



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

**INFORMES TECNICOS F I P**

FIP - IT / 94 - 01

INFORME : EVALUACION DEL EFECTO DE MITIGACION  
FINAL DE APORTE DE NUTRIENTES AL MEDIO, AL  
DESARROLLAR POLICULTIVOS MARINOS DE  
SALMONIDOS

UNIDAD : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO,  
EJECUTORA DIRECCION ZONAL X Y XI REGIONES

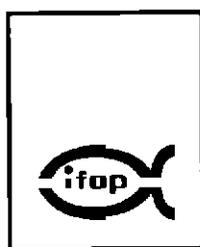
**REQUIRENTE**

**CONSEJO DE INVESTIGACION PESQUERA - CIP**  
Presidente del Consejo : JUAN MANUEL CRUZ SANCHEZ

**EJECUTOR :**

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - IFOP**  
Director Ejecutivo : PABLO ALVAREZ TUZA

• Abril, 1998 •



**JEFE PROYECTO :**

MIRIAM SEGUEL L.

**AUTORES :**

MIRIAM SEGUEL L.  
JORGE OSSES R.  
ANA FARIAS M.  
MARCELA AVILA L.  
HECTOR PLAZA L.  
HUMBERTO PAVEZ V.

• Abril, 1998 •

**RESUMEN EJECUTIVO.**

La acuicultura es una actividad creciente tanto a nivel mundial como nacional. En 1996, se produjeron 323.115 ton, de las cuales el 62% corresponde al cultivo de salmónidos. Esta actividad es definida como un cultivo intensivo, debido a que hay un gran manejo sobre los organismos, con una suplementación de alimento rico en proteínas, donde los productos de desecho proveniente de la salmonicultura son principalmente sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas (*i.e.* proteínas, carbohidratos, amonio y otros) y material particulado (*i.e.* restos de alimentos y fecas). Una manera de disminuir el impacto de estas sustancias en el ambiente, es a través de organismos marinos heterótrofos y autótrofos, que sean capaces de utilizar estos desechos y transformarlos en biomasa. Esto permite tener una alternativa adecuada para obtener mayor producción biológica en un mismo cuerpo de agua.

Este proyecto tiene por objetivo evaluar el efecto de mitigación por *Argopecten purpuratus* y *Gracilaria chilensis* sobre las sustancias provenientes de un cultivo comercial de salmones. Los experimentos se realizaron en el centro de cultivo comercial de salmones de Mares Australes ubicado en la Isla de Lin-Lin (sistema abierto) y en el Centro de Producción de Semillas del IFOP en Hueihue (sistema en condiciones semicontroladas).

Los resultados obtenidos en el sistema abierto tanto de las características oceanográficas conservativas (*i.e.* salinidad y temperatura) como de las no conservativas (*i.e.* oxígeno disuelto, clorofila a y amonio) en las cuatro estaciones del año, por transecta y ciclo de marea, indican que estas tienen variaciones asociadas fundamentalmente a la variabilidad temporal (*i.e.* 24 horas) inducida por los ciclos de mareas, más que a la variabilidad espacial observada en las transectas. Esto significa que la mantención en el tiempo de un pulso de cualquier variable química no-conservativa producida *in situ*, está asociada en forma casi exclusiva al forzamiento mareal. Esta situación queda demostrada con el comportamiento ambiental del amonio y la clorofila a.

La distribución del amonio en el sistema abierto indica que este ion en el verano puede llegar a una concentración de 5  $\mu\text{M}$ , a una distancia de cero metro de las balsas jaulas. A 100 m de las balsas jaulas este valor descendió a valores inferiores a 2,5  $\mu\text{M}$ , levemente sobre los valores de la estación control. Esto indica que el efecto de producción de amonio, por los salmones de cultivos, sobre la concentración "normal" para el cuerpo estudiado, está restringido a distancias inferiores a los 100 m de distancia de las balsas jaulas. En condiciones semicontroladas, se observó que los salmones pueden modificar la concentración de amonio hasta en un 3.000%, con un promedio del 500%, respecto del control, este resultado permite concluir que el sistema abierto investigado tiene una alta capacidad de dilución.

Los nutrientes de origen oxidativo tales como en nitrato, silicato y fosfato no estuvieron presentes en altas concentraciones, en las cercanías de las balsas-jaulas, con variaciones cuantitativas importantes en un ciclo diurno-nocturno. El oxígeno disuelto, no presentó concentraciones inferiores a 5 mL/L, llegando a 11 mL/L asociadas a los florecimientos fitoplanctónicos de primavera.

En condiciones semicontroladas, las algas removieron hasta un 75% del amonio excretado por los salmones y en el efluente salmón-ostión, sin que los aumentos estacionales de la concentración de este ion tenga efectos significativos sobre este promedio de asimilación. Este ion en particular es asimilado preferentemente durante el día. Los resultados indican además que en condiciones deficitarias de nitrato, las algas asimilan en forma constante el amonio presente en el medio.

Los incrementos de la biomasa del alga utilizada indicó un patrón estacional. La máxima tasa de crecimiento fue de 3.2% diario en primavera y en el tratamiento con efluentes de salmones más ostiones. En terreno, el rendimiento de alga húmeda fue mayor en el sistema de redes en desuso, ubicado en las cercanías al cultivo, obteniéndose una biomasa final de 4  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

Los ostiones asociados a los salmones presentan dos máximos de crecimiento en el año, uno en verano y otro en otoño. Además, se registró un mayor índice de condición del músculo y un alto índice de madurez gonádica en invierno. Estas características muestran que los ostiones se beneficiaron con la cercanía a las balsa jaulas, ya que gastaron menos reservas energéticas, permitiéndoles un segundo crecimiento en el otoño y desarrollo de la gónada en pleno invierno (agosto).

En relación al impacto del material particulado sobre la macroinfauna y los niveles de nitrógeno y fósforo en los sedimentos, se observa que el área de mayor contenido orgánico es la adyacente a las balsas jaulas. Las especies oportunistas dominante en estos ambientes son el poliqueto *Branchiicapitella abranchiata*, los nemátodos y *Nassarius gayi*. A los 100 m de distancia no existe una diferencia importante de estos parámetros con respecto al control.

## INDICE GENERAL

	Página
Resumen Ejecutivo.....	i
Índice General.....	iv
Índice de Tablas y Figuras.....	v
1. Objetivo General.....	1
2. Objetivos Específicos.....	1
3. Antecedentes.....	2
4. Metodología	
4.1. Muestreo oceanográfico a escala espacial y estacional en el mar.....	6
4.2. Policultivo en el mar.....	9
4.3. Policultivo en condiciones semi-controladas.....	15
5. Resultados y Discusión	
5.1. Condiciones ambientales en sistemas abiertos y semi-controlados.....	24
5.2. Caracterización de los sedimentos en el sistema abierto.....	50
5.3. Variación de la biomasa de salmones en el sistema abierto y el semi-controlado.....	56
5.4. Variación en crecimiento y fisiología de <i>Argopecten purpuratus</i> en sistema abierto y semi-controlado.....	58
5.5. Variación de la biomasa de <i>Gracilaria chilensis</i> , en sistema abierto y semi-controlado.....	67
6. Conclusiones.....	85
7. Evaluación de la factibilidad de un policultivo integrado por salmones, algas y ostiones.....	90
8. Referencias Bibliográficas.....	92
Figuras.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### TABLAS

	Página
Tabla 1. Fecha de muestreos intensivos estacionales.....	7
Tabla 2. Fecha de muestreo del policultivo.....	10
Tabla 3. Fecha inicio de los experimentos estacionales.....	18
Tabla 4. Variables oceanográficas muestreadas por estanque en los experimentos estacionales.....	19
Tabla 5. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas jaulas durante el otoño de 1996.....	51
Tabla 6. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas jaulas durante el invierno de 1996.....	52
Tabla 7. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas jaulas durante la primavera de 1996.....	53
Tabla 8. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas jaulas durante el verano de 1996.....	53
Tabla 9. Densidad promedio de cultivo por estación del año.....	57
Tabla 10. Resultados del análisis estadístico de los datos de noviembre ( $P > 0,01$ ).....	69

Tabla 11. Resultado del análisis estadístico de los datos de diciembre ( $P>0,01$ ).....	70
Tabla 12. Resultado del análisis estadístico de los datos de enero ( $P>0,01$ ).....	71
Tabla 13. Resultado del análisis estadístico de los datos de febrero ( $P>0,01$ ).....	71
Tabla 14. Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P>0,01$ ).....	73
Tabla 15. Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P>0,01$ ).....	74
Tabla 16. Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P>0,01$ ).....	75
Tabla 17. Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P>0,01$ ).....	76
Tabla 18. Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Invierno 1996.....	78
Tabla 19. Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Verano 1997.....	79
Tabla 20. Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Otoño 1997.....	79

Tabla 21. Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Invierno 1997.....	80
Tabla 22. Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Primavera 1997.....	80
Tabla 23. Resultados del análisis estadístico de los datos de invierno 1996 ( $P>0,01$ ).....	82
Tabla 24. Resultados del análisis estadístico de los datos de verano 1997 ( $P>0,01$ ).....	82
Tabla 25. Resultados del análisis estadístico de los datos de otoño 1997 ( $P>0,01$ ).....	82
Tabla 26. Resultados del análisis estadístico de los datos de invierno 1997 ( $P>0,01$ ).....	83
Tabla 27. Resultados del análisis estadístico de los datos de primavera 1997 ( $P>0,01$ ).....	83

## FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del centro de cultivo Lin-Lin.

Figura 2. Ubicación de las transectas A y B en el centro de cultivo Lin-Lin.

Figura 3. Distribución de los sistemas de cultivos de algas en el long-line.

Figura 4. Distribución de los manojos de algas en el sistema de cultivo en red.

Figura 5. Distribución de los manojos de algas en el sistema de cultivo en mangas de malla de pavo.

Figura 6. Distribución de las algas en el sistema de cultivo en pearl-nets.

Figura 7. Ubicación geográfica del centro de producción de semillas del IFOP en Hueihue.

Figura 8. Diseño del sistema de agua que abastece a los estanques en el experimento de policultivo en condiciones semi-controladas.

Figura 9. Diseño experimental del sistema de policultivo en condiciones semi-controladas.

Figura 10. Diagramas de distribución superficial de las variables nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 11. Diagramas de distribución a 5 m, de las variables nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 12. Diagramas de distribución a 20 m, de las variables nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 13. Distribución de la temperatura (°C) en los niveles de 0, 5 y 20 m y distribución de la salinidad (psu) a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 14. Diagramas de la distribución batimétrica de nitrato, fosfato, y amonio ( $\mu\text{M}$ ) y pigmentos fotosintéticos ( $\mu\text{L}$ ), en la estación control. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 15. Variación superficial, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad y temperatura. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 16. Variabilidad en un ciclo de 24 horas, a 5 m, del nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad y temperatura. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 17. Variación superficial, en un ciclo de 24 horas, a 20 m, del nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad y temperatura. Isla Lin-Lin, invierno de 1996.

Figura 18. Diagramas de producción de amonio ( $\mu\text{M}$ ) y utilización/producción de amonio (%), en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 19. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y excreción/utilización (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea B. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 20. Variación diurno-nocturna de los nutrientes nitrato, fosfato y silicato ( $\mu\text{M}$ ), en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 21. Variación diurno-nocturna de los nutrientes nitrato, fosfato y silicato ( $\mu\text{M}$ ), en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 22. Variación diurno-nocturna de los nutrientes ( $\mu\text{M}$ ), en la línea B, en condiciones semi-controladas, invierno de 1996.

Figura 23. Variación diurno-nocturna de los nutrientes ( $\mu\text{M}$ ), en la línea B, en condiciones semi-controladas, invierno de 1996.

Figura 24. Diagramas del porcentaje de excreción ( $\%<0$ ) y utilización de nutrientes ( $\%>0$ ), en la línea A, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 25. Diagramas del porcentaje de excreción ( $\%<0$ ) y utilización de nutrientes ( $\%>0$ ), en la línea A, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 26. Diagramas del porcentaje de excreción ( $\%<0$ ) y utilización ( $\%>0$ ) de nutrientes, en la línea B, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 27. Diagramas del porcentaje de excreción ( $\%<0$ ) y utilización ( $\%>0$ ) de nutrientes, en la línea B, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 28. Diagramas de temperatura, oxígeno disuelto (línea A y B) y clorofila a (líneas A y B), en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

Figura 29. Diagramas de distribución a 0 m, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 30. Diagramas de distribución a 5 m, de las variables nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 31. Diagramas de distribución a 15 m, de las variables nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0,

100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 32. Distribución de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a 0, 5 y 20 m, y la distribución de la salinidad a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 33. Variación superficial, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 34. Variabilidad en un ciclo de 24 horas, a 5 m, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 35. Variación a 20 m en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 36. Diagrama de distribución batimétrica de nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, primavera de 1996.

Figura 37. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y utilización/producción de amonio (%), en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, primavera de 1997.

Figura 38. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y excreción/utilización (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea B. Hueihue, primavera de 1997.

Figura 39. Variación temporal de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila a, en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, primavera de 1997.

Figura 40. Diagramas de distribución a 0 m, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 41. Diagramas de distribución a 5 m, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 42. Diagramas de distribución a 20 m, de las variables nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 43. Distribución de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a 0, 5 y 20 m, y la distribución de la salinidad a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 44. Diagramas de distribución batimétrica, en la estación control, de nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos, salinidad, oxígeno disuelto y amonio. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 45. Variación superficial, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 46. Variación a 5 m, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 47. Variación a 20 m en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, verano de 1997.

Figura 48. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y remoción/producción de amonio (%), en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, verano de 1997.

Figura 49. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y excreción/remoción (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea B. Hueihue, verano de 1997.

Figura 50. Diagrama de nutrientes, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila a, en condiciones semi-controladas, durante el verano de 1997.

Figura 51. Diagramas de distribución superficial del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 52. Diagramas de distribución a 5 m, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 53. Diagramas de distribución a 20 m, de las variables nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaulas. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 54. Distribución de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a 0, 5 y 20 m. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 55. Diagramas de distribución batimétrica, en la estación control, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos, salinidad, oxígeno disuelto y amonio. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 56. Variación superficial, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 57. Variación a 5 m, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 58. Variación a 20 m en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin-Lin, otoño de 1996.

Figura 59. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y utilización/producción de amonio (%), en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, otoño de 1996.

Figura 60. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y excreción/remoción (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea B. Hueihue, otoño de 1996.

Figura 61. Variación temporal del nitrato, fosfato, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila a, en condiciones semi-controladas, durante el otoño de 1996.

Figura 62. Número de especies por taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en otoño de 1996.

Figura 63. Densidad ( $\text{n}^\circ \text{ indiv./m}^2$ ) de los taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en otoño de 1996.

Figura 64. Número de especies por taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en invierno de 1996.

Figura 65. Densidad ( $\text{n}^\circ \text{ indiv./m}^2$ ) de los taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en invierno de 1996.

Figura 66. Número de especies por taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en primavera de 1996.

Figura 67. Densidad ( $n^{\circ}$  indiv./ $m^2$ ) de los taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en primavera de 1996.

Figura 68. Número de especies por taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en verano de 1997.

Figura 69. Densidad ( $n^{\circ}$  indiv./ $m^2$ ) de los taxa en a) área control y transecta sur y b) transecta norte en verano de 1997.

Figura 70. Variación del nitrógeno (N) total y fósforo (P) total en los sedimentos, área control, transecta sur y norte. a) otoño y b) invierno.

Figura 71. Variación de nitrógeno (N) total y fósforo (P) total en los sedimentos, área control, transecta sur y norte. a) primavera y b) verano.

Figura 72. a) Variación mensual de la biomasa de *S. salar* y trucha durante junio de 1996 y julio de 1997, en Lin-Lin, b) Variación mensual del alimento durante junio de 1996 y julio de 1997, en Lin-Lin, c) Relación entre la cantidad de alimento y biomasa promedio por estación en Lin-Lin.

Figura 73. a) Variación de la biomasa estacional de *S. salar* en Hueihue, b) Peso promedio y densidad de cultivo por estación en Hueihue.

Figura 74. Fluctuación estacional del contenido total de partículas y del contenido de partículas orgánicas del agua de mar en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

Figura 75. Tasa de crecimiento estacional de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

Figura 76. Supervivencia de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

Figura 77. Variación estacional de la eficiencia de absorción de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

Figura 78. Variación estacional de la tasa de filtración de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

Figura 79. Variación estacional del consumo de oxígeno de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

Figura 80. Variación estacional de la tasa de excreción de amonio de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.

Figura 81. Cambios estacionales en la composición de proteínas del músculo de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.

Figura 82. Cambios estacionales en la composición de proteínas de la gónada de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.

Figura 83. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos del músculo de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.

Figura 84. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos de la gónada de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.

- Figura 85. Cambios estacionales en la composición de lípidos del músculo de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.
- Figura 86. Cambios estacionales en la composición de lípidos de la gónada de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.
- Figura 87. Rendimiento en carne e índice macroscópico de madurez de la gónada de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.
- Figura 88. Índices de condición del músculo (ISC músculo) y la gónada (ISC gónada) de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin) y en el control.
- Figura 89. Fluctuación estacional del contenido total y contenido orgánico particulado del agua de mar, en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.
- Figura 90. Tasa de crecimiento e incremento de peso de los ostiones en los experimentos estacionales en condiciones semi-controladas de invernadero.
- Figura 91. Supervivencia estacional de los ostiones en condiciones semi-controladas de invernadero.
- Figura 92. Variación estacional de la eficiencia de absorción de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.
- Figura 93. Variación estacional de la tasa de filtración de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.
- Figura 94. Variación estacional del consumo de oxígeno de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 95. Variación estacional de la tasa de excreción de amonio de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 96. Cambios estacionales en la composición de proteínas del músculo de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 97. Cambios estacionales en la composición de proteínas de la gónada de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 98. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos del músculo de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 99. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos de la gónada de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 100. Cambios estacionales en la composición de lípidos del músculo de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 101. Cambios estacionales en la composición de lípidos de la gónada de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 102: Índices de condición del músculo (ISC músculo) y la gónada (ISC gónada) de ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 103. Rendimiento e índice macroscópico de madurez de la gónada de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

Figura 104. Promedio de incremento de biomasa ( $\pm$  d e), en el sistema de redes en desuso, expresado en Kg./m<sup>2</sup> de alga húmeda a diferentes profundidades. a) noviembre de 1996 b) diciembre de 1996 c) enero de 1997 d) febrero de 1997.

Figura 105. Rendimiento promedio ( $\pm$  d e), en el sistema de redes en desuso, expresado en Kg/m<sup>2</sup> de alga húmeda. a) Red N° 4 ubicada a 146 m de las balsas jaulas b) Red N° 1 ubicada a 200 m de las balsas jaulas.

Figura 106. Incremento en biomasa en el sistema de malla pavo, entre los meses de octubre de 1996 a febrero de 1997 en la localidad de Achao (Lin-Lin). Los sistemas 1 al 5 corresponden a distancias desde las balsas jaulas al experimento (Sist 1) ubicado a 183 m de las balsas jaulas; (Sist 2) ubicado a 175 m de las balsas jaulas; (Sist 3) ubicado a 171 m de las balsas jaulas; (Sist 4) ubicado a 167m de las balsas jaulas; (Sist 5) ubicado a 159 m de las balsas jaulas.

Figura 107. Incremento en biomasa en el sistema de pearl-net, entre los meses de octubre de 1996 y febrero de 1997, en la localidad de Achao (Lin-Lin). Desde la 1° a 5° línea se encuentran a una distancia de 176 m de las balsas jaulas y desde la 6° a 10° línea a una distancia de 150 m de las balsas jaulas.

Figura 108. Tasas de crecimiento (%) de *Gracilaria* registradas a los 15, 30 y 45 días de cada experimento. Las líneas representan los diferentes efluentes que se les suministro como alimento. a) invierno 1996; b) verano 1997; c) otoño 1997.

Figura 109. Tasas de crecimiento (%) de *Gracilaria* registradas a los 15, 30 y 45 días de cada experimento. Las líneas representan los diferentes efluentes que se les suministro como alimento. a) invierno 1997; b) primavera 1997.

## **1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de mitigación de aporte de nutrientes al medio, al desarrollar policultivos marinos de salmónidos con otras especies hidrobiológicas (moluscos y/o algas y/o crustáceos), en relación a los cultivos monoespecíficos de salmonídeos.

## **2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**2.1** Diseñar un sistema de policultivo marino de salmónidos con otras especies hidrobiológicas (moluscos y/o algas y/o crustáceos).

**2.2** Evaluar a nivel experimental el efecto de mitigación del aporte de nutrientes al medio del sistema de policultivo marino diseñado en el objetivo 2.1.

**2.3** Evaluar la pre-factibilidad de uso del sistema de policultivo marino diseñado en el objetivo 2.1, en la actividad salmonera comercial.

### 3. ANTECEDENTES.

La acuicultura a nivel mundial es una actividad que tiene un gran impacto en la generación de recursos naturales, se produjeron alrededor 27.800 ton en 1995 (FAO, 1996). Aunque esta actividad está ampliamente difundida a nivel mundial, las estadísticas de producción muestran que ella está concentrada principalmente en Asia. Este continente aporta alrededor del 90% de la producción total en volumen. Al comparar, a nivel mundial, los volúmenes de producción tanto en agua dulce como ambientes marinos se aprecia que son similares (alrededor del 47%), y del total del volumen producido, los peces constituyen el grupo más importante (70%), seguido por los moluscos (23%) y los crustáceos (7%) (Mathias, 1996).

El cultivo de peces carnívoros es un cultivo intensivo donde hay un mayor control sobre los organismos, se requiere una suplementación de alimento rico en proteínas y deben ser mantenidos en estanques o balsas-jaulas ya sea en ambiente dulceacuícola como marino (Folke & Kautsky, 1988). Esto significa un alto nivel de inversión y de costos de operación. Uno de los grupos de peces más importante en volumen de producción son los salmones y las truchas, los cuales representan aproximadamente el 44% de la producción mundial (Mathias, 1996). Por otro lado, tenemos el cultivo de bivalvos, que es descrito como un cultivo extensivo, donde el origen de los nutrientes proviene del plancton, el cual es filtrado cuando el agua que pasa por el cultivo. La inversión y costos de mantención de este sistema son menor magnitud que la del cultivo intensivo.

La tendencia de crecimiento en la producción por la actividad de acuicultura también se observa en Chile. Así lo demuestran las cifras entregadas para 1996, donde se produjeron 323.115 ton (SERNAPESCA 1997), con una tasa de crecimiento del 29,1% anual en los últimos cinco años. Con respecto a los volúmenes de producción, los peces tienen la mayor incidencia (61,7%), seguido de las algas (32,5%) y los moluscos (5,8%). En el caso de los peces, la producción está basada casi exclusivamente en el cultivo de salmones y truchas (99%). Estas cifras reflejan la importancia de la salmonicultura en la producción de recursos pesqueros y el aporte de divisas, al ser considerado un producto

de alto valor comercial. En 1996, por concepto exportación de salmones y truchashubo un retorno de divisas de alrededor US\$ 530 millones.

Un factor importante a considerar, es que el 86% de la actividad de acuicultura esta concentrada en los fiordos y canales de la X Región. Área con escasos conocimientos sobre la variabilidad temporal y espacial de las características físicas y químicas, tales como salinidad, temperatura, nutrientes y clorofila (Braun *et al.*, 1988).

El impacto de la acuicultura en el ambiente ha sido un tema recurrente en la literatura (Philips & Bereridge, 1986; Folke & Kautsky, 1987; Iwama, 1991 ), especialmente el impacto de la salmonicultura. Como producto de desecho de esta actividad se encuentra por un lado compuestos nitrogenados solubles tales como el amonio y la urea, los cuales pueden servir como fuente de nitrógeno para el fitoplancton. Por otro lado, el material orgánico particulado proveniente de resto de alimento no consumido y de las fecas.

El principal producto del metabolismo del nitrógeno en los peces teleosteos es el amonio. (Handy & Poxton, 1993). Este compuesto representa entre 75 al 90% del total de nitrógeno liberado al medio (Taylor *et al.*, 1992). Una proporción menor es excretada como urea (5-15%). Tanto el amonio como la urea son excretados principalmente por las agallas, variando entre el 80-90% del total de amonio excretado. Por esta razón, los salmones han sido clasificados fisiológicamente como especies amoniotélicas. En el caso del salmón del Atlántico se ha estimado una tasa de producción equivalente a  $6 \text{ mg kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  de N-NH<sub>4</sub> y  $0,9 \text{ mg kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  de N-urea (Fivelstad *et al.*, 1990 *fide* Handy & Poxton, 1993) a una densidad de cultivo de  $108 \text{ kg/m}^3$  y una temperatura de 12 °C.

Para algunos peces teleosteos, ha sido determonada la variación en la tasa de excreción de los compuestos nitrogenados en un periodo de 24 h, en condiciones controladas (Dostat *et al.*, 1996). Los resultados indican que existe una variación en la cantidad de amonio excretado, con uno o dos valores máximos. El patrón de liberación de amonio esta regido por la cantidad de alimento digerido y la cantidad de proteínas. El valor máximo puede ser registrado después 3-8 horas de alimentación (Dostat *et al.*, 1996)

Con respecto al material particulado proveniente de la salmonicultura, Braaten *et al.*, (1993) estimaron que aproximadamente el 20% del alimento se pierde por alimento no consumido. De los datos de digestibilidad sugieren que el 26% del alimento consumido es excretado por las fecas. El rango de dispersión del material particulado en un área está determinado por diversos factores tales como: la topografía, corrientes (velocidad y dirección) y el manejo del centro de cultivo (Johannessen *et al.*, 1994, Hevia, 1996). Otro aspecto que influye es la tasa diferencial de sedimentación del pellet y las fecas, con valores de  $0,13 \text{ m s}^{-1}$  y  $0,03 \text{ m s}^{-1}$  respectivamente (Hevia, 1996). Se ha estimado que el impacto de la materia orgánica particulada sería local, ya que no pasaría más allá de 120 a 250 metros de distancia (Johannessen *et al.*, 1994, González *et al.*, 1997). En su mayoría, las partículas sedimentan bajo las balsas-jaulas o en su vecindad.

recientemente, ha surgido un interés en la utilización de organismos como mecanismos de remoción del material particulado y disuelto, proveniente de la salmonicultura. La asociación salmónes-filtradores ha sido analizada tanto en sistemas abiertos (Jones & Iwama, 1991, Taylor *et al.*, 1992, Stirling & Okumus, 1995) como cerrados (Gavilan *et al.*, 1997) con resultados variables. Stirling & Okumus, (1995) demostraron un aumento en la tasa de crecimiento de *Mytilus edulis* cultivados en las cercanías de las balsas jaulas. Sin embargo, no demuestran la utilización de material particulado y fecas como fuentes de alimento. En el caso de *Crassostrea gigas* aumento tres veces su tamaño al estar asociada con el cultivo del salmón Chinook, *Oncorhynchus tshawytscha* (Jones & Iwama, 1991). Sin embargo, Taylor *et al.*, (1992) no logró demostrar un aumento en el crecimiento de *Mytilus edulis*, ni tampoco un aumento en la disponibilidad del alimento (*i.e.* clorofila y seston) en un área con cultivo de salmón. En el caso de cultivo en estanque de *Crassostrea gigas* con efluente de salmón se produjo un aumento en longitud y peso sin afectar la sobrevivencia de las ostras (Gavilan *et al.*, 1997).

Las algas a través de su proceso natural de metabolismo utilizan nitrógeno y fósforo, compuestos esenciales para el crecimiento. Además, consumen el  $\text{CO}_2$  y producen una liberación de oxígeno. Por estas razones, se ha considerado que las algas podrían

cumplir un rol importante en la disminución del impacto de la salmonicultura, tomando el amonio y urea disueltos en el agua y controlando la disminución en la concentración de oxígeno disuelto en ambientes cerrados, provocados por la respiración de los peces y la degradación de la materia orgánica.

La remoción directa de compuestos nitrogenados proveniente del cultivo de peces por macroalgas ha sido evaluada, en sistema cerrado, en los géneros, *Gracilaria*, *Ulva* y *Sarcothalia* (Buschmann *et al.*, 1994, Buschmann *et al.*, 1996, Petrell & Alie, 1996, Jiménez del Río *et al.*, 1996, Retamales *et al.*, 1997) mostrando una gran eficiencia en la remoción de amonio. En un sistema de cultivo en estanque de salmón con *Gracilaria* se estimó una producción de biomasa del alga de 48,9 kg m<sup>-2</sup> año, siendo capaz de remover el 50% del amonio disuelto en invierno, llegando a un valor del 90-95% en primavera. Jiménez del Río *et al.*, 1996, en un sistema peces-*Ulva* encontraron una variación estacional en la eficiencia de remoción de nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), con un valor anual de 2,0 g DIN m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, al excluir los datos de invierno. En el caso de *Sarcothalia*, especie carragenófito, se produjo una mayor productividad (sobre 200g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) al ser cultivada con efluentes de peces, con una remoción de amonio superior al 60% (Retamales *et al.*, 1997).

En este contexto, el Consejo del Fondo de Investigación Pesquera identificó e incluyó este proyecto de FIP 94-01 "Evaluación del Efecto de Mitigación del Aporte de Nutrientes, al Desarrollar Policultivo Marinos de Salmónidos" el cual tiene por objetivo evaluar el efecto mitigador de las especies *Argopecten purpuratus* y *Gracilaria chilensis* en el cultivo del Salmón del Atlántico tanto en sistema semi-controlado como abierto.

## 4. Metodología

### 4.1. Muestreo oceanográfico a escala espacial y estacional en el mar

#### Descripción del área de estudio.

El estudio sobre la variación de los parámetros oceanográficos a escala espacial y estacional se realizó en el centro cultivo Lin-Lin perteneciente a la Pesquera Mares Australes. Este centro está ubicado en la provincia de Chiloé (Fig. 1), en la Isla de Lin-Lin ( $46^{\circ}28' S$  ;  $73^{\circ}29' W$ ). Posee dos trenes, cada uno con 14 balsa-jaulas metálicas de 15x15 m. Al comienzo del proyecto, junio de 1996, este centro cultivó exclusivamente el salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Sin embargo, desde septiembre de 1996, en forma paulatina comienza a introducir la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). La biomasa de salmones durante el desarrollo del experimento (junio 1996 - octubre 1997) varió entre las 40 y 800 toneladas.

#### Descripción de los muestreos intensivos estacionales

En este proyecto se planificaron cuatro muestreos oceanográficos estacionales, otoño, invierno, primavera y verano. Las fechas de muestreo se muestran en la tabla 1. Para evaluar la variabilidad temporal de algunos parámetros oceanográficos en la columna de agua se muestreo una estación ubicada en el costado sur del tren N° 1 de balsas-jaulas durante un periodo de 24 h. Las muestras de agua se recolectaron con una botella Niskin de 5 L, cada 3 horas y a tres profundidades: 0, 5 y 20 m, para determinar la salinidad, oxígeno disuelto, nitrato, silicato, fosfato, amonio y clorofila *a*. El registro de temperatura fue obtenido con tres termistores, fondeados en el costado del tren de balsas jaulas, a las profundidades de muestreo señaladas anteriormente. Los datos de temperatura se registraron cada 15 minutos.

Tabla 1. Fechas de muestreos intensivos estacionales.

Estación	Fecha
Otoño	20-21/06/96
Invierno	05-06/09/96
Primavera	03-04/12/96
Verano	19-20/03/97

Para conocer la variabilidad espacial de las variables de interés en un ciclo de marea alta y baja, se efectuaron dos transectas de 500 m, una al norte y otra hacia el sur del tren de balsas-jaulas (transectas A y B respectivamente). En cada transecta se establecieron cuatro estaciones, 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas (Fig. 2). En cada estación, se recolectaron muestras de agua con una botella Niskin de 5 L, en tres profundidades 0, 5 y 20 m para determinar salinidad, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato, silicato, amonio y clorofila a. Además, en cada estación se recolectó una muestra de sedimento, para determinar N y P total, y la biodiversidad de organismos. Con el objeto de evaluar la dinámica de las variables sin influencia de los cultivos, se estableció una estación control, a una distancia aproximada de 5.000 m al sur del tren de balsas-jaulas. En esta estación se recolectaron muestras de agua en tres profundidades a 0, 5 y 20 m, para determinar salinidad, oxígeno disuelto, nitrato, nitrito, fosfato, silicato, amonio y clorofila a. Además, se recolectó una muestra de sedimento para cuantificar N y P total y la biodiversidad de organismos.

Los análisis de las variables oceanográficas consideradas fueron realizados con la siguientes metodología estandarizada:

**Análisis de salinidad:** Las muestras de salinidad fueron obtenida en forma discreta y analizadas con el método de inducción, según la metodología descrita en UNESCO (1981).

**Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto fue cuantificado con el método de Winkler modificado por Carpenter (1965). Las muestras fueron fijadas en terreno, mediante la adición de 1 mL de solución A (cloruro de manganeso) y 1mL de solución B (yoduro de potasio + cloruro sodio), a

un volumen de agua aproximado de 125 mL. y almacenadas en oscuridad por un tiempo inferior a 24 h.

**Análisis de nutrientes:** Las muestras de agua para análisis de nitrato, fosfato y silicato fueron guardadas en cajas de aislapol para posteriormente ser almacenadas a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El análisis de los nutrientes se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Parsons *et al.*, (1985), utilizando un espectrofotómetro Shimadzu UV-1201, equipado con celdas de 1 y 5 cm.

El análisis de amonio fue realizado según la metodología descrita en Parsons *et al.*, (1985), con una modificación en la mezcla donadora de cloro activo, la que esta compuesta de 0,5 g de dicloroisocianurato de sodio disuelto en una solución de NaOH 0,8 N (Hernández, 1994). Uno de los problemas analíticos más serios para la cuantificación del ion amonio, es la calidad del agua con la que se prepara los reactivos, en la actualidad se cuenta con un purificador de agua (MILLIQ plus) que permite obtener agua químicamente pura con una resistividad 18,2 mhoms/cm. Con esta agua ultra pura las lectura de blanco reactivo fueron iguales o inferiores a 0,020 unidades de absorbancia (1/cm).

La muestra para análisis de amonio disuelto, fue fijada in situ y cuantificada, según la siguiente marcha analítica: a 25 mL de agua de mar se le agregó 500  $\mu\text{L}$  de solución de fenol y nitroprusiato de sodio, 500  $\mu\text{L}$  de solución citrato disódico dihidrato en medio levemente básico y 500  $\mu\text{L}$  de solución de dicloroisocianurato de sodio en medio básico (0,8 N). Las lecturas de densidad óptica del complejo se realizaron después de realizado el muestreo, en un plazo no inferior a 6 ni mayor de 12 horas. Los análisis se realizaron con un espectrofotómetro Shimadzu modelo UV-1201, equipado con celdas de 5 cm de paso de luz.

**Clorofila a:** Las muestras para la cuantificación de clorofila a fueron filtradas utilizando un filtro de fibra de vidrio MFS GF 75 (equivalente al filtro Whatman GF/F) en un sistema múltiple de 6 bocas de 47 mm de diámetro cada una (Millipore), con un vacío no superior a los 10 mm Hg. El análisis químico de las muestras se realizó utilizando un fluorómetro Turner Designs,

modelo 10` AU, previamente calibrado con un estándar puro de clorofila *a*, marca Sigma Chemicals. El protocolo de análisis es el indicado en Parsons *et al.*, (1985).

**Sedimentos:** Las muestras de sedimento se recolectaron mediante una draga Eckman-Birge, modelo TSK con un área de 0,0625 m<sup>2</sup>. La muestra se dividió en dos parte iguales, una para cuantificar nitrógeno (N) y fósforo total (P), y otra para determinar la biodiversidad de organismos. La primera muestra fue almacenadas a -20 °C y la segunda fue fijada con formalina al 3%. Las muestras fueron analizadas para la cuantificación de N y P, de acuerdo con los protocolos de la APHA, AWWA, WPCF (1980).

#### 4.2. Policultivo en el mar

##### Selección de las especies mitigadoras

Considerando la información disponible de organismos filtradores, las especies propuestas para el policultivo son:

***Gracilaria chilensis*** (pelillo) es la única alga cultivada a nivel comercial en Chile y sobre la cual existe información fisiológica y ecológica que permite suponer una capacidad para absorber nutrientes del medio (Cancino & Orellana, 1997; Carrillo, 1991; Pérez *et al.*, 1993). Por otra parte, a nivel mundial y en Chile, ya se han desarrollado las técnicas de cultivo en ambiente controlado, a pequeña escala (Edding *et al.*, 1997; Ugarte & Santelices, 1992; Buschmann *et al.*, 1994). También existe información y experiencia de cultivo comercial de esta especie en distintos ambientes naturales (Pizarro, 1986; Santelices & Doty, 1989).

***Argopecten purpuratus*** (ostión del norte) es una de las especies de molusco sobre la cual existe conocimiento básico de la fisiología, las técnicas de cultivo tanto en ambiente controlado como en sistema abierto. Además, es una especie de alto valor económico. Durante estos últimos años, empresas salmonicultoras han estado evaluando a nivel piloto la factibilidad de cultivar ostión del norte consiguiendo resultados promisorios (Ávila *et al.*, 1994).

### Descripción del policultivo

El sistema de policultivo fue instalado el 24 de octubre de 1996 en el centro de cultivo Lin-Lin, consiste en un long-line de 100 m de largo, donde se distribuyeron ostiones y alga *Gracilaria*. Este sistema se instaló entre 100 y 200 m del tren de balsas jaulas N° 1, en dirección sur (Fig. 2). El long-line fue sostenido por 15 flotadores de poliestireno expandido de 50x50 cm. En los primeros 46 m se pusieron 30 linternas y/o pearl-net con ostiones. A continuación, en los 54 m restantes, se distribuyó el alga *Gracilaria chilensis*, en tres sistemas de cultivo; redes, mangas de malla de pavo y pearl-net.

Inicialmente los muestreos tanto de algas como de ostiones, se programaron cada 30 días. Sin embargo, en tres ocasiones el muestreo debió suspenderse por razones climáticas (Tabla 2).

Tabla 2. Fecha de muestreo del policultivo.

Muestreo	Algas	Ostiones
1	28.11.96	29.11.96
2	27.12.96	26.12.96
3	24.01.97	23.01.97
4	05.03.97	06.03.97
5	-	15.04.97
6	-	19.05.97
7	-	19.08.97
8	-	22.10.97

### Descripción del cultivo de ostión del norte

En los primeros 46 m del long-line se pusieron ostiones juveniles en 30 linternas y/o pearl-net. Estos sistemas contaban con 10 pisos, y en cada piso se dispusieron 20 ostiones, alcanzando un número total de 6.000 ostiones al inicio del experimento. Como control se

dejaron 8 linternas del mismo tipo a las utilizadas en Lin-Lin, en una línea en el Centro Tecnológico para la Acuicultura (IFOP) en cuya vecindad no existen cultivos de salmones.

**Adquisición y aclimatación de ostiones:** Los ostiones correspondieron a juveniles de 3ª generación, producidos en el Centro Tecnológico para la Acuicultura de Putemún en junio de 1995. El transporte de los ostiones para la instalación del policultivo se realizó en los mismos sistemas de cultivo y con un 100% de humedad ambiental.

**Muestreo periódico de las variables bióticas:** Los muestreos en el policultivo y control se realizaron simultáneamente, de acuerdo a lo señalado en la tabla 2.

**Análisis fisiológico:** Para la evaluación de la eficiencia con que los ostiones crecen y asimilan los nutrientes y material particulado presentes en el agua, se muestrearon cada dos meses ejemplares del cuarto y sexto piso de linternas seleccionadas al azar. Los ostiones recolectados fueron transportados sumergidos hasta el Centro Tecnológico para la Acuicultura en Putemún y se mantuvieron separados por cada combinación de tratamiento/replicado, incubándolos en agua proveniente de los mismos cultivos durante las primeras 15 horas. Para medir la eficiencia de asimilación los ostiones fueron transferidos a un circuito abierto de agua de mar, donde se les midió la tasa de filtración (Coughlan, 1969), eficiencia de asimilación (Conover, 1969), tasa de respiración (Widdows, 1985) y tasa de excreción de amonio de acuerdo a la metodología de Solorzano, usando cloruro de amonio como estándar.

Los resultados fisiológicos fueron estandarizados considerando dos tallas diferentes de ostiones y utilizando los índices alométricos de *Argopecten purpuratus*, según González, (1995), de esta forma se removió el efecto de la variación de tamaño de la población utilizada para hacerla comparable entre experimentos a lo largo del año. Se recogieron muestras de agua de mar en todos los muestreos a 3 m de profundidad en los dos extremos de la línea para determinar la oferta alimenticia que existió estacionalmente para los ostiones en términos de biomasa de seston disponible por litro de agua de mar (Navarro *et al.*, 1993).

**Crecimiento y mortalidad:** Para la estimación del crecimiento y la mortalidad, se pesaron y midieron al momento inicial y final del experimento. Para los muestreos bimensuales se midieron los ostiones del piso quinto de cada linterna y/o pear-nets, y se registró la mortalidad. Se realizó una limpieza de linternas en enero de 1997 y un cambio de linterna en abril y mayo de 1997, debido al excesivo fouling observado en este período. Durante el muestreo de mayo de 1997, se registró la mortalidad en todos los pisos de las linternas, sin sustituir los ejemplares muertos.

**Índices de condición y análisis bioquímico:** Para la estimación de los índices de condición y análisis bioquímico se sacrificaron entre 8 y 10 ejemplares al inicio del experimento y cada dos meses, tomándolos al azar del cuarto y sexto piso de las linternas. El índice de condición utilizado fue la relación entre el peso seco del órgano y el peso seco total de las partes blandas, para el músculo abductor y la gónada de acuerdo a Uriarte *et al.*, (1996).

El análisis bioquímico se realizó sobre muestras de 5 mg de tejido seco de la gónada y del músculo abductor homogenizado en mortero. No se hicieron separaciones entre gónada femenina y masculina, ni entre músculo liso y estriado. Los análisis de proteínas se realizaron según Lowry *et al.*, (1951), usando gama-globulina como estándar de acuerdo a Berges *et al.*, (1993). Los lípidos se extrajeron según Bligh & Dyer, (1959), y se estimaron de acuerdo a Barnes & Blacstock, (1973), utilizando colesterol como estándar. Los carbohidratos se extrajeron según Hellebust & Craigie, (1978), utilizando glucógeno de ostra como estándar de acuerdo a Martínez, (1991). Las cenizas fueron estimadas en muestras de 10 a 100 mg, incinerándolas a 500 °C por 4 hrs.

Las comparaciones entre crecimientos, mortalidad, índice de condición, composición bioquímica y tasas fisiológicas se realizaron mediante ANOVA de dos factores (origen y estación del año), transformando arcosenicamente los valores expresados en porcentajes y logarítmicamente las tasas fisiológicas (Sokal & Rohlf, 1981; Navarro & Thompson, 1996). El grado de asociación entre los diferentes parámetros evaluados y las variables fisicoquímicas y la oferta alimenticia de la columna de agua se determinó mediante análisis de correlación del paquete estadístico STATGRAPH.

## Cultivo de algas

El diseño experimental se estableció considerando el número y ubicación del sistema de cultivo de ostiones. Los sistemas del policultivo se instalaron en las cercanías del centro Lin-Lin, perteneciente a la empresa Mares Australes, el cual está ubicado en la Isla de Lin-Lin (46°28'S; 73°29'W).

