



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias
Escuela de Biología Marina

**PROFESOR PATROCINANTE
MSC. HERNÁN PALMA FLEMING.
INSTITUTO DE QUÍMICA
FACULTAD DE CIENCIAS**

**PROFESOR CO - PATROCINANTE
DR. EDUARDO VALENZUELA FLORES.
INSTITUTO DE MICROBIOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS**

**“DETERMINACIÓN DE ÓXIDO NITROSO (N₂O),
EN LA ZONA DE FIORDOS Y CANALES AUSTRALES
DE LA XI REGIÓN DE CHILE”.**

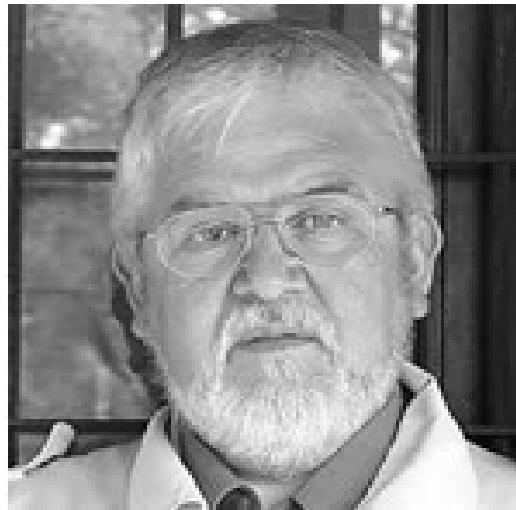
Tesis de Grado presentada como
parte de los requisitos para optar
al título de Biólogo Marino.

PAOLA ALEJANDRA MUÑOZ REYES

VALDIVIA – CHILE

2004

Al Señor Aldo Aguilera...



A quien aún recuerdo y extraño mucho. Esta tesis va dedicada con especial cariño a usted profesor por toda la confianza y apoyo que me dio en vida.

Muchas gracias por todo.-

...Paola

A mis papitos y hermanas.

*A quienes siempre tengo
presente en mi corazón.*

Los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Austral de Chile, Valdivia, a la Facultad de Ciencias, a la Escuela de Biología Marina y a la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile, proyecto DID: S – 200034, por hacer posible esta tesis. Agradezco en especial todo el personal del Instituto de Química de la Universidad Austral de Chile por integrarme a su espacio durante el tiempo que duró mi tesis.

Le dio gracias al Sr. Hernán Palma, del Instituto de Química de la Universidad Austral de Chile por toda la ayuda y apoyo que me dio como profesor patrocinante en mi tesis. Le dio gracias al Dr. Eduardo Valenzuela, del Instituto de Microbiología de la Universidad Austral de Chile por su confianza y buena voluntad en todo momento como mi profesor co – patrocinante. Quisiera dar las gracias al Sr. Joaquín Castellano del Instituto de Física de la Universidad Austral de Chile por su excelente cooperación y ayuda para el desarrollo de esta tesis.

Agradezco al Sr. Carlos Bertrán por toda su ayuda, comprensión y apoyo prestada en todo momento. De igual modo agradezco a todos los docentes que ayudaron a formar mi carrera y que de uno u otro modo estuvieron presentes durante mis años en la Universidad Austral de Chile.

Deseo agradecer a la Armada de Chile, al Comité Oceanográfico Nacional de Chile (CONA), que coordinó el crucero científico marino “Cimar – Fiordo 7”, y al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), ya que ellos hicieron posible esta investigación. Agradezco además a todo el personal científico del Centro Nacional de Datos Oceanográficos de Chile (CENDOC) perteneciente al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), a los docentes: Dr. Roberto Prado – Fiedler, Sr. Nelson Silva y Sr. Ricardo Rojas y a los Biólogos Marinos y Oceanógrafos: Dafne Guzmán, Yenny Guerrero, Julio Salcedo, Brunilda Menares y Juan Pablo Olivares, por toda su valiosa ayuda en lo más mínimo que fuera, a todos muchas gracias.

Le agradezco al Sr. Jorge Olivares de la Universidad Católica del Norte por su buena acogida y ayuda que tuvo conmigo en el momento que más lo necesitaba, ahora solo le pido a Dios que lo acompañe siempre, y desde el cielo yo sé que me va a estar apoyando igual, junto al Sr. Aldo Aguilera.

Agradezco a todos los integrantes del Programa Regional de Oceanografía Física y Clima (PROFC) de la Universidad de Concepción, en forma especial a la profesora Laura Farías y a los Biólogos Marinos y Oceanógrafos: Marcela Cornejo, Ricardo De Pol Holz y Mauricio Gallegos, por su ayuda en todo momento.

Quiero agradecer a un excelente amigo y compañero de carrera quien me ayudo en la elaboración de mi tesis, muchas gracias *Francisco Olivera*, por todo tu apoyo y buena voluntad. Igual quisiera agradecer a Myriam Velásquez por la ayuda que me dio, por su excelente disposición y carisma, le agradezco de forma sincera todo lo que hizo por mí.

Quiero darle las gracias a la señora Rosa Assef, por su excelente voluntad siempre, gracias por toda la ayuda y fuerza que me otorgó en todo momento, gracias por la buena compañía y energía positiva que proyectaba frente a cualquier dificultad.

En forma muy especial quiero agradecer a mi papito *Oswaldo* por la educación que me dio, por estar siempre a mi lado y apoyarme en todo, a mi mamita *Magdalena* también le agradezco de todo corazón la ayuda que me brindó tanto económica como espiritual, gracias por apoyarme en todo momento y darme fuerzas para seguir adelante en cualquier circunstancia. A los dos, les doy muchas gracias por su inmenso amor, cariño y confianza que han depositado siempre en mí, porque hoy puedo decir que logré mi meta, soy una profesional. A mis hermanas, solo me queda decirles, que las quiero mucho y que siempre van a estar presentes en mi corazón, *Lorena* y *Marcela* gracias por estar a mi lado siempre. Sólo me queda mencionar a una persona más de mi grupo familiar, por toda la ayuda que me dio durante mis años de estudio, Lela muchas gracias por todo.

Quisiera agradecer a una persona que fue fundamental en mi vida durante todos los años de universidad, fue una gran compañía y apoyo en todo momento, muchas gracias *Miguel Ángel Mella* por haber compartido conmigo todos esos momentos tan lindos que pasamos juntos y gracias por toda la fuerza y ayuda que me diste siempre y en todo momento.

Por último agradezco a mis amiguitas del alma, compañeras de carrera por todos esos hermosos momentos que vivimos, por toda esa magia proyectada en los momentos alegres y por el apoyo en los momentos difíciles, estos años de universidad jamás los olvidaré, gracias *Elizabeth Mansilla*, *Susana Mercado* y *Gema Pinto*.

A todos mis compañeros de carrera y amigos de universidad con los que compartí momentos muy hermosos, les deseo lo mejor del mundo, mucho éxito en todo y que Dios los acompañe siempre. Y a toda la gente que me quiere y me acompaña siempre en el lugar donde esté, a mis familiares y amigos les digo que siempre los tendré presente en mi corazón.

..."A todos aquellos que siempre creyeron en mí y me dieron apoyo y fuerzas para salir adelante en todo y poder hacer realidad mis sueños"...

Muchas Gracias.-

ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.	8
1.1.1 Objetivo General.	8
1.1.2 Objetivos Específicos.	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1 Área de Estudio.	10
2.2 Metodología.	19
2.2.1 Obtención de Muestras para la Determinación de Óxido Nitroso.	19
2.2.2 Condiciones de Operación del Análisis Cromatográfico.	21
2.2.3 Cuantificación de Óxido Nitroso.	24
2.2.4 Estimación del Porcentaje de Saturación.	29
2.2.5 Estimación de la Difusión en la Interfase Océano - Atmósfera.	30
2.2.6 Obtención de Muestras para Análisis de Nutrientes.	32
2.2.7 Determinación de Parámetros Físicos y Químicos.	33
2.2.8 Análisis de los Resultados.	35

3.	RESULTADOS	36
3.1	Concentración de Óxido Nitroso.	36
3.2	Porcentaje de Saturación de Óxido Nitroso.	44
3.3	Difusión de Óxido Nitroso.	50
3.4	Parámetros Físicos y Químicos.	57
4.	DISCUSIÓN	69
4.1	Óxido Nitroso.	69
4.2	Parámetros Físicos.	76
4.3	Parámetros Químicos.	77
5.	CONCLUSIONES	79
6.	LITERATURA CITADA	81

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS:

Tabla 1.	Estaciones muestreadas y sus respectivas profundidades.	14
Tabla 2.	Concentración de Óxido Nitroso determinado en distintas unidades.	37
Tabla 3.	Valores de Porcentaje de Saturación de Óxido Nitroso.	45
Tabla 4.	Valores de Difusión de Óxido Nitroso.	51
Tabla 5.	Valores de Parámetros Físicos y Químicos.	58

FIGURAS:

Figura 1.	Foto del buque de investigación.	10
Figura 2.	Mapa del área de investigación, período de invierno.	12
Figura 3.	Mapa del área de investigación, período de primavera.	13
Figura 4.	Tubo vacutainer utilizado en el muestreo.	20
Figura 5.	Aguja hipodérmica utilizado en el muestreo.	20
Figura 6.	Trasferencia de la muestra de agua al tubo vacutainer.	21
Figura 7.	Estándar de Óxido Nitroso.	22
Figura 8.	Recipiente de dilución para el estándar.	22
Figura 9.	Inyección del gas al cromatógrafo.	24

Figura 10. Cromatógrafo de gas.	25
Figura 11. Procesador de datos.	25
Figura 12. Gas de arrastre.	26
Figura 13. Cromatograma.	27
Figura 14. CTD y roseta.	34
Figura 15. Roseta oceanográfica con 24 botellas.	34
Figura 16. Cuantificación de Óxido Nitroso por coloración en superficie, invierno.	38
Figura 17. Cuantificación de Óxido Nitroso por coloración en fondo, invierno.	39
Figura 18. Cuantificación de Óxido Nitroso por coloración en superficie, primavera.	40
Figura 19. Cuantificación de Óxido Nitroso por coloración en fondo, primavera.	41
Figura 20. Gráfico (caja), Concentración de Óxido Nitroso.	42
Figura 21. Gráfico (caja), Saturación de Óxido Nitroso.	46
Figura 22. Gráfico (barra), Concentración y Saturación de Óxido Nitroso, invierno.	47
Figura 23. Gráfico (barra), Concentración y Saturación de Óxido Nitroso, primavera.	48
Figura 24. Gráfico (caja), Difusión de Óxido Nitroso.	52
Figura 25. Gráfico (barra), Difusión de Óxido Nitroso, invierno.	53
Figura 26. Gráfico (barra), Difusión de Óxido Nitroso, primavera.	54
Figura 27. Gráfico (barra), Parámetros Físicos, invierno.	59
Figura 28. Gráfico (barra), Parámetros Físicos, primavera.	60
Figura 29. Gráfico (barra), Parámetros Químicos, invierno.	61
Figura 30. Gráfico (barra), Parámetros Químicos, primavera.	62
Figura 31. Imagen de la Capa de Ozono inserta en la atmósfera.	74

RESUMEN

El óxido nitroso (N_2O), ha presentado un gran interés científico general, ya que este gas en los últimos años ha tenido un incremento progresivo en la atmósfera (Millero & Sohn 1996). El aporte de N_2O , contribuye significativamente al calentamiento global resultando un aumento de la temperatura en la tierra (Butler et al., 1988).

El siguiente trabajo permitió observar en los canales y fiordos australes de la XI región de Chile las variaciones estacionales, según la concentración, porcentaje de saturación y difusión de N_2O , además de relacionar parámetros físicos y químicos tanto en superficie como en fondo. La investigación se llevó a cabo a bordo del buque AGOR - 60 "Vidal Gormaz", siendo analizadas las muestras de agua en laboratorio mediante cromatografía de gases. La máxima concentración de N_2O determinada fue en primavera en superficie de 0,49 mg/L con 232,90 % de saturación en la estación 0 (0 m) y la mínima registrada fue en invierno de 0,05 mg/L con 21,32 % de saturación en la estación 13 (50 m) en el fondo. De acuerdo a los resultados obtenidos complementados con fuentes anexas a este estudio sobre el mismo tema de investigación el principal causante de la presencia de N_2O en la zona serían las poblaciones de bacterias "nitrificantes" y "nitrato amonificantes". Y en general la presencia de este gas no sería significativa en la zona de fiordos y canales australes debido a las bajas concentraciones de N_2O determinadas en esta investigación.

ABSTRACT

Nitrous oxide has become of great scientific interest since the last years has experienced a progressive increase in the atmosphere (Millero & Sohn 1996). It is significantly contributing to the earth global warming (Butler et al., 1988).

The following study has allowed to observe the seasonal variations of concentration, percent of saturation and diffusion of nitrous oxide as well physical and chemical parameters relationships in channels and fjords in the XI Region of Chile. Samples and physico-chemical parameters were collected by the AGOR-60 “Vidal Gormaz” scientific ship and then transferred to the laboratory for nitrous oxide analysis by gas chromatography. The highest concentration of nitrous oxide occurred in surface samples collected during spring (0,49 mg/L; 232,9 % saturation) in sampling site 0 and the minimum concentration was found in sampling site 13 (50 m depth) during winter (0,05 mg/L; 21,3 % saturation). According to the results obtained in this study and complementary data, the main source of nitrous oxide in this region would be the presence of “nitrifying” and “nitrate ammonifying” bacterial populations and, in general this gas, from the fjords and channels would not contribute significantly to the atmospheric input due to the low concentrations found.

1. INTRODUCCIÓN

El óxido nitroso (N_2O), es un gas incoloro, inodoro, no reactivo y muy estable en la atmósfera, con un tiempo de vida de aproximadamente 120 años (Pilson, 1998), comúnmente llamado gas hilarante, conocido por sus efectos fisiológicos, descubierto por Sir Humphry Davy en 1799, quien ya en esa época notó sus propiedades anestésicas. En la troposfera actúa como gas invernadero, alcanzando en la actualidad una concentración de 317 ppbv, donde cada molécula de N_2O tiene la capacidad de ser 300 veces más efectiva como gas invernadero que una molécula de CO_2 (Manne & Richels, 2001). Por otra parte, en la estratosfera está involucrado en la destrucción del ozono colaborando de forma indirecta con el aumento del ingreso de rayos UV.

En las últimas décadas, basado en observaciones atmosféricas se ha determinado que la concentración de N_2O ha presentado un incremento anual cercano al 0,25 % (Pilson, 1998; Prinn et al., 1990; Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996) y la concentración de N_2O troposférico crece en un 0,3 % por año (Adams et al., 1996). Dado su efecto invernadero y su alta capacidad de reacción con el ozono estratosférico, es de interés cuantificar su difusión desde y hacia ambientes marinos representativos (Aguilera et al., 1992).

La concentración relativamente baja de N_2O en agua de mar no había interesado a oceanógrafos y a la comunidad científica en general hasta hace dos décadas. La evidencia sustenta la alternativa que los océanos, como un todo, probablemente actúan como una fuente de N_2O atmosférico (Hahn & Junge, 1977; Oudot et al., 1990) y que vastas regiones de agua de mar

pueden estar sobresaturadas con respecto a concentraciones de N_2O atmosférico, dicho aporte hacia la atmósfera, lejos de ser homogénea, está concentrada en áreas de surgencia costera y estuarios que representan el 20 y el 40 % del balance oceánico total, respectivamente (De Wilde & De Bie, 2000; Law & Owens, 1990; Naqvi et al., 1994; Bange et al., 1996a y 1996b; De Wilde & Helder, 1997; Lal & Patra, 1998 y Patra et al., 1999).

El flujo continuo de las radiaciones del sol promueve la energía de la que depende el clima de la Tierra. La composición de gases en la atmósfera (vapor de agua, CO_2 , CH_4 , y N_2O) permite retener parte de la radiación infrarroja del sol en la Tierra, manteniendo un calor adecuado para la vida. Este efecto de los gases se llama efecto de invernadero. Sin este efecto natural de invernadero la temperatura de la Tierra sería mucho menor de lo que es ahora, creando un planeta inhabitable. Los gases de invernadero han estado presentes en la atmósfera en cantidades residuales la mayoría del tiempo a través de la historia geológica. Sin embargo, las actividades humanas han aumentado la concentración de los gases de invernadero, aumentando a su vez, la capacidad de la atmósfera de retener calor. Las concentraciones atmosféricas promedio globales de CO_2 , CH_4 , y N_2O , han crecido considerablemente en las últimas 2 décadas. Estas tendencias pueden atribuirse en gran parte a las actividades humanas, sobre todo al uso de combustibles fósiles, al cambio de uso de la tierra y a las prácticas agrícolas. No obstante, existe una gran incertidumbre sobre la contribución de las fuentes y pérdidas individuales al N_2O atmosférico, factores que influyen su producción en el ambiente y los efectos de la actividad humana sobre las tasas de producción de N_2O (Adams et al., 1996).

El N_2O , es un gas intermediario en los procesos microbiológicos de nitrificación y desnitrificación (Seitzinger et al., 1984; Codispoti et al., 1992; Bange et al., 1996), los cuales son considerados como los más importantes en la producción de N_2O , contribuyendo la desnitrificación entre el 25 % y 32 % del total (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990; Gradel & Crutzen, 1993). La nitrificación consiste en la oxidación del amonio (NH_4^+) a ion nitrito (NO_2^-) y luego a ion nitrato (NO_3^-), esta secuencia de reacciones libera una pequeña cantidad de N_2O en la columna de agua. La oxidación es el principal mecanismo por el cual ciertas bacterias quimiolitótrofas obtienen energía, y ocurrirá siempre que el amonio (NH_4^+) y el oxígeno (O_2) estén presentes. La desnitrificación, descrita también como la reducción disimilatoria del nitrato (NO_3^-) puede ser considerada como la reducción biológica del nitrato (NO_3^-) o nitrito (NO_2^-) a nitrógeno molecular (N_2) e intermediariamente N_2O , ésta es realizada por bacterias anaeróbicas facultativas que tienen la capacidad de reemplazar O_2 con formas oxidadas de nitrógeno inorgánico, por ejemplo nitrato (NO_3^-) o nitrito (NO_2^-), como su aceptor terminal de electrones en la respiración (Fuhrman & Capone, 1991).

La nitrificación es considerada una fuente microbiológica importante de N_2O atmosférico en mar abierto (Cohen & Gordon, 1979; Hashimoto et al., 1983; Seitzinger et al., 1983; Oudot et al., 1990). No obstante, en la columna de agua, límite óxico – anóxico, también la desnitrificación resultaría en una red de producción de N_2O (Codispoti et al., 1992), debido a que el oxígeno inhibe la reducción del N_2O a N_2 más fuerte que en la reducción del NO_3^- a N_2O (Betlach & Tiedje, 1981). Además se implica a procesos de desnitrificación en ambientes deficitarios de oxígeno (Goreau et al., 1980; Jorgensen et al., 1984; Aguilera et al., 1992). Mientras la reducción del nitrato (NO_3^-) es una importante fuente de N_2O , el producto principal de este proceso en

ecosistemas acuáticos es el nitrógeno molecular (N_2). En los sedimentos acuáticos se presenta un ambiente ideal para la desnitrificación debido a que éstos son sitios para la acumulación de materia orgánica desde la columna de agua. Según Yoshinari et al., (1997), en el océano el N_2O se forma como un derivado de nitrificación y como un intermediario de desnitrificación.

Así como la desnitrificación y la nitrificación biológica son consideradas las más importantes fuentes de producción de N_2O , existen otras fuentes como es el caso de las reacciones de combustión y los procesos de ionización en la atmósfera; además, existen reacciones fotoquímicas atmosféricas y procesos biológicos que actúan como medio de destrucción. La principal pérdida para N_2O es la fotólisis que sufre en la estratosfera (obtenida por energía solar, principalmente radiación ultravioleta), la cual provee especies químicas activas para la descomposición de ozono. La Intergovernmental Panel on Climate Change, (1990) estimó que, a pesar de la gran incertidumbre, la carga de N_2O por contribución humana a la atmósfera es comparable con las fuentes naturales y es casi la responsable del incremento de las 3 – 4,5 Tg por año de N_2O en la atmósfera. Debido a la larga vida media (estabilidad) que presenta el N_2O en la troposfera, los procesos naturales son incapaces de detener este incremento.

La magnitud del intercambio océano – atmósfera dependen principalmente del grado de saturación (o concentración) del gas en la capa de mezcla y de su velocidad de transferencia a través de dicha interfase (Broecker & Peng, 1974). De esta manera la difusión de N_2O está controlada directa e indirectamente, tanto por forzantes físicos como: turbulencia, surgencia, viento, mezcla, temperatura y burbujas (Wanninkhof & McGillins, 1999) y como por forzantes biogeoquímicos tales como: mineralización de materia orgánica, desnitrificación, nitrificación y

niveles de oxígeno disuelto (Chester, 1990; Chameides & Perdue, 1997). La concentración de este gas en la capa de mezcla (zona óxica) es la que finalmente determina la difusión hacia la atmósfera (Nevison et al., 1995).

En el océano se han determinado valores de saturación de N_2O respecto del aire del orden de 700 % a profundidades inferiores de 100 metros en el golfo de Guinea (Oudot et al., 1990) y valores de 500 % a 500 metros de profundidad en el Mar Caribe Nororiental (Aguilera et al., 1992). Aguas superficiales medias están cerca del equilibrio, la saturación media global de N_2O es de 103 % pero, en regiones de surgencia las concentraciones de N_2O excedieron la saturación cinco veces (Bange et al., 1996; Bange et al., 1996a; Bange et al., 1996b). Law & Owens, (1990) encontraron una saturación de N_2O de 246 % en aguas superficiales saturadas de oxígeno y 1.264 % en aguas sub-superficiales consumidoras de oxígeno. Se ha demostrado en otras investigaciones que cambios climáticos como el fenómeno “El Niño”, podría cambiar la difusión global de N_2O a la atmósfera, debido a lo anteriormente expuesto donde procesos de surgencias presentan un rol importante en el grado de sobresaturación de N_2O en aguas superficiales (Elkins et al., 1978; Oudot et al., 1990).

Se han registrado sobresaturaciones de N_2O en la región Norte y Central de Chile con intervalos entre 123 – 400 % por medio de mediciones *in situ* (Farías et al., 2002; Farías, 2003) y en base a modelos de interpolación (Nevison et al., 1995). En Bahía Ilque, Seno de Reloncavi, Chile (Oyarzún, 2000), se determinó que la concentración de N_2O aumenta con la profundidad, superando ampliamente el 100 % de saturación, en especial en los niveles medio e inferior de la columna de agua, ésto podría indicar una difusión de N_2O desde capas de agua profunda hacia la

superficie, además se observó sobresaturación en todas las muestras superficiales, cuyos valores fluctuaron entre 100 y 700 % (Oyarzún, 2000). En tanto que el lago Budi, presentó valores de saturación que fluctuaron entre 57,6 y 790 % para otoño y primavera respectivamente determinándose en el fondo los mayores valores de difusión de N₂O (Matus, 2002).

El mecanismo por el cual el N₂O es producido en ecosistemas específicos es un tema de actual debate. El aumento de las actividades productivas en los cuerpos de agua, ha desencadenado una serie de alteraciones cuyo origen puede encontrarse en fuentes biológicas, químicas o físicas. Sin embargo, en la naturaleza estas fuentes no actúan en forma individual sino que lo hacen en forma integrada (Oróstegui, 1999).

