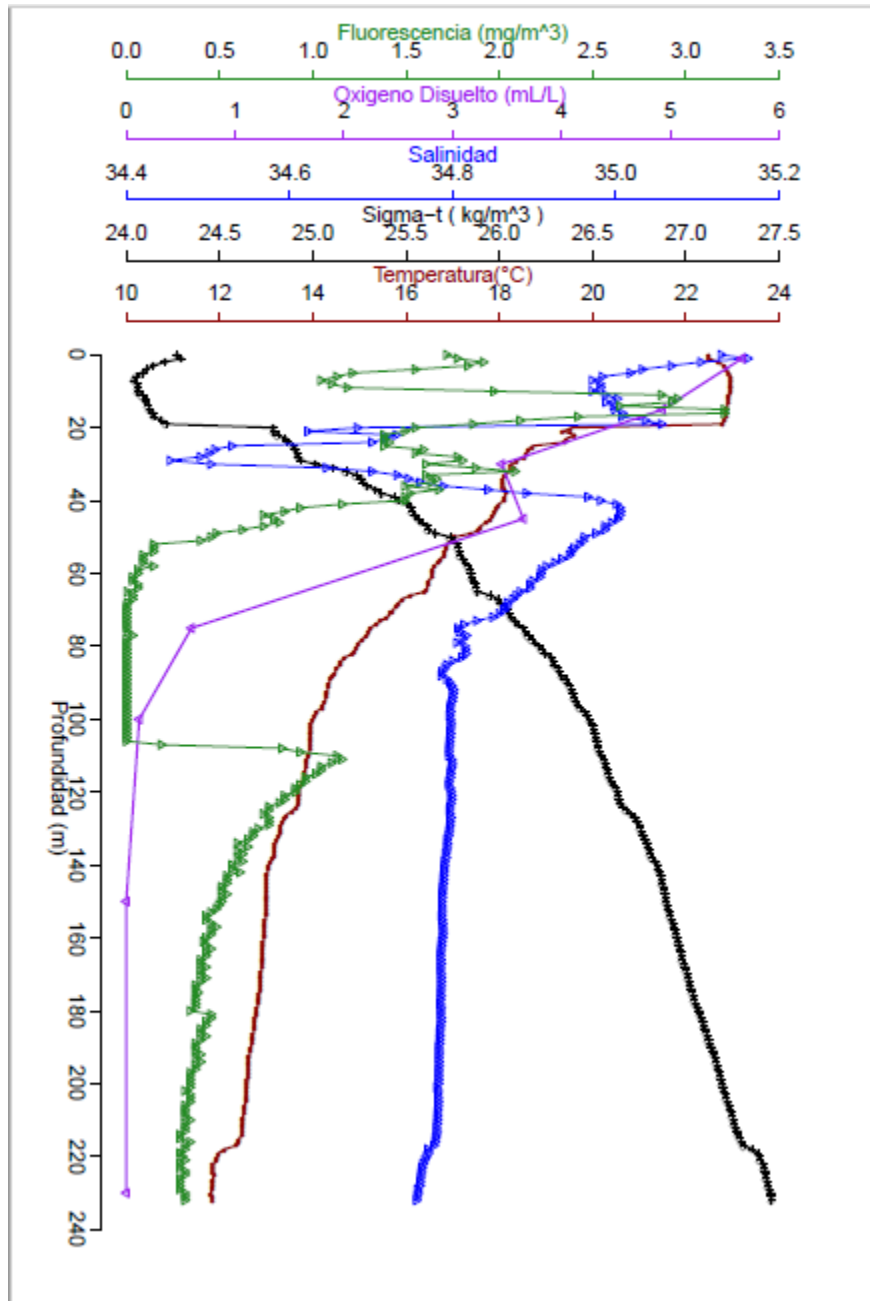


Figura 1.9. Datos del CTD de la Estación 9.

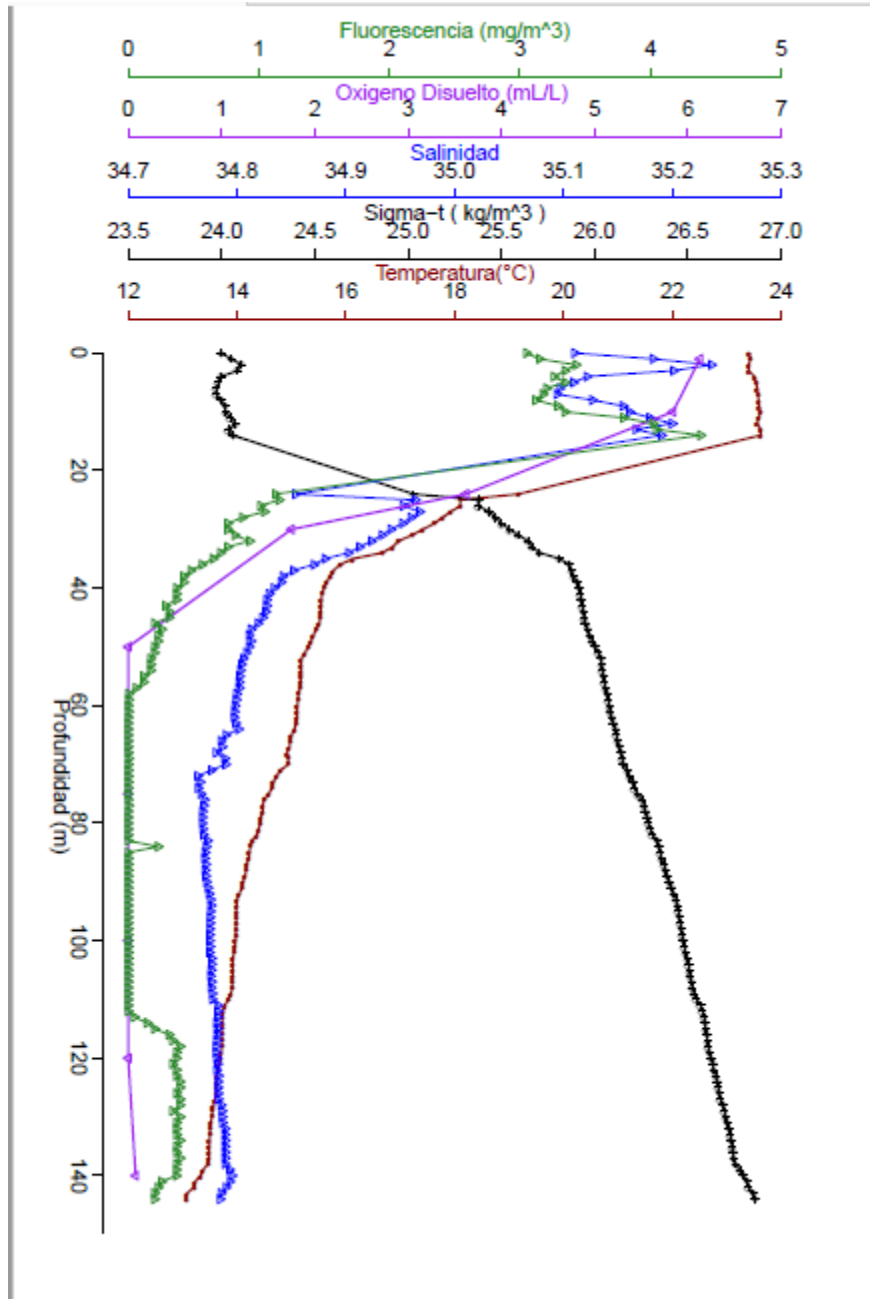


Figura 1.10. Datos del CTD de la Estación 10.

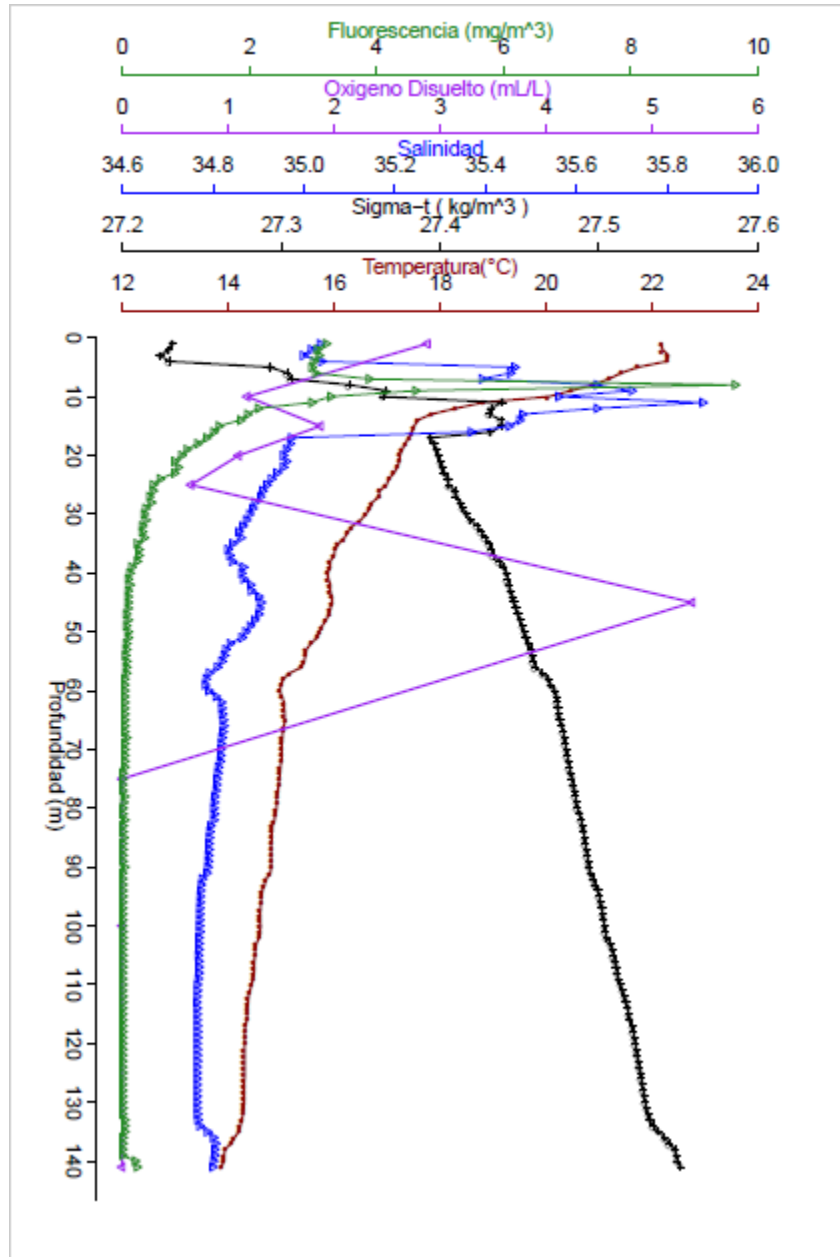


Figura 1.11. Datos del CTD de la Estación 12.

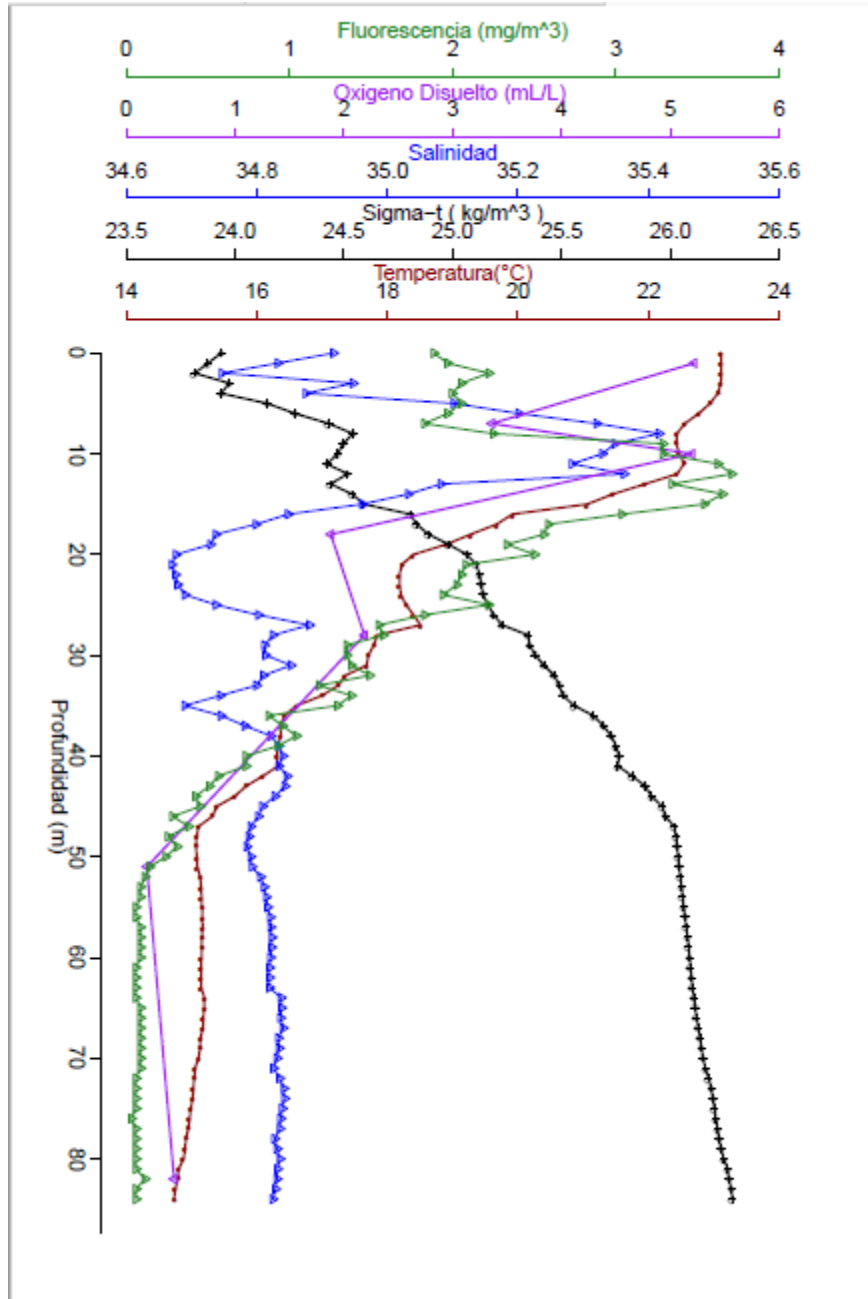


Figura 1.12. Datos del CTD de la Estación 13.

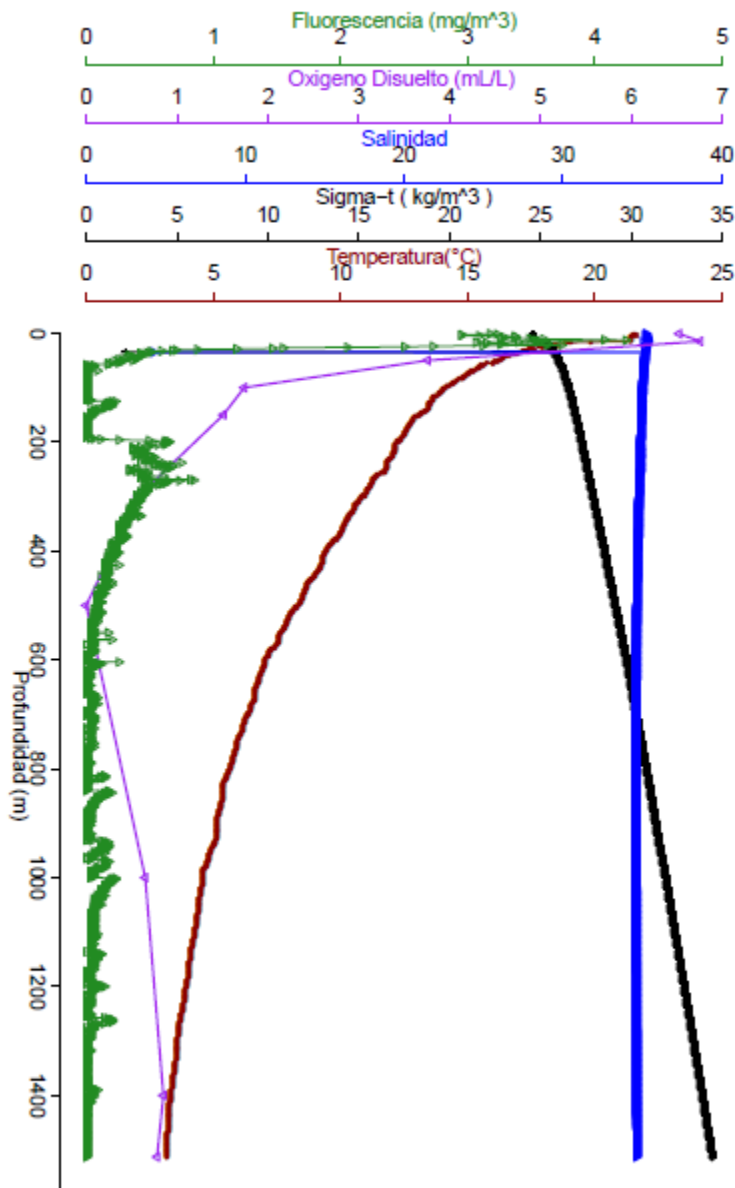


Figura 1.13. Datos del CTD de la Estación 14.

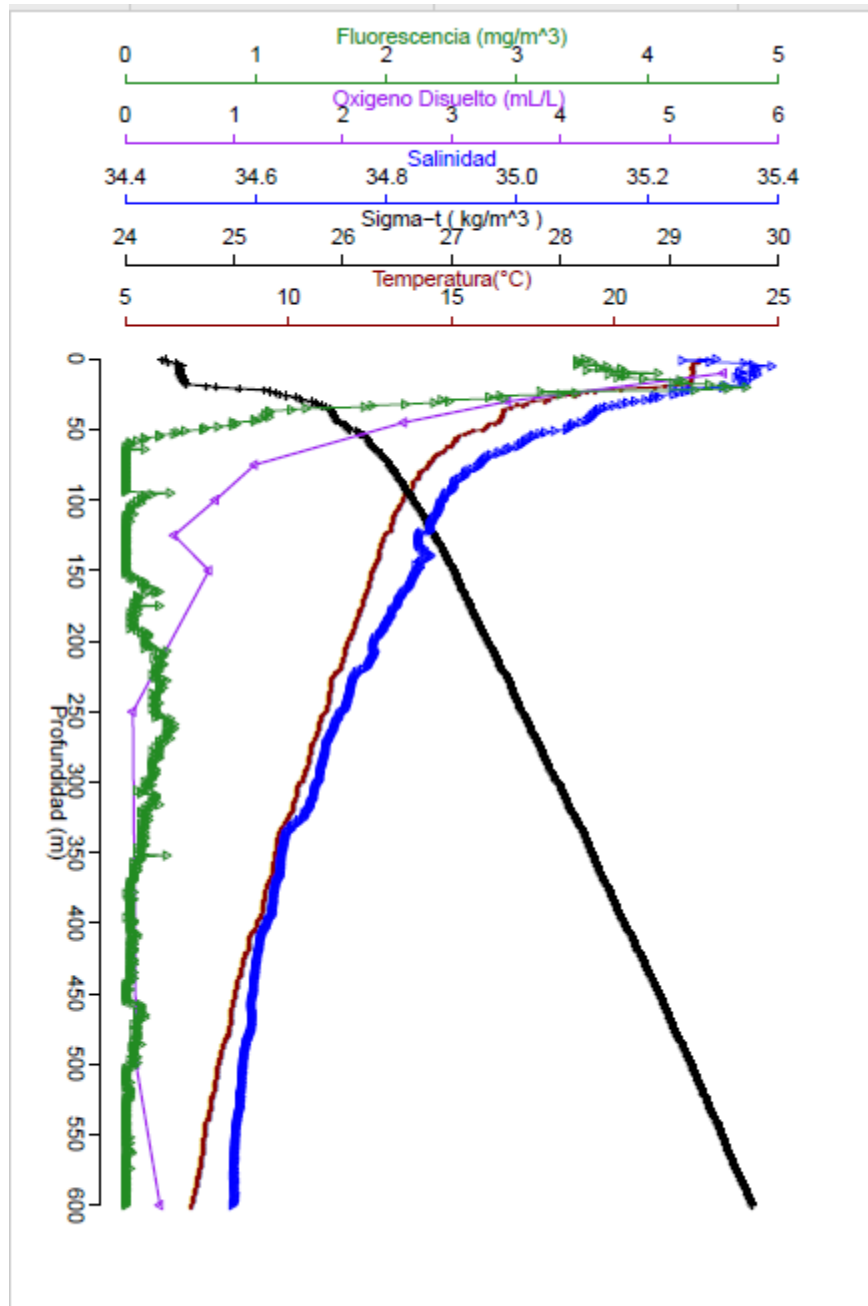


Figura 1.14. Datos del CTD de la Estación 15.

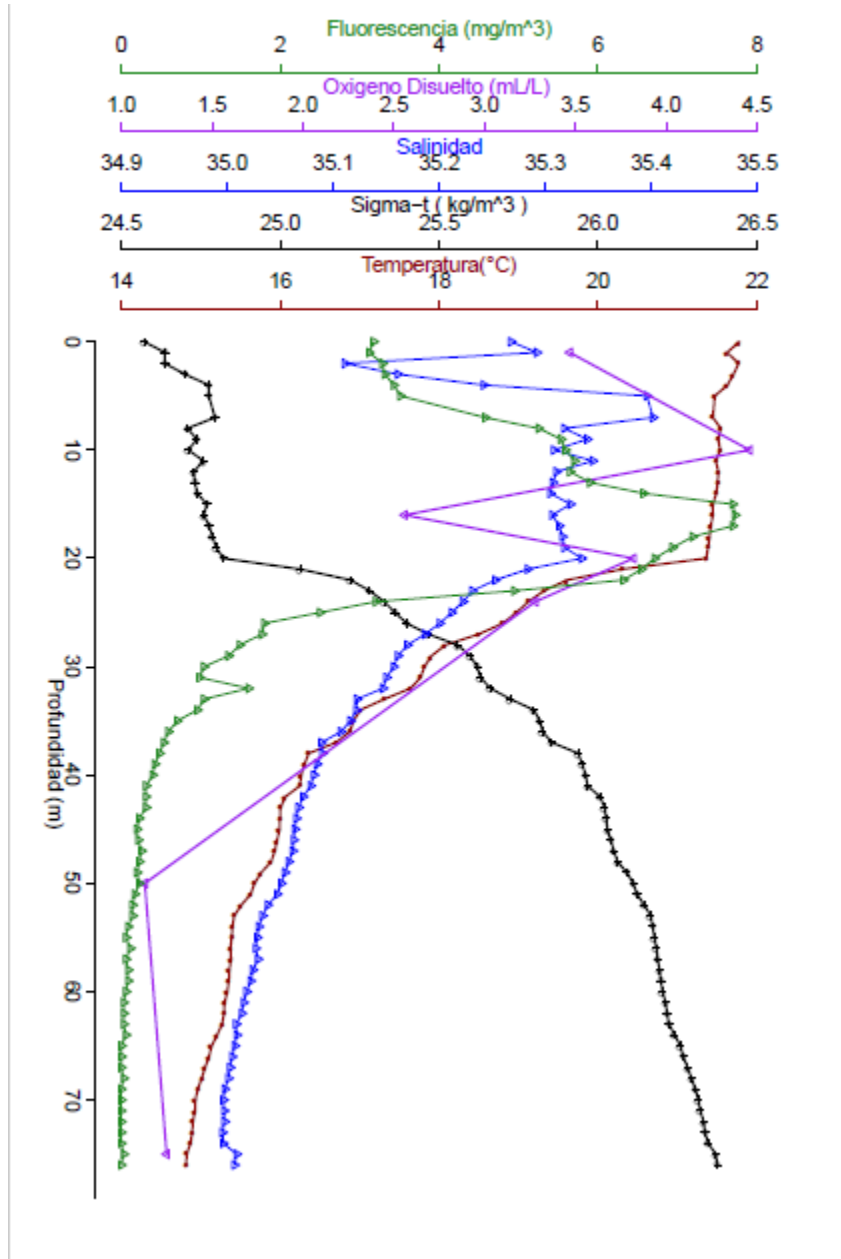


Figura 1.15. Datos del CTD de la Estación 16.

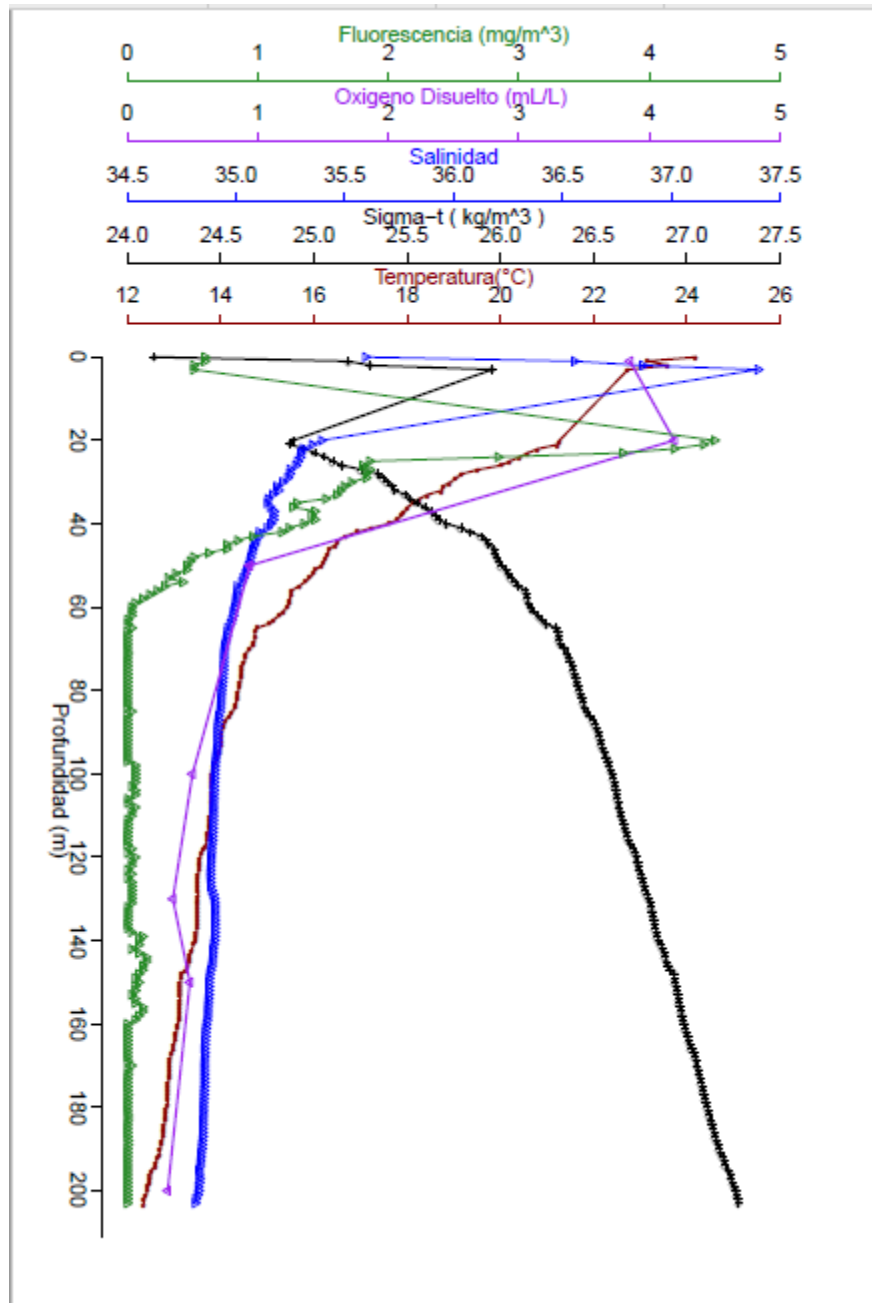


Figura 1.16. Datos del CTD de la Estación 17.

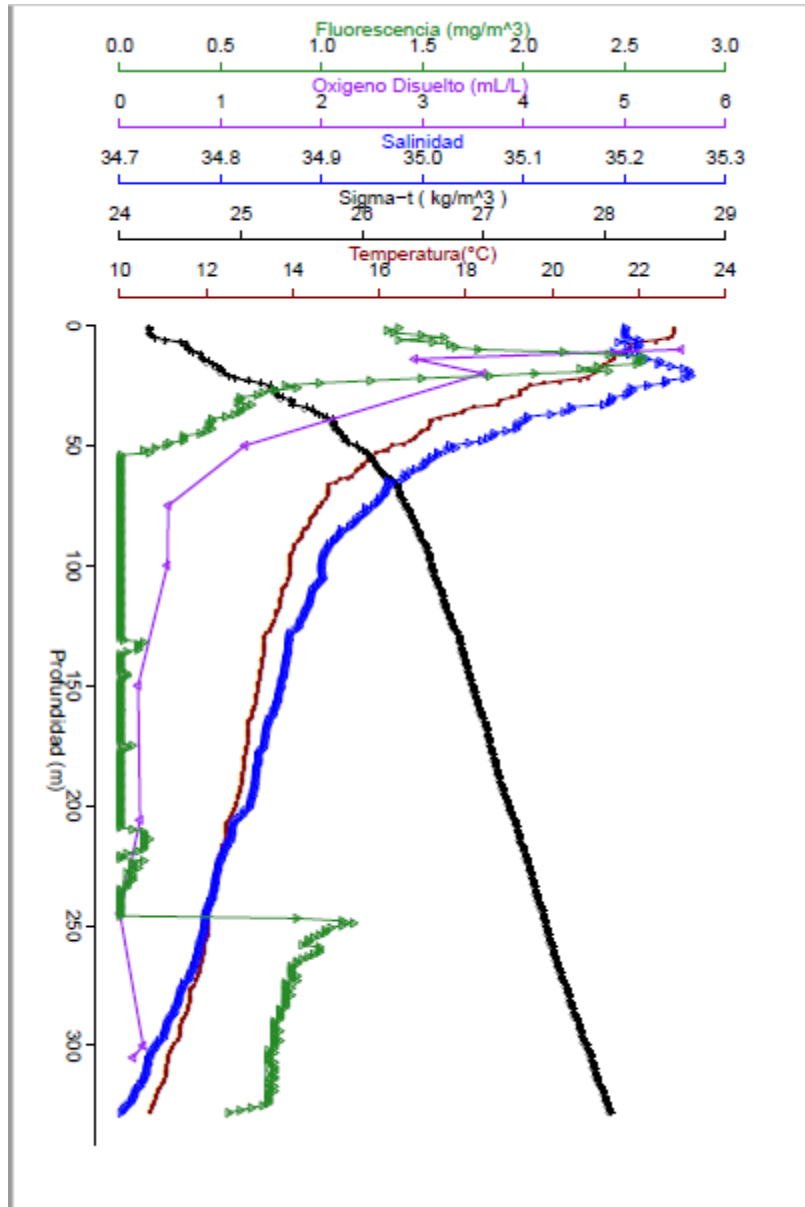


Figura 1.17. Datos del CTD de la Estación 18.

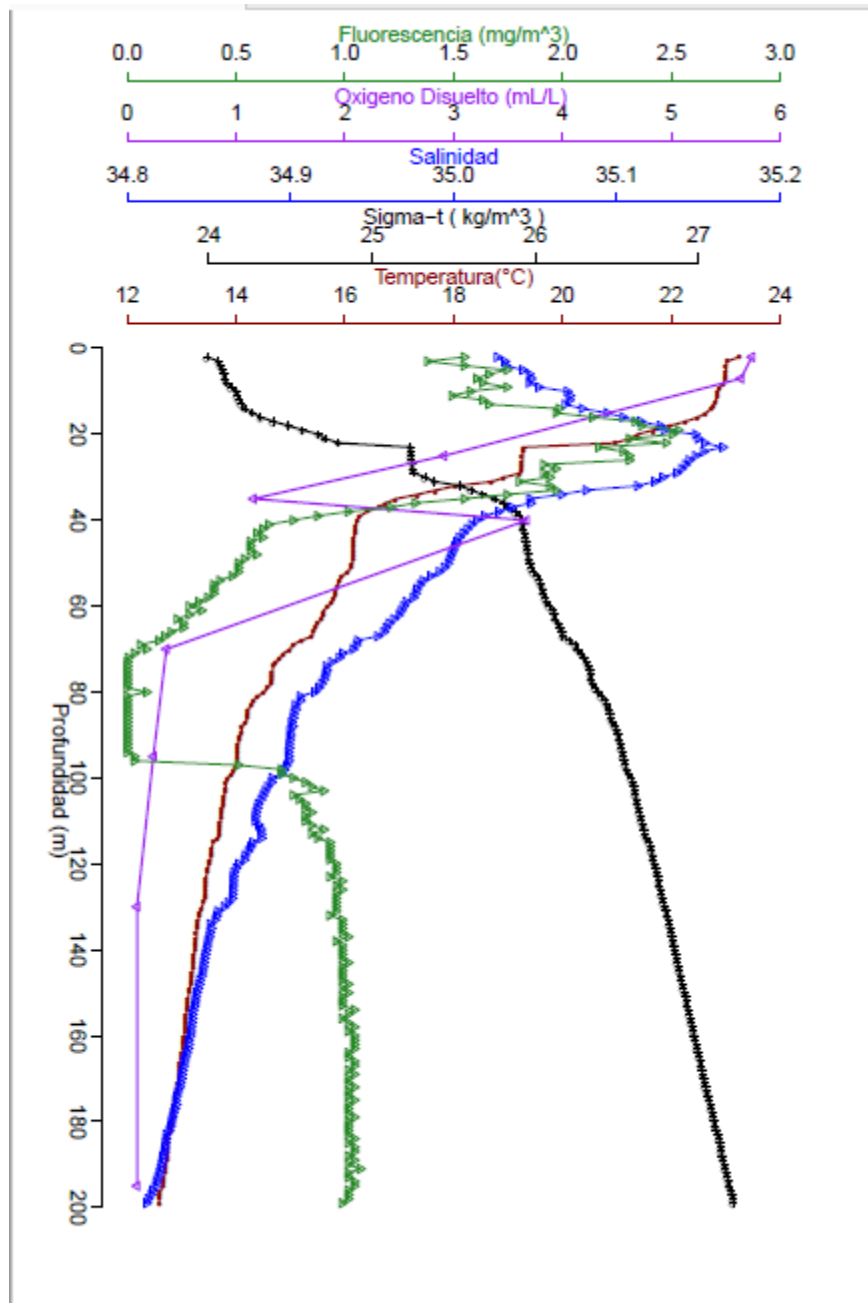


Figura 1.18. Datos del CTD de la Estación 19.

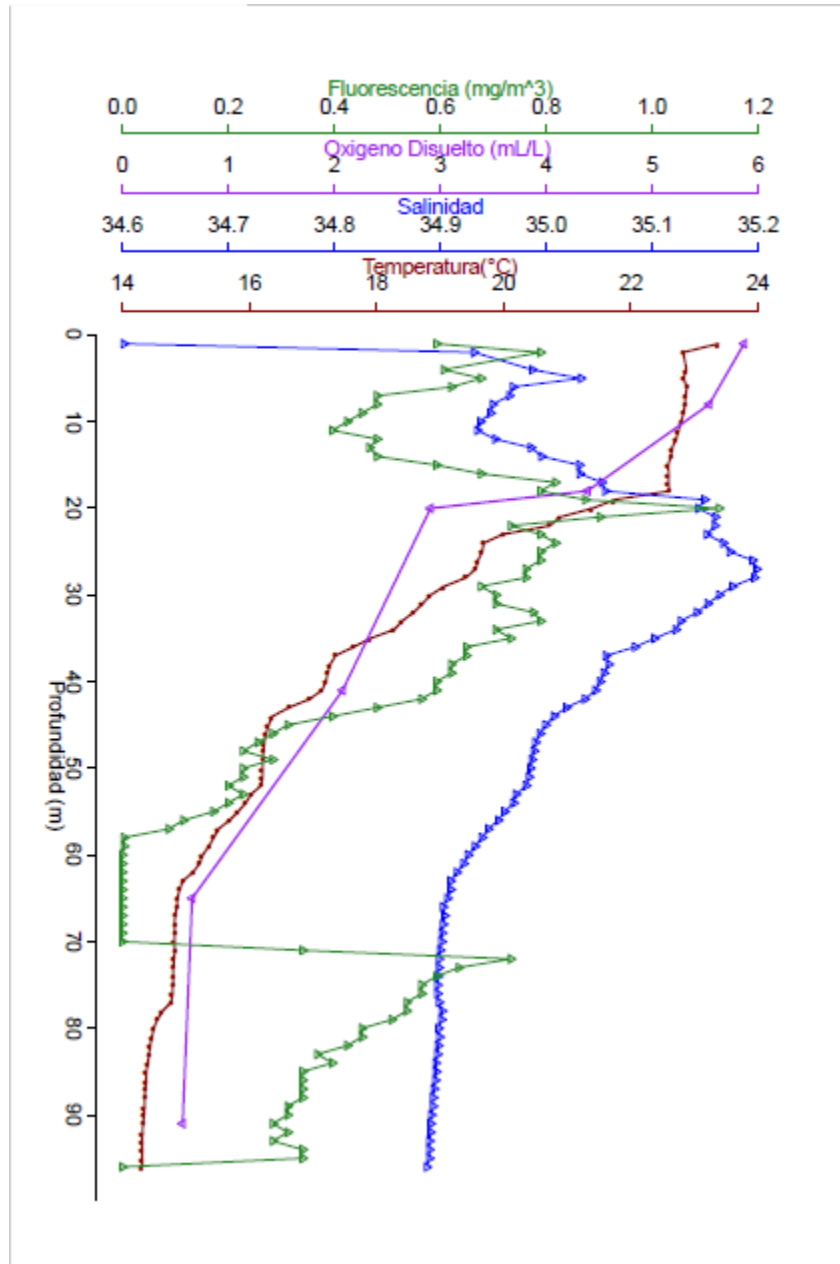


Figura 1.19. Datos del CTD de la Estación 20.