En la figura 2 se muestra la distribución de los organismos del policultivo. Las algas se instalaron en 3 sistemas diferentes: redes salmoneras en desuso, mangas de malla pavo y pearl-net. En los tres casos los cultivos se instalaron en forma vertical exceptuando el de malla pavo, el cual si bien se dispuso en forma vertical, las líneas se encontraban en forma horizontal, estos distintos sistemas utilizaron como base, un long-line de 100 m de longitud y se distribuyeron como se muestra en la figura 3. El alga que se utilizó para este experimento, se adquirió en la localidad de Pta. Chilén (41°53'S; 73°30'W), Isla de Chiloé. El alga fue trasladada para su aclimatación y confección de los sistemas, al invernadero de algas ubicado en el Laboratorio de Hueihue, Isla de Chiloé. Se mantuvieron en estanques de 450 L de con agua de mar circulante. Cuando los sistemas estuvieron listos se trasladaron a la localidad de Lin Lin.

**Redes:** se utilizaron trozos de redes salmoneras en desuso de 3 m de ancho por 6 m de alto. Se confeccionaron 46 manojos de *Gracilaria* de 0,2 kg cada uno, los cuales fueron amarrados a la red con alambre forrado (plástico) para mayor maniobrabilidad al momento de los muestreos y fueron ubicados como se indica en la figura 4, como biomasa inicial se colocó 0,6 k de alga húmeda por m<sup>2</sup>. Para mantener el sistema en forma rígida se utilizó una cadena de 3 m de largo, la cual fue adosada a la parte inferior de la red. Dentro de los 100 m de long line se instalaron 4 réplicas de este módulo de 3 x 6m, distribuidos en el siguiente orden Red N° 4 a 146 m, Red N° 3 a 164 m, Red N° 2 a 182 m y Red N° 1 a 200 m del tren de jaulas base del centro Lin Lin.

**Mangas de malla pavo:** Este sistema consta de 5 réplicas las cuales tienen como unidad base un set de 8 líneas de (malla pavo) 1,5 m cada una, las que están dispuestas en

forma horizontal, a su vez estas se encuentran divididas en tres trozos de 0,5 m las cuales contienen aproximadamente manojos de 0,5 kg cada una, lo que da un peso total de cada línea de 1,5 kg (Fig. 5). Las líneas se sostuvieron verticalmente mediante cuerdas y con un peso en la parte inferior a fin de mantener el sistema en forma rígida. Estas líneas fueron distribuidas al azar en una distancia de 54 m lineales.

**Pearl-net:** se utilizó como sistema suspendido pearl nets, que comúnmente se usan para la engorda de semillas de ostiones. Se compraron en el comercio (Star-line), 80 pearl nets. Se hicieron 10 líneas de 8 pearl nets cada una, los cuales contenían manojos de 0,2 kg de alga en su interior lo que da 1,6 kg de alga por línea. Las 10 líneas se dividieron en dos grupos de 5 a lo largo de los 54 m lineales, el primer grupo quedó entre los 196 y 188 m y el segundo se ubicó entre los 150 y 158 m del tren de jaula base del centro Lin-Lin. En la figura 6, se muestra este método de cultivo suspendido.

Este experimento se inició el 24 de octubre de 1996. Desde esa fecha se efectuaron 4 muestreos mensuales, para evaluar el crecimiento de las algas (28/11; 27/12; 24/01; 05/02 ). Para el muestreo en las redes, se numeró las redes de tal forma que se ubicaron 46 puntos dentro de ella, los cuales se distribuyeron homogéneamente. Para seleccionar los manojos de algas dentro de la red, se utilizó la tabla de números al azar, en cada oportunidad se extrajeron 9 manojos para ser evaluados (representa aproximadamente un 20% del total). Después de cada muestreo, se eliminaron los números correspondientes a los manojos que ya habían sido pesados. Estos una vez extraídos, y pesados, fueron devueltos a su ubicación original en la red, a fin de mantener el mismo número de manojos durante todo el experimento. La balanza utilizada para los muestreos es de marca Soehle con capacidad de 2,0 kg y con una precisión de un gramo.

En el caso de la malla pavo también se muestreó el 20% esto significa que se evaluaron 8 líneas en cada muestreo, las cuales al igual que en el caso anterior se reponen después de terminada la evaluación. En cada línea de malla, se pesan los tres manojos de alga y se vuelven a instalar en la misma posición con una malla nueva.

En los pearl nets, se pesaron 16 muestras, correspondientes al 20% del total. El muestreo consistió en sacar el alga de acuerdo a números al azar, pesarla y devolverla al mismo pearl-net dentro de cada línea.

Con los datos de biomasa obtenidos se calculó el rendimiento en base a la biomasa producida por los distintos sistemas.

Para el análisis de los datos muestreados se utilizó una ANOVA de dos vías dentro de la cual se usó el diseño de bloques aleatorizado. Los tratamientos fueron las diferentes profundidades y en otros casos las distancias a que se encontraban los distintos sistemas, las réplicas o bloques correspondieron al número de sistemas y los distintos meses de muestreo.

Para este diseño, los bloques son conjuntos de unidades experimentales dispuestas o seleccionadas con anterioridad a la asignación de tratamientos, de modo que la variabilidad existente es minimizada dentro de los bloques y maximizada entre los mismos. Los tratamientos se asignan aleatoriamente el mismo número de veces a las unidades experimentales dentro de un bloque. Una selección aleatoria independiente se realiza para cada bloque. Por lo tanto reducimos el número de grados de libertad para el error, el mismo número de veces que contienen los bloques. Así, mientras mayor sea la variabilidad entre bloques, más eficiente será el proyecto en lo que se refiere a su capacidad para detectar posibles diferencias del tratamiento.

#### **4.3. Policultivo en condiciones semi-controladas**

##### **Descripción del área**

El sistema de policultivo en condiciones semi-controladas, se desarrolló en el Centro de Producción de Semillas del Instituto de Fomento Pesquero, ubicado en la Isla de Chiloé (Fig. 7), localidad de Hueihue ( $41^{\circ}56' S$  ;  $73^{\circ}29' W$ ).

### **Diseño y construcción del invernadero.**

Para desarrollar el experimento de policultivo en condiciones semi-controladas, se diseñó y construyó un invernadero de una superficie de 90 m<sup>2</sup>, (10 m de ancho x 9 m de largo). Éste tiene un piso de cemento, las paredes fueron recubiertas en un 90% con planchas de fierro galvanizado en "V" y un 10% con plancha transparente en la parte superior. El techo fue cubierto completamente con plancha transparente con el objetivo de aprovechar mejor la luz natural. Las puertas fueron dispuestas en la parte anterior y posterior del invernadero, las cuales fueron hechas con una estructura de madera de 2 m de ancho y recubiertas con plancha de fierro galvanizado en "V". El piso tiene dos canaletas, las cuales conforman el sistema de evacuación de aguas dentro del invernadero. Estas canaletas se conectan a una cámara de desagüe, y posteriormente a una cámara de decantación.

El diseño experimental propuesto requería agua de mar circulante, para lo cual se utilizó inicialmente una motobomba marca GHC con impulsor especial KM200-1 de bronce marino con eje de acero inoxidable # 316, de 2 HP de potencia y con un flujo de 180 L/min. La bomba fue instalada en una balsa ubicada a una distancia aproximada de 20 m del límite de la marea mas alta. Posteriormente, la bomba fue reemplazada por una sumergible de acero inoxidable marca Jacuzzi, de características similares a la anterior. En ambos casos el agua fue succionada de una profundidad de 2 m, y transportada 200 m por una tubería de PVC hidráulico de 50 mm Ø, hasta una torre de madera de 4 m de altura. El agua pasó por un filtro de cuarzo (Jacuzzi MFM 17-6) y fue almacenada en dos estanques de fibra de vidrio de 1,5 m<sup>3</sup> de capacidad. Desde estos estanques, el agua fue transportada mediante gravedad al invernadero, por una tubería de PVC (Fig. 8). El sistema de aireación fue implementado solamente en los estanques que contenían algas. El aire fue suministrado por un "blower" (soplador industrial, Gast R-41110-2) de 1 HP de potencia, y transportado a los estanques por medio de tubería de PVC hidráulico de 20 mm Ø. En los estanques, el tubo de PVC fue perforado para que actuara como difusor, produciendo celdas de movimiento de agua.

### Descripción del diseño de los experimentos estacionales

El diseño contempló desarrollar experimentos estacionales, Invierno, primavera, verano y otoño. Las especies consideradas fueron: el salmón del Atlántico, *Salmo salar*, el ostión el norte *Argopecten purpuratus* y el alga pelillo *Gracilaria chilensis*.

El cultivo de salmones se desarrolló en un estanque de 4.000 L (1,6 m de alto por 1,8 m  $\varnothing$ ), de fondo cónico con una salida de 50 mm  $\varnothing$  en la parte lateral inferior. Los estanques para el cultivo de ostiones, algas y controles eran rectangulares, con un volumen de 500 L de capacidad útil (1,0 m de largo por 0,70 m de ancho y de alto), confeccionados de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El diseño experimental de policultivo en condiciones-semicontroladas, considera dos líneas (A y B) (Fig. 9). La línea A tiene la influencia de los efluentes de salmones, mientras que la B es abastecida con agua de mar directa del medio. El agua que ingresa al invernadero se divide y distribuye en estas dos líneas. El flujo de agua que ingresa a la línea A, se distribuye primero al estanque de salmones, con un flujo aproximado de 60 L/min, lo que indica una tasa de recambio de 0,9 estanque/h. El agua sale del estanque de salmones con un flujo aproximado de 10 L/min y se reparte en seis estanques; dispuestos en tres series en paralelo, dos estanques de algas, luego dos controles y posteriormente dos de ostiones. La tasa de recambio en estos seis estanques es de 1,2 estanque/h. Finalmente, el agua de los dos estanques con ostiones desemboca en cuatro estanques con algas. Cada estanque de ostión distribuye el agua a dos estanques de algas con un flujo aproximado de 5 L/min, con una tasa de recambio de 0,6 estanques/h.

En la línea B, el agua de mar tiene una distribución similar a la línea descrita anteriormente, con la diferencia que el agua ingresa directamente a seis estanques, dispuestos en tres series en paralelo, dos estanques de algas, luego dos controles y posteriormente dos de ostiones. La tasa de recambio en estos seis estanques es de 1,2 estanques/h. Finalmente, el agua de los dos estanque con ostiones desemboca en cuatro estanques con algas, con un flujo aproximado de 5 L/min, con una tasa de recambio de 0,6 estanques/h.

Los experimentos estacionales tuvieron una duración de 45 días. En ellos se consideró un muestreo intensivo, muestreos semanales y quincenales. La Tabla 3 muestra la fecha de inicio de los experimentos estacionales

El muestreo intensivo se realizó durante un ciclo de 24 horas. Se recolectaron cada tres horas muestras de agua para determinar variables como oxígeno disuelto, amonio, salinidad y clorofila a. En cambio, el nitrato, nitrito y fosfato, se muestrearon cada 6 horas, en un régimen de marea alta y baja. La temperatura fue registrada en forma continua durante 24 horas, con termistores ubicados en los estanques 1A, 11A y 10B. Las distintas muestras de agua se obtuvieron de los estanques señalados en la Tabla 4.

Tabla 3. Fecha inicio de los experimentos estacionales

Estación	Fecha
Invierno	23/07/96
Verano	06/03/97
Otoño	22/05/97
Invierno	23/07/97
Primavera	24/09/97

En los muestreos semanales se recolectaron muestras de agua para medir la salinidad, oxígeno disuelto y clorofila a. Las muestras se obtuvieron de los estanques señalados en Tabla 4. Además, se recolectaron las fecas provenientes de los salmones antes de cada ración de alimento para el análisis de N y P.

En el muestreo quincenal se incluyen todas las variables del muestreo semanal, más los nutrientes tales como amonio, nitrato, nitrito y fosfato en todos los estanques (Tabla 4). La temperatura fue registrada en forma continua durante las 24 horas mediante termistores, ubicados en los estanques 1A y 7B.

Tabla 4. Variables oceanográficas muestreadas por estanques en los experimentos estacionales (E= entrada, S=salida).

Estanque	NH4	Clorofila <u>a</u>	Oxígeno	Salinidad	Nutrientes
1A E	X	X	X	X	X
1A S	X	X	X		X
2A S	X				X
3A S	X				X
4A S	X	X			X
5A S	X	X			X
6A S	X	X			X
7A S	X	X			X
8A S	X		X	X	X
9A S	X				X
10A S	X				X
11A S	X				X
1B S	X				X
2B S	X				X
3B S	X	X			X
4B S	X	X			X
5B S	X	X			X
6B S	X	X			X
7B S	X		X	X	X
8B S	X				X
9B S	X				X
10B S	X				X

### **Cultivo de salmones**

**Adquisición, acondicionamiento y alimentación de salmones:** Los salmones utilizados para este estudio fueron proporcionados por el centro de cultivo Aguantao de Pesquera Mares Australes, ubicado en localidad de Rilán. Los peces fueron trasladados en tres ocasiones al invernadero en Hueihue, en invierno de 1996, verano y otoño de 1997. Antes de comenzar cada experimento, hubo un período de aclimatación de aproximadamente 20 días. Los salmones fueron alimentados con alimento extruído marca Royal (Trovit), el cual contenía 41-44% de proteínas, 29-31% de lípidos y 13-14% de hidratos de carbono. El calibre utilizado fue de 3,5 ó 5,0 mm, dependiendo del tamaño de los salmones. El alimento se adicionó en tres raciones diarias (Talvot, 1994), las cuales fueron proporcionadas a las 09:00, 12:00 y 18:00 h. La cantidad entregada fue estimada de tablas de alimentación, mediante la cual se obtuvo un factor que multiplicado por la biomasa de salmones nos entregó la cantidad total de alimento a repartir. El factor de la tabla se obtiene en función de la temperatura y tamaño del pez.

**Crecimiento:** Una vez finalizado cada experimento estacional, se procedió a medir la longitud y el peso de los salmones. Previo al muestreo, los salmones tuvieron un período de ayuno de 24 h. Posteriormente, los salmones fueron anestesiados con BZ-1000 (Veterquímica) a una concentración del 5% v/v. La longitud se midió con un ictiómetro, mientras que el peso se registró con una balanza marca Soehnle de 2.000 g con precisión de 1 g.

### **Cultivo de ostión**

**Adquisición y aclimatación de ostiones:** Los ostiones correspondieron a la misma generación utilizada en el policultivo instalado en el mar. El transporte se realizó en emersión dentro de los mismos sistemas de cultivo y con un 100% de humedad ambiental.

### **Muestreo estacional y periódico de las variables bióticas**

**Análisis fisiológico:** Para evaluar la eficiencia con que los ostiones asimilan los nutrientes y material particulado presentes en el agua, se muestrearon alrededor de 10 ostiones al azar de cada estanque. La metodología empleada para realizar los análisis fue la descrita para el policultivo en el mar. Se recolectó agua de mar de la línea A (con efluentes de salmón) y de la línea B (sin efluentes), para determinar la oferta alimentaria estacional. Los resultados fisiológicos fueron estandarizados de igual forma que en el policultivo en el mar.

**Crecimiento y mortalidad:** Para la estimación del crecimiento y la mortalidad, todos los ostiones se pesaron y midieron al momento inicial y final de cada experimento estacional. Para los muestreos quincenales se utilizó un mismo grupo de juveniles por cada combinación tratamiento/replicado. Se muestreó la mortalidad semanalmente, sin sustituir los ejemplares muertos.

**Índice de condición y análisis bioquímico:** Para la estimación de los índices de condición y análisis bioquímico se midieron entre 12 y 29 ejemplares al inicio del experimento, y 16 a 32 ejemplares al final, tomándolos al azar por cada combinación tratamiento/replicado. El índice de condición utilizado fue el descrito para el experimento de policultivo en el mar.

El análisis bioquímico se realizó sobre muestras de 5 mg de tejido seco de la gónada y del músculo abductor homogenizado en mortero, no se hicieron separaciones entre gónada femenina y masculina, ni entre músculo liso y estriado. Los análisis realizados fueron los descritos para el policultivo en el mar. Las comparaciones entre crecimiento, mortalidad, índice de condición composición bioquímica y tasas fisiológicas se realizaron mediante ANOVA de tres factores (origen, estación del año y estanque). Esto último, para determinar posibles diferencias asociadas a variaciones ambientales entre los estanques centrales y laterales del invernadero.

### **Cultivo de algas.**

Se probó el efecto de efluentes de salmones y de ostiones sobre la producción de *Gracilaria chilensis*, estacionalmente, entre agosto de 1996 y octubre de 1997 en la estación costera de Maricultura perteneciente al IFOP, y ubicada en Hueihue (41°56' S; 73°29' W). Como inóculo se utilizó durante las estaciones de invierno y verano, talos vegetativos recolectados por pescadores artesanales en el intermareal de la localidad de Bajo Cholche (41°53' S ; 73°30' W). Durante el experimento de otoño se utilizó alga colectada en Chacao (41°50' S; 73°31'W), para los experimentos de invierno y primavera de 1997, se volvió a utilizar talos colectados en Bajo Cholche.

El diseño experimental se ilustra en la figura 9. Se utilizaron 20 estanques rectangulares de fibra de vidrio de 0,5 m<sup>3</sup> de capacidad. El agua de mar era suministrada a través de una bomba sumergible Jacuzzi, de acero inoxidable, de 2 HP de potencia, la cual antes de ingresar a los estanques era filtrada a través de un filtro de arena para evitar la presencia de organismos contaminantes. El aire era suministrado por un soplador GAST R-41110-2 de 1 HP de potencia. La tasa de recambio de los estanques es de 1,2 estanque/hora. El sistema se controló diariamente a fin de asegurar que el flujo y la circulación del alga en los estanques fuera constante.

La densidad inicial de alga por estanque fue de 2 kg m<sup>-3</sup>. Para efectuar las mediciones cada 15 días los talos fueron estilados, pesados y luego retornados al estanque. Se efectuaron 3 mediciones durante los 45 días del experimento.

Se realizaron experimentos independientes para estudiar el efecto de los efluentes en la producción de *Gracilaria*. El alga se mantuvo en estanques alimentados con efluentes de salmón, ostiones, una combinación de ambos y estanques controles alimentados con agua de mar. Para efluente de salmones y estanques controles se usaron dos réplicas, mientras que para el efluente de ostiones y la combinación de efluentes se utilizaron cuatro réplicas.

Con los datos de biomasa obtenidos se calculó la tasa de crecimiento, en base a la tasa de producción de biomasa y el rendimiento en base a la cantidad de biomasa producida.

$$\mu = \frac{100 (\ln\{N_t/N_o\})}{t}$$

$\mu$  = Tasa de crecimiento

$N_t$  = Biomasa al final del período

$N_o$  = Biomasa inicial

$t$  = Período de tiempo

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó una ANOVA de dos vías, donde los tratamientos correspondían a los distintos tipos de efluentes.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Condiciones ambientales en sistemas abiertos y semi-controlados

La información obtenida en terreno será dividida por estaciones del año y se comenzará con el invierno, para poder incluir en esta estación el sistema semicontrolado, que comenzó en invierno de 1996.

#### 5.1.1. Invierno

##### Centro de cultivo Lin Lin

##### Distribución espacial de las variables oceanográficas.

En las transectas realizadas al sur y norte de las balsas jaulas (Transectas A y B), se observó que superficialmente (Fig. 10) los nitratos variaron entre 5 a 15  $\mu\text{M}$ , en los dos periodos de marea considerados, indicando un comportamiento heterogéneo. La misma situación puede ser observada para el fosfato, en el rango de 0,5 a mayores de 2  $\mu\text{M}$  a 5 m de profundidad (Fig. 11) la concentración de estos nutrientes tiende a ser semejante al nivel superficial, tanto en cantidad como en su distribución espacial. En el nivel de 20 m (Fig. 12) la concentración de ambas especies químicas tendió a mantenerse constante en toda la transecta.

La clorofila a (cloa) y los feopigmentos (Figs. 10 a 12) no presentaron variaciones de importancia en los tres niveles muestreados, manteniéndose en el rango de 0,25 a 0,5  $\mu\text{g/L}$ , en ambas transectas y en los dos periodos de marea considerados.

En los tres niveles muestreados, el amonio se mantuvo en el rango de 1 a 2  $\mu\text{M}$  en ambas transectas en los dos periodos de marea (Figs. 10, 11 y 12). Tendiendo a tener los valores más altos en las cercanías de la balsa jaula, en la transecta norte y durante el periodo de marea alta.

La temperatura y la salinidad no presentaron variaciones significativas en los tres niveles muestreados (Fig. 13), manteniéndose la temperatura entre 9,8 a 10,2 °C y la salinidad entre 32,75 y 32,77 psu. Esto indica que en la zona la columna de agua estuvo mezclada homogéneamente, sin indicar aportes significativos de aguas fluviales o de escurrimiento continental.

Los valores de nutrientes en la estación control (Fig. 14) indicaron que la concentración de nitrato es cercana a 7  $\mu\text{M}$ , fosfato 1,5  $\mu\text{M}$  y el amonio es de 1  $\mu\text{M}$ . Los pigmentos indican valores no superiores a 0,4  $\mu\text{g/L}$ . Esta información indicaría que la concentración de fosfato observada en las cercanías de las balsas jaulas no es un evento extraño a estos cuerpos de agua.

#### **Análisis variabilidad diurno-nocturna**

El análisis de la información de invierno, para el muestreo puntual de 24 horas, indica que en la superficie de la columna de agua se observó un cambio brusco en el campo halino (Fig. 15), no así en el térmico. Este cambio en la salinidad se produjo entre las 19:00 y 22:00 PM y asociado a un ciclo de 12 horas. Esta situación de cambio en la superficie no fue observada en las transectas.

La distribución de los nutrientes, la clorofila, los feopigmentos, el oxígeno disuelto y la temperatura, no indica variaciones asociadas a este cambio. El amonio fue la excepción a este comportamiento, presentando un máximo de concentración de 5  $\mu\text{M}$  a la misma hora, asociado probablemente a la estoa, producida por el cambio de marea.

A los 5 m de profundidad (Fig. 16), se observó la misma variación de salinidad, aunque con una transposición en el tiempo de aproximadamente una hora, en el periodo comprendido entre las 16:00 y 19:00 PM. A esta profundidad la concentración de nitrato aumentó hasta los 8  $\mu\text{M}$  con un nivel máximo de 16  $\mu\text{M}$ , entre la 01:00 y 09:45 AM. El fosfato no presentó grandes variaciones en su concentración y estuvo en el rango de 1 a 2  $\mu\text{M}$ .

En este nivel, y durante el cambio brusco de la salinidad descrito anteriormente, se puede observar que el amonio presentó un aumento de la concentración aunque leve en la estoa semejante al nivel superficial. La cloa se mantuvo en una concentración no superior a los 0,5 µg/L y sin variaciones de importancia

A 20 m de profundidad (Fig. 17), la salinidad no presentó ningún cambio brusco, como los observados en el nivel superficial y los 5 m. Esta situación indujo en el campo químico, amonio incluido, un comportamiento marcadamente homogéneo. Las otras variables como los pigmentos, la temperatura y el oxígeno disuelto se comportaron de la misma manera, tanto cuali como cuantitativamente.

### **Caracterización ambiental del sistema semi-controlado.**

Durante el invierno de 1996 se realizó el primer experimento en el sistema semi-controlado. En esta ocasión se muestreo y analizó todas las variables en forma intensiva, con la excepción de los nutrientes los que fueron muestreados cada seis horas. El propósito de esta actividad fue caracterizar la variabilidad interna del sistema, de tal manera que en las otras estaciones del año, se pudiera racionalizar el esfuerzo de muestreo, teniendo una referencia experimental sólida.

Los resultados serán presentados en forma separada para cada una de las líneas experimentales, las cuales han sido descritas en detalle en los aspectos metodológicos de este informe.

Para el cálculo de asimilación o excreción del amonio, se restó al amonio del agua que salió del estanque de los salmones, al amonio presente en forma "natural" en el agua proveniente del ambiente. En el caso de la asimilación de amonio en los estanques de algas, se consideró que la diferencia entre el aporte de amonio, proveniente tanto de los salmones como de los salmones más ostiones, y lo que se midió a la salida del estanque de algas, correspondía a la remoción o asimilación de este ión.

Esta metodología será utilizada en todos los experimentos realizados, así como en los iones de origen oxidativo tales como el nitrato, el silicato y el fosfato.

### **Línea A**

Es interesante observar la marcada ritmicidad en la producción de amonio por parte de los salmones (Fig. 18), la cual tiende a ser más intensa entre la 08:00 AM y 17:00 PM. Este aporte alcanzó los 3,5  $\mu\text{M}$  en el máximo pico del día, con un mínimo casi constante de 1  $\mu\text{M}$ , durante el resto del día.

No obstante esto, se observó un desfase entre este máximo de concentración con el porcentaje máximo del aporte de amonio al flujo de entrada, este porcentaje presentó un máximo entre las 23:00 PM y 02:00 AM de la madrugada, asociado a que en ese momento el agua del ambiente tenía la concentración más baja de amonio de todo el periodo de muestreo. La concentración de amonio en el agua que entró al sistema presentó un comportamiento marcadamente circadiano, con valores en el rango 0,5 a 1  $\mu\text{M}$ .

El comportamiento cíclico en la producción de amonio, que se esperó para los salmones, no se observó debido a que el ciclo no se cerró con un valor igual al del comienzo. Esta situación será discutida con más detalle cuando se analice la información de las variables abióticas medidas en este estudio.

En los sistemas de control (Fig. 18) que recibieron el aporte de agua proveniente de los salmones, se observó que en la salida ambos estanques respondieron de manera semejante al efluente de los salmones en todo el periodo de muestreo.

Respecto a las algas que recibieron el aporte solamente de los salmones (estanques 2 y 3A) (Fig. 18), se observó que ambos estanques respondieron en forma cuantitativamente diferente. En el caso del estanque 2A, las algas removieron aproximadamente un 40% del total que entró, mientras que en el estanque 3A este mismo alcanzó un 80%. No obstante lo anterior el comportamiento de ambos estanques durante las 24 horas fue semejante, con dos

máximos de remoción a las 23:00 PM y entre las 11:00 AM y 17:00 PM. Mientras que el periodo de mínima remoción, vale decir inferior al 10% correspondió al periodo entre las 2:00 y 08:00 AM.

Los ostiones (Fig. 18) presentaron un ritmo de excreción semejante al de los salmones, incrementando la concentración de amonio a más de 4  $\mu\text{M}$ . El aporte porcentual de amonio por los ostiones al agua que entró al estanque, no fue superior al 60% y en un solo momento del día, tendiendo a mantenerse bajo el 40% durante las 24 horas, con una leve alza entre las 02:00 y 05:00 AM.

Los cuatro estanques con algas que recibieron efluente de salmón más ostión (estanques 8 al 11A), presentaron un comportamiento diferente entre estanques, aunque persistió la tendencia a remover más amonio durante el día, en el periodo comprendido entre las 11:00 AM y 17:00 PM. Los porcentajes globales de remoción estuvieron en el rango 25 a 30% del total de la oferta ambiental. La diferencia entre estanques se vio incrementada en el estanque 11A, en el que no se midió porcentajes de remoción superiores al 15% en todo el periodo considerado.

### **Línea B**

En la Línea B, en la que utilizó solamente agua proveniente del ambiente, las algas respondieron en forma sistemática a la remoción de amonio, con máximos entre 40 a 80% a las 17:00 PM, bajando de manera sostenida hasta llegar a 0% pasada la medianoche. Posteriormente, la remoción llegó hasta un 80% a las 05:00 AM, comenzando a disminuir en forma sostenida, hasta que pasadas las 14:00 PM, la situación se estabilizó en un 20% de remoción.

En los estanques con ostiones (estanques 5 y 6B) la producción de amonio se mantuvo prácticamente constante, entre las 17:00 PM y 8:00 AM, en el rango 0,5 a 1  $\mu\text{M}$ . Observándose un máximo de 2,5  $\mu\text{M}$  a las 17:00 PM del día posterior. En términos de porcentaje de aporte de este ión al agua que entró a los estanques con ostiones, este fue de

hasta un 200 %, con un comportamiento diferente a la del pulso de amonio proveniente del ambiente.

En los estanques con algas (7 a 10B), que recibieron agua proveniente de los ostiones, se observó una amplia variabilidad en la remoción. Durante el día, solamente las algas de los estanques 9 y 10B mantuvieron sus máximos de asimilación, los que oscilaron entre un 30 y 40% del total de la oferta de amonio. Entre los estanques 7 y 8B la asimilación fue diferente en magnitud y comportamiento entre las 17:00 y las 23:00 PM. Mientras que en el estanque 8B se asimiló hasta un 60% del amonio en el 7B no se midió ninguna asimilación. Posteriormente, hacia las 05:00 AM se midió un máximo de hasta un 50% de remoción de amonio en ambos estanques, esta tendencia decrece después de la 08:00 AM llegando hasta 0% entre las 11:00 AM y 14:00 PM. Hacia las 17:00 PM el sistema se mantuvo constantemente en un 30%.

Existe una diferencia significativa entre los estanques de algas, tanto de la Línea A como B. Especialmente en el momento en el que se midió los máximos de asimilación, los que están claramente contrapuestos tanto en la periodicidad como en la magnitud. No es posible con la información disponible definir cual es el problema, descartándose un problema analítico, debido a la reproducibilidad demostrada en los controles.

### **Variabilidad de los nutrientes de origen oxidativo**

Los nutrientes de origen oxidativo, tales como el nitrato, silicato y fosfato, fueron analizados en todos los estanques. En términos de concentración, la primera observación es que los silicatos llegaron a ser hasta el doble de la concentración de los nitratos, situación que no fue observada en las muestras obtenidas en el ambiente en ningún caso durante todo el proyecto. Este "ruido analítico" se debió principalmente al tratamiento que recibió el agua antes de entrar al sistema, para lo que utilizó un filtro de cuarzo y a los estanques cuya matriz es de fibra de vidrio. Los silicatos serán mostrados en las figuras pero claramente representan una situación artificial y no serán considerados en los análisis posteriores.

Los nitratos presentan un comportamiento homogéneo, en el rango de 6 a 10  $\mu\text{M}$ , en todos los estanques (Figs. 20 y 21), sin presentar variaciones en todo el periodo de muestreo. Al igual que los nitratos, los fosfatos no presentaron variaciones de importancia en términos de concentración y se mantuvieron en el rango 1 a 2  $\mu\text{M}$ . En la Línea B (Figs. 22 y 23) el comportamiento de los nutrientes es básicamente el mismo que en la Línea A. Es importante destacar que la concentración de fosfato es sostenidamente alta durante las 24 horas, esto indica que el agua que entró al sistema tiene una carga por fósforo que debe ser vigilada a futuro, pero que en lo fundamental no estimuló ningún crecimiento fitoplanctónico de importancia.

Al intentar establecer si las algas eran capaces de utilizar los nutrientes, aunque fueran en pequeñas concentraciones. Se observó que en estos estanques la respuesta fue tanto de utilización (% >0) hasta la excreción (% <0) de nutrientes en el periodo de muestreo (Fig. 24 y 25). Esta situación también fue observada en los estanques de salmones y de ostiones (Figs. 24 y 25). Observándose esta misma variabilidad en los estanques control. Eventualmente las algas pueden remover parte del nitrato, pero en otras condiciones en el mismo estanque se puede producir este mismo ión, lo que resulta contradictorio.

En la Línea B, los nutrientes presentaron la misma situación de alta variabilidad (Figs. 26 y 27). Con aportes significativos de fosfato a las 17:00, en los estanques de algas y ostiones. Esto no es reproducido en los estanques réplica por lo que se mantiene como un proceso contradictorio y errático.

Respecto a las variables temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila *a* (Fig. 28), estas dos últimas variables separadas por líneas experimentales debido a su carácter no-conservativo, es posible indicar que la temperatura y la salinidad varían en forma homogénea y no importa el estanque en donde se muestree. Respecto del oxígeno disuelto este siempre se mantuvo sobre el porcentaje de saturación debido a la inyección de aire por el "blower". La clorofila *a* se mantuvo en el mismo valor de la entrada, debido a que la magnitud del flujo de agua en los estanques no permite que se acumule y presente variaciones de importancia en

ningún estanque. Por lo tanto en las restantes situaciones experimentales sólo se tomó muestras para información referencial en algunos estanques.

### 5.1.2 Primavera

#### Centro de cultivo Lin Lin

#### Distribución espacial de las variables oceanográficas

En las estaciones realizadas en las transectas sur y norte del área, las magnitudes de la concentración de los nutrientes nitrato, silicato y fosfato fueron bajas, con máximos de 1, 2,5 y 0,25  $\mu\text{M}$  respectivamente entre los 200 y 500 m de distancia de las balsas-jaulas (Fig. 29), con una concentración de nitrato significativamente alta respecto de los otros nutrientes, en las inmediaciones de las balsas-jaulas.

En términos globales, la concentración de estos nutrientes es baja en toda la transecta, tanto en la marea alta como baja. Esta situación esta asociada a una gran acumulación de biomasa fitoplanctónica, la que llegó a valores cercanos a 6  $\mu\text{g/L}$ , la que eventualmente utilizó prácticamente todo el nutriente disponible en la columna de agua.

El amonio se presentó en concentraciones inferiores a 1  $\mu\text{M}$  en la marea alta (Fig. 29), subiendo significativamente en la marea baja, alcanzando valores de 3,5  $\mu\text{M}$ . En este mismo periodo de marea la concentración de nutrientes se mantuvo baja y la cloa estuvo en forma constante en alrededor de 4  $\mu\text{g/L}$ , en ambas transectas.

En el nivel de 5 m (Fig. 30) en la transecta sur se observa un aumento sostenido en la concentración de nutrientes y la disminución de estos en la transecta norte asociada a una concentración de cloa de 4  $\mu\text{g/L}$ . El amonio se mantuvo en el orden de 1  $\mu\text{M}$  en toda la transecta. Durante la marea baja, la concentración de cloa disminuyó y la concentración de los nutrientes oxidativos y el amonio subió consecuentemente.

A los 20 m de profundidad (Fig. 31), la concentración de todas las especies químicas aumentó especialmente durante el régimen de marea alta, con valores superiores a 10  $\mu\text{M}$  para el nitrato, 5 de silicato, y 1  $\mu\text{M}$  de fosfato. El amonio aumentó a valores mayores de 2  $\mu\text{M}$ , llegando a 3  $\mu\text{M}$ , durante la marea alta. La cloa disminuyó a valores inferiores a 3  $\mu\text{g/L}$ , durante la marea baja, llegando a cercanos a 1  $\mu\text{g/L}$  en las dos transectas.

Las salinidad (Fig. 32), presentó algunas variaciones significativas en las transectas en los dos periodos de marea, especialmente aquellas que están asociadas a los cambios entre mareas, y a la distribución de esta durante la marea baja. El oxígeno disuelto registró una tendencia a la disminución con la profundidad, desde 11 mL/L hasta 6 mL/L, sin registrarse ningún valor inferior a este último, estos valores no representan valores asociados a ningún proceso conspicuo de degradación de materia orgánica.

### **Variabilidad diurno-nocturna**

La variabilidad circadiana superficial (Fig. 33), indica un forzamiento mareal significativo a juzgar por la curva de salinidad la cual presentó una variación de 32,8 a 33,1 psu, entre las 20:50 y 24:00 horas, así como con la temperatura, pero en menor intensidad. En este cambio se producen las mayores variaciones en las concentraciones de las variables químicas, especialmente con el nitrato, el que pasa de 7 a 12  $\mu\text{M}$  en este periodo. Mientras que los silicatos y fosfatos se mantienen con pocas variaciones en este mismo periodo. En el caso de la cloa, esta si se asoció al cambio de marea pasando de una concentración mayor de 5  $\mu\text{g/L}$  a 1  $\mu\text{g/L}$ , en un período cercano a las 12 horas.

Al mismo tiempo el amonio (Fig. 33) presentó una tendencia hacia el aumento entre las 09:05 AM y las 15:00 PM, pasando de 1 a más de 2  $\mu\text{M}$ , posteriormente esta situación se estabilizó y en prácticamente todo el periodo la concentración de éste se mantuvo en el orden de 2  $\mu\text{M}$ .

El oxígeno disuelto (Fig. 33) presentó una asociación clara con el máximo de cloa durante el día, llegando a valores de 11 mL/L, posteriormente comienza a disminuir y se mantuvo constante en alrededor de 7 mL/L, durante el resto del día.

En los niveles de 5 m (Fig. 34) la tendencia es semejante aunque en una magnitud inferior en todas las variables analizadas anteriormente. A los 20 m (Fig. 35) la situación varió considerablemente, la concentración del nitrato y el silicato subió a valores cercanos a  $10 \mu\text{M}$ , y el fosfato se mantuvo en el mismo nivel que el superficial (*i.e.*  $0,5$  a  $0,75 \mu\text{M}$ ). La cloa se redujo considerablemente llegando a  $1 \mu\text{g/L}$  en todo el periodo. En el caso del oxígeno disuelto este no varió considerablemente, manteniéndose siempre en niveles superiores a los  $6 \text{ mL/L}$ .

En la estación control (Fig. 36), la salinidad presentó valores de  $33,15$  a  $33,25$  psu semejantes a los medidos en las cercanías de las balsas jaula, así como el oxígeno disuelto que presentó valores en el rango de  $8$  a  $7 \text{ mL/L}$ . Los nutrientes estuvieron en el rango  $3$  a  $9 \mu\text{M}$  para el nitrato y silicato y de  $0,4$  a  $0,8 \mu\text{M}$  para el fosfato, aumentando en profundidad. La clorofila presentó valores en el rango de  $2,5$  a  $1 \mu\text{g/L}$  y el amonio se mantuvo casi constante en  $2 \mu\text{M}$ .

#### **Caracterización ambiental del sistema semi-controlado.**

De acuerdo a los antecedentes obtenidos en el experimento de invierno, se redujo el muestreo de salinidad, oxígeno disuelto, cloa y nutrientes. Debido a que se demostró que éstos o no tenían variaciones de importancia o que el alga utilizada en este trabajo no asimiló eficientemente nitrato o fosfato.

#### **Línea A**

Los salmones excretaron de una manera que podría considerarse casi constante (Fig. 37) al compararla con la del invierno, ya que siempre se mantuvo en niveles superiores a los  $6 \mu\text{M}$ . Tendiendo a formar un máximo en la curva que llegó a valores superiores a  $7 \mu\text{M}$ , entre las  $17:00$  y las  $20:00 \text{ AM}$ . El agua que entró al sistema, también se mantuvo en un nivel casi constante con un promedio cercano a  $1 \mu\text{M}$ . En términos del porcentaje de aporte de amonio de los salmones al agua que entró al sistema, éste mantuvo un nivel máximo de hasta un  $1.200\%$  a las  $20:00$ , asociado a una disminución leve en la concentración de amonio en el

agua que entró. Este aporte con la excepción anteriormente descrita se mantuvo en niveles promedio de un 500% de la concentración "natural".

Respecto de los estanques de control, la variabilidad en la concentración de amonio fue básicamente la misma, sin presentar variaciones significativas durante las 24 horas.

En los estanques que recibieron aporte de amonio de los salmones (2 y 3A) la asimilación de nutrientes siguió un patrón constante, aunque con algunas diferencias en las magnitudes de la asimilación. Las máximas asimilaciones se produjeron entre las 14:00 y 20:00 PM, con valores de 45 a 25 %. Posteriormente esta tendencia continuó disminuyendo hasta llegar a 0% a las 02:00 AM. Notándose un incremento sostenido después de la 08:00 AM el que llegó a los mismos niveles del día anterior entre las 11:00 AM y 14:00 PM.

Los ostiones (Fig. 37) presentaron también una curva relativamente plana en la producción neta de amonio, con un máximo de 8  $\mu\text{M}$  a las 17:00 PM, para posteriormente estabilizarse entre 6,5 y 7  $\mu\text{M}$  en el resto del periodo de muestreo, con una baja esporádica a las 11:00 AM. El porcentaje de aporte de los ostiones al agua que entró al estanque fue de hasta un 45% a las 08:00, asociado a una depresión en la excreción de los salmones. En términos generales el aporte de los ostiones no superó el 20% del total, llegando 0%, entre las 02:00 y 05:00 AM.

Las algas de los estanques 8 al 11A (Fig 37), al contrario del invierno, mostraron un comportamiento más estable, en el que la mayor remoción de amonio se situó durante el día, con valores de 35 a 45 %, entre las 14 y 17:00 PM y entre las 11:00 y 14:00 PM del otro día. En el periodo comprendido entre las 23:00 y las 08:00 las algas prácticamente no removieron amonio del efluente.

En los estanques de algas 1 y 2B (Fig. 38), que recibieron agua directa del ambiente, el ritmo de remoción de amonio indica que estas asimilaron preferentemente entre las 23:00 PM y 05:00 AM, en el rango 20 a 50%. Los estanques control presentan algunas desviaciones que

hacen suponer algo de actividad biológica en los estanques propia de la época del año, pero sin sobrepasar los niveles de concentración del agua del ambiente.

Los ostiones presentaron máximos de excreción diurnos de 2  $\mu\text{M}$  (Fig. 39), especialmente a las 14:00 PM y la 08:00 AM. Las características del comportamiento de estos organismos en esta época del año indican que excretan en forma circadiana, pero los ritmos de excreción tienden a formar curvas más suaves de excreción. No obstante lo anterior se observó un máximo porcentual de 200% a las 08:00 AM.

Los diagramas de asimilación de amonio en los estanques con algas 7 a 10B (Fig. 38), indican que la asimilación o remoción fue sostenida, llegando a ser hasta un 50% del aporte del amonio, en el periodo comprendido entre 14:00 PM y 02:00 AM, posteriormente tiende a disminuir para comenzar de nuevo pasadas las 08:00 AM. Este comportamiento fue cualitativamente semejante, aunque las magnitudes variaron, especialmente en el estanque 10B el que indicó la asimilación de hasta un 90% a las 08:00 AM.

La temperatura al igual que el periodo invernal, no presentó un ciclo estable en el periodo de muestreo, comenzando en 11,5 °C y terminado en 12,5 °C a las 14:00 del día posterior (Fig. 39). Esta variabilidad en el campo térmico, induce repuestas de mayor excreción en los organismos pero en ritmos que no presentaron cambios bruscos, sino que más bien suavemente ondulatorios.

La salinidad (Fig. 39), presentó un comportamiento ondulatorio, pero sin variaciones significativas, en el rango 30,5 a 31,00 psu. El oxígeno disuelto (Fig. 39) presentó valores mínimos de 5 y máximos de 10 mL/L, pero en general el valor promedio fue 6 mL/L. La clorofila a (Fig. 39) desde el inicio del experimento hasta las 05:00 AM presentó valores inferiores a 1  $\mu\text{g/L}$ , pasado este periodo y hasta las 14:00 la concentración subió a 1,5  $\mu\text{g/L}$ , valores no significativos para esta época del año

### 5.1.3 Verano

#### Centro de cultivo Lin Lin

En las transectas realizadas durante el verano (Fig. 40), superficialmente la concentración de los nutrientes en los dos periodos de marea, indica la misma variabilidad observada en la primavera, tendiendo a presentarse los máximos niveles de nutrientes en el verano 10 a 14  $\mu\text{M}$  en el periodo de marea alta y en la transecta sur. Las concentraciones más bajas, vale decir inferiores a 5  $\mu\text{M}$ , se ubicaron en las cercanías de las balsas jaula y durante el periodo de marea baja, tanto en la transecta sur como en la norte. Los nutrientes silicato y fosfato, indicaron una tendencia semejante con 2,5 y 5  $\mu\text{M}$  para el silicato y 0,5 a 1  $\mu\text{M}$  de fosfato.

La cloa (Fig. 40) presentó máximos de 4 y mínimos de 2  $\mu\text{g/L}$ , presentando al igual que los nutrientes una alta variabilidad. Se puede observar al mismo tiempo que las altas concentraciones de cloa se asocian con las concentraciones más bajas de nutrientes.