Las consecuencias del calentamiento global son evidentes, al igual que los cambios climáticos extremos que se hacen presentes. Los científicos del Intergovernmental Panel on Climate Change, (1995a) han propuesto que a causa del aumento de las emisiones de los gases de invernadero, la tierra está cambiando de un período de climas sustancialmente estables a un período de climas más extremos. Además de los cambios de climas ocasionados por el calentamiento global, el calentamiento también está alterando procesos físicos, químicos y bióticos locales y globales en la tierra. La Intergovernmental Panel on Climate Change, (1995b) planteó que el calentamiento global tiene un impacto en no menos de 420 procesos físicos, tales como la disminución de glaciares y el aumento del nivel del mar. Además de esto, el calentamiento global va a afectar la abundancia y distribución de muchas especies de plantas y animales. Por otra parte, se ha indicado que el aumento de la temperatura promedio de la Tierra ha sido de 0,6 °C en los últimos 100 años, donde la década de 1990 ha sido la más calurosa de los

últimos 1000 años en el Hemisferio Norte. Para el año 2100 la Intergovernmental Panel on Climate Change, (1997) predice mediante modelos climáticos en computadoras, que la temperatura promedio de la tierra aumentará desde 1,4 a 5,8 °C, cifra un 50 % más alta que las predicciones de hace media década.

La zona de fiordos y canales del sur de Chile, especialmente de la XI región, ha sido una de las zonas menos estudiadas desde al punto de vista oceanográfico y sin embargo, con una de las mayores demandas de uso de su borde costero, principalmente para actividades de acuicultura, pesca y turismo, aparte del transporte marítimo y la actividad portuaria indispensable para un área particularmente aislada y de difícil acceso por vía terrestre.

La XI región es una de las más extensas en el territorio nacional con una superficie de 108.494,4 kilómetros cuadrados sin embargo, presenta una baja población con solo 86.697 habitantes según registros obtenidos en el censo del año 2002. La densidad es de 0,8 habitantes por kilómetro cuadrado. La provincia cuenta con una población total de 22.353 habitantes, siendo las localidades más pobladas Puerto Aysén, Puerto Aguirre, Puerto Cisne, Caleta Andrade, Melinka y Puyuhuapi (Errázuriz et al., 2002). Extensos lagos como el General Carrera y O'Higgins, además del Palena, Rosselot, Yulton, Elizalde y Cochrane regulan los principales ríos de esta zona: Palena, Cisne, Aysén, Baker, Pascua y Bravo, los que poseen gran caudal. Las aguas provenientes de estos ríos interactúan con las aguas oceánicas formando una circulación del tipo estuarina, las aguas de los ríos nacen en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes y son frenadas por depósitos fluvio glaciales - morrenas y se ven obligadas a cruzar la cordillera a través de valles desfiladeros desembocando en amplios fiordos. Además existe un gran aporte de

agua dulce a esta condición estuarina de los fiordos por parte de la alta pluviosidad de la zona y también producto de los deshielos (Instituto Geográfico Militar, 1994).

De acuerdo a estos antecedentes se planteó la siguiente hipótesis:

“La concentración de óxido nitroso supera valores de 100 % de saturación, en la totalidad de las muestras de agua analizadas en este estudio con respecto a la atmósfera, siendo altamente significativa la presencia de este gas en la zona de fiordos y canales australes del sur de Chile”.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Cuantificar la concentración y calcular el porcentaje de saturación de óxido nitroso en el área de estudio en ambos períodos de embarque, invierno - primavera en muestras de agua de superficie y fondo.

1.1.2 Objetivos Específicos:

1. Determinar la concentración de óxido nitroso en las muestras de agua de superficie y fondo en ambos períodos de embarque invierno y primavera, mediante cromatografía de gases.

2. Estimar el porcentaje de saturación de óxido nitroso en las muestras de agua de superficie y fondo, tanto en invierno como en primavera, en función de temperatura y salinidad, mediante el método de Weiss & Price, (1980).

3. Estimar la difusión de óxido nitroso en las muestras de agua superficiales y de fondo en ambos períodos de muestreo invierno y primavera, a través de la interfase océano - atmósfera, mediante relaciones matemáticas para el cálculo de densidad de flujo de masa, a partir de la primera Ley de Fick de la difusión, según Bird et al., (1982).

4. Establecer relación de parámetros físicos del agua: temperatura, salinidad, $\sigma - T$ (densidad) y parámetros químicos del agua: oxígeno disuelto y nitrato, obtenidos mediante CTD y termosalinografo, con las concentraciones de óxido nitroso, en ambos períodos de embarque invierno y primavera, tanto en superficie como en fondo.

5. Determinar la variabilidad estacional (invierno – primavera) en las muestras de agua en superficie y fondo, para las concentraciones estimadas de óxido nitroso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de Estudio

A bordo del buque de investigación AGOR-60 “Vidal Gormaz” (Figura 1), de la Armada de Chile y a cargo del Comité Oceanográfico Nacional (CONA), fue llevada a cabo la investigación en la zona de fiordos y canales australes del sur de Chile (42° - 47° S y 72° - 76° W) en la XI región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.



Figura 1. Foto del buque de investigación de la Armada de Chile. AGOR - 60 “Vidal Gormáz”.

La obtención de datos y muestras estuvo a cargo de personal científico, conformado por investigadores y técnicos de diversas instituciones nacionales dedicadas a las ciencias del mar. Esta tesis es parte de uno de los 17 proyectos de investigación pertenecientes a 10 instituciones diferentes que fueron aprobados en el crucero CIMAR – FIORDO 7.

Este estudio de investigación consideró dos períodos estacionales: invierno y primavera; estableciendo estaciones de muestreo en los distintos sectores del área de canales y fiordos australes del sur de Chile, abarcando principalmente la Boca del Guafo, el Canal Jacaf, el Canal Puyuhuapi, Seno Aysén, Estero Quitralco y Estero Cupquelán (Figuras 2 y 3). En la tabla 1 se señalan las profundidades a las cuales se recolectaron las muestras de agua y el nivel de la columna de agua determinado para el muestreo, ya que se consideró superficie y fondo en cada una de las estaciones.

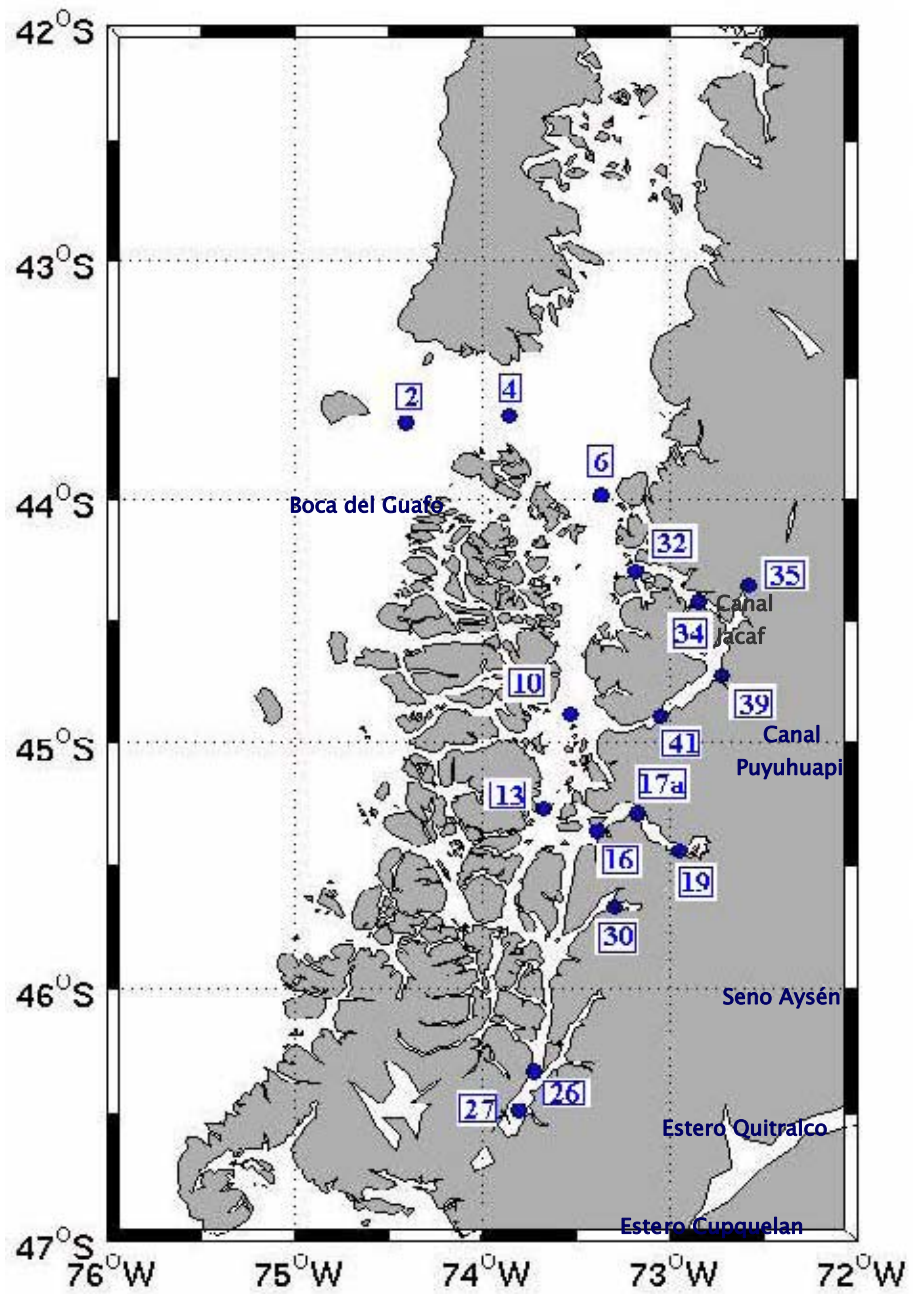


Figura 2. Mapa del área de investigación, donde se señalan las 16 estaciones de muestreo en el período de invierno.

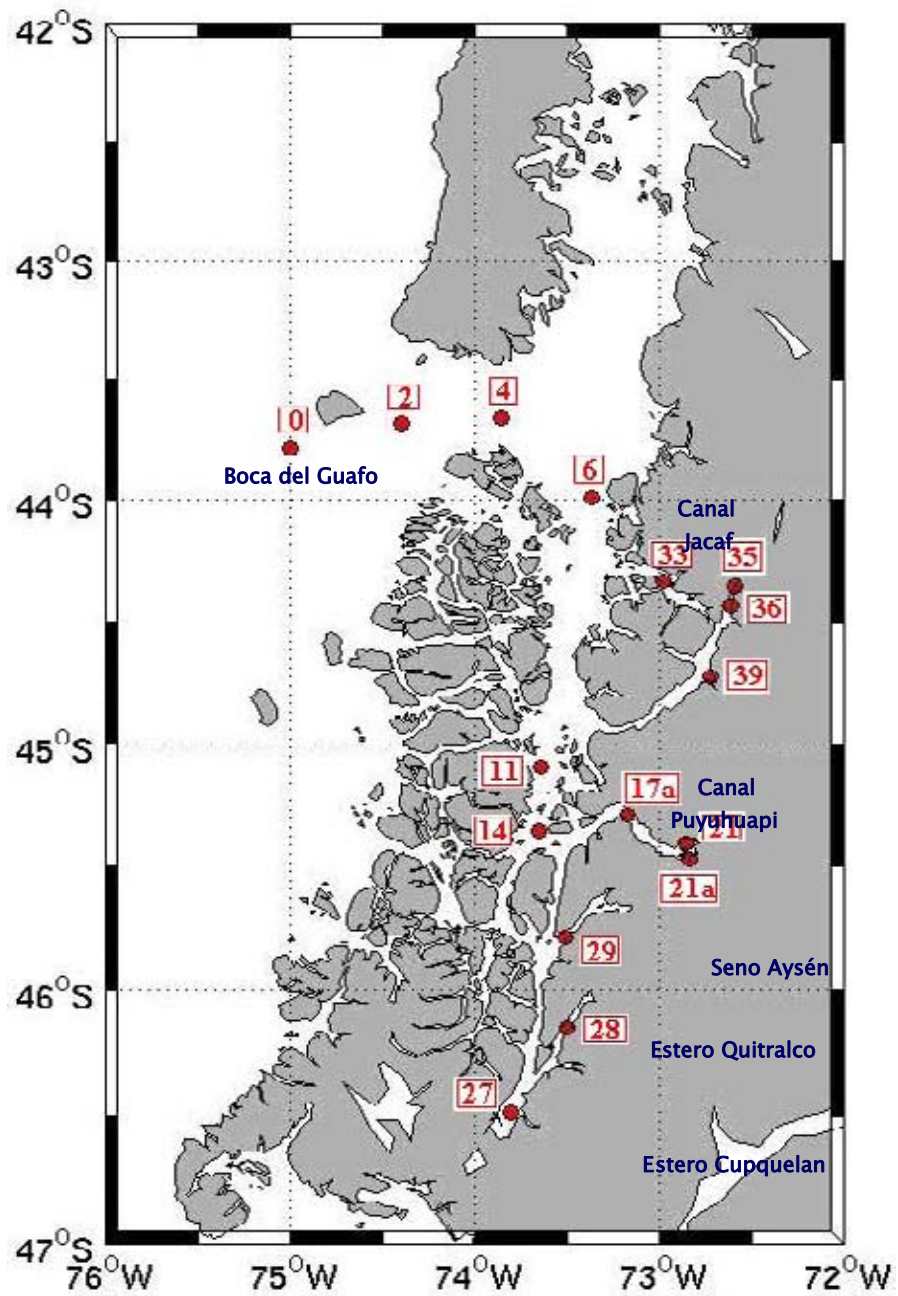


Figura 3. Mapa del área de investigación, donde se señalan las 16 estaciones de muestreo en el período de primavera.

Tabla 1. Estaciones muestreadas en cada período de embarque con sus respectivas profundidades, tanto para el nivel superficial como de fondo.

<i>1° muestreo Invierno</i>			<i>2° muestreo Primavera</i>		
Estación	Profundidad (m)		Estación	Profundidad (m)	
	superficie	Fondo		superficie	fondo
2	2	180	0	0	500
4	2	150	2	2	180
6	2	125	4	2	150
*8	2	375	6	2	150
10	2	150	11	2	230
13	2	50	14	2	123
16	2	240	17a	2	300
17a	2	300	21	2	130
19	2	170	21a	2	50
26	2	12,5	27	2	95
27	2	90	28	2	210
30	2	250	29	2	90
32	5	400	*30	2	248
34	2	480	33	2	180
35	2	50	35	2	40
39	2	150	36	2	200
41	2	400	39	2	140

*Estaciones incompletas por problemas en el muestreo debido a una omisión accidental o confusión involuntaria, por lo cual no fueron consideradas en ningún tipo de análisis.

La zona de fiordos y canales australes, está relativamente protegida gracias a su geografía y ha cobrado un gran valor económico gracias a la explotación de sus recursos naturales como, las pesquerías demersales y bentónicas (peces, moluscos, equinodermos, crustáceos y algas). Se destacan principalmente los cultivos de especies marinas, ya sea de especies introducidas o de especies nativas. Toda actividad del tipo económico como lo son los recursos marítimos, la silvicultura, ganadería, extracción minera de yacimientos (plata, zinc, cobre, plomo), turismo e hidroenergéticos, sumados a la presencia de la Carretera Austral hacen factible el desarrollo regional, provocando un incremento de la población ribereña y la formación de más de 360 empresas asociadas a los cultivos marinos, de las cuales unas 125 son centro de cría y engorda del Salmón del Atlántico (*Salmo salar*), Salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) y Trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), (Fundación Chile, 2000).

El territorio regional muestra un fuerte y generalizado hundimiento. Este fenómeno se hace palpable en la fragmentación del suelo y en la invasión por parte del mar (Instituto Geográfico Militar, 1994). Batimétricamente el área de estudio presenta profundidades más bien someras, solo en algunos sectores superan los 300 metros y dentro del transecto, frente a la isla de Meninea (45° 16' S y 73° 38' W) al sur del canal de Moraleda se destaca “La Constricción de Meninea”, la cual es una zona de baja profundidad aproximadamente 50 metros y separa el sistema de canales ubicado entre el golfo de Corcovado y la laguna San Rafael en dos cuencas con características oceanográficas particulares, estableciendo que al sur de esta constricción, el tiempo de residencia de las aguas es de aproximadamente dos años. La cuenca norte se conecta al mar por la boca del Guafo, en cambio; la cuenca sur se encuentra semi aislada de la influencia del

océano a causa del efecto de represa que forma esta constricción, siendo la cuenca sur más cálida, menos salina y más oxigenada que la cuenca norte (Silva et al., 1995).

La región se caracteriza por sus islas, canales, fiordos y campos de hielo. Coexistiendo dos tipos de climas, uno cálido, marítimo, lluvioso, frío y un clima con influencia mediterráneo frío, que da lugar a un paisaje estepárico condicionado por el frente polar, factor que determina el tipo de vegetación y fauna existentes en la misma. Se registran grandes precipitaciones aproximadamente 2.404,4 mm anuales, por lo tanto, la vegetación adquiere un gran rol donde los bosques y pastos ocupan casi toda la superficie, observándose una masa boscosa que se encuentra asociada al sotobosque predominando especies como la quila, ñipas, pastos fríos, líquenes abundantes helechos, Ciprés de las Guaitecas, Coigüe, Mañío, Calafate, Tepa, Coirón, Ñirre, Lengua y Arrayán rojo. Y con respecto a la fauna, existe una gran variedad de especies nativas tales como huemul, pudú, coipo, viscachas, etc. Algunas de las especies introducidas son paloma, liebre, visón y jabalí entre otros, los que se desarrollan muy bien gracias a las características selváticas y desoladas del lugar (González, 1991).

Esta zona cuenta con varias reservas naturales de gran belleza y atractivo, entre ellas destacan: Parque Nacional Laguna San Rafael, Reserva Nacional Katalalixar, Reserva Nacional Lago Cochrane, Reserva Nacional lago Jeirimeni, Reserva Nacional Las Guaitecas, etc. (Instituto Geográfico Militar, 1994).

En cuanto a los parámetros físicos y químicos de las aguas de la zona, esta región presenta una temperatura superficial promedio en invierno de $8,9 \pm 0,9$ °C, bajo la capa superficial y hasta

aproximadamente los 50 metros se presenta homogeneidad en su temperatura, la cual va de los 9,5 a 10,0 °C. Mientras que en primavera la temperatura superficial promedio es $10,8 \pm 0,8$ °C, bajo la capa superficial y hasta aproximadamente los 25 metros se presentan valores homogéneos de 10,5 °C. En cuanto a la salinidad, presenta una estructura de dos capas separadas por una fuerte haloclina, la salinidad superficial promedio en invierno es de $28,8 \pm 4,0$ psu y en primavera $29,8 \pm 2,9$ psu, donde la máxima se registró en la zona oceánica y la mínima en el estero Elefantes tanto en invierno como en primavera (Silva et al., 1995).

Respecto al oxígeno disuelto las aguas de la cuenca sur, presentan valores de 4,5 mL/L sin embargo, en la boca del Seno Aysén se presentan aguas bien oxigenadas con valores mayores de 5 mL/L en toda la columna de agua, mientras que en la cabeza del fiordo disminuye la concentración a valores menores de 2,5 mL/L en el fondo. En la cuenca norte el agua registra una concentración de oxígeno disuelto > 4 mL/L y disminuye hasta 2 mL/L en el fondo. El pH superficial presenta valores entre 7,7 y 8,3. La tendencia general de las distribuciones verticales de oxígeno disuelto y pH, es a presentar las mayores concentraciones en la superficie y de disminuir con la profundidad (Guzmán & Silva, 2002a).

La distribución vertical de nitrato (NO_3^-) y fosfato (PO_4^{3-}) presenta en general una estructura de dos capas, una superior de baja concentración de nutrientes de unos 20 metros de espesor, donde la concentración de NO_3^- va de 10,8 μM para la zona oceánica, mientras que en las aguas de la cabeza del fiordo es de 19,4 μM y los valores de PO_4^{3-} van de 1,04 a 1,71 μM , correspondiente al mínimo y al máximo registrado en la zona oceánica; en tanto la capa más

profunda presenta mayores concentraciones de nutrientes, producto de aguas marinas más ricas orgánicamente, que van de 15,0 a 24,3 μM para NO_3^- y de 1,56 a 2,09 μM para PO_4^{3-} .

El aporte de nitrógeno (N) realizado por los principales ríos que descargan en el área de estudio es principalmente orgánico. El nitrógeno inorgánico disuelto ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) representa como máximo un 13 % del total, situándose por lo general bajo el 5 %. El ortofosfato representa entre el 3,5 y 80 % del fósforo total, con la mayoría de las descargas fluviales conteniendo más del 30 % del fósforo en forma inorgánica (Guzmán & Silva, 2002b). Las aguas lluvias presentaron concentraciones bajas durante el período de muestreo en esta investigación, dominando las concentraciones de NH_4^+ con valores de 0,5 a 15,8 μmolL^{-1} , mientras que las concentraciones de NO_3^- tuvieron un rango entre 0,5 y 7,9 μmolL^{-1} (Prado – Fiedler, 2002).

En general la distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, NO_3^- y PO_4^{3-} , muestra la existencia de dos capas. En la capa superficial se observa una mayor variabilidad, en tanto, en la capa profunda, por lo general, es más estable y casi homogénea (Calvete & Guerrero, 2002).

2.2 Metodología

2.2.1 Obtención de Muestras para la Determinación de Óxido Nitroso

El crucero Cimar-Fiordo 7 realizó 2 etapas de muestreo en el año 2001, con el objeto de comparar y analizar la variabilidad estacional de las condiciones oceanográficas en la zona y con el propósito de dar mejor cumplimiento a los objetivos específicos de los proyectos de investigación seleccionados.

La primera etapa se realizó del 07 al 21 de Julio en invierno mientras, que del 12 al 27 de Noviembre fue llevado a cabo el segundo muestreo en primavera. En total se visitaron 45 estaciones oceanográficas en cada uno de los embarques, recolectando muestras de agua, efectuando mediciones de las características físicas y químicas de la columna de agua, productividad primaria, mediciones de los caudales de los principales ríos y se obtuvieron muestras de plancton, mariscos y sedimentos para estudios relacionados con la marea roja, se realizaron buceos para esta operación. Además en ambas etapas se efectuaron circuitos continuos de 24 horas de CTD y ADCP, en la boca del Seno Aysén. Para el caso de este estudio se habían seleccionado en un comienzo 17 estaciones por cada período de embarque en la columna de agua para superficie y fondo, pero por problemas del muestreo se tuvieron que eliminar 2 estaciones y se muestrearon otras estaciones que no estaban consideradas para reparar el daño, pero de igual utilidad que las anteriores por la ubicación. En consideración a esto, muestras de agua de 16 estaciones fueron analizadas en cada período, en superficie y fondo con sus respectivas réplicas. Algunas estaciones coincidieron entre invierno y primavera, mientras que las otras estaciones son

distintas entre sí. Además en 7 estaciones del segundo muestreo se extrajeron muestras de aire (atmósfera).