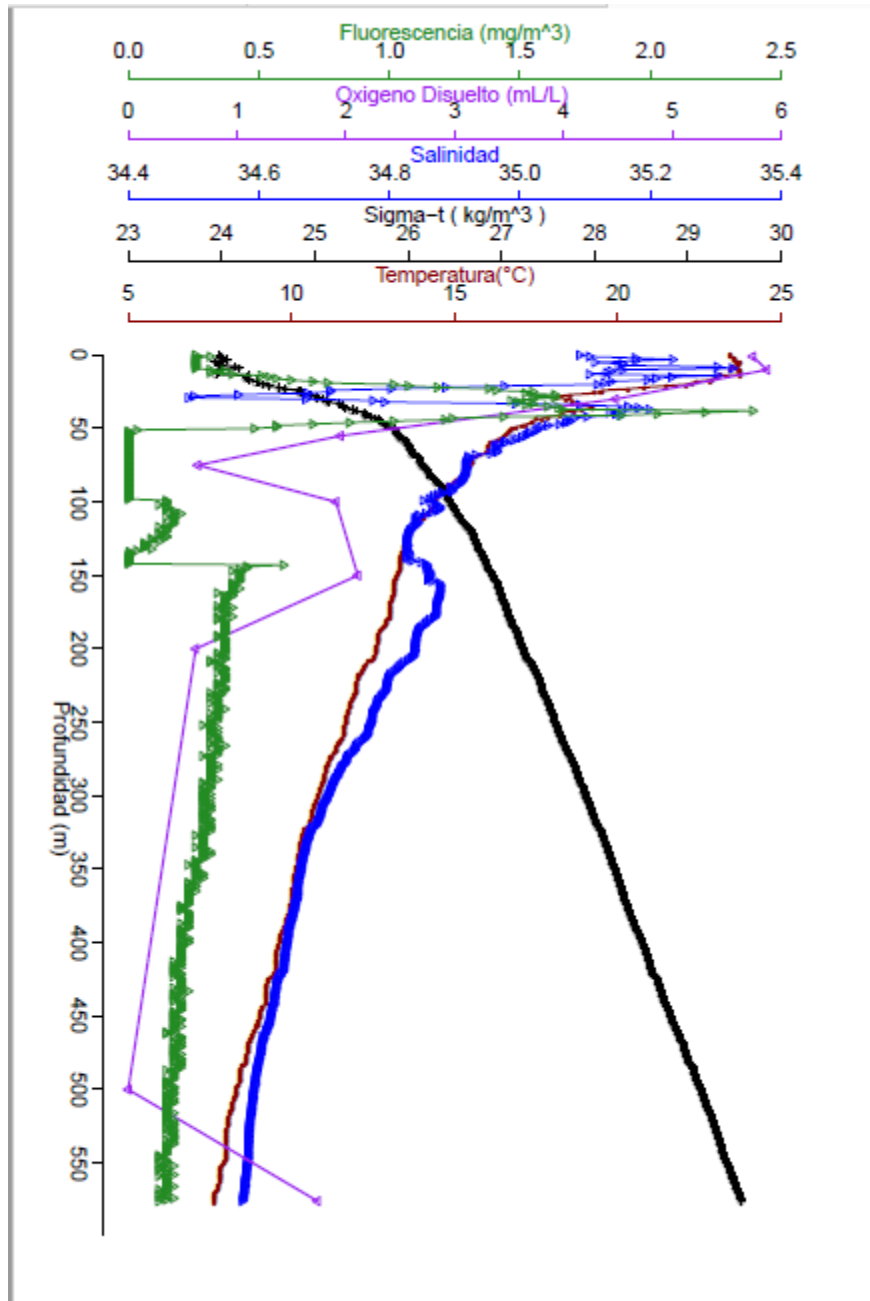


Figura 1.20. Datos del CTD de la Estación 21.

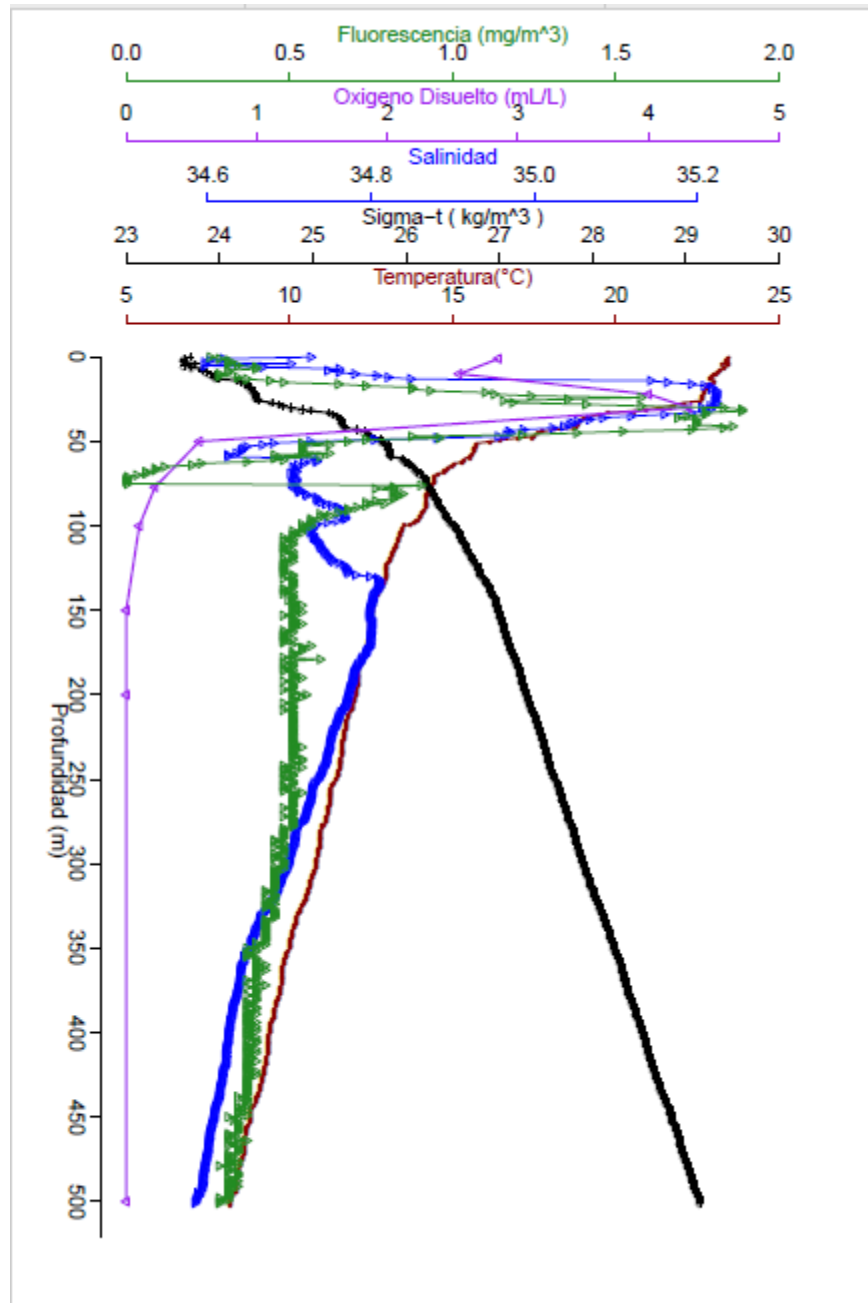


Figura 1.21. Datos del CTD de la Estación 22.

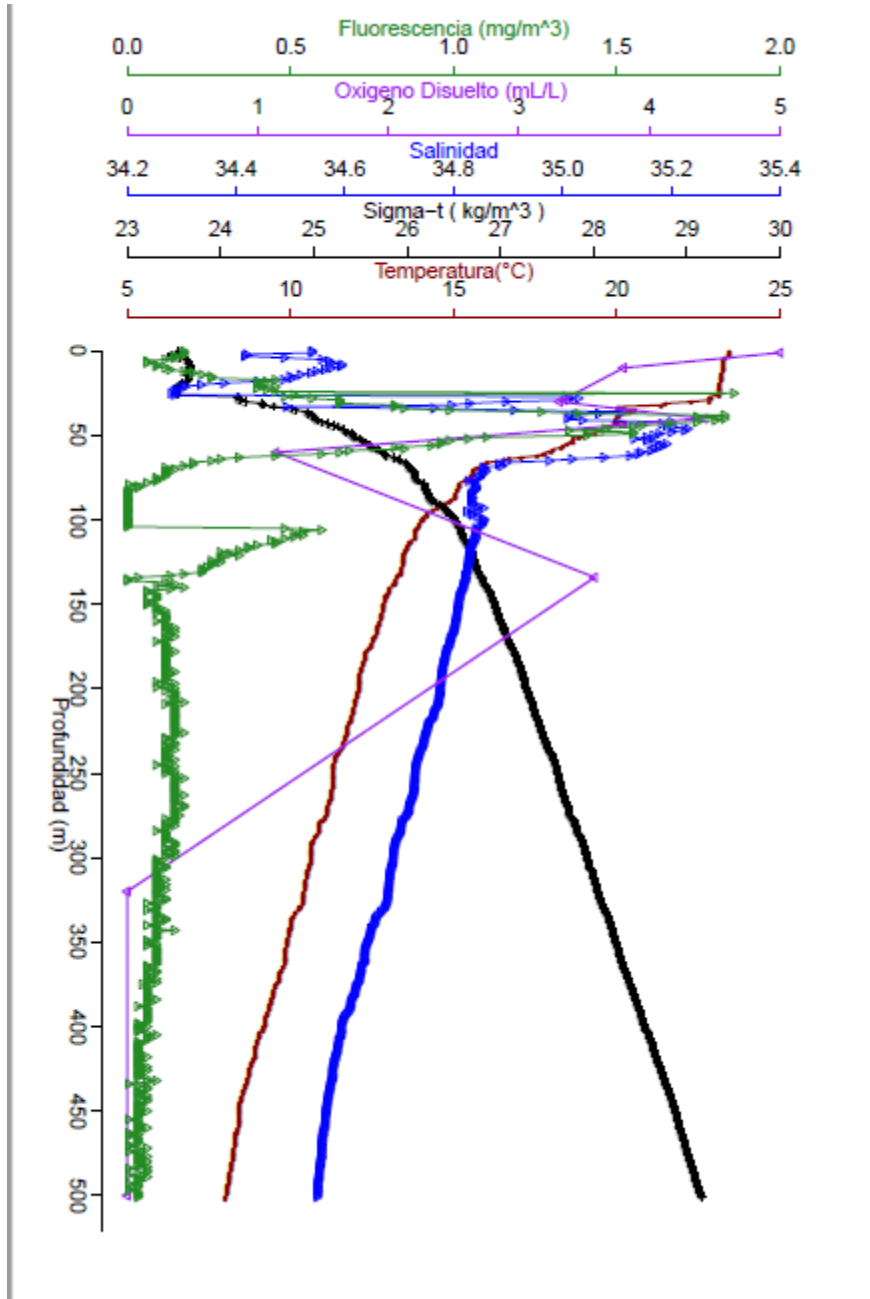


Figura 1.22. Datos del CTD de la Estación 23.

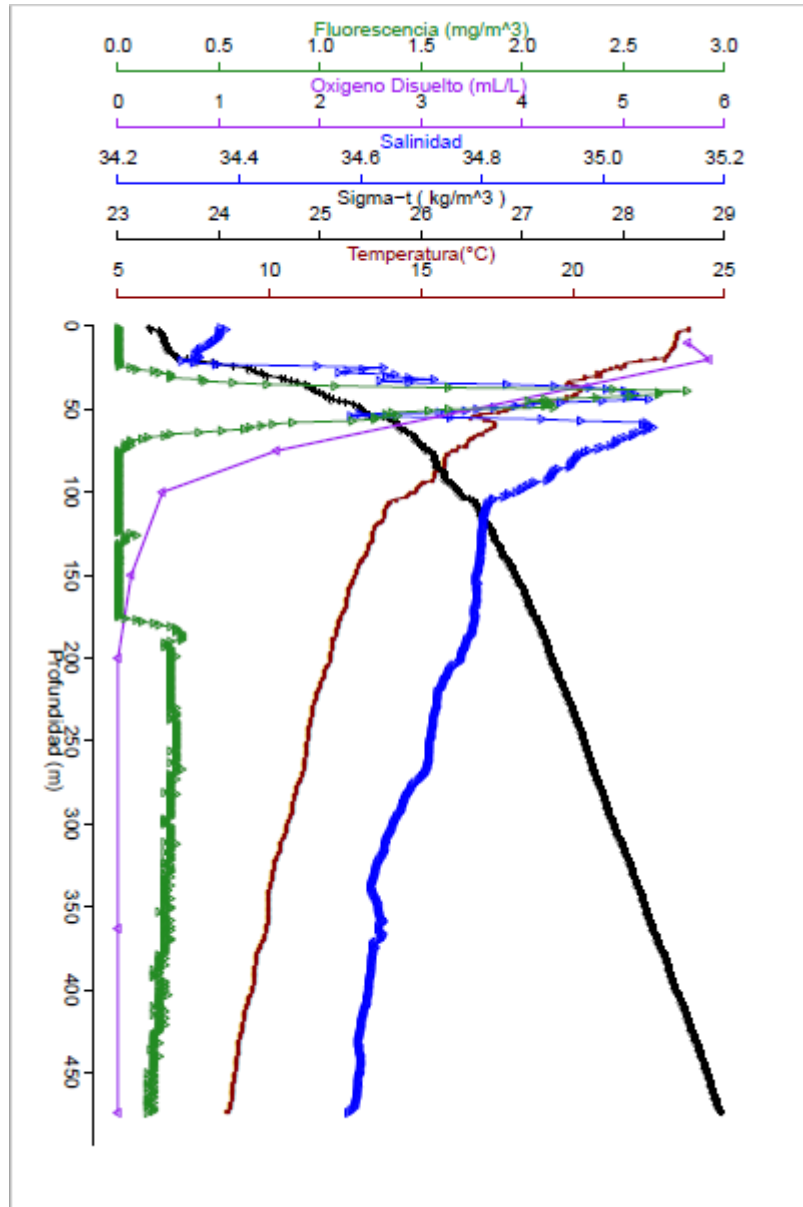


Figura 1.23. Datos del CTD de la Estación 24.

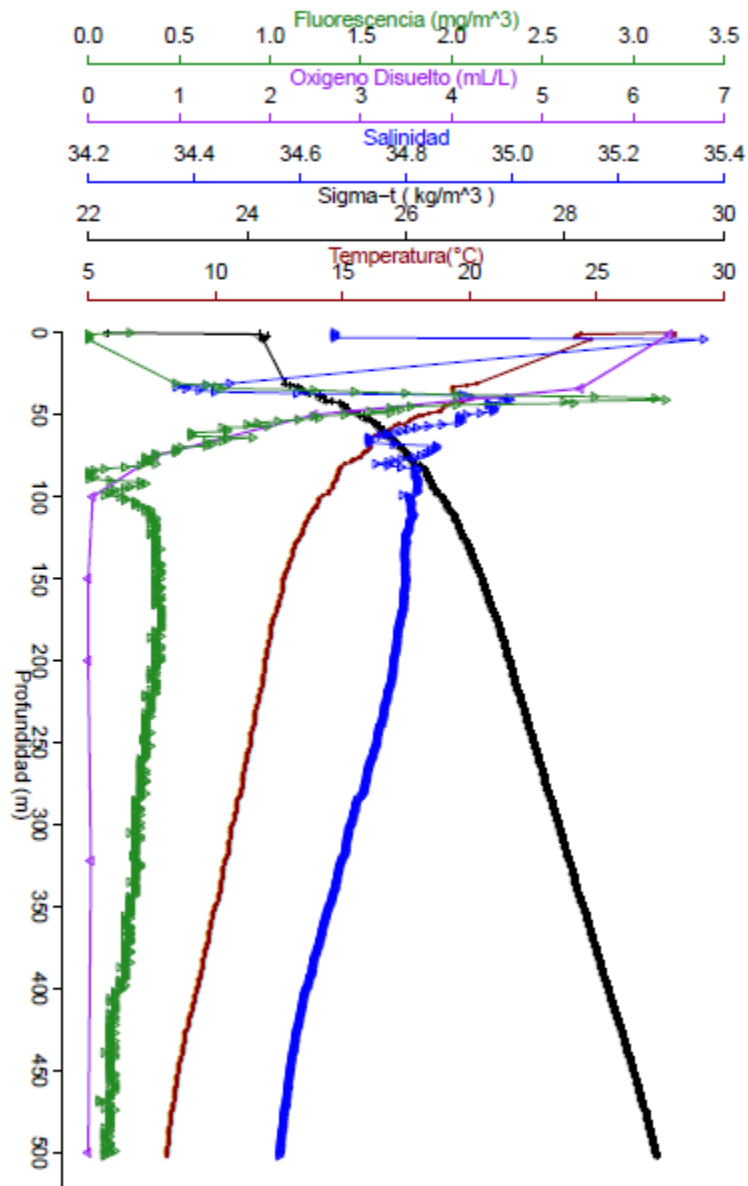


Figura 1.24. Datos del CTD de la Estación 25.

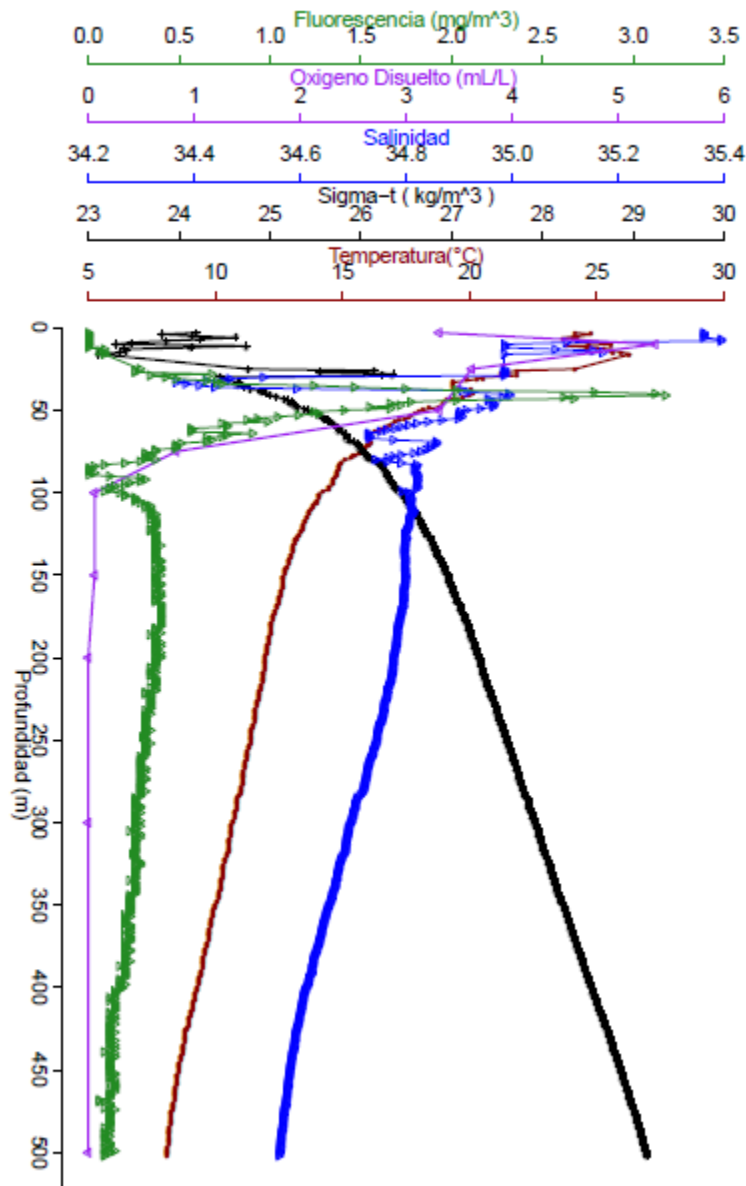


Figura 1.25. Datos del CTD de la Estación 26.

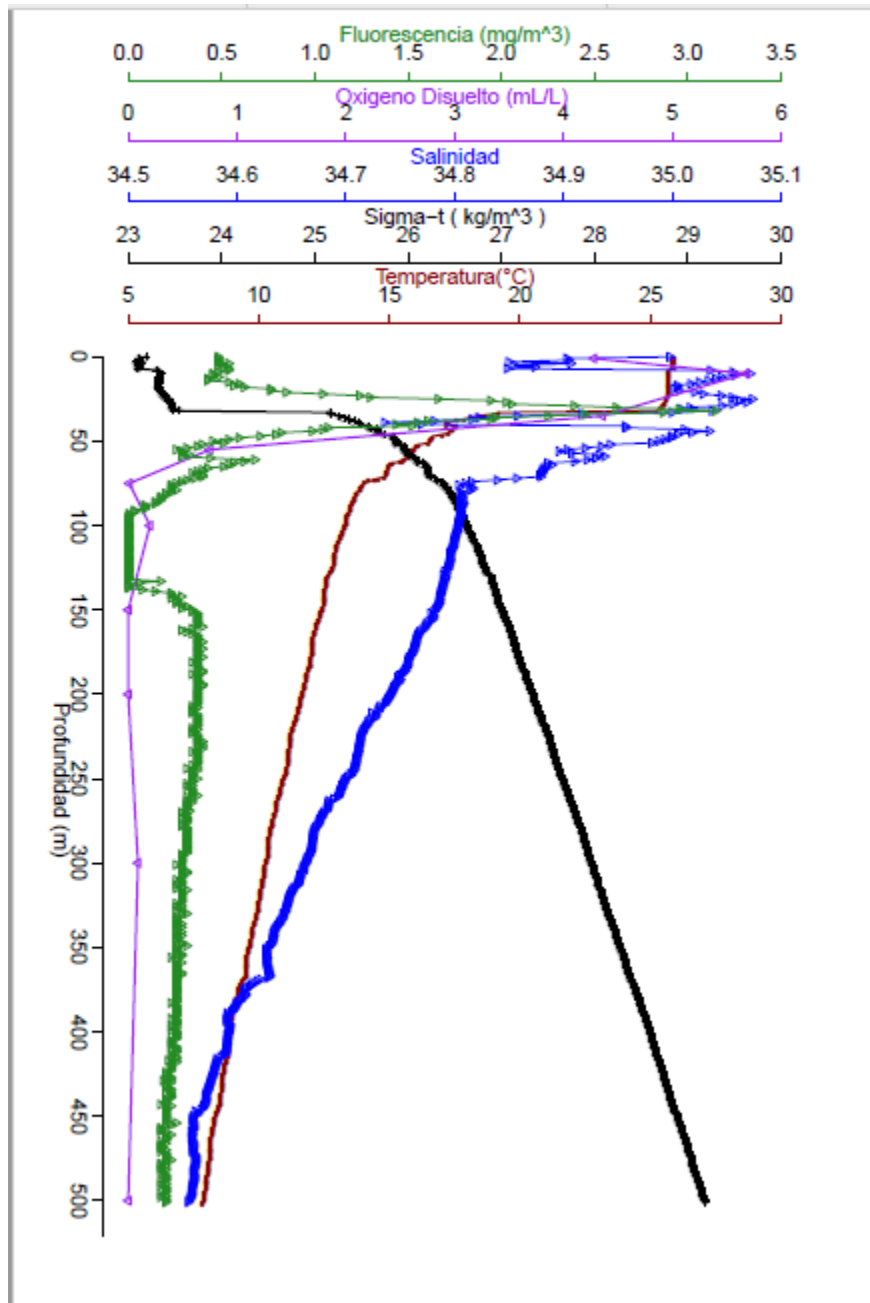


Figura 1.26. Datos del CTD de la Estación 27.

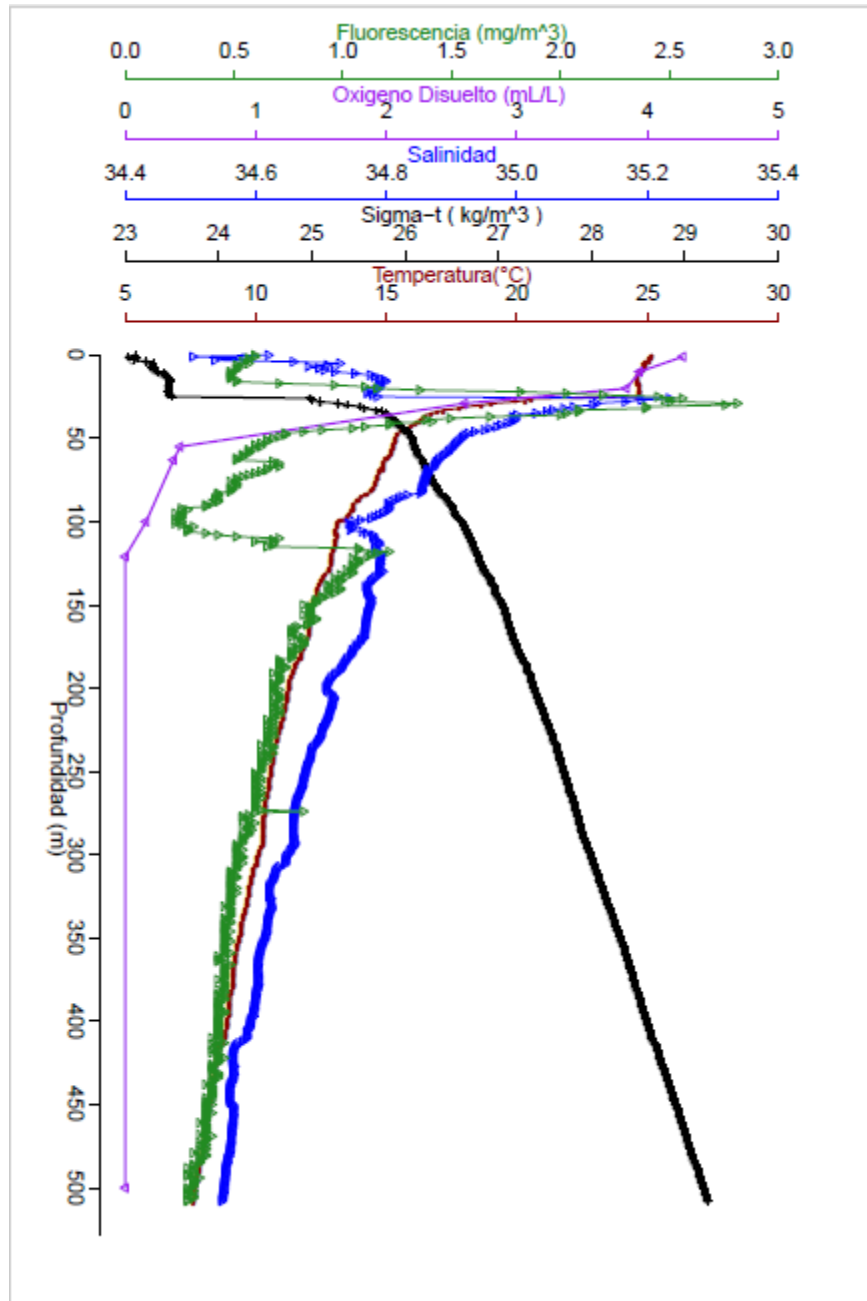


Figura 1.27. Datos del CTD de la Estación 28.

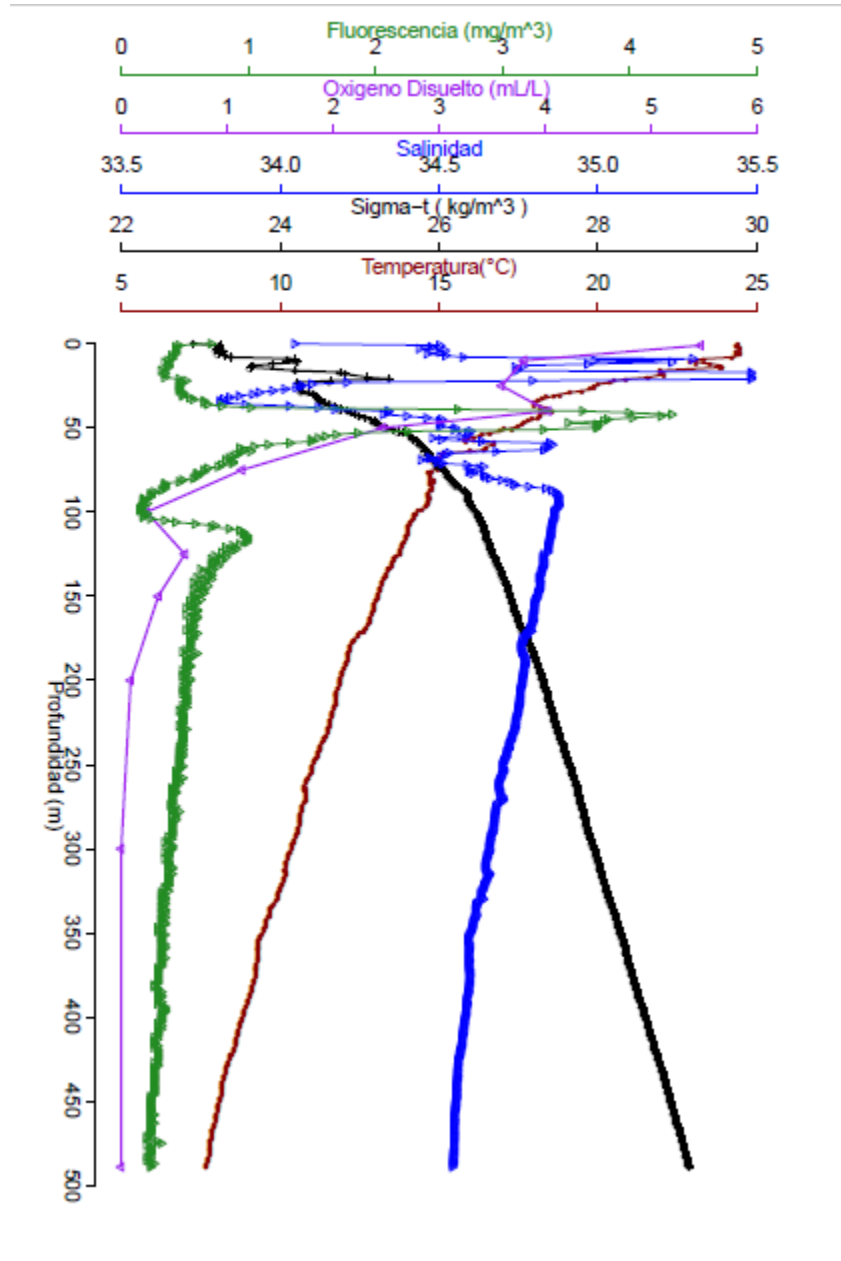


Figura 1.28. Datos del CTD de la Estación 29.

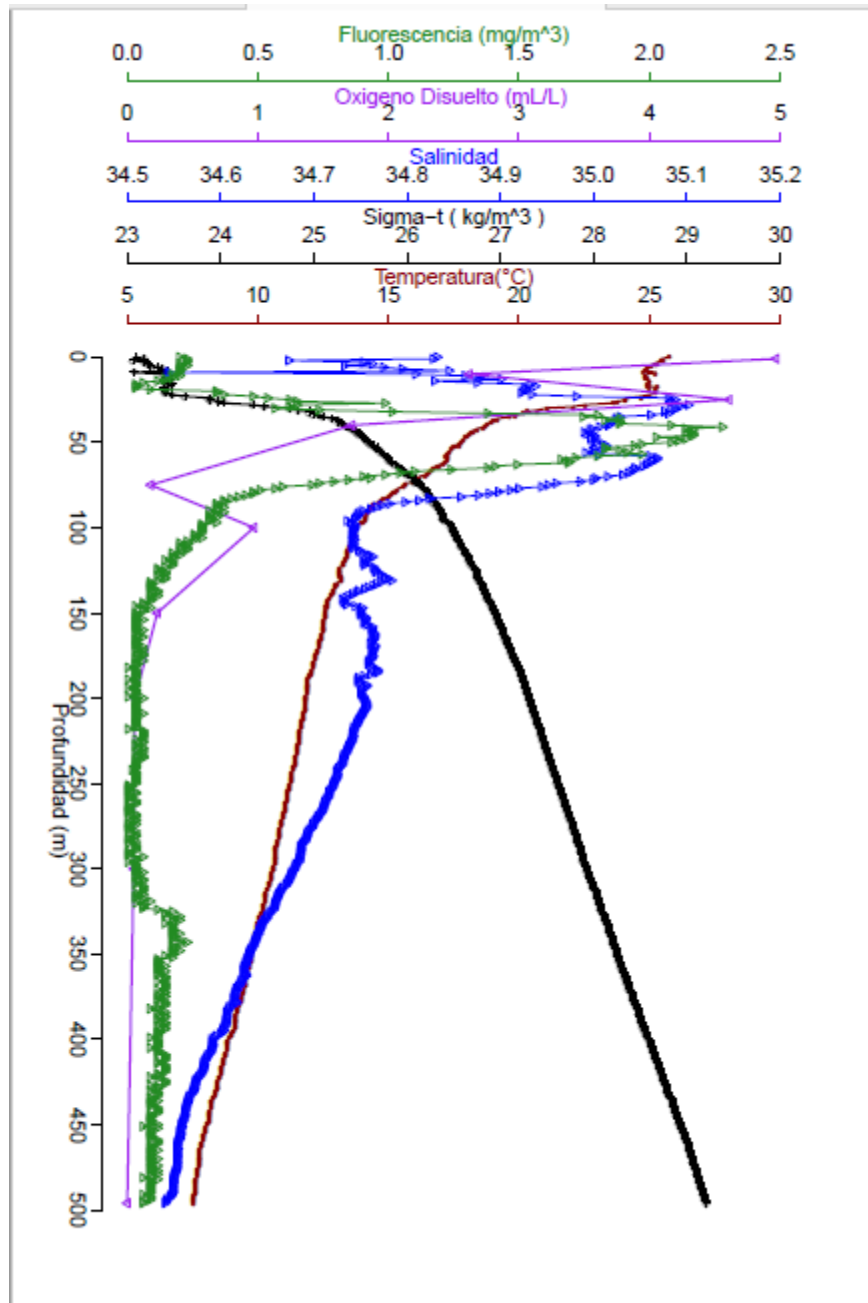


Figura 1.29. Datos del CTD de la Estación 30.

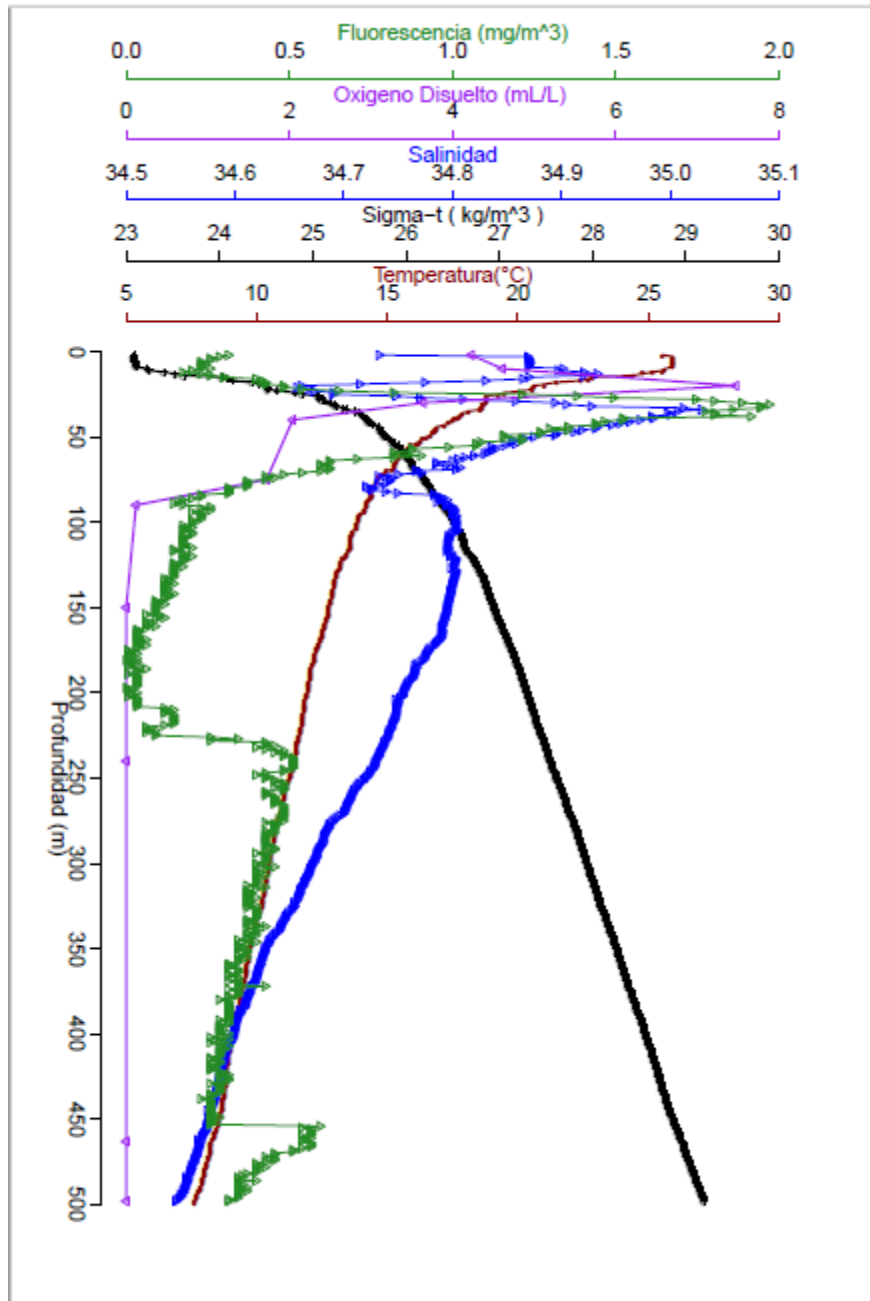


Figura 1.30. Datos del CTD de la Estación 31.