El amonio (Fig. 40), presentó pocas variaciones, con la sola excepción de un único valor de 2  $\mu\text{M}$  que se midió a 0 m de las balsas jaula, el que disminuyó a menos de 1  $\mu\text{M}$  a 100 m de distancia. En las dos transectas y en ambos periodos de marea la concentración de amonio no presentó acumulaciones de importancia

A los 5 m de profundidad (Fig. 41) las variables antes mencionadas presentaron el mismo comportamiento, tanto cuali como cuantitativo, siendo esto muy marcado en el caso del amonio

A los 20 m de profundidad (Fig. 42), los nutrientes presentan concentraciones altas y estables en toda la transecta y ambos periodos de marea. Con valores promedio de 10  $\mu\text{M}$  de nitrato, 5  $\mu\text{M}$  de silicato y 1,5  $\mu\text{M}$  de fosfato. La concentración de cloa disminuyó a valores inferiores de 1  $\mu\text{g/L}$ , con un valor único de 2  $\mu\text{g/L}$  a 200 m de la balsa, en la transecta sur durante la marea alta.

El amonio en este nivel de profundidad (Fig. 42) presentó variaciones leves en el rango de 1 a 0,5  $\mu\text{M}$ , esto no representa nada significativo en términos de concentración para la zona.

El análisis de las variables temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la zona indican que la temperatura (Fig. 43) presentó variaciones de consideración especialmente entre la superficie y los 5m, con valores en el rango de 12,5 a 13,5 °C. Entre la superficie y los 5 m la variación de la temperatura fue temporal, con diferencias de hasta 1 °C en periodos inferiores a una hora, especialmente en el periodo comprendido entre las 10:00 y 1:00 AM. En la superficie la situación tendió a normalizarse pasadas la 01:00 AM no así a 5 m en donde persistió la variabilidad aunque menos intensa. Esto indica que entre la superficie y los 5 m, la columna de agua estuvo bajo un régimen físico altamente dinámico.

En estos mismo niveles la salinidad presentó valores entre 32,5 a 33,0 psu y el oxígeno disuelto entre 5 y 8 mL/L.

A los 20 m (Fig. 43) la situación se estabilizó tanto en temperatura 12 a 12,4 °C, como con la salinidad de 32,8 a 33,2 y el oxígeno disuelto que anteriormente estuvo en valores mayores que 5 bajó a valores cercanos a 4,5 mL/L, valor propio de un sistema de poco movimiento y cercano al fondo.

La distribución de los nutrientes y la biomasa fitoplanctónica reflejan esta alta variabilidad, especialmente en el caso de la cloa y el amonio, los que no presentan acumulaciones significativas durante todo el periodo de muestreo, debido a que éstas, al ser producidas in situ, no se acumulan debido a que son rápidamente exportadas del sistema.

A 20 m de profundidad (Fig. 43) la situación se estabilizó en las tres variables consideradas, esto significa que a pesar de la altura de la columna de agua, este sistema esta altamente estratificado, aunque al contrario de lo que era de esperar para una zona de alta pluviosidad, este proceso es producto de la estructura térmica de la columna y no de la halina.

En la estación control (Fig. 44), todas las variables se mantuvieron cuantitativamente homogéneas. En el caso del nitrato la concentración fue de 11  $\mu\text{M}$ , el silicato 8  $\mu\text{M}$ , el fosfato 1,4  $\mu\text{M}$ . La cloa inferior a 1  $\mu\text{g/L}$  y el amonio en 0,5  $\mu\text{M}$ . La salinidad estuvo en el rango 32,8 a 33 psu y el oxígeno disuelto en alrededor de 5,8 mL/L.

### **Variabilidad diurno nocturna.**

Durante el ciclo diurno nocturno las magnitudes de las variables consideradas oscilaron en forma considerable especialmente en el plano superficial (Fig. 45). Esta situación es posible de ser observada especialmente con la cloa, la que alcanzó valores de hasta 5  $\mu\text{g/L}$  de cloa, entre las 10:00 AM y las 19:00 PM, situación que no fue posible de detectar en las transectas. Posteriormente la cloa tendió a estabilizarse en alrededor de 2  $\mu\text{g/L}$ , para posteriormente volver a 5  $\mu\text{g/L}$  a las 10:00 AM del otro día. Respecto del amonio y del oxígeno disuelto, éstos presentaron variaciones superficiales que no reflejaron ningún ciclo en particular. Pasada la 01:00 AM, con la estabilización relativa de la temperatura en la columna, las otras variables también tendieron a la estabilización, pero en forma leve.

A los 5 m la columna de agua se comportó básicamente igual a lo descrito para el nivel superficial. Aunque en este nivel se midió valores de amonio de 5  $\mu\text{M}$ , los que disminuyen a 1,5  $\mu\text{M}$  en periodos de tres horas, y así sucesivamente durante las 24 horas. La excepción a este comportamiento altamente dinámico es el oxígeno disuelto, el que prácticamente se estabilizó en 6 mL/L, con la excepción de un único valor de 8,5 mL/L a las 16:00 PM, asociado al máximo de cloa (*i.e.* 3,5  $\mu\text{g/L}$ ).

A 20 m de profundidad (Fig. 47), los nutrientes nitrato, fosfato y silicato tienden a aumentar y estabilizarse en magnitud, con valores de 9 a 16  $\mu\text{M}$  de nitrato, 6  $\mu\text{M}$  de silicato y 1,2 a 1,7  $\mu\text{M}$  de fosfato. En el caso de la cloa y el amonio ambos presentaron valores inferiores a la unidad. La salinidad presentó variaciones leves, así como la temperatura y el oxígeno disuelto, manteniéndose en el rango de 33 psu, 12,5 °C y 5 mL/L, respectivamente.

## Sistema semi-controlado

### Línea A

En el sistema semi-controlado es posible observar un ritmo circadiano de excreción bien definido (Fig. 48), con los valores máximos durante el periodo comprendido entre las 21:00 y las 24 PM, en este caso la máxima concentración de amonio fue de 9,5  $\mu\text{M}$ . Llegando en el momento de menor intensidad a 2  $\mu\text{M}$ . La concentración ambiental de amonio, también mostró una tendencia hacia un ritmo circadiano pero menos definido con valores máximos de 1  $\mu\text{M}$ . El aporte porcentual de amonio por los salmones al agua que entró al sistema fue de hasta un 3.000% al comienzo del experimento, para posteriormente bajar a 500%. Durante todo el periodo de muestreo los salmones excretaron hasta un 100% del total del amonio que salió del estanque.

Las algas de los estanques 2 y 3A (Fig. 48) removieron hasta un 48% de todo el amonio proveniente de los salmones en el ciclo de 24 horas, con una baja breve de 20% a las 03:00AM.

En los estanques control (4 y 5A) se midió básicamente el mismo ciclo (Fig. 48), con la excepción de un pico secundario a las 06:00 AM, que alcanzó los 7  $\mu\text{M}$ . Este mismo tipo de curva fue observado en el estanque con los ostiones (estanques 6 y 7A) (Fig. 48), en el que el pico principal de 10  $\mu\text{M}$  fue a las 24:00. En términos porcentuales los ostiones excretaron hasta un 78% del total del amonio que entró a los estanques 8 al 11A. Este máximo de excreción esta claramente desfasado, respecto del ritmo de excreción de los salmones.

Las algas de los estanques 8 al 11A, no presentaron variaciones de consideración en sus ritmos de remoción de amonio del agua, manteniéndose en promedio, entre un 40 a 50 % del total que entró al estanque. Esta situación pudo ser observada en los cuatro estanques bajo estudio y durante todo el periodo de muestreo (Fig. 48).

## Línea B

En la Línea B, la concentración de amonio que entró al sistema no sobrepasó el nivel de un  $\mu\text{M}$  (Fig. 49), formando una curva de concentración casi homogénea, si se exceptúa una depresión leve a las 03:00 AM. En los estanques control (3 y 4B) se puede observar la existencia de un ciclo bien marcado, con un máximo de ca.  $1,3 \mu\text{M}$  a las 21:00 PM, el que luego disminuyó a cerca de  $0,5 \mu\text{M}$  para todo el resto del periodo de muestreo.

Las algas de los estanques 1 y 2B ( Fig. 49) removieron el amonio en forma oscilante, con un valor promedio de 20% entre el comienzo del experimento y las 03:00 AM. Pasadas la 03:00 la remoción aumentó sostenidamente de 20 a casi un 60% a las 09:00 AM, posteriormente decreció hasta un 20% a las 12:00.

Los ostiones de los estanques 5 y 6B (Fig. 49), presentaron un máximo de excreción que perduró por un periodo de 6 horas, entre las 18:00 y las 24:00 PM, con un aporte neto de amonio de  $2,5 \mu\text{M}$ , lo que significó un aporte de hasta un 700% sobre el nivel "natural".

Las algas que recibieron el efluente de los ostiones (estanques 7 al 10B), asimilaron en forma constante durante todo el periodo, sin variaciones de significancia entre los cuatro estanques, con valores de remoción de amonio entre 40 y 50%. Excepcionalmente en el estanque 9A, este valor alcanzó el 65 % de remoción, hacia las 03:00 AM.

Respecto de las otras variables consideradas; el nitrato presentó concentraciones inferiores a  $2 \mu\text{M}$  (Fig. 50), en el caso de los fosfatos éstos se encuentran en concentraciones de hasta  $2 \mu\text{M}$ . El oxígeno disuelto presentó valores sobre  $6 \text{ mL/L}$ , en prácticamente todo el ciclo de muestreo. La clorofila a se mantuvo en prácticamente todo el experimento bajo  $1 \mu\text{g/L}$ , llegando en ocasiones a valores inferiores a  $0,25 \mu\text{g/L}$ .

La salinidad y la temperatura (Fig. 50) no presentaron variaciones de significancia entre estanques de muestreo, con valores entre 31,5 a 31,75 psu de salinidad y 20 a  $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . En el caso de la temperatura entre el comienzo del experimento y la 08:00 AM se

mantuvo en 20 °C, para caer bruscamente a 16 °C en menos de una hora, situación que se replicó en todos los estanques. Esto está asociado a algún cambio brusco en el tipo de agua que estaba presente en el ambiente, que no pudo ser detectado por el campo halino.

#### 5.1.4. Otoño

##### Centro de cultivo Lin-Lin

La distribución superficial de los nutrientes nitrato, fosfato y silicato durante el otoño en la Isla Lin-Lin (Fig. 51), indican una baja sostenida durante la marea alta en toda la transecta con valores inferiores a 1  $\mu\text{M}$  para nitrato, 6  $\mu\text{M}$  para silicato e inferiores a 0,5  $\mu\text{M}$  para fosfato. En la marea baja los niveles de concentración se mantienen igualmente deprimidos en la transecta sur. Esto no fue así en la transecta norte en la que los nutrientes subieron considerablemente de concentración, llegando a 18  $\mu\text{M}$  en el caso del nitrato, 17  $\mu\text{M}$  el silicato y 1,5  $\mu\text{M}$  de fosfato.

La clorofila (Fig. 51) se mantuvo en concentraciones muy bajas en ambos periodos de marea, sin variaciones significativas. El amonio (Fig. 51) presentó las mayores concentraciones a 0 m de la balsa, llegando a casi 2  $\mu\text{M}$  en la marea alta. Durante la marea baja la concentración de esta especie química, se mantuvo estable en 0,7  $\mu\text{M}$  en ambas transectas.

En el nivel de 5 m (Fig. 52), los nutrientes presentan el mismo comportamiento que en el nivel superficial, durante la marea alta. Durante la marea baja la concentración aumentó considerablemente al igual que en el nivel superficial, pero en este caso también se observó esta situación en la transecta sur y hasta 10 m de distancia de la balsa.

La concentración de cloa (Fig. 52) se mantuvo invariablemente en 0,25  $\mu\text{g/L}$ . El amonio (Fig. 52) mantuvo la tendencia a estar más elevado en las cercanías de las balsas, superando los

2  $\mu\text{M}$  a 100 m de distancia. Durante la marea baja la concentración de amonio no varió en forma considerable, manteniéndose en cerca de 1  $\mu\text{M}$  para ambas transectas.

A los 20 m de profundidad (Fig. 53), la distribución de los nutrientes en la marea alta aumentó en la transecta norte, pero no en la sur. Durante la marea baja la concentración de nitrato se elevó en ambas transectas, manteniéndose en forma constante en un valor cercano a 15  $\mu\text{M}$ .

La cloa no sufrió ningún cambio de significación en este nivel de profundidad, con los mismos valores de los otros niveles. Respecto del amonio (Fig. 53), éste aumentó considerablemente su concentración a 100 y 250 m de distancia de la balsas, especialmente en la marea alta, con valores entre 1 y 2  $\mu\text{M}$ . En la marea baja la concentración de amonio, al igual que los otros niveles de profundidad se mantuvo constante.

Los valores de temperatura, y salinidad (Fig. 54), indican que la columna de agua no presentó estratificaciones de importancia, manteniéndose ambas variables en rangos estrechos, en el caso de la temperatura este fue de 10,4 a 10,6 °C entre los 20 m y el fondo, y la salinidad fue de 32,70 a 32,77 psu.

El oxígeno disuelto (Fig. 54), presentó valores siempre superiores a 6 mL/L entre la superficie y los 5 m, con una baja que llegó a 5,5 mL/L, durante la marea baja, pero cuya significación ambiental no es relevante.

En la estación control (Fig. 55) los valores de nutrientes fueron de 9 a 17  $\mu\text{M}$  para el nitrato, 12 a 17  $\mu\text{M}$  para el silicato, y 0,5  $\mu\text{M}$  para el fosfato. Los pigmentos fotosintéticos estuvieron homogéneamente distribuidos en la columna con valores de 0,25  $\mu\text{g/L}$ . El amonio presentó una leve estratificación superficial, bajando de 1,5 a 0,75  $\mu\text{M}$ , entre la superficie y el fondo. La salinidad (Fig. 55) no varió en la columna y fue de 32,75 psu. El oxígeno disuelto (Fig. 55) presentó una leve estratificación entre la superficie y los 5 m, en el rango de 7,5 a 6 mL/L.

### Variabilidad diurno-nocturna.

Los nutrientes durante el periodo intensivo y en el nivel superficial (Fig. 56), presentaron un comportamiento homogéneo desde el comienzo hasta las 07:45 AM, con valores de nitrato de 1 a 2  $\mu\text{M}$ , silicato de 5  $\mu\text{M}$  y fosfato de 0,45  $\mu\text{M}$ . La única variación significativa ocurrió a las 10:30 AM, donde los nutrientes aumentaron en el caso del nitrato un orden de magnitud, de 1 a 14  $\mu\text{M}$ , el silicato tendió a disminuir a cerca de 1  $\mu\text{M}$  y el fosfato aumento de 0,4 a 1,6  $\mu\text{M}$ .

La cloa (Fig. 56) no presentó variaciones de importancia, ni en el comportamiento ni en las magnitudes, manteniéndose en cerca de 0,25  $\mu\text{g/L}$ . El amonio (Fig. 56) no presentó un comportamiento característico, aunque se observa un máximo de hasta 2  $\mu\text{M}$  entre las 07:45 y 10:30 AM.

La salinidad y la temperatura no variaron en ningún momento, manteniéndose casi constantes durante las 24 horas, con valores de 32,76 psu y 10,6 °C, respectivamente. El oxígeno disuelto (Fig. 56) al igual que las variables conservativas no presentó variaciones de consideración y se mantuvo en 6,5 mL/L.

Los nutrientes en el nivel de 5 m (Fig. 57), variaron en forma significativa, especialmente durante el periodo comprendido entre las 22:00 PM y 01:00 AM, observándose una tendencia al aumento en los nitratos de 1 a 15  $\mu\text{M}$  de los silicatos de 4 a 5  $\mu\text{M}$  y de los fosfatos de 0,4 a 1  $\mu\text{M}$ .

A 5 m de profundidad (Fig. 57), la columna de agua se mantuvo sin ninguna variación en el campo termo-halino, lo que manifestó en forma parecida con el oxígeno disuelto (6,5 mL/L) y los pigmentos fotosintéticos (0,45  $\mu\text{g/L}$ ). El amonio presentó dos máximos leves de 1  $\mu\text{M}$  a las 10:00 AM y 22:00 PM y un tercer a las 10:30 que llegó a 2,3  $\mu\text{M}$ .

A 20 m de profundidad (Fig. 58), con la sola excepción del fosfato que presentó variaciones significativas a las 22:00 y entre las 07:45 y 10:30 AM, con valores entre 0,45 a 1,5  $\mu\text{M}$ . Si se elimina de esta curva el valor de las 22:00 PM, la curva se mantendría constante en el valor

de 0,7  $\mu\text{M}$  entre las 10:00 hasta las 04:00, para después aumentar hasta 1,5  $\mu\text{M}$  a las 10:30 AM. Esta situación tendría correspondencia con lo observado con el nitrato y el silicato los que se mantuvieron constante en prácticamente todo el periodo, en valores de 15 a 17  $\mu\text{M}$  de nitrato y 4 a 6  $\mu\text{M}$  de silicato.

La estructura termo-halina de la columna de agua no presentó variaciones significativas con la sola excepción del comienzo en que la salinidad fue de 32,8 psu, para estabilizarse en 32,75 psu, la temperatura se mantuvo invariablemente en 10,4 °C, así como el oxígeno disuelto en 7 mL/L.

### **Caracterización ambiental del sistema semi-controlado.**

#### **Línea A**

La curva de producción de amonio a la salida del estanque de los salmones (Fig. 59), indica dos máximos de excreción a las 18:00 y 24:00 PM, los que son de 5 y 7  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Con la excepción de los dos máximos mencionados anteriormente, la tendencia en la curva de excreción es a mantenerse constante, entre 3,5 y 4  $\mu\text{M}$ , respecto del aporte porcentual de amonio, éste tuvo un solo máximo de un 600 % a las 24:00. Los estanques control 4 y 5A (Fig. 59) presentan la misma tendencia en la forma de la curva (Fig. 59), que la curva de excreción de los salmones.

En los estanques de las algas que reciben el amonio proveniente de los salmones (2 y 3 A), éste fue removido entre las 15:00 y 18:00 PM, en porcentajes de 25 a 35 %, respectivamente, después de las 18:00 y hasta las 09:00, la asimilación de amonio estuvo entre 0 y 5 %, para aumentar a 10-15% a las 12:00.

Los ostiones de los estanques 6 y 7A, presentaron el mismo comportamiento de excreción que los salmones (Fig. 59), con valores máximos de 7  $\mu\text{M}$  y mínimos de 4  $\mu\text{M}$ . El mayor aporte porcentual al efluente fué de 55 % a las 21:00 PM.

Las algas que recibieron este efluente, tendieron a asimilar amonio entre las 12:00 y 21:00 PM con porcentajes que van desde un 25 a 35% en los cuatro estanques considerados (Fig. 59), con una excepción en el periodo comprendido entre las 21:00 y 24:00, en que la remoción se elevó entre 15 a 20%, en el estanque 8A. Durante el periodo comprendido entre las 24:00 la asimilación de amonio fue cercana a cero, para solamente después de las 9:00 comenzar a incrementar.

### Línea B

En la Línea B, el agua que entró al sistema (Fig. 60), presentó un solo pico de importancia a las 18:00 PM, de 1,5  $\mu\text{M}$ , durante el resto del periodo de muestreo el nivel de amonio fue de 1  $\mu\text{M}$ . Los estanques control (3 y 4B) presentaron el mismo comportamiento en términos cuantitativos aunque el máximo de 1,5  $\mu\text{M}$ , se desplazó hacia las 21:00.

Las algas de los estanques 1 y 2B, que recibieron el efluente "natural", presentaron los máximos de asimilación en los periodos comprendidos entre el comienzo del experimento y las 15:00 que fueron cercanos al 15% y entre 03:00 y 12:00 AM, con valores entre 30 a 40% del total del amonio que entró al sistema.

En los estanques 5 y 6B los ostiones excretaron en forma rítmica (Fig. 60), con un máximo de 3  $\mu\text{M}$  a las 21:00 y un mínimo de 1  $\mu\text{M}$  a las 03:00 AM. El aporte porcentual de estos organismos fue hasta un 200% del total presente en el agua.

El comportamiento de asimilación o remoción de amonio en los estanques con algas 7 y 10B (Fig. 60) que recibieron el efluente de los ostiones, indica que estos organismos removieron entre un 40 a 50%, en los estanques 7 y 8B y entre un 20 a 40% en los estanques 9 y 10B. Manteniendo este ritmo de remoción en los cuatro estanques desde el comienzo del experimento hasta las 24:00 horas, el que disminuyó suavemente hasta llegar al 20% por el resto de la noche. Aunque durante el periodo nocturno este ritmo tiende a ser mas heterogéneo en magnitud.

Los nutrientes nitrato, fosfato durante el experimento (Fig. 61) presentaron valores altos de concentración, en el caso del nitrato estos llegaron a 17  $\mu\text{M}$ , variando en forma irregular hasta llegar a 6  $\mu\text{M}$ . Los fosfatos se mantuvieron en el rango de 0,5 a 2,5  $\mu\text{M}$ . Como era de esperar los niveles de oxígeno disuelto fueron siempre mayores de 5 mL/L, llegando hasta 8 mL/L. La cloa se mantuvo constantemente baja, con valores inferiores a los 0,5  $\mu\text{g/L}$ . La salinidad y la temperatura, presentan valores entre 32,5 y 32 psu, sin grandes variaciones entre estanques, y tendiendo a formar una onda durante las 24 horas de muestreo. La temperatura estuvo entre 10,5 a 11  $^{\circ}\text{C}$  desde la entrada hasta en los estanques con algas, en donde se observan algunas diferencias de 0,3  $^{\circ}\text{C}$  entre estanques.

## Discusión

### Sistema abierto.

La información obtenida para de la distribución de las variables conservativas (*i.e.* salinidad y temperatura) y no-conservativas (oxígeno disuelto, amonio y clorofila a) en las cuatro estaciones del año, por transecta y ciclo de marea, indica que éstas tienen variaciones asociadas fundamentalmente a la variabilidad temporal más que a la variabilidad espacial observada en las transectas. Los valores de salinidad y temperatura indican que, de acuerdo a Basten *et al.*, (1994), estos cuerpos de agua están constituidos mayoritariamente por aguas de origen subantártico.

El muestreo diurno-nocturno, permitió obtener información de la distribución cuali y cuantitativa de los nutrientes cada tres horas. Los resultados indican que la mantención en el tiempo de un pulso de cualquier variable producida *in situ*, está asociada en forma casi exclusiva a la variabilidad producida por el forzamiento mareal. Esta situación queda demostrada particularmente, con el comportamiento ambiental del amonio y la cloa (Fig. 29 a la 31) . Estas variables se distribuyeron fundamentalmente como pulsos, ya que la inestabilidad de la columna de agua no permitió la formación de gradientes que pudieran perdurar en tiempos superiores al equivalente a un ciclo de marea (6 horas). Esta situación fue especialmente crítica durante la primavera y parte del verano, debido a la

inestabilidad de la columna de agua, esto provocó variaciones de 6 a 1  $\mu\text{g/L}$  de cloa, en un tiempo inferior a 12 horas y de 2 a 0,5  $\mu\text{M}$  de amonio en un tiempo de tres horas.

Durante el otoño e invierno, la producción biológica del área estuvo deprimida a juzgar por las concentraciones de clorofila que no sobrepasaron los 0,5  $\mu\text{g/L}$ , en todas las estaciones analizadas. Esta situación no estuvo asociada a la oferta ambiental de nutrientes, debido a que en general esta estuvo dentro de los valores considerados normales para un cuerpo de agua marino, vale decir 5 a 15  $\mu\text{M}$  de nitrato, 6 a 10  $\mu\text{M}$  de silicato y 0,5 a 1,5  $\mu\text{M}$  de fosfato. Se estima que el factor limitante para el crecimiento fitoplanctónico fue la luz, aunque también pueden existir otros factores asociados como metales traza (Lobban y Harrison, 1994).

La distribución del amonio en el sistema abierto indica además que este ión, está solo levemente sobre los niveles medidos en las estaciones control, sin que en algún momento se haya detectado algún valor sobre los 2,5  $\mu\text{M}$ , incluyendo las cercanías de las balsas jaula, con una alta variabilidad a más de 100 m de distancia de la balsa-jaula, estos valores de concentración están de acuerdo con lo reportado por Petrell *et al.*, (1993), quienes midieron concentraciones de 0,7 a 2,3  $\mu\text{M}$  de amonio, con fluctuaciones importantes de este ión a no más de 30 m de distancia de la jaula.

Otro factor interesante, en el comportamiento ambiental del amonio, es que este ion no se asoció preferentemente a los crecimientos exponenciales de fitoplancton cuantificados en la primavera, sino que más bien estos estuvieron asociados a un descenso brusco en la concentración de nitrato y fosfato y un aumento esperado en la concentración de oxígeno disuelto.

En las cercanías del fondo, el amonio aumento de concentración, este proceso está asociado a la actividad metabólica de los sedimentos, en los que se forman microambientes anóxicos (Farias *et al.*, 1994), que no pueden ser detectados con los muestreos empleados en este proyecto.

Los nutrientes de origen oxidativo tales como el nitrato, silicato y fosfato no estuvieron presentes en altas concentraciones, en las cercanías de las balsas-jaulas, con variaciones cuantitativas importantes en un ciclo diurno-nocturno, como lo demuestran los valores de concentración indicados en los resultados.

En todas las estaciones del año muestreadas el oxígeno disuelto, no presentó concentraciones inferiores a 5 mL/L, llegando a 11 mL/L asociadas a los florecimientos fitoplanctónicos de primavera, con algunas excepciones puntuales de 4,5 mL/L en las cercanías del fondo, esto indicaría la alta capacidad de depuración del sistema a pesar de las agregaciones significativas de organismos en las proximidades de las balsas.

La alta dinámica de la zona impidió cuantificar en terreno cualquier disminución en el campo de distribución cuali y cuantitativa de los nutrientes de origen oxidativo o regenerativo, asociado a la actividad de los organismos en policultivo experimental. Esta situación solo podrá ser corroborada por el análisis de los organismos utilizados en este policultivo.

### **Sistema semi-controlado**

En el sistema semi-controlado la producción de amonio por parte de los salmones estuvo asociada al campo de temperatura imperante, especialmente en aquellas épocas en las que la temperatura no presentó ciclos de 24 horas, sino que estos se extendieron por periodos más largos. Esto provocó que los salmones no presentaron un ciclo de excreción bien formado, como fue el caso del invierno. Con el aumento estival de la temperatura, la formación de máximos bien formados se debilita, pero a cambio la producción de amonio basal aumenta de 1 a 4  $\mu\text{M}$ , transformándose, como en el caso de la primavera y el verano, en un proceso cuantitativamente elevado.

El aporte porcentual de los salmones llegó a ser de hasta un 3.000%, con un promedio de 500% de aporte de amonio al agua que entró al sistema semi-controlado. Esto indica que los salmones, al menos en las inmediaciones de las jaulas pueden aumentar en

forma significativa la concentración de amonio, pero la dinámica de la zona, más el volumen de agua considerado, impiden establecer algún grado de impacto sobre el medio por parte de esta actividad.

En el caso de los ostiones estos contribuyeron, en menor escala, al aumento de la concentración de amonio en el medio, pudiendo llegar a un máximo de 200%, pero en promedio no fue superior al 100% del total presente en el efluente. La pregunta de si estos organismos afectan al medio persiste como interrogante debido a los mismos factores mencionados para los salmones.

Las algas removieron o asimilaron, en promedio, hasta un 50% del amonio excretado por los salmones y en el efluente salmón+ostión, sin que los aumentos estacionales de la concentración de este ion tenga efectos significativos sobre el promedio de asimilación, especialmente en las épocas de invierno y otoño. Este ion en particular es asimilado preferentemente durante el día, especialmente en horas de la tarde.

La excepción a esta situación ocurrió en verano, en esta estación las algas asimilaron un 50% del amonio presente en el efluente de salmón y de salmón+ostión, en forma constante durante las 24 horas. Esta situación podría estar asociada en forma circunstancial a la baja pronunciada de nitrato en el agua que entro al sistema, y que mantuvo durante el periodo de muestreo en un nivel inferior a  $2 \mu\text{M}$  de  $\text{NO}_3^-$ , esto no ocurrió con el fosfato el que se siempre se mantuvo en concentraciones cercanas o superiores a  $1 \mu\text{M}$ .

Respecto de los nutrientes nitrato y fosfato no se observó ninguna asimilación significativa de este ion, es más incluso se observó producción de nitrato y fosfato en algunos estanques. Esta situación persistió en los cuatro experimentos realizados.

Estos resultados están de acuerdo con experimentos de fisiología que indican que las mejores tasas de crecimiento de esta alga se obtienen solamente cuando se usa amonio (Edding, 1995). Esta información es corroborada por Buschmann *et al.*, (1997), quienes

no cuantificaron remociones significativas de nitrato y fosfato utilizando *Gracilaria* como especie objetivo, en un sistema de policultivo. Además esto podría deberse a errores experimentales tales como el tipo de matriz de construcción de los estanques que facilitan la creación de microzonas reductoras, otro factor a ser considerado es que la mayoría de los experimentos realizados en este tópico han sido desarrollados con concentraciones muy superiores a las del medio, pudiendo llegar estas a ser de hasta 500 veces ( $500 \mu\text{M}$ ) sobre el valor real ( $0,8 \mu\text{M}$ ) (Lopes *et al.*, 1997). Por otra parte ha sido reportado que en sistemas semicontrolados, se producen microambientes que permiten la mantención de ambientes nitrificadores o denitrificadores que deben ser cuantificados y considerados como una fuente importante de utilización o producción de nitrato (Ellner *et al.*, 1996).

## **5.2. Caracterización de los sedimentos en sistema abierto.**

### **5.2.1. Variación estacional de macrofauna.**

La figura 62a-b muestra el número de especies de los diferentes grupos taxonómicos encontrados en las distintas estaciones de muestreo tanto en la transecta norte (A) y sur (B), durante el muestreo de otoño. El patrón general que se observa, es un reducido número de especies en las estaciones ubicadas a cero metros de distancia de las balsa jaula, (2-5 especies), para luego aumentar a 12-14 especies en la estación de 100 m. Los valores de dominancia para estas estaciones son altos, 0,85 y 0,75 respectivamente. En el resto de las estaciones. el número de especies se mantuvo entre 15 a 21 especies. Esto se ve reflejado en los índices de dominancia y diversidad que se muestran en la tabla 5. Las especies predominantes en la estación a cero metros son; el poliqueto oportunista, *Branchiicapitella abranchiata* y el gastrópodo *Nassarius gayi*. (Figs 63a-b). La primera especie representó el 85% de los individuos de la muestra. Estas especies se caracterizan por presentarse en zonas contaminadas o enriquecida orgánicamente. Los taxa presentes en las estaciones restantes con un mayor número de especies son los poliquetos, ostracoda, amphipoda, gastrópoda y bivalvia (Figs 64 y 65). La predominancia en relación al número de individuos tanto a 500 m como la estación

control (5.000 m del centro de cultivo) fue el gástrópodo *Caecum chilensis*, especie indicadora en los sedimentos de agua chilena de ambiente de buena calidad. Sin embargo, este alto número solamente influyó en la dominancia en la estación control (0,68). El índice Shannon-Wiener mantiene valores altos para las estaciones entre 100 y 500 m (Tabla 5).

Tabla 5. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas jaulas durante el otoño de 1996.

	Transecta sur				Transecta norte				Control
	0	100	200	500	0	100	200	500	
Dominancia (SI)	0,85	0,15	0,20	0,31	0,75	0,60	0,09	0,14	0,68
Diversidad (1-SI)	0,15	0,86	0,80	0,70	0,25	0,40	0,91	0,86	0,32
I.Shannon-Winner (H')	0,27	2,23	2,12	1,69	0,47	1,02	2,68	2,31	0,87

En invierno, en la transecta sur aparecen nuevos grupos taxonómicos (Fig. 64a). En la estación a cero metros el número de especies se mantiene entre 3-4 especies, con un índice de dominancia de 0,45 (Tabla 6). Aparecen los nemátodos representando el 21% de los individuos y aumenta en número de individuos de *Branchiocapitella abranquiata* (62%) y se mantiene *Nassarius gayi* con un 16% (Fig. 65a). En el resto de las estaciones el número de especies se mantiene entre 16-21 especies, lo que se ve reflejado en los altos valores del índice Shannon-Winner (Tabla 6). Este aumento en número de especies esta representado por un bajo número de individuos (Fig. 65a). En la transecta norte, el número de taxa presente es inferior a la transecta sur (Fig. 64b), lo que se refleja en los valores inferiores de H' (Tabla 6). A cero metros hay una predominancia de los nemátodos sobre las otras especies (93%), es decir un alto valor en la dominancia (0,86). En las estaciones restantes, los distintos taxa están representados con un bajo número de individuos (Fig. 65b). La diversidad de la estación control aumento (0,77) con respecto al invierno, asemejándose a los valores de la transecta sur.

Tabla 6. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas jaulas durante el invierno de 1996.

	Transecta sur				Transecta norte				Control
	0	100	200	500	0	100	200	500	
Dominancia (SI)	0,45	0,14	0,21	0,22	0,86	0,19	0,32	0,08	0,23
Diversidad (1-SI)	0,55	0,86	0,79	0,78	0,14	0,81	0,68	0,92	0,77
I.Shannon-Winner (H')	0,97	2,27	2,00	2,11	0,30	1,60	1,61	2,70	1,92

En primavera, el número de especies se mantiene en la tendencia observada en el muestreo de invierno, pero con un leve aumento en el número de especies en la estación a cero metros, tanto en la transecta sur como norte (Fig. 66a-b). Los altos valores en la diversidad se presentan en la tabla 7. Este incremento en la estación a cero metros está asociado a un aumento del número de especies de poliqueto. En la estación cero metros de la transecta sur, las especies y/o taxa presentes tales como nemátodos (44%), *Nassarius gayi* (42%) y *Branchiicapitella abranquiata* (12%) siguen siendo las más importantes, pero en diferentes proporciones (Fig. 67a). Este patrón se repite en la transecta norte (Fig. 67b), las especies con mayor importancia son *Branchiicapitella capitata* (52%), *Nassarius gayi* (24%) y nemátodos (8%). El gastrópodo *Caecum chilensis* esta presente a los 100 m de distancia del tren de la balsa jaula, indicando la presencia de una buena calidad de sedimentos. El área control muestra una baja diversidad (0,22), por lo tanto un alto índice de dominancia (0,78). Esta dominancia esta dada por el alto número de individuos del gastrópodo *Caecum chilensis* (88%). La mayoría de los individuos presentes en las muestras se encuentran en estado de postlarva o juvenil, indicando un proceso de defaunación y reclutamiento entre el monitoreo de invierno y primavera.

Tabla 7. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas-jaulas durante la primavera de 1996.

	Transecta sur				Transecta norte				Control
	0	100	200	500	0	100	200	500	
Dominancia (SI)	0,38	0,20	0,17	0,29	0,34	0,13	0,07	0,05	0,78
Diversidad (1-SI)	0,62	0,80	0,83	0,71	0,66	0,87	0,93	0,95	0,22
I.Shannon-Winner (H')	1,09	1,98	1,91	1,56	1,32	2,02	2,85	2,60	0,54

En el muestreo de verano, se observa un aumento importante en el número de especies en la estación a 0 m. En la transecta sur, las especies aumentan a 10 y a 19 en la transecta norte (Fig. 68a-b). Sin embargo, en transecta sur presenta una dominancia de 0,83 (Tabla 8) debido al gran número de nemátodos (89%) presente en la muestra. En la transecta norte, la estación a 0 m tiene un menor valor de dominancia (0,23), la especie. *Nassarius gayi* y los nemátodos están representados con 44% y 2% respectivamente. El poliqueto *Branchiicapitella capitata* desaparece de ambas estaciones. En este muestreo, se observa una mayor distribución de los nemátodos tanto de la transecta norte como sur, difiriendo en la densidad de individuos (Fig. 69a-b). Similar al muestreo de primavera, la mayoría de los individuos se encuentran en estado post-larva o juveniles. El índice de Shannon-Wiener es superior a 1 en todas las estaciones, a excepción de la estación a cero metros (Tabla 8).

Tabla 8. Índices de la comunidad bentónica alrededor de las balsas-jaulas durante el verano de 1997.

	Transecta sur				Transecta norte				Control
	0	100	200	500	0	100	200	500	
Dominancia (SI)	0,83	0,42	0,12	0,13	0,23	0,22	0,20	0,11	0,34
Diversidad (1-SI)	0,17	0,58	0,88	0,87	0,77	0,77	0,80	0,89	0,65
I.Shannon-Winner (H')	0,38	1,47	2,19	2,44	1,99	1,79	1,85	2,56	1,65

### 5.2.2. Variación estacional del Nitrógeno (N) y Fósforo (P) en los sedimentos.

Los índices utilizados en este proyecto como indicador de contenido de materia orgánica en los sedimentos son nitrógeno (N) y fósforo (P). Las figuras 70 y 71 muestran la variación de estos compuestos en los sedimentos recolectados a diferentes distancias de las balsas-jaulas en las distintas estaciones del año.

En general podemos ver que los niveles de N y P son más elevados en la estación a cero metros tanto en la transecta norte como sur, y que los dos compuestos se presentan en concentraciones distintas. En este caso, la concentración de fósforo es cuatro veces superior que el nitrógeno. A partir de los 100 m, la concentración de estos compuestos disminuyen significativamente, siendo muy similares entre sí y a las concentraciones obtenidas en la estación control. En algunas ocasiones, las concentraciones de fósforo de la estación a 100 m de la transecta norte es superior a las estaciones 200 y 500 m (Figs. 70-71).

La concentración del fósforo tiene los valores más alto en otoño e invierno ( 4,02 mg/g y 4,32 mg/g respectivamente) para comenzar a descender en primavera (2,43 mg/g) y verano (1,66 mg/g). Esta tendencia también es reflejada en la cantidad de nitrógeno.

### Discusión

Los resultados obtenidos del análisis de la macrofauna, y de los niveles de N y P en los sedimentos muestran que el efecto de la acumulación de material particulado proveniente de las balsas jaulas del centro de cultivo de Lin-Lin no sería más allá de los 100 metros. Estos resultados concuerdan con González *et al.*, 1997, quien estimó una tasa de sedimentación ( $1,38 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) similar en las estaciones a 25, 100 y 3000 m de distancia de la balsa jaula en bahía Ilque. Además, se determinó que la máxima tasa de sedimentación está directamente bajo las balsa jaula ( $210 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), con menor efecto en los bordes ( $26,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Otros estudios confirman lo anteriormente expuesto, Brown *et*

*al.*, 1987 estimaron que una tasa de sedimentación bajo las balsas jaulas equivalente a  $10 \text{ kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  y de  $3 \text{ kg m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  en las cercanías de las balsas jaulas en Escocia.

Determinar el impacto de la sedimentación de la materia orgánica particulada bajo las balsas-jaulas, es de gran importancia tanto para el ambiente como en el manejo de los centros de cultivos. La acumulación de materia orgánica produce cambios químicos importantes en los sedimentos, como la formación de ambiente anóxicos que producen cambios importantes en sedimento tales como disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua, producción de  $\text{H}_2\text{S}$  y metano.

Los modelos matemáticos diseñados para estimar la dispersión del material particulado proveniente de un cultivo de salmones, indican que factores tales como la topografía, el régimen de corrientes, la velocidad de sedimentación de los restos de alimento y fecas, y el consumo de pellet por los peces silvestres deben ser considerados, para poder determinar con mayor exactitud la acumulación de la materia orgánica sobre los sedimentos (Gowen & Bradbury, 1987, Hevia *et al.*, 1996 y Hevia, 1996).

En los sedimentos de diferentes centros de cultivo han sido descritos cambios importantes en el número de especies, abundancia y diversidad de la macrofauna, por efecto de la acumulación de la materia orgánica (Brown *et al.*, 1987, Johannessen *et al.*, 1994). Así mismo Brown *et al.*, (1987) describe una zona azoica directamente bajo las balsas jaulas, y una zona con una baja diversidad de especies dominada por poliquetos oportunistas tales como *Capitella capitata* y *Scolelepis fuliginosa*. Esta segunda zona estaría a una distancia menor o igual a 3 metros.

Los cambios históricos que ocurren en una zona en la que se han realizado actividades de cultivo, han sido informadas por Johannessen *et al.*, (1994) quienes indican que el número de especies presente disminuyó de 60 a 11 después de un año de operación del centro de cultivo. Este efecto estaría restringido a los alrededores de las balsa jaulas, no encontrando influencia de la materia orgánica en la estación a 250 m de distancia.

Los resultados de análisis de macroinfauna de los sedimentos y de niveles de N y P indican que la estación con mayor impacto de la materia orgánica estaría a cero metros. La estación a 100 m presenta valores similares en la diversidad de especies, y en N y P a las estaciones restantes, con algunas excepciones en la transecta norte. La tasa de sedimentación de la materia orgánica es asimétrica alrededor de la balsa, depende de los patrones y velocidad de las corriente dominante en el área (Hevia, 1996). En las estaciones a cero metros, las especies dominantes son el poliqueto oportunista *Brachiocapitella abranchiata*, los nemátodos y *Nassarius gagy*. La única especie exclusiva de esta área es *Brachiocapitella abranchiata*, la cual podría ser utilizada como especie indicadora de ambientes de alto contenido de materia orgánica. Los nemátodos y *Nassarius gayi*, no son exclusivos de ambientes altamente contaminados. Esta última especie ha sido asociada a áreas enriquecidas con desechos orgánicos, proveniente de las balsa jaulas en bahía Ilque, Estuario de Reloncaví (González com. pers) y optimiza su tasa de crecimiento al alimentarse con fecas de bivalvos (Carrillo *et al.*, 1996).

### **5.3. Variación biomasa de salmones en sistema abierto y semi-controlado**

#### **5.3.1 Sistema Abierto**

En el centro de cultivo de Lin-lin, se cultivaron dos especies; el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). La biomasa inicial, estuvo constituida sólo por el salmón del Atlántico y desde septiembre de 1997 se comenzó a cultivar la trucha arcoiris. Durante el desarrollo del experimento, la biomasa de salmón del Atlántico tuvo una disminución desde 42,69 ton. en junio de 1996 a 15,15 ton. en julio de 1997. En cambio, la biomasa de la trucha arcoiris, experimentó un notable crecimiento desde las 16,60 ton. en septiembre de 1996 hasta las 778,06 ton. en junio del 1997. Durante el mes de julio del 1997 se realizó una cosecha, disminuyendo la biomasa a 383,43 ton. (Fig. 72a). La biomasa promedio estacional en invierno del 1996 fue de 43,55 ton., de las cuales el 90% correspondió a salmón del Atlántico, mientras que en primavera, la biomasa promedio aumentó a 158,86 ton., de las cuales sólo el 10% correspondió a salmón del Atlántico. Entre las estaciones de verano y otoño de 1997, la biomasa promedio aumentó desde 483,51 a 677,02 ton., donde la trucha representó el 94 y 97% respectivamente. Las densidades

promedio de cultivo durante cada estación variaron significativamente, como se aprecia en la tabla 9.

Tabla 9. Densidad promedio de cultivo por estación del año

Estación	Densidad (kg/ m <sup>3</sup> )
Invierno 1996	0,70
Primavera 1996	2,52
Verano 1997	7,28
Otoño 1997	10,75

Con respecto al tamaño de los peces existentes durante el cultivo, éstos se pueden clasificar en tres tipos; reproductores, smolt y salmones en engorda. Los reproductores estuvieron constituidos exclusivamente por salmón del Atlántico, mientras que los smolt y salmones en engorda correspondieron a la trucha arcoiris. En las estaciones de invierno y primavera del 1996, el cultivo de salmones estuvo compuesto por reproductores (35%) y smolt (65%), mientras que en las estaciones de verano y otoño del 1997, el cultivo se realizó principalmente con salmones en engorda (96%) y el resto con reproductores (4%).