Las muestras de agua fueron tomadas con botellas Van Dorn (aguas llanas) o Niskin (aguas profundas). Las muestras se transfirieron rápidamente para evitar el posible contacto con la atmósfera, a tubos vacutainer de 10 mL de capacidad (Figura 4), cerrando herméticamente los tubos con un tapón en el cual además se insertó una aguja hipodérmica para eliminar así las burbujas de aire, considerando solo 1 mL de aire fase gaseosa y 9 mL de agua fase líquida (Figuras 5 y 6). Luego las muestras de agua fueron guardadas en cajas térmicas y posteriormente refrigeradas pero no congeladas para evitar el escape del gas.



Figura 4. Tubo vacutainer de 10 mL de capacidad, donde se transfirió las muestras de agua.



Figura 5. Aguja hipodérmica, utilizada en los tubos vacutainer, para la eliminación de las burbujas de aire.

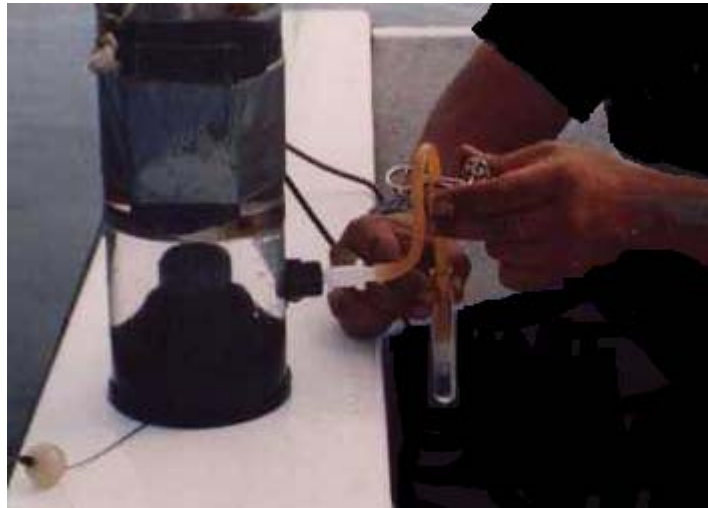


Figura 6. Indica como se transfirió la muestra de agua desde la botella hacia el tubo vacutainer.

Para evitar cualquier tipo de anomalía las muestras fueron analizadas en cuanto llegaron al laboratorio de Química de la Universidad Austral de Chile, Valdivia.

2.2.2 Condiciones de Operación del Análisis Cromatográfico

La temperatura del detector fue de 350 °C, la temperatura del inyector 200 °C, mientras que la temperatura del horno isotérmico se mantuvo a 60 °C, con un tiempo de análisis total por cada muestra de agua de 4 minutos. Además antes de iniciar la sesión de análisis de muestras se efectuó una calibración de 4 puntos con un estándar de N₂O con soluciones preparadas a partir de una solución stock de N₂O de 100 ppm (Figura 7).



Figura 7. Estándar de óxido nitroso de 100 ppm.

Se diluyó el estándar de N_2O en un recipiente de dilución con entrada y salida con una capacidad de 300 mL de volumen (Figura 8), en uno de sus extremos se observa una septa que evita el escape del gas y que por donde además se inyecta el estándar de N_2O .



Figura 8. Recipiente de dilución de 300 mL de capacidad, utilizado en la dilución del estándar de óxido nitroso en la calibración.

El procedimiento utilizado en la calibración del estándar de N₂O para poder determinar así la cuantificación de este gas en los fiordos y canales australes de la zona de estudio se calculó teniendo que: 100 µL de solución stock de N₂O en Helio diluidos en 300 mL del recipiente de dilución, proporcionan una solución de 33,3 µg/L.

Los niveles de calibración se efectuaron como sigue:

Nivel 1 = 33,3 µg/L

Nivel 2 = 23,3 µg/L

Nivel 3 = 16,6 µg/L

Nivel 4 = 9,9 µg/L

En base a esto se realizó la calibración de 4 puntos del cromatógrafo de gas obteniendo así la ecuación final para poder cuantificar N₂O.

$$Y = A + B X$$

Donde:

$$A = 0$$

$$B = 4,79039 * 10^3$$

Obteniéndose un tiempo de retención (RT) de 3,380 minutos y una correlación de un 0,98266 % para la ecuación calibrada en 4 puntos. Además se obtuvo las áreas para cada uno de los puntos de calibración.

Para determinar las concentraciones de N_2O de ambos períodos de embarque invierno - primavera, se inyectó cada vez un volumen de $100 \mu L$ en el cromatógrafo de gas, obtenido de la fase gaseosa de la muestra de agua (Figura 9).

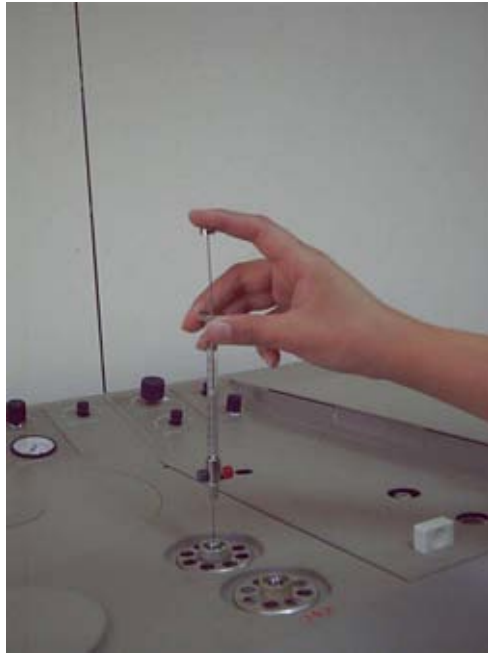


Figura 9. La figura indica como se inyecta el gas al cromatógrafo.

2.2.3 Cuantificación de Óxido Nitroso

Para la determinación de N_2O se utilizó el método de Priscu & Downes, (1985) modificado por Aguilera et al., (1992). En el laboratorio cada tubo a medida que iba siendo analizado fue agitado, para establecer un equilibrio entre la fase líquida y gaseosa dejando unos minutos de reposo, para tomar luego con una jeringa una alícuota de $100 \mu L$ y ser inyectada al

cromatógrafo y determinar así la concentración de óxido nitroso mediante cromatografía de gases.

El cromatógrafo de gas corresponde a un Perkin-Elmer, modelo 9000, con detector de captura electrónica ^{63}Ni , empleando una columna empacada de acero inoxidable de 10" x 1/8" Hayesep D, con tamaño de malla 100/120 mantenida a 60 °C (Figura 10). Este cromatógrafo esta conectado a un procesador de datos Pe - Nelson, modelo 1022 (Figura 11). Además se utilizó gas Argón / metano (5 %) con un flujo de 30 mL/min, como gas de arrastre (Figura 12).



Figura 10. Cromatógrafo de gas, Perkin-Elmer, modelo 9000.



Figura 11. Procesador de datos Pe - Nelson, modelo 1022.



Figura 12. Gas de arrastre, argón / metano (5 %).

Los resultados del análisis de N_2O de las muestras de agua en el cromatógrafo de gas fueron registrados en cromatogramas (Figura 13), los cuales muestran las concentraciones de óxido nitroso en $\mu g/L$, unidad asignada al calibrar y las áreas de cada una de las muestras de agua analizadas. Los valores de las concentraciones de óxido nitroso fueron calculados utilizando el factor de respuesta del estándar.

Para la obtención de un valor atmosférico promedio del área de estudio para los cálculos correspondientes, se utilizó las 7 muestras de aire que se obtuvieron en el período primaveral del crucero. Estas muestras de aire se analizaron en el cromatógrafo de gas del mismo modo que las muestras de agua, se cuantificó la cantidad de óxido nitroso y se determinó el valor del área a cada una de las muestras de aire.

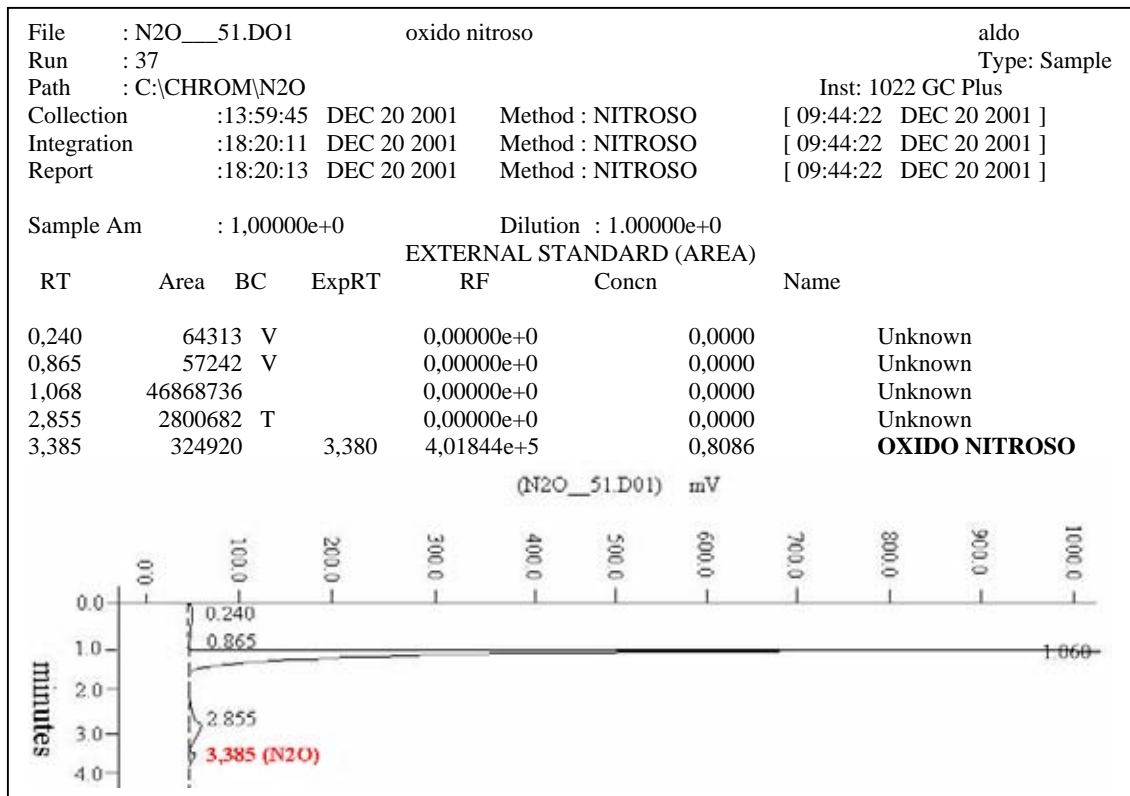


Figura 13. Cromatograma obtenido para 100 μ L de una muestra de agua procedente del área de investigación, al ser analizada la fase gaseosa en el cromatógrafo de gas; se aprecia el peak de óxido nitroso con un tiempo de retención de 3,385 minutos y además se observa el área determinada para la muestra analizada.

Para efecto de cálculos se recurrió al programa computacional Matlab R13 y planilla electrónica de Microsoft Excel, utilizando el promedio de las áreas obtenidas con los 4 puntos de calibración expresada como área estándar y el promedio de las áreas de N_2O de cada una de las muestras de agua con sus respectivas réplicas, de todas las estaciones.

La formula utilizada para obtener concentración de óxido nitroso en ppbv, según Bange et al., (1996), fue la siguiente:

$$[N_2O]_{ppbv} = \left(\left(\frac{A_{muestra}}{A_{estandar}} * 1000 \right) * V_{fase\ gaseosa} \right) + \left((\beta * V_{fase\ liquida}) + V_{fase\ gaseosa} \right) * \left(\frac{A_{muestra}}{A_{estandar}} * 1000 \right)$$

Donde:

$A_{muestra}$ = Área pick de la señal de N_2O de la muestra en el cromatógrafo.

$A_{estandar}$ = Área pick de retención del estándar en el cromatógrafo.

$V_{fase\ liquida}$ = Volumen de muestra de agua presente en tubo vacutainer.

$V_{fase\ gaseosa}$ = Volumen Headspace del tubo vacutainer, tomado para la cuantificación de N_2O .

B = Volumen del gas contenido en tubo vacutainer bajo condición estándar.

Las formulas utilizadas para obtener concentración de óxido nitroso en mg/L y nM, según Bange et al., (1996), fueron las siguientes:

$$[N_2O]_{mg/L} = \frac{[N_2O]_{ppbv}}{1000}$$

$$[N_2O]_{nM} = \frac{[N_2O]_{ppbv}}{22,4} * 1000$$

Donde:

22,4 = Valor dado porque 1 mol de gas ocupa un volumen de 22,4 litros en condición estándar.

2.2.4 Estimación del Porcentaje de Saturación

Para el cálculo de porcentaje de saturación de N₂O con respecto a la atmósfera se utilizó la ecuación en función de temperatura y salinidad Weiss & Price, 1980. Para efecto de cálculo se utilizó el programa computacional Matlab R13 y planilla electrónica de Microsoft Excel.

$$\% \text{ Saturación} = \frac{[N_2O]_{nM}}{[N_2O]_{sat}} * 100$$

[N₂O] *sat* = Para obtener este valor se debe calcular la solubilidad del N₂O y para esto se ocupa la fórmula de solubilidad de Weiss & Price, (1980) con todas las fórmulas que derivan a esta ecuación:

$$\ln F = A_1 + A_2 \left(\frac{100}{T} \right) + A_3 \ln \left(\frac{T}{100} \right) + A_4 \left(\frac{T}{100} \right)^2 + S \left[B_1 + B_2 \left(\frac{T}{100} \right) + B_3 \left(\frac{T}{100} \right)^2 \right]$$

Donde:

- A_1, A_2, A_3, A_4 y B_1, B_2, B_3 = Constantes utilizados para calcular el coeficiente de solubilidad de N₂O. Tabla II Weiss & Price, (1980).
- F = Denominada “función F ” (mol l⁻¹ atm⁻¹) utilizada para calcular el coeficiente de solubilidad de N₂O K_o (10⁻² mol l⁻¹ atm⁻¹). Tabla III Weiss & Price, (1980).
- T = Temperatura absoluta (°C).
- S = Salinidad (psu).

2.2.5 Estimación de la Difusión en la Interfase Océano - Atmósfera

La difusión de óxido nitroso a través de la interfase océano – atmósfera, fue estimada usando modelos matemáticos de intercambio océano - atmósfera, derivado de relaciones matemáticas para cálculo de la densidad de flujo de masa a partir de la primera Ley de Fick de la difusión, según Bird et al., (1982).

A partir de la primera Ley de Fick de la difusión, se concluye que una “especie” se difunde en la dirección decreciente de la fracción molar de la misma, es decir, el transporte de materia tiene lugar a causa de un gradiente de concentración (Bird et al., 1982). La difusión varía en este caso en función de la presión, temperatura y composición química del agua de mar, en general los datos existentes son bastante limitados, por lo cual se trabaja más basándose en la teoría que en la experiencia.

En un sistema a baja presión la difusión es inversamente proporcional a la presión, aumenta con la temperatura y es casi independiente de la composición química del agua de mar. La difusión se mide en (cm^2/seg) o (m^2/hr). Combinando los principios de la teoría cinética y de los estados correspondientes se obtiene la siguiente ecuación para estimar la difusión a bajas presiones:

$$\frac{\varphi_{AB}}{(P_A P_B)^{\frac{1}{3}} * (T_A T_B)^{\frac{5}{12}} * \left(\frac{1}{M_A}\right) + \left(\frac{1}{M_B}\right)} = a \left(\frac{T}{\sqrt{T_A T_B}}\right)^b$$

Luego:

$$\Phi = P_A P_B$$

$$\Theta = \frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}$$

$$\Omega = T_A T_B$$

Finalmente:

$$\varphi_{AB} = \left(\frac{a}{P}\right) * \left(\frac{T}{\sqrt{\Omega}}\right)^b * \Theta^{\frac{1}{3}} * \Omega^{\frac{5}{12}} * \Theta^{\frac{1}{2}}$$

Para agua con un gas no polar, como es el N₂O, se tiene que la constante:

$$a = 3,640 * 10^{-4}$$

$$b = 2,334$$

Donde:

φ_{AB} = Difusión.

T = Temperatura atmosférica promedio. En este caso se utilizó para invierno (7,1 °C) y primavera (11,1 °C).

M = Masa (mg).

P = Presión (atmósferas).

Subíndice A = Condiciones en el aire.

Subíndice B = Condiciones en el agua.

2.2.6 Obtención de Muestras para Análisis de Nutrientes

Se recolectaron muestras de agua tanto en superficie como en fondo en ambas temporadas, invierno y primavera en botellas de 1 litro de capacidad, con ayuda de una roseta (Figura 14), para la cuantificación de nutrientes de: NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} y P total, estas muestras de agua fueron congeladas a -20°C para su posterior análisis.

La determinación de las concentraciones de los nutrientes en ambas temporadas, se realizó mediante un autoanalizador de nutrientes, según métodos propuestos por Parsons et al., (1984) a cargo del personal científico del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). Por problemas de envío de los resultados de los nutrientes analizados, para este estudio solo se consideró el análisis del nitrato (NO_3^-).

2.2.7 Determinación de Parámetros Físicos y Químicos

Los parámetros físicos incluidos en este estudio fueron: temperatura, salinidad y sigma – T (densidad), mientras que otros parámetros químicos analizados fueron: oxígeno disuelto y nitrato; las muestras de agua se recolectaron en dos niveles de la columna de agua: superficie y fondo, por medio de una roseta oceanográfica con 24 botellas niskin de 3 litros (Figura 15).

La información obtenida desde un CTD (conductividad, temperatura y profundidad) a bordo del buque de investigación fue procesada mediante el programa SEASOFT – 4234, utilizando la metodología asociada al CTD SBE – 25 con bomba. Se utilizó además un termosalinógrafo SBE – 21 para registrar mediciones continuas de salinidad y temperatura.

La salinidad fue analizada en el laboratorio de química del departamento de oceanografía del Centro Nacional de Datos Oceanográficos de Chile (CENDOC) mediante el método conductimétrico. Para calcular la concentración de oxígeno disuelto se utilizó el método de Winkler modificado por Carpenter, (1965).



Figura 14. CTD y Roseta para obtención de muestras de agua utilizadas durante el embarque.



Figura 15. Roseta oceanográfica con 24 botellas niskin de 3 litros.

2.2.8 Análisis de los Resultados

Se realizó análisis estadístico para comparar las concentraciones de N_2O de las estaciones dentro de cada temporada, así como también comparar los períodos de muestreo invierno - primavera en la columna de agua de superficie y fondo. Se utilizó el programa estadístico Statistica 6,0 sobre estadística básica y análisis descriptivo. Se determinó mediante histogramas que todos los valores presentaban distribución normal. Además como todas las estaciones fueron escogidas en forma aleatoria e independientes, se hizo análisis paramétricos del tipo Anova / Manova. En todos los análisis se asumió un nivel de confianza de 95 % para atribuir significancia.

3. RESULTADOS

3.1 Concentración de Óxido Nitroso

En la tabla 2, se presentan las concentraciones de N_2O determinadas en las muestras de agua para ambos períodos de embarque, expresadas en distintas unidades como: ppbv, mg/L y nM, según se estime conveniente.

Por su parte en las figuras 16, 17, 18 y 19 se señalan la cuantificación de N_2O identificada por coloración según intensidad de concentración (nM), para ambos períodos de muestreo invierno y primavera, tanto en superficie como en fondo.

Por último la figura 20, que corresponde a gráficos de caja indica los mínimos, máximos y el valor promedio de la concentración de N_2O (mg/L), determinado en invierno y primavera en las muestras de agua de superficie y fondo.

Tabla 2. Concentración de Óxido Nitroso, expresado en distintas unidades.

<i>1° muestreo Invierno</i>				
Est.	Prof. (m)	Concentración N ₂ O		
		(ppbv)	(mg/L)	(nM)
2	2	212	0,212	9,3
	180	259	0,259	11,4
4	2	126	0,126	5,6
	150	196	0,196	8,6
6	2	171	0,171	7,5
	125	186	0,186	8,2
10	2	225	0,226	9,9
	150	248	0,248	10,9
13	2	248	0,248	10,9
	50	50	0,050	2,2
16	2	175	0,175	7,7
	240	187	0,187	8,2
17a	2	85	0,085	3,7
	300	131	0,131	5,7
19	2	206	0,206	9,1
	170	250	0,250	11,0
26	2	262	0,262	11,5
	12,5	270	0,270	11,9
27	2	286	0,286	12,6
	90	204	0,205	9,0
30	2	299	0,299	13,1
	250	278	0,278	12,3
32	5	228	0,229	10,1
	400	295	0,295	13,0
34	2	289	0,289	12,7
	480	178	0,178	7,8
35	2	340	0,340	14,9
	50	289	0,289	12,7
39	2	230	0,231	10,1
	150	247	0,247	10,9
41	2	186	0,186	8,2
	200	264	0,264	11,6

<i>2° muestreo Primavera</i>				
Est.	Prof. (m)	Concentración N ₂ O		
		(ppbv)	(mg/L)	(nM)
0	0	498	0,498	22,2
	500	226	0,226	10,1
2	2	463	0,463	20,7
	180	467	0,467	20,9
4	2	458	0,458	20,4
	150	377	0,377	16,8
6	2	182	0,182	8,1
	150	411	0,411	18,3
11	2	385	0,385	17,2
	230	302	0,302	13,5
14	2	274	0,274	12,2
	123	358	0,358	16,0
17a	2	362	0,362	16,2
	300	327	0,327	14,6
21	2	316	0,316	14,1
	130	403	0,403	18,0
21a	2	145	0,145	6,5
	50	56	0,056	2,5
*27	2	150	0,151	6,7
	95	214	0,214	9,5
*28	atm	178	0,178	7,8
	2	260	0,260	11,6
*29	210	271	0,271	12,1
	atm	260	0,260	11,4
*33	2	294	0,294	13,1
	90	214	0,214	9,5
*35	atm	169	0,169	7,4
	2	410	0,410	18,3
*36	180	206	0,206	9,2
	atm	256	0,256	11,3
*39	2	260	0,260	11,6
	40	357	0,357	15,9
*36	atm	254	0,254	11,2
	2	382	0,382	17,1
*39	200	115	0,115	5,1
	atm	238	0,238	10,5
*39	2	352	0,352	15,7
	140	410	0,410	18,3
*39	atm	249	0,249	11,0

*Toma de muestra de aire (atmósfera) con el fin de obtener un valor promedio de la zona, para análisis correspondientes.