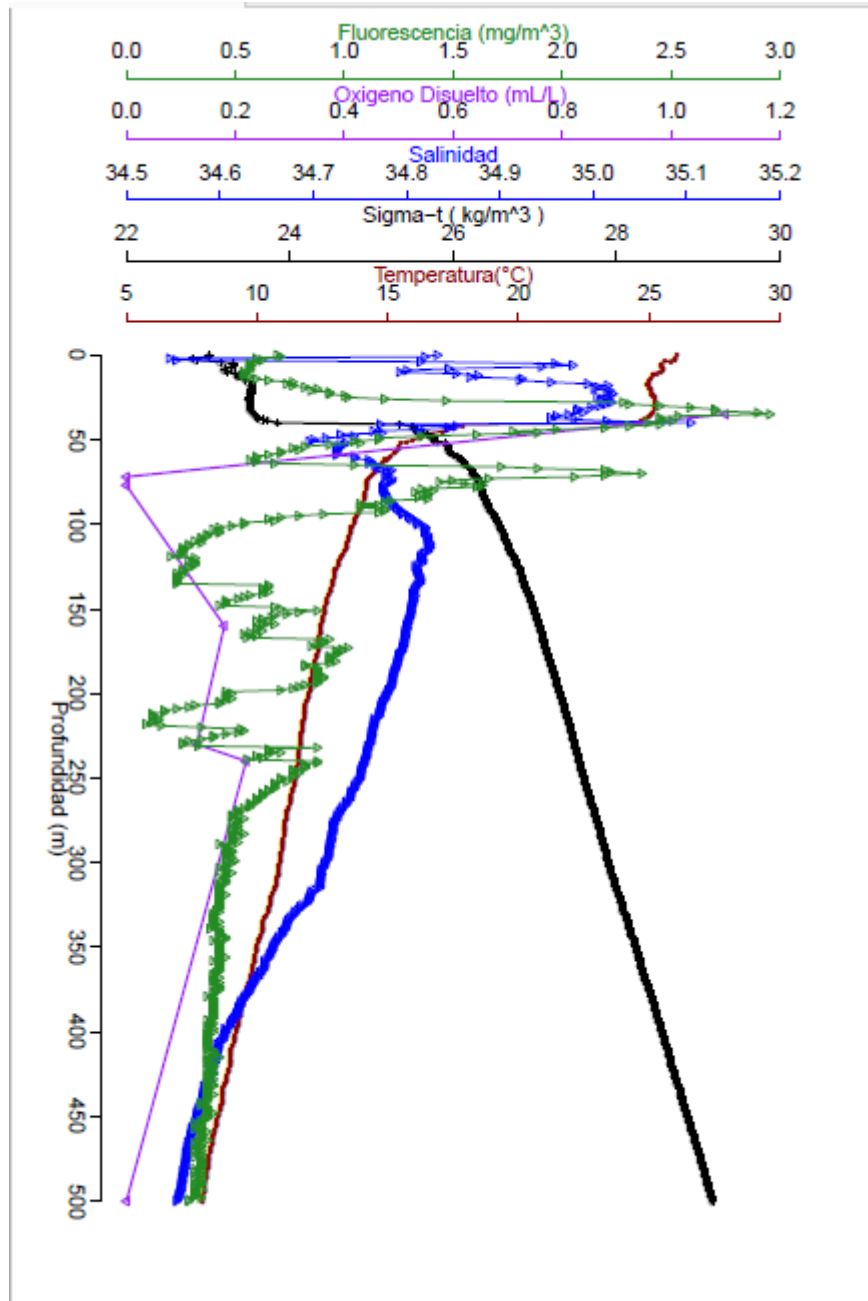


Figura 1.31. Datos del CTD de la Estación 32.

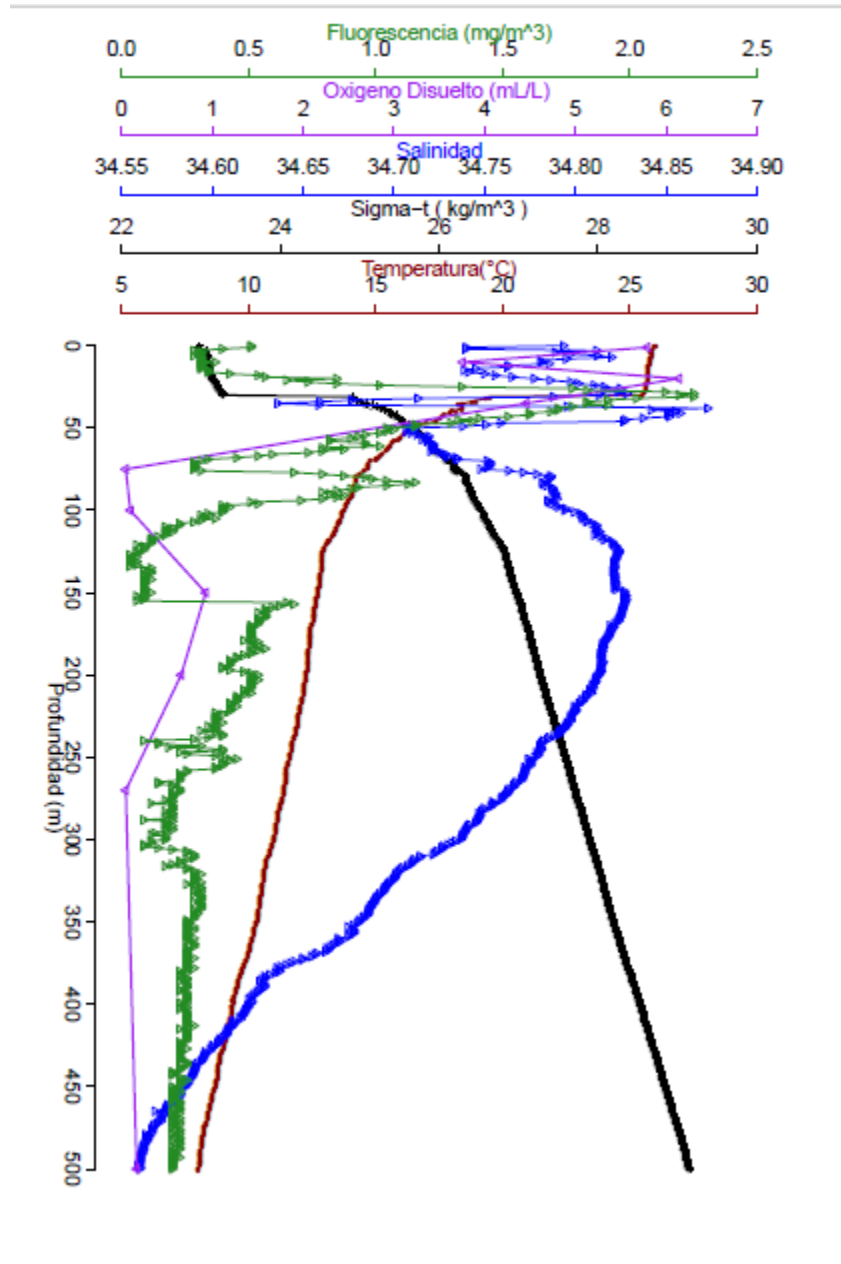


Figura 1.32. Datos del CTD de la Estación 33.

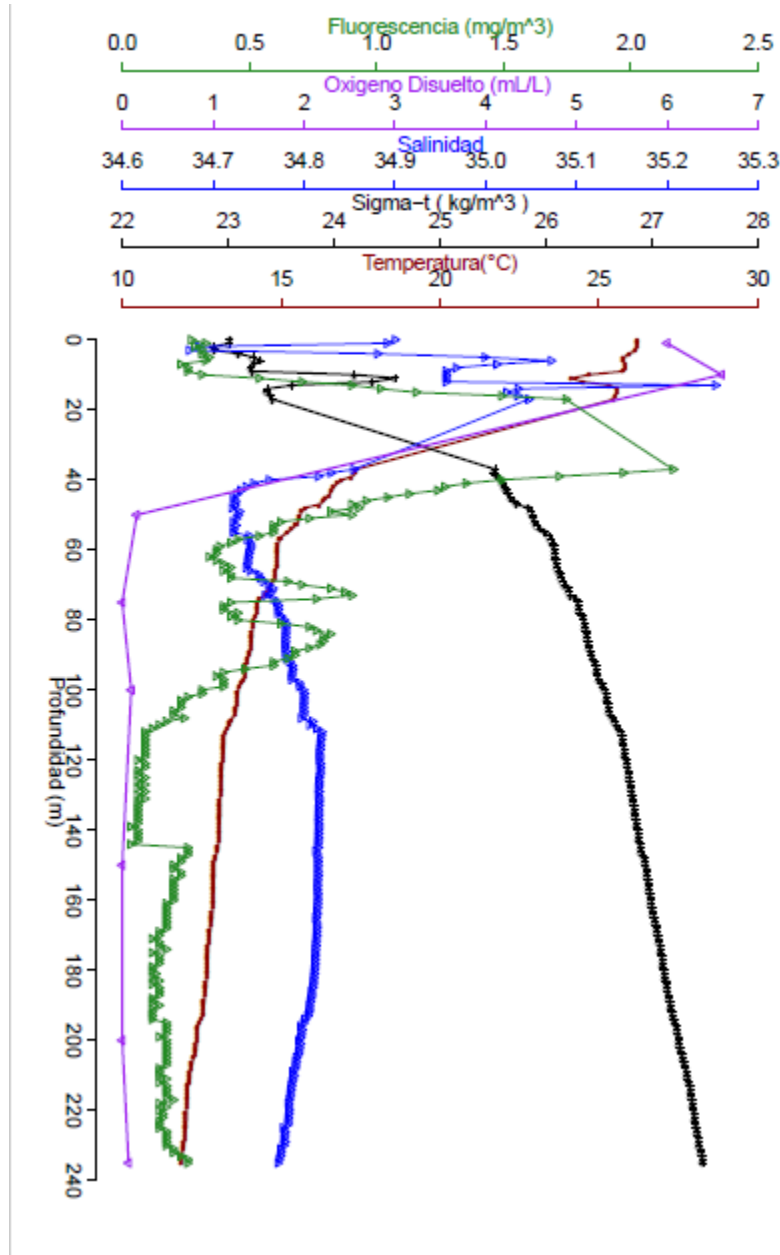


Figura 1.33. Datos del CTD de la Estación 34.

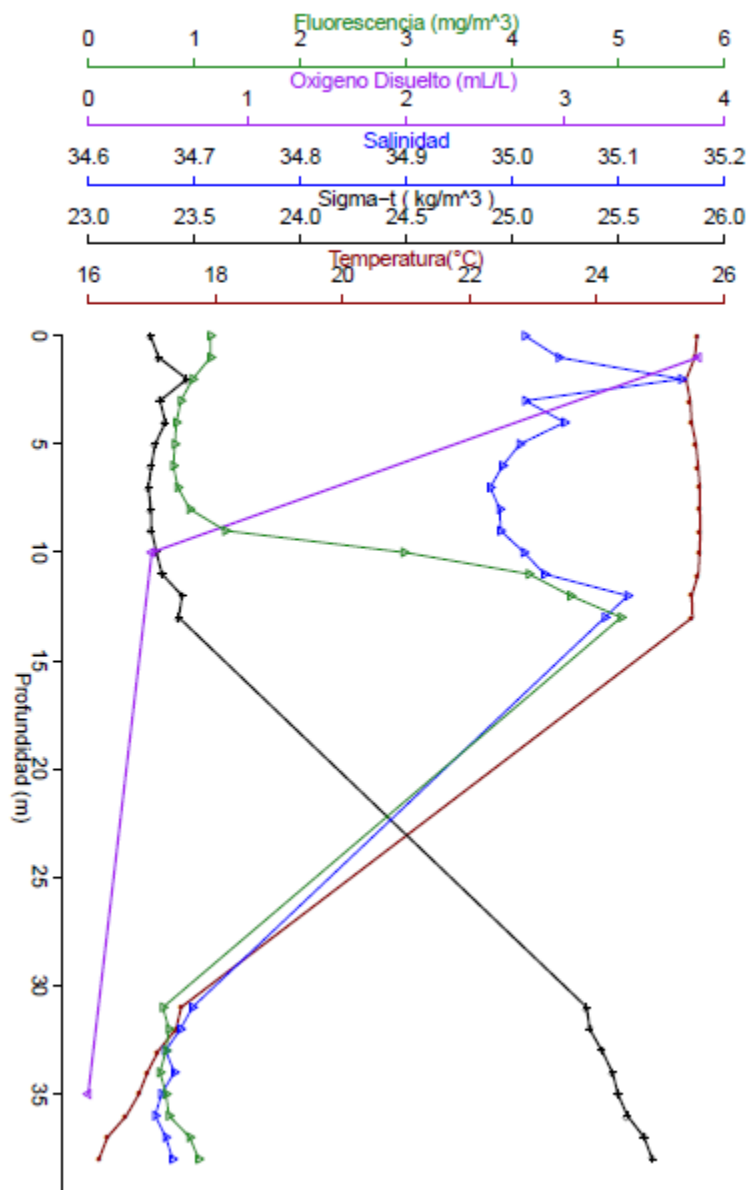


Figura 1.34. Datos del CTD de la Estación 35.

Perfiles de temperatura

NORTE

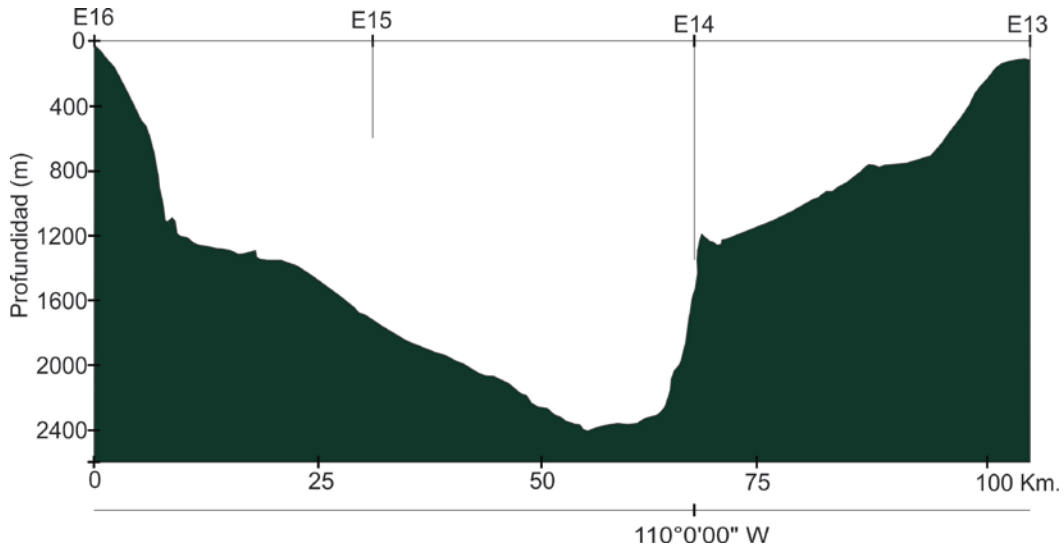


Figura 1.35. Perfil batimétrico norte.

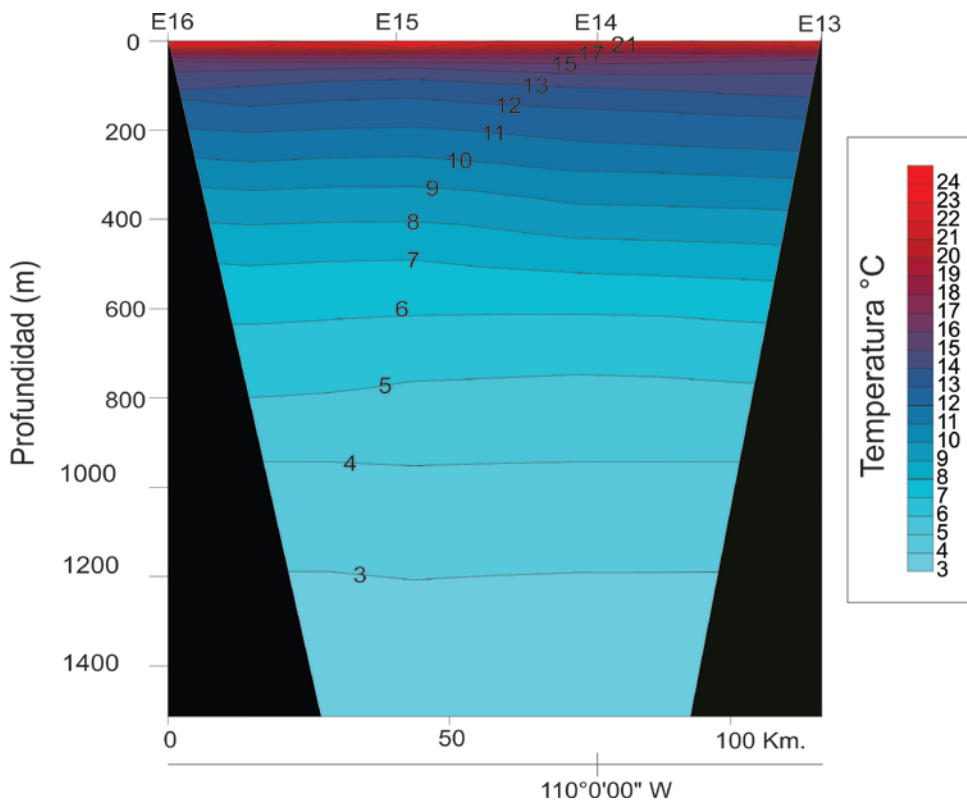


Figura 1.36. Transecto de temperatura norte.

SUR

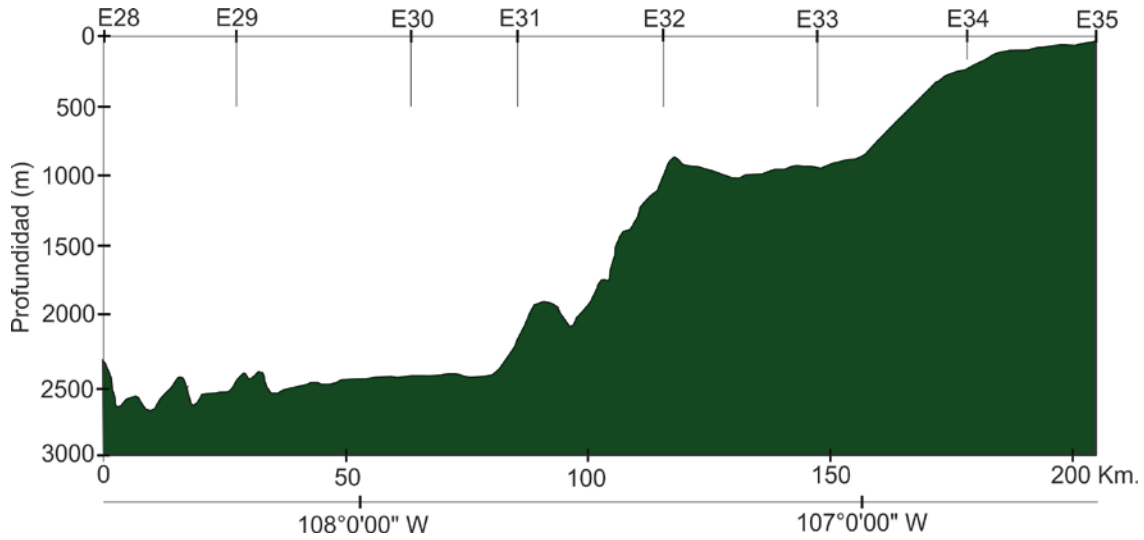


Figura 1.37. Perfil batimétrico sur.

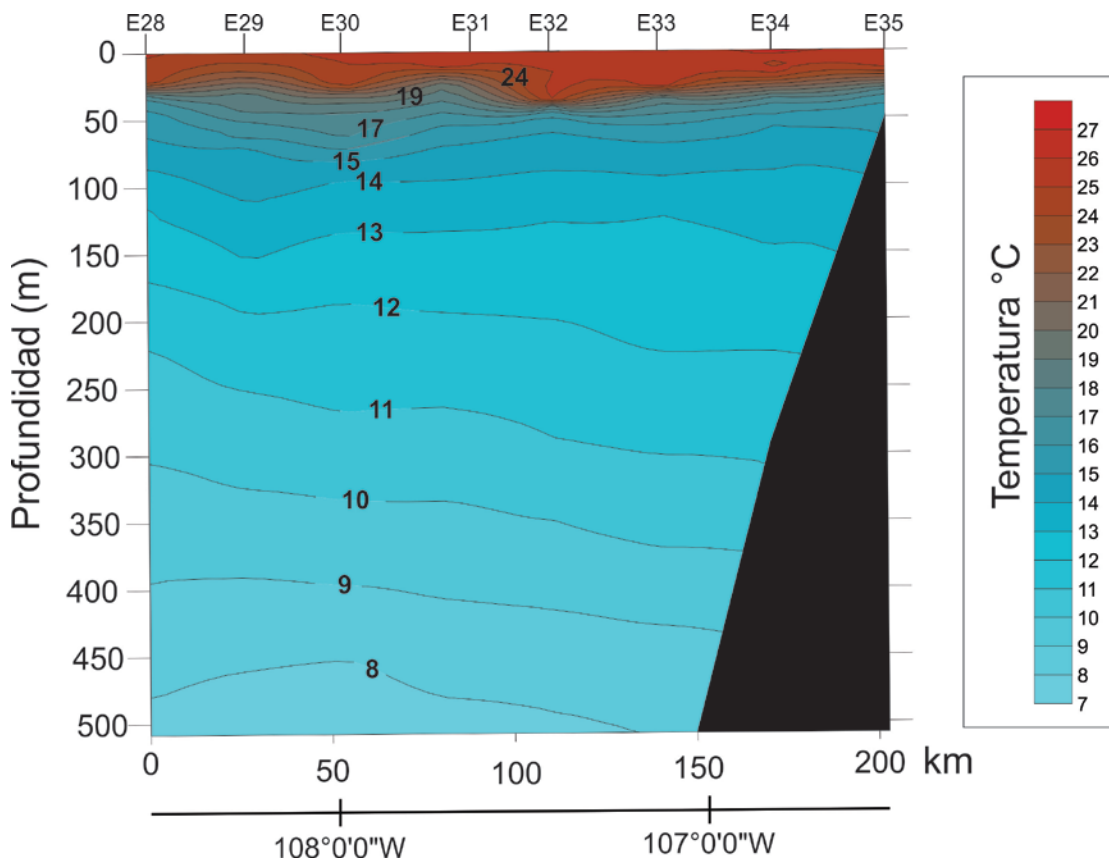


Figura 1.38. Transecto de temperatura sur.

Determinación de las masas de agua encontradas:

Tabla 1.2. Características de las masas de agua (Torres-Orozco, 1993)

Masa de agua	Abreviatura	Tempertura (°C)	Salinidad	Profundidad (m)
Agua del Golfo de California	AGC	$T \geq 12$	$S \geq 35.0$	< 150
Agua Superficial Ecuatorial	ASE	$T \geq 18$	$S < 35.0$	< 150
Agua de la Corrientes de California	ACC	$12 \leq T \leq 18$	$S < 34.5$	< 100
Agua Subsuperficial Subtropical	ASsSt	$9 \leq T \leq 18$	$34.5 \leq S \leq 35.0$	150-500
Agua Intermedia del Pacífico	AIP	$4 \leq T \leq 9$	$34.5 \leq S \leq 34.8$	500-1200
Agua Profunda del Pacífico	APP	$T < 4$	$S \geq 34.5$	> 1200

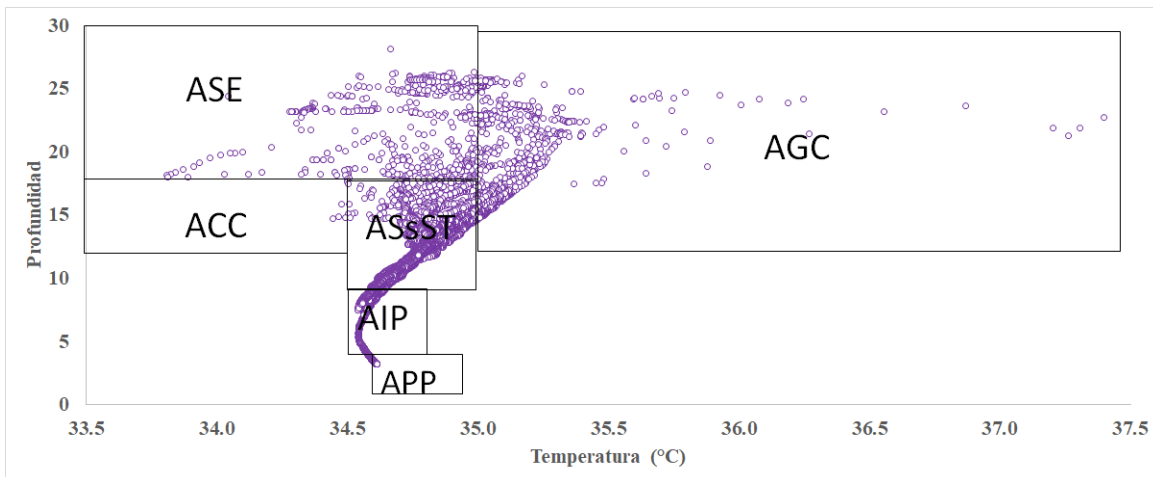


Figura 1.39. Diagrama TS de la campaña MIO-HA/2018

Meteorología: Entre los días que se llevó a cabo el crucero oceanográfico MIO-HA/2018, la temperatura de la atmósfera estuvo entre un rango de 21-26 °C, su oscilación térmica es de 5 °C. El mayor valor de temperatura se registró los días uno y dos de mayo, también se observaron las mayores variaciones de temperatura hasta de tres grados, entre la fase nocturna y diurna del crucero, cerca del puerto de Mazatlán.

El menor valor está registrado el día seis de mayo disminuyendo dentro de las primeras seis horas, en las estaciones más al norte del derrotero cerca de la Isla Santa Catalina. Con variaciones de temperatura de dos grados entre la fase nocturna y diurna (Fig. 1.40).

Temperatura del punto de rocío.

La temperatura del punto de rocío de la atmósfera estuvo entre un rango de 14-22 °C, su oscilación térmica es de 8 °C. El mayor valor de temperatura se registró los días uno y dos de mayo, también se observaron las mayores variaciones de temperatura hasta de tres grados, entre la fase nocturna y diurna del crucero, cerca del puerto de Mazatlán.

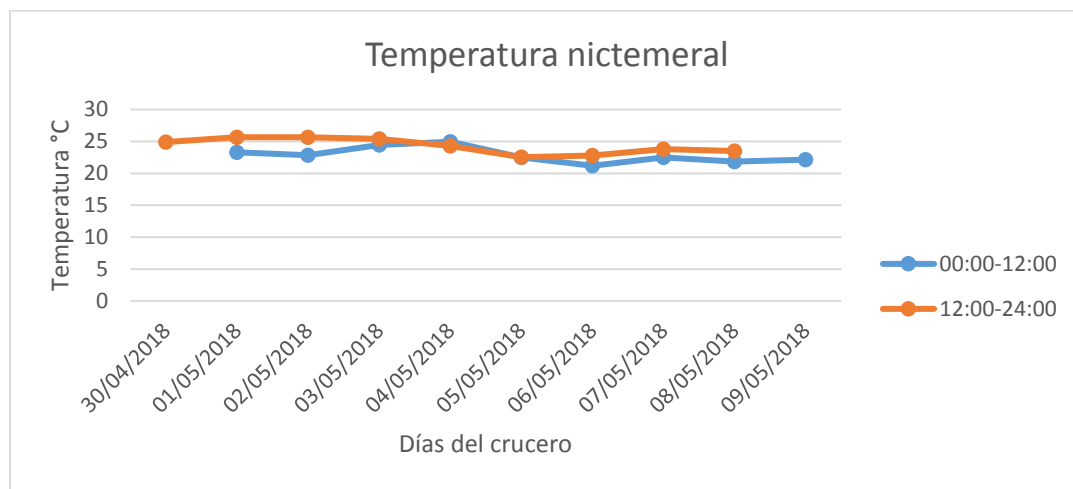


Figura 1.40. Temperatura media de la fase nocturna (00:00-12:00) y fase diurna (12:00-24:00) de los días del crucero oceanográfico MIO-HA/2018.

El menor valor está registrado el día seis de mayo disminuyendo dentro de las primeras seis horas, en las estaciones más al norte del derrotero cerca de la Isla Santa Catalina. Con variaciones de temperatura hasta de dos grados entre la fase nocturna y diurna (Fig. 1.41).

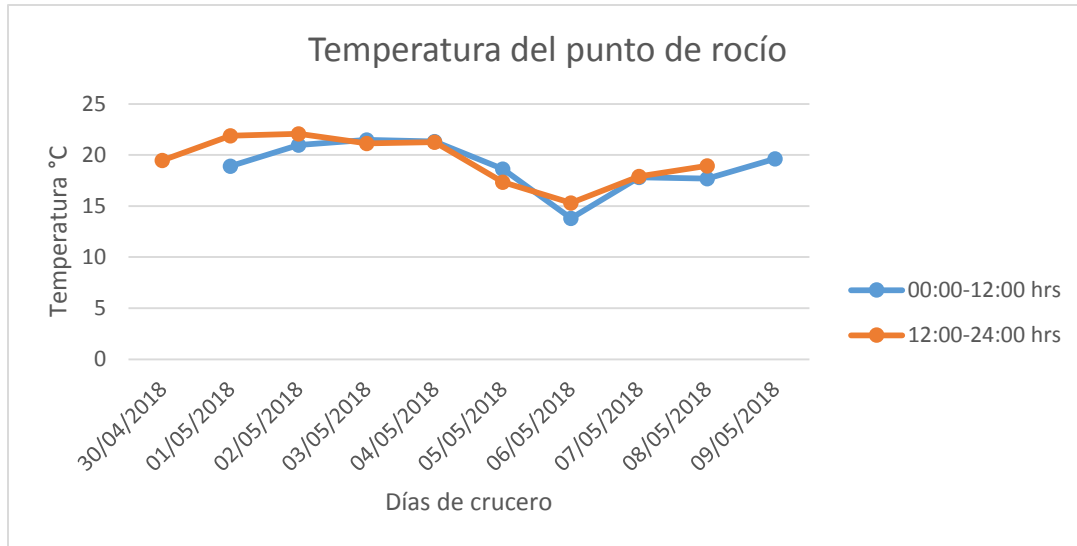


Figura 1.41. Temperatura del punto de rocío de la fase nocturna (00:00-12:00) y fase diurna (12:00-24:00) de los días del crucero oceanográfico MIO-HA/2018.

Velocidad y dirección del viento.

La velocidad del viento media registró un rango de 1-6 m/s. La mayor velocidad se registró en la fase nocturna (00:00-12:00) del ocho de mayo, y la menor velocidad se registró el día dos de mayo en la fase nocturna (Fig. 1.42).

Presión atmosférica.

El mayor valor de oscilación de presión se registró el día seis de mayo en las horas nocturnas y el menor valor de presión se registró el día ocho de mayo en la fase diurna hasta el nueve de mayo (Fig. 1.43).

Al crearse sistemas de baja presión atmosférica, generalmente produce fuertes vientos, bajas temperaturas y viceversa. Transportan agua superficial al sur y generan intensas surgencias a lo largo de la costa oriental de febrero a abril

Distribución de velocidad y dirección del viento por estación

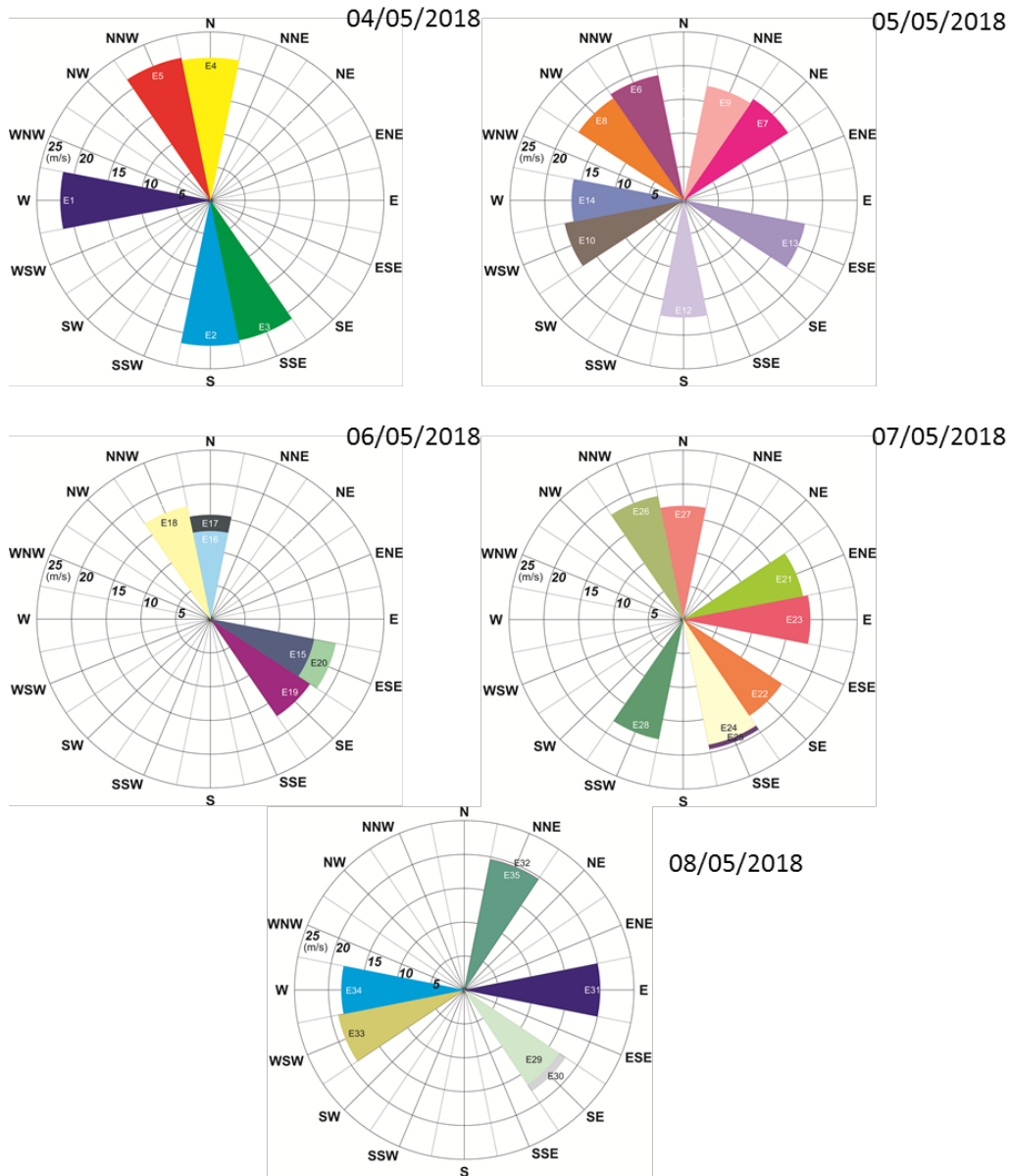


Figura 1.42. Distribución de velocidad del viento diaria de los días de crucero oceanográfico MIO-HA/2018.

Los parámetros meteorológicos son de gran interés ya que son registrados de forma continua, con un rango de tiempo determinado por el investigador. Los parámetros físicos reportados son de los principales parámetros que propician el origen de sistemas de alta y baja presión,



y determinan en gran medida la dirección e intensidad del viento. Por lo que todos están ligados de forma directa o indirectamente.

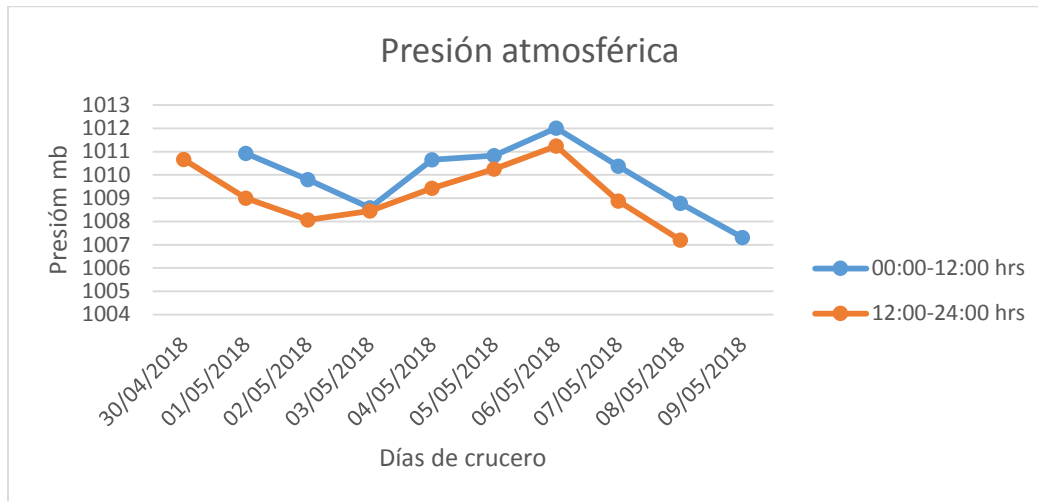


Figura 1.43. Presión atmosférica de los días de crucero oceanográfico MIO-HA/2018.



Capítulo 2.- Oceanografía Química

2.1.- Introducción

Para el adecuado desarrollo del ecosistema marino existen diversos factores que son de vital importancia, entre los que se encuentran la concentración de nutrientes y la concentración de oxígeno disuelto. La proporción adecuada de estas variables, es indicador de un ambiente saludable.

Entre los principales elementos que actúan como nutrientes para organismos acuáticos se encuentran el fósforo y el nitrógeno. Las formas inorgánicas del nitrógeno incluyen nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-), amoníaco (NH_3), amonio (NH_4^+) y nitrógeno molecular (N_2). El amoníaco (compuesto tóxico para los seres marinos) es altamente soluble en agua y al disolverse en esta se forman iones amonio (NH_4^+), estableciéndose un equilibrio químico entre ambas formas, la no ionizada (amoníaco) y la ionizada (amonio). El fósforo, al igual que el nitrógeno, es considerado un nutriente esencial para los organismos vivientes. El fósforo elemental no se encuentra de forma natural en el medio acuático al contrario de los ortofosfatos, pirofosfatos, metafosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicamente unidos los cuales si es posible detectarlos en aguas naturales y residuales. (Quintero *et al.* 2010).

Estas sustancias deben existir en un perfecto equilibrio ya que su exceso o carencia podría ocasionar el proceso conocido como “eutrofización”. La eutrofización es la presencia aumentada de nutrientes, lo cual ocasiona una mayor productividad de los productores tanto primarios como secundarios, traducándose, por ejemplo, en proliferaciones de algas, lo que conduce a un agotamiento de oxígeno y una sobreproducción de sulfuro de hidrógeno, el cual es un compuesto tóxico para la vida marina. (Quintero *et al.* 2010)

El ingreso de un exceso de nutrientes al mar es por vertidos provenientes de la industria, la agricultura y las aguas residuales, de forma general. Sin embargo la presencia de nitratos, se explica por la disolución de rocas y minerales, la descomposición de materias vegetales y animales, efluentes industriales y lavado de tierras, mientras tanto, la presencia del anión nitrito indica actividad bacteriológica y el catión de amonio indica contaminación con fertilizantes y heces (Quintero *et al.* 2010)



Otro requisito indispensable para la mayoría de los organismos vivos es la presencia de oxígeno disuelto. La cantidad de este gas disuelto en el agua depende de la actividad física, química y bioquímica de los sistemas de agua, así como de la temperatura, salinidad y la presión, por ejemplo a mayor temperatura del agua menor solubilidad del oxígeno.

El Golfo de California presenta una particularidad en este parámetro, ya que la influencia del Océano Pacífico ocasiona la existencia de aguas hipóxicas, debido a que este océano se encuentra al final de la circulación termohalina, por lo que el agua profunda que llega a ella ya ha recorrido el océano Antártico y el Atlántico.