En relación a la alimentación, se suministró a los peces alimento extruído marca Royal (Trovit). El calibre utilizado varió entre 3,5 y 6,0 mm, dependiendo del tamaño de los salmones. Las raciones y frecuencias de alimentación utilizadas, se establecieron de acuerdo a metodologías utilizadas por la empresa. Las cantidades entregadas a los salmones en cultivo (Fig. 72b), variaron en función a la biomasa y la temperatura existente en el agua. Durante la estación de invierno de 1996, el alimento entregado a los salmones fluctuó entre 3,35 y 11,05 ton. al mes, registrando en primavera de 1996 un aumento desde 31,60 ton. en octubre a 113, 20 ton. en Diciembre. Durante la estación de verano de 1997 se entregan las mayores cantidades de alimento, las cuales fluctuaron entre las 185,95 ton. en enero y 171,93 ton. en marzo, representando cerca del 40% de la biomasa total de peces (Fig. 72c), mientras que en otoño de 1997, las cantidades de

alimento disminuyen de 159,06 ton. en abril a 52,08 ton. en julio, representando en promedio alrededor del 18% de la biomasa de peces existente.

### 5.3.2 Sistema Semi-controlado

El policultivo se realizó con el salmón del Atlántico. La biomasa en cultivo fluctuó entre los 38,9 y 91,3 kg. por estación (Fig.73a). En la estación de invierno de 1996 la biomasa fue de 38,9 kg., mientras que en verano de 1997 ésta se incrementó a 91,3 kg. Ésto se debió a que durante esta estación, el cultivo se realizó con un grupo nuevo de peces, donde el tamaño inicial fluctuó entre 750 y 1.000 g, ya que no había disponibilidad de ejemplares más pequeños. En la estación de otoño de 1997, se realizó el cultivo con ejemplares más pequeños de alrededor de 550 g, con una biomasa total de 64,5 kg, la cual se incrementó en un 14,9% en la estación de invierno de 1997, y en un 10,6% en la estación de primavera de 1997, registrando una biomasa de 76,4 y 84,5 kg respectivamente (Fig.73a). El peso de los peces fluctuó entre 417 y 1.303 g, mientras que la densidad de cultivo varió desde 9,7 a 22,8 kg/m<sup>3</sup> (Fig.73b).

Con relación al alimento entregado durante cada estación, éste varió entre 42 kg en invierno de 1996 y 63 kg en invierno de 1997, representando un 64,5 y 108,2% de la biomasa de peces en cada estación respectivamente.

## 5.4. Variación en crecimiento y fisiología de *Argopecten purpuratus* en sistema abierto y semi-controlado.

### 5.4.1. Centro de cultivo Lin-Lin

**Seston total y orgánico:** No hubieron diferencias significativas en el contenido total de seston y de seston orgánico entre ambas localidades. El máximo de concentración de partículas totales se observó en abril acompañado de un elevado contenido en partículas inorgánicas, ya que no aumentó la materia orgánica particulada (Fig. 74).

**Crecimiento y sobrevivencia:** Las tasas de crecimiento observadas en Achao muestran variaciones significativas en el tiempo (Fig. 75), con dos máximos de crecimiento en el año: uno en verano y otro en otoño ( $F=10,52$ ,  $gl=6, 69$ ,  $p< 0,00001$ ). No se observaron diferencias de crecimientos entre las diferentes linternas. Las tasas de crecimiento del control mostraron diferencias significativas en el tiempo con un máximo de crecimiento en verano ( $F=20,80$ ,  $gl=6, 40$ ,  $p=0,0002$ ).

En Achao, las sobrevivencias (Fig. 76) mostraron diferencias significativas en el tiempo ( $F=171,9$ ,  $gl=6, 137$ ,  $p<0,00001$ ) y entre linternas ( $F=1,68$ ,  $gl= 28, 137$ ,  $p=0,03$ ). Se observó que las mayores sobrevivencias se dieron en las linternas más cercanas a las balsas jaula. En el control no hubo diferencias entre linternas y las tendencias en el tiempo fueron las mismas que en Achao.

El experimento mostró una mortalidad anormalmente alta a partir del otoño, tanto en Achao como en el control (Fig. 76), ello se debió en parte a la manipulación en cada muestreo, ya que todas las linternas fueron alzadas al bote y muestreadas en el quinto piso . A ello se sumó el estrés de un desdoble realizado en el mes de abril de 1997, en que se cambiaron todas las linternas para solucionar el grave problema del fouling. Por otro lado, entre septiembre y octubre de 1997 se observaron altas mortalidades de ostiones en diferentes cultivos de ostiones comerciales ubicados tanto en la zona de Achao como en el fiordo de Castro.

**Fisiología:** Las eficiencias de asimilación no mostraron diferencias significativas entre Achao y el control, se observó un patrón estacional con una baja de la eficiencia de absorción en abril, producto del alto contenido en partículas inorgánicas observadas en esa fecha (Fig. 77).

Las tasas de filtración de los ostiones no presentaron diferencias significativas entre ambas localidades en ningún muestreo, a pesar de la aparente mayor filtración observada en Achao (Fig. 78 ). Los consumos de oxígeno no fueron diferentes entre los

ostiones de Achao y del control, y siguieron un patrón estacional con máximos en los meses de primavera (Fig. 79).

La excreción de amonio no presentó diferencias significativas entre ambos grupos de ostiones, con excepción de los meses de julio/agosto y septiembre/octubre, dónde hubo mayor excreción en los ostiones cercanos a las balsas de salmones ( $F=7,95$ ,  $gl= 1, 14$ ,  $p=0,01$ ). En la tasa de excreción de los ostiones de Achao se observó un patrón estacional similar al de la tasa respiratoria (Fig. 80).

El potencial de crecimiento y la eficiencia neta de crecimiento ( $K_2$ ) siguieron un patrón estacional con valores negativos en los meses de octubre de 1996 y septiembre/octubre de 1997. Tanto en diciembre como en enero los valores fueron máximos en los ostiones de Achao, indicando un mejor aprovechamiento de la materia particulada asimilada que en los ostiones del control.

**Bioquímica:** Las proteínas del músculo (Fig. 81) y la gónada (Fig. 82) no mostraron diferencias significativas entre los ostiones de ambas localidades, ni tampoco entre tejidos. Aunque, se observó una tendencia a mayor contenido proteico en los tejidos de los ostiones de Achao en los meses de fines de invierno y primavera.

Los carbohidratos fueron más altos en los ostiones cultivados en Achao, al lado de las balsas de salmones, que en los cultivados en el control, cercanos a cultivos de mitílicos. Esta tendencia se observó tanto en el músculo (Fig. 83) como en la gónada (Fig. 84).

Los lípidos no mostraron diferencias significativas entre localidades con excepción de marzo, mayo y agosto dónde fueron más abundantes en las gónadas de los controles (Fig. 85 y 86).

**Índices de condición:** Los rendimientos en carne fueron significativamente mayores en los ostiones de Achao ( $F=5,18$ ,  $gl= 1, 70$ ,  $p=0,03$ ), con diferencias estacionales significativas debido a los bajos rendimientos registrados en invierno (Fig. 87). Los

Índices macroscópicos de madurez gonadal no presentaron diferencias significativas entre localidades, pero sí un significativo patrón estacional con los máximos en verano e invierno para los ostiones de Achao, y con máximos en verano y primavera para los ostiones del control.

Los índices de condición del músculo fueron significativamente más altos en Achao que en el control ( $F=4,01$ ,  $fl=1,34$ ,  $p=0,05$ ), mientras que los índices de condición de la gónada no mostraron diferencias significativas entre los ostiones de la salmonera y del control (Fig. 88).

### Discusión

Las bajas eficiencias de absorción registradas en el mes de abril se observaron en ambas localidades y estuvieron asociadas con una alta concentración de partículas inorgánicas, este fenómeno ha sido observado en otros ostiones y se consideran debidos a un efecto de "dilución" que provoca el alto contenido de materia inorgánica en suspensión (Vahl, 1981).

Los ostiones de Achao se caracterizaron por presentar, en contraste con el grupo control:

- dos máximos de alto crecimiento en el año, uno en verano y otro en otoño, mientras que el control sólo lo presentó en verano.
- una tendencia a mayor sobrevivencia en las linternas más cercanas a las balsas jaulas.
- mejores rendimientos en carne que los controles.
- mayores índices de condición del músculo que los controles.
- alto índice de madurez gonádica en invierno (agosto).

Todas estas características demuestran que los ostiones de Achao se beneficiaron con la cercanía a las balsas jaulas, ya que gastaron menos reservas energéticas que los

ostiones del control, y por ello presentaron mayores índices de condición del músculo y de contenidos de carbohidratos, lo que les permitió un segundo máximo de crecimiento en la época otoño y el desarrollo de la gónada en pleno invierno (agosto).

Esto indicaría que, a semejanza de lo observado en el experimento en condiciones semicontroladas, los ostiones de Achao están siendo beneficiados por una mejor calidad de partículas que en el control, y éstas podrían ser los restos particulados de los desechos del salmón dadas las similares características de los ostiones observados en los experimentos en invernadero. Sin embargo, la disponibilidad y calidad de seston observada en la figura 74, no respalda este mejor resultado observado en los ostiones de Achao, ello puede deberse a que faltó un muestreo más intensivo y profundo de la calidad de las partículas suspendidas en la columna de agua, de acuerdo a lo propuesto por Côté *et al.*, (1993), para diferenciar entre ambas localidades.

Por los resultados anteriores se puede deducir que potencialmente, y en condiciones de policultivo diseñadas para este fin, los ostiones mitigan el impacto negativo de la deposición de los desechos del cultivo de salmónidos en el sedimento.

#### 5.4.2 Condiciones Semi-controladas

Los experimentos en condiciones semicontroladas de invernadero se realizaron con una biomasa aproximada de 350 g de peso seco de ostiones por estanque. Los ostiones utilizados tuvieron pesos secos promedios de 0,95; 1,83; 1,72; 1,93 y 3,6 g en los experimentos de invierno de 1996, verano, otoño, invierno y primavera de 1997, respectivamente.

**Partículas suspendidas:** El análisis de partículas del agua de mar, en los tratamientos de efluentes de salmón y agua del control, mostraron diferencias significativas de la composición orgánica de las partículas (Fig. 89), encontrándose siempre mayor contenido orgánico en los efluentes de salmón ( $F = 8,95$ , g.l.=1, 35,  $p=0,005$ ). Además existieron diferencias significativas entre los diferentes experimentos ( $F=4,25$ , g.l.=3, 35,

$p=0,01$ ), con los siguientes grupos significativamente diferentes en orden creciente de contenido orgánico: otoño 97 < invierno 96 = invierno 97 < verano 97 (Test de Tukey,  $p=0,05$ )

**Crecimiento y sobrevivencia:** La tasa de crecimiento mostró una variación altamente significativa entre experimentos (Fig. 90;  $F= 11,35$ ,  $gl= 4, 52$ ,  $p<0,00001$ ) con los mejores crecimientos en otoño y primavera de 1997 y las tasas más bajas en verano de 1997. Entre efluentes de salmón y estanque controles no se observaron diferencias significativas, pero hubo una interacción altamente significativa ( $F= 3,77$ ,  $gl=4, 52$ ,  $p= 0,009$ ) entre experimentos y tratamientos, debido a que en los experimentos de invierno de 1996 y primavera de 1997 se obtuvieron los mejores crecimientos ( $p= 0,08$ ) en los efluentes de salmón, mientras que en verano de 1997 se obtuvieron mejores crecimientos en los estanques controles. Por otro lado, las covariables talla inicial y peso inicial de los ostiones fueron significativas, no así la densidad entre experimentos.

En cuánto al aumento de peso durante la fase experimental, se observaron las mismas tendencias que en la tasa de crecimiento (Fig. 90).

Las sobrevivencias de los ostiones fueron significativamente diferentes entre tratamientos ( $F=4,80$ ,  $gl=1, 146$ ,  $p=0,03$ ) y entre experimentos ( $F=28,05$ ,  $gl=4, 146$ ,  $p<0,00001$ ), observándose siempre las mejores sobrevivencias en los ostiones cultivados con efluentes del salmón (Fig. 91). Las sobrevivencias entre experimentos mostraron los siguientes grupos significativos en orden creciente: invierno 97 < invierno 96 = primavera 97 = otoño 97 < verano 97. En estos experimentos no hubo diferencia entre estanques dentro de los tratamientos y no influyó significativamente la variación de densidades entre experimentos.

En el primer experimento en condiciones semicontroladas se evaluaron las sobrevivencias dos veces por semana, observándose que las mortalidades significativas comienzan a partir de la tercera semana de experimento.

**Fisiología:** En ambos experimentos de invierno (1996 y 1997) los ostiones mostraron diferencias significativas de la eficiencia de absorción, con una mayor absorción en el efluente del salmón (Fig. 92). En el resto de los experimentos estacionales las diferencias no fueron significativas entre ambos orígenes de agua.

Las tasas de filtración no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, debido probablemente a la alta variabilidad individual observada. Sin embargo, se observó una tendencia a mayores tasas de filtración en los ostiones cultivados con efluentes de salmón en los dos experimentos de invierno (Fig. 93)

El consumo de oxígeno de los ostiones no mostró diferencias significativas entre tratamientos y se observó un patrón estacional caracterizado por bajas tasas respiratorias en los experimentos de invierno y altas consumos de oxígeno en otoño y primavera (Fig. 94).

La excreción de amonio de los ostiones no presentó diferencias significativas entre tratamientos, con excepción del invierno de 1996. En este experimento, las mayores excreciones de amonio se observaron en el efluente del salmón (Fig. 95). Hubo un patrón estacional caracterizado por altas tasas de excreción de amonio en invierno de 1996 y primavera de 1997. A diferencia de lo observado en las otras variables fisiológicas, la tasa de excreción no muestra un ciclo con valores similares en ambos inviernos estudiados.

El potencial de crecimiento fue mayor en los ostiones alimentados con efluentes del salmón, al igual que las eficiencias netas de crecimiento (K2). En otoño y en primavera los ostiones presentaron valores de K2 negativos lo que se debió a las altas tasas de consumo de oxígeno registradas en estos experimentos. La relación O/N estuvo generalmente bajo 18, este valor ha sido documentado para ostión del norte como definidor de un estado de estrés para el ostión del norte (González, 1995), indicando que las condiciones de invernadero fueron estresantes para los ostiones en todas las combinaciones de tratamientos y experimentos.

**Bioquímica:** Las proteínas del músculo y la gónada de los ostiones mostraron diferencias significativas entre el momento inicial y final de los experimentos, con una tendencia general a la reducción de proteínas en los 45 días experimentales. No se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en los contenidos proteicos del músculo (Fig. 96) ni de la gónada (Fig. 97).

Los carbohidratos de los tejidos de los ostiones también mostraron una reducción significativa entre los momentos inicial y final de los experimentos, con excepción del experimento de verano de 1997, donde se observó un aumento significativo de los carbohidratos al día 45. Hubo interacción significativa entre los tejidos y el tiempo experimental debido a que las reducciones de carbohidratos se registraron en el músculo y no en la gónada. Los carbohidratos presentaron diferencias significativas entre el efluente del salmón y el circuito control debido a que el músculo (Fig. 98), y en menor grado la gónada (Fig. 99) de los ostiones cultivados en efluente de salmón, mostraron los mayores contenidos de carbohidratos.

Los lípidos no mostraron tendencias a disminuir entre el momento inicial y final de los experimentos, y tampoco presentaron diferencias entre tratamientos. El músculo presentó significativamente menores valores que lípidos que la gónada (Fig. 100). Las gónadas se caracterizaron por un patrón estacional con dos máximos de lípidos, verano e invierno, en los efluentes de salmón, y un solo máximo (verano) en el control (Fig. 101).

Se observó un patrón estacional en gónadas y músculos caracterizado por altos contenidos de lípidos y carbohidratos y bajos contenidos de proteína en verano y primavera, para ambos tratamientos. Sin embargo, la composición bioquímica de los tejidos muestreados en ambos inviernos no mostró el mismo patrón.

**Índices de condición:** El índice de madurez gonadal (Fig. 102) de los ostiones mostró una tendencia ( $p=0,09$ ) a mayores valores en el efluente del salmón, además en este mismo tratamiento se obtuvieron mayores rendimientos en carne con valores significativos en invierno de 1997 ( $F= 19,18$ , g.l.=1, 12;  $p=0,0009$ ).

Los índices de condición del músculo y de la gónada (Fig. 103) de los ostiones alimentados en el efluente del salmón fueron similares a los obtenidos en los ostiones del control, con excepción del verano de 1997 donde el músculo presentó el mayor contenido en los controles ( $F= 6,29$ ; g.l.= 1, 9;  $p=0,03$ ).

## **Discusion**

La mayor sobrevivencia observada en los ostiones que crecieron en los efluentes de salmón demuestra que existe un beneficio para el cultivo de estos bivalvos por utilización de los desechos orgánicos del cultivo de peces: restos de alimento y heces. La figura 89 muestra que la materia particulada es mayor en el efluente del salmón y con un significativo mayor aporte orgánico que el agua del control, con excepción del experimento de invierno de 1997 en que el contenido de partículas es anormalmente más alto en el agua del control. La diferencia entre el contenido orgánico del agua del control y el del efluente correspondería a partículas orgánicas no fitoplanctónicas de acuerdo con Stirling y Okumus (1995), y que en nuestros experimentos podemos identificar como partículas procedentes de la actividad alimenticia del salmón.

La mayor absorción observada los ostiones cultivados en el efluente del salmón estuvo asociada a la mayor disponibilidad de nutrientes orgánicos no fitoplanctónicos presente en este origen de agua, y sería una segunda evidencia de la utilización efectiva por parte de los ostiones de estos desechos de los salmones.

El mayor contenido de carbohidratos registrado en el músculo de los ostiones del efluente del salmón indican que estos ostiones usaron menos sus reservas de glucógeno que los ostiones del control. Lo que constituye una tercera evidencia de la utilización que los ostiones hacen de las altas concentraciones de materia orgánica particulada del efluente del salmón.

Considerando que todas las condiciones ambientales de ambos tratamientos fueron idénticas, y que el único factor que diferencia a ambos grupos es la disponibilidad de alimento no fitoplanctónico (partículas orgánicas de desecho suspendidas) y nutrientes (amonio y fosfato), estos resultados evidencian que los ostiones utilizan y depositan efectivamente los restos de alimento y heces del salmón.

Desde este punto de vista, y considerando las definiciones de Zedler (1996), se puede concluir que los ostiones están mitigando activamente porque utilizan los desechos orgánicos particulados de efluente de salmones minimizando y/o reduciendo los impactos negativos de la deposición de estas partículas en el sedimento.

### **5.5. Variación de la biomasa de *Gracilaria chilensis* en sistema abierto y semi-controlado.**

#### **5.5.1. Centro de cultivo Lin-Lin**

Los resultados del incremento de biomasa con el sistema de redes en desuso, en el mes de noviembre, (Fig. 104a) y a distintas profundidades indican que no hay diferencias en las algas que permanecen durante el experimento entre 3 y 6 m, mientras que, las que se encuentran entre 1 y 2 m tienen un mayor incremento en biomasa. Durante el segundo mes del experimento, esta diferencia se hace más notoria y además se producen diferencias significativas en el crecimiento de los tres bloques (Fig. 104b). En enero no hay diferencias significativas en las diferentes profundidades, pero en la red 1 se produce una disminución de la biomasa (Fig. 104c).

En la figura 104d se muestra el aumento de biomasa durante el mes de febrero, durante el cual se produce una estratificación desde la red 1 a la red 4, siendo la primera la que se encuentra a mayor distancia de las jaulas y del cultivo de ostiones. En las figuras 105a y 105b, se grafica el incremento desde octubre a febrero, alcanzando una biomasa máxima de  $4 \text{ kg/m}^2$ , en la red 4, la cual se encuentra a una distancia de 150 m de los ostiones.

La figura 106, muestra el incremento en biomasa en el sistema de malla pavo. Durante el mes de noviembre se realizó el primer de control, en el que se registró el incremento de biomasa, el cual se mantiene en el segundo control realizado en diciembre, sin embargo en los meses siguientes la biomasa disminuyó. Este sistema de cultivo si bien permite un crecimiento inicial de las algas, en el tiempo las ramificaciones de *Gracilaria* tienden a aglomerarse lo cual impide un crecimiento posterior. Los muestreos efectuados entre los meses de enero y febrero mostraron un alto epifitismo, tanto de algas como animales sobre las mallas, lo cual disminuye la cantidad de luz, afectando el crecimiento. Los resultados no muestran una tendencia con este sistema de cultivo.

Los resultados en el sistema de pearl-net (Fig. 107) muestran que durante el experimento se produce un leve incremento de biomasa, sin diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo hacia el fin del experimento, en febrero, la biomasa final promedio triplica la inicial en las algas ubicadas entre 1 y 2 m. Entre los 3 y 4 m los cambios en biomasa no son significativos y hacia el fin del experimento la biomasa es casi la misma que al inicio. En relación a la distancia a que se encuentran los pearl-net de las balsas-jaulas no existen diferencias significativas en la biomasa final, en ninguno de los casos.

### **Análisis estadístico**

Se consideró como unidad base una red en desuso de 3 m de ancho por 6 m de alto (profundidad) la cual se dividió en tres partes, profundidad n° 1 (1 a 2 m), profundidad n° 2 (3 a 4 m) y profundidad n° 3 (5 a 6 m) para así observar si existen diferencias significativas en el crecimiento de las algas a diferentes profundidades.

$H_0$ =Hipótesis Nula

$H_1$ =Hipótesis Alternativa

$H_0 = X_1 = X_2 = X_3$

$H_1 = X_1 \neq X_2 \neq X_3$

$X_1$ =Profundidad nº 1 (1 a 2 m)

$X_2$ =Profundidad nº 2 (3 a 4 m)

$X_3$ =Profundidad nº 3 (5 a 6 m)

Tabla 10 : Resultado del análisis estadístico de los datos de noviembre 1996 ( $P > 0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib	Suma $\wedge 2$	$\wedge 2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	2	0,36	0,18	28,36	5,14
Entre/bloque	3	0,03	0,01	1,36	4,76
Dentro/tratamiento	6	0,04	0,06		
Total-Muestreo	11	0,42			

Puesto que el valor F calculado para los tratamientos excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, podemos rechazar la hipótesis nula y decir que existe diferencia entre los tratamientos. El próximo paso es determinar cuales de los tratamientos son significativamente diferentes, para ello se utilizó la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan.

Error standard de una media de tratamientos 0,04

Intervalos significativos para la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan

$$r = 0,01(2,6) \quad 5,24$$

$$r = 0,01(3,6) \quad 5,51$$

$$(2,6) \quad 5,24 * 0,04 = 0,20$$

$$(3,6) \quad 5,51 * 0,04 = 0,22$$

Diferencia significativa (1 a 2 v/s 5 a 6) **0,42 > 0,22**

Diferencia no significativa (3 a 4 v/s 5 a 6) **0,18 > 0,20**

Diferencia significativa (1 a 2 v/s 3 a 4) **0,24 > 0,20**

Tabla 11 : Resultado del análisis estadístico de los datos de diciembre 1996 ( $P > 0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	2	2,06	1,03	35,72	5,14
Entre/bloque	3	0,61	0,20	7,09	4,76
Dentro/tratamiento	6	0,17	0,029		
Total-Muestreo	11	2,85			

Puesto que el valor F calculado, para los tratamientos y bloques excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, podemos rechazar la hipótesis nula y decir que existe diferencia entre los tratamientos y bloques. El próximo paso es determinar los tratamientos que son significativamente diferentes, para ello utilizaremos la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan.

Error standard de una media de tratamientos 0,1

Intervalos significativos para la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan

$$r = 0,01(2,6) \quad 5,2$$

$$r = 0,01(3,6) \quad 5,5$$

$$(2,6) \quad 5,24 * 0,04 = 0,44$$

$$(3,6) \quad 5,51 * 0,04 = 0,47$$

Diferencia significativa (1 a 2 v/s 5 a 6)  $1,0 > 0,47$

Diferencia significativa (3 a 4 v/s 5 a 6)  $0,5 > 0,44$

Diferencia significativa (1 a 2 v/s 3 a 4)  $0,5 > 0,44$

Tabla 12 : Resultado del análisis estadístico de los datos de enero 1997 ( $P > 0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	2	3,45	1,72	8,97	5,14
Entre/bloque	3	2,60	0,86	4,51	4,76
Dentro/tratamiento	6	1,15	0,19		
Total-Muestreo	11	7,20			

Puesto que el valor F calculado, para los tratamientos y bloques excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, podemos rechazar la hipótesis nula y decir que existe diferencia entre los tratamientos y bloques. El próximo paso es determinar los tratamientos que son significativamente diferentes, para ello utilizaremos la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan.

Error standard de una media de tratamientos 0,22

Intervalos significativos para la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan

$$r = 0,01(2,6) \quad 5,24$$

$$r = 0,01(3,6) \quad 5,51$$

$$(2,6) \quad 5,24 * 0,04 = 1,15$$

$$(3,6) \quad 5,51 * 0,04 = 1,21$$

Diferencia significativa	(1 a 2 v/s 5 a 6)	1,18 > 1,21
Diferencia no significativa	(3 a 4 v/s 5 a 6)	1,08 > 1,15
Diferencia significativa	(1 a 2 v/s 3 a 4)	0,10 > 1,15

Tabla 13 : Resultado del análisis estadístico de los datos de febrero 1997 ( $P > 0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	2	4,97	2,48	11,05	5,14
Entre/bloque	3	3,44	1,14	5,11	4,76
Dentro/tratamiento	6	1,35	0,22		
Total-Muestreo	11	9,76			

Puesto que el valor F calculado, para los tratamientos y bloques excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, podemos rechazar la hipótesis nula y decir que existe diferencia entre los tratamientos y bloques. El próximo paso es determinar los tratamientos que son significativamente diferentes, para ello utilizaremos la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan.

Error standard de una media de tratamientos 0,24

Intervalos significativos para la prueba de Intervalos Múltiples de Duncan

$$r = 0,01(2,6) \quad 5,24$$

$$r = 0,01(3,6) \quad 5,51$$

$$(2,6) \quad 5,24 * 0,04 = 1,26$$

$$(3,6) \quad 5,51 * 0,04 = 1,32$$

Diferencia significativa	(1 a 2 v/s 5 a 6)	<b>1,55 &gt; 1,32</b>
Diferencia no significativa	(3 a 4 v/s 5 a 6)	0,52 > 1,26
Diferencia significativa	(1 a 2 v/s 3 a 4)	1,03 > 1,26

Dentro del mismo experimento se verifico si existía algún tipo de interacción entre las variables Profundidad y Distancia

$H_0$ =Hipótesis Nula

$H_1$ =Hipótesis Alternativa

$H_0$ = X no existe interacción Y

$H_1$ = X interacción Y

X=Profundidad

Y=Distancia

Tabla 14 : Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P > 0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Profundidad	2	8,11	4,06	13,50	3,25
Distancia	3	4,10	1,36	4,55	2,86
Interacción	4	0,98	0,25	0,81	2,62
Error	38	11,41	0,30		
Total	47	24,6			

Puesto que el valor F calculado, para la interacción no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, se tiene que aceptar hipótesis nula, pero se debe señalar que las variables por si solas exceden el nivel de significación en el nivel 1% por lo tanto se puede decir que existe diferencia significativa entre las distintas profundidades y las diferentes distancias.

#### Experimento con malla pavo.

Se consideró como unidad base un sistema 1,5 m de ancho por 6 m de alto (profundidad), a diferencia de las redes aquí no se utilizó la profundidad como tratamiento sino mas bien la distancia a que se encontraban de las líneas de ostiones y del tren de balsas jaulas y para el caso de los bloques o réplicas se uso los meses de muestreo, todo esto con el fin de ver si existen diferencias significativas en el crecimiento de algas a diferentes distancias.

#### Prueba de Hipótesis

$H_0$  = Hipótesis Nula

$H_1$  = Hipótesis Alternativa

$$H_0 = X_1 = X_2 = X_3 \quad X_4 = X_5$$

$$H_1 = X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq X_4 \neq X_5$$

$X_1$  = Sistema nº 1

$X_2$  = Sistema n 3

$X_4$  = Sistema nº 4

$X_5$  = Sistema nº 5

Tabla 15 : Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P > 0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	4	0,04	0,009	1,59	3,26
Entre/bloque	3	0,30	0,101	17,29	3,49
Dentro/tratamiento	12	0,07	0,0058		
Total-Muestreo	19	0,41			

Puesto que el valor F calculado, para los tratamientos no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, no podemos rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto no es preciso hacer otro tipo de análisis.

### Experimento Nº 1 con pearl-net

Se consideró como unidad base una línea de 4m de alto (profundidad) en la cual se distribuyó 8 pearl-net cada 0,5 m. El tratamiento en este caso fue la profundidad, la que se dividió en profundidad nº 1 (1 a 2 m) y profundidad nº 2 (3 a 4 m) los bloques utilizados fueron los meses de muestreo. El objetivo de este experimento fué observar si existen diferencias significativas en el crecimiento de las algas a diferentes profundidades.

$H_0$  = Hipótesis Nula

$H_1$  = Hipótesis Alternativa

$H_0 = X_1 = X_2$

$H_1 = X_1 \neq X_2$

X1=Profundidad nº 1 (1 a 2 m)

X2=Profundidad nº 2 (3 a 4 m)

Tabla 16 : Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P > 0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	1	0,07	0,068	1,52	5,59
Entre/bloque	3	0,07	0,025	0,55	4,35
Dentro/tratamiento	7	0,32	0,045		
Total-Muestreo	11	0,46			

Puesto que el valor F calculado, para los tratamientos no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto no es preciso hacer otro tipo de análisis.

### Experimento Nº 2 con pearl-net

Se consideró como unidad base una línea de 4 m de alto (profundidad) en la cual se distribuyó 8 pearl-net cada 0,5 m. Se hicieron 10 líneas las que se distribuyeron en bloques de 5 líneas una 150 m y la otra 197 m del tren de balsas jaulas en este caso los bloques utilizados fueron los meses de muestreo. El objetivo de este experimento fue observar si existen diferencias significativas en el crecimiento de las algas a diferentes distancias.

### Prueba de Hipótesis

$H_0$  = Hipótesis Nula

$H_1$  = Hipótesis Alternativa

$H_0 = X_1 = X_2$

$H_1 = X_1 \neq X_2$

$X_1$  = Distancia nº 1 (150 m)

$X_2$  = Distancia nº 2 (197 m)

Tabla 17 : Resultado del análisis estadístico de diciembre 1996 a febrero 1997 ( $P > 0,1$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib.	Suma $\wedge 2$	$\wedge 2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	1	0,04	0,035	13,48	5,59
Entre/bloque	3	0,22	0,072	27,79	4,35
Dentro/tratamiento	7	0,02	0,003		
Total-Muestreo	11	0,27			

Puesto que el valor F calculado, para los tratamientos y bloques excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, la hipótesis nula puede ser rechazada y decir que existe diferencia entre los tratamientos y bloques.

De acuerdo a los resultados anteriormente expuestos podemos decir que:

El mayor incremento en biomasa de *Gracilaria* en el policultivo se produce en los primeros 3 m de profundidad en los tres sistemas de cultivo probados, mientras que en sectores de mayor profundidad el incremento es mínimo.

El rendimiento de alga húmeda fue mayor en el sistema de redes en desuso, ubicado en las cercanías al cultivo de salmones y ostiones, obteniéndose una biomasa final de 4 kg/m<sup>2</sup>. Al comparar el mismo sistema instalado a una mayor distancia se obtiene una biomasa final de solo 2 kg/m<sup>2</sup>.

### 5.5.2. Sistema en condiciones semi-controladas.

#### Tasas de crecimiento

Durante la estación de invierno la tasa de crecimiento no superó el 1% diario en los 45 días de experimento, los valores de crecimiento de las algas tratadas con efluentes y el control con agua de mar tienen un comportamiento similar, y no experimentan variaciones (Fig. 108a). En la época de verano, la tasa de crecimiento se incrementa notablemente en todos los tratamientos, en relación a las tasas obtenidas durante el invierno, alcanzando alrededor de un 3% diario. Sin embargo a los 30 días, éstas bajan drásticamente a valores entre 1,5 y 0,9% diario (Fig.108b). A los 45 días, el tratamiento con efluente de salmónes y el control se mantienen en niveles similares, alrededor del 1% diario, mientras que el tratamiento con salmónes-ostiones alcanza una tasa cercana a cero y el tratamiento con ostiones tiene valores negativos.

En la figura 108c se muestra la tasa de crecimiento durante la estación de otoño, la cual se mantiene baja en todos los tratamientos. A los 15 días de experimento la tasa de crecimiento no supera el 0,5% diario, en ninguno de los tratamientos. A los 30 días se produce un leve incremento manteniéndose entre 0,67 y 0,5% diario. Sin embargo hacia el final del experimento las tasas de crecimiento se incrementan entre 1,57 y 0,98% diario.

Durante el invierno de 1997 (Fig. 109a), las tasas de crecimiento en los primeros 15 días del experimento fueron muy similares entre si, y similares al invierno del año anterior, estas fluctuaron entre 1,03 y 0,74% diario. A los 30 días, la tasa de crecimiento del tratamiento salmónes-ostiones tuvo una baja de 0,74 a 0,34% diario, los demás tratamientos se mantuvieron entre 1,04 y 0,82%, finalmente a los 45 días el valor de la tasa diaria de crecimiento del tratamiento de salmónes-ostiones se mantiene casi igual experimentado una leve alza llegando a 0,38% diario. Los tratamientos salmón y ostiones fueron los valores más bajos en tasa de crecimiento al final del experimento. Por otra parte la tasa de crecimiento del control bajó levemente de 0,82 a 0,47%. La

tendencia de todos los tratamientos fue disminuir la tasa de crecimiento con respecto a igual período y condiciones del año anterior, donde se observó tasa de crecimiento que no experimentaron mayores variaciones.

La figura 109b corresponde a la estación de primavera, en la cual los primeros 15 días la tasa de crecimiento, fue relativamente alta entre 2,64 y 2,52% diario. A los 30 días de iniciado el experimento, las tasas de crecimiento disminuyen, donde el tratamiento salmónes alcanzó el valor más bajo de 1,84% diario. Hacia el final del experimento se observa una recuperación de las tasas de crecimiento, alcanzando en el tratamiento salmónes-ostión un valor de 3,20% diario.

### Rendimiento

La producción de *Gracilaria*, en los diferentes tratamientos varía estacionalmente y además se encontró que había diferencias entre los muestreos. Durante el invierno de 1996, el rendimiento no varía entre tratamientos y además es similar en los 45 días del experimento, alcanzando un promedio de 16 g/día de incremento (Tabla. 18).

Tabla 18 : Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Invierno 1996

#### INVIERNO 96

	CONTROL	SALMON	OSTION	SAL.+ OST.	
Incremento (g/día)					
0 a 15 día	14,7	11,7	18,3	12,9	14,4
16 a 30 día	20,5	15,5	10,4	11,7	14,5
31 a 45 día	14,8	18,1	23,3	23,2	19,9
Promedio	16,7	15,1	17,3	16,0	

En la tabla 19 se muestra el verano de 1997, donde existen diferencias significativas entre los tratamientos, el tratamiento con efluente de salmón es el que produce el mejor rendimiento 53,9 g/día. Ocurre además que el rendimiento varía durante los días que

dura el experimento, en los primeros 15 días el rendimiento es de 77 g/día, mientras que los últimos 15 días disminuye a 13,2 g/día.

Tabla 19 : Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Verano 1997

VERANO 1997

	CONTROL	SALMON	OSTION	SAL.+ OST.	
Rendimiento (g/día)					
0 a 15 día	76,3	77,3	80,0	74,4	77,0
16 a 30 día	22,4	34,5	45,6	30,0	33,1
31 a 45 día	35,7	49,7	38,1	5,6	13,2
Promedio	44,8	53,9	29,2	36,7	

En otoño el promedio de rendimiento en los diferentes tratamientos, es de 17 g/día, comportándose en forma similar al invierno (Tabla 20). En relación a los días que dura el experimento, se produce una situación inversa al verano, aumenta el rendimiento diario, en el período de los 45 días. Se inicia con 5,3 g/día, en los primeros 15 días y termina con 33,1 g/día en los últimos 15 días de experimento.

Tabla 20 : Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Otoño 1997

OTOÑO 97

	CONTROL	SALMON	OSTION	SAL.+ OST.	
Rendimiento (g/ día)					
0 a 15 día	5,3	5,2	1,2	9,6	5,3
16 a 30 día	10,7	14,5	14,0	11,3	12,6
31 a 45 día	23,6	32,9	35,2	40,8	33,1
Promedio	13,2	17,6	16,8	20,6	

Durante el invierno de 1997, los tratamientos no presentan diferencias y se comportan similar al invierno de 1996 con un promedio de rendimiento de 15,75 g/día (Tabla 21).

Los primeros 30 días se mantiene con un rendimiento de 19,7 g/día y los últimos 15 días disminuye a 7,8 g/día.

Tabla 21 : Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Invierno 1997

INVIERNO 1997

	CONTROL	SALMON	OSTION	SAL. + OST.	
Rendimiento (g/día)					
0 a 15 día	20,9	15,6	22,3	20,7	19,9
16 a 30 día	20,1	25,2	24,5	8,5	19,6
31 a 45 día	12,7	3,3	6,4	8,9	7,8
Promedio	17,9	14,7	17,7	12,7	

En la primavera los tratamientos no presentan mayores diferencias y tienen un promedio de rendimiento de 87 g/día (Tabla 22). Sin embargo en los primeros 30 días del experimento el rendimiento es de 66 g/día, para posteriormente incrementar a 129,5 g/día

Tabla 22 : Rendimiento promedio expresado en g/día de alga húmeda. Primavera 1997.

PRIMAVERA 97

	CONTROL	SALMON	OSTION	SAL.+ OST.	
Rendimiento (g/día)					
0 a 15 día	62,3	61,7	63,7	60,3	62,0
16 a 30 día	66,3	61,7	76,4	75,7	70,0
31 a 45 día	111,5	127,9	116,5	162,0	129,5
Promedio	80,0	83,8	85,6	99,3	

### Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos muestreados se utilizó una ANOVA de dos vías dentro del cual se uso el diseño de bloques aleatorizado. Los tratamientos en este caso fueron los distintos efluentes que se les suministro a las algas con tres réplicas o bloques, que

correspondieron a los 3 muestreos que se hicieron por experimento. Los resultados se entregan en las tablas 23 al 27.

Para este diseño, los bloques son conjuntos de unidades experimentales dispuestas o seleccionadas con anterioridad a la asignación de tratamientos, de modo que la variabilidad existente es minimizada dentro de los bloques y maximizada entre los mismos. Los tratamientos se asignan aleatoriamente el mismo número de veces a las unidades experimentales dentro de un bloque. Una selección aleatoria independiente se realiza para cada bloque. Por lo tanto reducimos el número de grados de libertad para el error, el mismo número de veces que contienen los bloques. Así, mientras mayor sea la variabilidad entre bloques, más eficiente será el proyecto en lo que se refiere a su capacidad para detectar posibles diferencias del tratamiento.

Se consideró 4 líneas de aporte de nutrientes para el alga, efluente de los ostiones, efluente del salmón y ostiones, efluente del salmón y un control para observar si existen diferencias significativas entre los distintos tipos de efluentes.

#### Prueba de Hipótesis

$H_0$ = Hipótesis Nula

$H_1$ = Hipótesis Alternativa

$H_0 = X_1 = X_2 = X_3 = X_4$

$H_1 = X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq X_4$

$X_1$ =Efluente Salmon-Ostión

$X_2$ = Efluente Salmon

$X_3$ = Efluente Ostión

$X_4$ = Control (Agua filtrada)

Tabla 23 : Resultado del análisis estadístico de los datos del invierno 1996 (P&gt;0,01).

Fuente de Variación	Grados/Lib.	Suma ^2	^2 Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	3	0,02	0,01	3,53	4,76
Entre/bloque	2	0,54	0,27	184,31	5,14
Dentro/tratamiento	6	0,01	0,001		
Total-Muestreo	11	0,56			

Puesto que el valor F calculado, para distintos tratamientos no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, no podemos rechazar la hipótesis nula, por lo tanto podemos concluir que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

Tabla 24 : Resultado del análisis estadístico de los datos del verano 1997(P&gt;0,01).

Fuente de Variación	Grados/Lib.	Suma ^2	^2 Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	3	0,6	0,20	2,60	4,76
Entre/bloque	2	1,0	0,50	6,39	5,14
Dentro/tratamiento	6	0,5	0,078		
Total-Muestreo	11	2,1			

Puesto que el valor F calculado, para distintos tratamientos no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, no podemos rechazar la hipótesis nula, por lo tanto podemos concluir que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

Tabla 25 : Resultado del análisis estadístico de los datos del otoño 1997(P&gt;0,01).

Fuente de Variación	Grados/Lib.	Suma ^2	^2 Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	3	0,04	0,0	2,95	4,76
Entre/bloque	2	1,01	0,5	105,83	5,14
Dentro/tratamiento	6	0,03	0,005		
Total-Muestreo	11	1,08			

Puesto que el valor F calculado, para distintos tratamientos no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, no podemos rechazar la hipótesis nula, por lo tanto podemos concluir que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

Tabla 26: Resultado del análisis estadístico de los datos del invierno 1997( $P>0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib.	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	3	0,1	0,02	3,78	4,76
Entre/bloque	2	0,4	0,2	38,74	5,14
Dentro/tratamiento	6	0,03	0,005		
Total-Muestreo	11	0,4			

Puesto que el valor F calculado, para distintos tratamientos no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, no podemos rechazar la hipótesis nula, por lo tanto podemos concluir que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

Tabla 27: Resultado del análisis estadístico de los datos de la primavera 1997 ( $P>0,01$ ).

Fuente de Variación	Grados/Lib.	Suma $\wedge^2$	$\wedge^2$ Medio	Docima-M	Docima
Entre/tratamiento	3	0,2	0,06	1,30	4,76
Entre/bloque	2	18,4	9,2	193,81	5,14
Dentro/tratamiento	6	0,29	0,048		
Total-Muestreo	11	18,9			

Puesto que el valor F calculado, para distintos tratamientos no excede el requerido para la significación, en el nivel 1%, no podemos rechazar la hipótesis nula, por lo tanto podemos concluir que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

En resumen podemos decir que:

El incremento de *Gracilaria* en los estanques tratados con diferentes efluentes sigue principalmente un patrón estacional, ya que, es mínimo durante el otoño e invierno y se incrementa en la primavera y verano.

No existen diferencias significativas entre los tratamientos de efluentes en el crecimiento de *Gracilaria* y al parecer una mayor concentración de nutrientes (amonio) no estimularía el crecimiento durante las estaciones de otoño e invierno.

Durante las estaciones de primavera y verano la presencia de una mayor concentración de nutrientes asociados a factores abióticos como mayor temperatura, incremento del fotoperíodo, y un aumento de la luminosidad incrementan considerablemente las tasas de crecimiento alcanzando valores hasta de un 3,2% diario, en el tratamiento de salmones-ostiones.

En los experimentos de efluentes, el rendimiento de alga húmeda es estacional obteniéndose los mayores valores de biomasa en las estaciones de primavera y verano.

## 6. CONCLUSIONES

Con la información obtenida en este estudio se puede concluir los siguientes aspectos:

### **Variables oceanográficas en el sistema abierto:**

Las variables conservativas (*i.e.* salinidad y temperatura) y no-conservativas (oxígeno disuelto, amonio y clorofila a) en las cuatro estaciones del año, por transecta y ciclo de marea, indican que tienen variaciones asociadas fundamentalmente a la variabilidad temporal más que a la variabilidad espacial observada en las transectas.

La mantención en el tiempo de un pulso de cualquier variable producida *in situ*, está asociada en forma casi exclusiva a la variabilidad producida por el forzamiento mareal. Esta situación queda demostrada particularmente, con el comportamiento ambiental del amonio y la clorofila a.