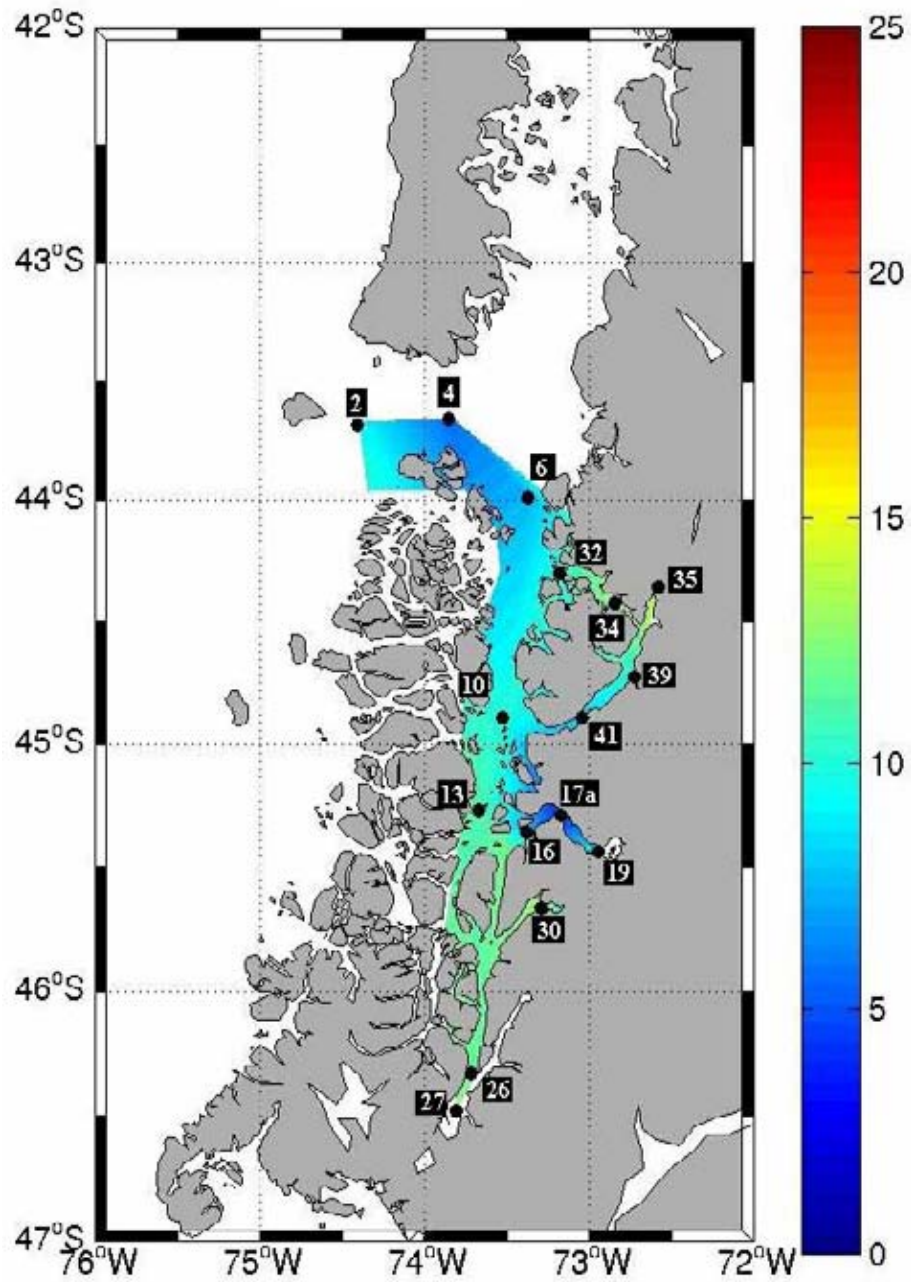


Figura 16. Cuantificación de óxido nítrico, identificado por coloración según intensidad de concentración (nM), período de embarque invierno, estaciones superficiales.

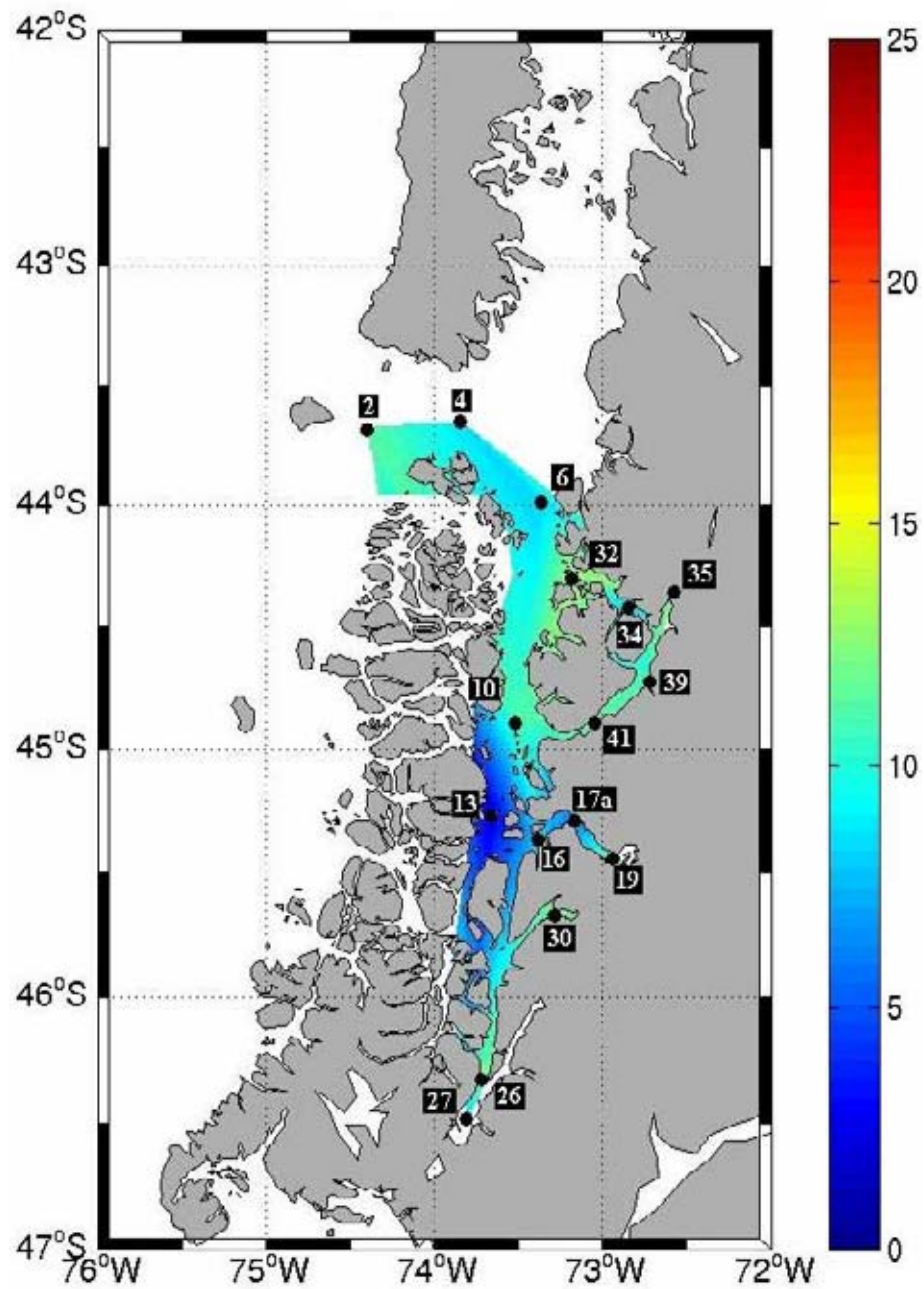


Figura 17. Cuantificación de óxido nítrico, identificado por coloración según intensidad de concentración (nM), período de embarque invierno, estaciones del fondo.

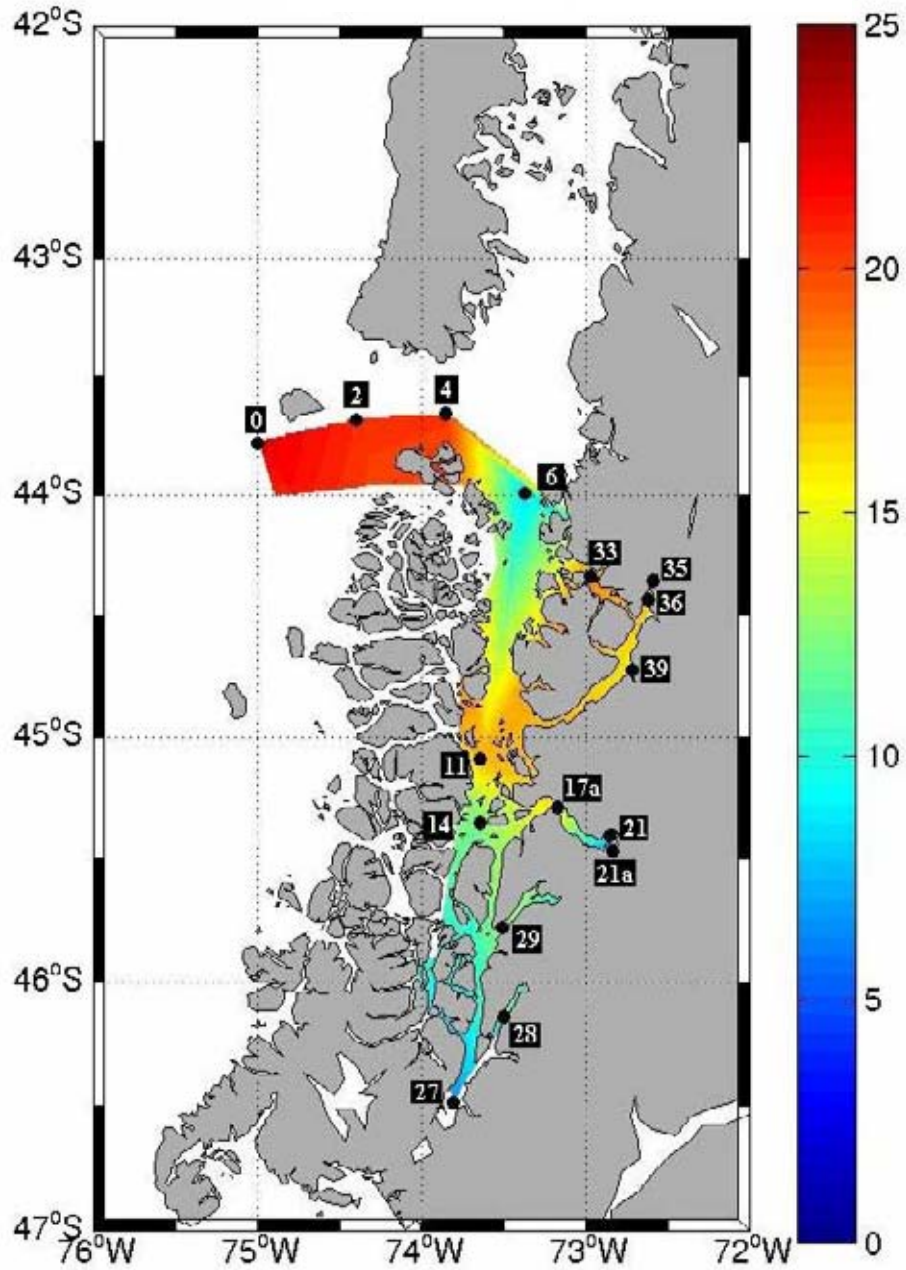


Figura 18. Cuantificación de óxido nítrico, identificado por coloración según intensidad de concentración (nM), período de embarque primavera, estaciones superficiales.

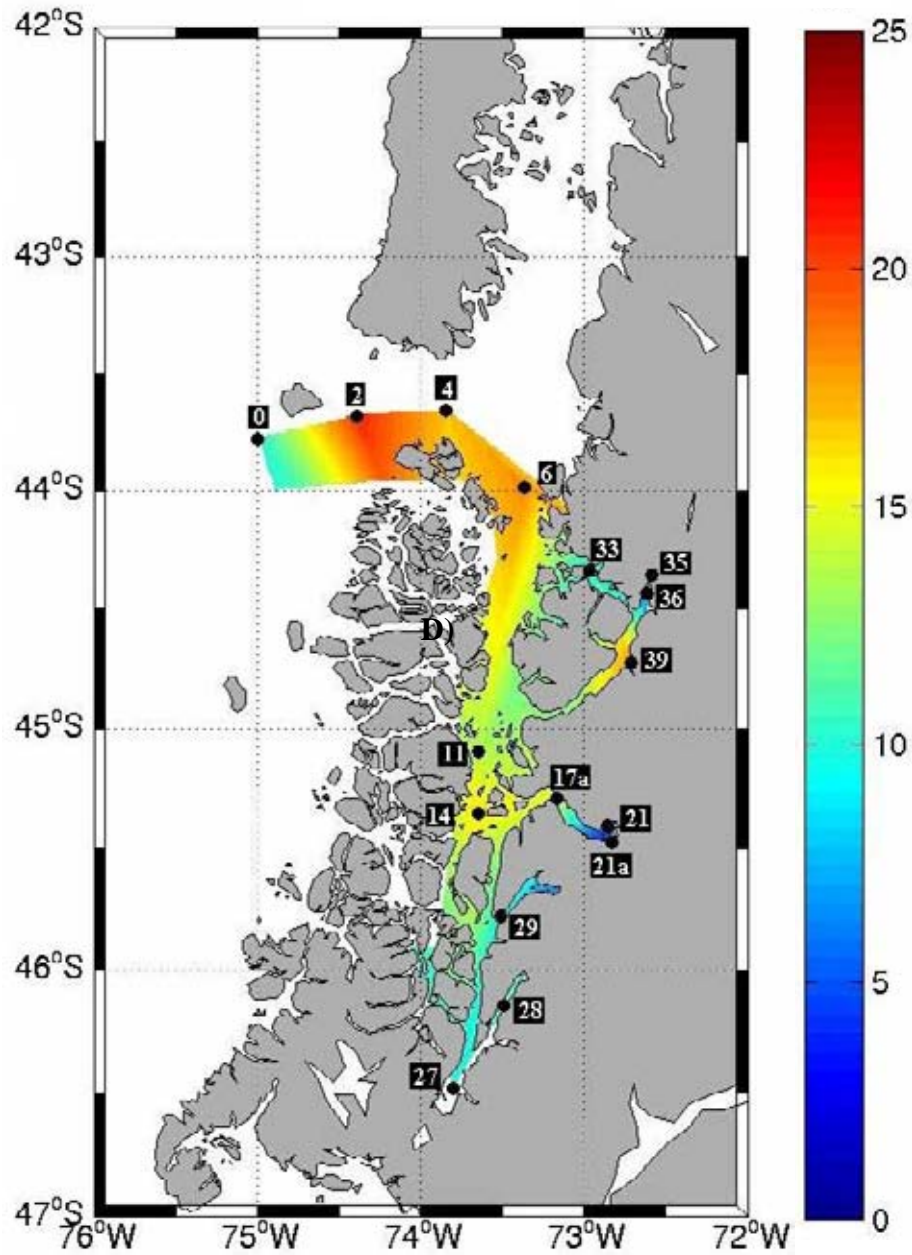
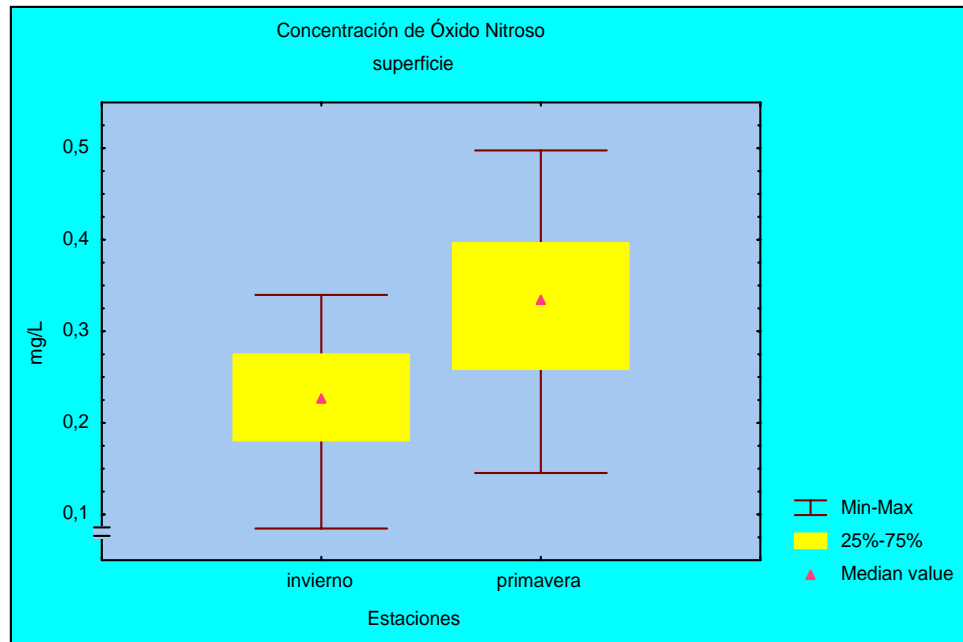
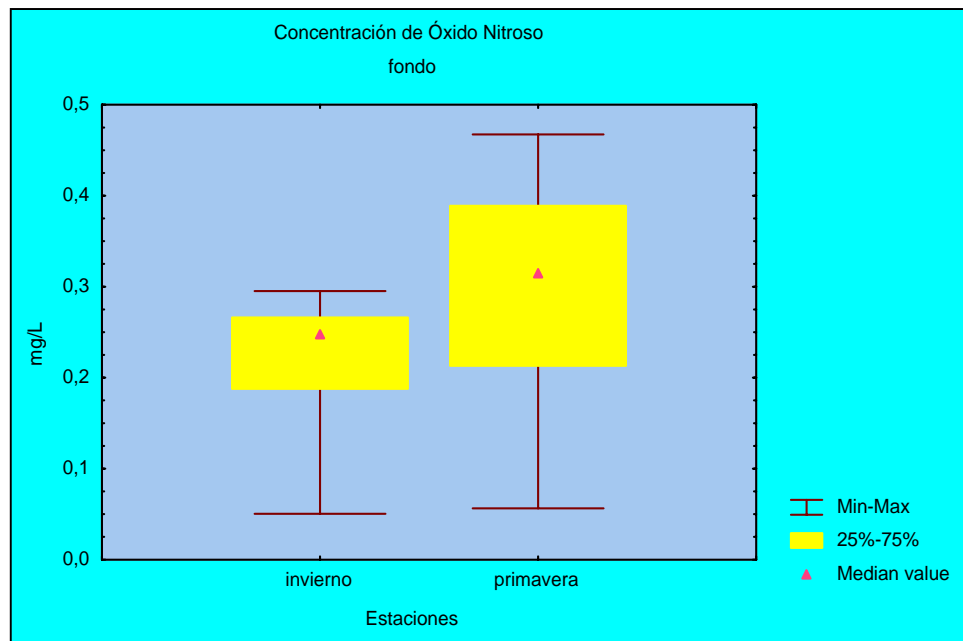


Figura 19. Cuantificación de óxido nítrico, identificado por coloración según intensidad de concentración (nM), período de embarque primavera, estaciones del fondo.



A)



B)

Figura 20. Éstos gráficos de caja indican las mínimas - máximas y el valor promedio de Concentración de N_2O (mg/L), observada en invierno y primavera. A) Superficie, B) Fondo.

De acuerdo a los resultados, obtenidos la máxima concentración de N_2O medida correspondió al período de primavera en agua del nivel superficial, con 0,49 mg/L en la estación 0 a 0 metros y la mínima registrada fue en el período de invierno en agua del fondo, con 0,05 mg/L en la estación 13 a 50 metros de profundidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos se estableció que no existieron diferencias significativas en cada período de muestreo, tanto en superficie como en fondo. En invierno, al comparar datos superficiales y de fondo se observó un P-valor = 0,922 (F = 0,0095; G.L = 1). En primavera se registró la misma situación en superficie y fondo con un P-valor = 0,4560 (F = 0,5701; G.L = 1). Sin embargo, al comparar ambas estaciones en superficie se observó diferencias altamente significativas, P-valor = 0,0033 (F = 10,1360; G.L = 1) y en el fondo se pudo observar diferencias significativas, P-valor = 0,031 (F = 4,9504; G.L = 1).

$p < 0,05$ = existe una diferencia estadísticamente significativa.

$p > 0,05$ = no existe una diferencia estadísticamente significativa.

$p < 0,01$ = existe una diferencia estadística altamente significativa.

$p > 0,01$ = no existe una diferencia estadística altamente significativa.

3.2 Porcentaje de Saturación de Óxido Nitroso

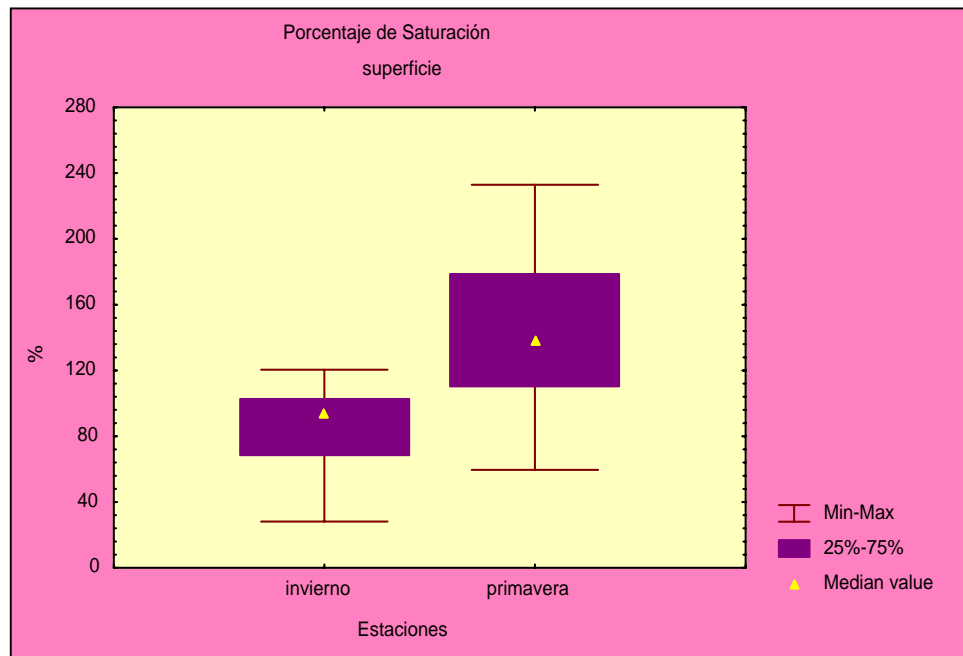
En la tabla 3 se muestran los valores de porcentaje de saturación de N_2O para ambos períodos de muestreos invierno y primavera, para las muestras de agua de superficie y fondo.

Por su parte en la figura 21, que corresponde a gráficos de caja se indican las mínimas, máximas y el valor promedio de porcentaje de saturación de N_2O , determinado para las muestras de agua de superficie y fondo en ambos muestreos.