2.1.- Materiales y Métodos

Las profundidades de muestreo se establecieron por medio de profundidades estándar para muestreo químico (10,15,20,25,50,100,150,200,250,500,750,1000,1500 y 2000 metros), a menos que en otras profundidades se observaran, por medio del registro de los sensores del CTD y picos de oxígeno o de fluorescencia. Ya en cubierta, la colecta de las muestras se realizó de manera sistemática. La primera muestra que se tomó de las botellas Niskin fue para determinar el oxígeno disuelto, posteriormente la muestra para determinar nutrientes y finalmente la muestra para determinar la clorofila-a. Cada frasco se etiquetó con los datos correspondientes. El oxígeno disuelto se determinó *in situ*, mientras que las muestras para determinar clorofila-a y los nutrientes se guardaron en frío y protegidos de la luz para analizarlos en el Laboratorio de Biogeoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML).

Oxígeno disuelto: Se realizó la metodología Microwinkler (Strickland y Parson, 1972). Se tomó la muestra de agua a través de las mangueras de las botellas del CTD en un frasco de vidrio color ámbar (previamente enjuagado con esa misma agua), teniendo cuidado de no burbujear la muestra. Posteriormente se agregó 1 ml de reactivo A (Sulfato manganoso) y a continuación 1 mL de reactivo B (Yoduro alcalino), se cerró el frasco, se agitó y se sumergió en una bandeja con agua. Posteriormente en el laboratorio de química del B/O “El Puma” se agregó 1 mL de H_2SO_4 1:1 para disolver el precipitado formado, a continuación se tituló con tiosulfato de sodio (factor de 1.19002) y con almidón como indicador del vire de color,



el cual nos indica que la reacción se ha llevado a cabo. Se realizaron los cálculos requeridos para obtener las concentraciones, utilizando la siguiente fórmula (Strickland y Parson, 1972):

$$\frac{mL}{L} OD = (Promedio\ gasto\ tiosulfato) \times \left(\frac{vol}{vol-2} \right) \times 0.5 \times Factor\ tiosulfato \times 11.2$$

Con los datos obtenidos por medio del CTD se realizó una corrección a los valores obtenidos con la metodología de Microwinkler. Con la ecuación de la recta que se obtuvo al graficar ambos datos, se obtuvieron los valores de OD que se manejan en el presente trabajo.

Clorofila-a: En 20 estaciones del crucero oceanográfico se tomaron muestras por duplicado para determinar la clorofila-a. Esta muestra duplicada se realizó para obtener resultados de concentraciones de clorofila-a por medio de dos métodos distintos; espectrofotometría y fluorometría.

La muestra de agua se recolectó en botellas de plástico de 2 L, previamente enjuagadas con la misma agua marina, a través de las mangueras de las botellas Niskin. El agua se filtró con ayuda de un sistema de vacío a 0.5 atm, empleando un equipo de filtración Millipore de 6 plazas con filtros de fibra de vidrio con abertura de poro de 0.45 µm. Los filtros se guardaron en tubos de centrifuga de 15 mL, envueltos con papel aluminio y se preservaron las muestras en congelador hasta su llegada a los laboratorios correspondientes.

**Método espectofotométrico*

En el laboratorio de Biogeoquímica del ICML se agregaron 5 mL de metanol a cada tubo y se maceró el filtro con una espátula (para liberar la clorofila del filtro), se dejaron en refrigeración y oscuridad por 48 horas. Posteriormente se dejaron atemperar las muestras por 45 minutos, a continuación se centrifugaron las muestras a 4500 rpm durante 30 minutos. La clorofila quedó disuelta en el metanol. Posteriormente las muestras de clorofila se leyeron en el espectrofotómetro. Se usaron tres tubos de control. Se realizaron los cálculos requeridos para obtener las concentraciones respectivas.

**Método fluorométrico*

Las muestras fueron transportadas en frío al Laboratorio de Fitoplancton y Productividad del ICML para su análisis. Los filtros fueron preparados para la extracción de clorofila-a colocándolos en frascos ámbar con 10 ml acetona al 90% durante 24 horas y almacenados en refrigeración. Posteriormente, se realizó la lectura de concentración de clorofila-a empleando un fluorómetro marca Trilogy.

Determinación de Nutrientes: Se tomó la muestra de agua a través de las mangueras de las botellas Niskin, se colectó agua en jeringas sin émbolo (previamente enjuagadas con esa misma agua), se armó la jeringa y en la punta de esta se colocó un juego de 2 filtros, con abertura de 0.45 y 0.22 μm , esta agua filtrada se vació en botellas de plástico, a las que posteriormente se les agregó 1 gota de cloroformo. Se mantuvieron en congelación hasta su arribo al Laboratorio de Biogeoquímica del ICMYL.

2.2.- Resultados

Oxígeno disuelto y nutrientes

Para analizar la relación entre los métodos utilizados para la determinación del oxígeno disuelto se realizó una correlación, graficando los datos obtenidos por el oxímetro del CTD y los resultados obtenidos por el método de Winckler (Figura 2.1). Con la ecuación de la recta se obtuvo la concentración de OD que se reporta en este trabajo.

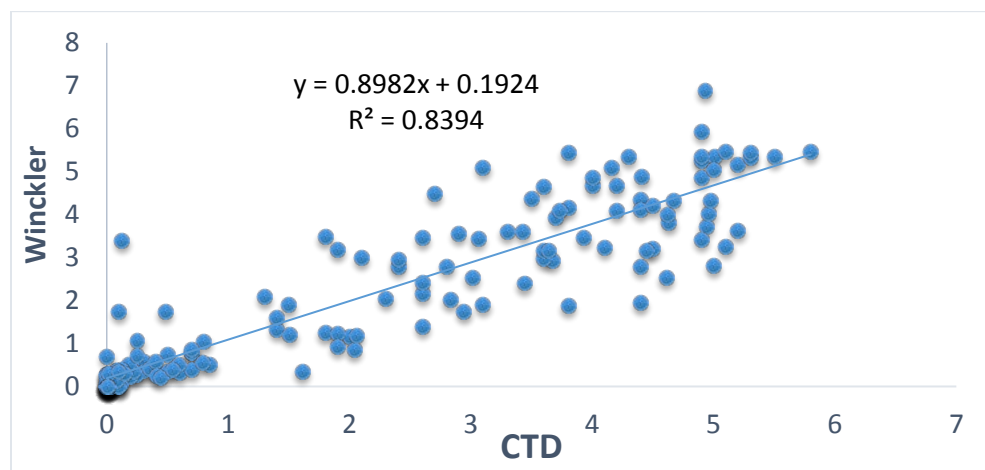


Figura 2.1. Corrección de los valores de Oxígeno disuelto.



Se construyeron gráficas con los valores de nutrientes y OD para mostrar la tendencia de estos en una misma estación. No hay resultados para la estación 7 y la estación 11 fue cancelada.

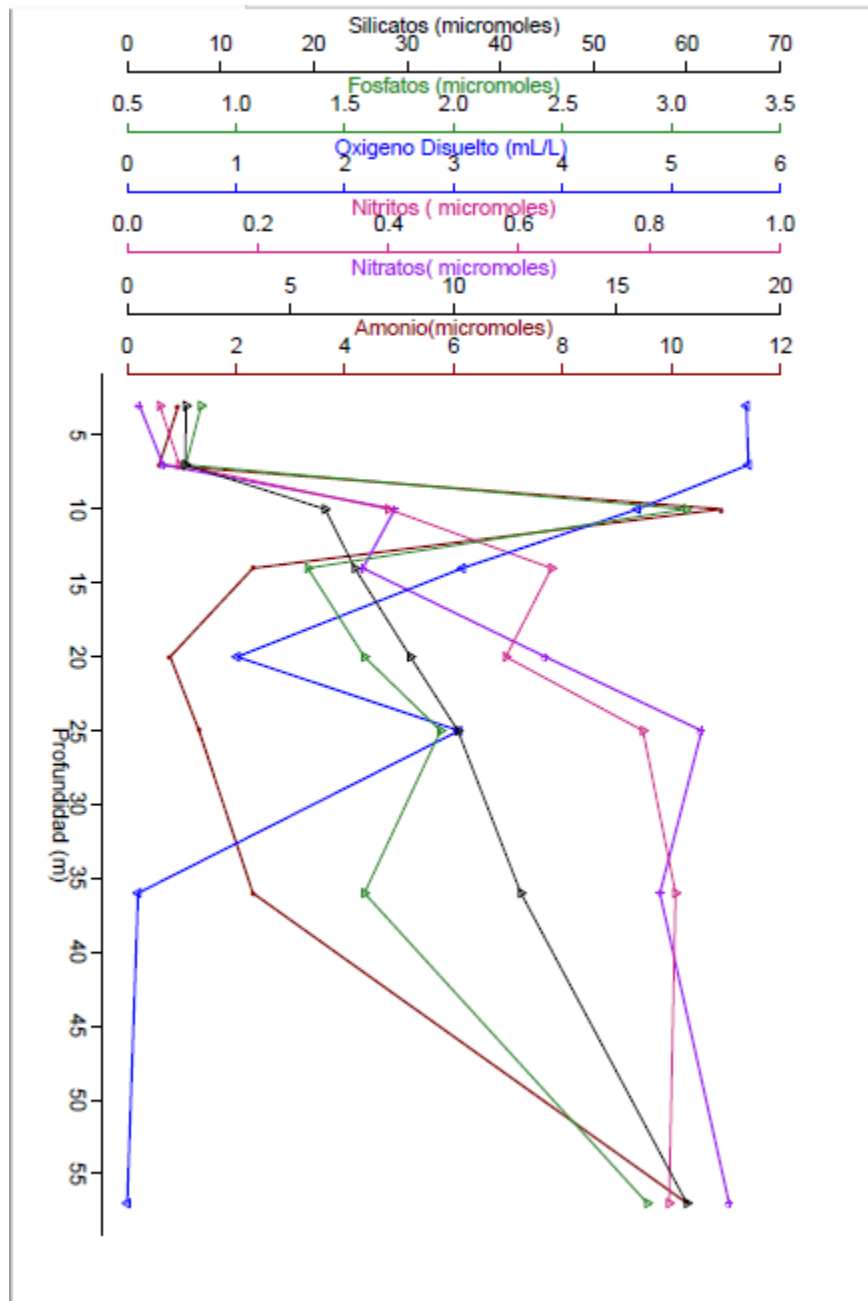


Figura 2.2. Datos de nutrientes y OD de la Estación 1.

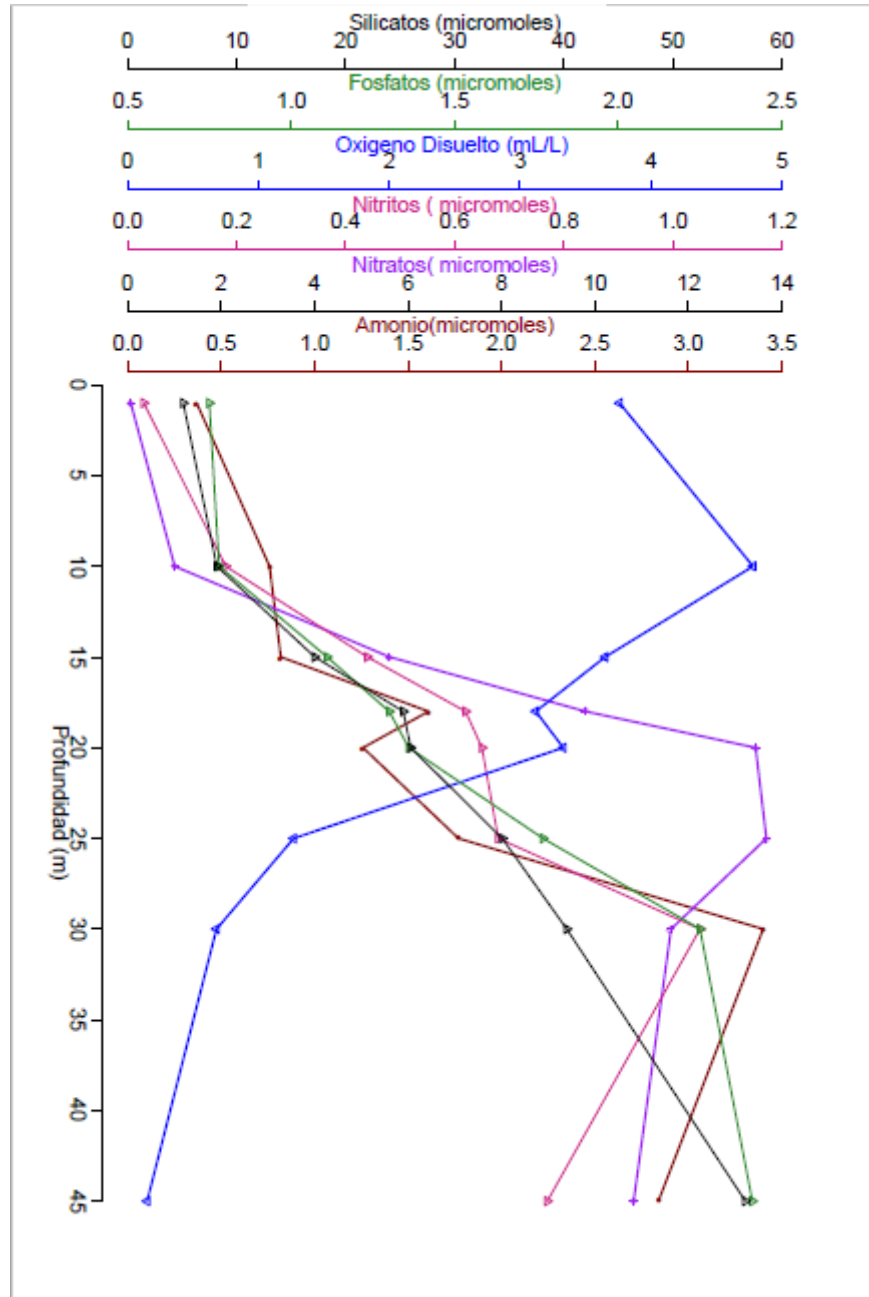


Figura 2.3. Datos de nutrientes y OD de la Estación 2.

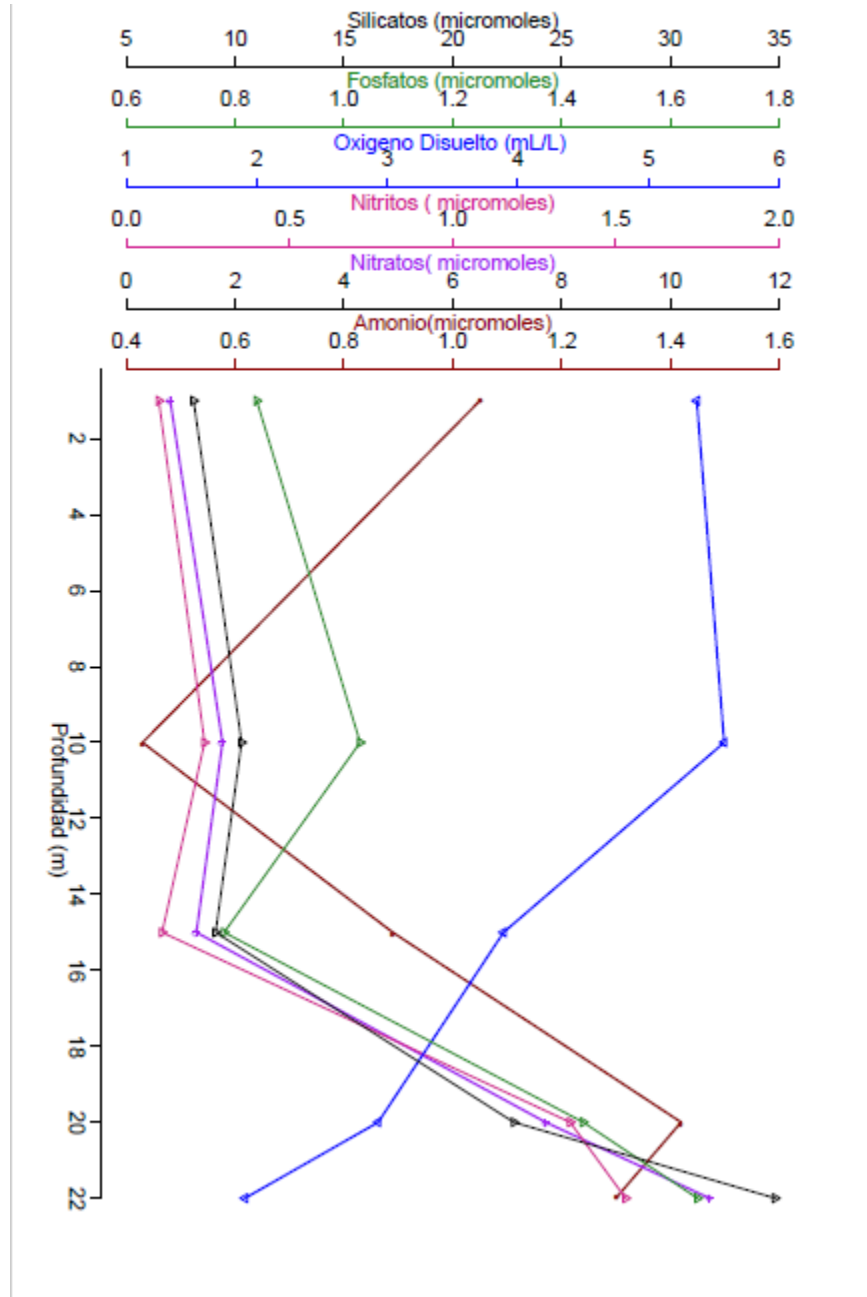


Figura 2.4. Datos de nutrientes y OD de la Estación 3.

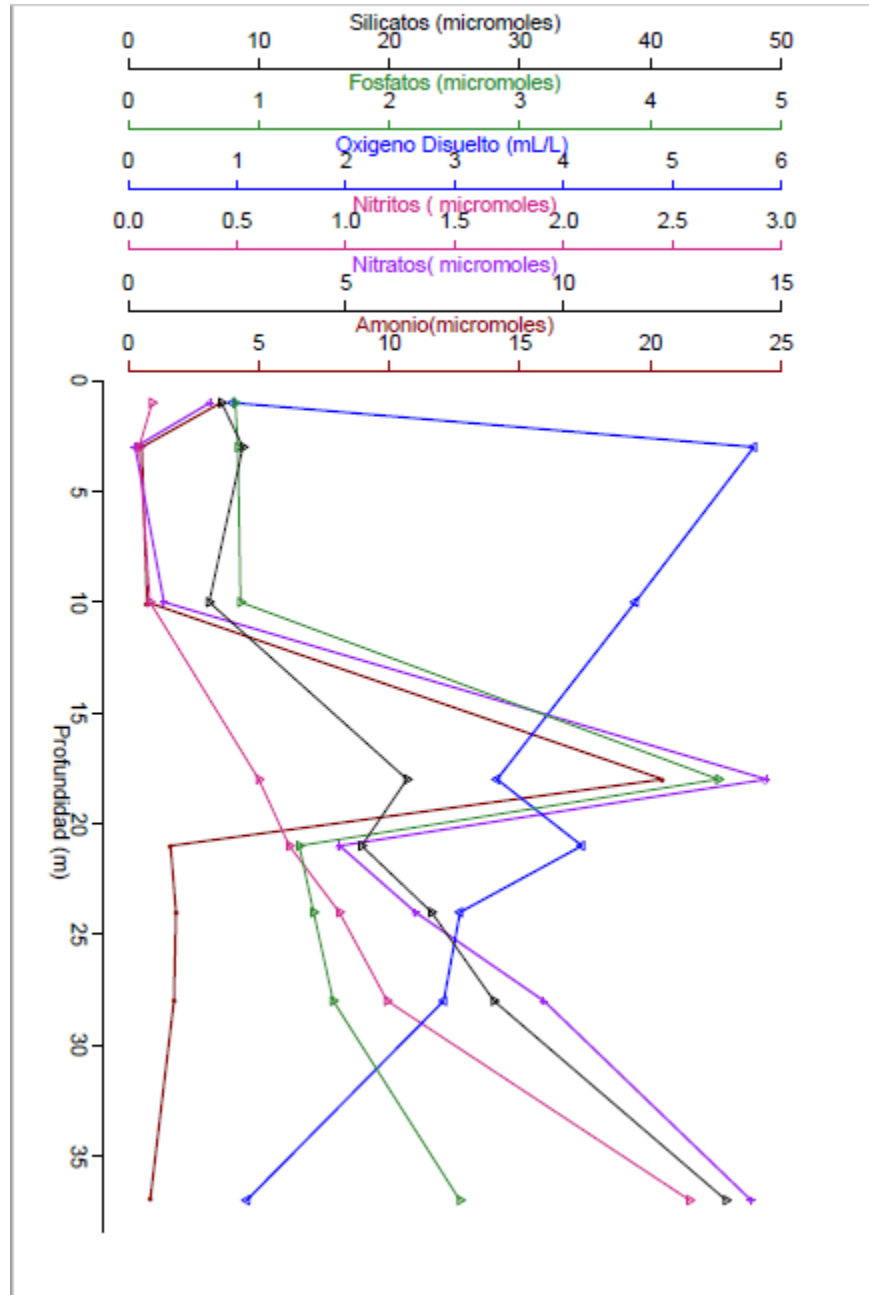


Figura 2.5. Datos de nutrientes y OD de la Estación 4.

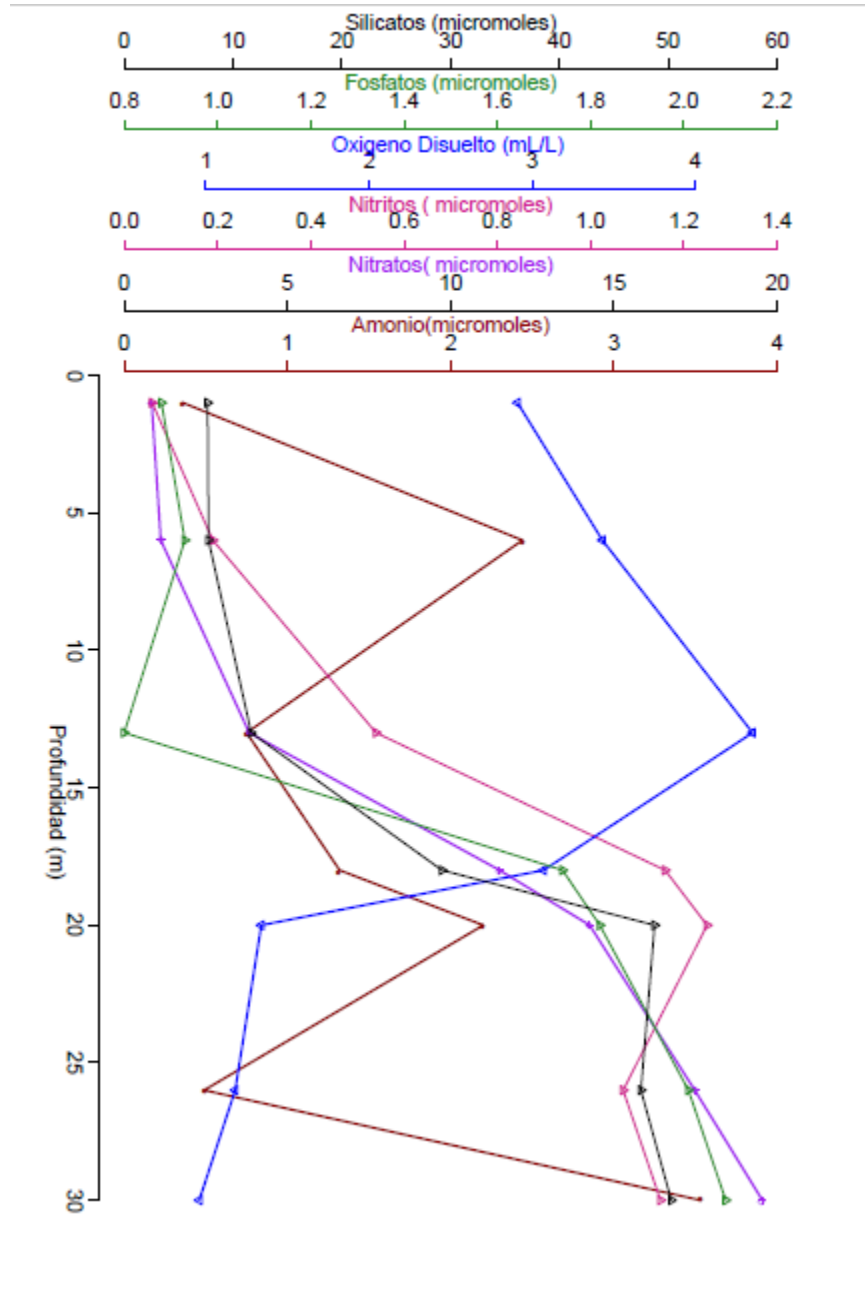


Figura 2.6. Datos de nutrientes y OD de la Estación 5.

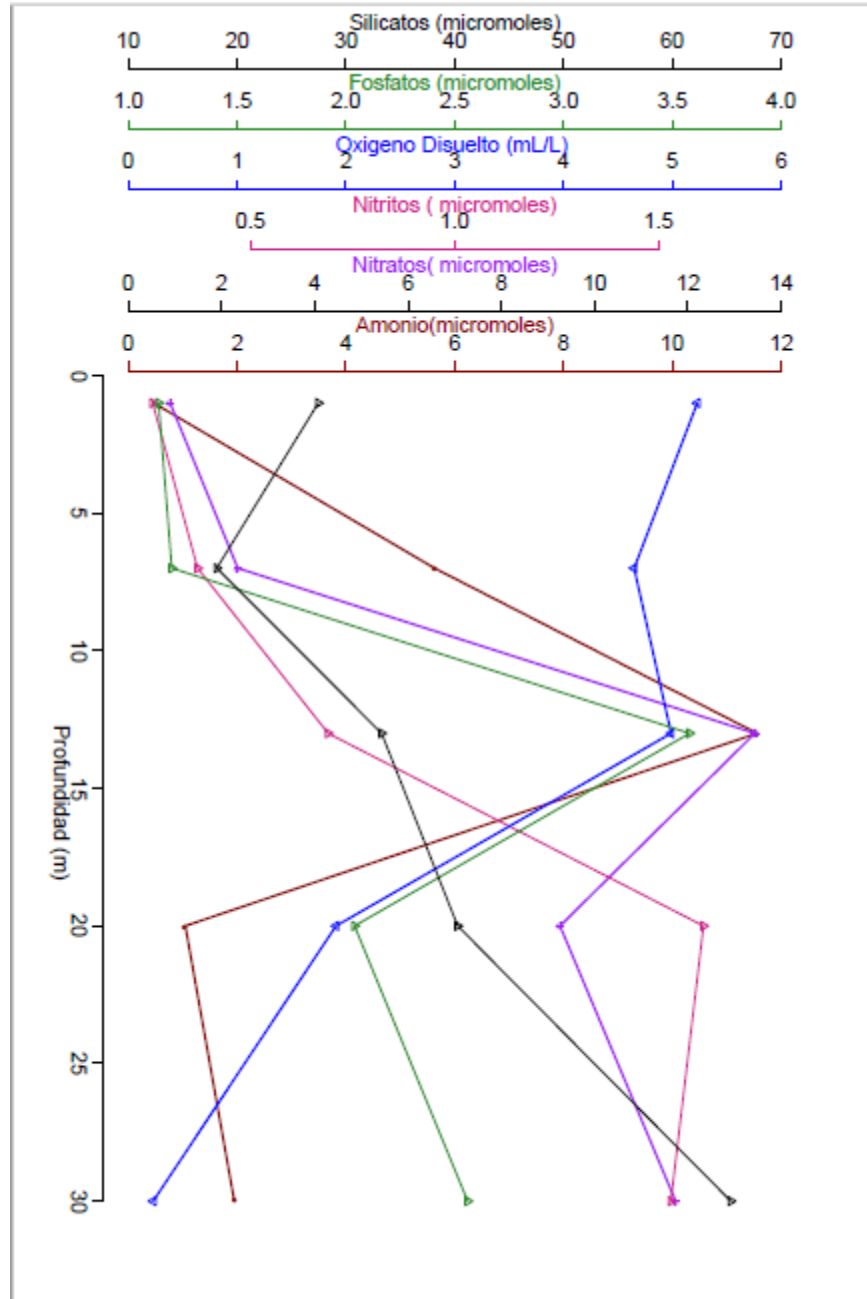


Figura 2.7. Datos de nutrientes y OD de la Estación 6.

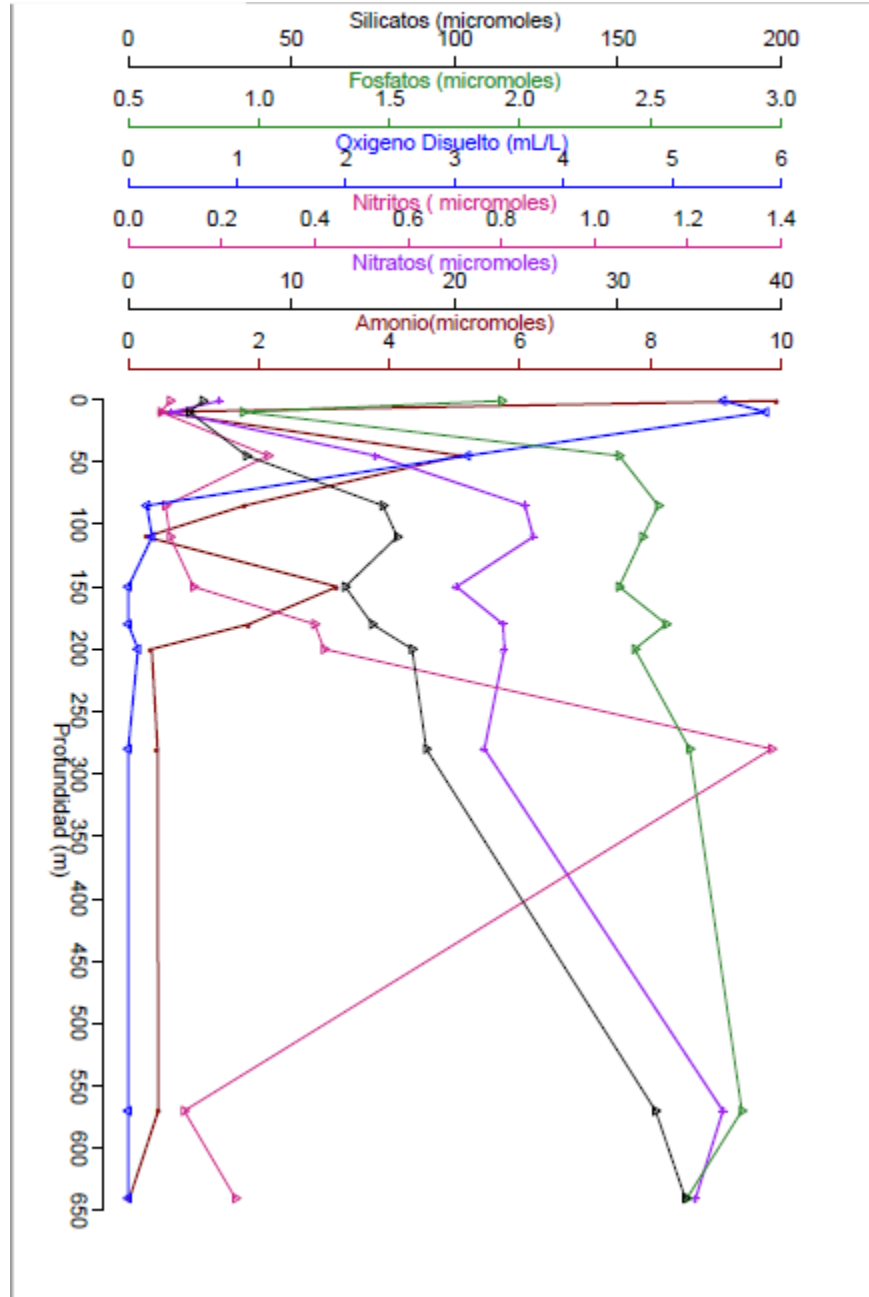


Figura 2.8. Datos de nutrientes y OD de la Estación 8.

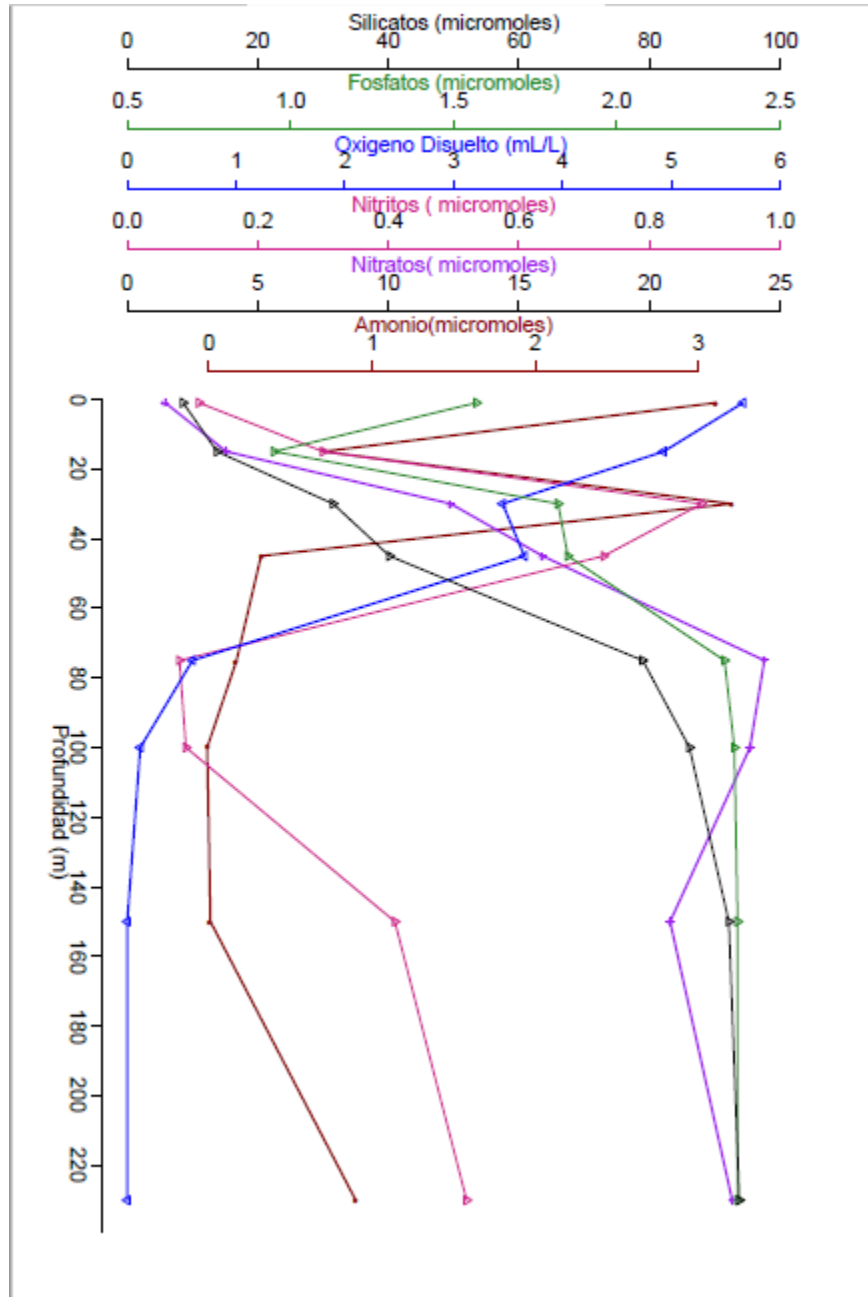


Figura 2.9. Datos de nutrientes y OD de la Estación 9.

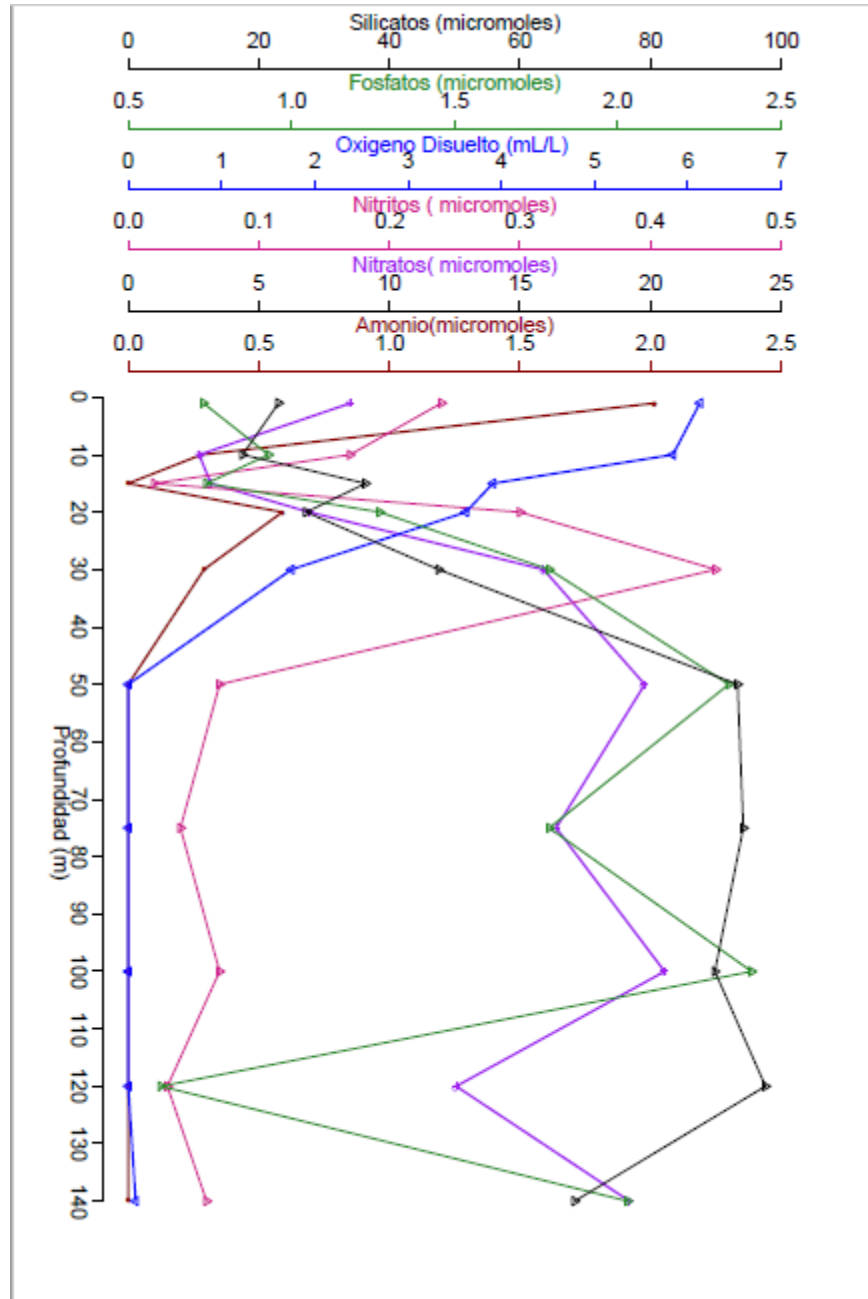


Figura 2.10. Datos de nutrientes y OD de la Estación 10.