Durante el otoño e invierno, la producción biológica del área estuvo deprimida a juzgar por las concentraciones de clorofila que no sobrepasaron los 0,5  $\mu\text{g/L}$ , en todas las estaciones analizadas. Esta situación no estuvo asociada a la oferta ambiental de nutrientes, debido a que ella estuvo dentro de los valores considerados normales para un cuerpo de agua marino, vale decir 5 a 15  $\mu\text{M}$  de nitrato, 6 a 10  $\mu\text{M}$  de silicato y 0,5 a 1,5  $\mu\text{M}$  de fosfato.

La distribución del amonio en el sistema abierto indica además que este ion en el verano puede llegar a una concentración de 5  $\mu\text{M}$ , a 0 m de distancia de las balsas jaulas. A 100 m de las balsas jaulas este valor descendió a valores inferiores a 2,5  $\mu\text{M}$ , levemente menor que los valores de la estación control. Esto indica, que el efecto de producción de amonio por los salmones de cultivo, sobre la concentración "normal" para el cuerpo estudiado, está restringido a distancias inferiores a los 100 m de distancia de las balsas jaulas.

El amonio no se asoció preferentemente a los crecimientos exponenciales de fitoplancton cuantificados en la primavera, sino que más bien éstos estuvieron asociados a un descenso brusco en la concentración de nitrato y fosfato y un aumento esperado en la concentración de oxígeno disuelto.

Los nutrientes de origen oxidativo tales como el nitrato, silicato y fosfato no estuvieron presentes en altas concentraciones, en las cercanías de las balsas-jaulas, con variaciones cuantitativas importantes en un ciclo diurno-nocturno, como lo demuestran los valores de concentración indicados en los resultados.

En todas las estaciones del año muestreadas, el oxígeno disuelto no presentó concentraciones inferiores a 5 mL/L, llegando a 11 mL/L asociadas a los florecimientos fitoplanctónicos de primavera, con algunas excepciones puntuales de 4,5 mL/L en las cercanías del fondo, esto indicaría la alta capacidad de depuración del sistema a pesar de las agregaciones significativas de organismos en las proximidades de las balsas.

La alta dinámica de la zona impidió cuantificar en terreno cualquier disminución en el campo de distribución cuali y cuantitativa de los nutrientes de origen oxidativo o regenerativo, asociado a la actividad de los organismos en policultivo experimental.

### **Variables oceanográficas en el sistema semi-cerrado**

En el sistema semi-controlado, la producción de amonio por parte de los salmones estuvo asociada al campo de temperatura imperante, especialmente en aquellas épocas en las que la temperatura no presentó ciclos de 24 horas, sino que éstos se extendieron por periodos más largos. Esto provocó que los salmones no presentaron un ciclo de excreción bien formado, como fue el caso del invierno. Con el aumento estival de la temperatura, la formación de máximos bien formados se debilita, pero a cambio la producción de amonio basal aumenta de 1 a 4  $\mu\text{M}$ .

El aporte porcentual del amonio proveniente de los salmones, en el sistema semi-controlado, llegó a ser de hasta un 3000%, con un promedio de 500% de aporte de amonio al agua que entró al sistema semi-controlado. Esto indica que los salmones, al menos en las inmediaciones de las jaulas, pueden aumentar en forma significativa la concentración de amonio, pero la dinámica de la zona, más el volumen de agua considerado, impiden establecer algún grado de impacto sobre el medio por parte de esta actividad. En el caso de los ostiones estos contribuyeron, en menor escala, al aumento de la concentración de amonio en el medio, pudiendo llegar a un máximo de 200%, pero en promedio no fue superior al 100 % del total presente en el efluente. La pregunta de si estos organismos afectan al medio persiste como interrogante debido a los mismos factores mencionados para los salmones.

Las algas removieron o asimilaron, en promedio, hasta un 50% del amonio excretado por los salmones y en el efluente salmón+ostión, sin que los aumentos estacionales de la concentración de este ion tenga efectos significativos sobre el promedio de asimilación, especialmente en las épocas de invierno y otoño. Este ion en particular es asimilado preferentemente durante el día, especialmente en horas de la tarde. La excepción a esta situación ocurrió en verano, en esta estación las algas asimilaron un 50% del amonio presente en el efluente de salmón y de salmón+ostión, en forma constante durante las 24 horas. Esta situación podría estar asociada en forma circunstancial a la baja pronunciada de nitrato en el agua que entró al sistema, y que mantuvo durante el periodo de muestreo en un nivel inferior a  $2 \mu\text{M}$  de  $\text{NO}_3^-$ , esto no ocurrió con el fosfato el que siempre se mantuvo en concentraciones cercanas o superiores a  $1 \mu\text{M}$ .

Respecto de los nutrientes nitrato y fosfato no se observó ninguna asimilación significativa de este ion, es más, incluso se observó producción de nitrato y fosfato en algunos estanques.

## **Sedimentos**

Los resultados de análisis de la macrofauna de los sedimentos y de niveles de N y P indican que la estación con mayor impacto de la materia orgánica estaría a 0 metros. La estación a 100 m presenta valores similares en la diversidad de especies, y en N y P a las estaciones restantes, con algunas excepciones en la transecta norte.

Las especies dominantes son el poliqueto oportunista *Brachiocapitella abranchiata*, los nemátodos y *Nassarius gayi*. La única especie exclusiva de esta área es *Brachiocapitella abranchiata*, la cual podría ser utilizada como especie indicadora de ambientes de alto contenido de materia orgánica. Los nemátodos y *Nassarius gayi*, no son exclusivos de ambientes altamente contaminados.

## ***Argopecten purpuratus* en sistema abierto y semicontrolado**

Los ostiones de Achao se caracterizaron por presentar dos máximos de crecimiento en el año, uno en verano y otro en otoño, mientras que el control sólo lo presentó en verano. Notándose una mayor sobrevivencia, mejores rendimientos en carne, mayores índices de condición del músculo y alto índice de madurez gonádica en invierno en las linternas más cercanas a las balsas jaulas.

Todas estas características demuestran que los ostiones de Achao se beneficiaron con la cercanía a las balsas jaulas, ya que gastaron menos reservas energéticas que los ostiones del control, y por ello presentaron mayores índices de condición del músculo y de contenidos de carbohidratos, lo que les permitió un segundo máximo de crecimiento en la época de otoño y el desarrollo de la gónada en pleno invierno (agosto).

Por los resultados anteriores se puede deducir que potencialmente, y en condiciones de policultivo diseñadas apropiadamente, los ostiones mitigan el impacto negativo de la deposición de los desechos del cultivo de salmónidos en el sedimento.

La mayor absorción observada los ostiones cultivados en el sistema semi-cerrado con efluente del salmón, estuvo asociada a la mayor disponibilidad de nutrientes orgánicos no fitoplanctónicos presentes en el efluente.

El mayor contenido de carbohidratos registrado en el músculo de los ostiones del efluente del salmón, indica que estos ostiones usaron menos sus reservas de glucógeno que los ostiones del control.

Los ostiones utilizan y asimilan significativamente los restos de alimento y heces del salmón, por lo tanto mitigan activamente minimizando y/o reduciendo los impactos negativos de la deposición de materia orgánica particulada en el sedimento.

#### ***Gracilaria chilensis* en sistema abierto y semicontrolado.**

El incremento de *Gracilaria* en los estanques tratados con diferentes efluentes sigue principalmente un patrón estacional, ya que, es mínimo durante el otoño e invierno y se incrementa en la primavera y verano.

Durante las estaciones de primavera y verano, la presencia de una mayor concentración de nutrientes asociados a factores abióticos como mayor temperatura, incremento del fotoperíodo y un aumento de la luminosidad incrementan considerablemente las tasas de crecimiento, alcanzando valores hasta de un 3,2% diario, en el tratamiento de salmones-ostiones.

El rendimiento de alga húmeda fue mayor en el sistema de redes en desuso, ubicado en las cercanías al cultivo de salmones y ostiones, obteniéndose una biomasa final de 4 kg/m<sup>2</sup>. Al comparar el mismo sistema instalado a una mayor distancia se obtiene una biomasa final de solo 2 kg/m<sup>2</sup>.

## **7. Evaluación de la factibilidad de un policultivo integrado por salmones, algas y ostiones.**

Los resultados obtenidos en el proyecto indican que es factible realizar un policultivo constituido por *Salmo salar*, *Gracilaria chilensis* y *Argopecten purpuratus*. Las ventajas de esta asociación se describen a continuación:

No se observó una mortalidad causada por la asociación entre estas especies.

Las algas producen una disminución en la concentración de amonio proveniente del cultivo de organismos marinos. Esta disminución fue evaluada en los experimentos que se realizaron en condiciones semicontroladas. En terreno, el rendimiento del alga húmeda fue mayor en las cercanías del cultivo de salmones.

Los ostiones asociados a los salmones presentan dos máximos de crecimiento en el año, uno en verano y otro en otoño. Además, se registró un mayor índice de condición del músculo y un alto índice de madurez gonádica en invierno, lo que genera una alternativa de cosecha para esta época.

Sin embargo, hay que considerar que los excedentes (principalmente amonio) provenientes de la salmonicultura oscilan en forma estacional, con una mayor producción en el verano y una menor en el periodo otoño-invierno. Esta variación está asociada tanto a factores ambientales como a la biomasa de los salmones presentes en el sistema de cultivo.

Otro punto que debe tenerse en cuenta, dice relación con la variabilidad oceanográfica de los sistemas de canales abiertos, la cual está circunscrita principalmente al forzamiento provocado por el régimen de marea del lugar. Esta particularidad provoca variaciones cuali y cuantitativas de importancia en periodos inferiores a las seis horas.

Entre los aspectos negativos que deben tenerse en cuenta de esta asociación y los cuales no fueron evaluados en este proyecto se destacan:

La bioacumulación de medicamentos por parte de los moluscos, los cuales son administrados a los peces para el tratamiento de enfermedades. Esto puede interferir en la calidad del producto final, el cual está orientado al consumo humano.

Otro efecto negativo lo constituye, el hecho que los moluscos pueden actuar como reservorio de bacterias patógenas para los peces. Se ha observado la presencia de organismos rickettsiales tanto en moluscos como crustáceos. La presencia de estos organismos puede jugar un rol importante en la transmisión de *Piscirickettsia salmonis*, enfermedad causante de las mayores pérdidas económicas en la salmonicultura.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila M, M. Seguel, H. Plaza, R. Otaíza & E. Bustos. 1994. Estado de situación y perspectivas de la acuicultura en Chile. IFOP/SGL.
- APHA,AWWA, WPCF. 1980. Standard methods for water and wastewater analysis. 11 edition. APHA,AWWA, WPCF (eds).
- Basten, L., A. Clément & F. Orellana. 1994. Condiciones oceanográficas en una estación fija de Bahía Puerto Montt. 1989-1993. XIV Jornadas de Ciencias del Mar, Puerto Montt, Chile.
- Baudinet D., Grenz C. & H. Masse. 1992. In situ studies on transformation of organic matter by *Mytilus galloprovincialis*. Aquaculture' 92: Growing toward the 21st century. p.37
- Barnes, H.& J. Blackstock. 1973. Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of the sulphophosphovanillin methods for total lipids. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 12, 103-118
- Berges, J.A., Fisher, A.E.& P. J. Harrison. 1993. A comparison of Lowry, Bradford and Smith protein assays using different protein standards and protein isolated from the marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. Marine Biology 115 187-193.
- Bligh, E.G.& W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37, 911-917.
- Brown J.R, R. J Gowen & D. S. McLusky. 1987. The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. J. Exp. Mar. Biol. Ecol.109:39-51.

- Buschmann A, Y Aroca, M. Muñoz & Y. Varas. 1997. Efecto del flujo en el cultivo de *Gracilaria chilensis* utilizando efluentes de peces y moluscos. XVII Congreso de Ciencias el Mar. Santiago, Chile. pag 86.
- Buschmann A, M. Troell, N. Kautsky & L. Kautsky. 1996. Integrated cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 326/327:75-82.
- Buschmann A, D. López & A. Medina. 1996. A review of the Environmental Effect and Alternative Production Strategies of Marine Aquaculture in Chile. *Aquacultural Engineering* vol. 15, (6): 397-421.
- Buschmann, A., O. Mora, P. Gómez, M. Bottger, S. Buiatano., C. Retamales, P. Vergara & A. Gutierrez. 1994. *Gracilaria chilensis* outdoor tank cultivation in Chile: use of land-based salmon culture effluents. *Aquacultural Engineering* 13:283-300.
- Cancino J. M. & M. C. Orellana, 1987. The perspectives of the epiphytic fauna (Mytilidae) as a nutrient source in pond cultures in *Gracilaria verrucosa*. Proceeding of the Latin american seminar on aquaculture organised by the International Foundation for Science (IFS). Stockholm Sweden, Lima , Perú. pp. 380-392.
- Carpenter, J.H. 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnology and Oceanography*. 10:141-143.
- Carrillo S. 1991. Disponibilidad de nitrógeno para la absorción y crecimiento de *Gracilaria chilensis* (Bird, McLachlan & Oliveira, 1987) (Gigartinales, Rhodophyta). Tesis, Universidad de Concepción. pp: 1-61.
- Côté, J., H. Himmelman, M. Claereboudt, & J.C. Bonardelli. 1993. Influence of density and depth on the growth of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50:1857-1869.

- Dosdat A, F. Servais, R. Métailler, C. Huelvan & E. Desbruyères. 1996. Comparison of nitrogenous losses in five teleost fish species. *Aquaculture*, 141:107-127.
- Edding M, Macchiavello J. & H. Black. 1987. Culture of *Gracilaria* sp. in outdoor tanks: Productivity. *Hidrobiologia*. 151/152, 369-73
- Edding, M. 1996. Cultivo de *Gracilaria* en estanques. En: Manual de métodos ficológicos. K. Alveal *et al.*, (eds.). Universidad de Concepción, pp. 577-597.
- Ellner, S., A. Neori, M. Krom, K. Tsai & M. Easterling. 1996. Simulation model of recirculating mariculture with seaweed biofilter: development and experimental test of the model. *Aquaculture*, 143:167-184.
- FAO. 1996. Estadísticas de la producción de Acuicultura 1985-1994. Circular de Pesca N° 815, Revisión 8.
- Farías, L., L. Chuecas & M. Salamanca. 1994. Importancia de la remineralización de la materia orgánica en los sedimentos de la Bahía de Concepción: Diagénesis y flujos de amonio. XIV Jornadas de Ciencias del Mar, Puerto Montt, Chile.
- Folke C, & N. Kautsky. 1989. The role of Ecosystems for a Sustainable Development of Aquaculture. *Ambio*.18: 234-243.
- Gavilan M, A. Valenzuela & A. Buschmann. 1997. Cultivo en estanques de *Crassostrea gigas* (Thunberg) utilizando efluentes de peces. XVII Congreso de Ciencias el Mar. Santiago, Chile. pag 102-103.
- González H, V. Ortiz, C. Vera, M. Oróstegui, G. Asencio & J.Torres. 1997. Tasas de sedimentación de materia orgánica particulada bajo las balsas jaulas conteniendo salmones en Bahía Ilque, Puerto Montt: Variabilidad espacial y temporal. XVII Congreso de Ciencias el Mar. Santiago, Chile. pag 105.

- González, C.M. 1995. Efecto de la salinidad sobre la respuesta fisiológica del ostión *Argopecten purpuratus* (Lamarck 1819). Tesis de Licenciatura en Biología Marina, Univ. Austral. 56 págs.
- Handy R.D & M.G. Poxton. 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 3:205-241
- Hellebust, J.A. & J. S. Craigie,. 1978. *Handbook of Phycological Methods. Physiological and Biochemical Methods*. Cambridge U.P.
- Hernández, S. 1994. Laboratorio de Oceanografía Química. Departamento de Química. Univ. Católica de la Santísima Concepción. 59 págs.
- Hevia M, H. Rosenthal & R. J. Gowen. 1996. Modelling benthic deposition under fish cages. *J. Appl. Ichthyol.* 12:71-74.
- Hevia, M. 1996. Ein Simulationmodell zum Einfluß intensiver Lachszucht auf die Umwelt und Auswirkungen standortbedingter Umweltparameter auf das Wachstum des atlantischen Lachses (*Salmo salar*) an der Küste Chiles. Ph. D. thesis, math.-naturwiss. Fak. University of Kiel, 225 págs.
- Iwama, G.K. 1991. Interactions between aquaculture and the environment. *Critical Reviews in Environmental Control*, 21(2):177-216.
- Jiménez del Río M, Z. Ramazanov & G. García-Reina. 1996. *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents. *Hydrobiologia* 326/327:61-66.
- Johannessen P. J, H.B. Botnen & Ø F. Tvedten, 1994. Macrobenthos: before, during y after a fish farm. *Aquaculture and Fisheries Management* 25:55-66.

- Jones T. Ó & G. Iwama. 1991. Polyculture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), with chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture* 92: 313-322.
- Lobban C.S. & P.J. Harrison. 1994. *Seaweed ecology and physiology*. Cambridge University Press, 366 pp.
- Lopes, P., M. Oliveira & P. Colepicolo. 1997. Diurnal fluctuation of nitrate reductase activity in the marine red alga *Gracilaria tenuistipitata* (Rodophyta). *Journal of Phycology* 33: 225-231.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. & R. J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193, 265-275.
- Mathias J. 1996. Acuicultura "La revolución azul". Traducido y editado por Ambiente y Desarrollo vol 12, N°2:51-60, de Revista Ecodecisión, Otoño, 1995.
- Martinez, G., 1991. Seasonal variation in biochemical composition of three size classes of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* Lamarck, 1819. *Veliger* 34, 335-343.
- Navarro, J.M. & R. J. Thompson. 1996. Physiological energetics of the horse mussel *Modiolus modiolus* in a cold ocean environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 138, 135-148.
- Navarro, J.M, E. Clasing, G. Urrutia, G. Asencio, R. Stead & C. Herrera. 1993. Biochemical composition and nutritive value of suspended particulate matter over a tidal flat of southern Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 37: 59-73.
- Parsons, T.R., Y. Maita & C. M. Lalli. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press 173 pp.

- Pérez M, M.L. González & A. Buschmann. 1993. Uso del alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) como biofiltro de efluentes de salmónidos.. XII Jornadas de Ciencias del Mar-Chile. Valparaíso. pp. 80.
- Petrell, R.J. & S.Y. Alie. 1996. Integrated cultivation of salmonids and seaweeds in open systems. *Hidrobiologia*, 326/327: 67-73.
- Petrell, R.J., K. Mazhari Tabrizi, P.J. Harrison & L.D. Druehl. 1993. Mathematical model of *Laminaria* production near a British Columbian salmon cage farm. *Journal of Applied Phycology*, 5:1-14.
- Pizarro A. 1986. Conocimiento actual y avances recientes sobre el manejo y cultivo de *Gracilaria* en Chile. *Monografías Biológicas*, 4:63-96. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Santelices, B. & M. Doty. 1989. A Review of *Gracilaria* farming. *Aquaculture*, 78:95-133.
- SERNAPESCA 1997. Anuario Estadístico de Pesca 1996. Servicio Nacional de Pesca, Valparaíso, 224 pp.
- Stirling H. P. & Y. Okumus. 1995. Growth and production of mussels (*Mytilus edulis* L.) suspended at salmon cages and shellfish farms in two Scottish sea lochs. *Aquaculture*, 134: 193-210.
- Talvot C. 1994. Frequency of feeding. Special edition-Feed mangement Volume 2 N°3/94, 6-9 pp.
- Taylor B. E.; G. Jamieson & T. H. Carefoot. 1992. Mussel culture in British Columbia: the influence of salmon farms on growth of *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, 108: 51-66.

- Sokal, R.R. & F. J. Rohlf. 1981. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. 2nd edn. W.H. Freeman & Co., New York.
- Ugarte R. & B. Santelices. 1992. Experimental tank cultivation of *Gracilaria chilensis* in central Chile. *Aquaculture*, 101:7-16.
- Unesco, 1981. The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980. UNESCO Technical Papers in Marine Science. 36.
- Uriarte, I., Fariás, A. & C. Muñoz. 1996. Growth and condition index of *Argopecten purpuratus*. En: Improvement of the commercial production of marine aquaculture species. Proceedings of a workshop on Fish and Mollusc Larviculture. Gajardo & P. Coutteau (Eds.). Creces, Santiago, Chile. Págs, 135-143.
- Vahl, O. 1981. Energy transformations by the iceland scallop, *Chlamys islandica* (O.F.Müller), from 70° N. I. The age-specific energy budget and net growth efficiency. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 53:281-296.
- Widdows J. 1985. Physiological procedures. In: "The effects of stress and pollution on marine animals". Bayne, B.L. *et al.*, eds. Praeger special studies, Praeger scientific, New York.
- Zedler, J.B. 1996. Ecological issues in wetland mitigation: an introduction to the forum. *Ecological Applications* 6(1): 33-37.

## ***FIGURAS***

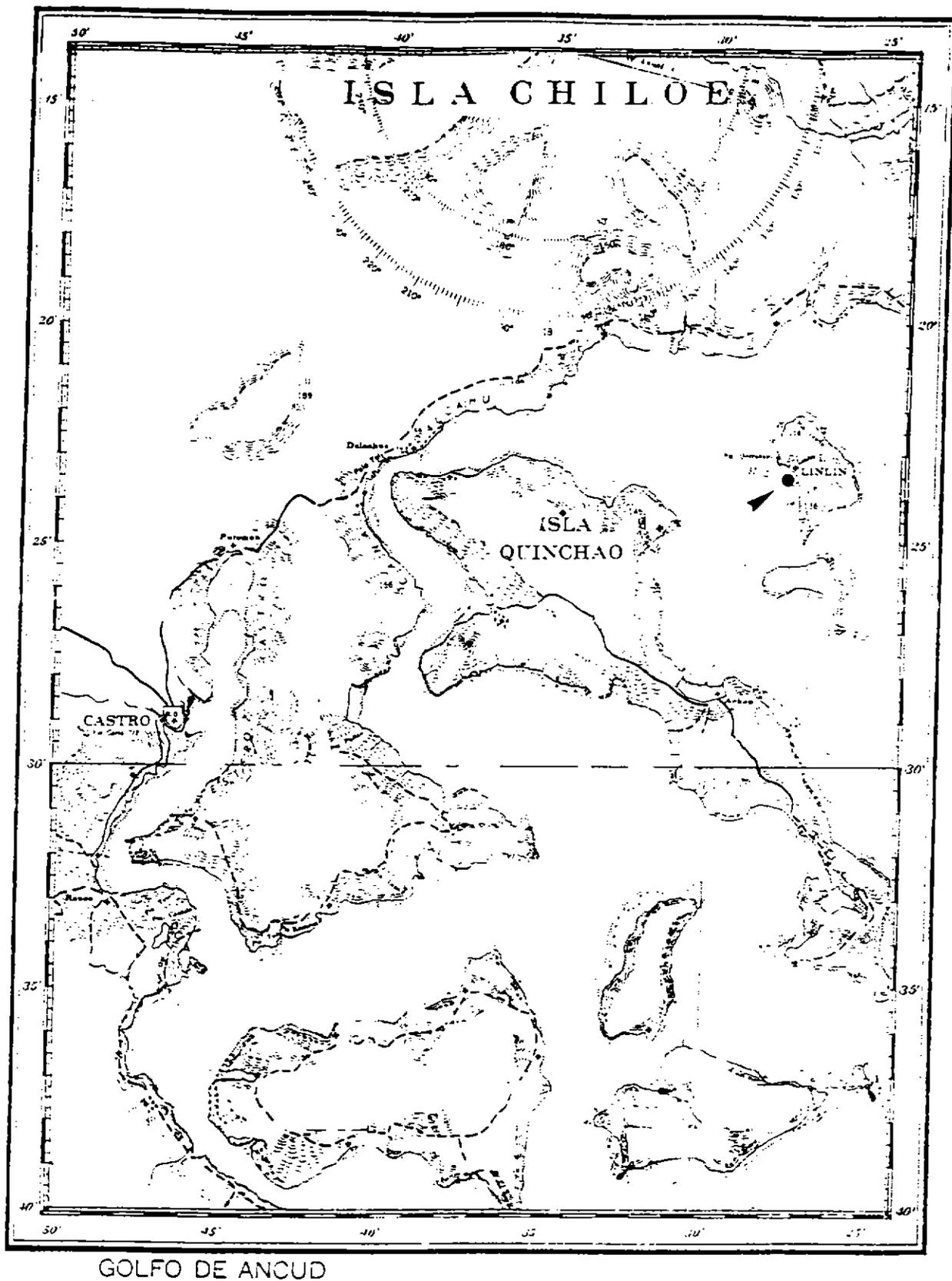


Fig.1. Ubicación geográfica del centro de cultivo Lin-lin.

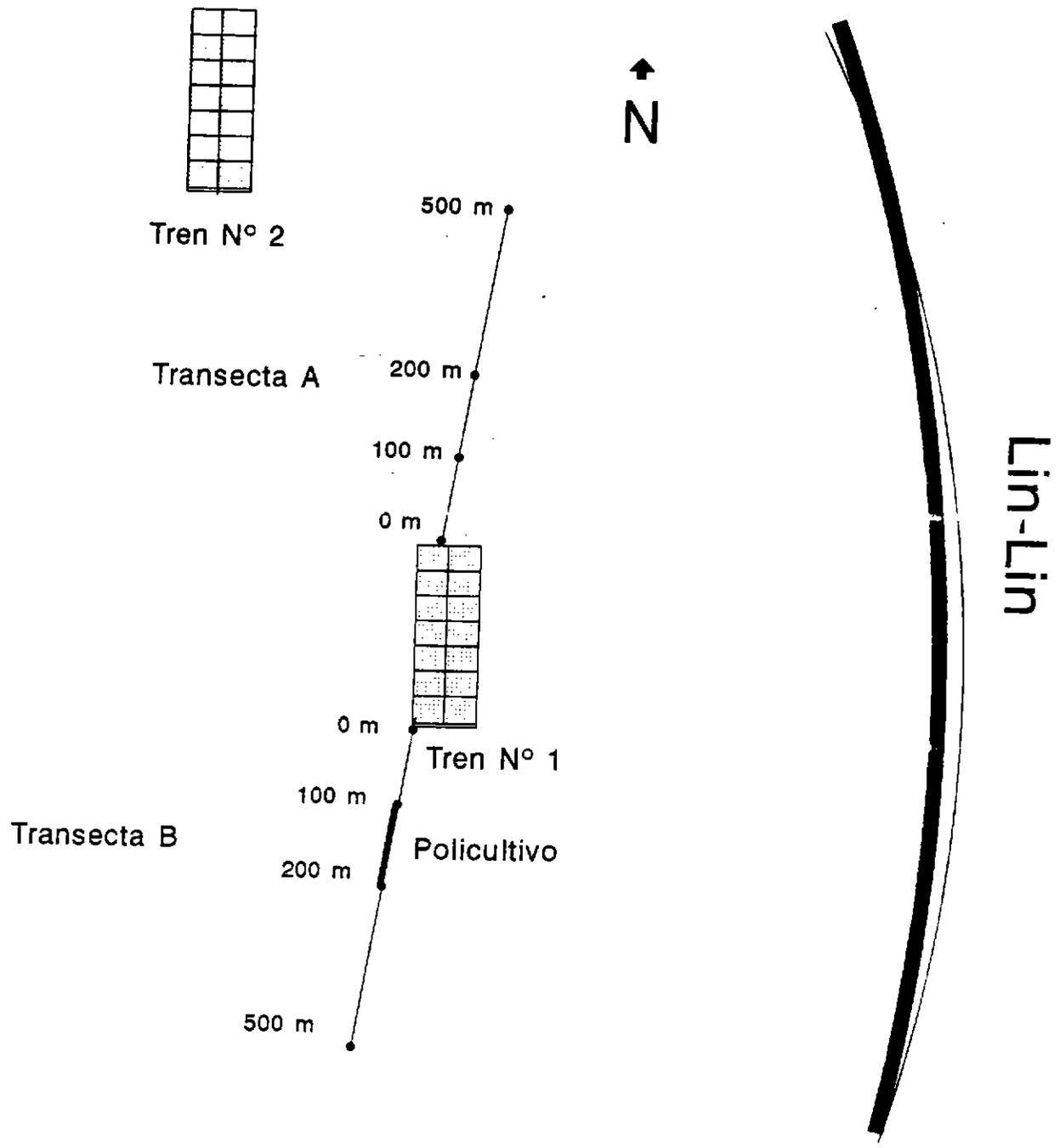
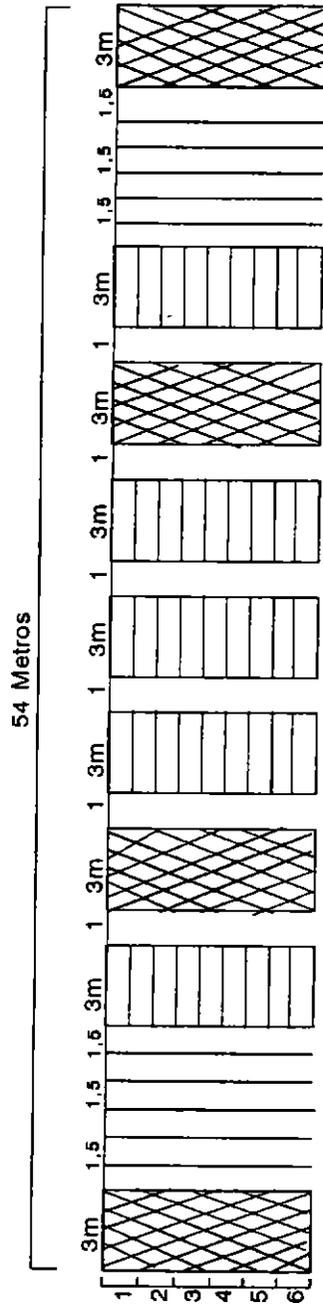


Fig.2. Ubicación de las transectas A y B en el centro de cultivo Lin-lin.



Redes = 200 g/manojo

Mangas malla pavo = 1500 g

Pearl net = 200 g

Fig. 3. Distribución de los sistemas de cultivos de algas en el long-line.

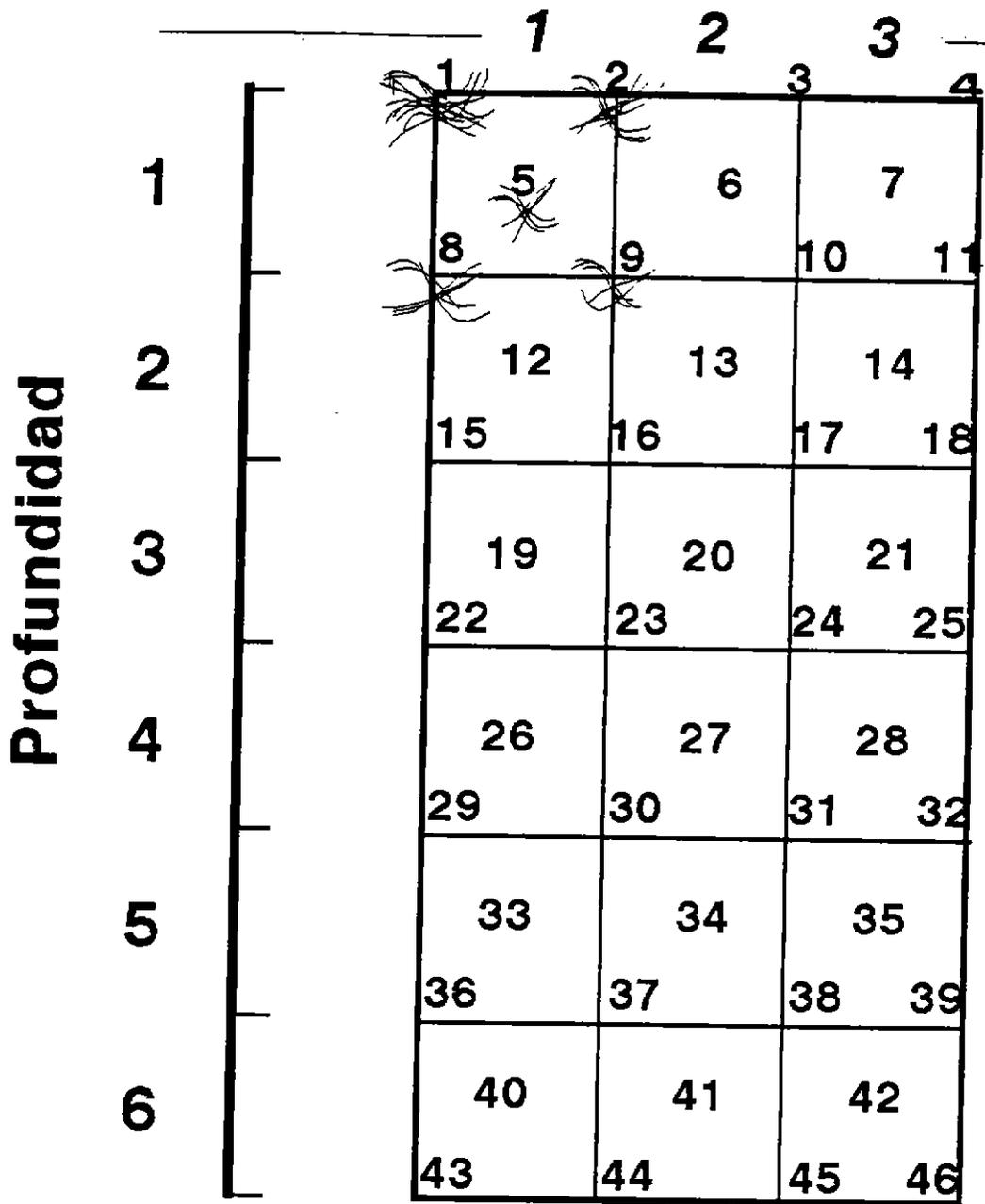


Fig.4. Distribución de los manojos de algas en el sistema de cultivo en red.

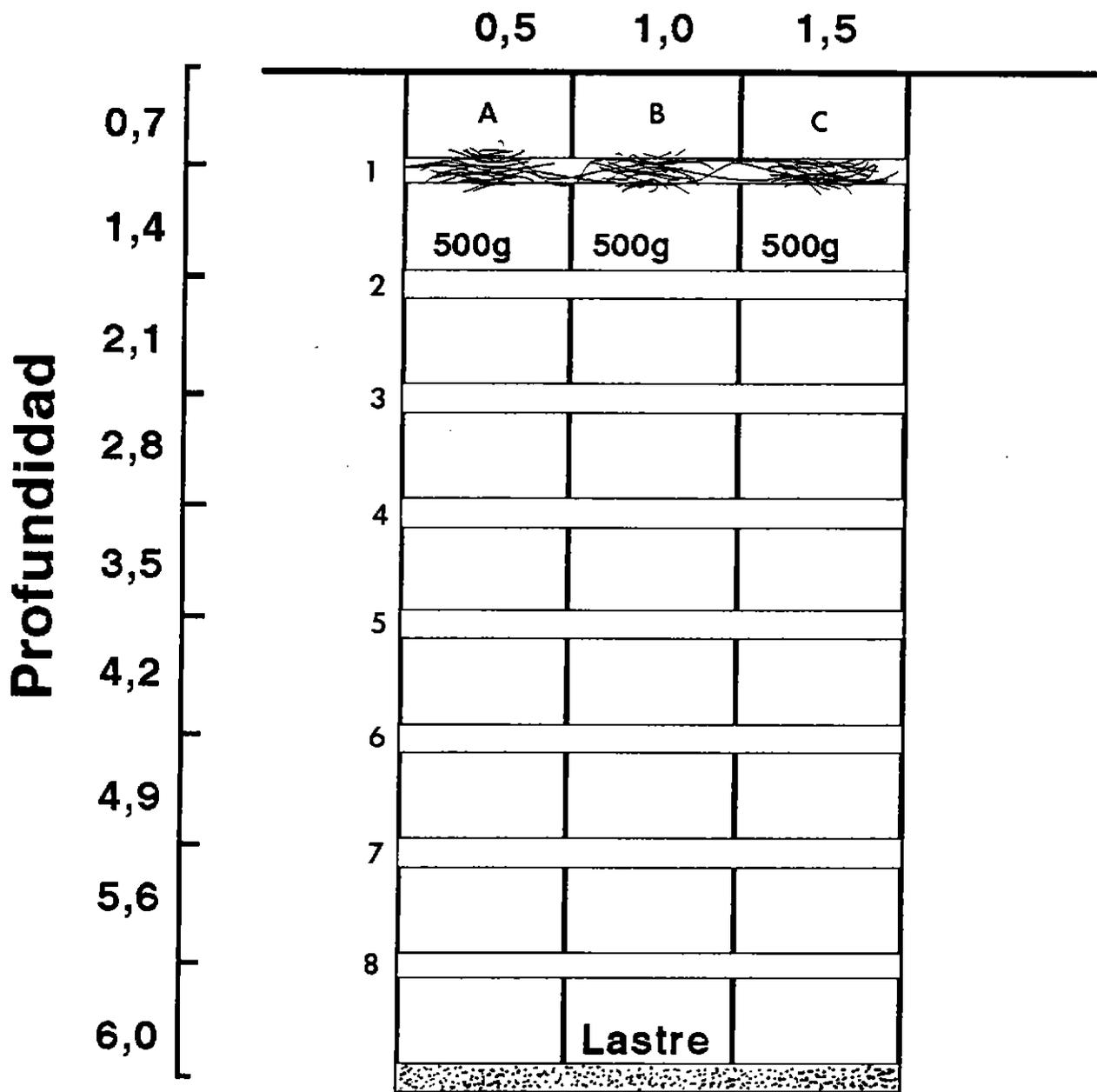


Fig.5. Distribución de los manojos de algas en el sistema de cultivo en mangas de malla de pavo.

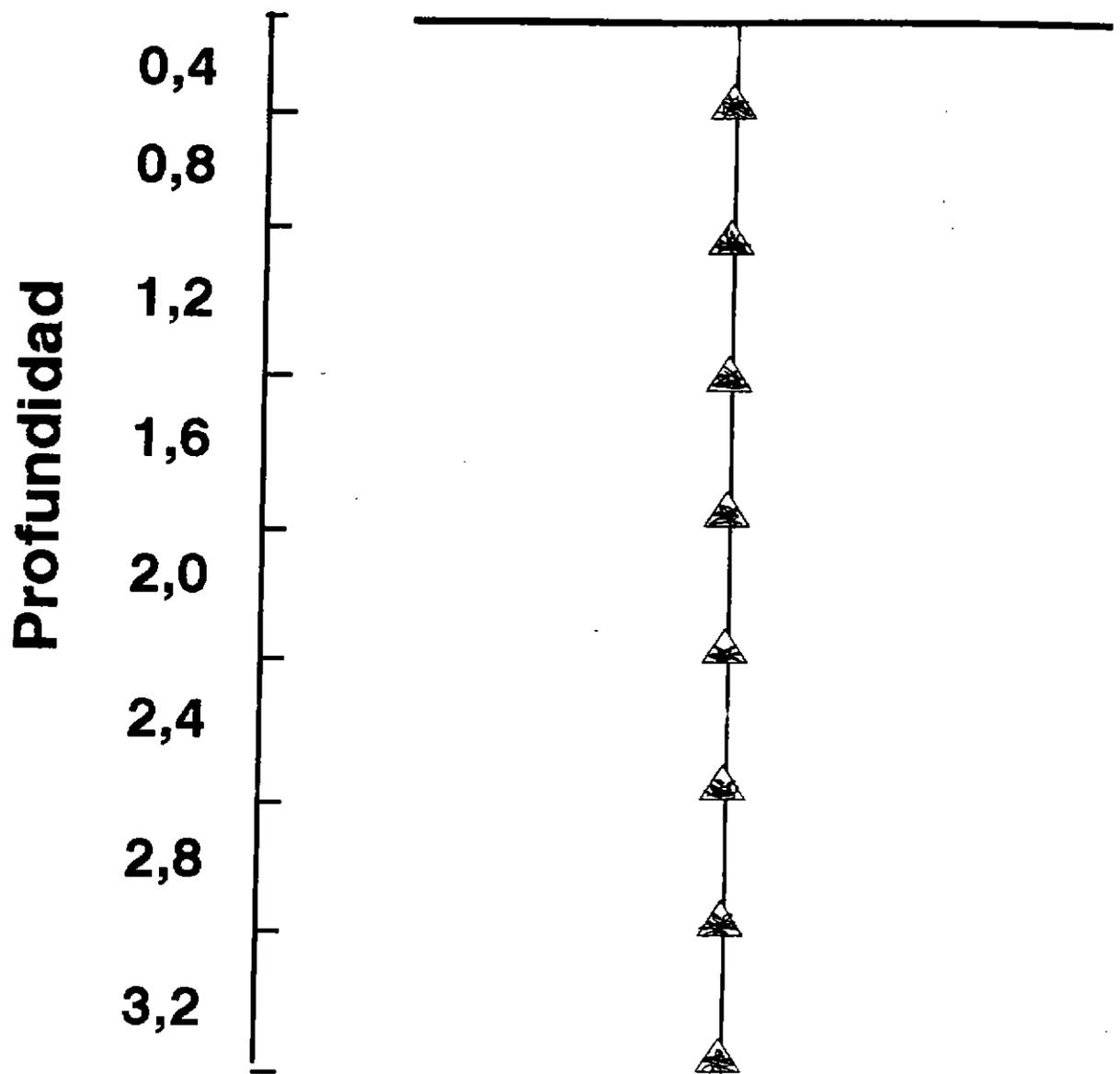


Fig.6. Distribución de las algas en el sistema de cultivo en pearl-nets.