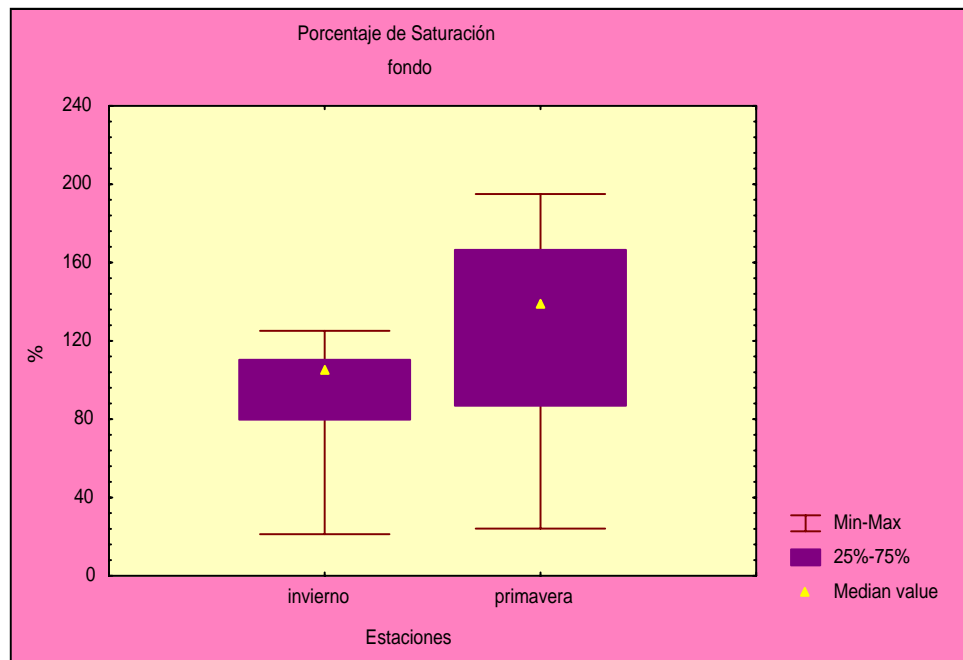
Por último en las figuras 22 y 23 se presentan gráficos de barra que indican la relación que existe entre la concentración (mg/L) y la saturación (%) de N_2O en primavera y en invierno, tanto en superficie como en fondo.

Tabla 3. Valores de Porcentaje de Saturación de Óxido Nitroso, obtenidos en ambos períodos de embarque invierno – primavera en superficie y fondo.

<i>1° Muestreo Invierno</i>			<i>2° muestreo Primavera</i>		
Estación	Profundidad	Saturación	Estación	Profundidad	Saturación
	(m)	(%)		(m)	(%)
2	2	91,7	0	0	232,9
	180	110,9		500	86,4
4	2	54,7	2	2	216,6
	150	85,2		180	195,0
6	2	72,3	4	2	210,7
	125	80,9		150	159,4
10	2	92,6	6	2	84,9
	150	106,3		150	174,4
13	2	100,9	11	2	170,8
	50	21,3		230	131,3
16	2	65,1	14	2	119,3
	240	80,6		123	157,5
17a	2	28,1	17a	2	148,1
	300	57,7		300	146,1
19	2	63,1	21	2	124,3
	170	109,2		130	178,2
26	2	97,3	21a	2	65,2
	12,5	108,7		50	24,1
27	2	103,2	27	2	59,5
	90	79,1		95	85,2
30	2	115,5	28	2	107,6
	250	116,1		210	112,5
32	5	95,6	29	2	128,8
	400	123,0		90	92,3
34	2	120,5	33	2	186,0
	480	73,7		180	87,6
35	2	117,7	35	2	112,5
	50	125,1		40	153,2
39	2	96,5	36	2	166,6
	150	104,6		200	49,1
41	2	74,3	39	2	156,7
	200	110,7		140	176,0

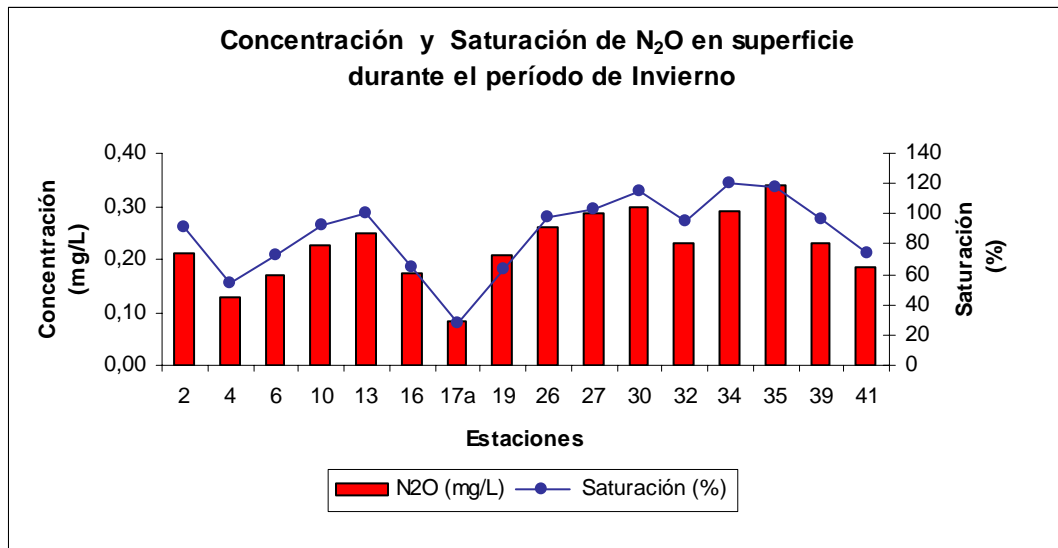


A)

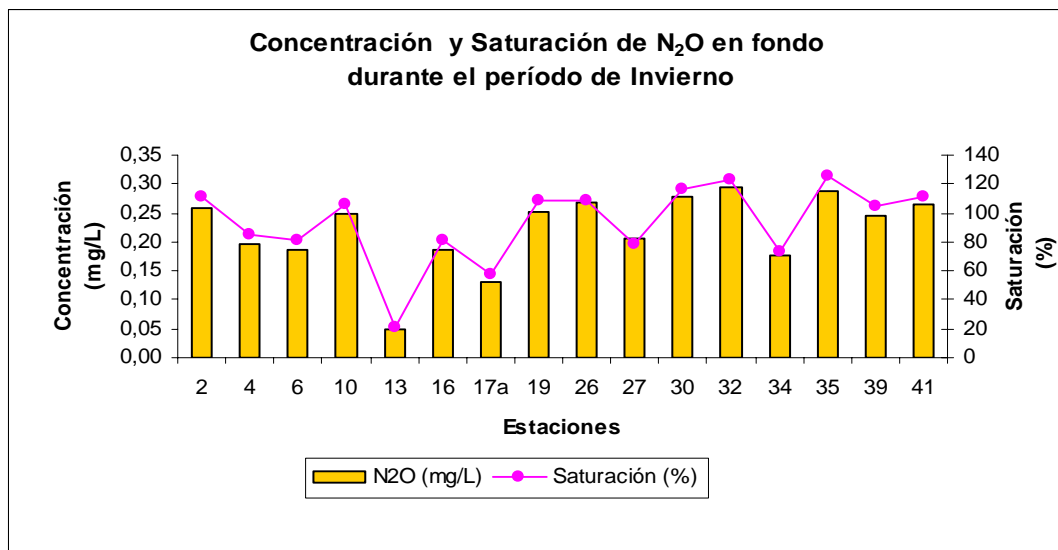


B)

Figura 21. Éstos gráficos de caja indican las mínimas - máximas y el valor promedio de Porcentaje de Saturación de N_2O , observadas en invierno y primavera. A) Superficie, B) Fondo.



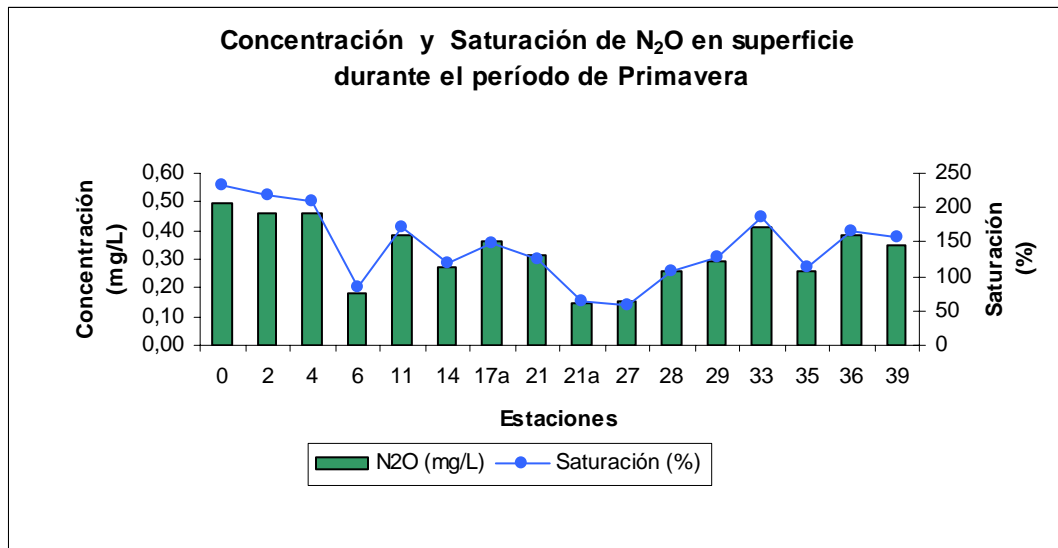
A)



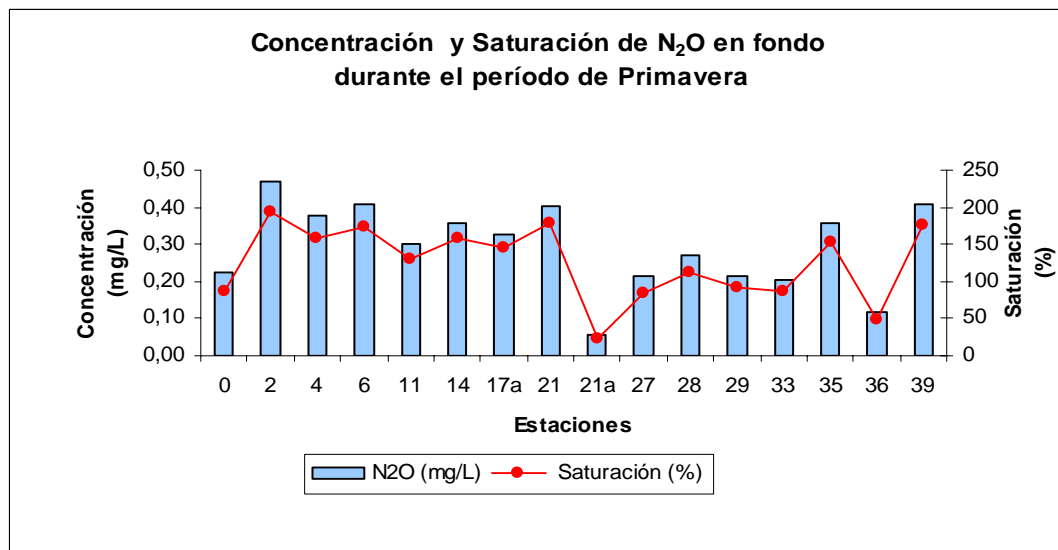
B)

Figura 22. Concentración de Óxido Nitroso (mg/L) y Saturación (%) para el período de invierno.

A) Superficie, B) Fondo.



A)



B)

Figura 23. Concentración de Óxido Nitroso (mg/L) y Saturación (%) para el período de primavera. A) Superficie, B) Fondo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el mayor valor de porcentaje de saturación correspondió al período de primavera en agua de superficie (0 m), con 232,9 % de saturación en la estación 0, mientras que en invierno se obtuvo 21,3 % en la estación 13 en agua de fondo a 50 metros de profundidad. En invierno, al comparar datos superficiales y de fondo se pudo observar un P-valor = 0,4911 ($F = 0,4858$; G.L = 1). En primavera se registró la misma situación en superficie y fondo con un P-valor = 0,3389 ($F = 0,9441$; G.L = 1). Sin embargo, al comparar ambas estaciones en superficie se observó diferencias altamente significativas con un P-valor = 0,0005 ($F = 15,0140$; G.L = 1) y en el fondo se pudo observar diferencias significativas con un P-valor = 0,031 ($F = 5,0677$; G.L = 1).

En las figuras 22 y 23 se puede apreciar que, la concentración y el porcentaje de saturación de N_2O se encuentran directamente relacionados. A una concentración máxima de 0,49 mg/L de N_2O se tiene un 232,9 % de saturación; ambos en muestras de agua de la superficie a 0 metros en la estación 0 en el período de primavera. Mientras que la mínima determinada para la concentración y saturación de N_2O fue en la estación 13, en muestras de agua del fondo a 50 metros de profundidad, con 0,05 mg/L y 21,3 % respectivamente registrados en el período de invierno.

3.3 Difusión de Óxido Nitroso

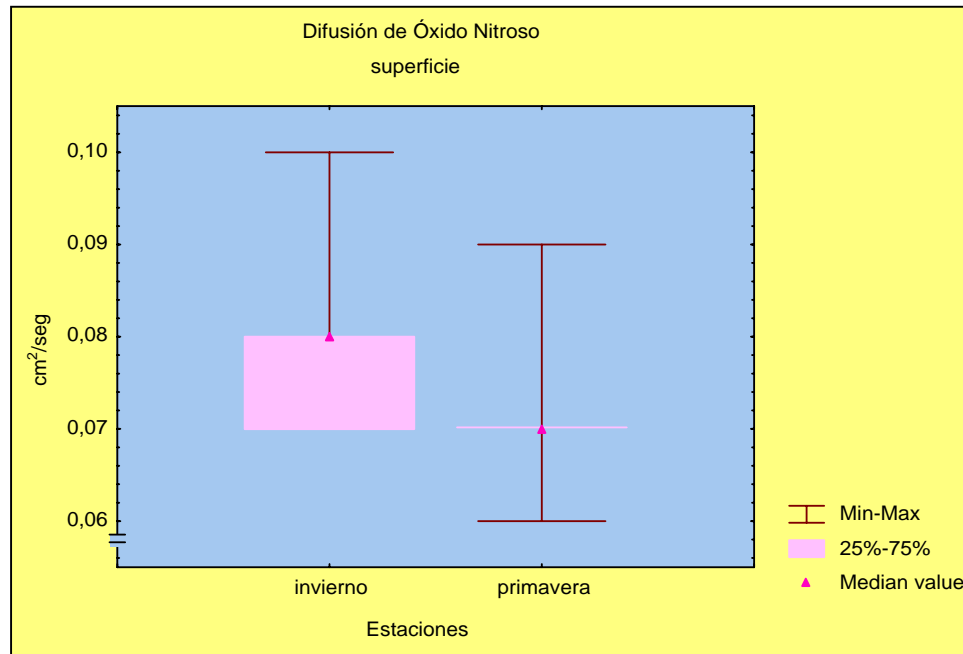
En la tabla 4 se muestran los valores de difusión de N_2O para ambos períodos de muestreos invierno y primavera, para las muestras de agua de superficie y fondo.

En la figura 24, que corresponde a gráficos de caja se presentan las mínimas, máximas y el valor promedio de la difusión de N_2O , para las muestras de agua de ambos períodos de muestreo, invierno y primavera tanto en superficie como en fondo.

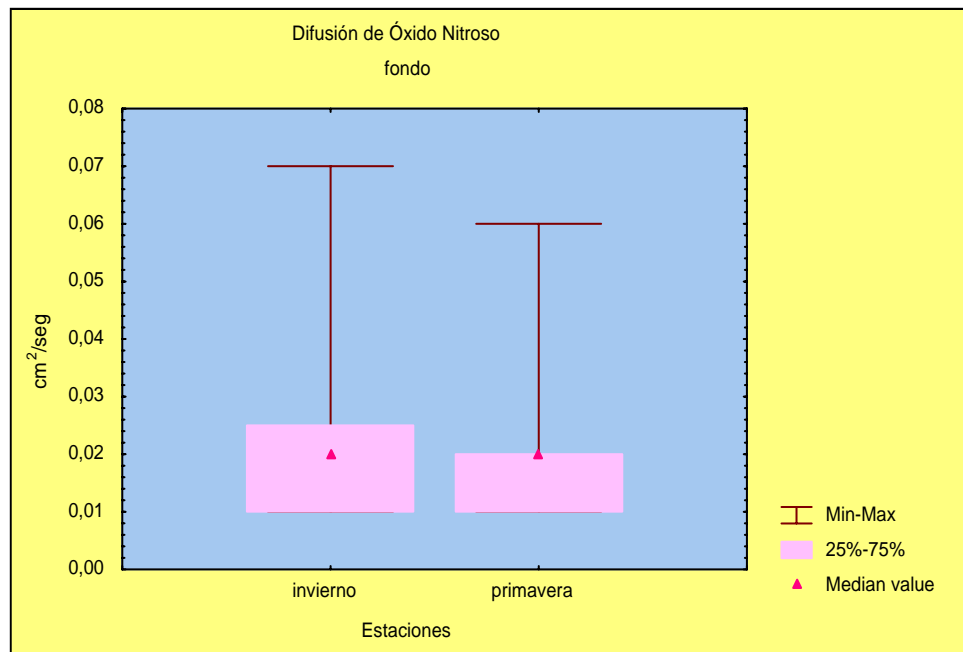
Por su parte en la figura 25 y 26 se muestran gráficos de barra que indican la relación que existe entre la concentración (mg/L) y la difusión (cm^2/seg) de N_2O para las muestras de agua de superficie y fondo para ambas temporadas.

Tabla 4. Valores de Difusión de Óxido Nitroso, obtenidos en ambas temporadas (invierno y primavera) en superficie y fondo.

<i>1° muestreo Invierno</i>			<i>2° muestreo Primavera</i>		
Estación	Profundidad	Difusión	Estación	Profundidad	Difusión
	(m)	(cm ² /seg)		(m)	(cm ² /seg)
2	2	0,08	0	0	0,06
	180	0,02		500	0,01
4	2	0,09	2	2	0,07
	150	0,02		180	0,01
6	2	0,08	4	2	0,07
	125	0,02		150	0,02
10	2	0,08	6	2	0,08
	150	0,02		150	0,02
13	2	0,07	11	2	0,07
	50	0,06		230	0,01
16	2	0,08	14	2	0,07
	240	0,01		123	0,02
17a	2	0,1	17a	2	0,07
	300	0,01		300	0,01
19	2	0,08	21	2	0,07
	170	0,02		130	0,02
26	2	0,07	21a	2	0,09
	12,5	0,07		50	0,06
27	2	0,07	27	2	0,08
	90	0,03		95	0,02
30	2	0,07	28	2	0,07
	250	0,01		210	0,01
32	5	0,08	29	2	0,07
	400	0,01		90	0,03
34	2	0,07	33	2	0,07
	480	0,01		180	0,02
35	2	0,07	35	2	0,07
	50	0,03		40	0,04
39	2	0,08	36	2	0,07
	150	0,02		200	0,02
41	2	0,08	39	2	0,07
	200	0,02		140	0,02

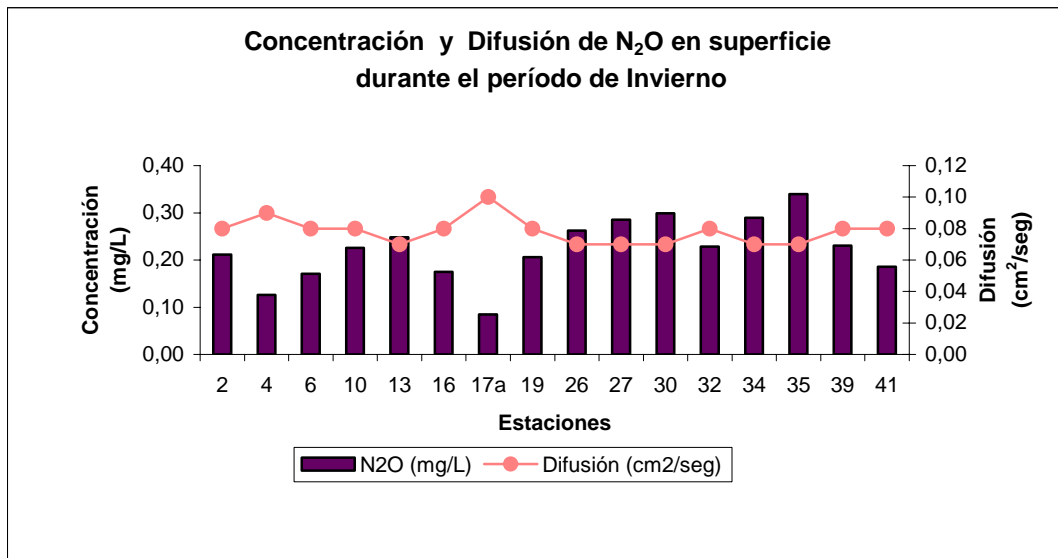


A)

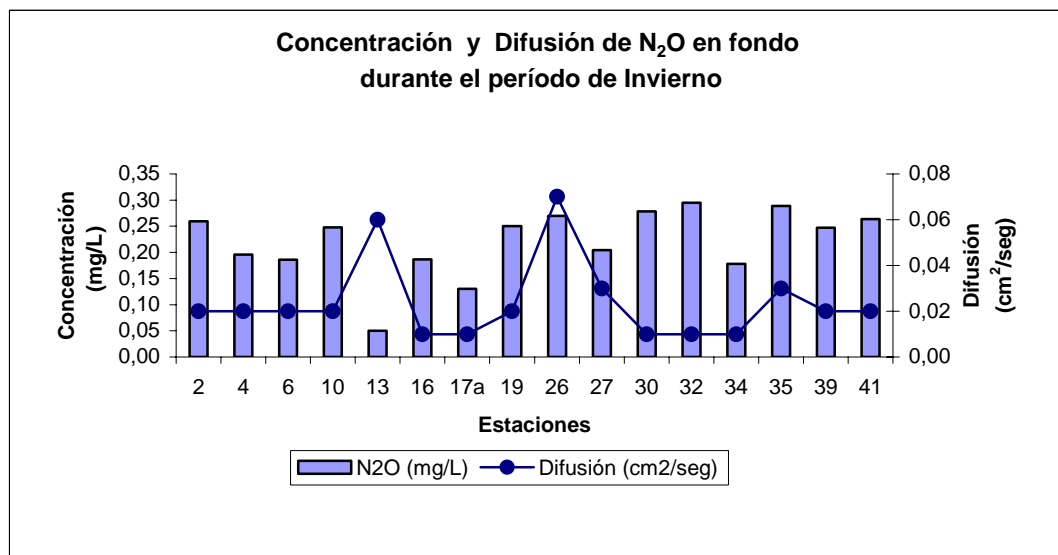


B)

Figura 24. Éstos gráficos de caja señalan las mínimas - máximas y el valor promedio de Difusión de N_2O (cm^2/seg), observadas en invierno y primavera. A) Superficie, B) Fondo.