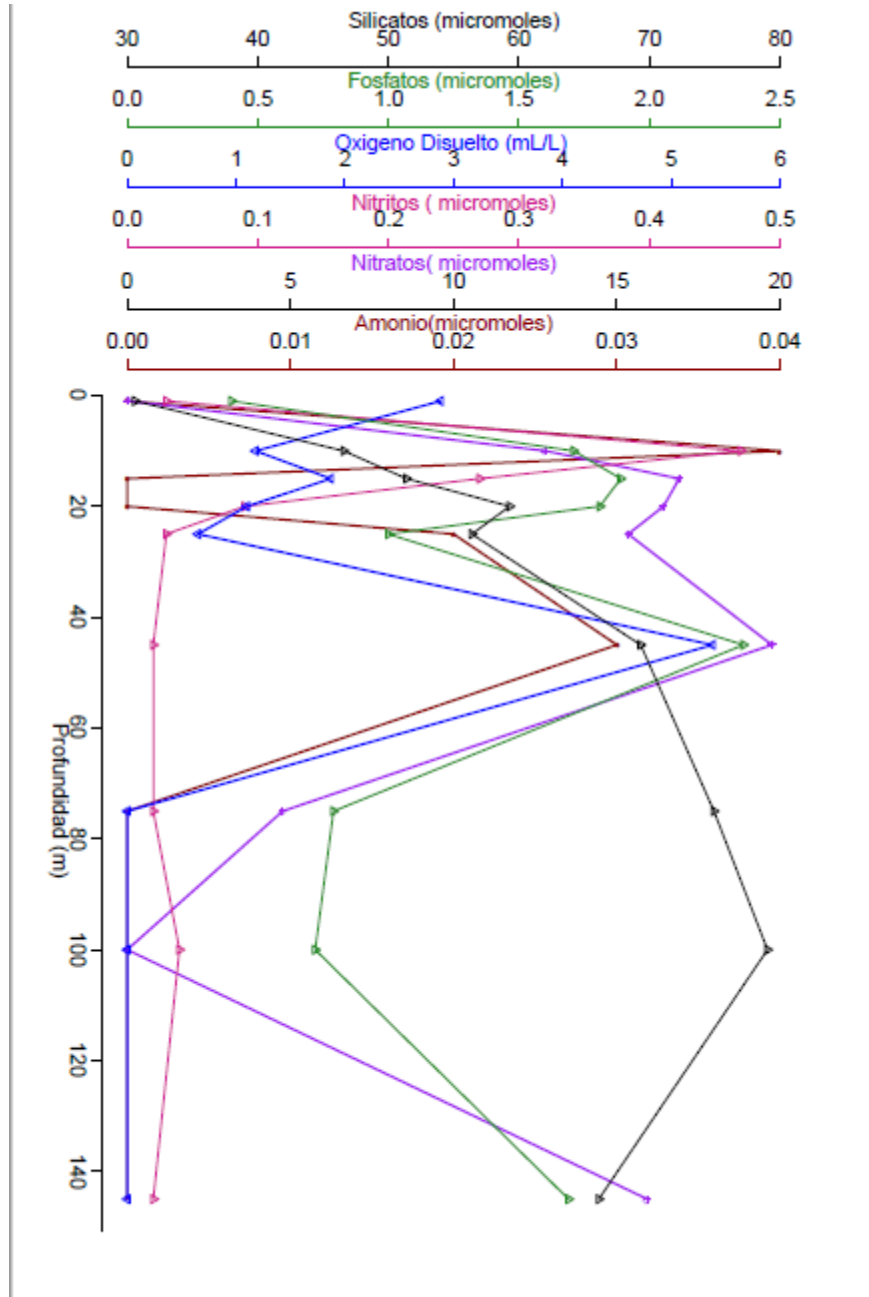


Figura 2.11. Datos de nutrientes y OD de la Estación 12.

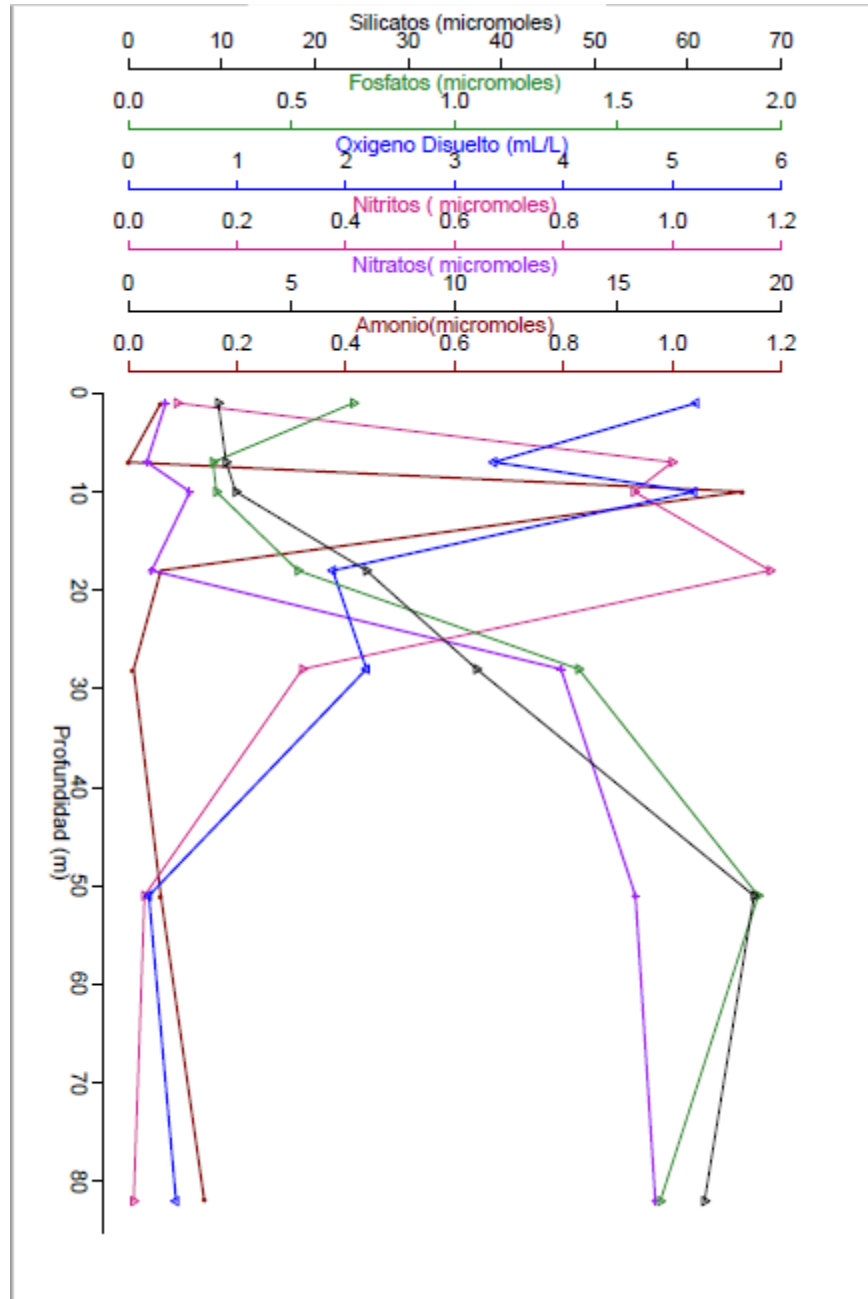


Figura 2.12. Datos de nutrientes y OD de la Estación 13.

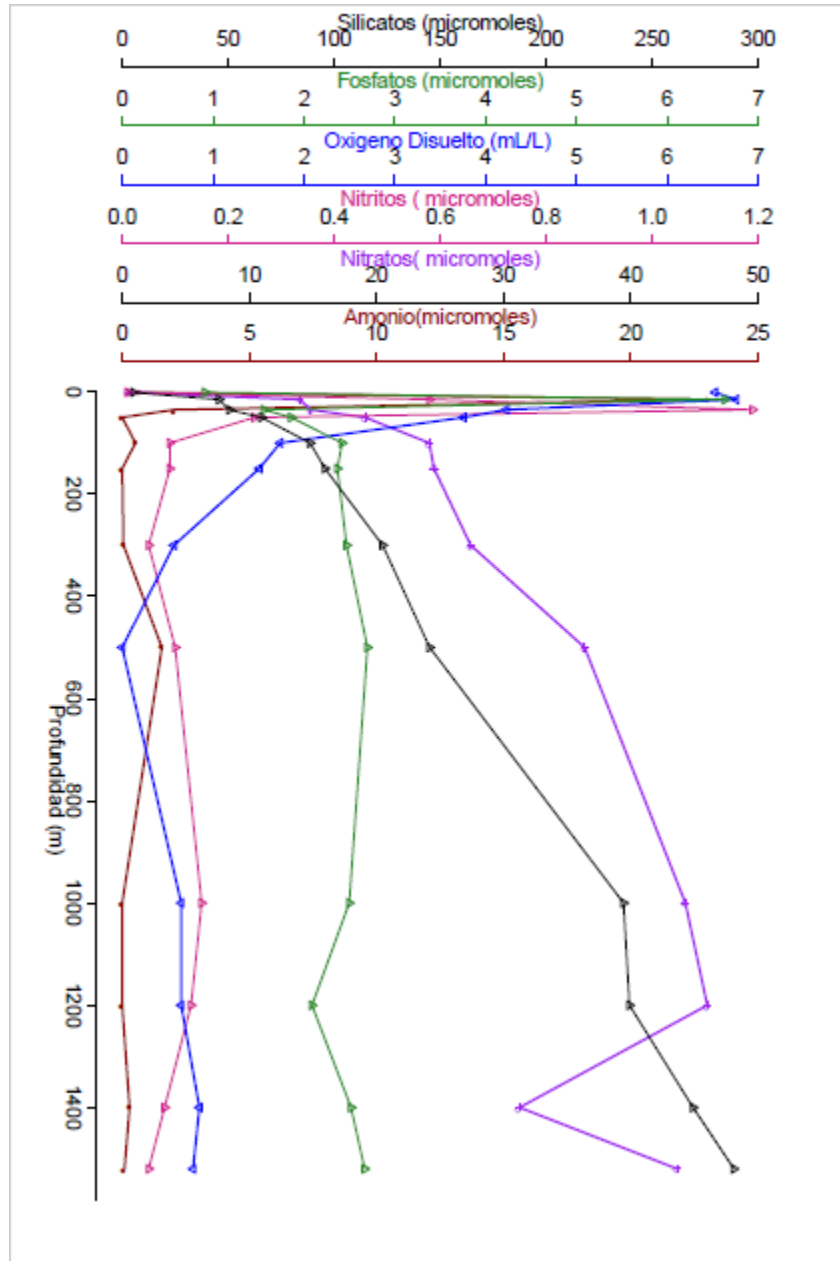


Figura 2.13. Datos de nutrientes y OD de la Estación 14.

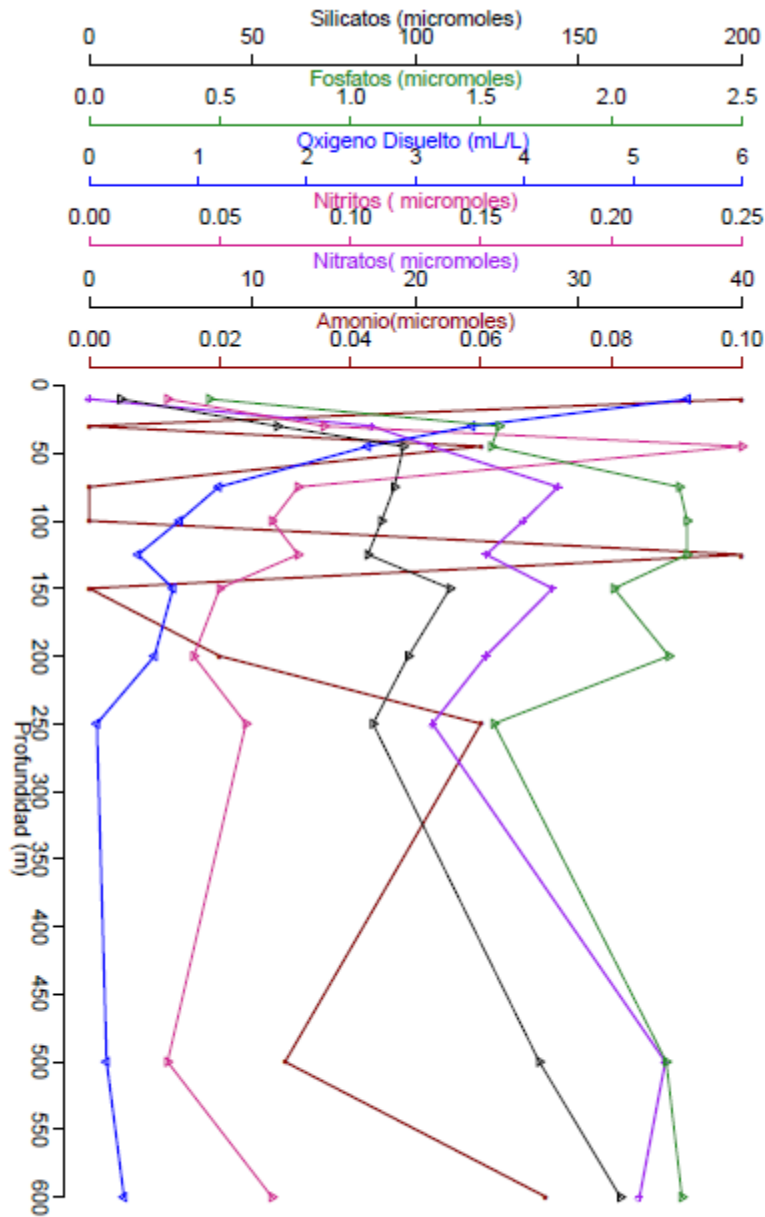


Figura 2.14. Datos de nutrientes y OD de la Estación 15.

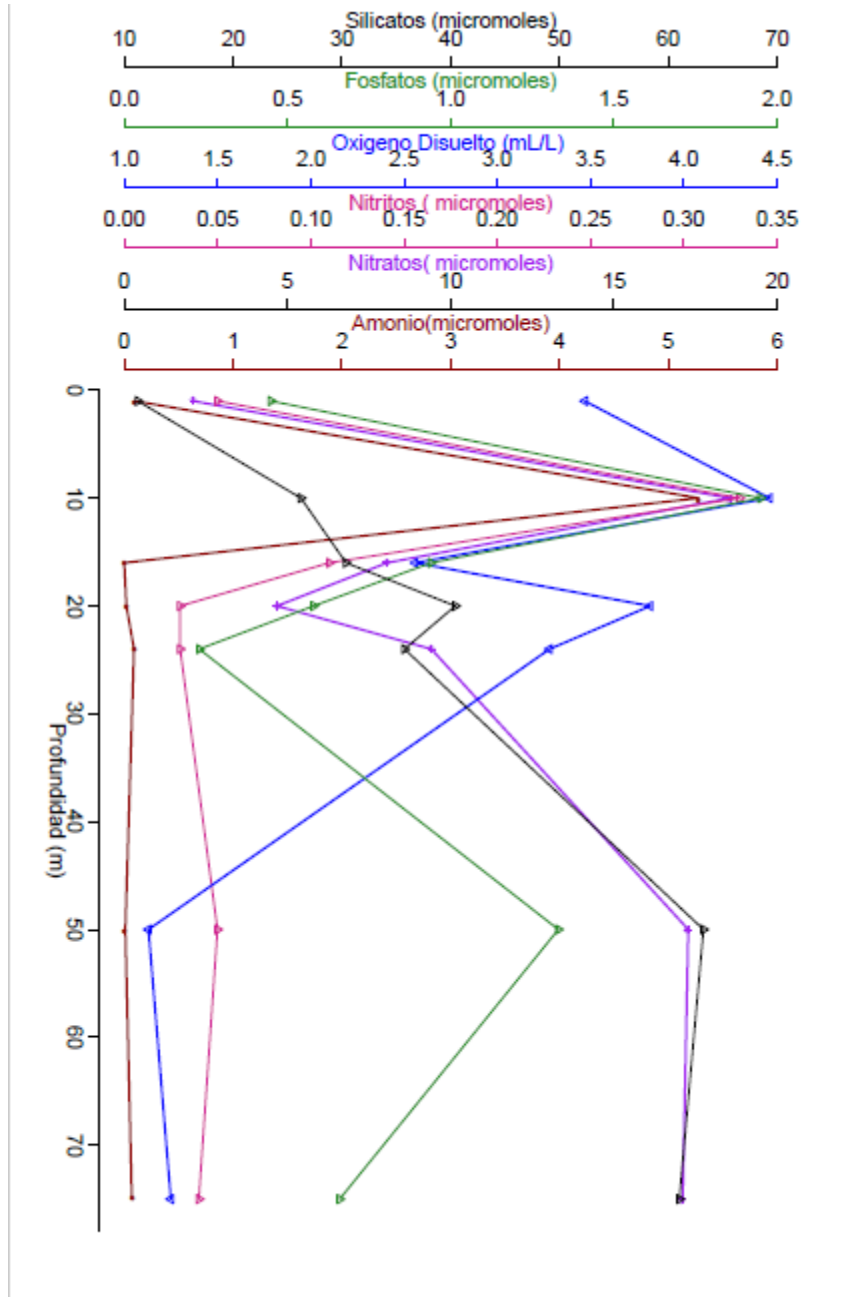


Figura 2.15. Datos de nutrientes y OD de la Estación 16.

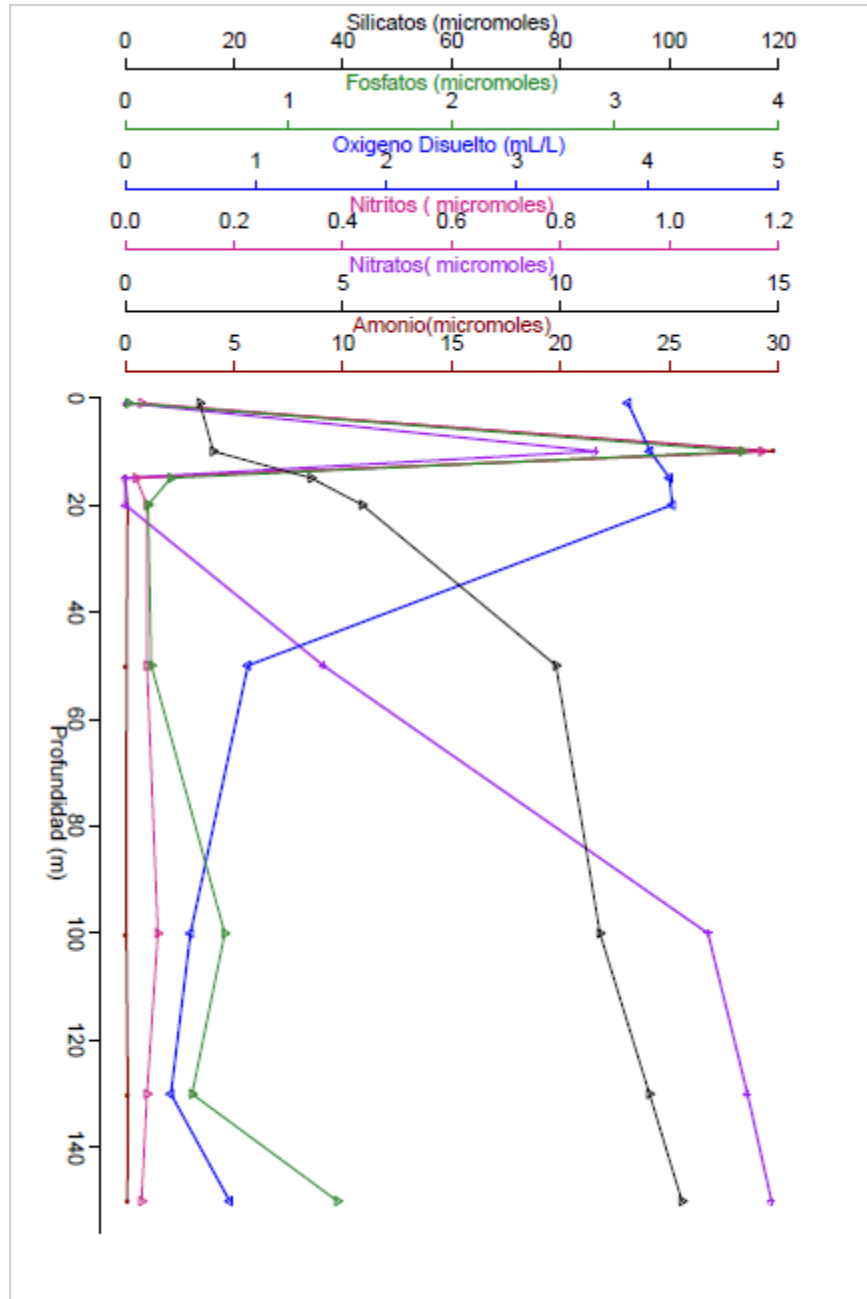


Figura 2.16. Datos de nutrientes y OD de la Estación 17.

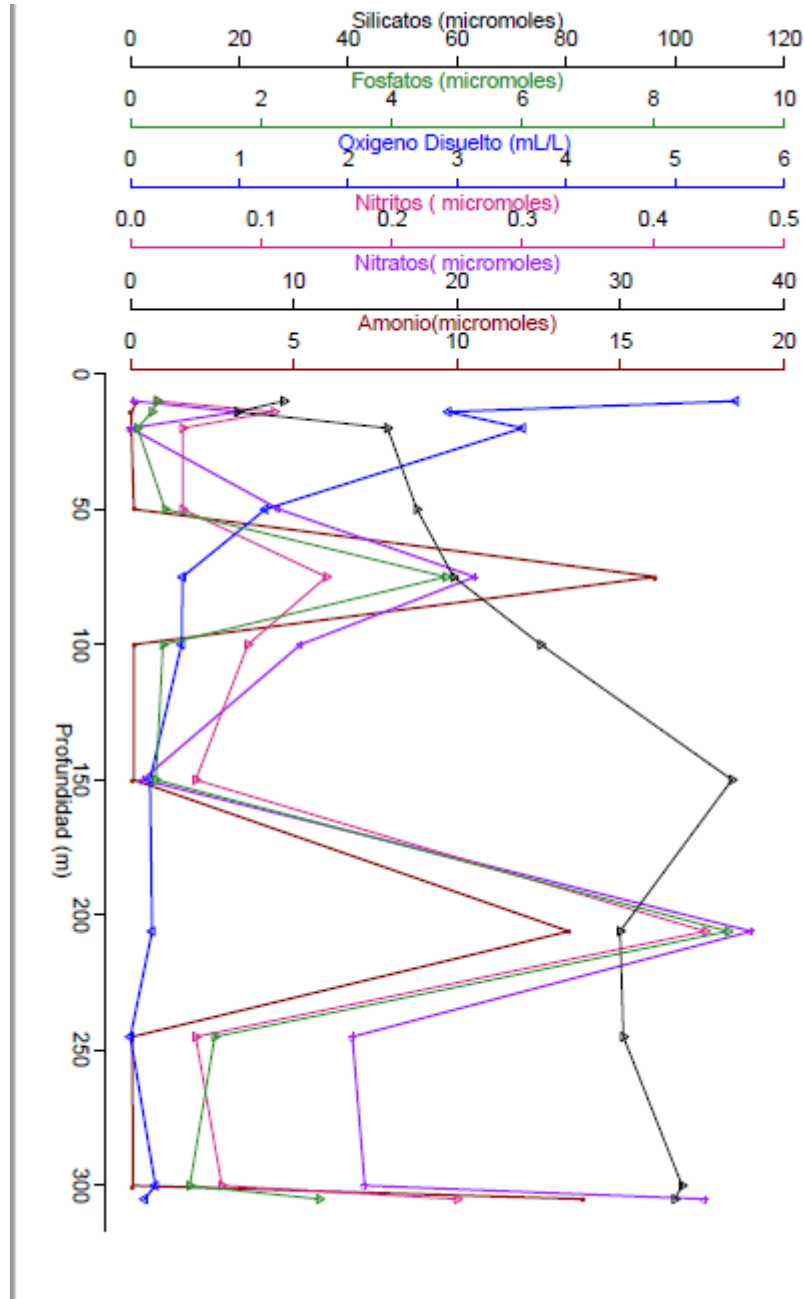


Figura 2.17. Datos de nutrientes y OD de la Estación 18.

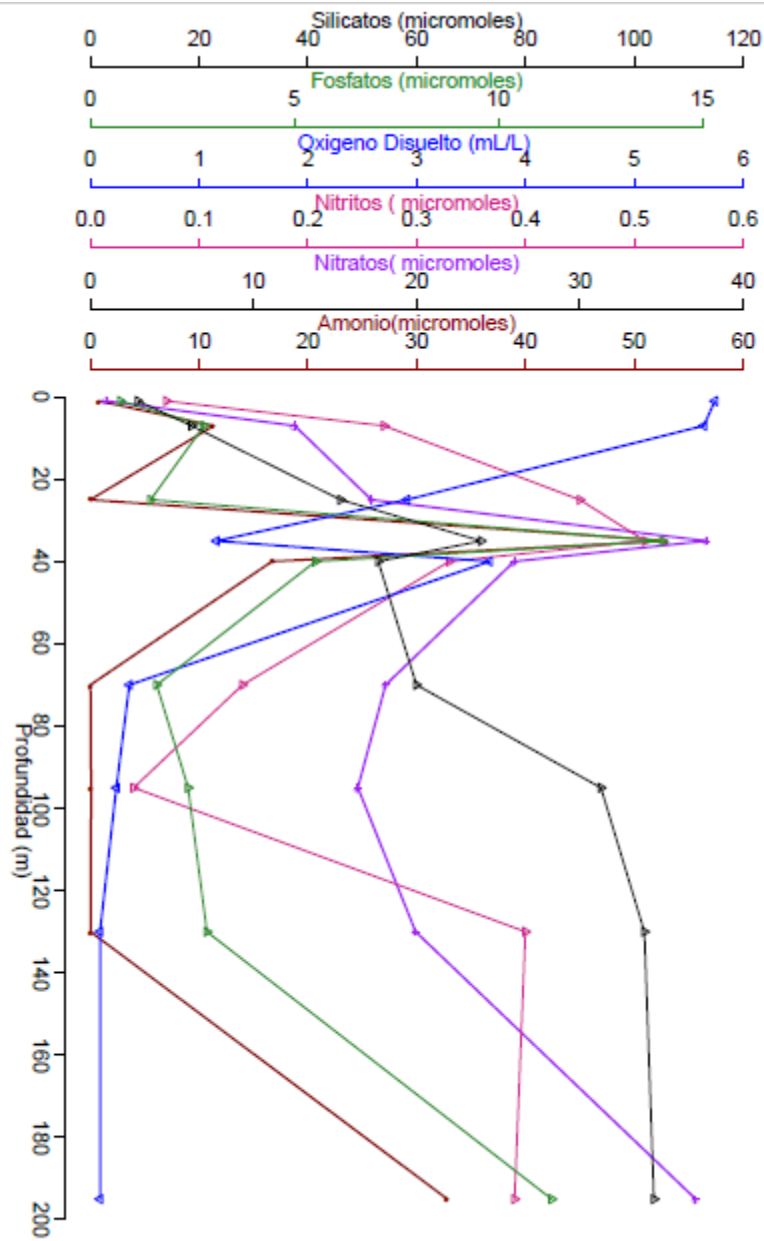


Figura 2.18. Datos de nutrientes y OD de la Estación 19.

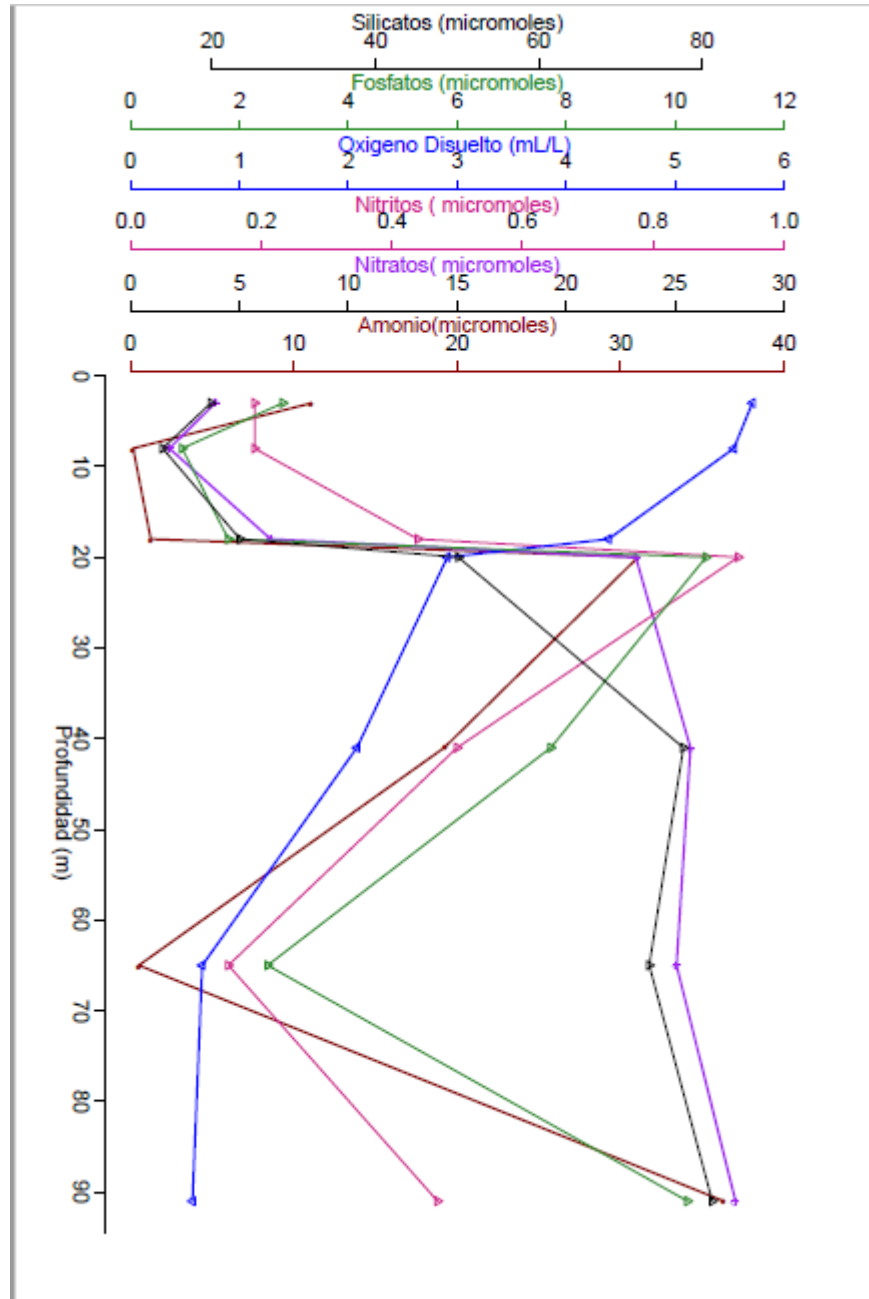


Figura 2.19. Datos de nutrientes y OD de la Estación 20.

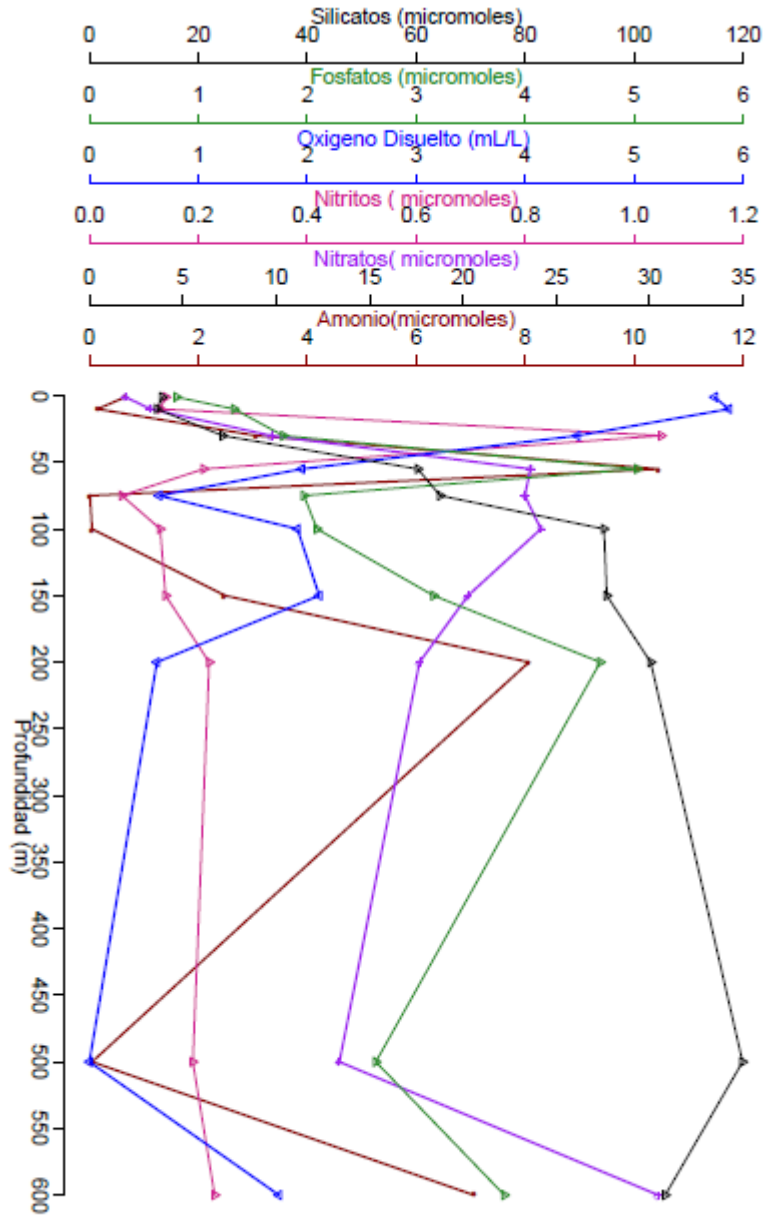


Figura 2.20. Datos de nutrientes y OD de la Estación 21.

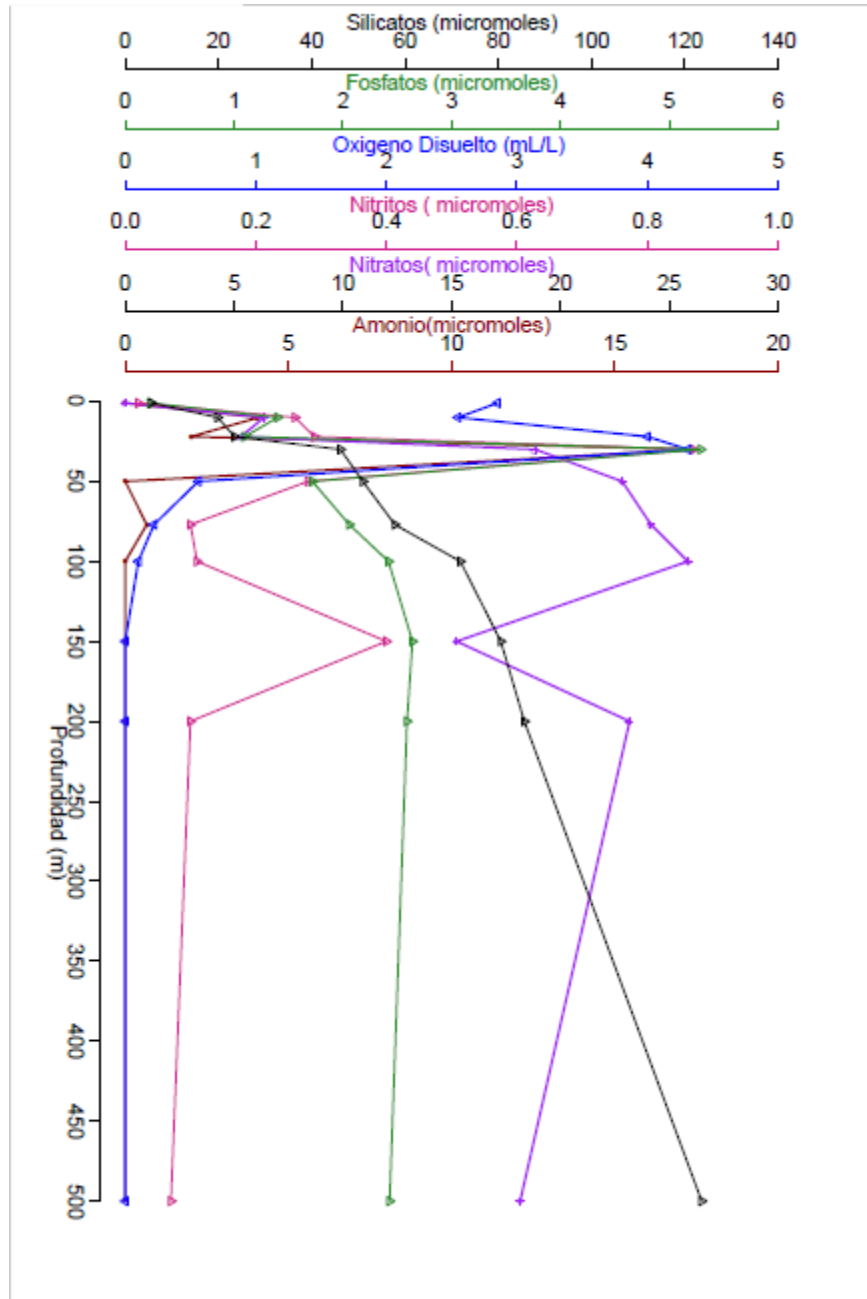


Figura 2.21. Datos de nutrientes y OD de la Estación 22.