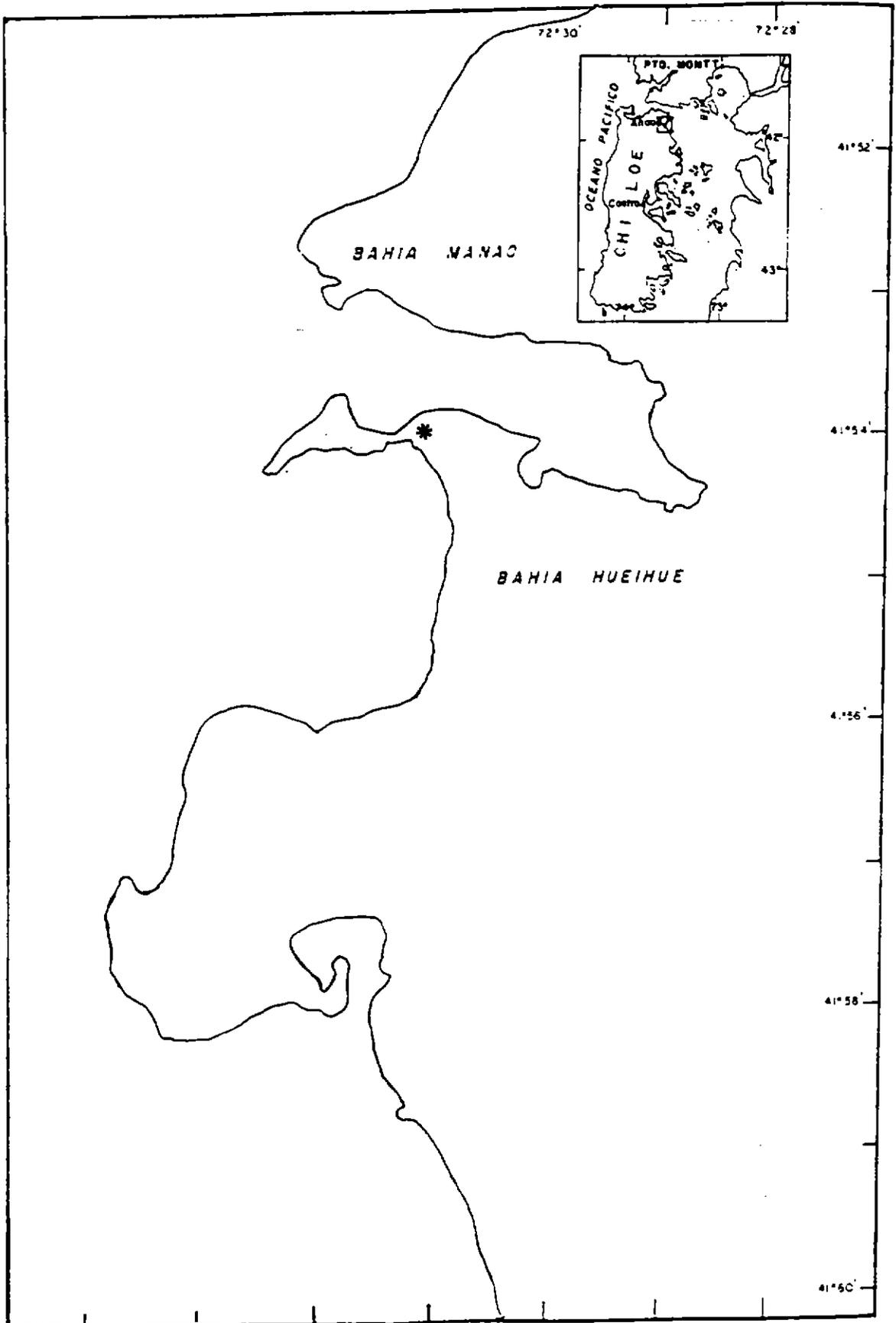
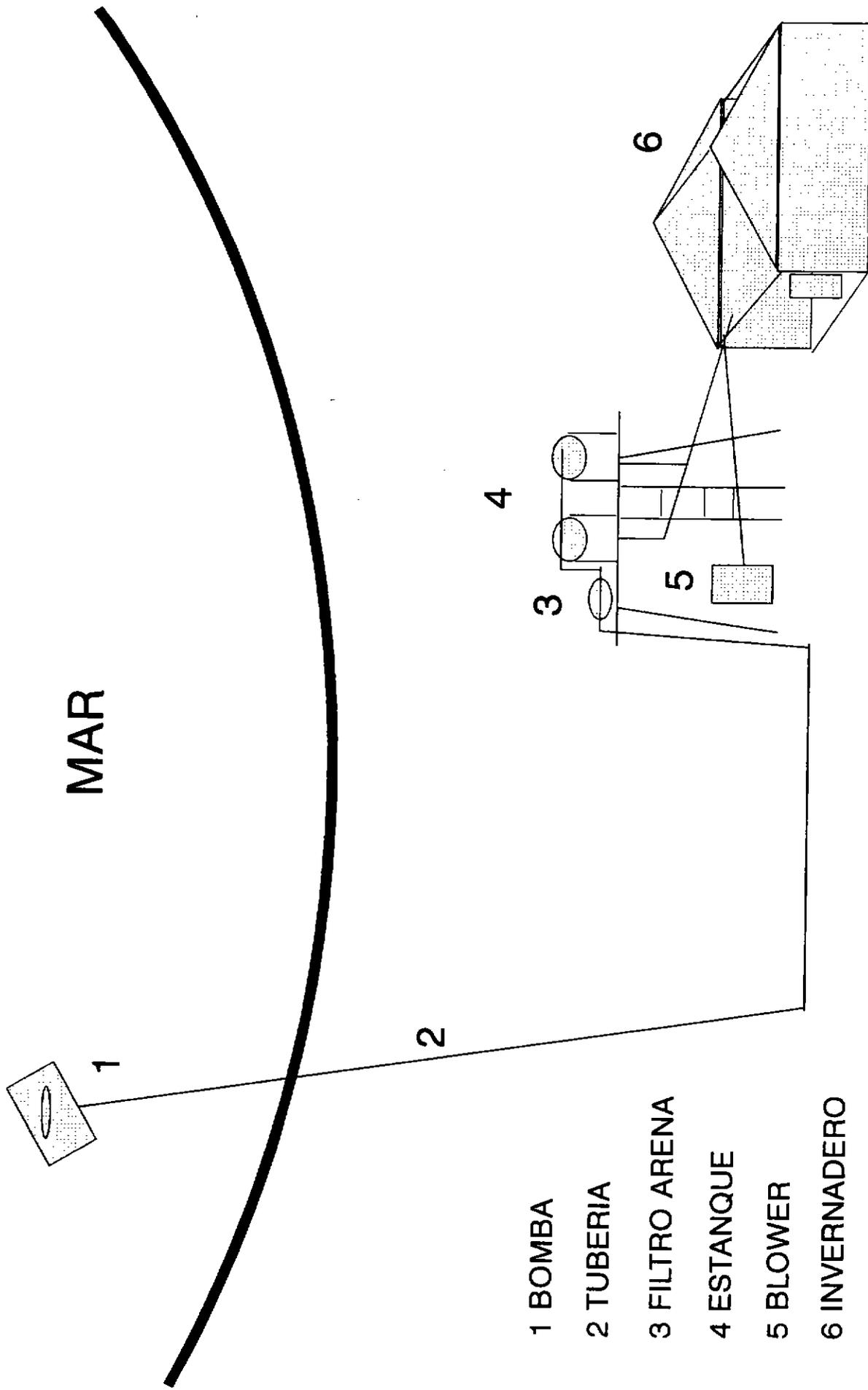


Fig.7. Ubicación geográfica del centro de producción de semillas del IFOP en Hueihue.



- 1 BOMBA
- 2 TUBERIA
- 3 FILTRO ARENA
- 4 ESTANQUE
- 5 BLOWER
- 6 INVERNADERO

Fig. 8. Diseño del sistema de agua que abastece a los estanques en el experimento de policultivo en condiciones semi-controladas.

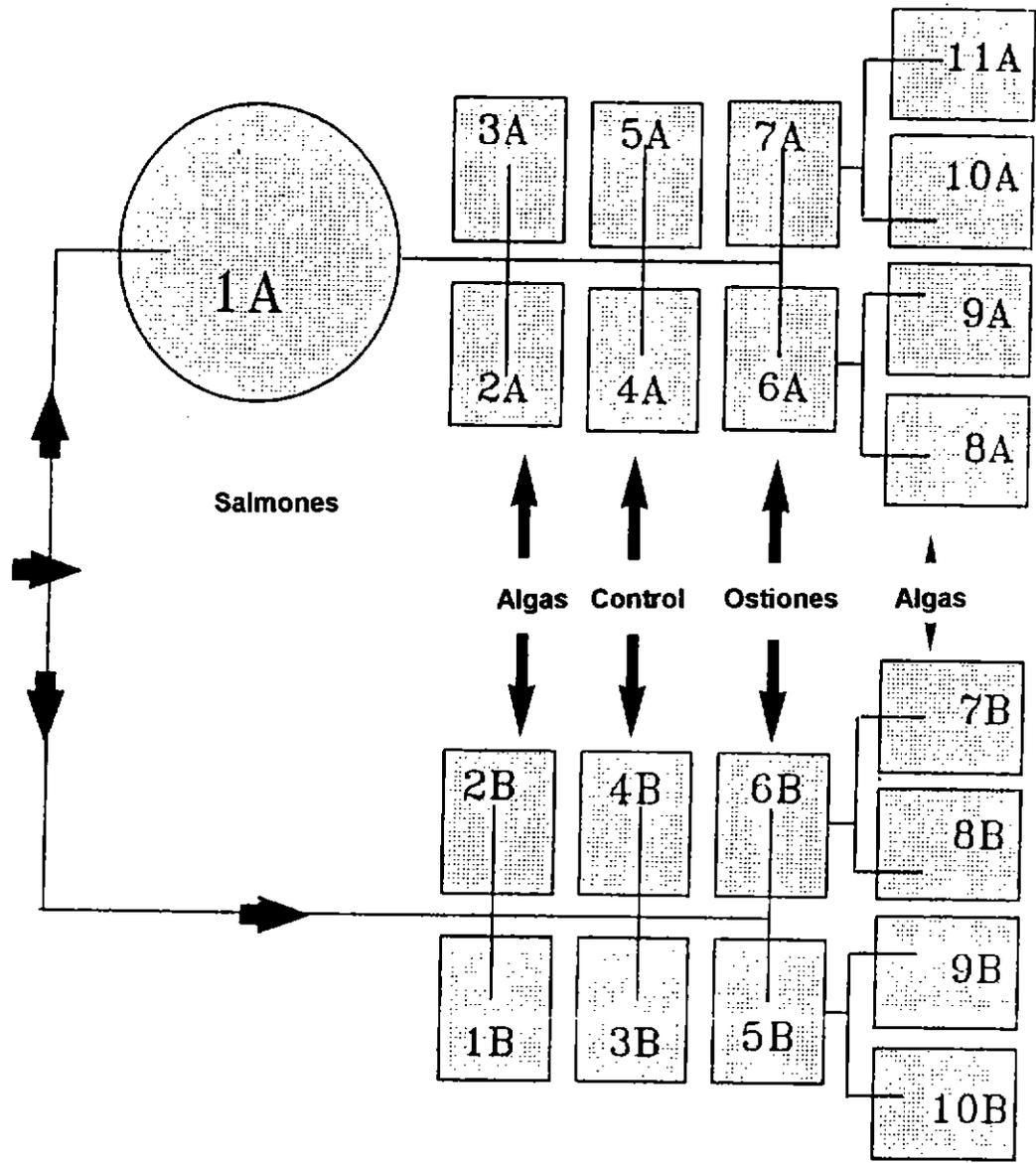


Fig.9. Diseño experimental del sistema de policultivo en condiciones semi-controladas.

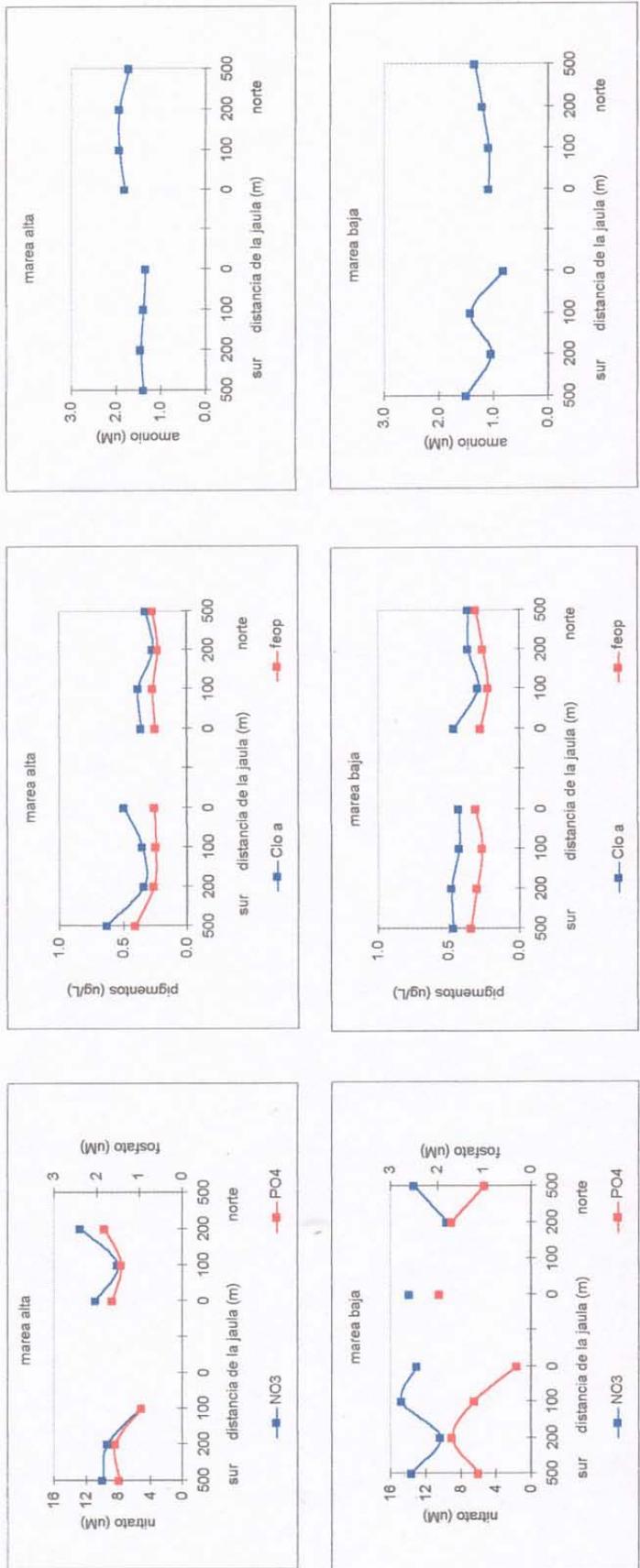


Figura 10. Diagramas de distribución superficial de nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaula. Isla Lin Lin, invierno de 1996.

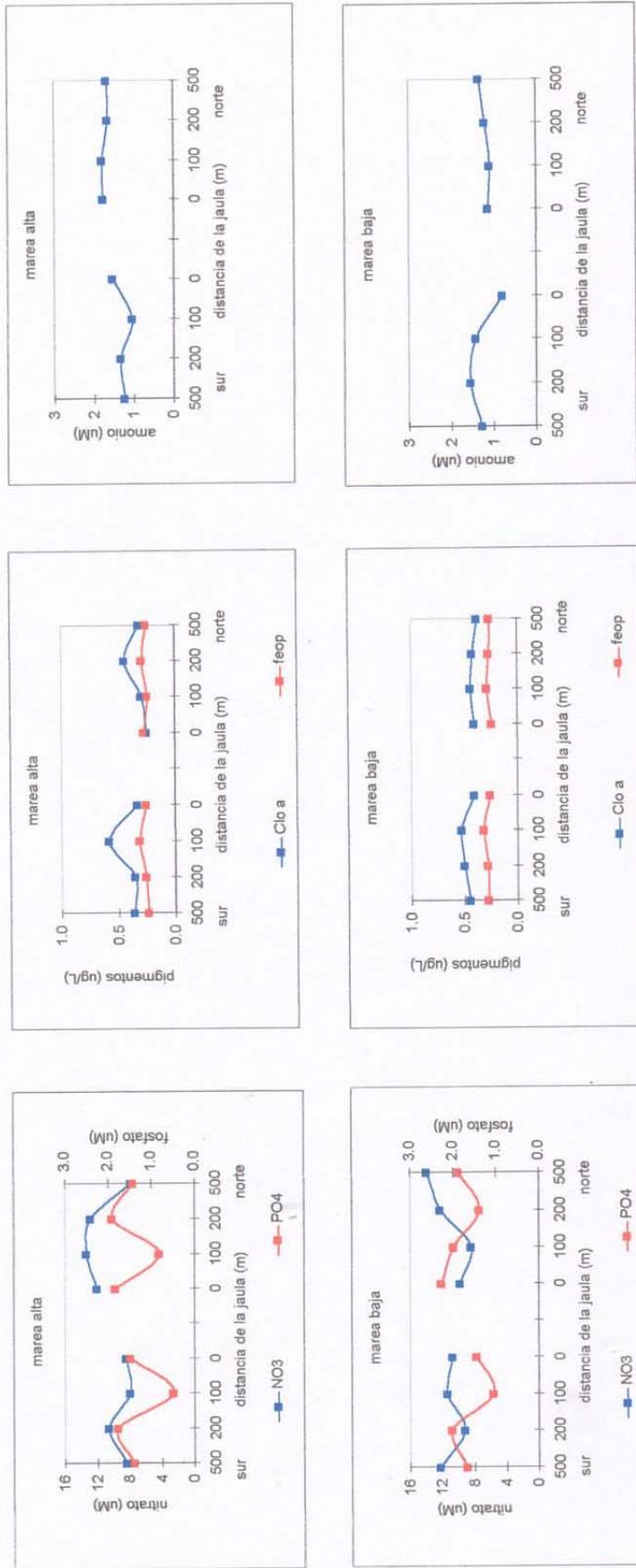


Figura 11. Diagramas de distribución, a 5 m, de nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaula. Isla LinLin, invierno de 1996.

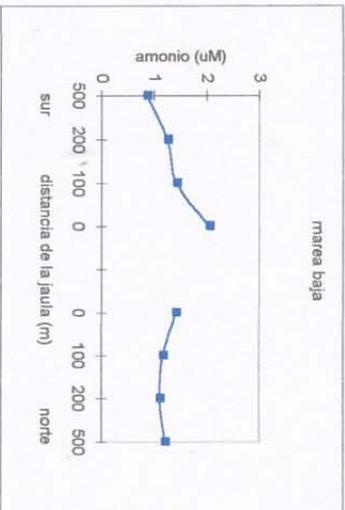
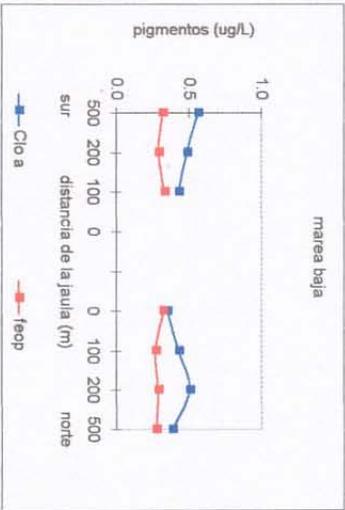
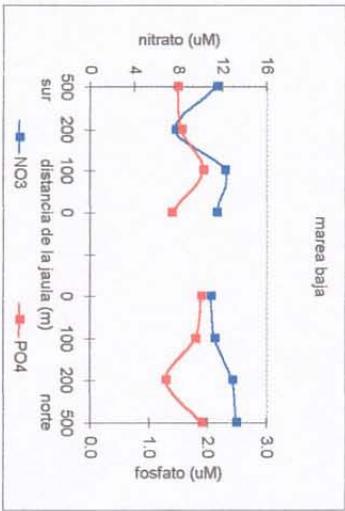
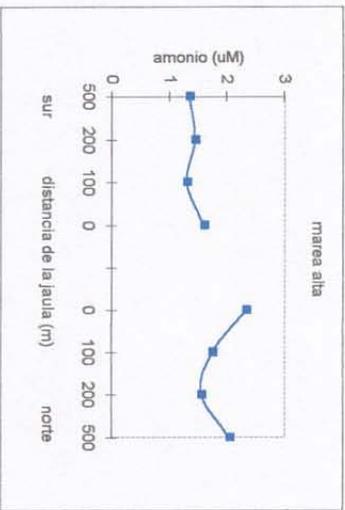
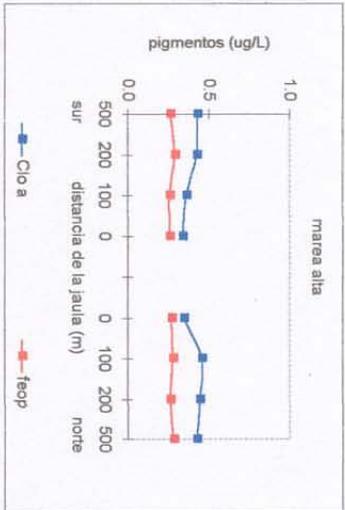
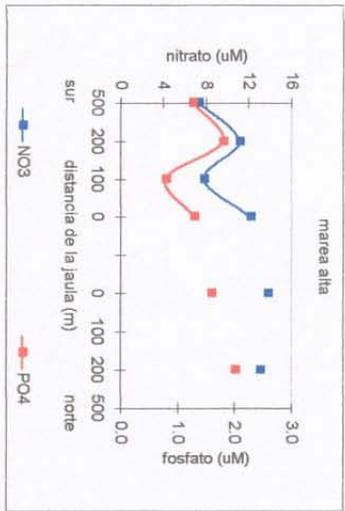


Figura 12. Diagramas de distribución, a 20 m, de las variables nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas al sur (B) y norte a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas jaula. Isla Lin Lin, Invierno de 1996.

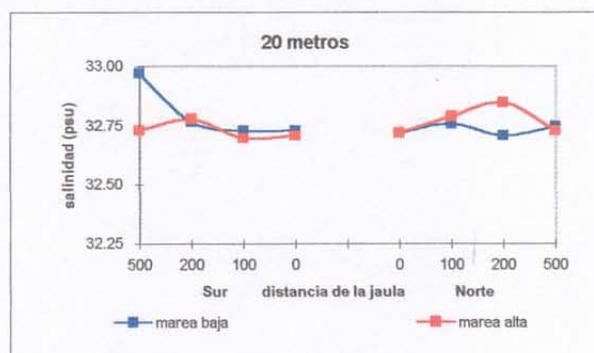
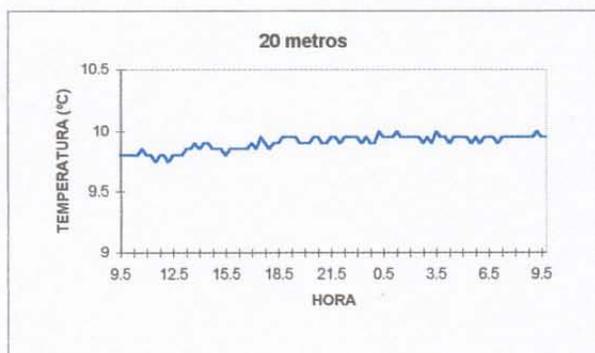
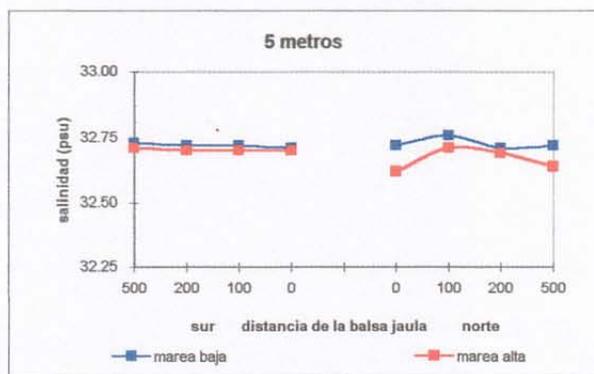
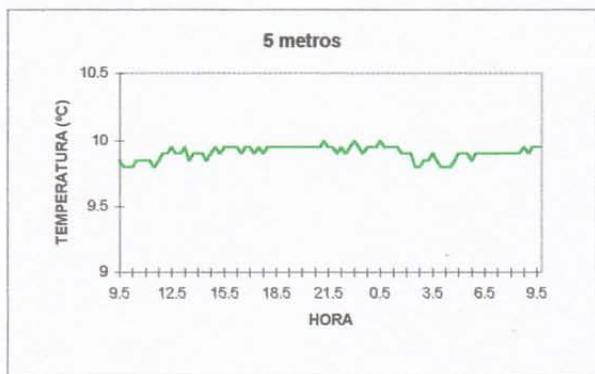
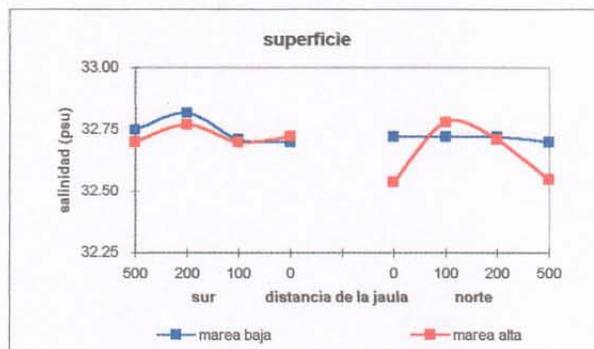
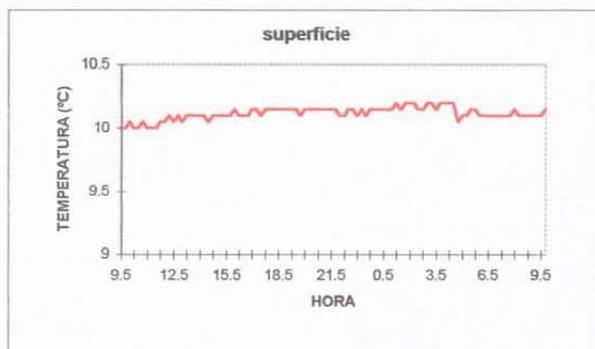


Figura 13. Distribución de la temperatura (°C) en el nivel superficial, 5 y 20 m y la distribución de la salinidad (psu) a 0, 100, 200 y 500 m de las balsas jaula. Isla Lin Lin, invierno de 1996.

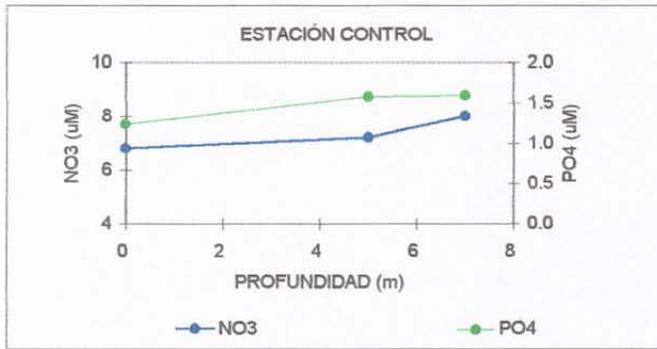


Figura 14. Diagramas de la distribución batimétrica de nitrato, fosfato y amonio ( $\mu\text{M}$ ) y pigmentos fotosintéticos ( $\mu\text{g/L}$ ), en la estación control. Isla Lin Lin, invierno de 1996

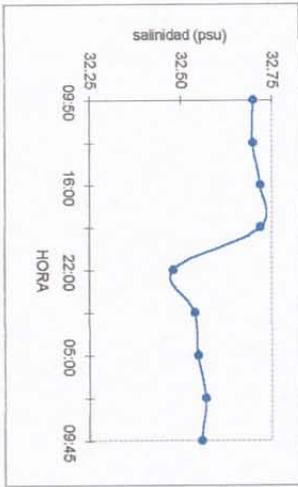
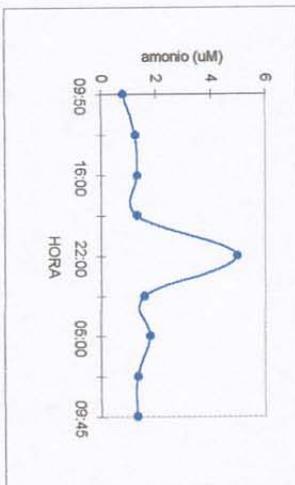
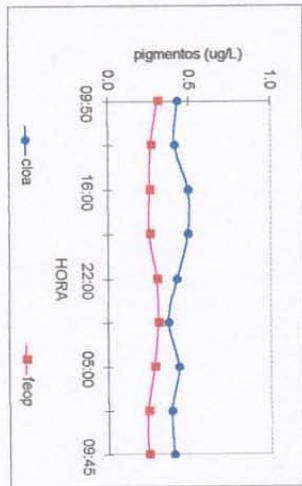
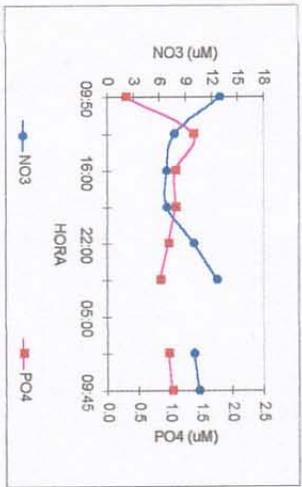


Figura 15. Variabilidad superficial en un ciclo de 24 horas, del nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura. Isla Lin Lin, Invierno de 1996.

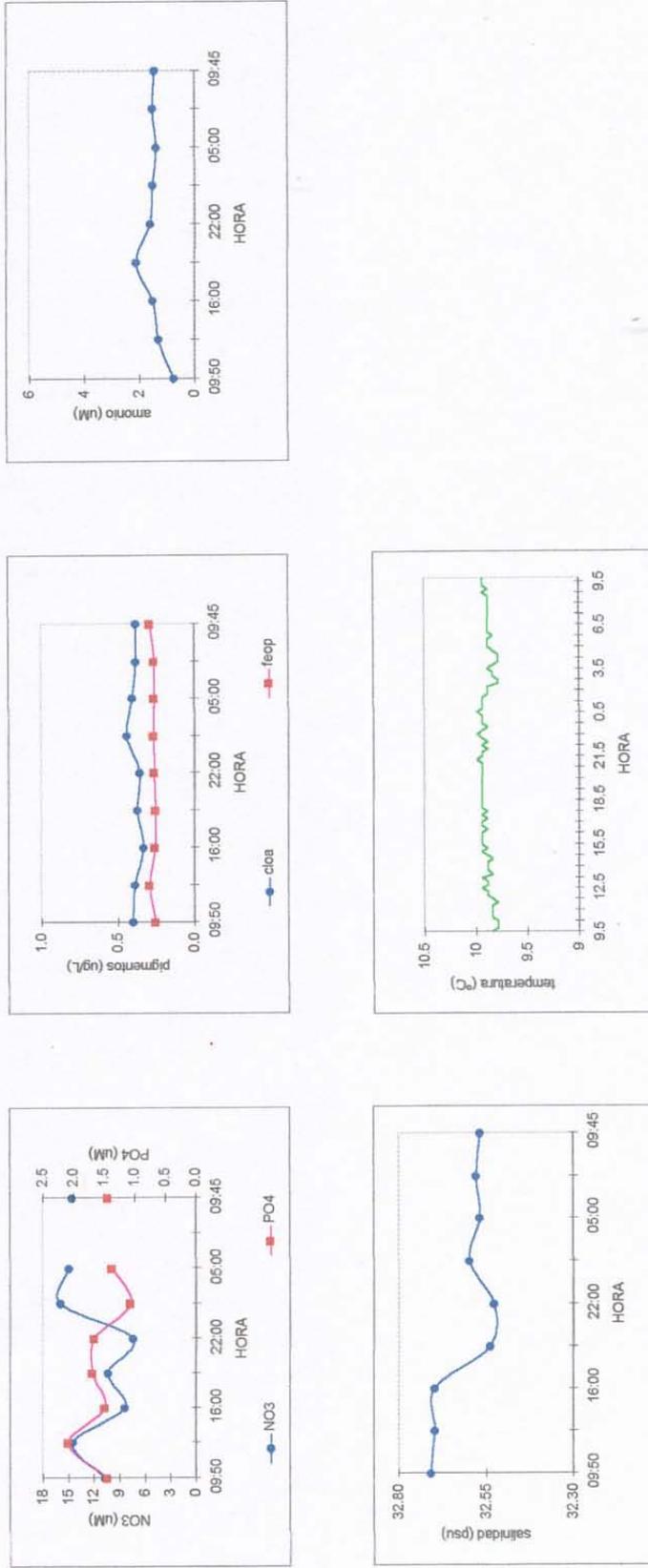


Figura 16. Variabilidad en un ciclo de 24 horas, a 5 m, del nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura. Isla Lin Lin, Invierno de 1996.

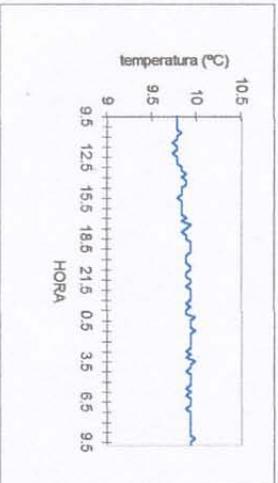
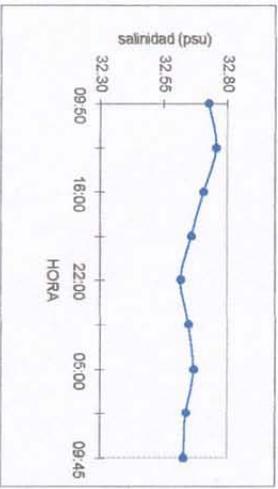
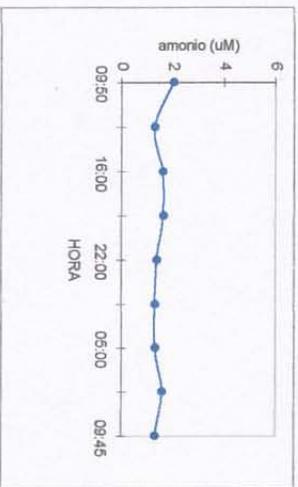
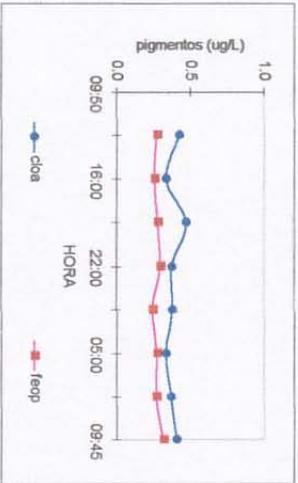
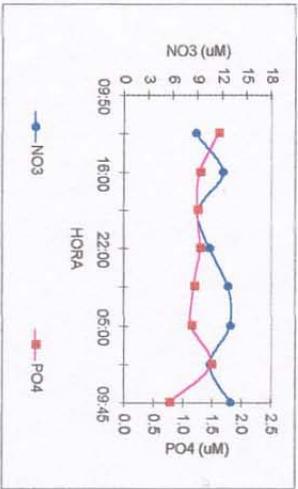


Figura 17. Variabilidad en un ciclo de 24 horas, a 20m, del nitrato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura. Isla Lin Lin, Invierno de 1996.

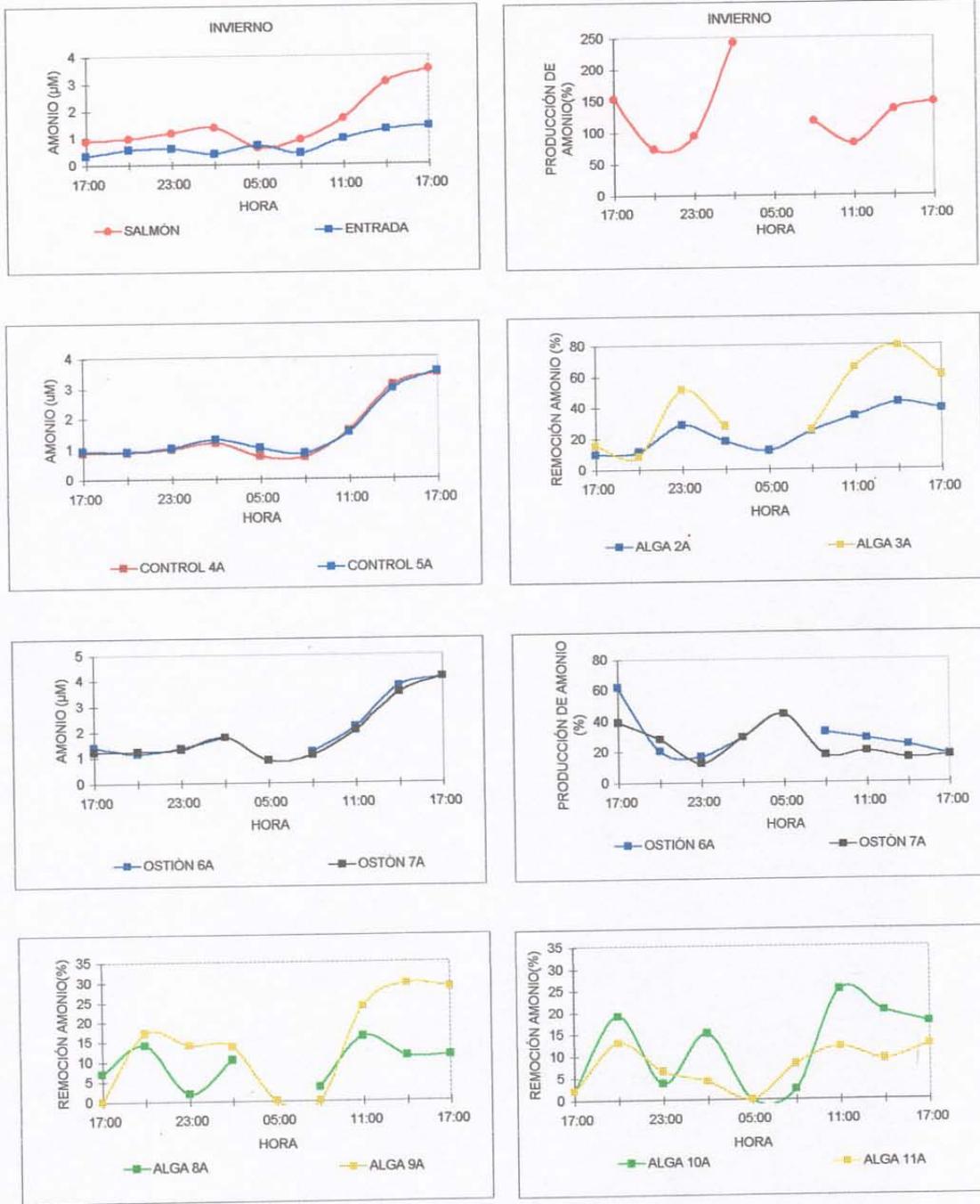


Figura 18. Diagramas de producción de amonio ( $\mu\text{M}$ ) y utilización/producción de amonio (%), en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, invierno de 1996.

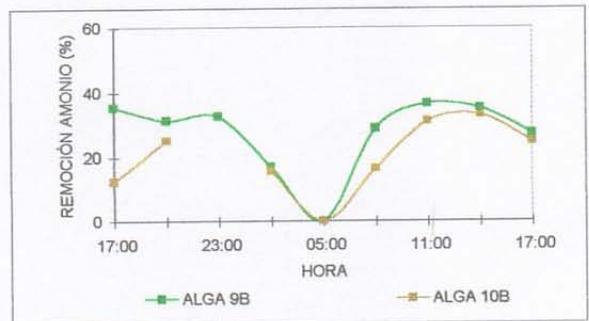
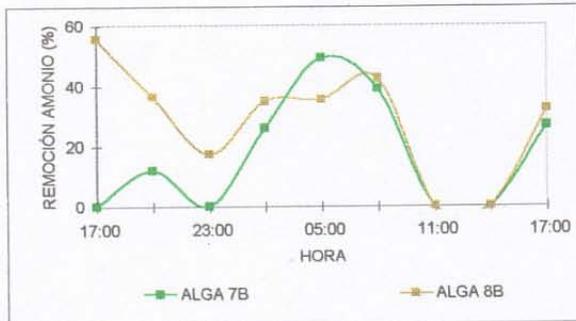
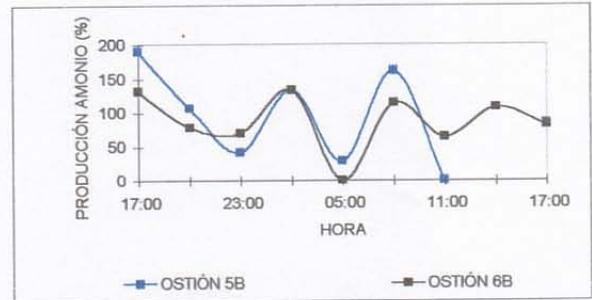
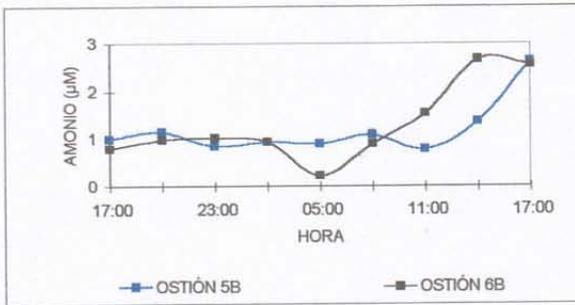
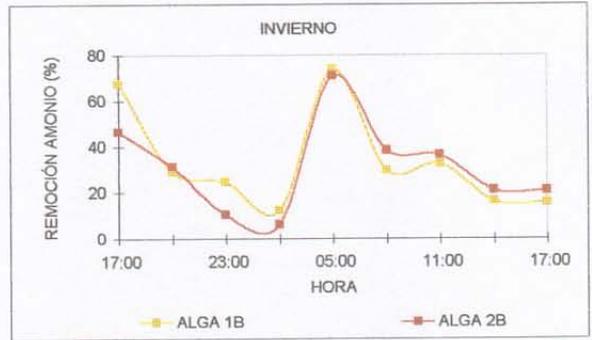
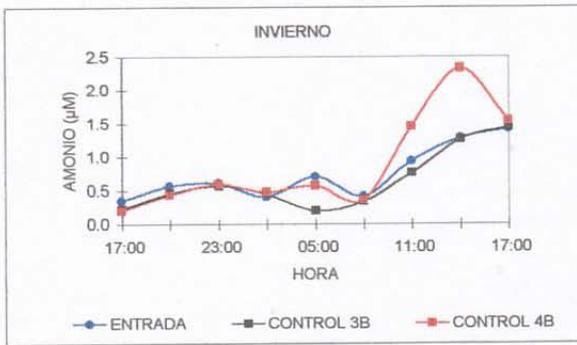


Figura 19. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y excreción/utilización (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea B, en invierno de 1996.

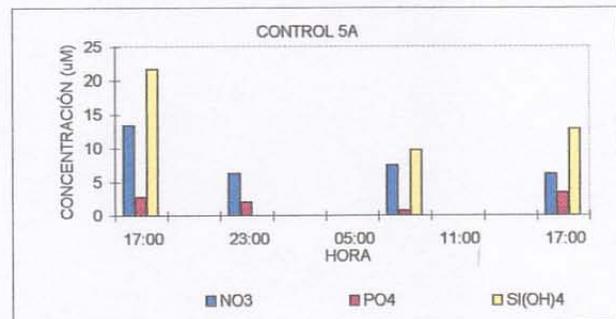
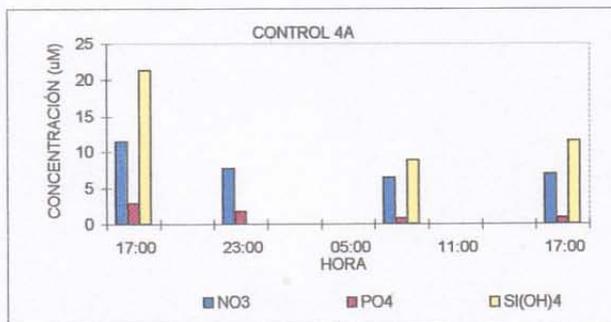
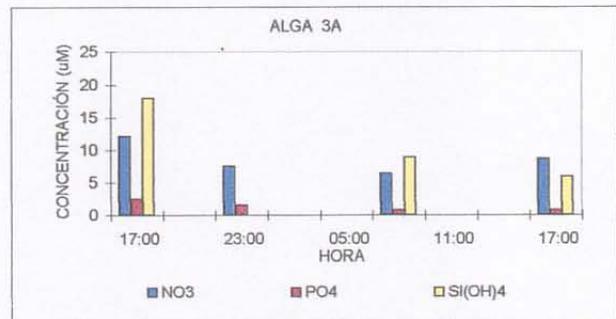
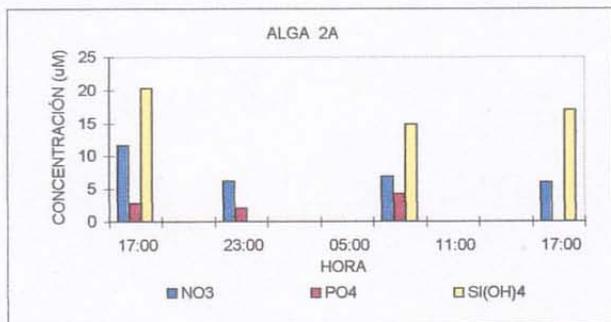
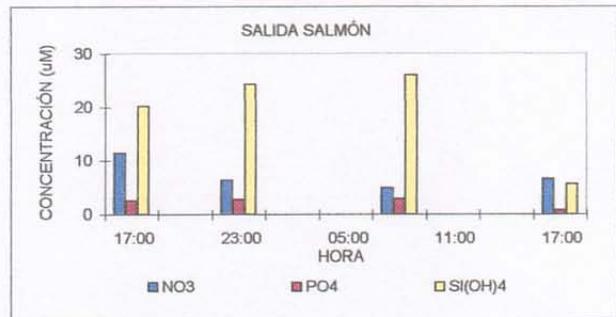
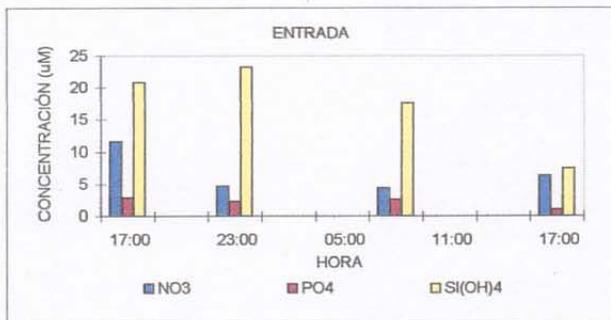


Figura 20. Variación diurna nocturna de los nutrientes nitrato, fosfato y silicato ( $\mu\text{M}$ ) en condiciones semi controladas, en la línea A, invierno de 1996.