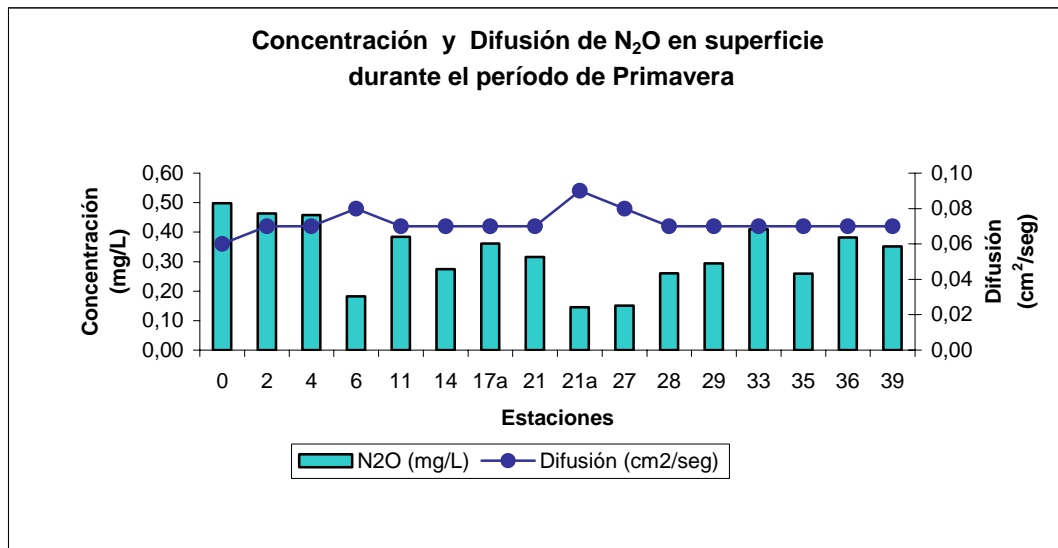


A)

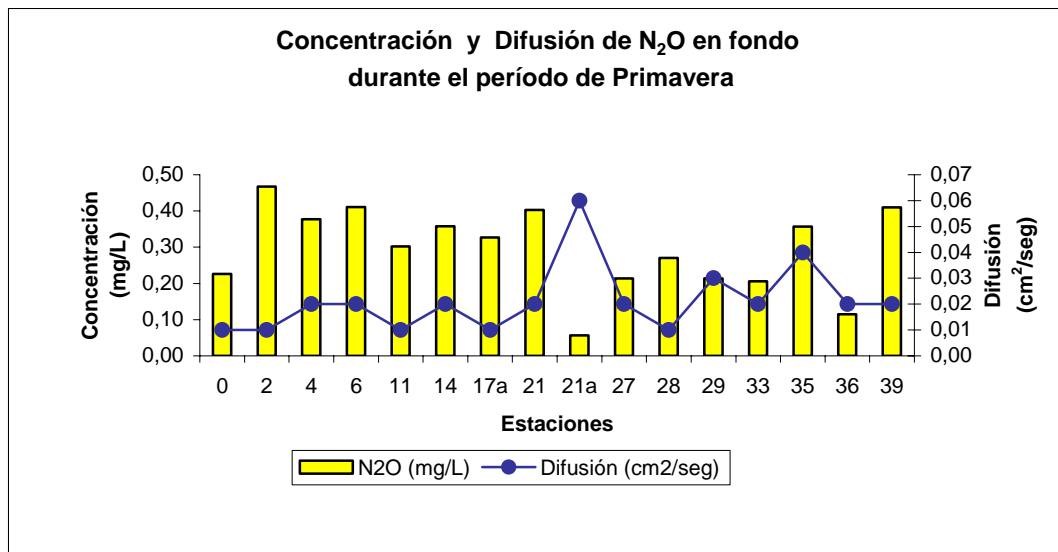


B)

Figura 25. Concentración de Óxido Nitroso (mg/L) y Difusión (cm²/seg) para el período de invierno. A) Superficie, B) Fondo.



A)



B)

Figura 26. Concentración de Óxido Nitroso (mg/L) y Difusión (cm²/seg) para el período de primavera. A) Superficie, B) Fondo.

De acuerdo a los resultados obtenidos la difusión más alta registrada fue en el período de invierno en la muestra de agua del nivel superficial con $0,10 \text{ cm}^2/\text{seg}$ en la estación 17a a 2 metros de profundidad y la mínima fue de $0,01 \text{ cm}^2/\text{seg}$ en la muestra de agua del fondo, obtenido en estaciones de ambas temporadas. También se observaron diferencias altamente significativas en invierno al comparar datos superficiales y de fondo, con un P-valor = $0,2823 \cdot 10^{-12}$ (F = 126,2903; G.L = 1). Mientras que en primavera para la misma situación se registró un P-valor = $1,5045 \cdot 10^{-14}$ (F = 191,0970; G.L = 1). También, al comparar ambas estaciones en superficie se observó diferencias significativas con un P-valor = 0,0251 (F = 5,555; G.L = 1) y en el fondo no se registró diferencias significativas con un P-valor = 0,650 (F = 0,2097; G.L = 1).

La difusión calculada en este estudio presentó valores altos en la superficie y valores bajos de difusión en el fondo en todas las muestras de agua analizadas tanto en primavera como en invierno (figuras 25 y 26).

Se determinó que la difusión y la concentración de N_2O no se relacionan directamente, mientras que la difusión más alta ocurrió en el período de invierno estación 17a, en agua del nivel superficial a 2 metros de profundidad, con $0,10 \text{ cm}^2/\text{seg}$, en donde se observó un $0,08 \text{ mg/L}$ de concentración de N_2O , mientras que la máxima registrada para concentración de N_2O en invierno que fue de $0,33 \text{ mg/L}$ en la estación 35 a 2 metros de profundidad, y en general la máxima registrada de N_2O en ambas estaciones fue en la estación 0 en agua superficial (0 m) en el muestreo primaveral con $0,49 \text{ mg/L}$ en donde se observó un $0,06 \text{ cm}^2/\text{seg}$ de difusión.

Y la difusión más baja determinada en casi todas las estaciones fue de $0,01 \text{ cm}^2/\text{seg}$ en el fondo de ambas temporadas, mientras que la mínima registrada para la concentración de N_2O fue en el período de invierno con $0,05 \text{ mg/L}$ en la estación 13 en el fondo a 50 metros, donde la difusión registró $0,06 \text{ cm}^2/\text{seg}$.

3.4 Parámetros Físicos y Químicos

En la tabla 5 se presentan los valores de los parámetros físicos del agua: temperatura, salinidad y σ_T (densidad) y los otros parámetros químicos del agua: oxígeno disuelto y nitrato determinados en las muestras.

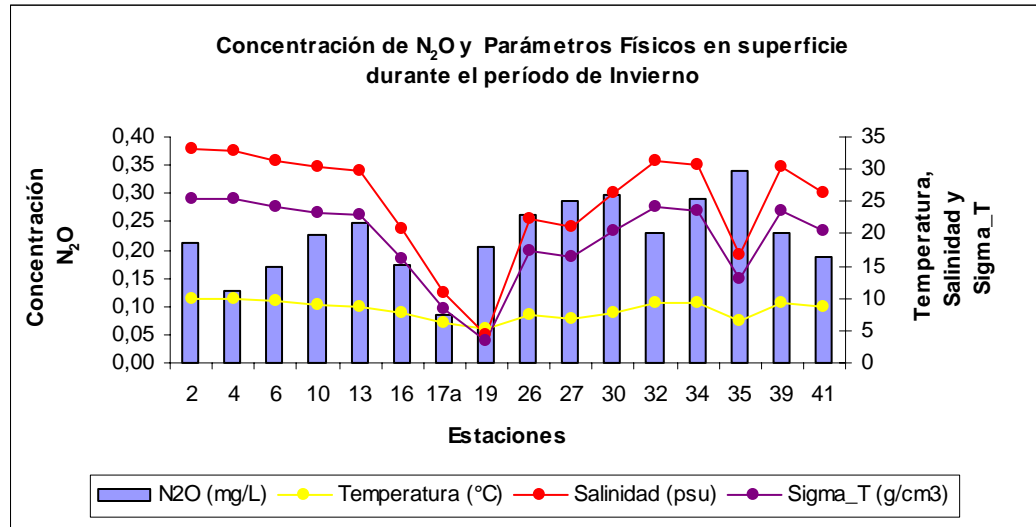
Las figuras 27 y 28, muestran gráficos de barra que indican la relación que existe entre la concentración de N_2O (mg/L) y los parámetros físicos del agua: temperatura ($^{\circ}C$), salinidad (psu) y σ_T (g/cm^3), para ambos períodos de muestreo invierno y primavera, tanto para la superficie como para el fondo.

Por último en las figuras 29 y 30 se presentan gráficos de barra que indican la relación que existe entre la concentración de N_2O (mg/L) y los parámetros químicos del agua: oxígeno disuelto (mL/L) y nitrato (μM) para ambos períodos de embarque, invierno y primavera en superficie y fondo.

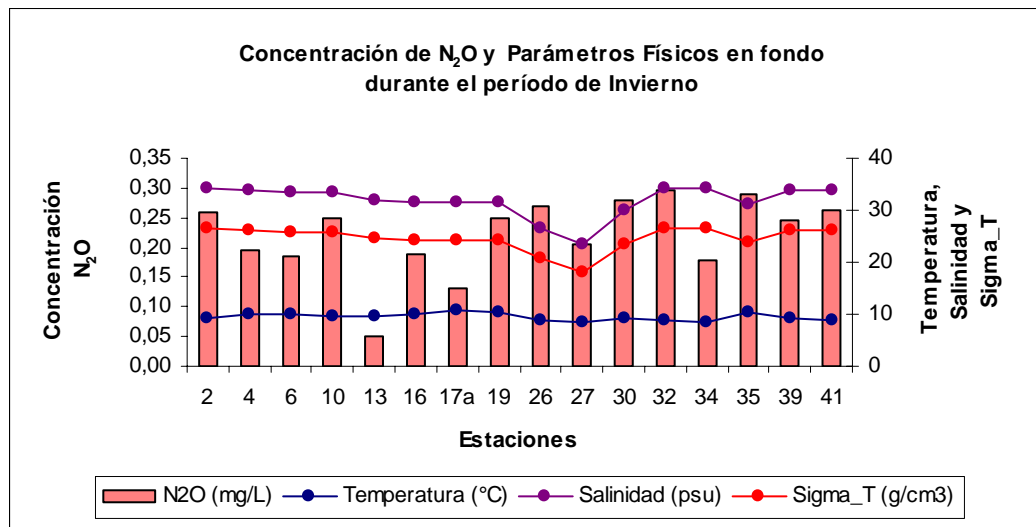
Tabla 5. Valores obtenidos para los Parámetros Físicos del agua: Temperatura, Salinidad y Sigma _ T (Densidad) y los Parámetros Químicos del agua: Oxígeno Disuelto y Nitrato. Obtenidos en ambos períodos de embarque invierno – primavera en superficie y fondo.

<i>1° muestreo Invierno</i>						
Est.	Prof.	Temp.	Sali.	Sigma_T	O ₂	NO ₃ -
	(m)	(°C)	(psu)	(g/cm ³)	(mL/L)	(µM)
2	2	9,9	33,0	25,4	6,1	17,5
	180	9,4	34,2	26,4	4,9	26,5
4	2	9,9	32,9	25,3	6,2	16,5
	150	9,9	33,9	26,1	3,7	23,1
6	2	9,6	31,4	24,2	6,2	20,6
	125	10,0	33,3	25,6	4,7	20,8
10	2	8,9	30,2	23,4	6,4	19,7
	150	9,5	33,5	25,9	3,9	24,9
13	2	8,7	29,6	22,9	6,5	19,2
	50	9,5	31,8	24,5	5,1	21,4
16	2	7,7	20,6	16,1	6,5	9,3
	240	10,0	31,6	24,3	5,1	20,3
17a	2	6,2	10,8	8,5	8,0	6,3
	300	10,7	31,6	24,2	4,0	16,7
19	2	5,1	4,3	3,4	8,9	2,6
	170	10,3	31,5	24,2	3,3	20,0
26	2	7,4	22,2	17,3	6,9	13,4
	12,5	8,9	26,7	20,7	5,7	15,8
27	2	6,9	20,9	16,4	6,8	11,7
	90	8,3	23,3	18,1	6,2	13,8
30	2	7,9	26,2	20,4	6,2	14,0
	250	9,3	30,2	23,3	4,3	20,5
32	5	9,3	31,2	24,1	6,1	20,5
	400	8,7	34,1	26,4	2,8	28,6
34	2	9,2	30,6	23,7	6,4	20,9
	480	8,5	34,1	26,5	2,8	27,4
35	2	6,4	16,6	13,0	5,8	4,4
	50	10,2	31,0	23,8	4,0	20,9
39	2	9,4	30,5	23,5	5,9	21,1
	150	9,1	33,8	26,2	1,4	27,7
41	2	8,7	26,3	20,4	5,7	8,5
	200	8,9	33,9	26,3	2,3	27,5

<i>2° muestreo Primavera</i>						
Est.	Prof.	Temp.	Sali.	Sigma_T	O ₂	NO ₃ -
	(m)	(°C)	(psu)	(g/cm ³)	(mL/L)	(µM)
0	0	11,7	33,0	25,4	6,5	6,0
	500	6,0	34,3	27,4	4,4	31,0
2	2	11,7	32,8	24,4	6,1	11,1
	180	8,3	34,3	26,4	4,3	28,5
4	2	11,3	32,6	24,4	6,0	15,0
	150	8,7	34,3	26,4	3,7	27,3
6	2	11,9	31,0	23,4	5,4	2,7
	150	8,9	34,1	26,4	2,8	26,1
11	2	10,7	29,9	22,4	6,6	11,0
	230	9,6	33,6	25,4	2,1	24,4
14	2	10,3	29,2	22,4	6,9	12,9
	123	10,2	31,7	24,4	5,3	11,9
17a	2	10,8	14,4	10,4	7,7	0,2
	300	10,6	31,6	24,4	3,5	20,4
21	2	10,5	9,5	0,4	8,2	0,3
	130	10,4	31,4	27,4	4,4	31,0
21a	2	11,4	27,5	21,2	8,1	0,1
	50	9,6	30,3	23,4	3,6	22,4
27	2	8,7	22,2	17,4	6,4	10,3
	95	8,8	22,8	17,4	6,3	11,8
28	2	10,0	21,4	16,4	8,2	0,3
	210	9,3	27,6	21,4	5,7	16,7
29	2	10,8	26,7	20,4	6,2	11,9
	90	9,9	30,4	23,4	5,6	16,3
33	2	11,6	28,0	21,4	6,8	1,9
	180	8,9	34,1	26,4	2,2	28,8
35	2	11,9	17,8	13,4	7,5	0,4
	40	9,6	30,9	26,4	2,2	28,8
36	2	11,8	19,2	14,4	7,4	0,4
	200	9,1	33,9	26,4	1,3	28,0
39	2	12,5	18,8	14,4	7,2	0,2
	140	9,2	33,8	26,4	2,2	28,7

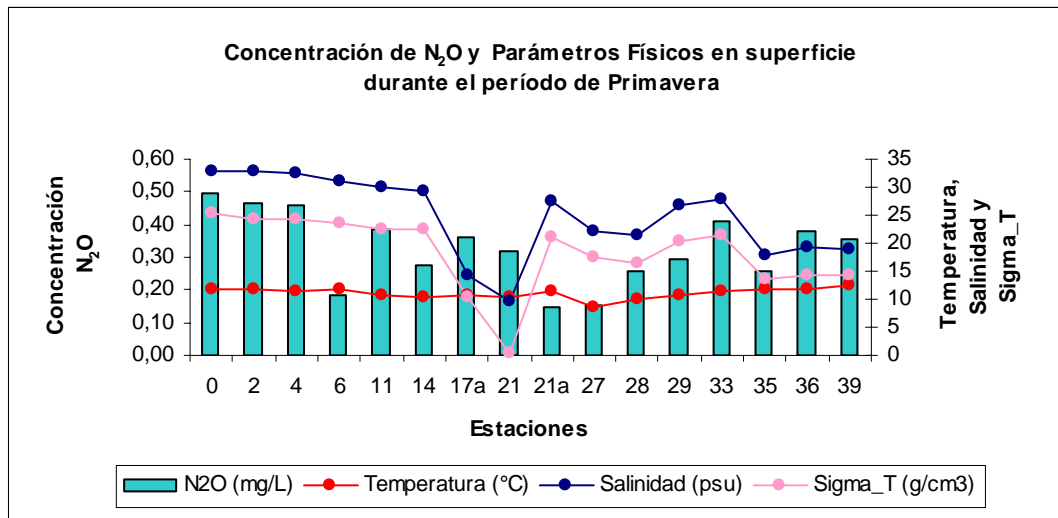


A)

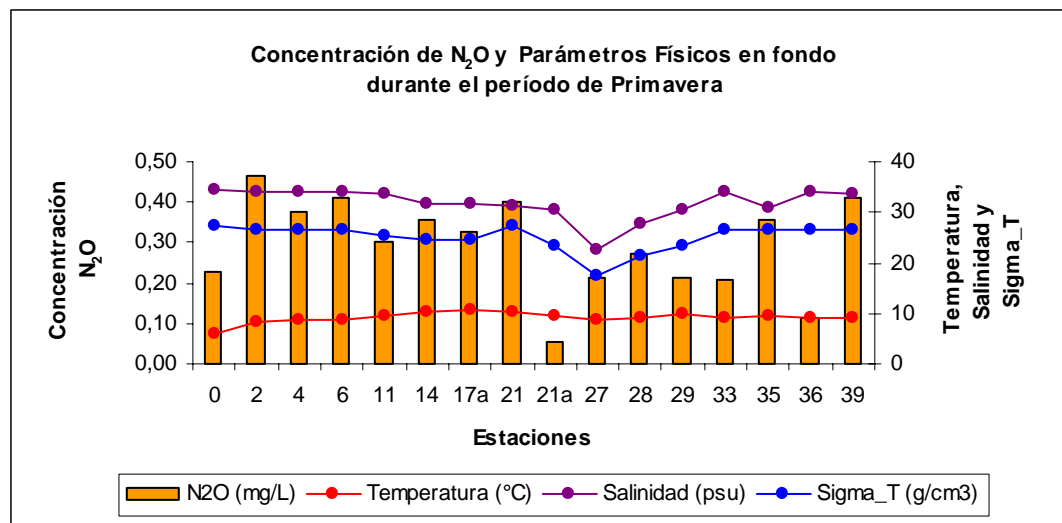


B)

Figura 27. Concentración de Óxido Nitroso (mg/L) y Parámetros Físicos del agua: Temperatura (T°), Salinidad (psu) y Sigma_T (g/cm³), para el período de invierno. A) Superficie, B) Fondo.

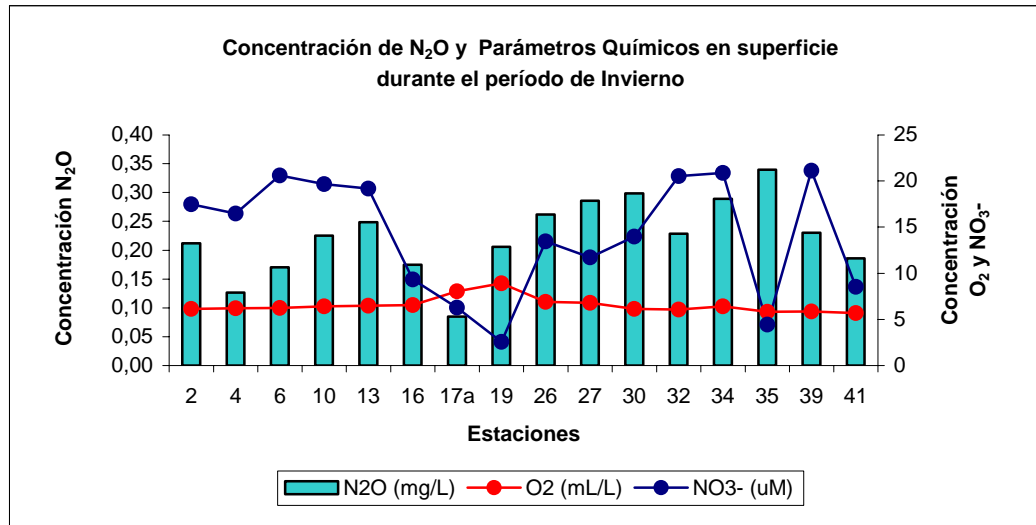


A)

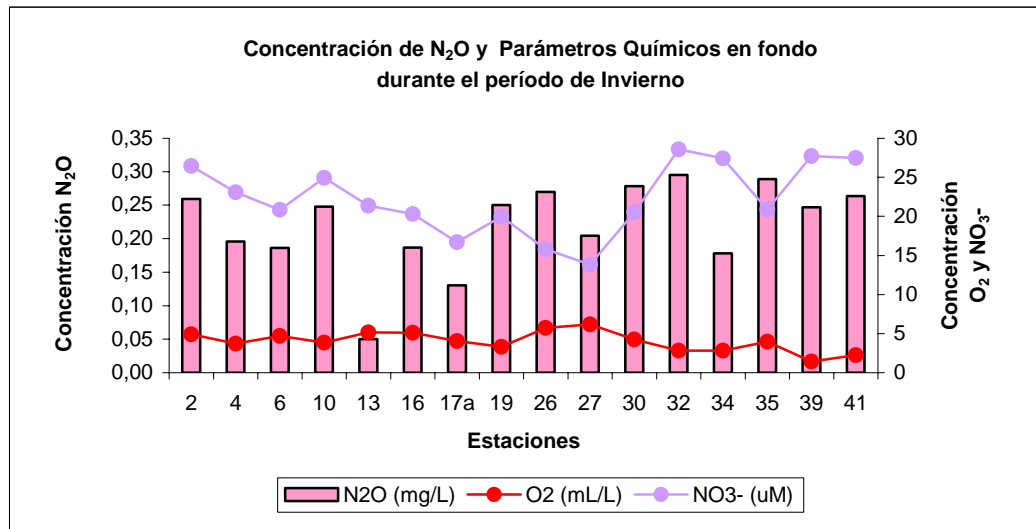


B)

Figura 28. Concentración de Óxido Nitroso (mg/L) y Parámetros Físicos del agua: Temperatura (T°), Salinidad (psu) y Sigma_T (g/cm³), para el período de primavera. A) Superficie, B) Fondo.

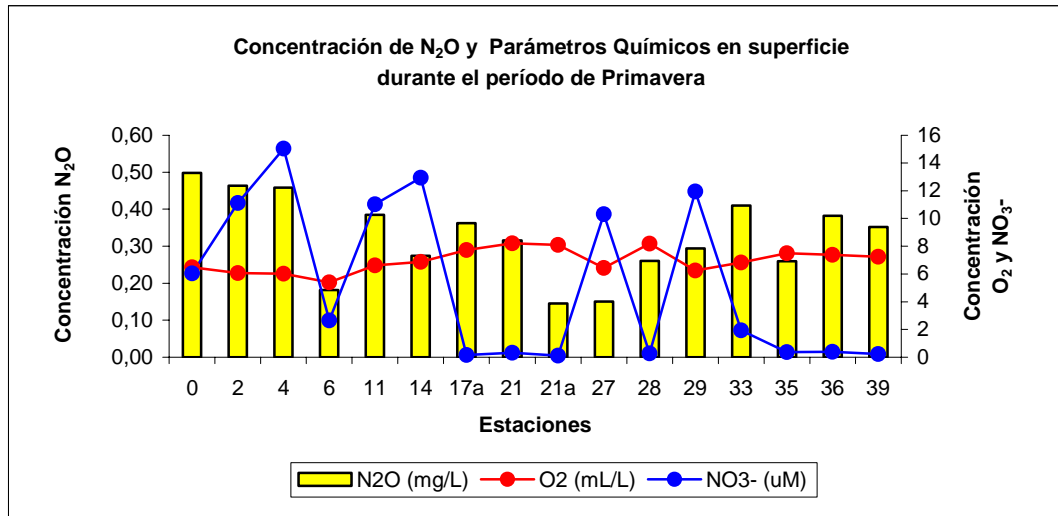


A)

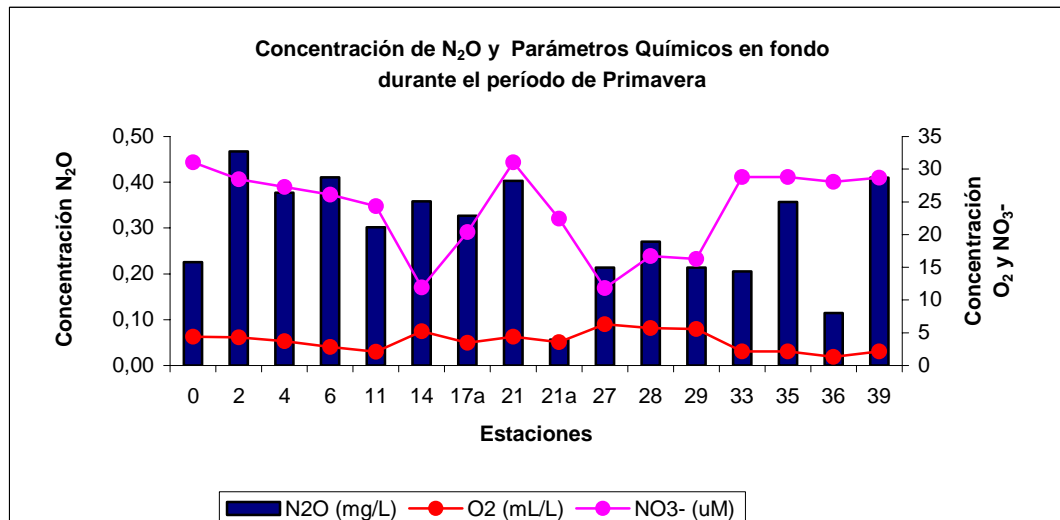


B)

Figura 29. Concentración de N₂O (mg/L) y Parámetros Químicos del agua: Oxígeno Disuelto (mL/L) y Nitrato (μM), para el período de invierno. A) Superficie, B) Fondo.