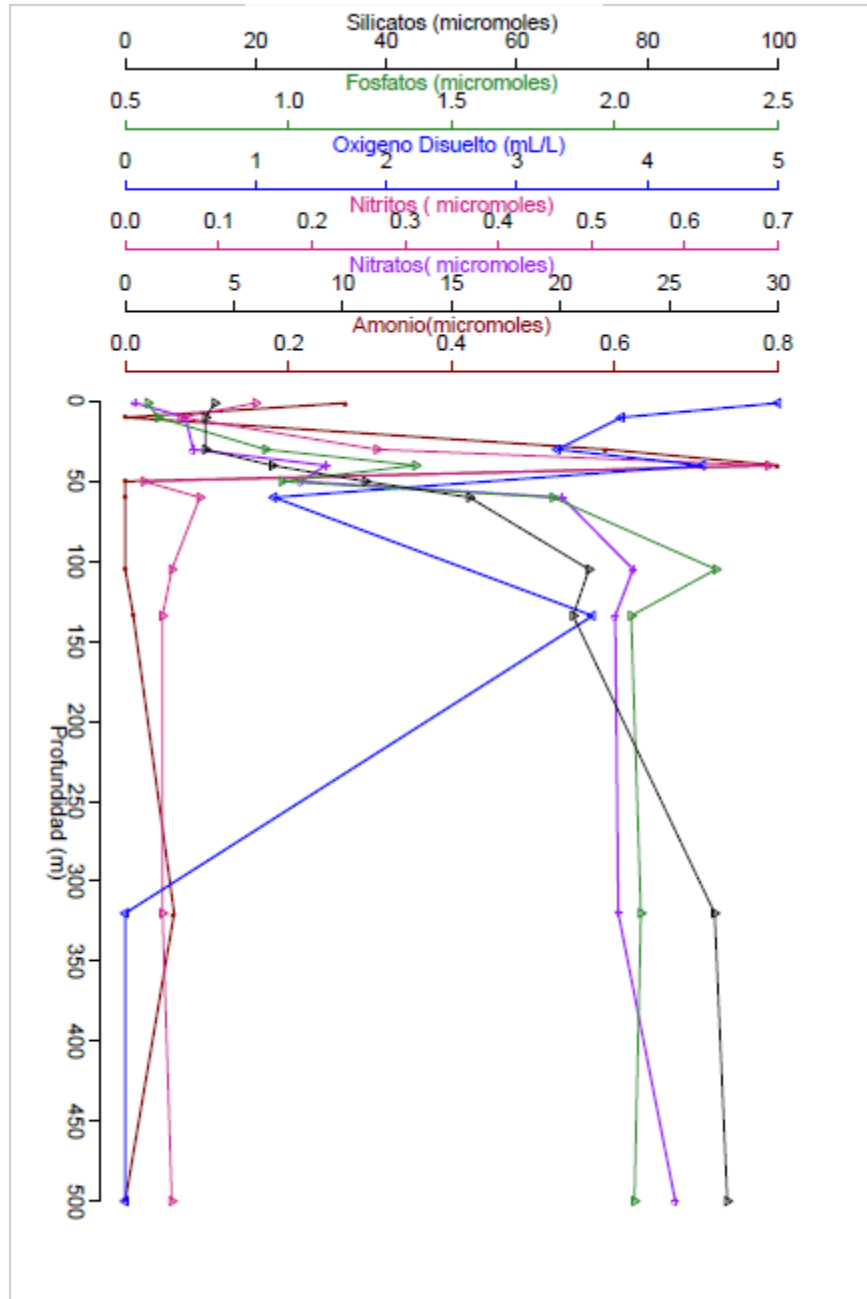


Figura 2.22. Datos de nutrientes y OD de la Estación 23.

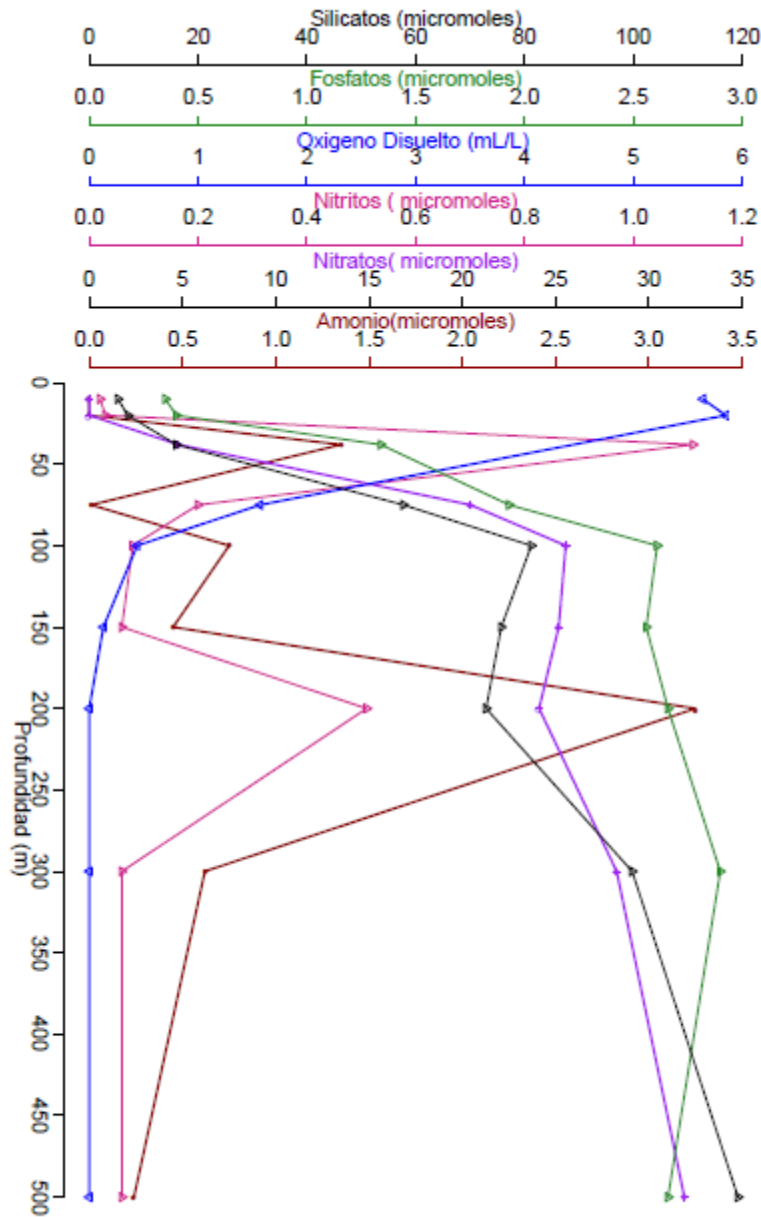


Figura 2.23. Datos de nutrientes y OD de la Estación 24.

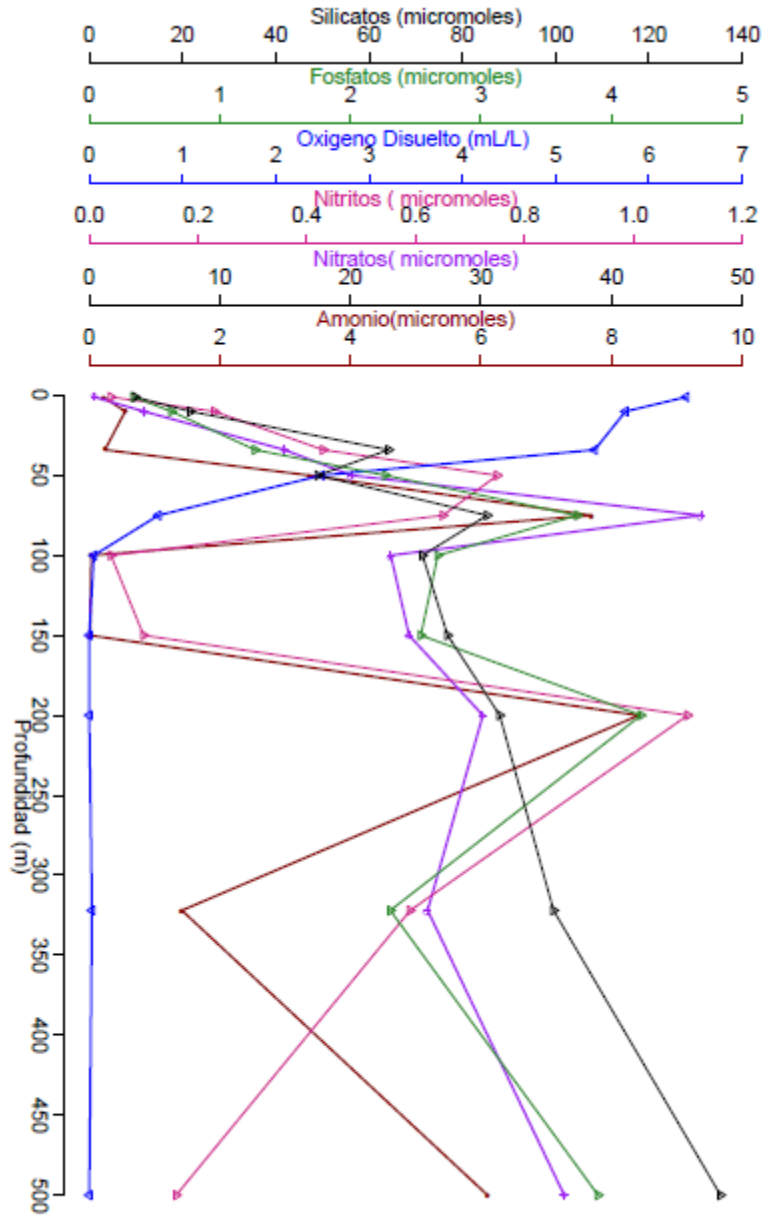


Figura 2.24. Datos de nutrientes y OD de la Estación 25.

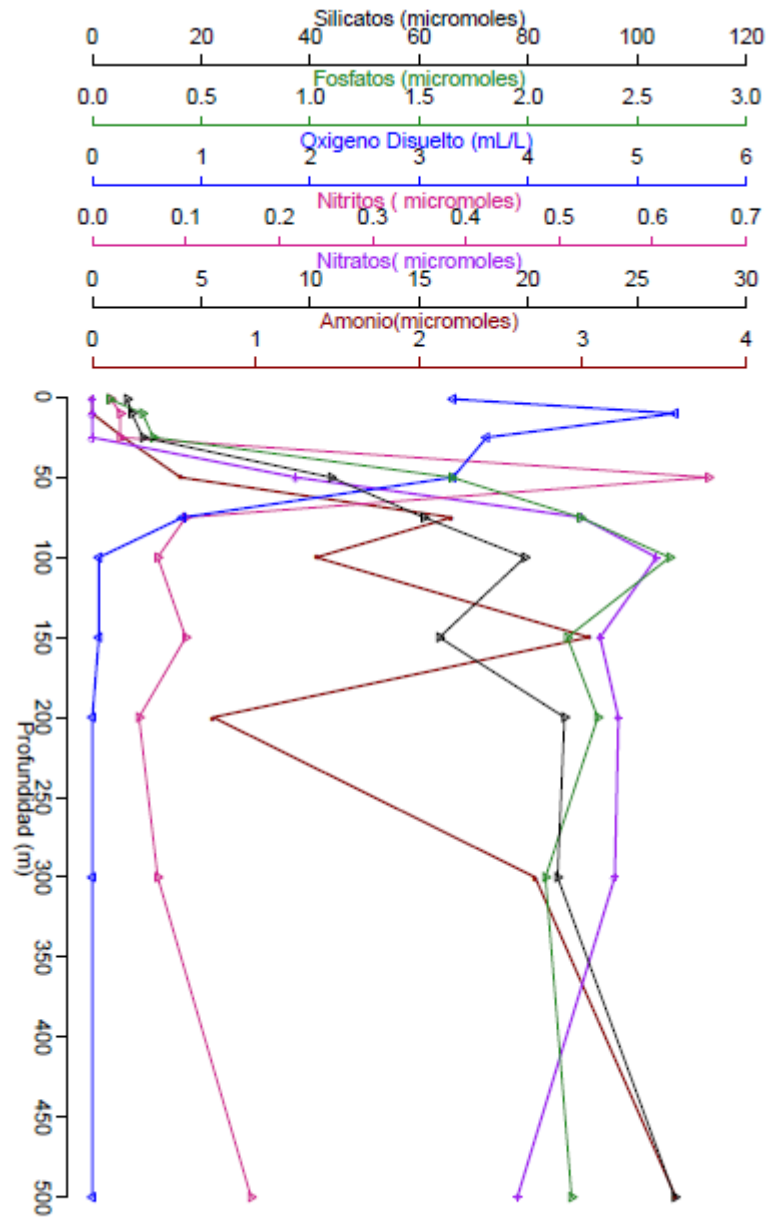


Figura 2.25. Datos de nutrientes y OD de la Estación 26.

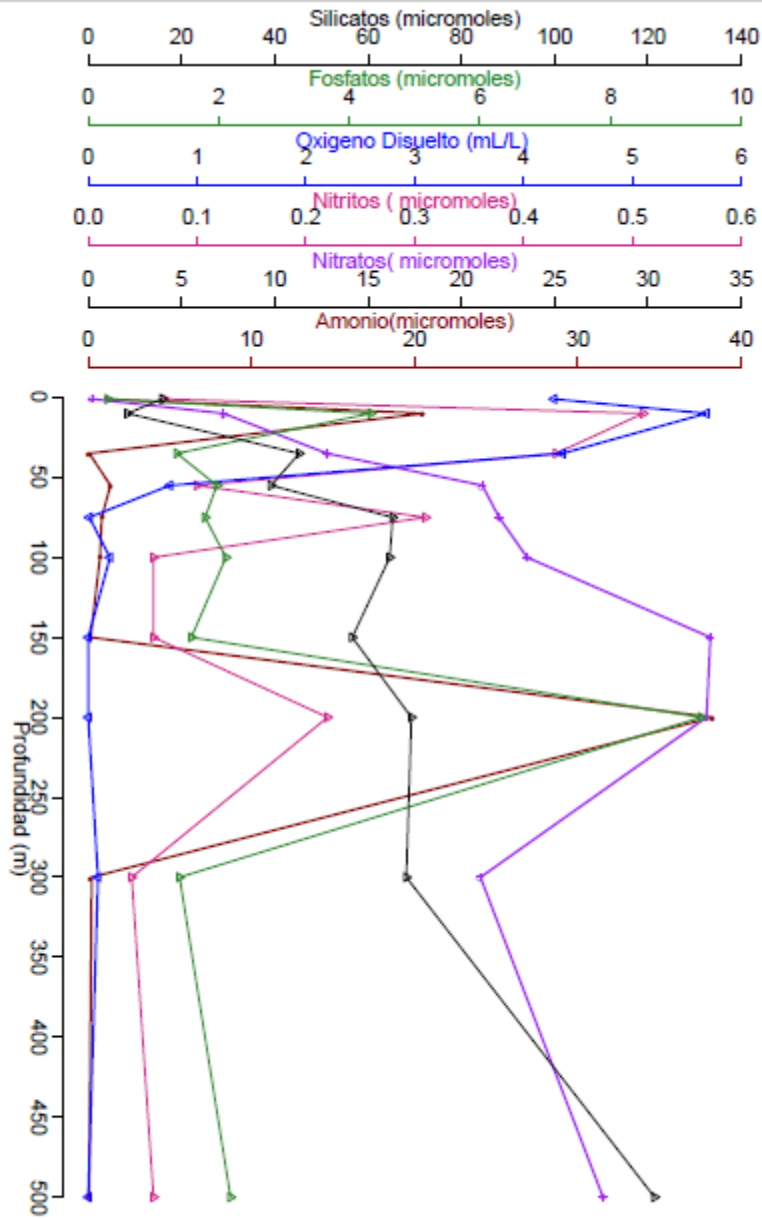


Figura 2.26. Datos de nutrientes y OD de la Estación 27.

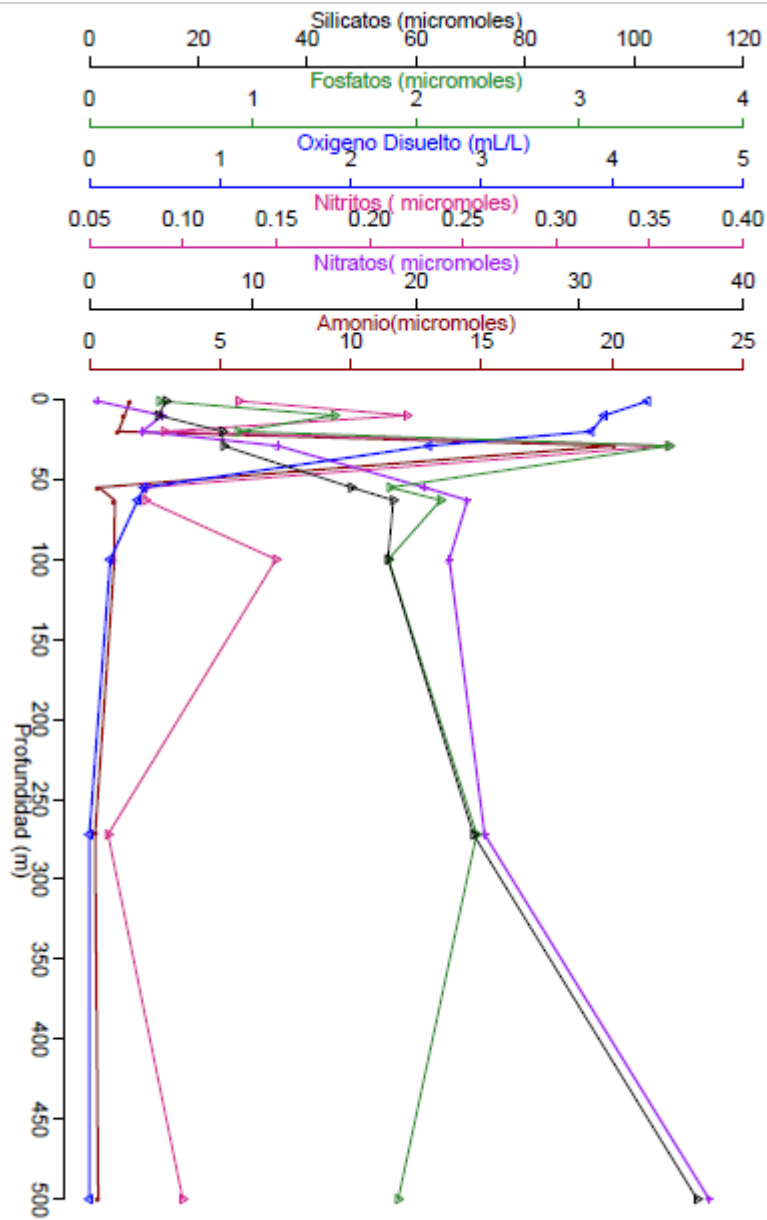


Figura 2.27. Datos de nutrientes y OD de la Estación 28.

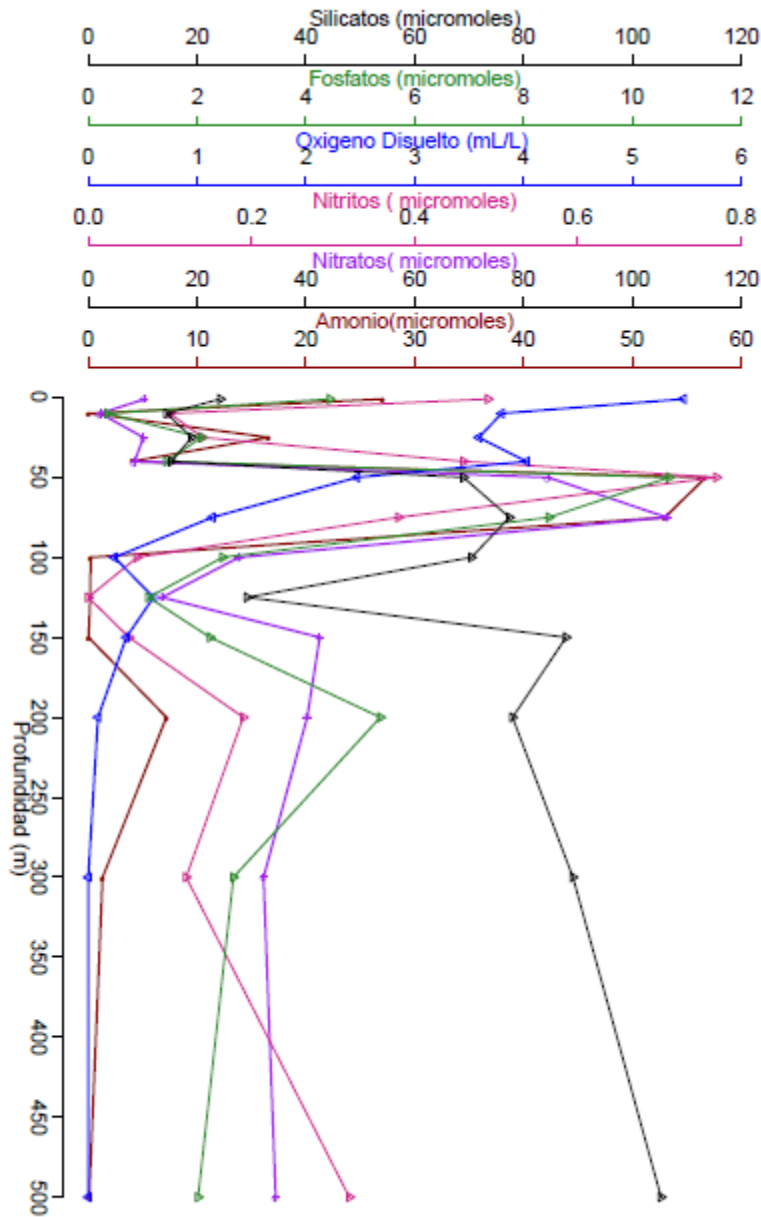


Figura 2.28. Datos de nutrientes y OD de la Estación 29.

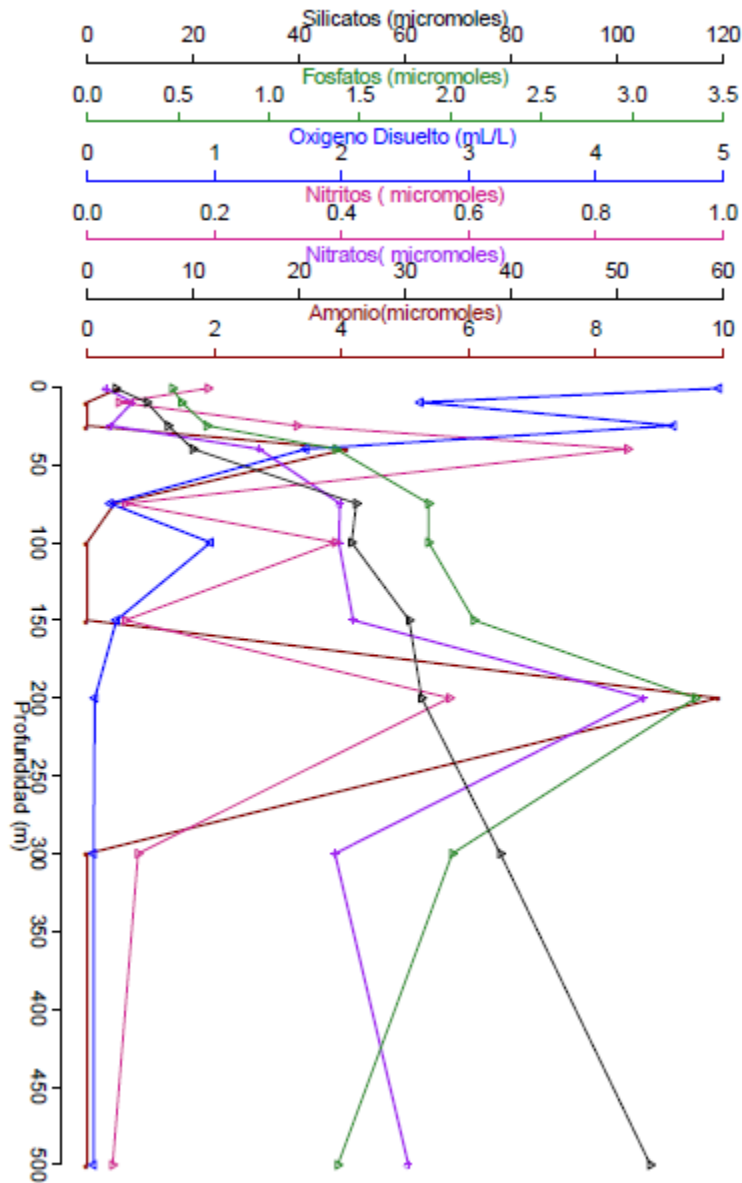


Figura 2.29. Datos de nutrientes y OD de la Estación 30.

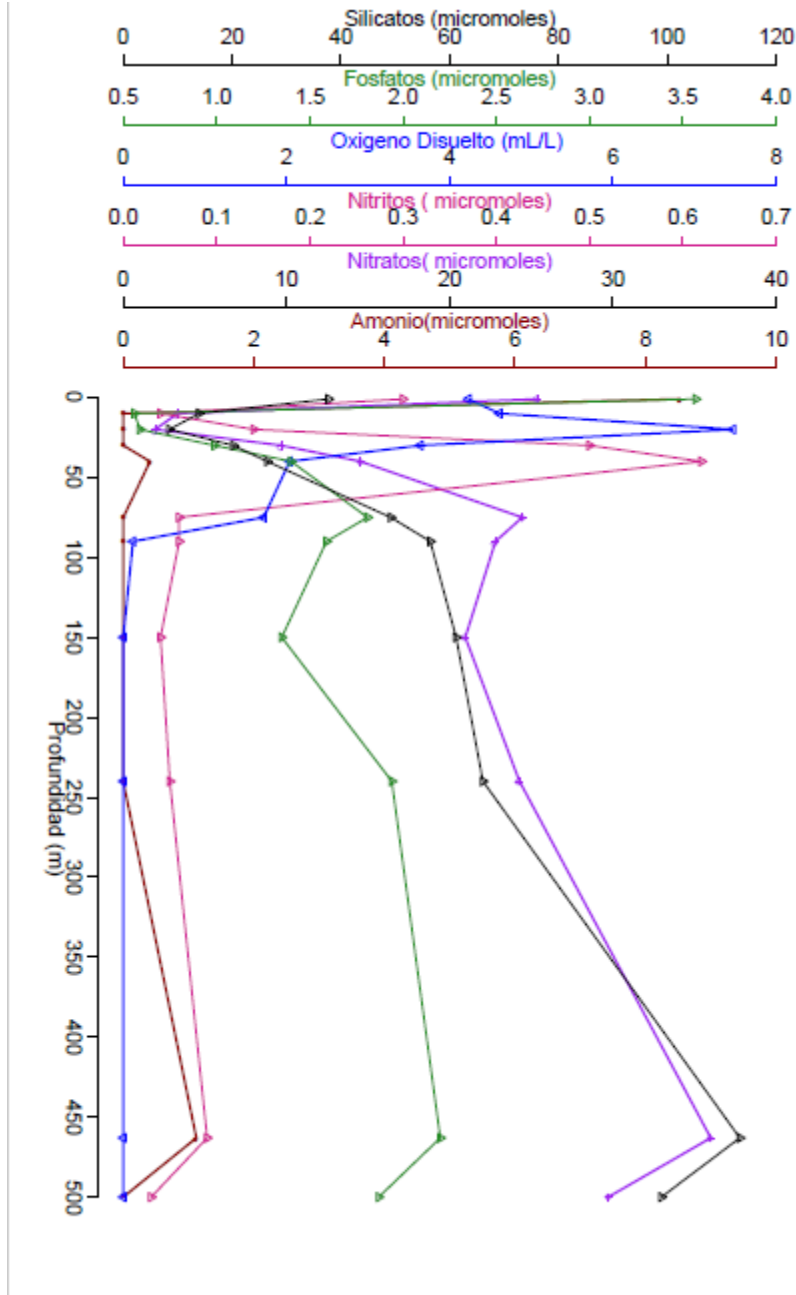


Figura 2.30. Datos de nutrientes y OD de la Estación 31.

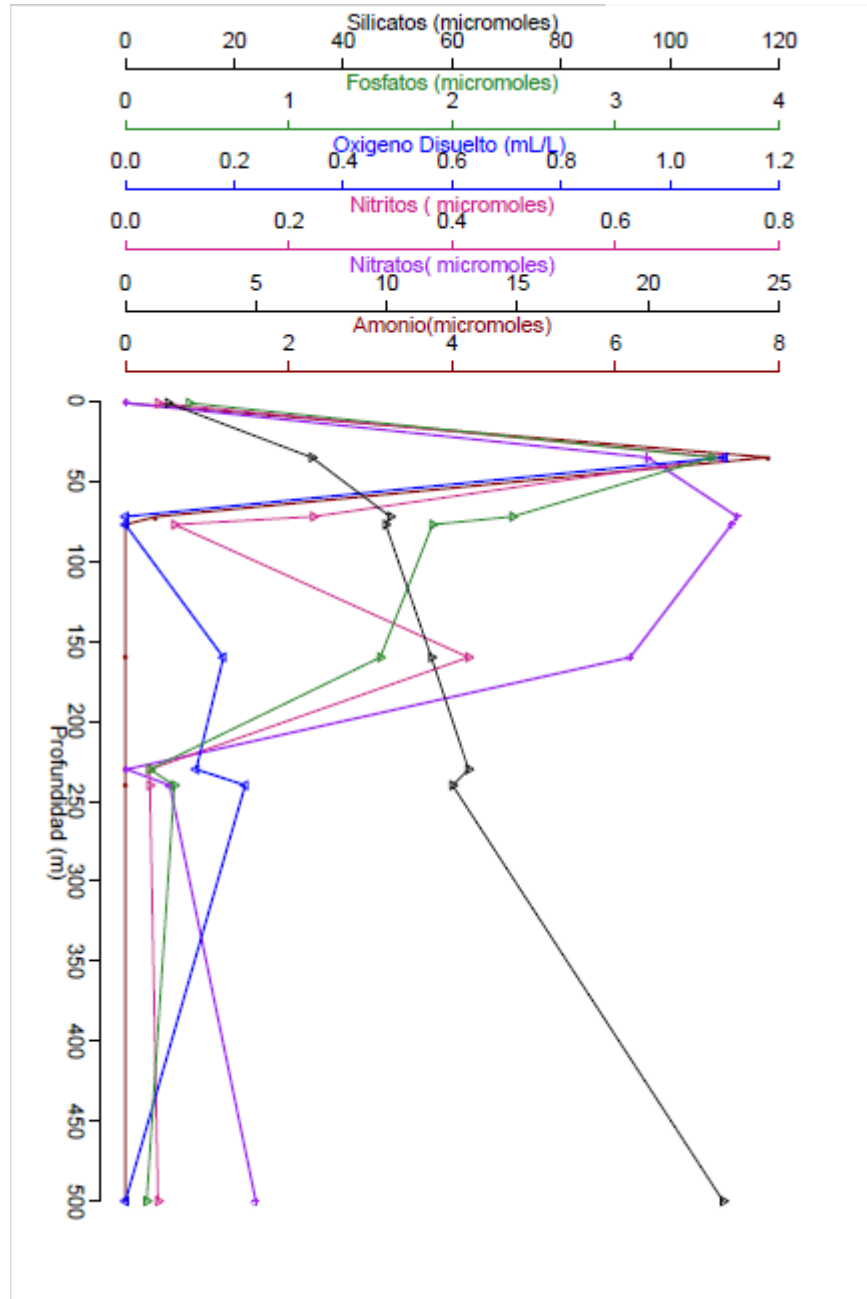


Figura 2.31. Datos de nutrientes y OD de la Estación 32.

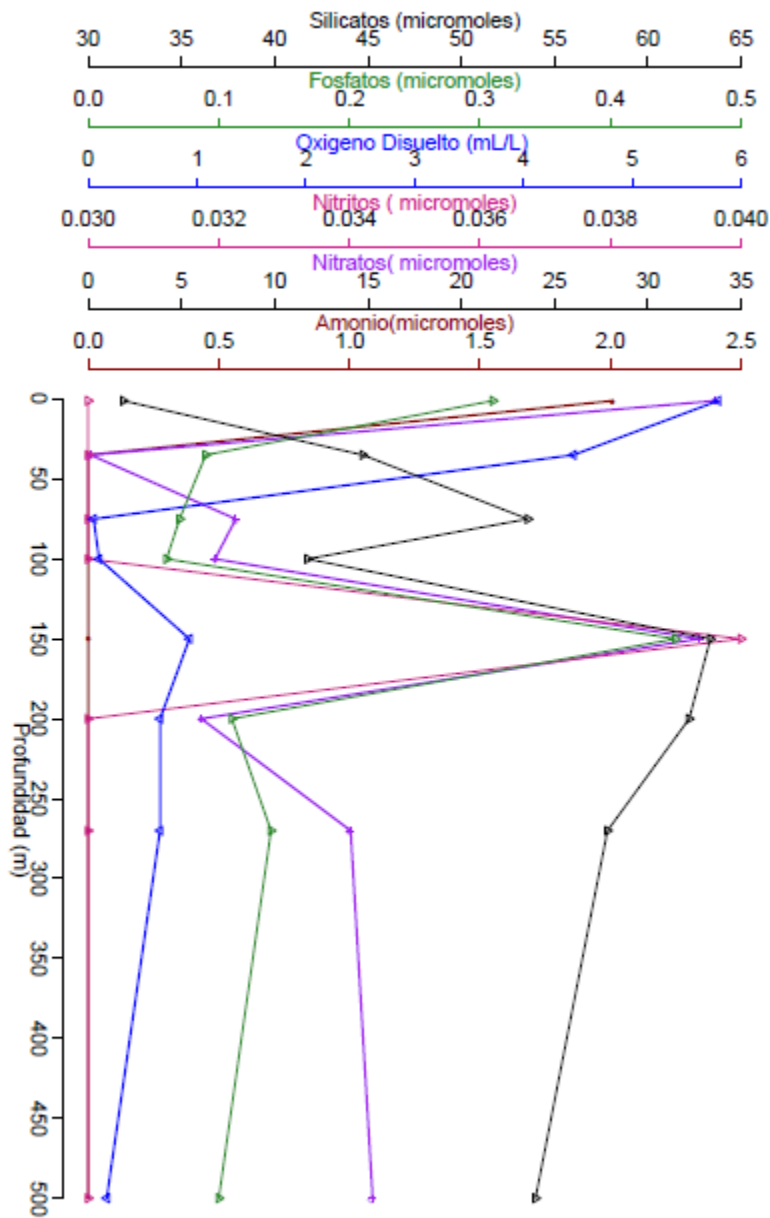


Figura 2.32. Datos de nutrientes y OD de la Estación 33.

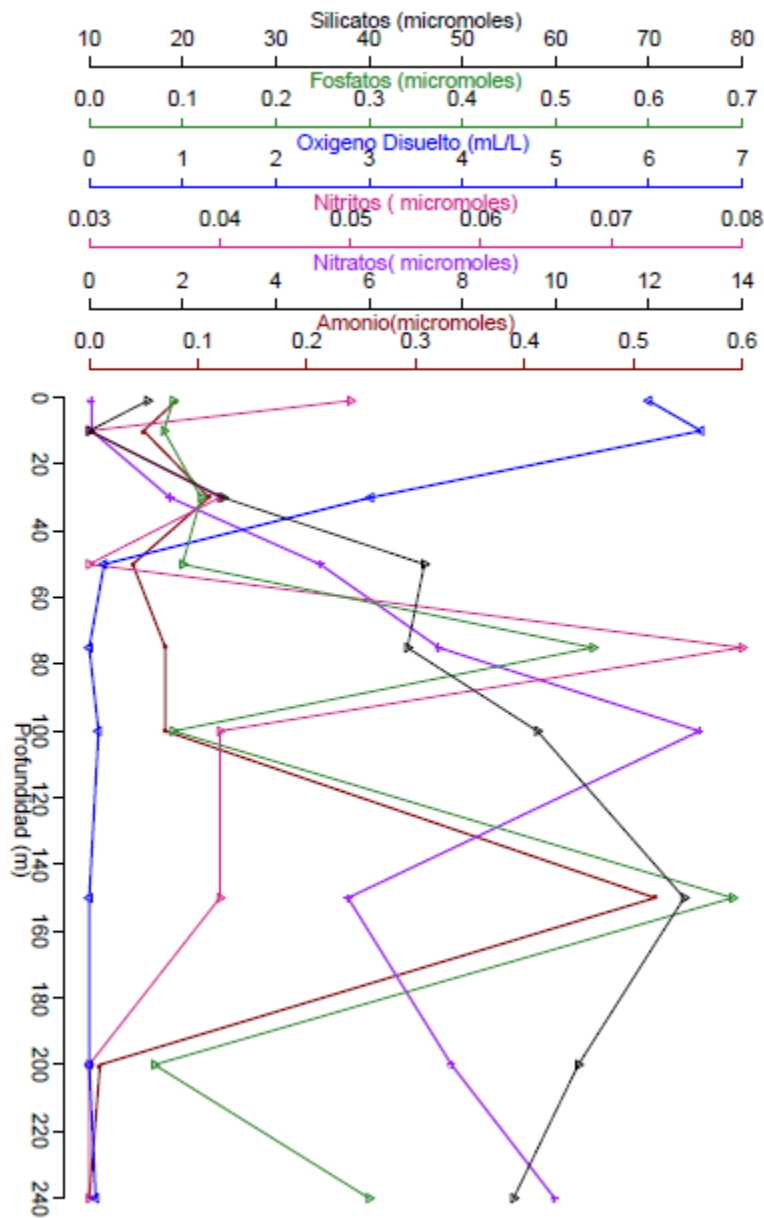


Figura 2.33. Datos de nutrientes y OD de la Estación 34.