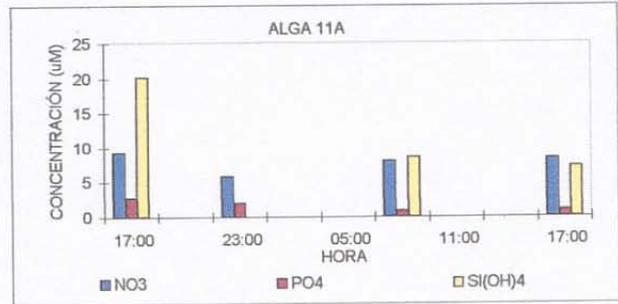
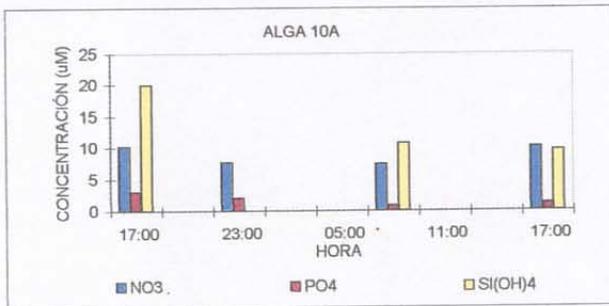
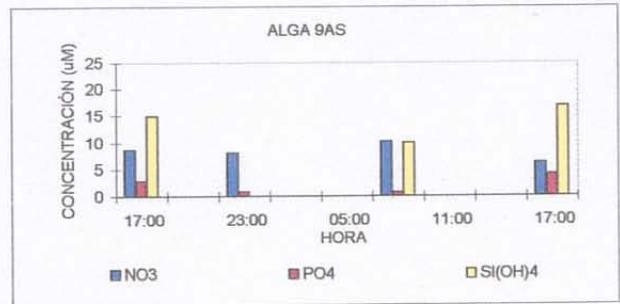
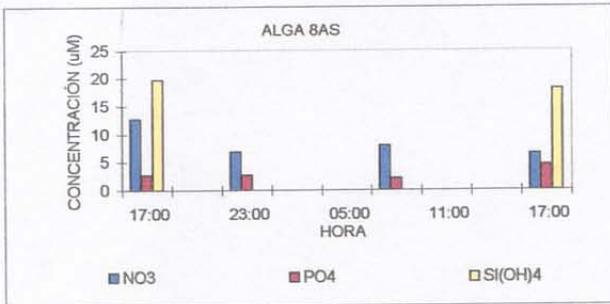
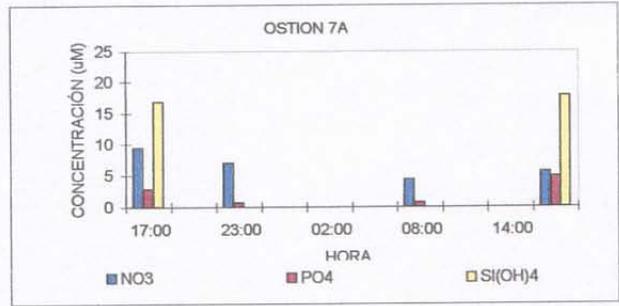
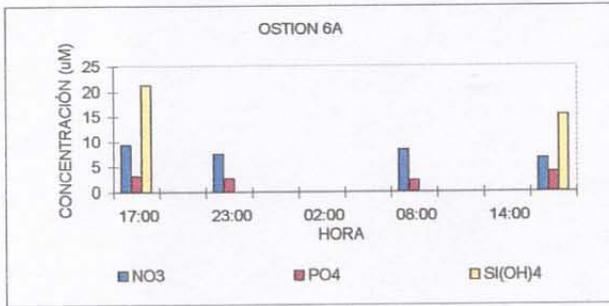


Figura 21. Variación diurno nocturna de los nutrientes nitrato, fosfato y silicato ( $\mu\text{M}$ ) en condiciones semi controladas, en la línea A, invierno de 1996.

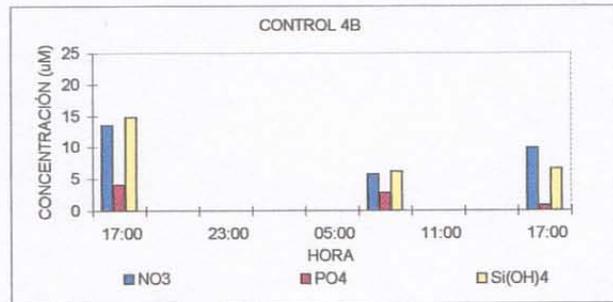
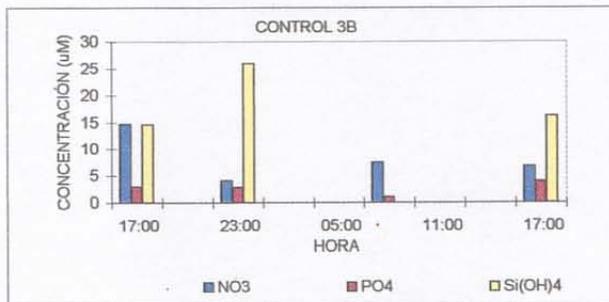
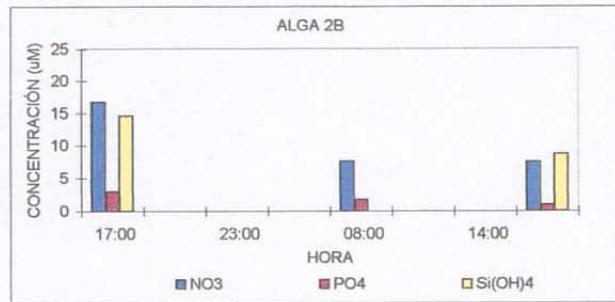
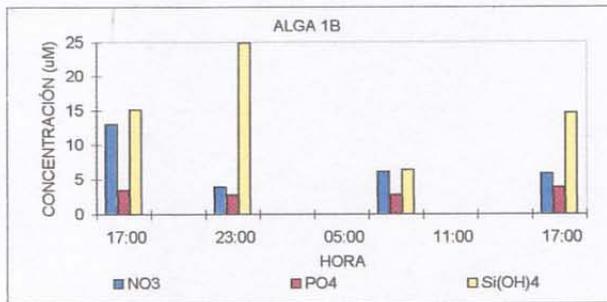
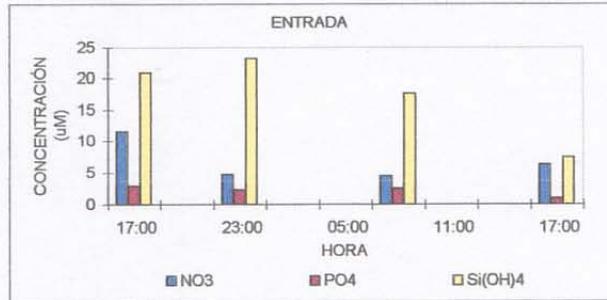


Figura 22. Variación diurno-nocturna de los nutrientes (µM), en la línea B, en condiciones semi-controladas, invierno de 1996.

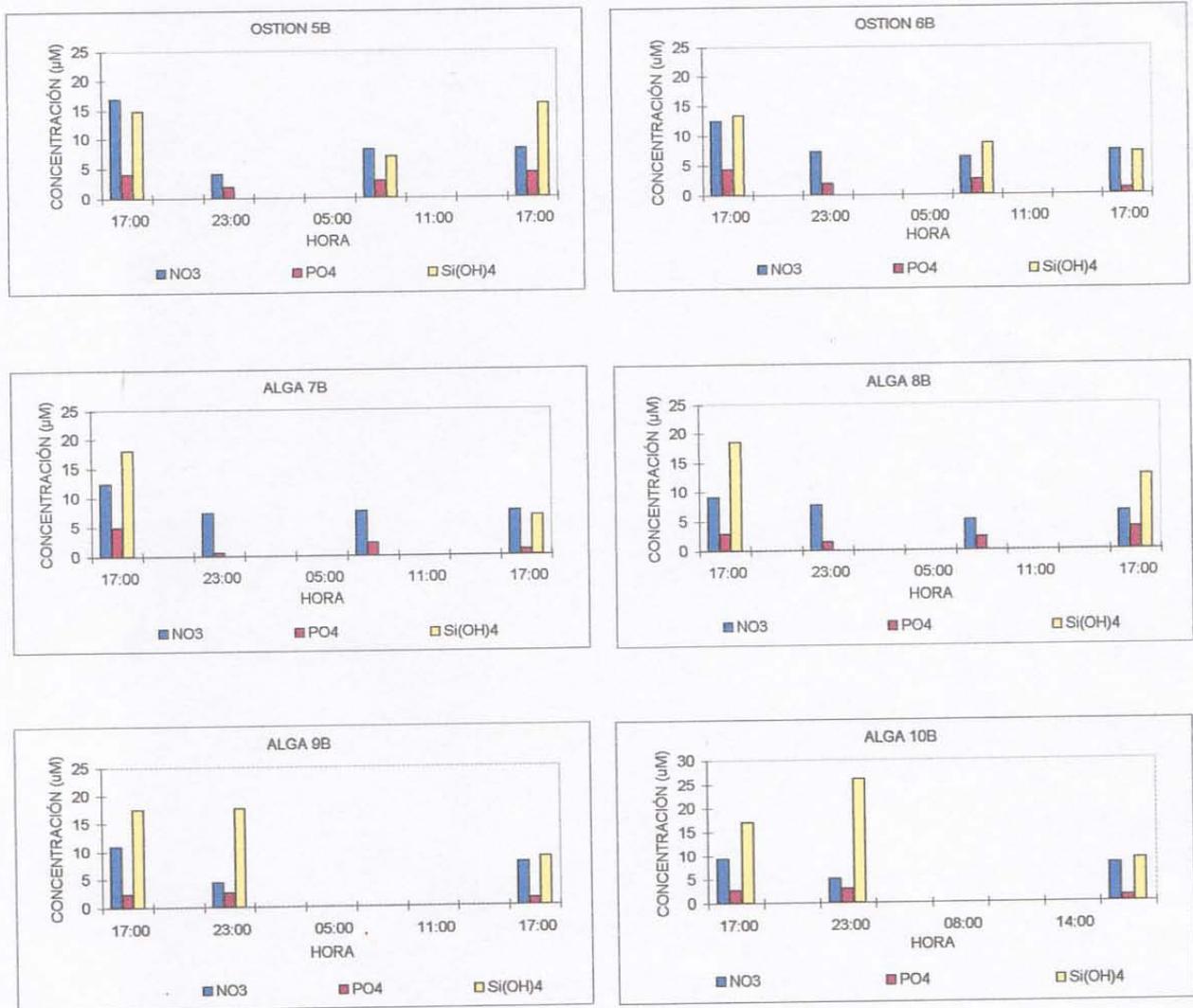


Figura 23. Variación diurno-nocturna de los nutrientes ( $\mu\text{M}$ ), en la línea B, en condiciones semi-controladas, invierno de 1996.

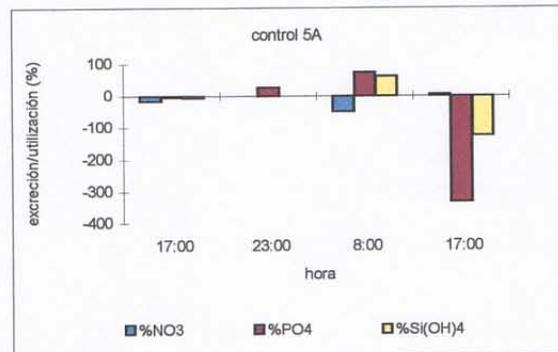
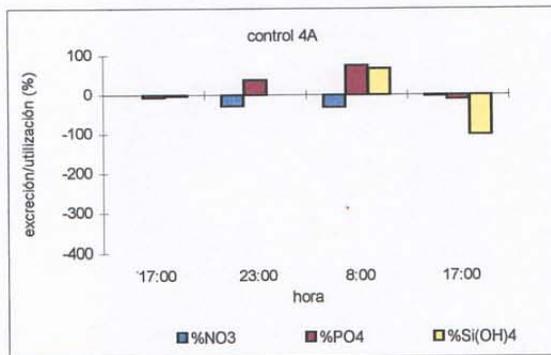
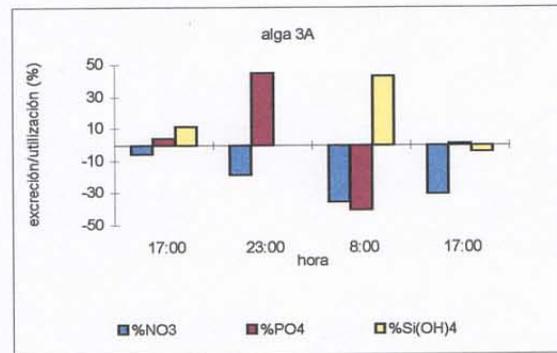
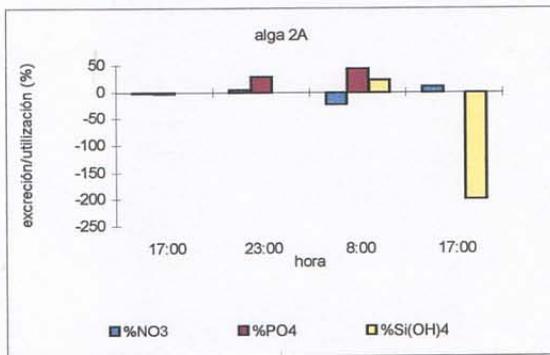
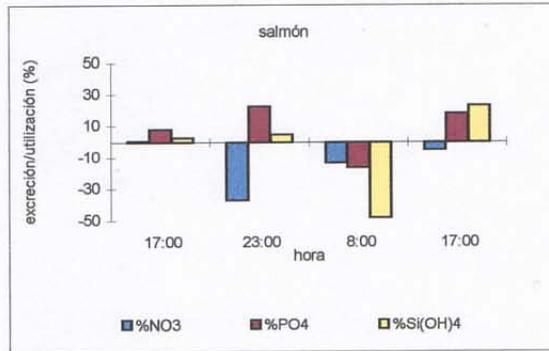


Figura 24. Diagramas del porcentaje de excreción (%<0) y utilización de nutrientes (%>0), en la línea A, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

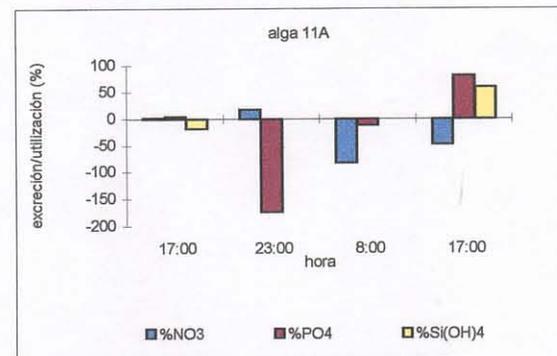
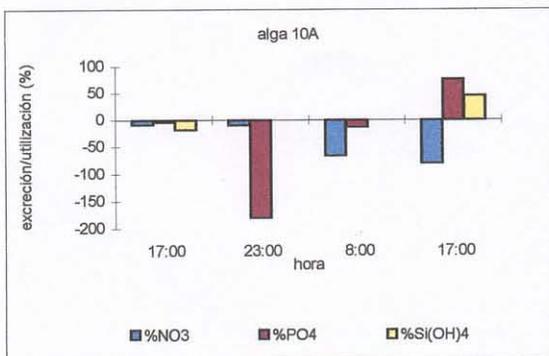
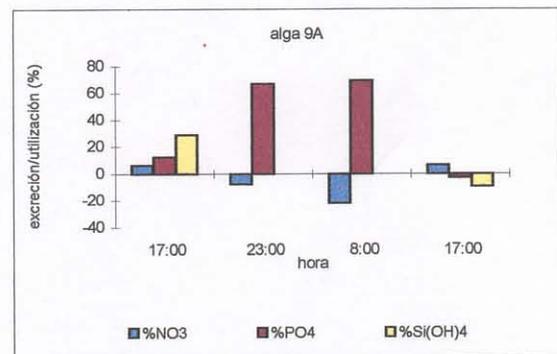
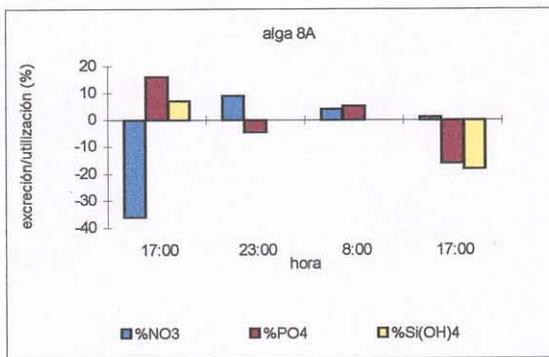
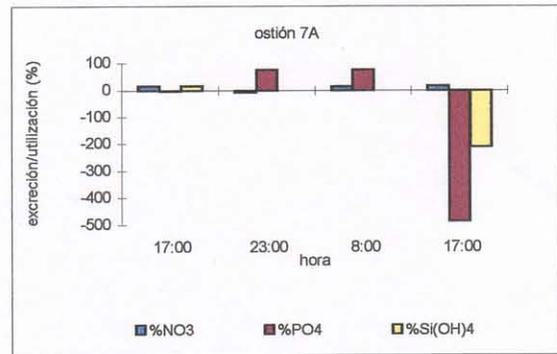
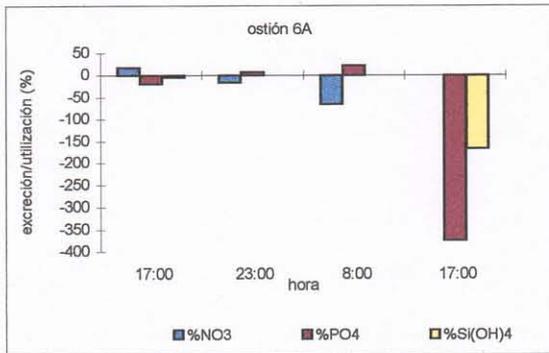


Figura 25. Diagramas del porcentaje de excreción ( $\% < 0$ ) y utilización de nutrientes ( $\% > 0$ ), en la línea A, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

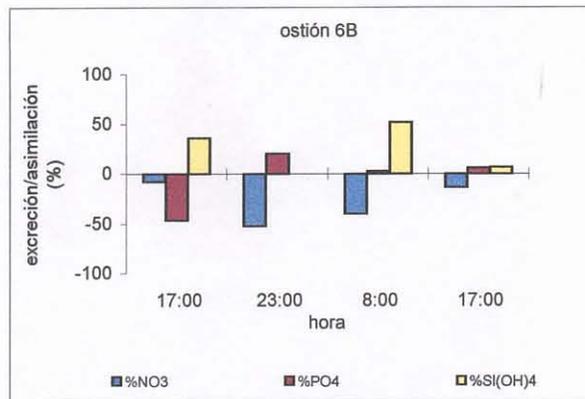
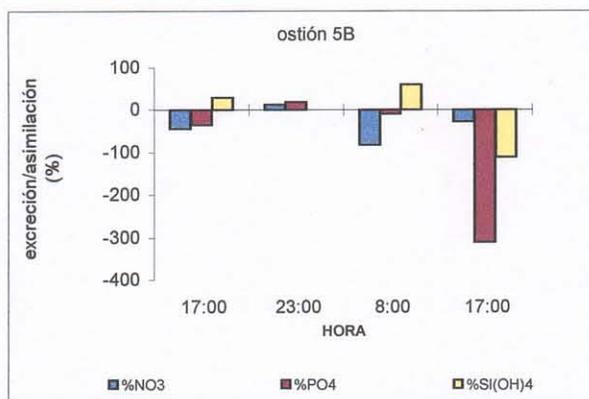
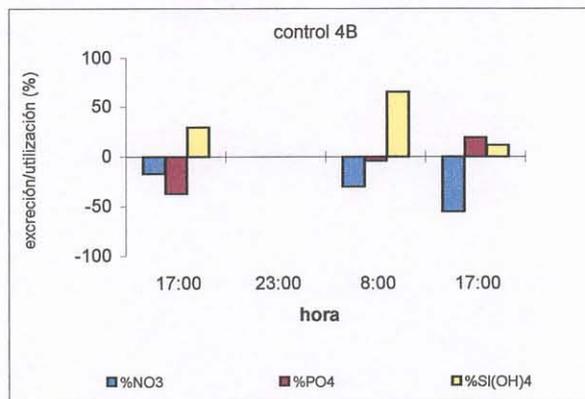
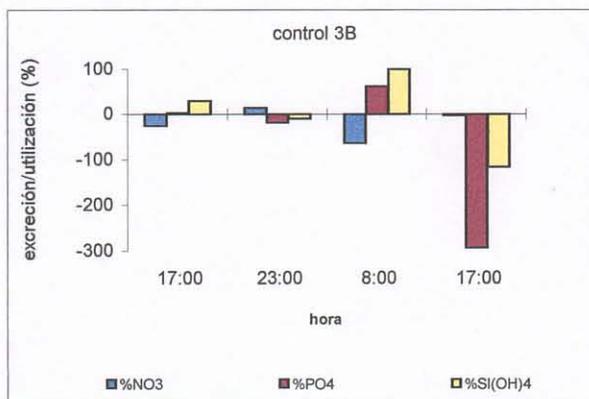
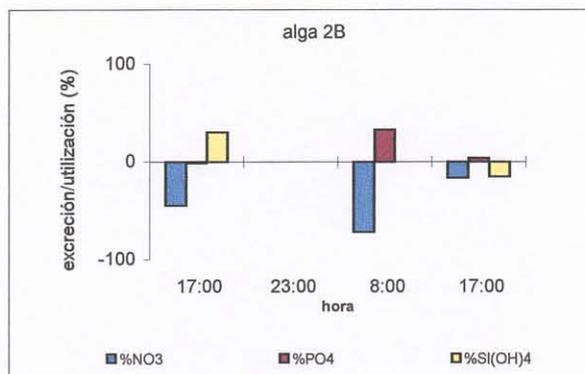
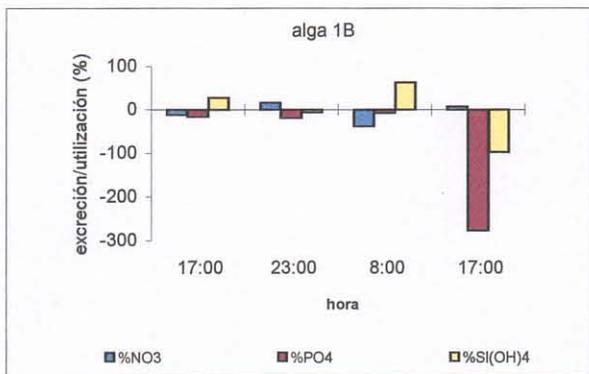


Figura 26. Diagramas del porcentaje de excreción (%<0) y utilización (%>0) de nutrientes, en la línea B, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

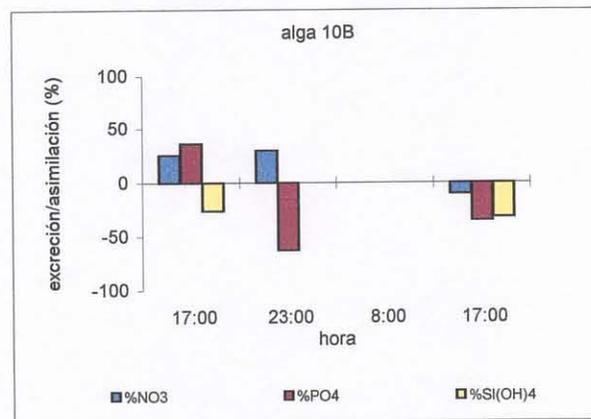
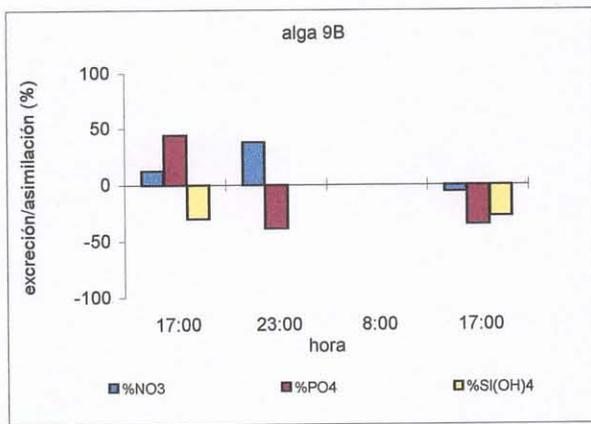
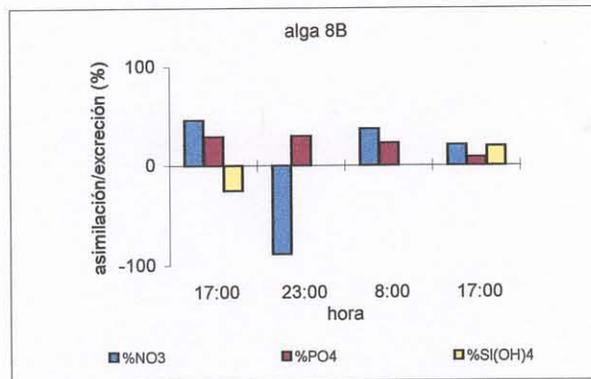
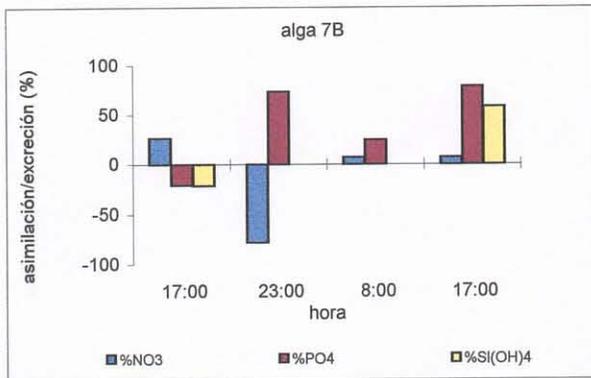


Figura 27. Diagramas del porcentaje de excreción ( $\% < 0$ ) y utilización ( $\% > 0$ ) de nutrientes, en la línea B, en condiciones semi-controladas. Hueihue, invierno de 1996.

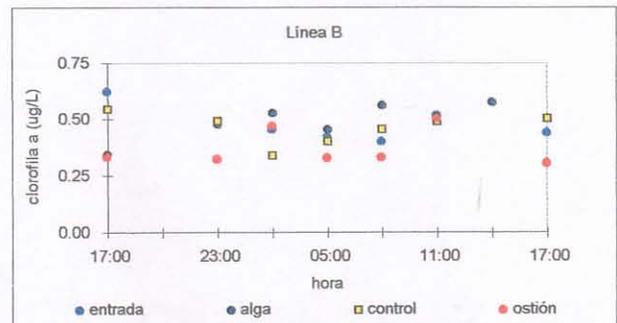
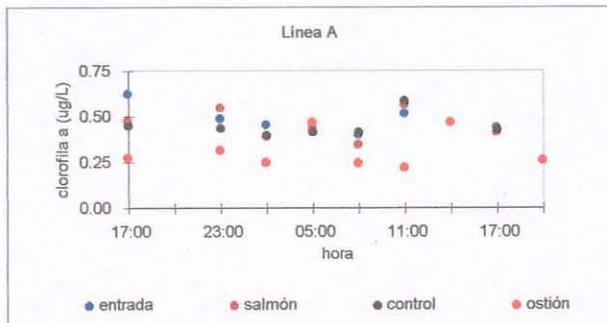
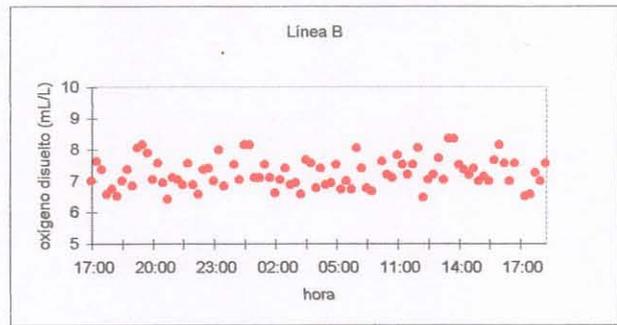
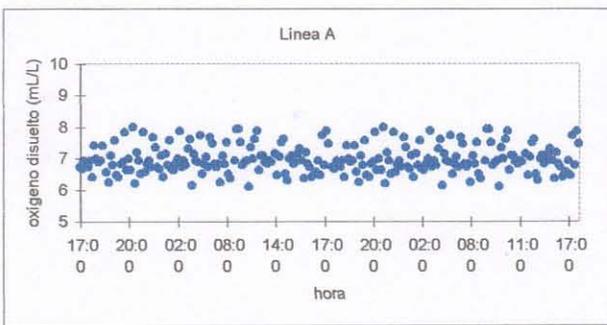
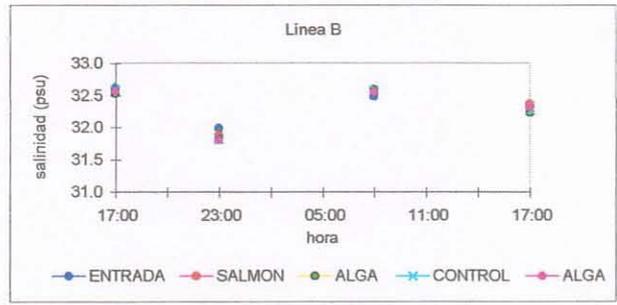
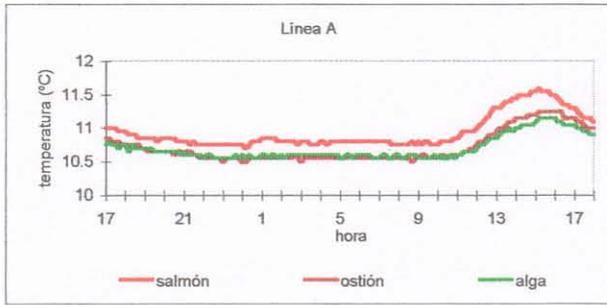


Figura 28. Diagramas de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto (línea A y B) y clorofila a (líneas A y B), en el sistema semi-controlado. Hueihue, invierno de 1996.

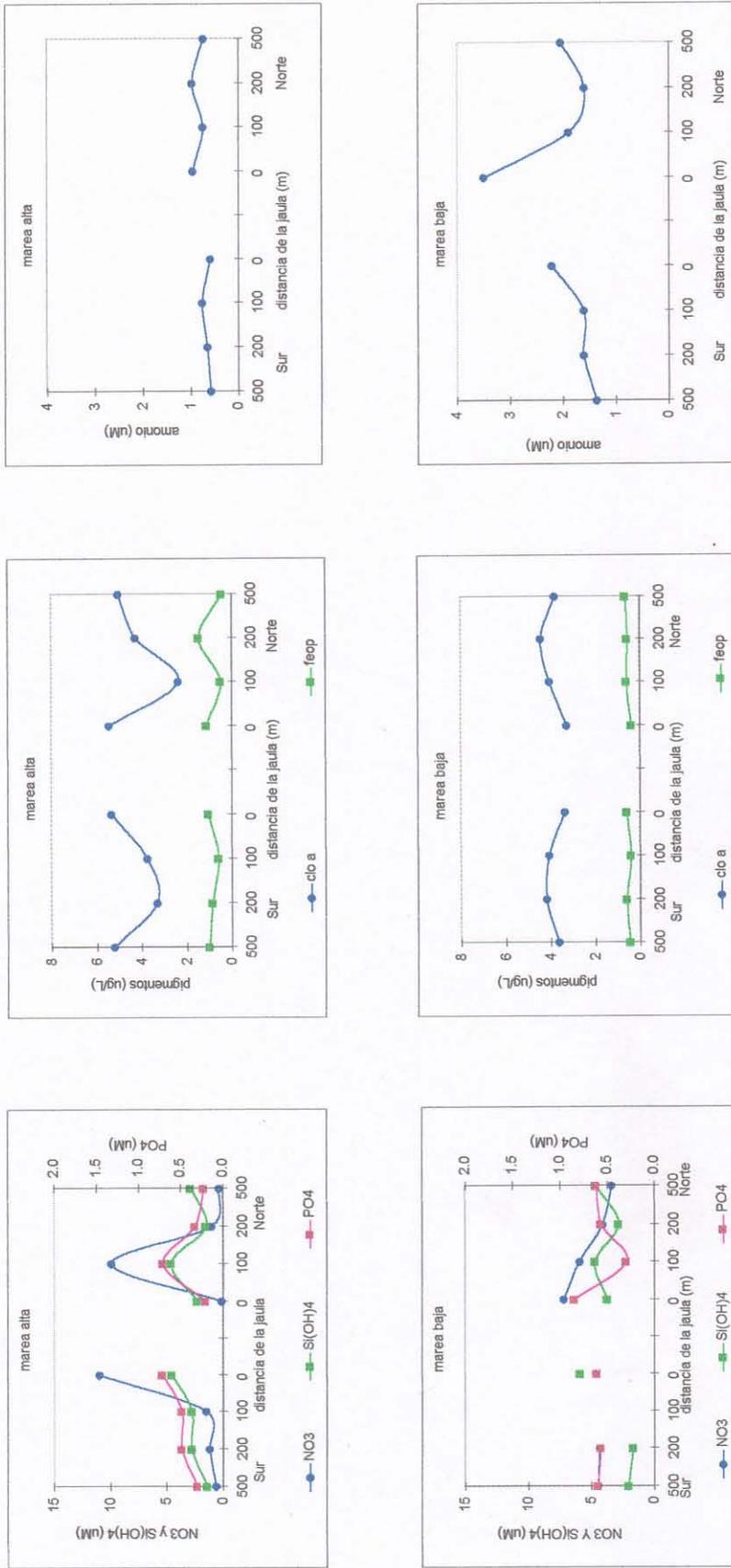


Figura 29. Diagramas de distribución a 0 m del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amortio, en las transectas sur(B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas. Isla Lin Lin, primavera de 1996.

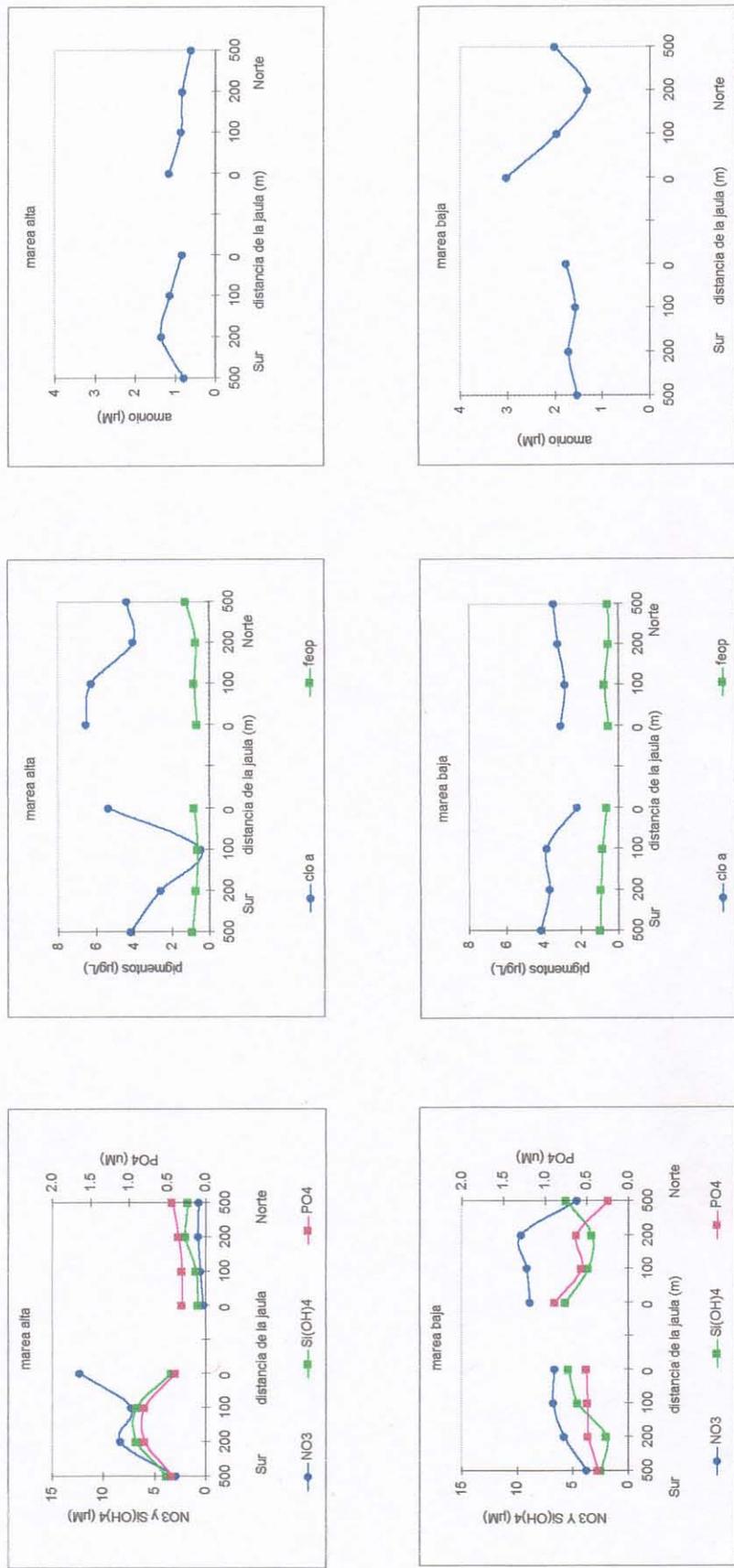


Figura 30. Diagramas de distribución a 5 m, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur(B) y norte(A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas. Isla LinLin, primavera de 1996.

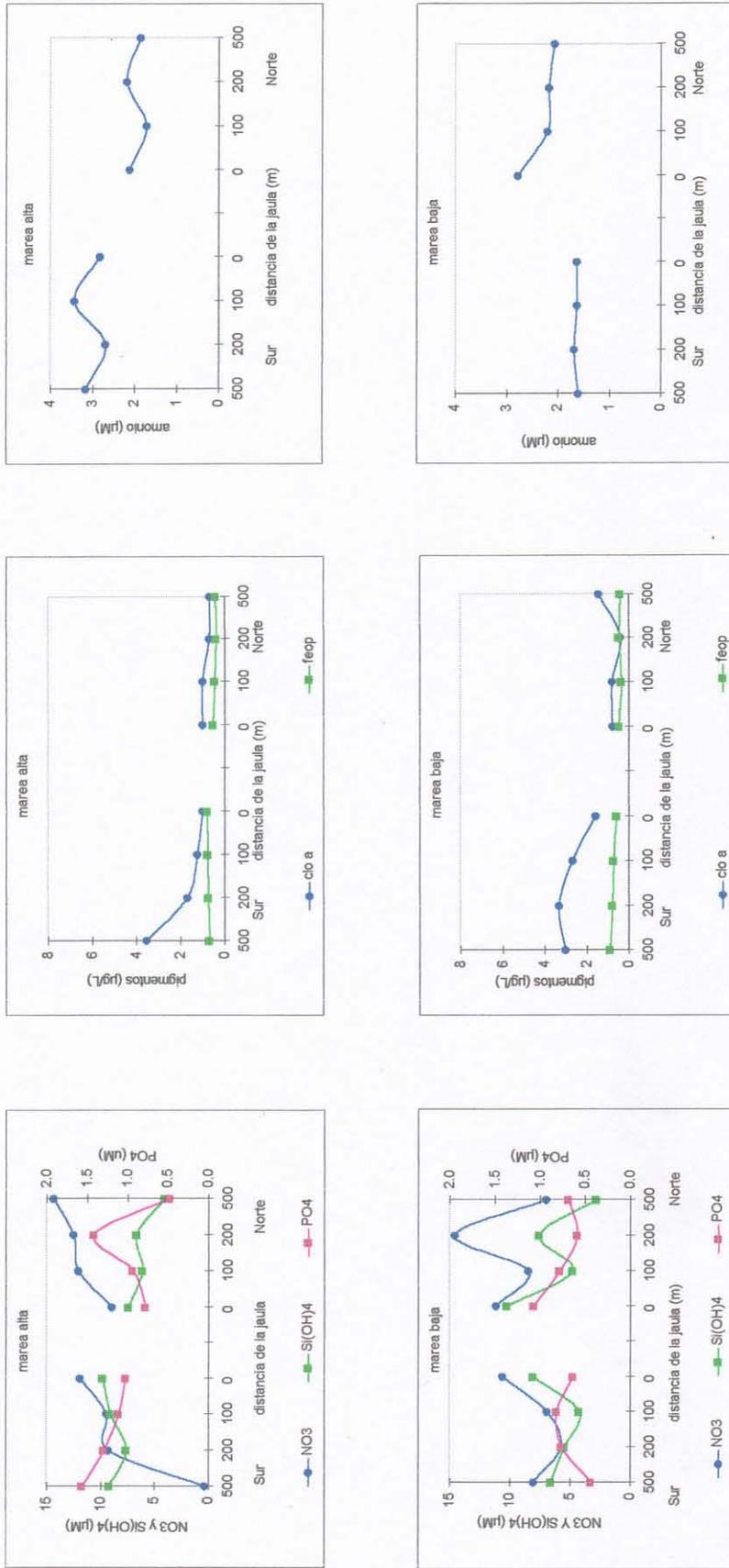


Figura 31. Diagramas de distribución a 15 m, de nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur(B) y norte(A), a 0, 100, 200 y 500 m de las balsas.LinLin, primavera de 1996.