A)



B)

Figura 30. Concentración de N₂O (mg/L) y Parámetros Químicos del agua: Oxígeno Disuelto (mL/L) y Nitrato (μM), para el período de primavera. A) Superficie, B) Fondo.

Temperatura

La temperatura del agua más alta registrada en las estaciones durante el crucero fue en agua superficial en el período de primavera, con 12,5 °C en la estación 39 a 2 metros de profundidad y la mínima registrada fue de 5,1 °C en agua superficial de invierno, para la estación 19 a 2 metros de profundidad.

Se observaron diferencias significativas en invierno al comparar datos superficiales y de fondo en donde se obtuvo un P-valor = 0,0036 (F = 9,9160; G.L = 1). En primavera para la misma situación se registró una diferencia altamente significativa con un P-valor = $6,3437 \cdot 10^{-06}$ (F = 29,8194; G.L = 1), mientras que al comparar ambas estaciones en superficie se observó diferencias altamente significativas con un P-valor = $1,8851 \cdot 10^{-07}$ (F = 45,1990; G.L = 1). En el fondo no se registró diferencias significativas con un P-valor = 0,3714 (F = 0,8233; G.L = 1).

Salinidad

De acuerdo a lo registrado la salinidad del agua más alta determinada en las estaciones durante el crucero fue en agua del período de primavera en el fondo, con 34,3 psu en la estación 0 a 500 metros de profundidad y la mínima registrada fue en agua superficial de invierno con 4,3 psu para la estación 19 a 2 metros de profundidad.

Estadísticamente se estableció que existen diferencias altamente significativas en invierno al comparar datos superficiales y de fondo en donde se observó un P-valor = 0,0040 ($F = 9,6641$; G.L = 1). En primavera para la misma situación se observó una diferencia altamente significativa con un P-valor = 0,0008 ($F = 13,5851$; G.L = 1). Mientras que al comparar ambas estaciones en superficie no se observó diferencias significativas con un P-valor = 0,9350 ($F = 0,0067$; G.L = 1) y en el fondo tampoco se registró diferencias significativas con un P-valor = 0,9752 ($F = 0,0009$; G.L = 1).

Sigma _T (Densidad)

La densidad del agua más alta registrada en las estaciones durante el crucero, fue la obtenida en agua de fondo en el período de invierno con $26,5 \text{ g/cm}^3$ en la estación 34 a 480 metros de profundidad y la mínima registrada fue de $0,4 \text{ g/cm}^3$ en primavera para la estación 21 a 2 metros de profundidad en agua superficial.

De acuerdo a los resultados obtenidos se estableció que existen diferencias altamente significativas en invierno al comparar datos superficiales y de fondo en donde se registró un P-valor = 0,0043 ($F = 9,490$; G.L = 1). En primavera para la misma situación se observó una diferencia altamente significativa con un P-valor = 0,0006 ($F = 14,3746$; G.L = 1). Mientras que al comparar ambas estaciones en superficie no se registró diferencias significativas con un P-valor = 0,6692 ($F = 0,1860$; G.L = 1), en aguas del fondo tampoco se observó diferencias significativas con un P-valor = 0,6234 ($F = 0,2460$; G.L = 1).

La salinidad y σ_T (densidad) del agua son directamente proporcionales (figuras 27 y 28). La temperatura del agua actúa en forma independiente de estos dos parámetros, se pudo establecer que estos parámetros químicos y la concentración de N_2O no se relacionan entre si directamente, en tanto que la máxima determinada para la concentración de N_2O fue en agua superficial de primavera con 0,49 mg/L en la estación 0 a 0 metros de profundidad mientras que la máxima registrada para salinidad del agua en las estaciones durante el crucero fue en la muestra de agua de fondo en el período de primavera con 34,3 psu en la estación 0, pero a 500 metros de profundidad. La densidad del agua más alta registrada en las estaciones durante el crucero, fue la obtenida en agua de fondo en el período de invierno con 26,5 g/cm³ en la estación 34 a 480 metros de profundidad. Con respecto a la temperatura del agua la más alta determinada en las estaciones durante el crucero fue en el período de primavera en agua de superficie, en la estación 39 a 2 metros de profundidad con 12,5 °C.

En tanto que la mínima de concentración de N_2O fue determinada en agua de fondo en la estación 13 a 50 metros de profundidad con 0,05 mg/L en invierno, mientras que la mínima registrada de salinidad del agua fue de 4,3 psu y la mínima determinada para la temperatura del agua fue de 5,1 °C ambas en muestras de agua superficiales de invierno, en la estación 19 a 2 metros de profundidad. Por otro lado, la mínima para la densidad del agua fue registrada en la muestra de agua de superficie, con 0,4 g/cm³ en primavera para la estación 21 a 2 metros de profundidad.

La máxima concentración de N_2O registrada como ya se ha mencionado fue en primavera en agua de nivel superficial con 0,49 mg/L en la estación 0 (0 m), en donde se observa una

salinidad de 33,0 psu, una densidad de 25,4 g/cm³ y una temperatura de 11,7 °C. Mientras que la mínima concentración de N₂O fue determinada en agua de fondo en la estación 13 a 50 metros de profundidad en invierno con 0,05 mg/L, registrando en esta misma estación y a esta profundidad una salinidad de 31,8 psu, una densidad de 24,5 g/cm³ y una temperatura de 9,5 °C.

Oxígeno Disuelto (O₂)

La cantidad más alta registrada de oxígeno disuelto (O₂) del agua en las estaciones durante el crucero, fue la obtenida en agua de superficie en invierno con 8,9 mL/L en la estación 19 a 2 metros de profundidad en la superficie y la mínima registrada fue de 1,3 mL/L en primavera en agua de fondo para la estación 36 a 200 metros de profundidad.

De acuerdo a lo obtenido en los resultados se estableció que existen diferencias altamente significativas en invierno al comparar datos superficiales y de fondo en donde se observó un P-valor = $2,7887 \cdot 10^{-07}$ (F = 43,2995; G.L = 1). En primavera para la misma situación se registró una diferencia altamente significativa con un P-valor = $2,5519 \cdot 10^{-08}$ (F = 55,7196; G.L = 1). Sin embargo, al comparar ambas estaciones en superficie no se observó diferencias significativas con un P-valor = 0,1754 (F = 1,9259; G.L = 1), y en el fondo tampoco se registró diferencias significativas con un P-valor = 0,5538 (F = 0,3585; G.L = 1).

Nitrato (NO₃⁻)

La cantidad de nitrato (NO₃⁻) más alta registrada fue la obtenida en agua de fondo en la temporada de primavera con 31,0 µM en la estación 0 a 500 metros de profundidad y la mínima registrada fue de 0,1 µM, también en primavera, en la muestra de agua superficial de la estación 21a (2 m). Se determinó que hubo diferencias altamente significativas en invierno al comparar datos superficiales y de fondo donde se observó un P-valor = 0,0002 (F = 17,3297; G.L = 1). En primavera para la misma situación se determinó una diferencia altamente significativa con un P-valor = $1,4076 \cdot 10^{-09}$ (F = 73,7032; G.L = 1). Además, al comparar ambas estaciones en superficie se observó de igual modo diferencias altamente significativa con un P-valor = 0,0002 (F = 17,2443; G.L = 1), mientras que en el fondo no se registró diferencias significativas, obteniéndose un P-valor = 0,4134 (F = 0,6877; G.L = 1).

En las figuras 29 y 30 se puede observar la relación que existe entre los parámetros químicos del agua y la concentración de N₂O, donde la máxima concentración de N₂O medida, fue de 0,49 mg/L en nivel superficial en primavera en la estación 0 (0 m), mientras que la cantidad más alta registrada de oxígeno disuelto (O₂) en las estaciones, fue obtenida en agua superficial en invierno con 8,9 mL/L en la estación 19 a 2 metros de profundidad. La menor concentración de N₂O registrada fue en agua de fondo en invierno con 0,05 mg/L en la estación 13 a 50 metros de profundidad y la mínima registrada para el oxígeno disuelto (O₂) en el agua fue de 1,3 mL/L en agua de fondo en primavera en la estación 36 a 200 metros de profundidad.

Según los resultados obtenidos la cantidad de nitrato (NO_3^-) más alta registrada en las estaciones durante el crucero, fue la obtenida en agua de fondo en primavera con $31,0 \mu\text{M}$ en la estación 0 a 500 metros, en cuanto que la máxima de N_2O medida, correspondió como ya se ha mencionado al nivel superficial de primavera con $0,49 \text{ mg/L}$ en la estación 0 (0 m). Mientras que la mínima registrada para la concentración de nitrato (NO_3^-) fue de $0,1 \mu\text{M}$ en agua de superficie (2 m) en primavera en la estación 21a y la mínima determinada para N_2O fue en agua de fondo en invierno con $0,05 \text{ mg/L}$ en la estación 13 a 50 metros de profundidad.

Ahora si consideramos que la máxima concentración de N_2O determinada fue en la muestra de agua de primavera en nivel superficial con $0,49 \text{ mg/L}$ en la estación 0 (0 m), tenemos que en esta estación y a esta profundidad el oxígeno disuelto (O_2) registrado fue de $6,5 \text{ mL/L}$, mientras que la concentración de nitrato (NO_3^-) fue de $6,0 \mu\text{M}$.

Mientras que la mínima de concentración de N_2O determinada en las muestras de agua, fue en la estación 13 en el fondo a 50 metros de profundidad con $0,05 \text{ mg/L}$ en invierno, en donde se registró una concentración de oxígeno disuelto (O_2) de $5,1 \text{ mL/L}$ y una concentración de nitrato (NO_3^-) de $21,4 \mu\text{M}$.

4. DISCUSIÓN

4.1 Óxido Nitroso

Con el método gráfico se observó que el porcentaje de saturación es directamente proporcional a la concentración calculada de N_2O tanto en superficie como en fondo, presentando el mismo comportamiento en invierno y primavera. Al comparar los datos obtenidos en esta investigación con los informados por otros autores, estos son similares a los obtenidos en el Canal Caicaén, ubicado al sur del Seno de Reloncaví, donde se obtuvieron valores en aguas superficiales de 119,9 % y 178,5 % (Monsalve, 1997), y los de Laguna Costera Grande donde se observó un 104 % a 118 % de saturación (Butler et al., 1988). También hay similitud con lo informado por Cohen & Gordon, (1979), Cline et al., (1987) y Oudot et al., (1990), en aguas superficiales del océano cercanos al equilibrio (entre 104 % y 110 %). Mientras que Aguilera et al., (1992), informó valores de saturación por sobre el 300 % en aguas superficiales particularmente anóxicas del Mar Caribe Nororiental. Se han informado valores de saturación de N_2O respecto del aire del orden de 700 % a profundidades inferiores a 100 metros en el Golfo de Guinea, (Oudot et al., 1990). También, Law & Owens, (1990) encontraron una saturación de N_2O de 246 % en aguas superficiales saturadas de oxígeno y 1.264 % en aguas sub-superficiales consumidoras de oxígeno, valores que sobrepasan los encontrados en este estudio, pero aunque son valores relativamente altos de saturación, se estima que los procesos acuáticos son significativos, pero no la fuente principal de N_2O , tal como se estableció en la hipótesis de dichos autores al considerar a los océanos como un todo, (Hahn & Junge, 1977; Oudot et al., 1990) y

que además, vastas regiones de agua de mar pueden estar sobresaturadas con respecto a concentraciones de N_2O atmosférico, dicho aporte hacia la atmósfera, lejos de ser homogénea, está concentrada en áreas de surgencia costera y estuarios que representan el 20 y el 40 % del balance oceánico total, respectivamente (De Wilde & De Bie, 2000; Law & Owens, 1990; Naqvi et al., 1994; Bange et al., 1996a y 1996b; De Wilde & Helder, 1997; Lal & Patra, 1998 y Patra et al., 1999).

Aunque en el caso de esta investigación, si bien es cierto la zona de estudio corresponde a una circulación del tipo estuarina, no se registró altos valores de N_2O en los fiordos, esto se puede deber a las características físicas de los canales australes chilenos, ya que es considerada la más vasta extensión de canales, fiordos, senos y golfos interiores de la tierra, con una extensión de un poco más de 1.000 km en línea recta con una costa que supera los 75.000 km lineales, sumando los contornos de las múltiples islas, archipiélagos y penínsulas que la componen, o sea, la costa de la zona insular chilena supera en más de 15 veces a la costa de Chile continental (Silva et al., 1995). Es por esto que para enfrentar adecuadamente el estudio de los canales y debido a lo extenso del área, que el proyecto CIMAR-FIORDO la dividió en tres zonas: una norte desde Puerto Montt hasta la Laguna San Rafael, una central desde el Golfo de Penas hasta el Estrecho de Magallanes y una sur desde el Estrecho de Magallanes hasta el Cabo de Hornos. Se consideraron, además, los efectos de batimetría presentes en los canales, la circulación general y la distribución de características oceanográficas de la zona. Determinando por lo tanto, la zona de fiordos como un área que involucra una serie de complejos procesos, distintos de otras zonas de estuarios (Silva et al., 1995).

Se ha establecido un patrón general de circulación estuarina positiva de las aguas en la zona de estudio, zona norte de los canales australes, determinándose las condiciones batimétricas, como las que se generan en el Golfo del Corcovado y la isla Meninea en el canal de Moraleda, el cual juega un papel fundamental en la penetración por el fondo de remanentes de aguas ecuatoriales sub-superficiales (AESS) poco oxigenadas, evitando su penetración al norte y sur de éstas respectivamente (Silva et al., 1995). Este sistema de circulación permite además que masas de aguas sub-antárticas (ASAA) modificadas (mezcla de agua subantártica con agua dulce proveniente de lluvias y ríos), más ricas en oxígeno disuelto fluyan sobre las constricciones, ventilando las cuencas profundas al sur de la isla Meninea. Ésto a su vez es favorable, desde el punto de vista del oxígeno disuelto para el uso de esta zona en actividades de cultivos marinos (Silva et al., 1995).

Considerando que el nivel del oxígeno disuelto en el mar es producto de la interacción entre los parámetros físicos, químicos y las influencias biológicas, la disminución del oxígeno en el agua se atribuye en gran parte a los mamíferos marinos a través de su respiración (Yoshinari, 1976), así como en la columna de agua del Atlántico Norte Occidental la correlación inversa entre el N_2O y el oxígeno sugiere que la producción del N_2O esté relacionada de cerca con la actividad biológica en el mar (Yoshinari, 1976). Sin embargo Cohen & Gordon, (1978) postulan que la desnitrificación puede controlar la producción de N_2O , bajo ciertos niveles de oxígeno disuelto y que en aguas sin oxígeno la desnitrificación produce una disminución en la concentración de N_2O , debido a que este gas es reducido por las bacterias a nitrógeno molecular (N_2).

Otras zonas estudiadas en Chile con respecto a las concentraciones de N_2O han sido en la región Norte y Central registrando sobresaturaciones de N_2O de entre un 123 – 400 % por medio de mediciones *in situ* (Farías et al., 2002; Farías, 2003) y en base a modelos de interpolación (Nevison et al., 1995).

En Bahía Ilque, Seno de Reloncavi, se ha determinado que la concentración de N_2O aumenta con la profundidad, superando ampliamente el 100 % de saturación, en especial en los niveles medio e inferior de la columna de agua, además se observó sobresaturación en todas las muestras superficiales, cuyos valores fluctuaron entre 100 y 700 % (Oyarzún, 2000). Mientras que en el lago Budi se observó valores de saturación que fluctuaron entre 57,6 y 790 % para otoño y primavera respectivamente determinándose en el fondo los mayores valores de difusión de N_2O (Matus, 2002). Sin embargo, estos resultados se pueden explicar, ya que en Bahía Ilque se han determinado importantes aportes de materia orgánica provenientes del cultivo de salmones y el Lago Budi se encuentra en estado de eutroficación, mientras que en la zona de fiordos y canales australes se registró una buena calidad del agua del punto de vista microbiológico (Garay, 2003), lo que indica que el aporte antropogénico aún no es de gran consideración, lo que anima a tomar medidas para proteger la zona de estudio de una inminente contaminación.

El N_2O al ser muy poco reactivo y al no haber reacciones naturales conocidas que lo destruyan en la troposfera, o que lo aten a otras formas químicas, vaga por ahí; una vez liberado y se acumula encontrando eventualmente su camino hacia arriba, hacia la estratosfera, aquí la radiación ultravioleta favorece reacciones que rompen el N_2O produciendo otras formas de NO_x

especialmente NO, que reacciona con la capa de ozono (Figura 31), siendo éste un proceso natural que ayuda a mantener el balance actual de ozono en la estratosfera.

La vuelta atrás a la vida es doblemente fascinante, dado que el oxígeno del aire, del cual deriva el ozono, es producido a su vez por seres vivos. Si la hipótesis “Gaia de Lovelock” (Lovelock, 1979), es correcta, la cantidad de N_2O y por lo tanto de NO, que se produce naturalmente habría dado con un balance que mantienen la concentración del ozono en la estratosfera en la cantidad justa para escudar la superficie de la tierra de la dañina radiación ultravioleta, permitiendo pasar la radiación apropiada para mantener las condiciones óptimas para la vida (Lovelock, 1979).

El uso de fertilizantes en la tierra provee materia prima para que las bacterias se alimenten y contribuyan entonces a la carga de N_2O en la troposfera y NO en la estratosfera. El N_2O se está añadiendo también a la atmósfera por combustión; continuamente se quema en el aire carbón o aceite, donde el calor del fuego rompe parte de las moléculas de nitrógeno de la atmósfera y unas pocas de éstas se combinan entonces con O_2 para hacer N_2O . Una pequeña contribución a la carga de N_2O en la troposfera (y por tanto a la carga de NO en la estratosfera) llega también de los “sprays” (Crutzen, 1974).

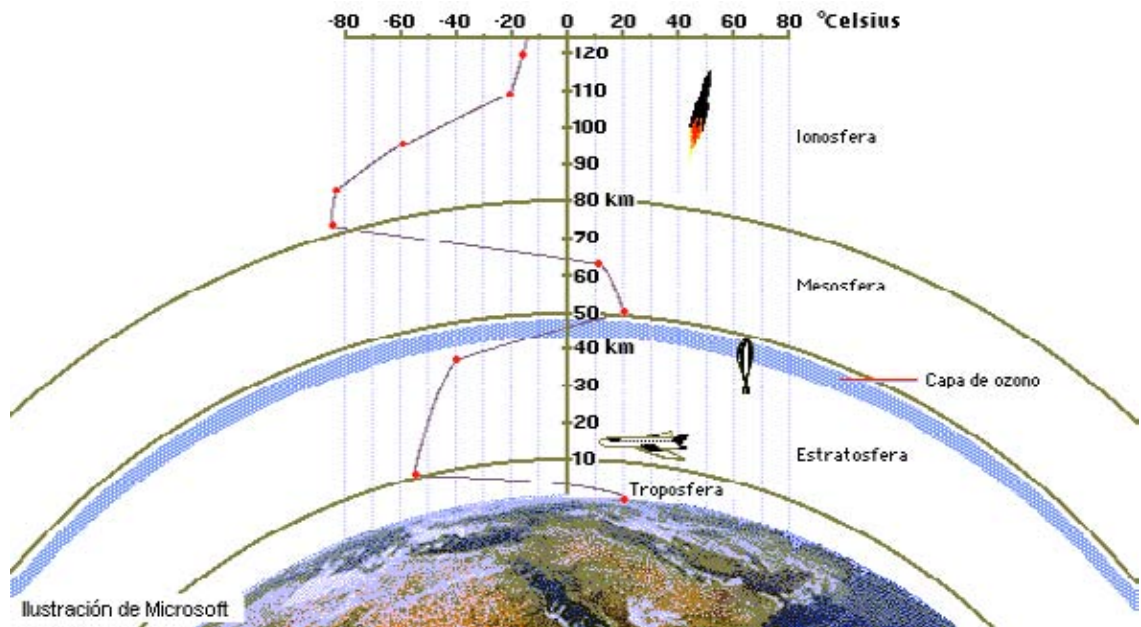


Figura 31. Imagen donde se aprecia la ubicación de la capa de ozono inserta en la atmósfera, aquí sería el punto donde tiene su efecto el Óxido Nitroso, afectando al sistema global según la cantidad emitida de este gas.

Se determinó que la producción de N_2O en la zona de fiordos y canales australes del sur de Chile, en este estudio, se debe a las poblaciones de bacterias nitrificantes y nitrato amonificantes presentes en las muestras de agua. Al relacionar las muestras de agua de una misma estación recolectada durante ambos muestreos, no se encontró ninguna relación entre un tipo particular de población bacteriana del ciclo del nitrógeno y la producción de N_2O (Garay, 2003). No se estableció una relación entre las poblaciones fúngicas totales y las concentraciones de N_2O registradas en las diferentes estaciones y épocas de muestreos. En tanto, las cepas fúngicas registraron actividad amonificante, desnitrificante y proteolítica. Ésta al parecer no

tendría una gran influencia en las concentraciones de N_2O (Cofré, 2003). No fue posible analizar en esta investigación, concentraciones de N_2O en muestras de sedimentos y poder comparar datos con los determinados microbiológicamente, ya que no se extrajeron muestras para este fin, solo se realizó comparación en muestras de agua de superficie y fondo.