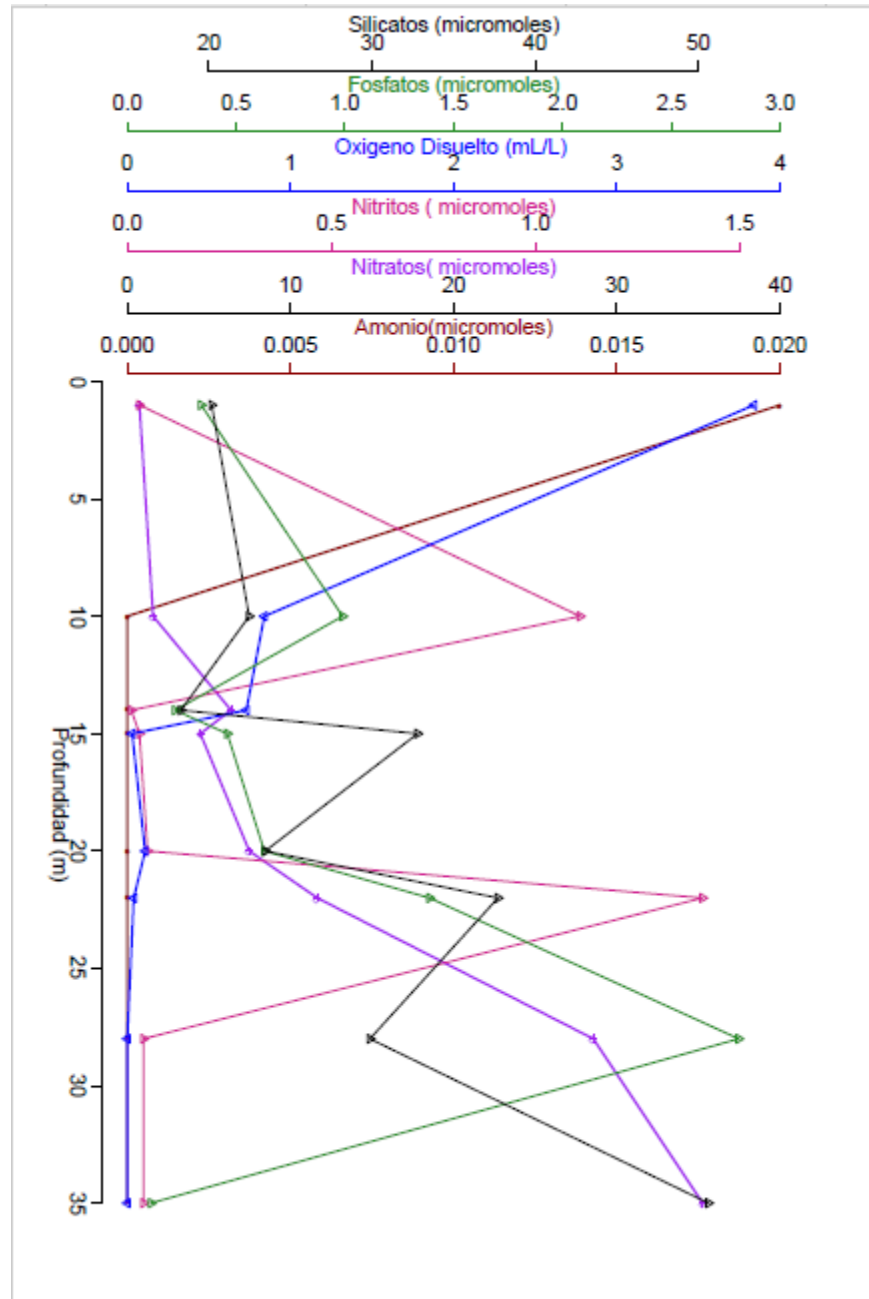


Figura 2.34. Datos de nutrientes y OD de la Estación 35.



Clorofila-a: Los resultados de ambos métodos (Fluorometría y Espectrofotometría) fueron comparados (Tabla 2.2) para establecer tendencias en los resultados.

Tabla 2.1. Concentración de clorofila-a obtenida por los métodos de Fluorometría y Espectrofotometría.

Estación	Fluorometría (mg/m ³)	Espectrofotometría (µg/L)	Estación	Fluorometría (mg/m ³)	Espectrofotometría (µg/L)
E1 (10m)	1.30	1.69	E28 (20m)	0.61	1.54
E1 (36m)	2.02	1.71	E28 (29m)	0.71	0.62
E3 (20m)	0.97	1.91	E28 (55m)	0.16	0.51
E5 (18m)	0.67	0.87	E29 (40m)	1.04	0.91
E5 (20m)	0.72	1.83	E29 (125m)	0.02	0.21
E7 (7m)	3.91	0.76	E30 (40m)	0.90	0.91
E7 (20m)	0.49	0.76	E31 (20m)	1.05	0.65
E12 (20m)	0.79	0.47	E31 (30m)	1.07	1.45
E13 (10m)	2.44	0.52	E31 (40m)	1.29	0.61
E14a (15m)	1.25	1.26	E32 (35m)	1.26	1.14
E14 (36m)	0.34	0.39	E32 (72.4m)	0.48	0.71
E18 (14m)	0.74	0.41	E32 (77m)	0.19	0.44
E18 (245m)	0.05	0.45	E32 (230m)	0.05	0.46
E19 (7m)	1.25	2.33	E33 (34.9 m)	0.91	0.66
E19 (25m)	0.65	0.83	E34 (30m)	0.16	0.32
E20 (20m)	0.45	0.68	E34 (50m)	0.77	0.67
E23 (30m)	0.80	2.08	E35 (0m)	1.72	1.34
E23 (40m)	0.76	2.09	E35 (14m)	2.20	0.32
E25 (34m)	1.20	1.42			
E27 (34m)	0.07	0.51			
E27 (55m)	0.03	0.43			
E27 (150m)	0.20	0.31			

Los resultados de la concentración de Clorofila-a obtenidos por los dos métodos utilizados (Fluorimetría y Espectrofotometría) se visualizan en la Fig. 2.35:

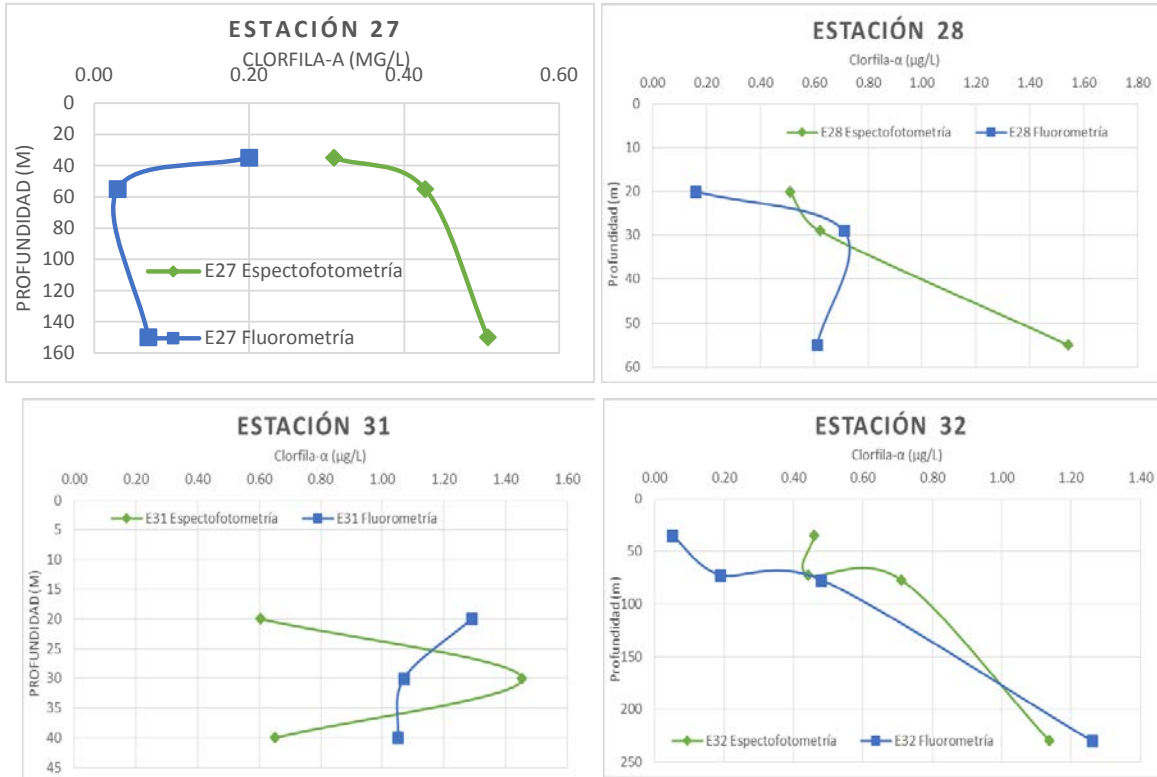


Figura 2.35. Comparación de la concentración de clorofila-a obtenida por los métodos de Fluorimetría y Espectrofotometría (Estación 27, Estación 28, Estación 31 y Estación 32).



Capítulo 3.- Geología Marina

3.1.- Introducción

El análisis geológico del área de estudio está basado en la toma de muestras de sedimentos del fondo marino a diferentes profundidades según el perfil topográfico de la cuenca que se está estudiando. Este análisis está basado en la sedimentología la cual es el estudio de los procesos de formación, transporte, depositación del material acumulado como sedimento en ambientes continentales y marinos (Nichols, 2009). Las muestras de sedimentos se obtuvieron por medio del nucleador de caja tipo Reineck (11 cajas) con un submuestreo utilizando un tubo de PVC de 1 m. de longitud (8 núcleos) obtenido de la misma caja para luego realizar su respectiva rotulación. Se realizó un análisis textural determinando el porcentaje de arena y lodo a bordo por el método volumétrico usando un tamiz de malla 4 phi (63 micras), según la tabla de Wentworth y el análisis composicional determinando el porcentaje de terrígenos y biogénicos.

Además de la procedencia de sedimentos y de la geología de la zona, se determinó la procedencia de sedimentos recientes formados principalmente por materiales biogénicos, como son los esqueletos calcáreos de foraminíferos, ostrácodos y moluscos, o esqueletos silíceos como son las diatomeas o radiolarios, entre otros.

Los alcances y objetivos específicos de Geología del presente reporte están basados en la descripción y presentación de los resultados obtenidos durante la campaña MIO-HA/2018 en el Buque Oceanográfico El Puma en el Golfo de California, para lo cual es necesario de antemano conocer la geología regional (estratigrafía) del área de Baja California Sur, puesto que parte de los sedimentos colectados tendrán como origen las rocas que hacen parte de las unidades litológicas del continente descritas a continuación.

El registro estratigráfico del área de Baja California Sur se agrupa en tres unidades que comprenden desde el Mesozoico hasta el Cenozoico y están compuestas por:

Basamento cristalino de edad cretácica cubierto por secuencias sedimentarias marinas y continentales cuya edad, según datos paleontológicos y algunas dataciones por el método K-Ar, sugieren un depósito del paleoceno al Mioceno temprano (Durán, 2016).



Según INEGI (1995), el basamento cristalino está compuesto por rocas volcánicas y sedimentarias parcialmente metamorfozadas, siendo basaltos con estructura almohadillada y alternancia de caliza, lutita, pedernal, brecha volcánica y arenisca. Según Durán (2016) las rocas ígneas intrusivas hacen parte de los Batolitos Peninsulares de edad -78 a -105 Ma. que presentan composiciones que van desde gabróicas a monzograníticas en la parte oeste y de tonalitas a granodioritas en la parte este, y se han documentado en las islas San José, Espíritu Santo, Santa Catalina, Santa Cruz y San Diego.

El Grupo Comondú se formó en un ambiente de inestabilidad tectónica en la transición entre un ambiente de subducción y uno de apertura continental (Durán, 2016). Está conformado por una secuencia vulcano sedimentaria del Mioceno-Plioceno y está constituido por riolitas, andesitas y basaltos, secuencias piroclásticas, y areniscas (INEGI, 1995).

El Cuaternario está caracterizado por arena fosilífera y conglomerados, que hacen parte de las terrazas escalonadas señalando antiguas líneas de costa. Los depósitos recientes están compuestos de material clástico de origen continental y marino, de tamaño limo, arena y grava (INEGI, 1995).

Por otro lado, se realizó la batimetría con el registro de la profundidad de las estaciones y los transectos mediante la ecosonda Monohaz EA600 instalada a bordo del B/O El Puma. El registro de la batimetría en los transectos entre estaciones tiene como finalidad obtener los perfiles acústicos del fondo marino de las estaciones indicadas en el derrotero. La obtención de dichos perfiles es de ayuda para determinar la forma y profundidad del fondo marino y así tomar decisiones al momento de enviar otros instrumentos de medida como el CTD, diseñar las calas de química, realizar los arrastres para necton y de redes para fitoplancton y zooplancton. De igual forma vislumbra el relieve producto de los procesos de dinámica interna generados por el movimiento de las placas tectónicas que se reflejan en la batimetría (Nichols, 2009), como los cañones submarinos, montículos aislados, abanicos, ventilas hidrotermales, fisuras, fallas, la plataforma continental, talud continental y la llanura abisal.

De la misma manera como es necesario determinar la batimetría para reconocer las formas en el fondo marino, los perfiles de playa son necesarios para observar la topografía de este ambiente sedimentario que refleja la dinámica costera de un área. En este caso se realizaron

tres perfiles en la isla Santa Catalina 25.67°N/ 110.76°W con la metodología de estatal, cinta métrica y nivel, y se obtuvieron también medidas con la estación total Sokkia 650x.

3.2.- Materiales y Métodos

Sedimentología: La obtención de las muestras de sedimentos de fondo marino a diferentes profundidades se realizó de acuerdo con el método planteado en el derrotero de la campaña, utilizando el nucleador de caja Reineck y un núcleo de 1m obtenido a partir del nucleador de caja. Para determinar la profundidad del muestreo se utilizó la ecosonda Monohaz EA600 para localizar la muestra según el ambiente de depositación del que se requirió la muestra.

Para realizar el lanzamiento del nucleador de caja se requieren cinco integrantes para la manipulación de los cabos y del seguro (Fig. 3.1). Al momento en que llegue al fondo se deben anotar los datos de la localización del buque. Cuando el nucleador sube a la superficie para obtener la muestra de sedimento se requiere una pala y una bolsa con la debida rotulación y, en la adquisición de la muestra del núcleo se debe tener el armazón de dicha herramienta. En el caso del nucleador de caja o del núcleo se realiza una descripción del sedimento, el color y las condiciones en que subió el muestreador. En el núcleo se describe por segmentos de profundidad.



Figura 3.1. Armado y lanzamiento de nucleador de caja.

El análisis textural define la granulometría de la muestra por medio del porcentaje volumétrico de la fracción de lodo o arena. Conociendo el volumen inicial de la muestra se procede al tamizado en húmedo de la muestra utilizando un tamiz de 4ϕ (63 micras) para separar lodos y arenas (tabla Wentworth); según el volumen obtenido con el tamiz (tamaño

arena) se relaciona con el porcentaje total de la muestra obteniendo así la clasificación arena (75%-100), arena lodosa (50% - 75%), lodo arenoso (25% - 50%) y lodo (0%-25%) de porcentaje de arena. (Fig. 3.2).

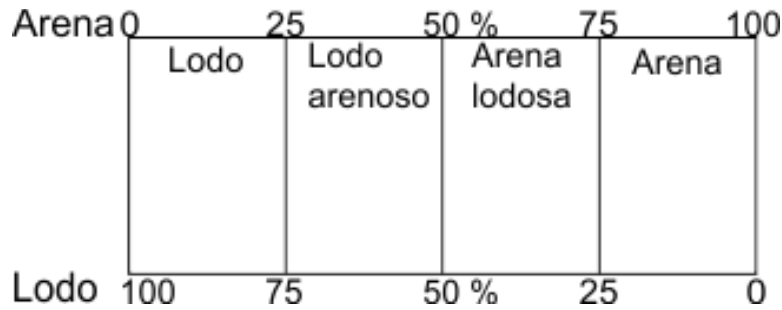


Figura 3.2. Diagrama de granulometría para análisis textural.

El análisis composicional se determina según el diagrama triangular (Folk, 1980) de componentes cuarzo - Qz, feldespato - Fsp y fragmentos de roca- Frag. Roca (Fig. 3.3). Para ello se realiza la observación por medio del microscopio obteniendo los porcentajes de cada componente principal, minerales pesados y micas, y se complementa con información como redondez, esfericidad y color del sedimento.

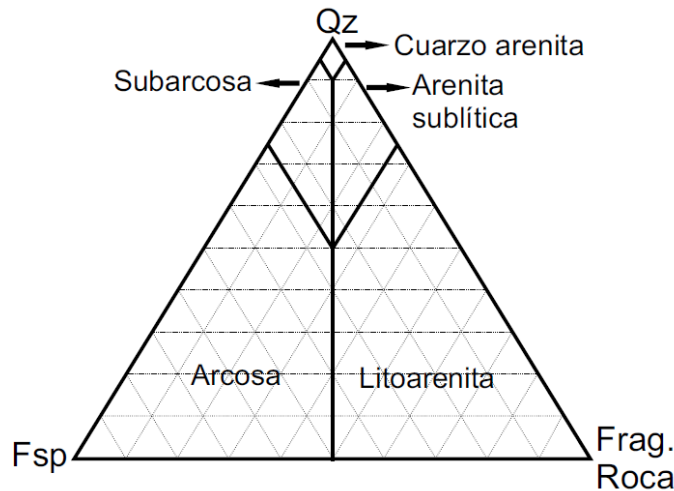


Figura 3.3. Diagrama composicional de sedimentos (Folk, 1980).

Batimetría: La actividad principal con relación a la batimetría fue el registro de la profundidad de las estaciones y los transectos mediante la ecosonda Monohaz EA600 instalada a bordo del B/O El Puma.

La ecosonda es un instrumento de medición (Fig. 3.4), que funciona a través de ondas de sonido. Se utiliza para medir la distancia existente entre la superficie del agua y el fondo marino. De la misma manera, puede transmitir información de objetos que se encuentren suspendidos o que se encuentran en el fondo del mar. El sistema de ecosonda cuenta con una pantalla que generalmente se instala en el puente de mando; en nuestro caso contamos con una pantalla en el laboratorio de física y además consta de un registrador, un transmisor, un receptor y un transductor (Ballesteros, 2010).

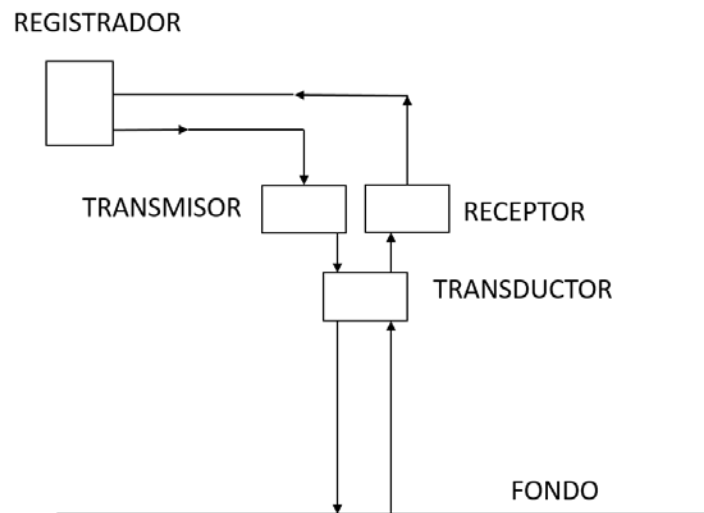


Figura 3.4. Funcionamiento de ecosonda.

El registrador hace trabajar al transmisor y este envía una señal eléctrica al transductor, que la devuelve al receptor, donde se amplifica el eco para que el registrador pueda almacenar esa información. El transductor es el responsable de convertir la energía eléctrica en acústica y viceversa. Normalmente va montado en la parte baja del casco del barco, preferentemente debe colocarse en el primer tercio de la eslora para evitar el ruido de las hélices y burbujas que se generan en la superficie cuando el buque está navegando. Desde esa posición radia cortos pulsos de sonido en el agua y recibe los ecos desde el fondo (Ballesteros, 2010).

El funcionamiento de este tipo de aparatos consiste en transmitir fuertes impulsos sonoros que se envían de un transductor para posteriormente captar y clasificar los ecos, con la finalidad de obtener el valor de las profundidades a las cuales se encuentre navegando el buque.

La ecosonda monohaz es un instrumento que genera un solo impulso acústico en donde toda la energía acústica que se transmite está confinada a un solo haz que tiene una forma parecida a un cono. Este impulso acústico llega al suelo marino y comienza a procesar información hasta llegar al registrador (Ballesteros, 2010).

La ruta marcada en el derrotero tiene las estaciones que sirven como punto de partida y final de cada transecto (Fig. 3.5). El punto de partida fue el muelle del B/O El Puma ubicada en Mazatlán, Sinaloa, continuando por el litoral Sinaloense hasta llegar a Topolobampo para posteriormente llegar a la isla Santa Catalina; la ruta se siguió extendiendo a través de la península de Baja California sur para cerrar nuevamente en Mazatlán.

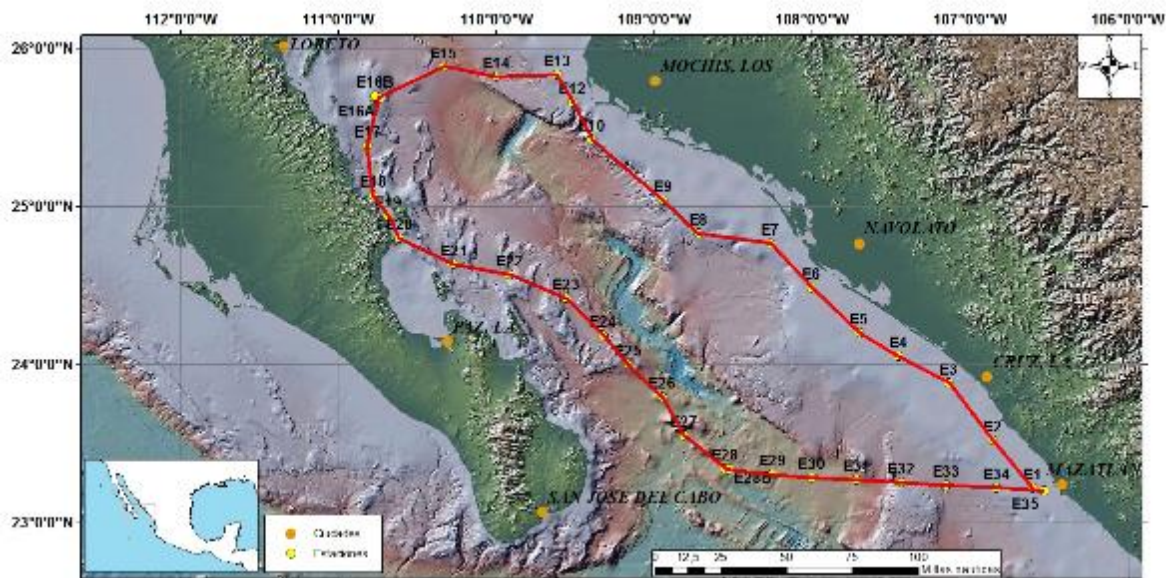


Figura 3.5. Transectos de batimetría.

Los datos necesarios para la ubicación de los perfiles batimétricos en el inicio y final de cada transecto son la fecha, hora, profundidad y durante la navegación se realizan marcas en los rasgos importantes como cañones submarinos (Fig. 3.6).

Transecto: 10– 12

Profundidad: 154.1 m

Estación de inicio: Estación 10

Coordenadas: 25° 25.314 ' N 109° 23.857 ' W

Estación final: Estación 12

Coordenadas: 25° 39.523 ' N 109° 31.063 ' W

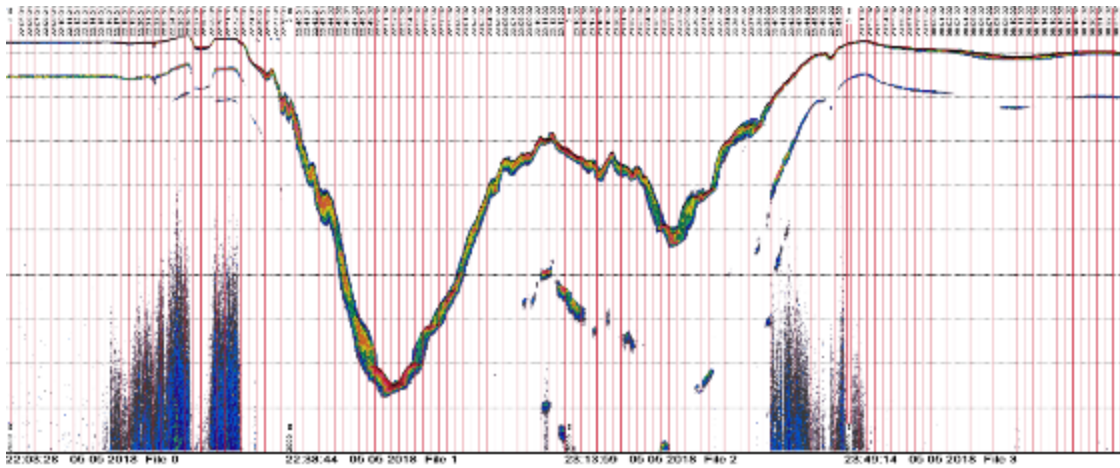


Figura 3.6. Perfil acústico Transecto 10-12, con morfología de cañones submarinos.

Entre las estaciones 27 y 28 se observaron características particulares en el fondo marino relacionadas con ventilas hidrotermales, como montículos y cambios en la densidad de los estratos, lo cual generó una reorganización del plan de campaña en esa zona para determinar un plan batimétrico de rastreo óptimo para el muestreo y posterior hallazgo de la zona de ventilas hidrotermales (Fig. 3.7).

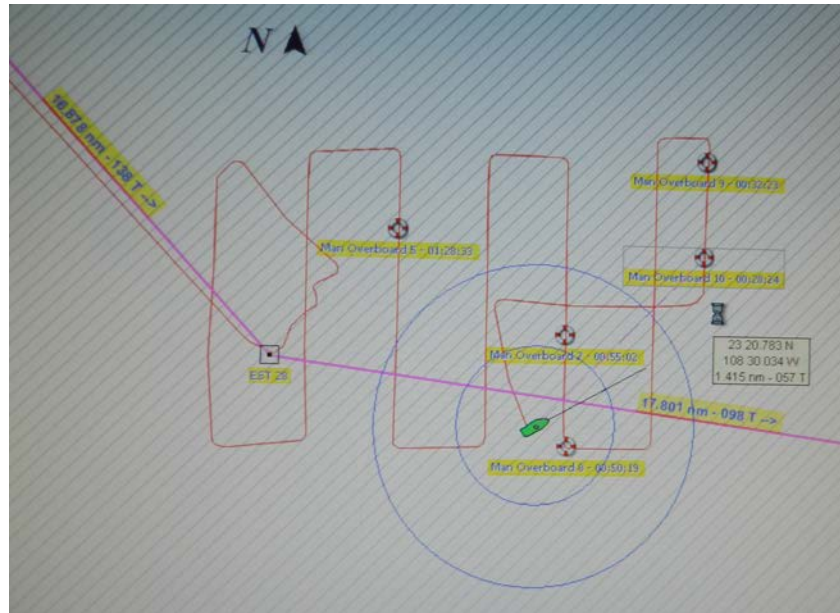


Figura 3.7. Diseño de plan batimétrico para búsqueda de zona de ventilas hidrotermales.

Perfiles de playa: Los perfiles de playa se realizaron luego de la operación anfibia de desembarque del B/O El Puma frente a la isla Santa Catalina en las coordenadas 25.67°N/ 110.76°W (Fig. 3.8).



Figura 3.8. Mapa de desembarque, operación anfibia y localización de los perfiles de playa en la isla Santa Catalina 25.67°N/ 110.76°W.



Se realizaron tres perfiles de playa del método de nivelación diferencial (Márquez-García, 2002), tomando una lectura atrás (vista al mar) y lectura adelante (vista a la isla) con el estadal y el nivel, y distancias horizontales entre los puntos visados medidas con la cinta métrica. Con las diferencias de las lecturas se determinan el desnivel, las cotas, la distancia entre puntos y la distancia gráfica, y por último obtener el perfil bidimensional de cada línea y al realizar la interpolación de los tres perfiles se obtiene el perfil tridimensional.

Otro método utilizado en el levantamiento topográfico del área fue obteniendo los datos de coordenadas y cotas por medio de la estación total Sokkia 650x, y luego interpolando los datos para obtener un mapa de contornos de alturas y un modelo tridimensional del área.

3.3.- Resultados

Sedimentología: Durante la campaña MIO-HA/2018 se realizaron 11 lanzamientos de nucleador de caja y se obtuvieron 8 núcleos de las cajas mencionadas (Tabla 3.1; Figura 3.9), con el fin de realizar la descripción de la sección estratigráfica más detallada.

Tabla 3.1. Muestreo de sedimentos

Estación	Fecha	Tipo de nucleador	
		Caja Reineck	Núcleo PVC en Caja Reineck
E7	05/05/2018	X	
E8	05/05/2018	X	X
E12	05/05/2018	X	X
E13	05/05/2018	X	
E14	06/05/2018	X	X
E18	06/05/2018	X	X
E19	06/05/2018	X	X
E20	06/05/2018	X	
E21	07/05/2018	X	X
E23	07/05/2018	X	X
E28b	08/05/2018	X	X
Total		11	8

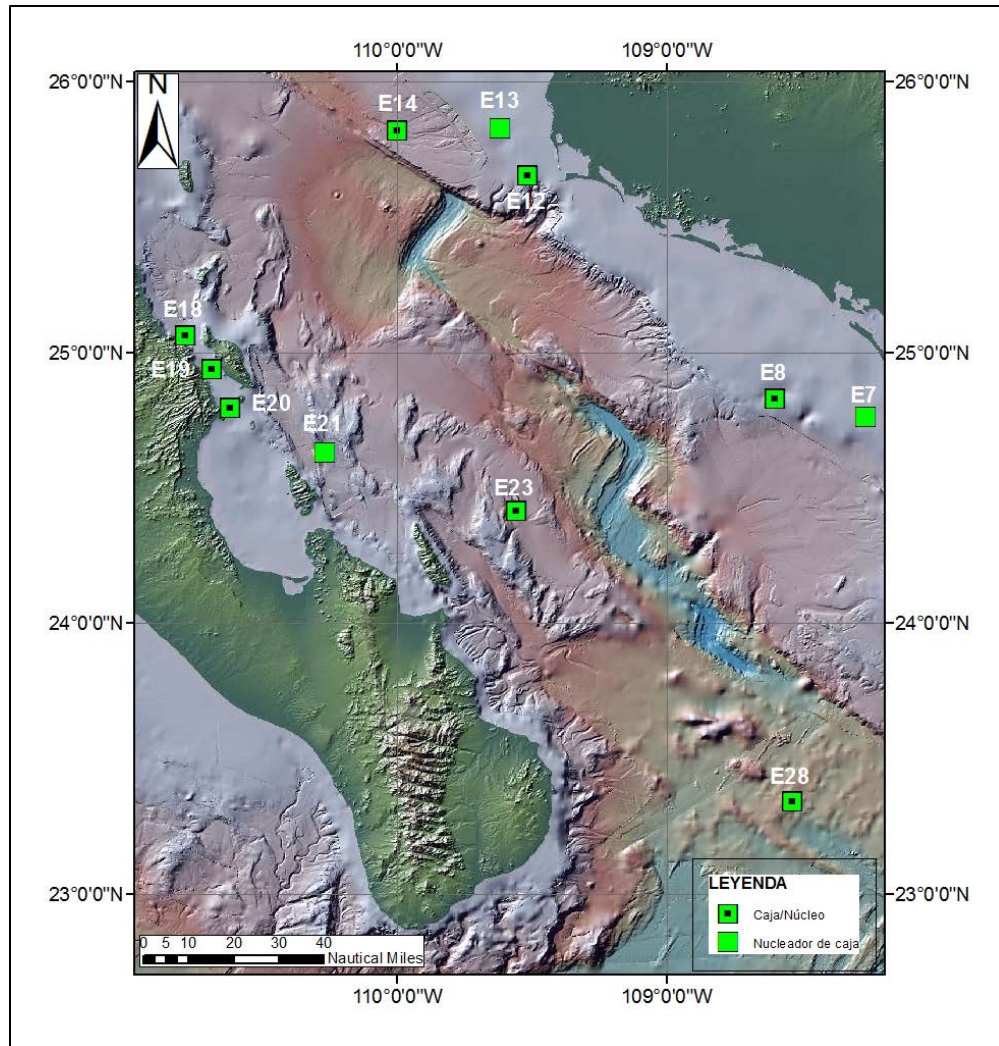


Figura 3.9. Mapa de localización de las estaciones de lanzamiento del nucleador de caja y de la obtención de muestras del núcleo.

La localización de cada estación en donde se realizó el lanzamiento del nucleador de caja se obtuvo con los datos de navegación del buque al momento de la llegada a la estación y al momento que tocó fondo del nucleador para obtener la localización y profundidad precisa del instrumento, ya que debido a las corrientes, el oleaje y el viento, el buque puede estar a la deriva y cambiar rápidamente de profundidad lo cual siempre es necesario verificar durante todo el procedimiento (Tabla 3.2).



Tabla 3.2. Localización y profundidad de llegada del buque y de fondo en el lanzamiento del nucleador de caja.

Estación	Identificador de Caja Reineck	Llegada			
		Hora	Latitud	Longitud	Profundidad (m)
E7	C1	05:53	24°45.886N	108°15.986W	57.1
E8	C2	09:10	24°49.882N	108°36.017W	666
E12	C3	17:52	25°39.523N	109°39.063W	160
E13	C4	20:01	25°49.863N	109°36.951W	97.4
E14	C5	22:44	25°41.296N	109°39.867W	1593
E18	C6	08:12	25°04.0N	110°47.0W	343
E19	C7	22:07	24°56.414N	110°41.102W	219
E20	C8	23:36	24°48.010N	110°37.027W	106.9
E21	C9	03:09	24°37.997N	110°15.948W	672.8
E23	C10	09:20	24°24.984N	109°33.518W	1517
E28b	C11	00:40	23°20.134N	108°31.398W	2538

Estación	Identificador de Caja Reineck	Fondo			
		Hora	Latitud	Longitud	Profundidad (m)
E7	C1	06:10	24°45.886N	108°15.986W	57.1
E8	C2	09:50	24°49.882N	108°36.017W	666
E12	C3	18:30	25°39.523N	109°31.063W	190
E13	C4	20:24	25°49.863N	109°36.951W	97.4
E14	C5	00:35	25°49.907N	109°59.295W	1558
E18	C6	08:27	25°04.0N	110°47.0W	343
E19	C7	22:22	24°56.414N	110°41.102W	219
E20	C8	23:40	24°48.010N	110°37.027W	106.9
E21	C9	04:04	24°38.348N	110°16.278W	694.5
E23	C10	09:59	24°24.987N	109°33.507W	1517
E28b	C11	01:32	23°20.524N	108°31.116W	2423

De cada nucleador de caja se obtuvo una muestra (en total 11 muestras del nucleador de caja) que fueron debidamente rotuladas para ser procesadas posteriormente durante la navegación, con la siguiente nomenclatura: GE7M1C1, G: Geología, E7: Estación 7, M1: Muestra 1, C1: Caja 1 (Tabla 3.3). En 8 lanzamientos de la caja Reineck se utilizó el nucleador de 1 m de longitud dentro de la caja para observar diferentes tipos de estratificación en los sedimentos. En los núcleos descritos se registraron varios estratos (en total 22 muestras de núcleo) los



cuales fueron muestreados a diferentes profundidades, y su nomenclatura se registra de la siguiente manera: GE8M1N1, G: Geología, E8: Estación 8, M1: Muestra 1, N1: Núcleo 1.

Tabla 3.3. Muestras de sedimentos obtenidos mediante un núcleo de PVC de longitud de 1m en la caja Reineck.

Estación	Caja	Muestras Caja Reineck	Núcleo PVC en caja Reineck	Muestras por núcleo PVC
E7	C1	M1	-	-
E8	C2	M2	GE8N1	5
E12	C3	M3	GE12N2	2
E13	C4	M4	-	-
E14	C5	M5	GE12N3	2
E18	C6	M6	GE18N4	3
E19	C7	M7	GE19N5	4
E20	C8	M8	-	-
E21	C9	M8	GE20N6	2
E23	C10	M10	GE23N7	2
E28b	C11	M11	GE28bN8	2
Total	11	11	8	22

El porcentaje volumétrico de cada fracción de lodo (limo + arcilla) y arena, obtenido por el tamizaje 4 ϕ permitió clasificar las muestras de acuerdo a su granulometría (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Porcentaje volumétrico de tamaño de partículas sedimentarias y clasificación de las muestras de la campaña MIO-HA/2018.

Estación	Muestra	Granulometría			Clasificación
		Grava	Arena %	Lodo %	
E7	M1	0	25	75	Lodo arenoso
E8	M2	0	10	90	Lodo
E12	M3	0	5	95	Lodo
E13	M4	10	10	80	Lodo
E14	M5	0	20	80	Lodo
E18	M6	0	10	90	Lodo
E19	M7	0	10	90	Lodo
E20	M8	0	100	0	Arena
E21	M8	0	40	60	Lodo arenoso
E23	M10	0	10	90	Lodo
E28b	M11	0	30	70	Lodo arenoso



El análisis textural de las muestras del nucleador de caja da como resultado de granulometría desde arena hasta lodo (limo+arcilla), siendo la mayor parte de las muestras de textura lodosa (limo+arcilla), con porcentaje de lodo entre 60% a 90% (Fig. 3.10).

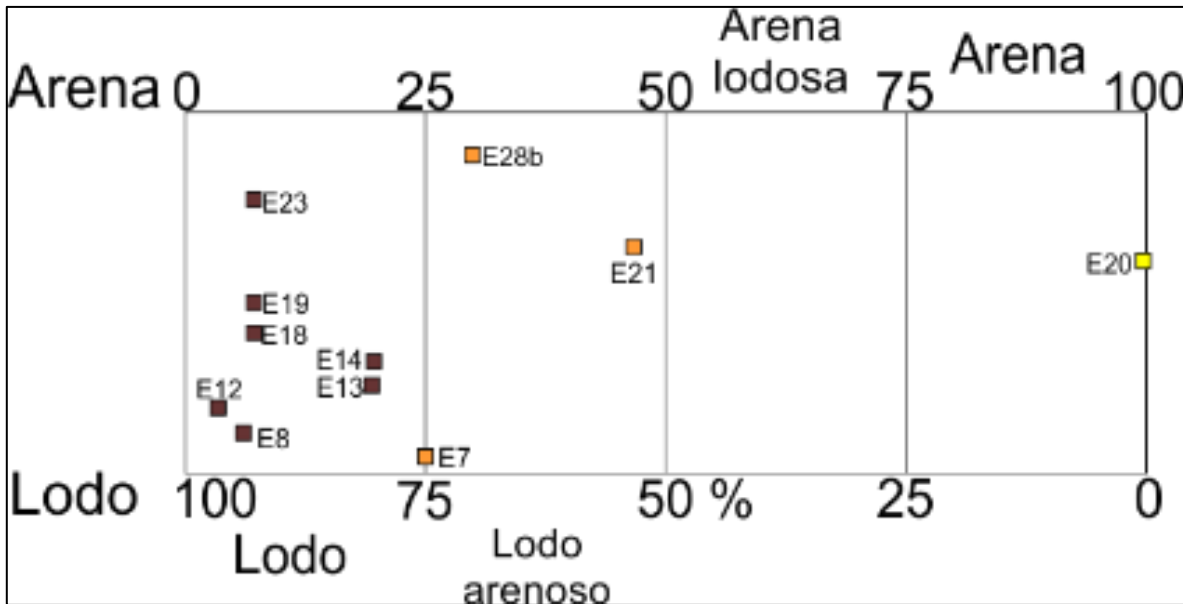


Figura 3.10. Análisis textural de las muestras de sedimentos de la campaña MIO-HA/2018.