Las diferencias encontradas en esta investigación para las muestra de superficie y fondo se puede deber a que las regiones tienden a una mayor probabilidad de producción de N_2O cuando están expuestas a zonas mínimas de oxígeno (ZMO), regiones biológicamente productivas y altas concentraciones de nutrientes, como por ejemplo el mar de Arabia (Law & Owens, 1990; Naqvi & Noronha, 1991), Bahía de Bengal (Naqvi et al., 1994), surgencia tropical y ecuatorial del océano Pacífico (Butler et al., 1989; Dore et al., 1998) y áreas con un rol clave en la difusión de N_2O , constituyendo así una fuente oceánica neta hacia la atmósfera. Tal es el caso del Sistema de Corrientes de Humboldt en nuestras costas, donde las aguas ecuatoriales sub-superficiales (AESS), caracterizadas por transportar aguas frías, de altas salinidades, bajo contenido de oxígeno disuelto ($< 0,3$ mL/L) y altas concentraciones de nitrato (NO_3^-) asociada a la zona mínima de oxígeno (ZMO), crean un ambiente propicio para la producción de N_2O en la columna de agua (Silva, 1983), considerando además que en temporadas de primavera y verano existe una mayor producción de nutrientes debido principalmente a los cambios de temperatura.

La producción de N_2O en la capa de mezcla es baja debido a que las bacterias desnitrificantes son inhibidas por los altos niveles de oxígeno disuelto a su vez las bacterias nitrificantes son inhibidas por la luz (Wada & Hattori, 1991). Por ello, las altas concentraciones superficiales de N_2O observadas en algunas zonas se deberían a un transporte desde zonas

intermediarias hacia capas más superficiales, por procesos de advección y surgencia (bombeo físico). Por lo tanto, el aporte de N_2O entre la zona de mezcla y su posterior intercambio hacia la atmósfera dependerá de las características físicas del sistema, de los procesos de producción y consumo involucrados en las aguas intermedias.

Considerando además que, en la difusión de N_2O , la velocidad de transferencia entre la interfase aire-agua está en función de la temperatura y de la velocidad del viento. En los lugares donde la velocidad del viento es mayor existe más oleaje que crea turbulencias, que posibilita una mejor mezcla de la columna de agua y por otro lado aumenta la velocidad de transferencia del N_2O hacia la atmósfera (García, 2000). Para una mezcla binaria a baja presión la difusión es inversamente proporcional a la presión, aumenta con la temperatura y es casi independiente de la composición química del agua de mar.

4.2 Parámetros Físicos

De acuerdo a la modalidad del muestreo no se pudo determinar un perfil vertical en la columna de agua, ya que el establecer solo dos puntos de muestreo en la columna, superficie y fondo solo se pudo hacer un análisis en estos dos puntos y por lo tanto determinar un comportamiento en nivel superficial y de fondo. En cuanto al perfil vertical en la columna de agua, la temperatura mostró una particularidad conocida, descrita por Millero & Sohn (1996), donde los valores decrecen conforme aumenta la profundidad.

La temperatura y salinidad del agua son factores determinantes de sus propiedades físicas y en su distribución, sobre todo en lo que a la escala vertical se refiere. Ésto se debe al efecto que estas propiedades tienen sobre la densidad, que aumenta al incrementarse la salinidad y disminuye con un incremento en temperatura.

En las zonas polares, por citar un ejemplo, la densidad del agua aumenta por dos motivos: al congelarse el agua, ésta deja atrás su contenido en sales, aumentando localmente la salinidad del agua. Por otro lado, el descenso de la temperatura hace aumentar también la densidad. Estas aguas polares más densas se hunden originando toda una serie de corrientes y circulaciones. En las zonas más cálidas, una elevada tasa de evaporación produce un considerable aumento de la salinidad, y por ende de la densidad, originando un efecto similar. En general, el océano está estratificado y la densidad del agua aumenta linealmente con la profundidad, aunque este aumento es de pequeña magnitud, y en términos prácticos muchas veces se considera el océano como de densidad constante. En cualquier caso, las variaciones de densidad están ligadas al aumento de la presión según la ecuación de la hidrostática.

4.3 Parámetros Químicos

Se observó que uno de los nutrientes analizados en el área de estudio, como es el nitrato, es aportado principalmente desde el mar, ya que las aguas dulces provenientes de ríos, lluvias y derretimientos de glaciares son pobres de ellos (Silva et al., 1995).

Se determinó en la zona de estudio que las cabezas de los canales que comienzan en el continente (canales continentales), presentaron bajo la capa superficial del agua (mayor a 15 metros) un menor contenido de oxígeno disuelto que en sus respectivas bocas. El canal Puyuhuapi es el más pobre en oxígeno disuelto, con valores menores de 2,0 mL/L bajo los 150 metros de profundidad y lo sigue la cabeza del fiordo Aysén con 2,5 mL/L a unos 100 metros de profundidad, lo cual lo hace más sensibles para su uso en acuicultura. Sin embargo, en ningún canal austral chileno se encontraron condiciones de anoxia. Se determinó que las aguas del fiordo Aysén tienen un tiempo de residencia en la zona de la boca del orden de 6 meses y son ricas en oxígeno disuelto, mientras que las aguas de su cabeza tienen un tiempo de residencia de 2 a 3 años, siendo los 25 metros más pobres en oxígeno disuelto y más ricos en nutrientes. Ésto indica que las aguas de la cabeza tienen en promedio un tiempo de recambio muy lento y por lo tanto son más sensibles para recibir carga orgánica adicional (Silva et al., 1995). Al analizar estos datos con lo obtenido en este estudio se observó que existe una buena oxigenación de la zona de muestreo, es por eso que no se observó desnitrificación como una de las principales fuentes de producción natural de N_2O , sino que fueron las bacterias nitrificantes y nitrato amonificantes las involucradas en el proceso microbiológico dominante.

5. CONCLUSIONES

1. La máxima concentración registrada de N_2O fue de 0,49 mg/L en el período de primavera, nivel superficial (0 m) en la estación 0, mientras que la mínima registrada fue en el fondo en la estación 13 con 0,05 mg/L a 50 metros de profundidad en el período de invierno.
2. La concentración de N_2O no superó en la totalidad de las muestras de agua analizadas un 100 % de saturación, en ninguna de las temporadas. Además las bajas concentraciones de N_2O determinadas en este estudio, hacen que no sea altamente significativa la presencia de este gas. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada en esta investigación.
3. En invierno las concentraciones de N_2O se determinaron más bien bajo el 100 % de saturación, solo en muestras de agua de algunas estaciones se observó saturación mayor al 100 %. Mientras que en primavera se registró valores mayores al 100 % de saturación en casi todas las estaciones muestreadas.
4. La producción de N_2O en los canales y fiordos australes del sur de Chile, proviene de procesos microbiológicos, principalmente por poblaciones de bacterias “nitrificantes” y “nitrito amonificantes”, tanto en invierno como en primavera.

5. La concentración de N_2O varió considerablemente entre las aguas de ambas temporadas, observándose las mayores concentraciones de N_2O en primavera nivel superficial, siendo la concentración de este gas y las características físicas del sistema las que finalmente influyan en la difusión hacia la atmósfera.
6. Se determinó que la difusión calculada en este estudio presentó valores altos en la superficie y valores bajos en el fondo en todas las muestras de agua analizadas, con $0,01 \text{ cm}^2/\text{seg}$ en casi todas las estaciones del fondo en ambas temporadas, mientras que en el período de invierno se observó $0,10 \text{ cm}^2/\text{seg}$ en la superficie (2 m).
7. Los parámetros físicos del agua, muestran que los valores de temperatura se mantienen prácticamente constantes en ambas temporadas, las variaciones más significativas corresponden a características esencialmente estacionales. En cuanto a la salinidad se observó diferencias altamente significativas en superficie y fondo en ambas temporadas, mientras que al comparar invierno y primavera se registraron valores similares en superficie y fondo sin diferencias significativas.
8. Los parámetros químicos del agua, muestran que la distribución de oxígeno disuelto analizado en este estudio, presenta una buena oxigenación en superficie, mientras que en el fondo se observa una menor cantidad de oxígeno disuelto, en ambas temporadas. En cuanto a la concentración de nitrato se determinó que existió una menor concentración en la superficie y una alta concentración de este nutriente en el fondo, tanto en invierno como en primavera.

6. LITERATURA CITADA

- Adams, D. D., Seitzinger, S. P. and Crill, P. M. (1996)** Cycling of reduced gases in the hydrosphere. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 25:V - IX.
- Aguilera, A., Corredor, J. and Morell, J. (1992)** Óxido nitroso en el Mar Caribe Nororiental. *Carbb. J. of Sci.*, 28: 70 – 80.
- Bange, H. W., Rapsomanikis, S. and Andreae, M. O. (1996)** "The Aegean Sea as a source of atmospheric nitrous oxide and methane". *Mar. Chem.*, 53: 41 - 49.
- Bange, H. W., Rapsomanikis, S. and Andreae, M. O. (1996a)** Nitrous oxide emissions from the Arabian Sea. *Geophys. Res. Lett.*, 23: 3175 - 3178.
- Bange, H. W., Rapsomanikis, S. and Andreae, M. O. (1996b)** Nitrous oxide emissions in coastal waters. *Global biogeochem. Cycles*, 10: 197 - 207.
- Betlach, M. R. and Tiedje, J. M. (1981)** Kinetic explanation for accumulation of nitrite, nitric oxide and nitrous oxide during bacterial denitrification. *Appl. Environ. Microbiol.*, 42: 1074 - 1084.

Bird, R. B., Stewart, W. E. and Lightfoot, E. N. (1982) Fenómenos de transporte: Un estudio sistemático de los fundamentos de transporte de materia, energía y cantidad de movimiento. Versión española por Fidel Mato Vázquez, Barcelona. Editorial Reverté, XIX, 1-1 a 22-29 p.

Butler, J. H., Pequignat, J. E. and Gordon, L. I. (1988) Cycling of methane, carbon monoxide, nitrous oxide, and hydroxylamine in Meromictic, costal Lagoon. *Estuarine, Coastal and Sheff Sci.*, 27: 181 - 203.

Butler, J. H., Elkins, J. W., Thompson, T. M. and Egan, K. B. (1989) Dissolved and atmospheric nitrous oxide of the W. Pacific and E. Indian Oceans during the 1987 El Nino/Southern Oscillation event. *Journal of Geophysical Res.*, 94(D12): 14.865 - 14.877.

Broecker, W. S., and Peng, T. S. (1974) Gas exchange rates between air and sea. *Tellus*, 26: 21 - 35.

Calvete, C. y Guerrero, Y. (2002) Distribución de temperatura y salinidad entre la Boca del Guafo y Laguna San Rafael, en invierno y primavera del 2001. Comité Oceanográfico y Nacional, Chile. Resultados crucero Cimar - Fiordo 7, Informes Preliminares Valparaíso, 17 - 24 p.

Carpenter, J. H. (1965) The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 141 - 143.

- Codispoti, L. A., Elkins, J. W., Yoshinari, T., Friederich, G. E., Sakamoto, C. M. and Packard, T. T. (1992)** On the nitrous oxide flux from productive regions that contain low oxygen waters. *Oceanography of the Indian Ocean*, B.N. Desai (ed), Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, 772 p.
- Cofré, M. (2003)** Aislamiento e Identificación de poblaciones fúngicas relacionadas con al ciclo del Nitrógeno en la zona de fiordos y canales de la XI Región – Chile. Tesis de pregrado, Escuela de Biología Marina Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 14 - 89 p.
- Cohen, Y. and Gordon, L. I. (1978)** Nitrous Oxide in the oxygen minimum of the eastern tropical North Pacific: evidence for its consumption during denitrification and possible mechanism for its production. *Deep - Sea Res.*, 25: 509 - 524.
- Cohen, Y. and Gordon, L. I. (1979)** Nitrous Oxide Production in the Ocean. *J. Geophys. Res.*, 84: 347 - 353.
- Cline, J. D., Wisegarver, D. P. and Kelly- Hansen, K. (1987)** Nitrous oxide and vertical mixing in the equatorial Pacific during the 1982 – 1983 El Niño. *Dep-Sea Res.*, 34: 857 – 873.
- Crutzen, P. J. (1974)** Estimates of possible variations in total ozone due to natural causes and human activities. *Ambio.*, 3: 201 - 210.

Chameides, W. L. and Perdue, E. M. (1997) Biogeochemical Cycles: A Computer-Interactive Study of Earth System Science and Global Change. Oxford University Press, New York, 224 p.

Chester, R. (1990) Marine Geochemistry Unwin Hyman Ltd. London, 659 - 698 p.

De Wilde, H. P. and Helder, W. (1997) Nitrous oxide in the Somali Basin: the role of upwelling. *Deep-Sea Res.*, II (44): 1319 - 1340.

De Wilde, H. P. J. and De Bie, M. J. M. (2000) Nitrous oxide in the Schelde estuary: production by nitrification and emission to the atmosphere. *Mar. Chem.*, 69: 203 - 216.

Dore, J. E., Popp, B. N., Karl, D. M. and Sansone, F. J. (1998) A large source of atmospheric nitrous oxide from subtropical North Pacific surface waters. *Nature*, 396: 63 - 66 p.

Elkins, J. W., Wofsy, S. C., McElroy, M. B., Kolb, C. E. and Kaplan, W. A. (1978) Aquatic sources and sinks for nitrous oxide. London. *Nature*, 275: 602 - 606.

Errázuriz, A. M., González, J. I. y Rodríguez, F. (2002) Atlas Universal y de Chile Regionalizado. 14^a ed., Zig - Zag. Santiago, 52 - 87 p.

Farías, L., Graco, M. and Molina, V. (2002) “Nitrogen cycling in Sediments from Central Chile (36° S). Seasonal and Interannual Variability. *Investig. Mar.*, 30: 167 - 168.

Farías, L. (2003) Remineralization and accumulation of organic carbon and nitrogen in marine sediments of eutrophic bays: the case of the Bay of Concepcion, Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.*, 57: 829 - 841.

Fuhrman, J. A. and Capone, D. G. (1991) Possible biogeochemical consequences of the ocean fertilization. *Limnol. Oceanogr.*, 36 (8): 1951 - 1959.

Fundación Chile, (2000) Compendio y directorio de la acuicultura y la pesca de Chile. 2^a Ed. Antártica, Santiago, 342 p.

García, S. (2000) Determinación de óxido nítrico y caracterización química del agua en el lago Budi, IX Región, Chile. Tesis de pregrado, Escuela de Biología Marina Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 10 - 27 p.

Garay, Y. (2003) Determinación cuali-cuantitativa de bacterias heterótrofas relacionadas con el ciclo del nitrógeno, calidad bacteriológica del agua y sedimentos recolectados en fiordos y canales de la XI Región de Chile. Tesis de pregrado, Escuela de Biología Marina Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 45 - 57 p.

González, M. (1991) Aysén país de la patagonia. 2^a Ed. Atelier, Santiago, 128 p.

Goreau, T. J., Kaplan, W. A., Wofsy, S.C., Mc Elroy, M. B., Valoi, F. W. and Watson, S. W.

(1980) Production of NO₂ and N₂O by nitrifying bacteria at reduced concentration of oxygen. *Appl. and Environ. Microbiol.*, 40 (3): 526 - 532.

Gradel, T. E. and Crutzen, P. J. (1993) Atmospheric change: An earth system perspective. W.

H. Freeman and Company, New York, 57 p.

Guzmán, D. y Silva, N. (2002a) Caracterización física y química de masas de agua en los

canales agua de Chile entre la Boca del Guafo y Golfo Elefantes. Crucero Cimar fiordo 4.

Cienc. Tecnol. Mar., 25 (2): 45 - 76.

Guzmán, D. y Silva, N. (2002b) Comparación estacional de las variables oceanográficas físicas

y químicas entre la boca del Guafo y Seno Aysén. Comité Oceanográfico Nacional, Chile.

Resultados crucero Cimar Fiordo 7. Informes Preliminares Valparaíso, 25 - 31 p.

Hahn, J. and Junge, C. (1977) Atmospheric nitrous oxide: a critical review. *Naturforscher*,

(32a): 190 - 214.

Hashimoto, L. K., Kaplan, W. A., Wofsy, S. C. and Mc Elroy, M. B. (1983) Transformation of

fixed nitrogen and N₂O in the Cariaco Trench. *Deep- sea Res.*, 30 (6a): 575 - 590.

Instituto Geográfico Militar, (1994) Atlas Geográfico de Chile para la Educación. Instituto

Geográfico Militar (IGM), Santiago 2^a Ed. Santillana, 38 - 39 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). (1990) Climate change. Cambridge.

Flückiger, J., Dällenbach, A., Blunier, T. Stauffer, B. y Stocher, T. F. 1999. Variation in atmospheric N₂O concentration during abrupt climatic change. *Sci.*, 285: 227 - 230.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). (1995a) Climate Change 1994.

Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios, Houghton, J.T. et al., (eds.), Published for the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge U. K., 337 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). (1995b) Organization for Economic

Cooperation and Development. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. OECD/OCDE, Paris (eds.), Cambridge University Press, Cambridge U. K., 365 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). (1996) Houghton, J.T., Meira Filho,

L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. y Maskell, K. (eds.). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 572 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC). (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines

for National Greenhouse Gas Inventories. Editors: J. T. Houghton, L.G. Meira-Filho, B. Lim, K. Treanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D. J. Griggs and B. A. Callander. Intergovernmental Panel on Climate Change, Meteorological Office, Bracknell, United Kingdom. Cambridge University Press, Cambridge, 234 p.

- Jorgensen, K. S., Jensen, H. B. and Sorensen, J. (1984)** Nitrous oxide production from nitrification and denitrification in marine sediment at low oxygen concentrations. *Can. J. Microbiol.*, 30: 1073 - 1078.
- Lal, S. and Patra, P. K. (1998)** Variabilities in the fluxes and annual emissions of nitrous oxide from the Arabian Sea. *Global Biogeochem. Cycles*, 12: 321 - 327.
- Law, C. S. and Owens, N. J. P. (1990)** Significant flux of atmospheric nitrous oxide from the northwest Indian Ocean. *Nature*, 346: 826 - 828.
- Lovelock, J. E. (1979)** "Gaia: a New Look at Life on Earth", OUP, Oxford University Press, 143 p.
- Manne, A. S. and Richels, R. G. (2001)** An alternative approach to establishing trade-offs among greenhouse gases. *Nature*, 410: 675 - 677.
- Matus, T. (2002)** Producción y difusión de óxido nitroso (N₂O) en el lago Budi, IX Región, Chile. Tesis de pregrado, Escuela de Biología Marina Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 20 - 34 p.
- Millero, F. J. and Sohn, M. L. (1996)** Descriptive Oceanography. En Kennish M. J. and Lutz P. L. (eds) *Chemical Oceanography*, CRC Press, Boca Ratón, Fla., 469 p.

Monsalve, C. (1997) Diagnóstico químico de un canal bloqueado. Tesis de pregrado, Escuela de Biología Marina Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 51 p.

Naqvi, S. W. A. and Noronha, R. J. (1991) Nitrous oxide in the Arabian Sea, *Deep-Sea Res.*, 38: 871 - 890.

Naqvi, S.W.A., Jayakumar, A., Nair, M., George, M.D. and Kumar, M.D. (1994) Nitrous oxide in the western Bay of Bengal. *Mar. Chem.*, 47: 269 - 278.

Nevison, C. D., Weiss, R. F. and Erickson, D. J. III. (1995) Global oceanic emissions of nitrous oxide. *Journal of Geophys. Res.*, 100: 15.809 - 15.820.

Oróstegui, M. (1999) Estructura comunitaria y respuesta a antibacterianos de bacterias Gram negativas aisladas desde la columna de agua y del sedimento en un centro de cultivo de salmones. Tesis de pregrado, Escuela de Biología Marina Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 136 p.

Oudot, C., Andrie, Ch. and Montel, Y. (1990) Nitrous oxide production in the tropical Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.*, 37 (2): 183 - 202.

Oyarzún, M. (2000) Determinación de óxido nitroso en un área de cultivo de salmones, Bahía Ilque, Seno de Reloncaví. Tesis de pregrado, Escuela de Biología Marina Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, 13 - 29 p.

Parsons, T. R., Maita, Y. and Lalli, C. M. (1984) A manual of biological and chemical methods for seawater analysis. Publ. Pergamon Press. Oxford - England, 173 p.

Patra, P. K., Lal, S., Venkataramani, S. De Sousa, S. N., Sarma, V. V. S. S. and Sardesai, S. D. (1999) Seasonal and spatial variability in the N₂O distribution in the Arabian Sea. *Deep - Sea Res.*, I (46): 529 - 543.

Pilson, M. (1998) An introduction to the chemistry of the sea, Prentice Hall, Upper Saddle River N J., 431 p.

Prado-Fiedler, R. (2002) Establecimiento de los flujos pluviales y fluviales de nitrógeno bioutilizable y de la concentración de amonio en las aguas receptoras de fiordos de la XI región. Comité Oceanográfico Nacional, Chile. Resultados crucero Cimar Fiordo 7. Informes Preliminares. Valparaíso, 49 - 53 p.

- Prinn, R. G., Cunnold, D. M., Rasmussen, R. A., Simmonds, P. G., Alyea, F. N., Crawford, A. J., Fraser, P. J. and Rosen, R. D. (1990)** Atmospheric trends and emissions of nitrous oxide deduced from ten years of ALE-GAGE data. *J. of Geophys. Res.*, 95 (D11):18.369 - 18.385.
- Priscu, J. C. and Downes, M. T. (1985)** Nitrogen uptake, ammonium oxidation and nitrous oxide (N₂O) levels in the coastal water of western Cook Strait, New Zealand. *Estuarine and Shelf Sci.*, 20: 529 - 542.
- Seitzinger, S. P., Pilson, M. E. Q. and Nixon, S. W. (1983)** Nitrous oxide production in nearshore marine sediments. *Sci.*, 222: 1244 - 1246.
- Seitzinger, S. P., Nixon, S. W. and Pilson, M. E. Q. (1984)** Denitrification and nitrous oxide production in a coastal marine ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 29 (1): 73 - 83.
- Silva, N. (1983)** Masas de agua y circulación en la región norte de Chile, latitudes 18 - 32° S (Operación oceanográfica Mar Chile XI - ERFEN II). *Ciencia y Tecnología del Mar*. CONA (Chile), 7: 47 - 84.
- Silva, N., Sievers, H. y Prado-Fiedler, R. (1995)** Descripción oceanográfica de los canales australes de Chile. Zona Puerto Montt – Laguna San Rafael (41° 20' S, 46' 40 S). *Rev. Biol. Mar. Valp.*, 30 (2): 207 - 254.

Wada, E. and Hattori, A. (1991) Nitrogen in the sea: Forms, abundance, and rate processes. SRC Press, 178 - 217 p.

Wanninkhof, R. and McGillis, W. R. (1999) A cubic relationship between air-sea CO₂ exchange and windspeed. *Geophy. Res. Lett.*, 26 (13): 1889 - 1892.

Weiss, R. F. and Price, B. A. (1980) Nitrous oxide solubility in water and seawater. *Mar. Chem.*, 8: 347 - 359.

Yoshinari, T. (1976) Nitrous oxide in the sea. *Marine Chem.*, 4: 189 - 202.

Yoshinari, T., Altabet, M. A., Naqvi, S. W., Codispoti, L., Jayakumar, A., Kuhland, M. and Devol, A. (1997) Nitrogen and oxygen isotopic composition of N₂O from suboxic waters of the eastern tropical North Pacific and the Arabian Sea measurement by continuous – flow isotope – radio monitoring. *Mar. Chem.*, 56: 253 - 264.