Según la distribución del tamaño de los sedimentos en el sur de la cuenca del Golfo de California se determina que la fracción lodosa está ampliamente distribuida tanto hacia los extremos oriente en las estaciones 8, 12, 13 y 14 y al occidente en las estaciones 18,19 y 23. En la estación 20 el tamaño aumenta posiblemente por su localización en el canal de San José, el transporte de los sedimentos es menor. Las estaciones lodo arenosas (7, 21, 28) aumentan en su fracción arenosa de acuerdo al origen de los sedimentos y de su composición (Fig. 3.11).

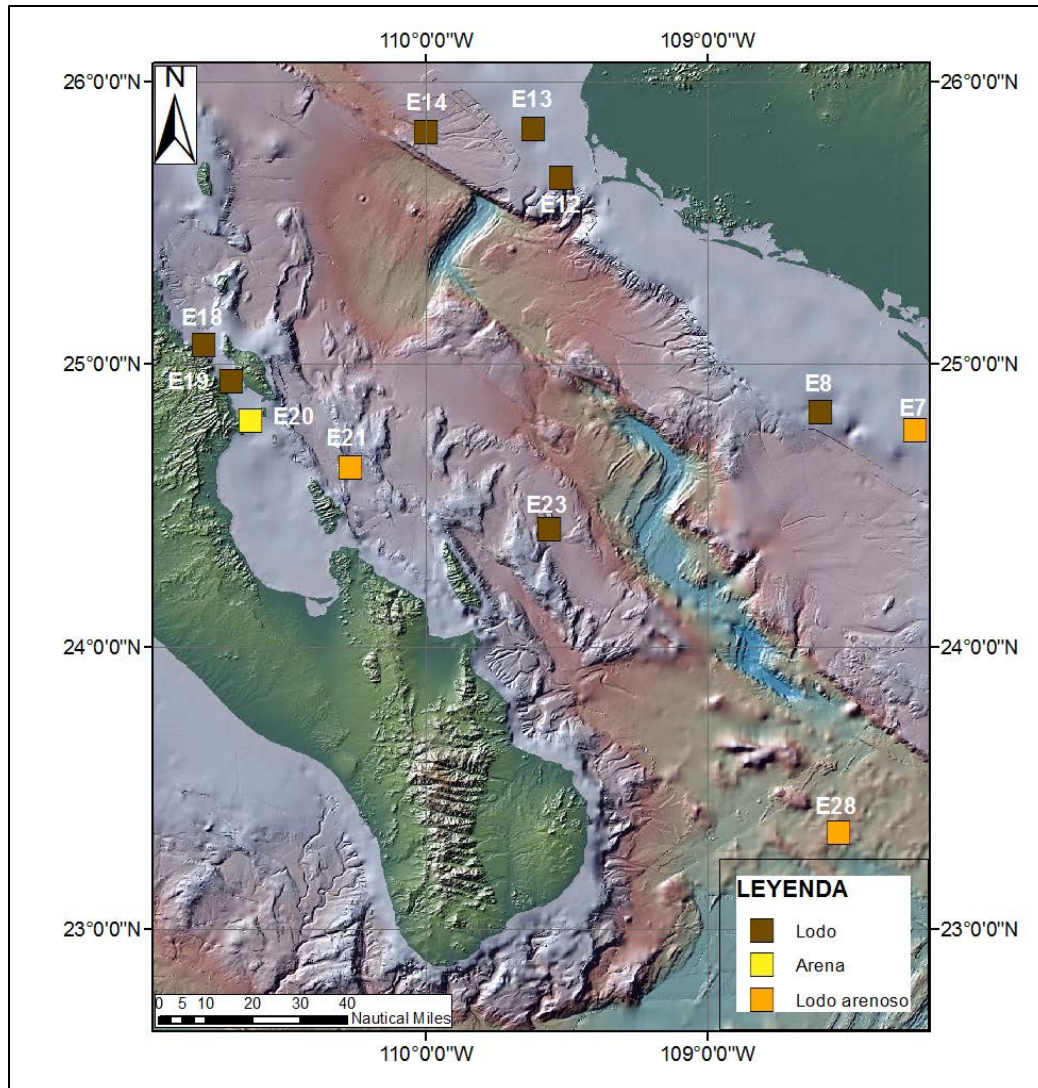


Figura 3.11. Mapa de tamaño de partículas de sedimentos de las estaciones de la campaña MIO-HA/2018.

La observación de las muestras del nucleador de caja por medio del microscopio permitió realizar la determinación de los porcentajes de los principales componentes mineralógicos como son cuarzo – Qz, feldspatos – Fsp y fragmentos de roca – Frag. Roca, igualmente de los minerales pesados y de los minerales accesorios, y así clasificar composicionalmente (Folk, 1980) (Tabla 3.5).

De acuerdo con la composición mineralógica de las muestras se obtuvieron sedimentos de origen terrígeno como son las cuarzo arenitas compuestas en más del 90% de cuarzo, las arenitas sublíticas de las estaciones 20 y 23 reflejan un aumento en la cantidad de fragmentos



de roca, en la estación 20 sucede por la localización en el canal y la proximidad a la costa. También se registran sedimentos de origen biogénico en las estaciones 14, 18 y 21, compuesto principalmente por foraminíferos, restos de conchas, diatomeas y radiolarios.

Tabla 3.5. Composición mineralógica y clasificación de los sedimentos de las muestras de la campaña MIO-HA/2018.

Estación	Muestra	Composición			Clasificación
		Qz %	Fsp %	Frag. Roca %	
E7	M1	100	0	0	Cuarzo arenita
E8	M2	100	0	0	Cuarzo arenita
E12	M3	94,32	5,68	0	Cuarzo arenita
E13	M4	100	0	0	Cuarzo arenita
E14	M5	-	-	-	Biogénico
E18	M6	-	-	-	Biogénico
E19	M7	100	0	0	Cuarzo arenita
E20	M8	80	10	10	Arenita sublítica
E21	M8	-	-	-	Biogénico
E23	M10	77,78	0	22,22	Arenita sublítica
E28b	M11	-	-	-	Vidrio volcánico

En la estación 28b, la fracción arenosa está compuesta por vidrio volcánico de color negro y posiblemente con sulfuros, de una ventila hidrotermal que se logró muestrear gracias al registro batimétrico (Fig. 3.12).

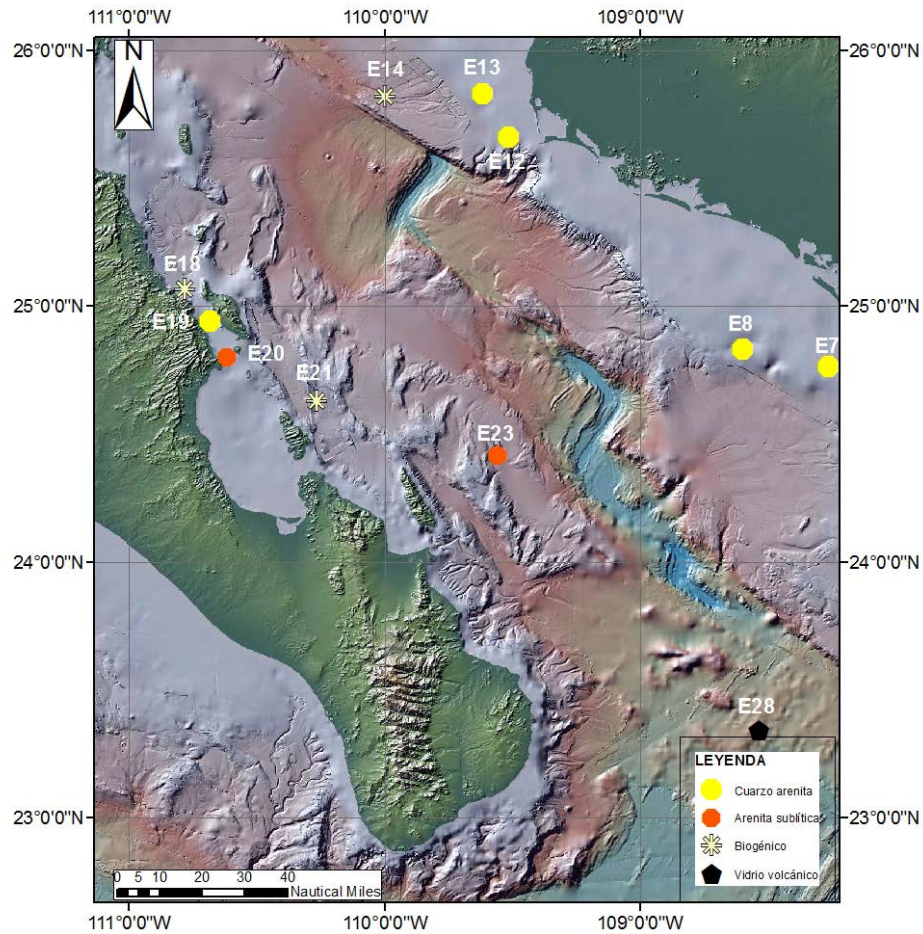


Figura 3.12. Mapa composición mineralógica de sedimentos de las estaciones de la campaña MIO-HA/2018.

Batimetría:

A continuación se muestran algunos de los perfiles batimétricos en donde se puede apreciar de mejor manera el fondo marino, siendo el perfil más importante el del transecto 27-28 debido que ahí se representan ventilas hidrotermales ubicadas en el fondo marino.

En el perfil del transecto 6-7, en el sector oriental de la cuenca, se puede apreciar un cañón submarino con una profundidad de 571 m. (Fig. 3.13).

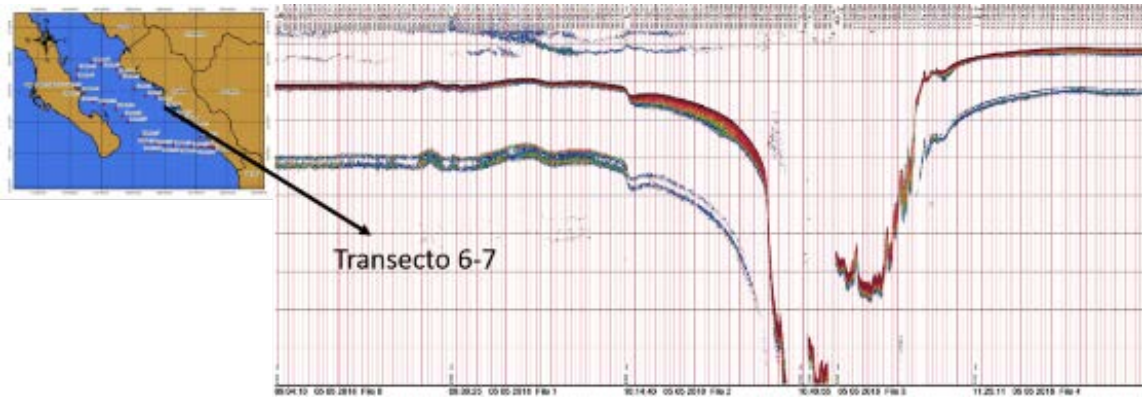


Figura 3.13. Perfil Acústico del transecto 6-7. Cañón submarino.

Se observa un perfil batimétrico con una gran variación de profundidades y se aprecia un fondo marino muy irregular (se aprecian varios cañones); este perfil acústico se registró durante el transecto de la estación 9 a la 10. Este perfil se encuentra sobre el litoral sinaloense, siendo Topolobampo el poblado más cercano (Fig. 3.14).

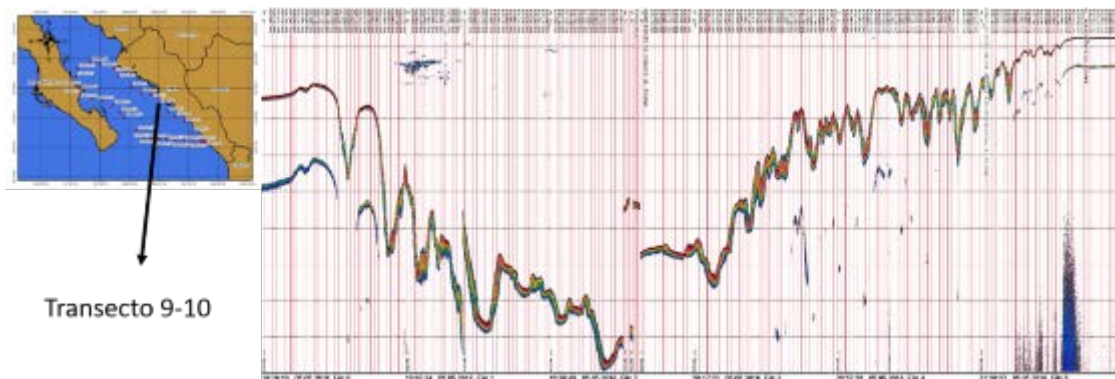


Figura 3.14. Perfil Acústico del transecto 9-10. Cañones submarinos.

Entre las estaciones 15 y 16 se presenta un cambio de profundidad, en donde la estación 16 indica la isla Santa Catalina, por lo que es apreciable que la profundidad sea menor puesto que se ubica en una zona de aguas someras por el acercamiento a la playa de la isla (Fig. 3.15).

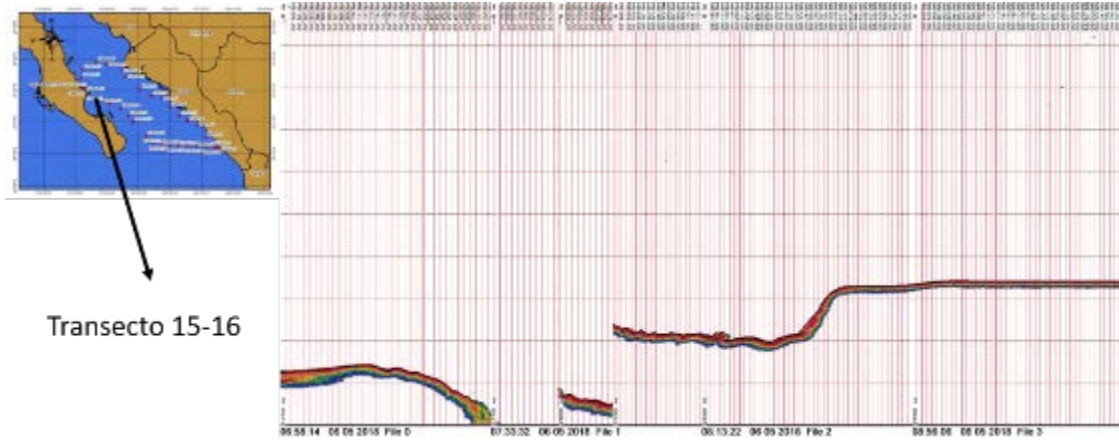


Figura 3.15. Perfil Acústico del transecto 15-16. Llegada a isla Santa Catalina.

Se muestra el perfil batimétrico del transecto de la estación 27 a la 28. Durante este transecto se inició una prospección para búsqueda de ventilas hidrotermales; durante este reconocimiento se hallaron tres posibles ventilas y también algunos montículos irregulares. Una vez localizadas las posibles ventilas se puso fin a la prospección y se eligió la ventila más significativa para muestreos de sedimentos (Fig. 3.16).

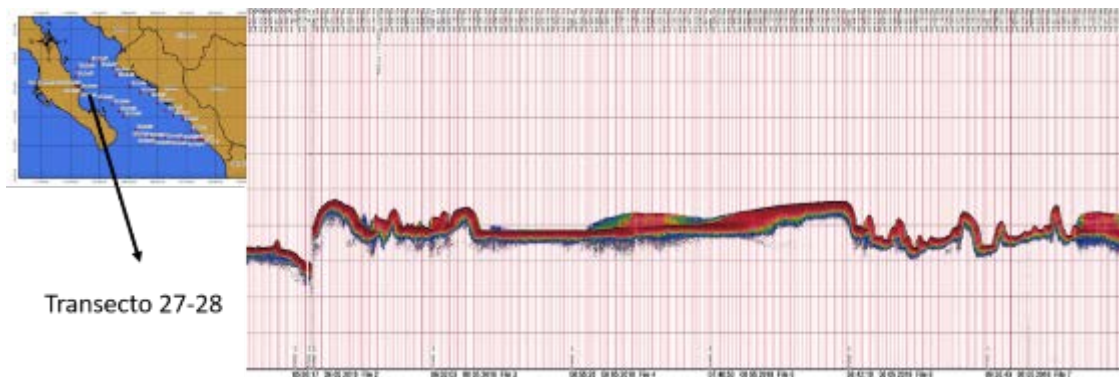


Figura 3.16. Perfil Acústico del transecto 27-28. Prospección para búsqueda de ventila.

El área de ventilas hidrotermales se determinó por las morfologías asociadas a las mismas como montículos irregulares, zona de fallas y de debilidad y cambios en la señal acústica que indican diferencias en la densidad del material de los estratos del fondo marino (Fig. 3.17).

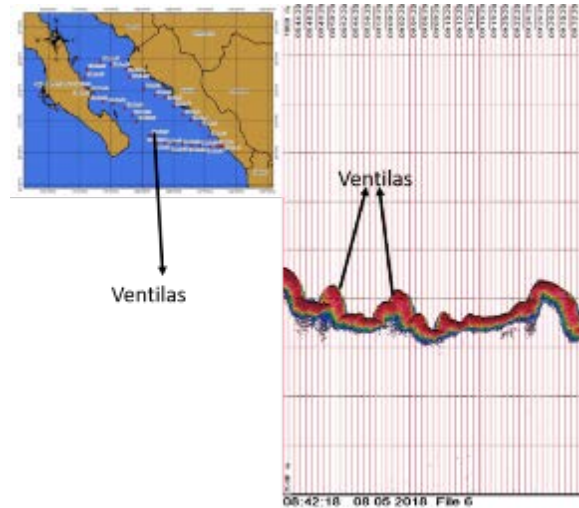


Figura 3.17. Perfil Acústico del transecto 27-18.Ventilas.

Perfiles de playa: Los tres perfiles de playa que se realizaron en la isla Santa Catalina (Fig. 3.8) ($25.67^{\circ}\text{N}/ 110.76^{\circ}\text{W}$) reflejan la topografía de la playa, mostrando procesos acumulativos en cuanto a su forma y la granulometría de los sedimentos recolectados. Los perfiles norte, centro y sur, se realizaron por medio del manejo de estadal, nivel y cinta métrica. El promedio en distancia de los perfiles es de 127 m. y la mayor altura con respecto al nivel del mar es de 7.57 hacia el norte (Fig. 3.18).

Para la topografía completa de la playa se realizó una interpolación y un mapa de contornos con los datos de los tres perfiles (Fig. 3.19).

Para complementar la topografía de los tres perfiles de playa se obtuvieron datos de coordenadas arbitrarias y cotas por medio de la estación total Sokkia 650x, de los cuales se obtuvo el mapa topográfico de la playa y la localización de los puntos de visado (Fig. 3.20), para luego generar el modelo de la playa (Fig. 3.21).

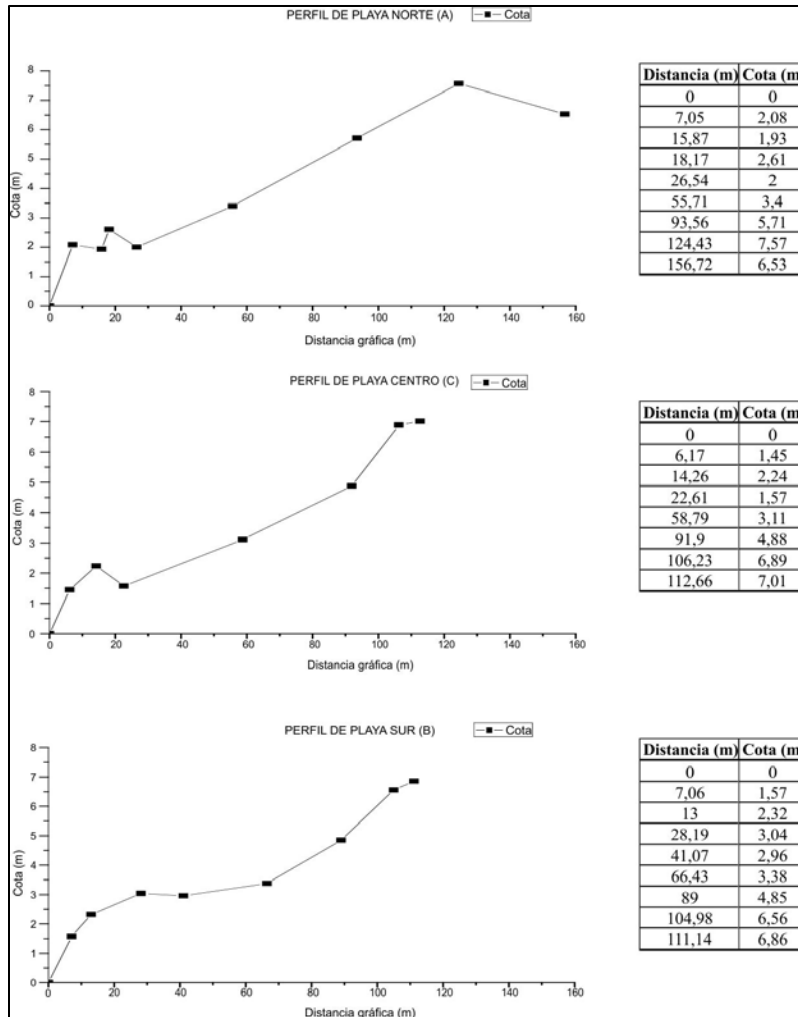


Figura 3.18. Perfiles de Playa norte (A), Playa centro (B) y Playa sur (C) en la isla Santa Catalina 25.67°N/ 110.76°W.

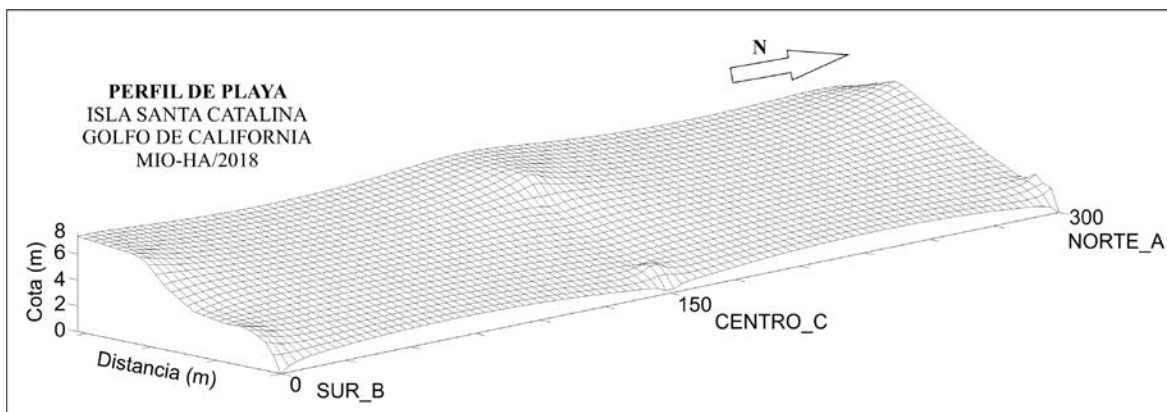


Figura 3.19. Modelo de playa por interpolación de tres perfiles en la isla Santa Catalina 25.67°N/ 110.76°W. Vista al mar hacia el este.

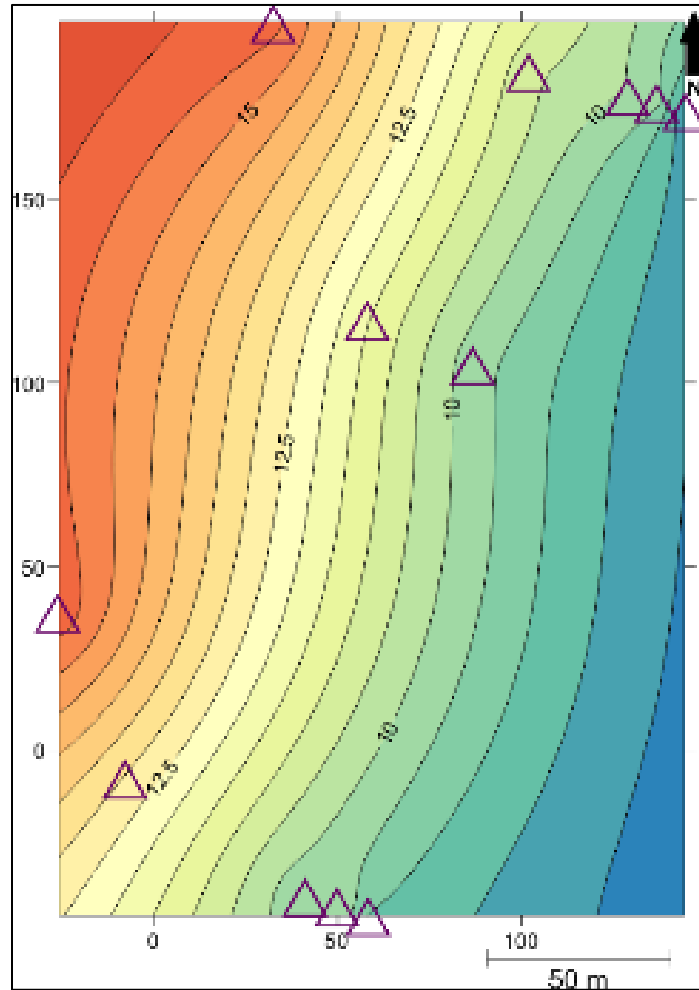


Figura 3.20. Mapa topográfico de la playa y de puntos de visado de la estación total en la isla Santa Catalina. Vista al mar hacia el este.

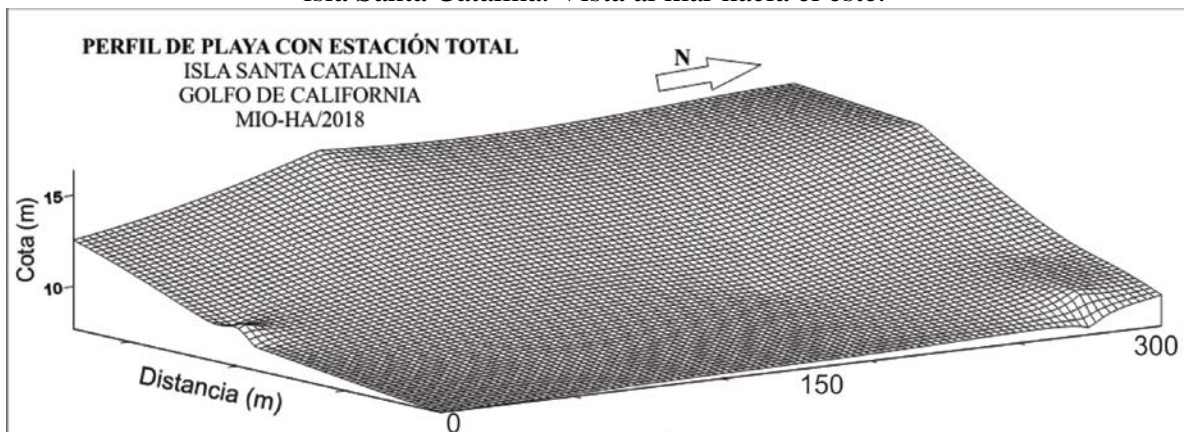


Figura 3.21. Modelo de la playa por interpolación de los puntos de visado de la estación total Sokkia 650x.



Capítulo 4.- Biología Marina

4.1.- Introducción

El análisis de la productividad primaria de los océanos y mares como el Golfo de California es importante ya que sustenta su gran diversidad marina e importancia económica. La comunidad fitoplanctónica tiene una productividad máxima en la zona subsuperficial, donde se pueden encontrar especies de diatomeas, dinoflagelados, cianofitas, clorofitas y principalmente nanoflagelados entre otras, que son influenciadas por la irradiancia, procesos de mareas y surgencias estacionales (Millán, 1993).

Dentro del Golfo de California se han descrito varias zonas oceanográficas con distintos niveles de productividad primaria, pero las zonas generales son el Alto Golfo, el norte y el archipiélago de las Grandes Islas, el cual comprende desde el delta del Río Colorado hasta el sur de las Grandes Islas, estas zonas son influenciadas por mareas principalmente. La zona del centro hasta la entrada del Golfo, tiene una dinámica que depende de los centros de presión atmosférica y el contacto directo con el Océano Pacífico. (Escalante, 2013; Petatán, 2015).

El promedio anual de clorofila-a en las regiones del norte del Golfo presentan valores de 2.63 mg m⁻³, las del centro del Golfo presentan 1.58 mg m⁻³ y finalmente el promedio en las regiones del sur es de 1.49 mg m⁻³ (Millán, 1993; Petatán, 2015).

En relación a la productividad primaria, las zonas de mayor biomasa zooplanctónica (consumidores primarios) se presenta en mayor medida en el alto Golfo de California y en algunas zonas de descarga de los principales caudales de la región, lo cual también tiene efecto en la diversidad de organismos bentónicos, en donde se encuentran gran cantidad de especies que a su vez atraen un número importante de macrovertebrados marinos como los mamíferos marinos que tienen una gran capacidad de movimiento y dispersión (Redfern et al. 2006) por lo que sus patrones de distribución son particularmente complicados para estudiar porque estos animales no ocupan el espacio de manera homogénea ni continua, y porque dicha ocupación y su abundancia cambian a través del tiempo en diferentes escalas por distintos factores de variación ambiental (Medrano González *et al.* 2008). Por ello, la ecología de los mamíferos marinos tiene el potencial de poder identificar tendencias de



deterioro en los ecosistemas marinos y advertir sobre las amenazas a la salud humana y la biodiversidad (Reddy *et al.* 2001).

4.2.- Materiales y Métodos

Fauna bentónica: Se realizaron muestreos de sedimento con el nucleador de Caja tipo Reineck, en las estaciones E7, E8, E12, E13, E14, E18, E19, E20, E23, E28. En la estación 20 no se tamizó ya que el sedimento era arena gruesa de tamaño mayor a (0.5 mm), ya que en la arena había muy pocos organismos y que 19 litros de separación rebasaban las metas del curso, por lo que se decidió descartar esta muestra. En la estación 28 se logró recolectar sedimento de una ventila hidrotermal.

Del total de volumen recogido por el nucleador en cada estación se tomaron ~20 litros de sedimento, los cuales se depositaron en una cubeta con un tamiz de 500 μ que se lavó a bordo con la ayuda de agua marina. Posteriormente la muestra se depositó en una charola para separar a los organismos que se lograron observar en el sedimento. Una vez separados los ejemplares, se depositaron en frascos para su fijación con formaldehído al 6%.

Una vez que se terminó la campaña y se llegó a puerto, se lavaron las muestras con agua para eliminar el formaldehído; una vez lavadas las muestras, el sedimento y los organismos fueron cambiados a un frasco con alcohol al 70% para su posterior análisis y separación en el laboratorio, donde posteriormente fueron agrupados y separados según formas.

4.3.- Resultados

Fauna bentónica: Se lograron separar grupos taxonómicos como Ampharetidae, Sipunculidae, Cossuridae, Nereididae, Onuphidae, Ophiuroidea, Decapoda, Foraminifera, Amphipoda, Gastropoda, Holoturia, Copepoda, Bivalvia, Cnidaria, Pennatulacea) (Tabla 4.1; Fig. 4.1 y Fig. 4.2), de los cuales los poliquetos y foraminíferos fueron los más abundantes.



Tabla 4.1. Grupos taxonómico que se presentaron en las diferentes estaciones de muestreo

Taxa	E7	E8	E12	E13	E14	E18	E19	E23
Ampharetidae	x				x		x	
Sipunculidae				x			x	x
Cossuridae			x					
Nereididae		x		x	x			x
Onuphidae	x				x			
Ophiuroidea	x	x	x				x	
Decapoda	x		x				x	
Foraminifera	x	x	x	x	x	x	x	x
Amphipoda	x			x	x			
Gastropoda	x	x						
Holoturia			x					
Copepoda		x	x				x	x
Bivalvia				x				
Cnidaria						x		
Pennatulacea						x		
Espículas de poríferos					x		x	



Figura 4.1. Grupos taxonómicos hallados en el bentos durante la campaña oceanográfica MIO-HA/2018.



Figura 4.2. Grupos taxonómicos hallados en el bentos durante la campaña oceanográfica MIO-HA/2018.



Literatura citada

- Álvarez-Borrego, S. 2012. Phytoplankton biomass and production in the Gulf of California: a review. *Botánica Marina* 55: 119-128.
- Ballesteros-Mora, L. 2010. Estudio batimétrico con ecosonda multihaz y clasificación de fondos. Catalunya, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Contreras-Catala, F., Sánchez-Velasco, L., Beier, E., y Godínez, V. M. 2015. Efectos de un remolino de mesoescala sobre la distribución de larvas de peces mesopelágicas en el Golfo de California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50(3): 575-582.
- De la Lanza Espino, G. 2004. Gran escenario de la zona costera y oceánica de México. *Ciencias*, 76:4-13.
- De la Lanza, G. 2001. Características físico-químicas de los mares de México. Instituto de Geografía y Plaza y Valdés. México. 44 pp.
- Durán-Calderón, J. 2016. Estratigrafía regional y significado tectónico del grupo Comondú en Baja California Sur, México. Tesis de maestría. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias de la Tierra.
- Emilson, I. y Alatorre, M. A. 1997. Evidencias de un remolino ciclónico de mesoescala en la parte sur del Golfo de California. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No.3, Unión Geofísica Mexicana.* pp. 173-182.
- Escalante, F., Valdez-Holguín, J. E., Álvarez-Borrego, S., y Lara-Lara, J. R. 2013. Variación temporal y espacial de temperatura superficial del mar, clorofila-a y productividad primaria en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 39(2): 203-215.
- Folk, R. 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks.* Austin, Texas, USA: Hemphill Publishing Company.
- García, E., Vidal y E. Hernández. 1988. Carta de climas, escala 1:250000 según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García. México: Sistemas de Información Geográfica.



- Márquez–García A. 2002. Topohidrografía, Cartografía y Graficación. En: Granado–Barba, A., V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (Eds.). Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 448 pp.
- Granados Barba, A., Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (Eds.). 2000. Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica. 17 Capítulos. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 448 pp.
- Hernández, M. 1989. Condiciones climáticas del Golfo de California y sus islas. Instituto de Geografía. UNAM.
- INEGI. 1995. Síntesis geográfica del estado de Baja California Sur. México. INEGI.
- Lavín, MF, R Castro, E Beier, C Cabrera, VM Godínez and A Amador-Buenrostro. 2014. Surface circulation in the Gulf of California in summer from surface drifters and satellite images (2004-2006), Journal of Geophysical Research, Oceans 119: 4278-4290.
- Lavín, M.F., Beier, E. y Badan, A. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California; Escalas estacional e interanual. Editorial Contribuciones de la Oceanografía Física en México. Monografía no. 3, pp. 141-171.
- Medrano González, L., Rosales Nanduca, H., Vázquez Cuevas, M.J., Urbán Ramírez, J., Rojas Bracho, L., Salinas Zacarías, M.A., Bourillón Moreno, L.F., Viloría Gómora, L., Peters Recagno, E.M. y Aguayo Lobo, A. 2008. Diversidad, composiciones comunitarias y estructuras poblacionales de la mastofauna marina en el Pacífico mexicano y aguas circundantes. pp 469 – 492. En: Avances en el estudio de los mamíferos de México II. Lorenzo, C., Espinoza, E. y Ortega, J. (Eds). Asociación Mexicana de Mastozoología AC. San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Millán, N. R., Cajal, M. R., Santamaría, A. E. y Millán, N. E. 1993. Productividad primaria y clorofil-a en la parte central del Golfo de California (Otoño 1987). Ciencias Marinas. 19(1): 29-40.



- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. USA: Wiley-Blackwell.
- Obeso Nieblas, M. 2003. Variabilidad espacio-temporal de las condiciones oceanográficas de la bahía de La Paz, BCS, México. Doctoral dissertation. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Peguero-Icaza, M., Sánchez-Velasco, L., Lavín, M. F. and Marinone, G. 2008. Larval fish assemblages hydrographic and circulation in the Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 30: 1-12.
- Petatán, R. D. 2015. Propuesta de zonación del Golfo de California con base en variables oceanográficas y distribución de macroinvertebrados. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Área de conocimiento de Ciencias del Mar. Departamento Académico de Biología Marina. Posgrado en Ciencias Marinas y Costeras. La Paz, B.C.S.
- Quintero, L., Agudelo, E., Quintana, Y., Cardona, S. y Osorio, A. 2010. Determinación de indicadores para la calidad del agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Gestión y ambiente*. 13 (3): 51-64.
- Reddy, M.L., Dierauf, L.A. and Gulland, F.M. D. 2001. Marine Mammals as sentinels of ocean health. pp. 3-13. In: Dierauf, L.A. y Gulland, F.M.D. (Eds). *Marine Mammals Medicine*. 2a ed. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Redfern, J.V., Ferguson, M.C., Becker, E.A., Hyrenbach, K.D., Good, C., Barlow, J., Kashner, K., Baumgartner, M.F., Forney, K.A. Balance, L.T., Fauchald, P., Halpin, T., Hamazaki, A.J., Pershing, S.S., Qian, A., Read, S.B., Reilly, L. and Torres y Werner, F. 2006. Techniques for cetacean-habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*. 310: 271- 295.
- Ripa, P. y Velázquez, G. 1993. Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California. *Geofísica Internacional* 3: 41-56.
- Romero-Centeno, R. 1995. Comportamiento de los campos hidrográficos y flujos de calor y masa en el Canal de Ballenas. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada, B.C.



- Sánchez-Velasco, L., Lavín, M. F., Peguero-Icaza, M., León Chávez, C. A., Contreras-Catala, F., Marinone, S. G., Gutiérrez-Palacios, I. V. and Godínez, V. M. 2009. Seasonal changes in larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). *Continental Shelf Research* 29: 1697- 1710.
- Servicio Geológico Mexicano. 2017. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Evolucion-tectonica-Mexico.html>. (Última revisión 27/05/2018).
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin of seawater analysis. Bulletin of the Fisheries. Research Board of Canada* 167: 1-130
- Torres-Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. División de Oceanografía. Departamento de Oceanografía Física. 80 pp.
- Wright, J. 1995. *Seawater: its composition, properties and behaviour*. Elsevier Science and Technology. United Kingdom. 168 pp.