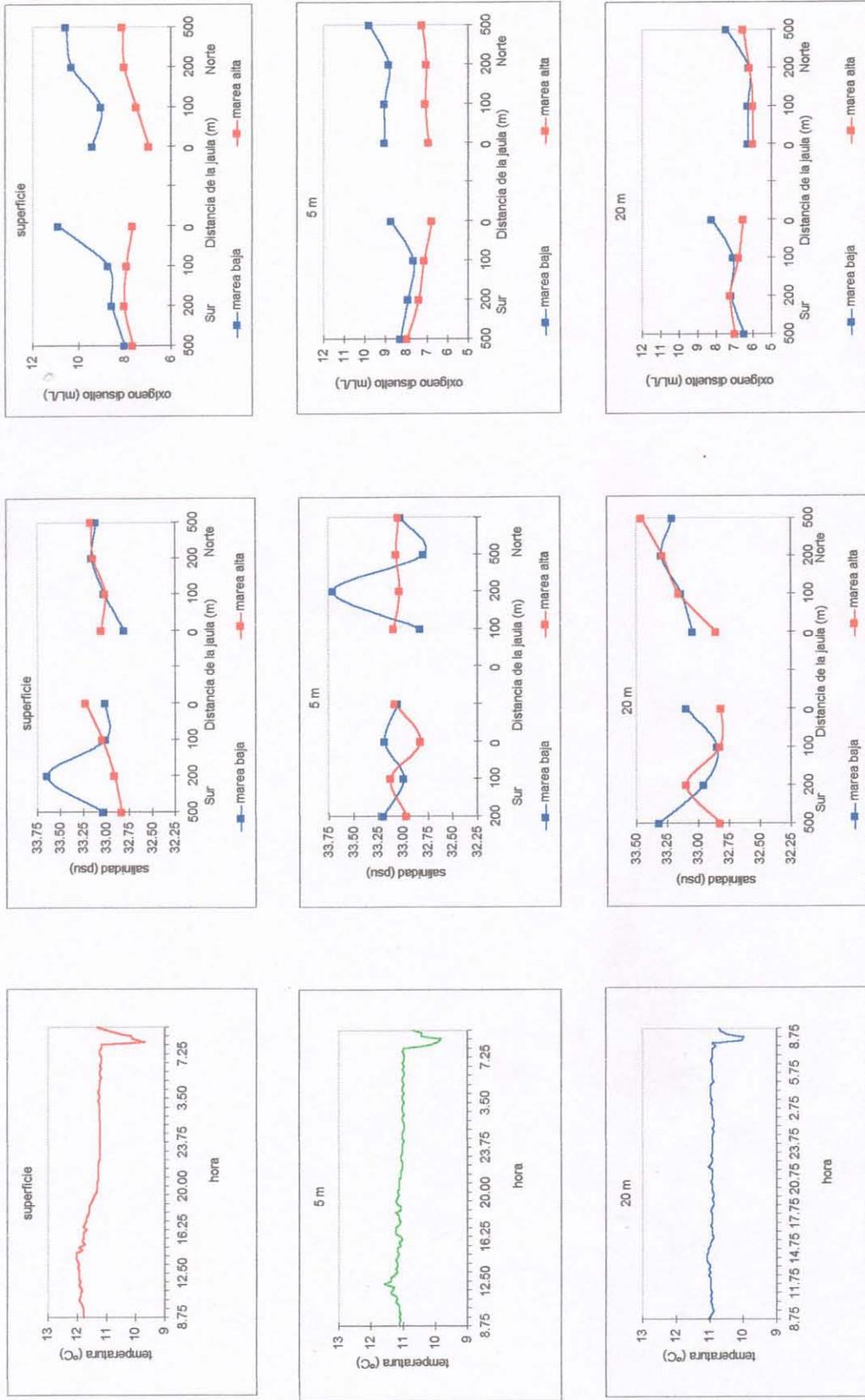


Figura 32. Distribución de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, a 0, 5 y 20m y la distribución de la salinidad a 0, 100, 200 y 500m de distancia de las balsas. Isla LinLin, primavera de 1996.

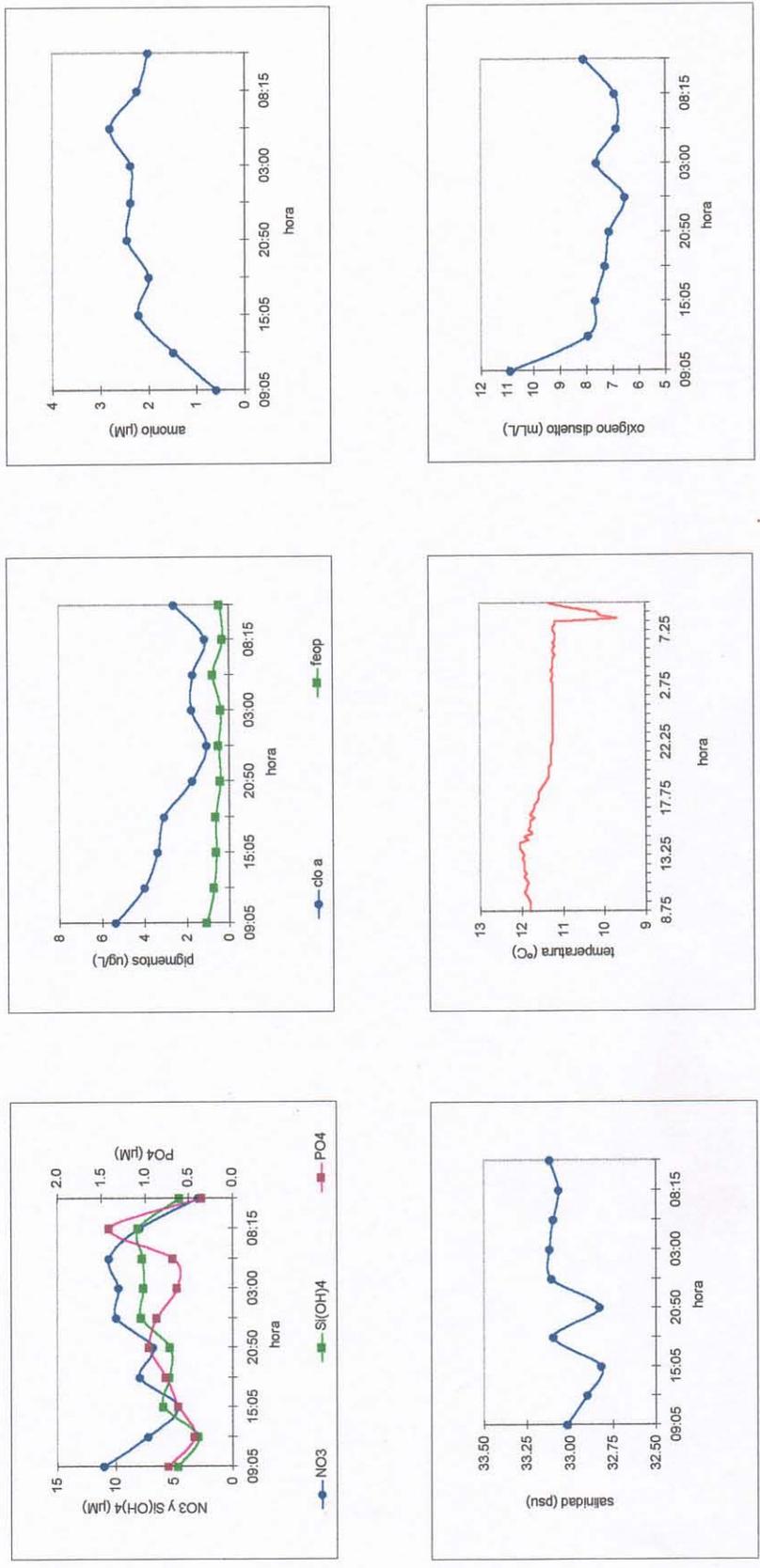


Figura 33. Variación superficial, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, primavera de 1996.

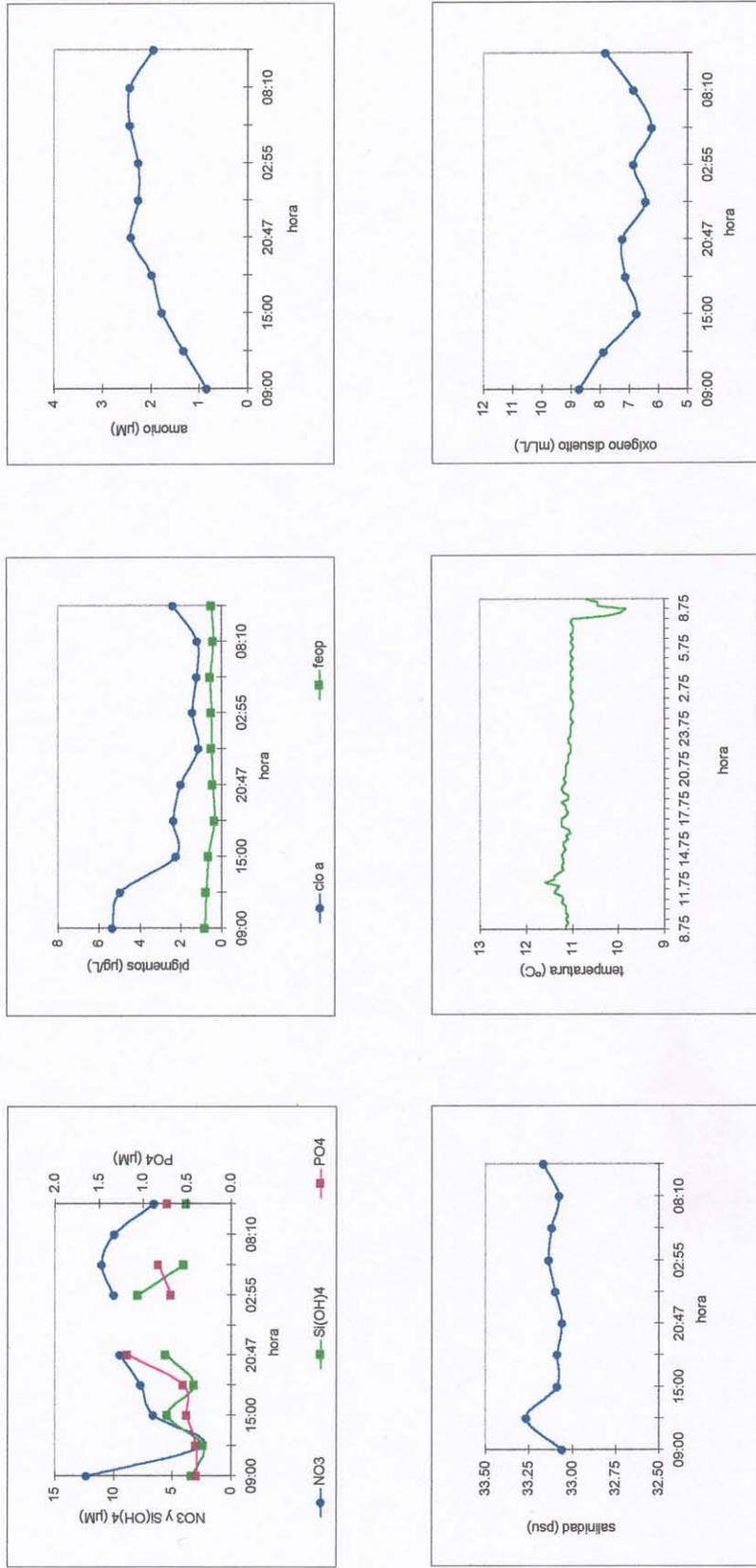


Figura 34. Variación a 5 m, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, primavera de 1996.

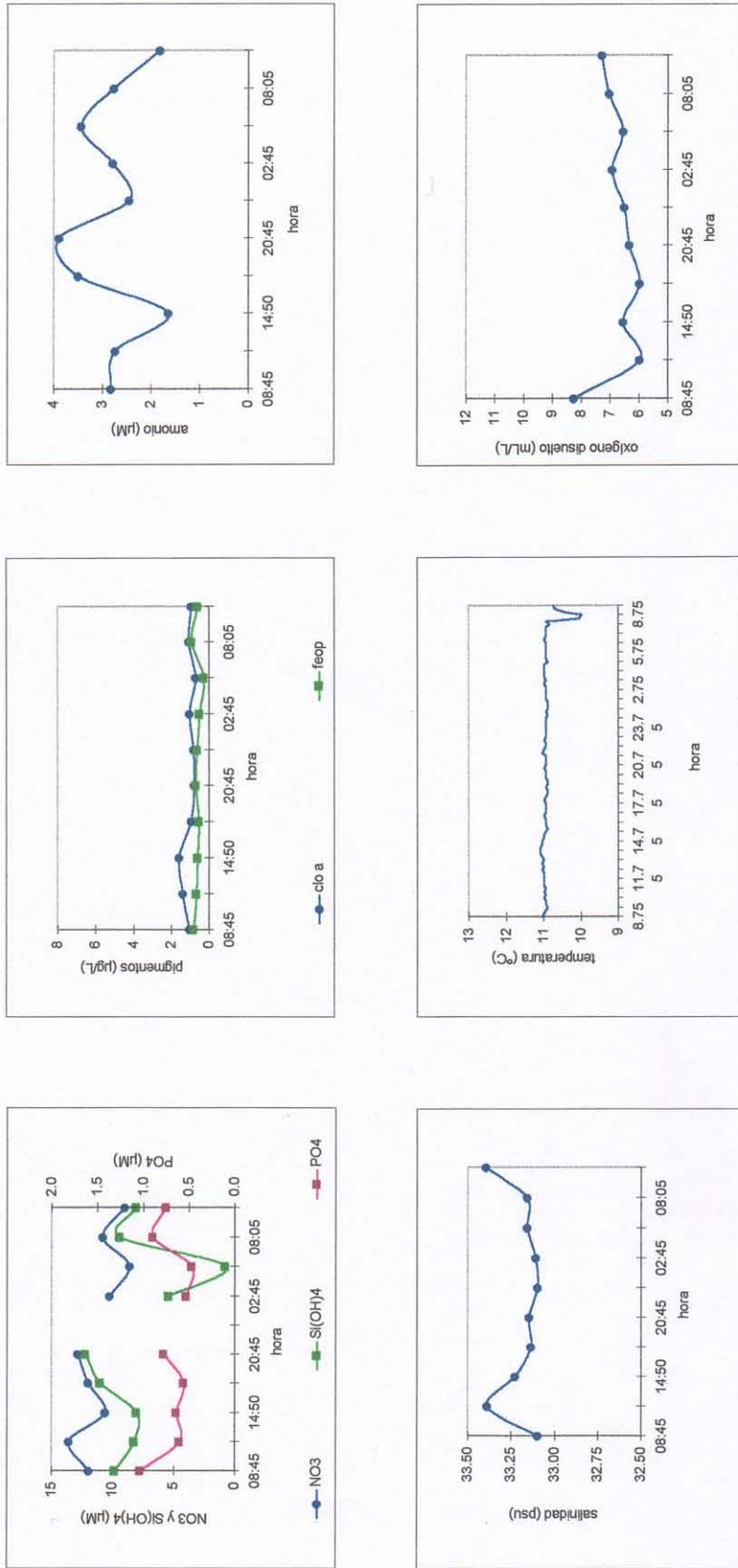


Figura 35. Variación a 20 m, en un ciclo de 24 horas, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, primavera de 1996.

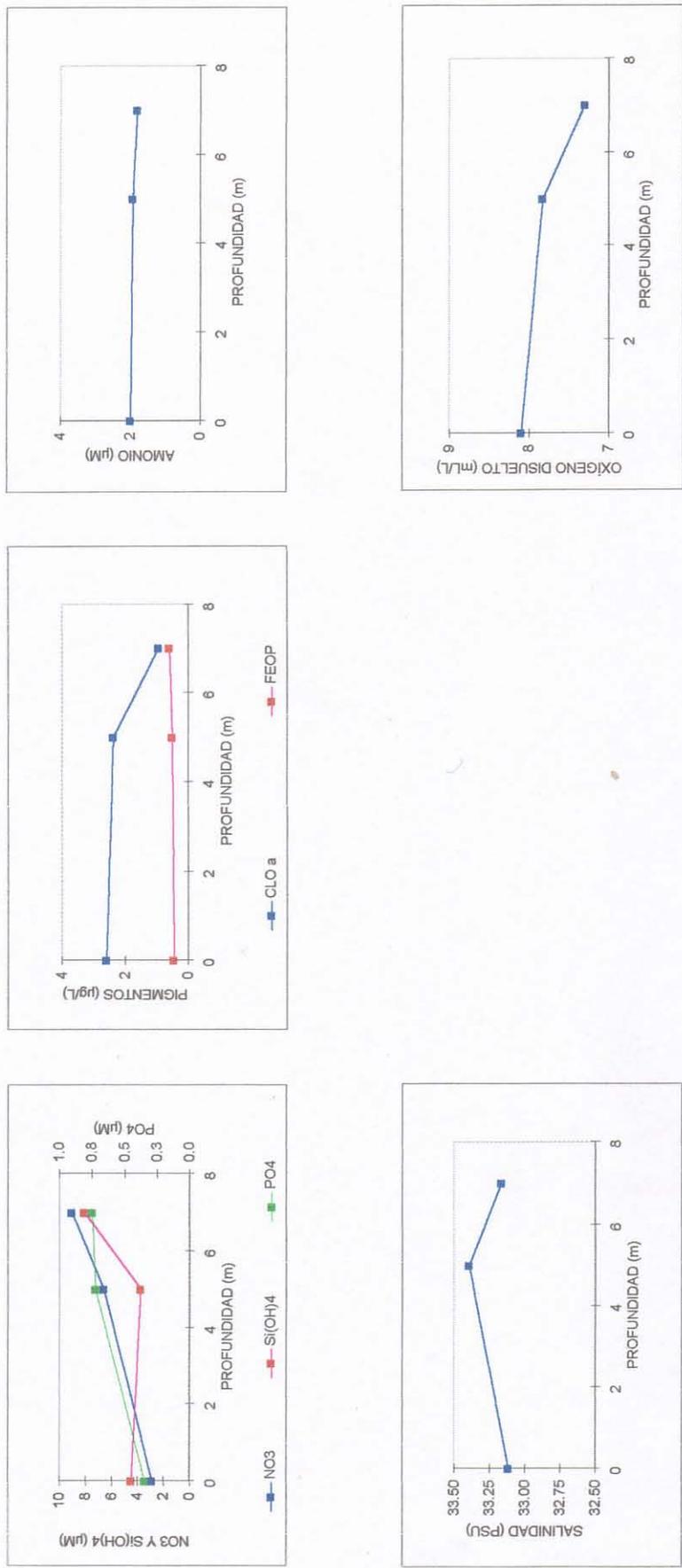


Figura 36. Diagramas de distribución batimétrica de nitrato, silicato, clorofila, feopigmento, salinidad y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, primavera de 1996.

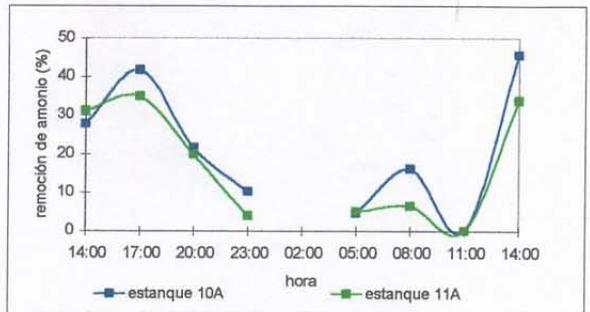
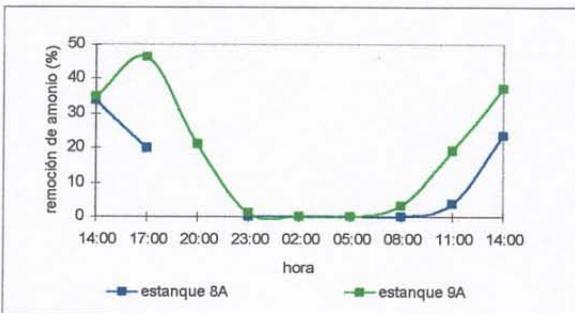
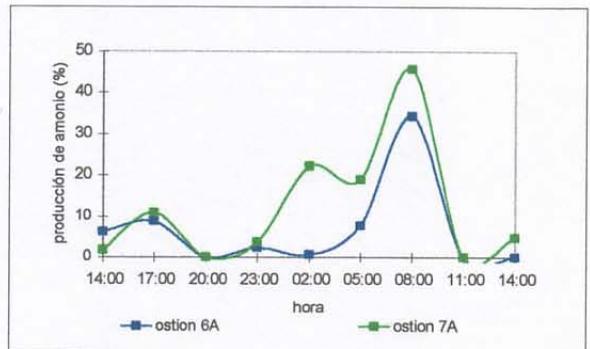
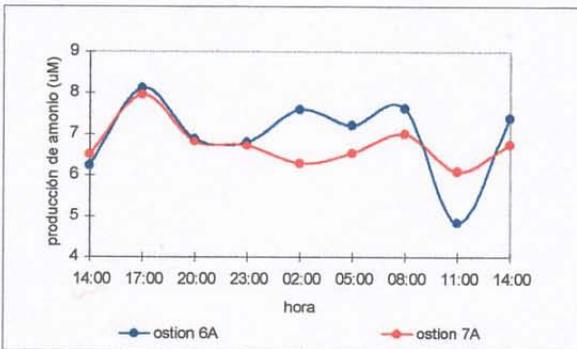
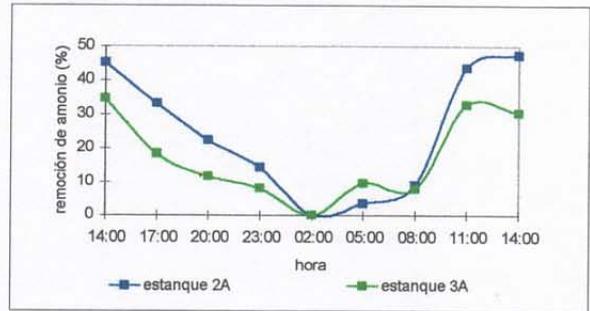
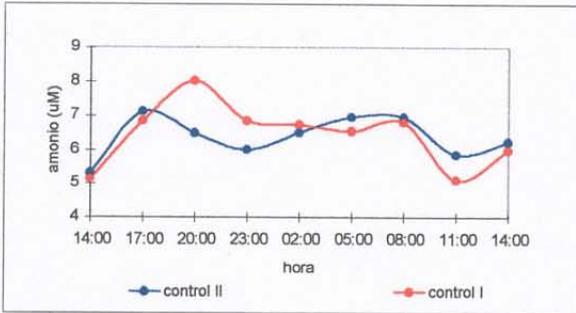
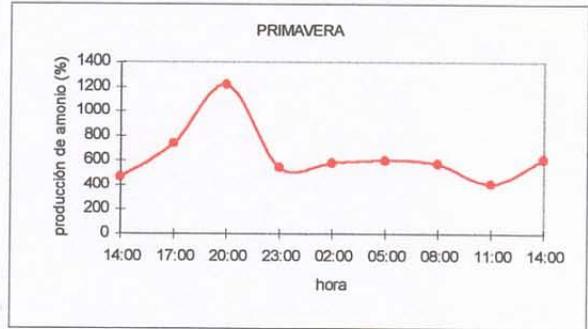
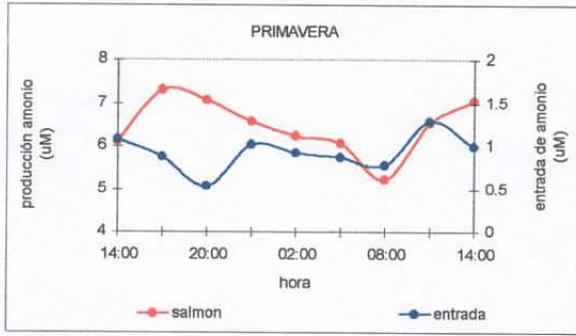


Figura 37. Diagramas de producción (uM) y utilización/producción (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, primavera de 1997.

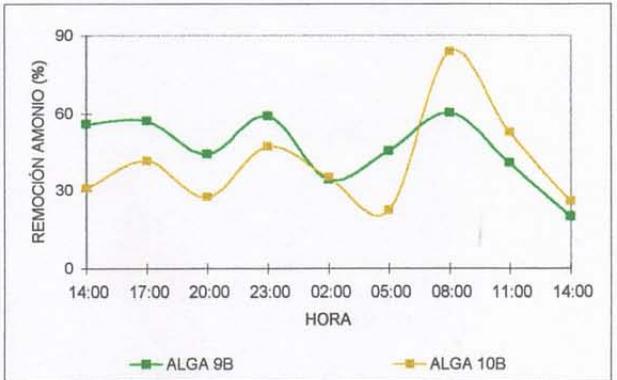
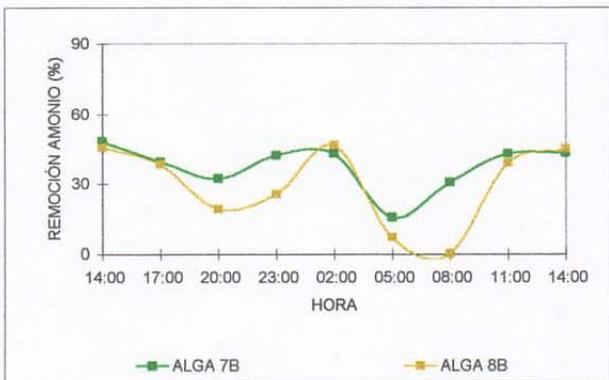
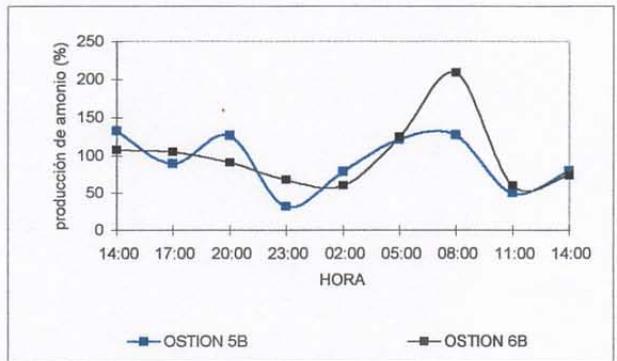
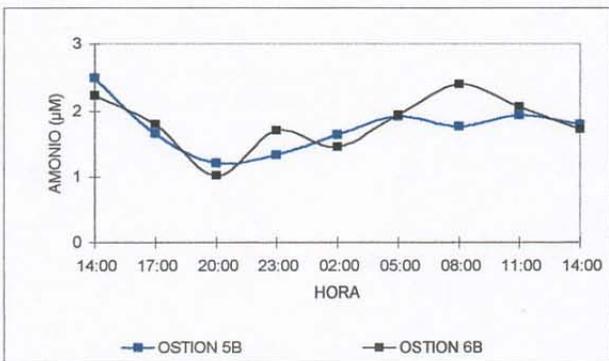
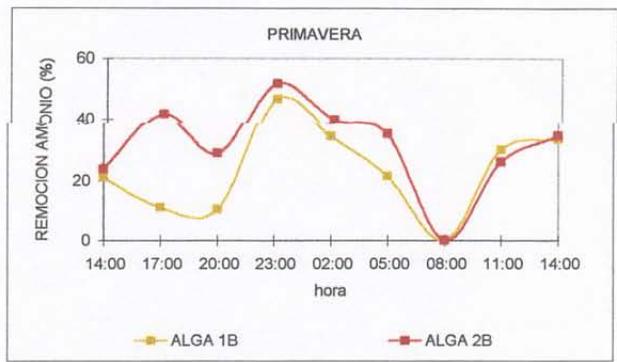
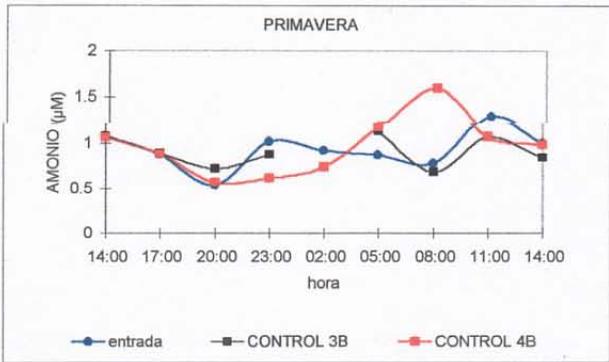


Figura 38. Diagramas de producción (uM) y excreción/producción (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea B. Huihue, primavera de 1997.

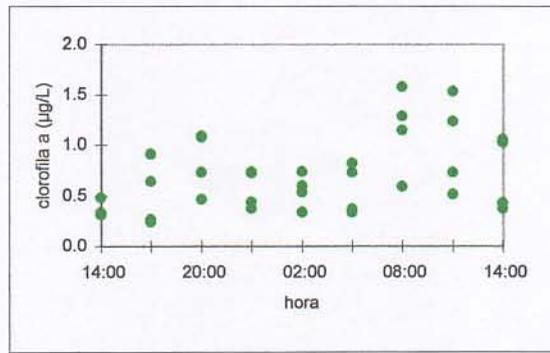
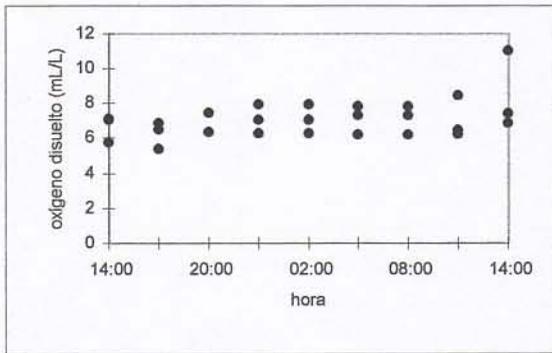
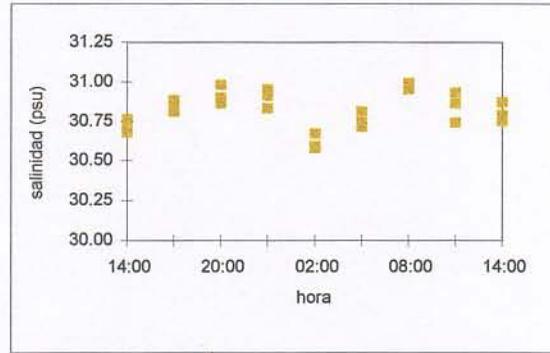
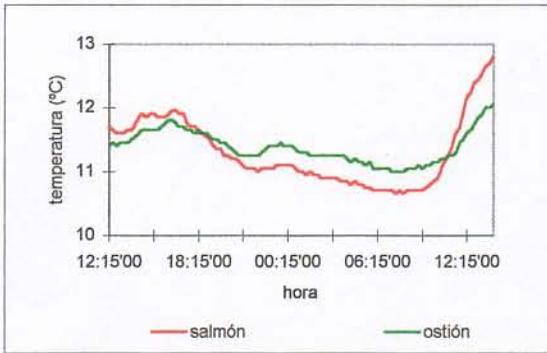


Figura 39. Variación temporal de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila a, en condiciones semi-controladas, en la línea A. Hueihue, primavera de 1997.

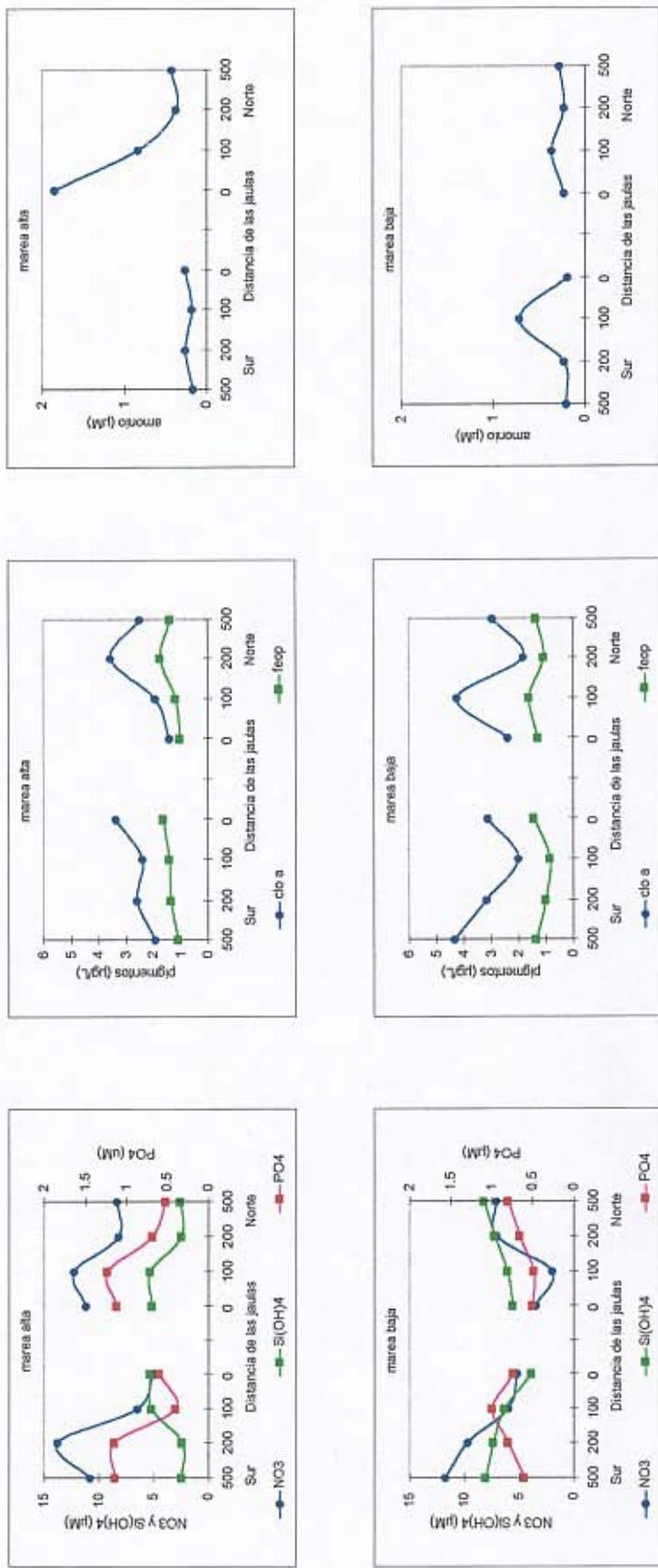


Figura 40. Diagramas de distribución superficial, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, al sur y norte de las balsas jaula, a 0, 100, 200 y 500 m. Isla Lin Lin, verano de 1997.

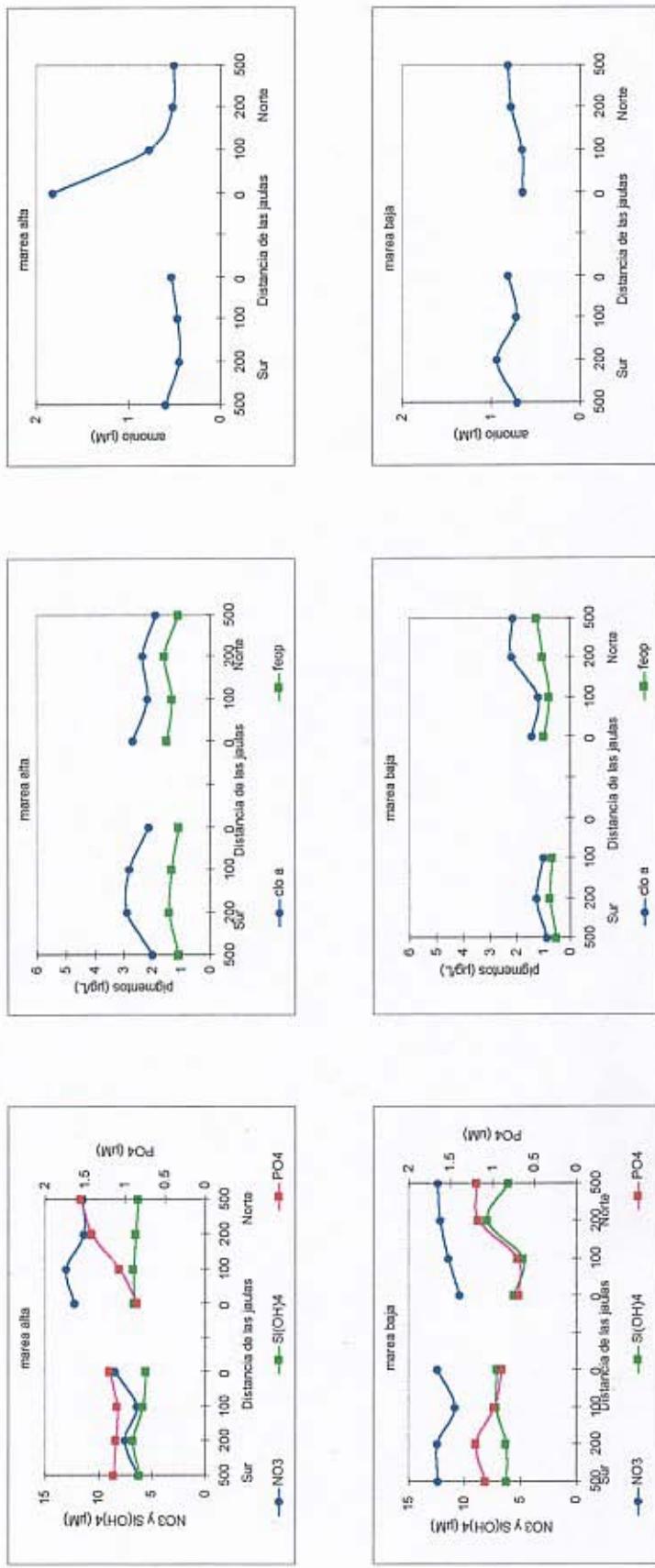


Figura 41. Diagramas de distribución, a 5m, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, al sur y norte de las balsas jaula, a 0, 100, 200, y 500 m. Isla Lin Lin, verano de 1997.

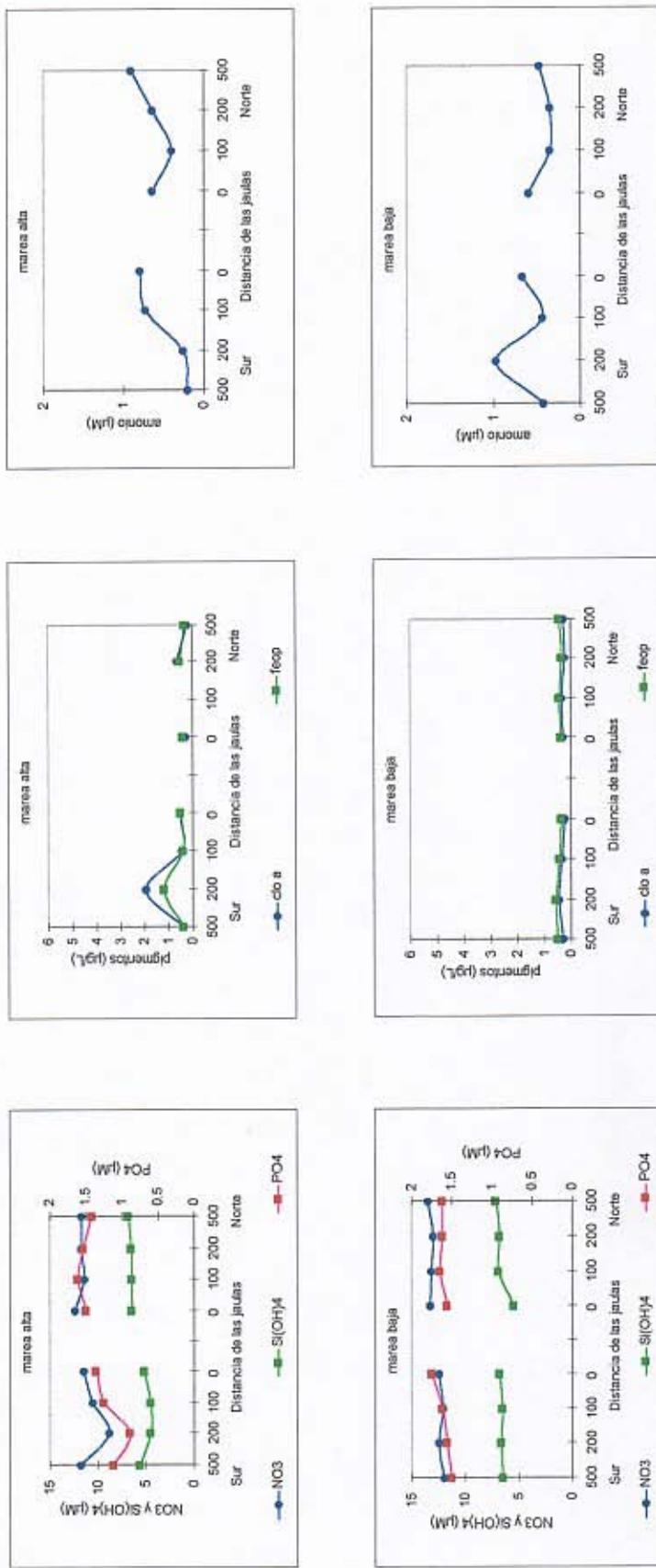


Figura 42. Diagramas de distribución, a 20m, del nitrato, fosfato, silicato, clorofila a, feopigmentos y amonio, al sur y norte de las balsas jaula, a 0, 100, 200 y 500 m. Isla Lin Lin, verano de 1997.

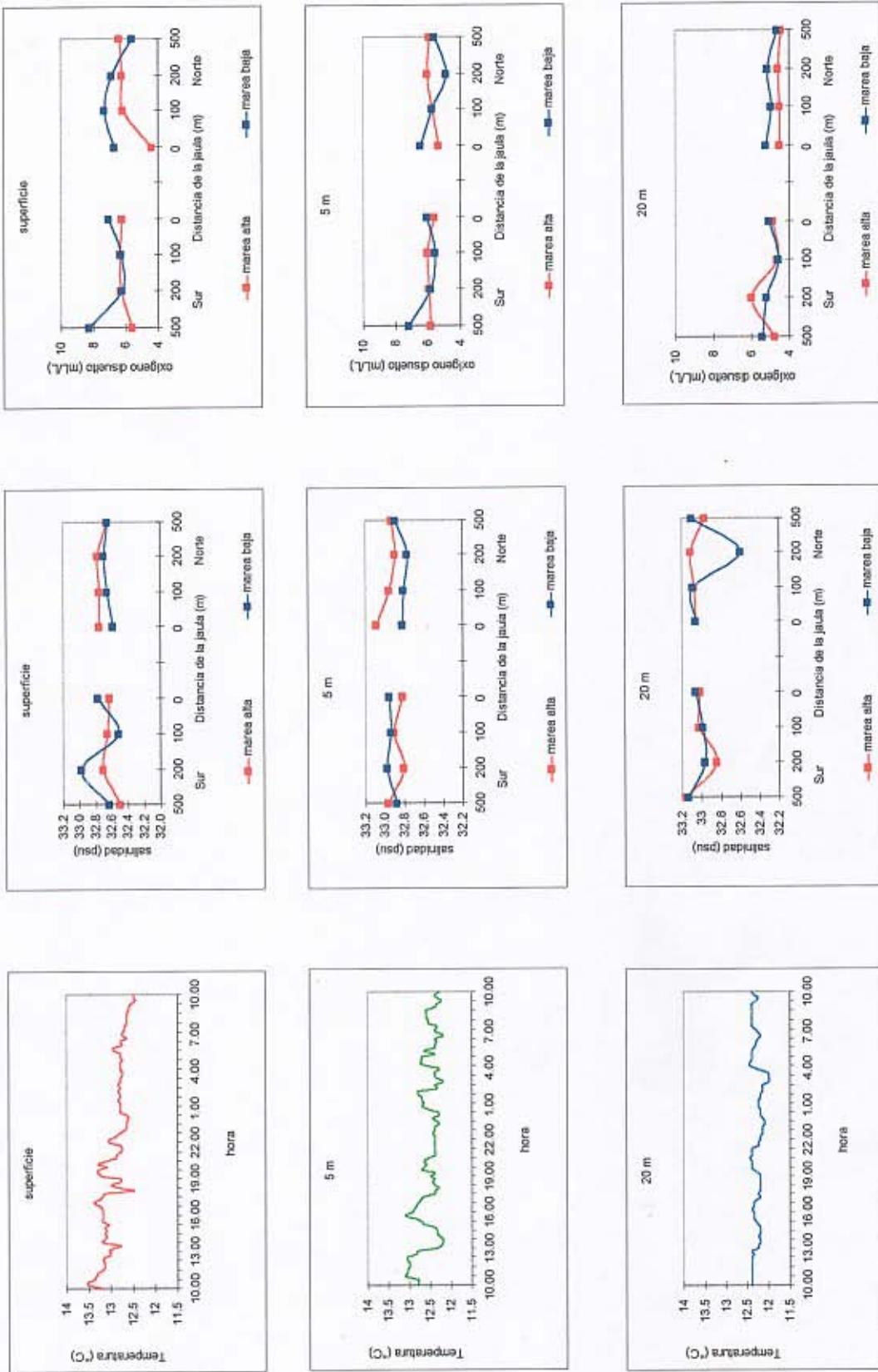


Figura 43. Distribución de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, a 0, 5 y 20 m. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

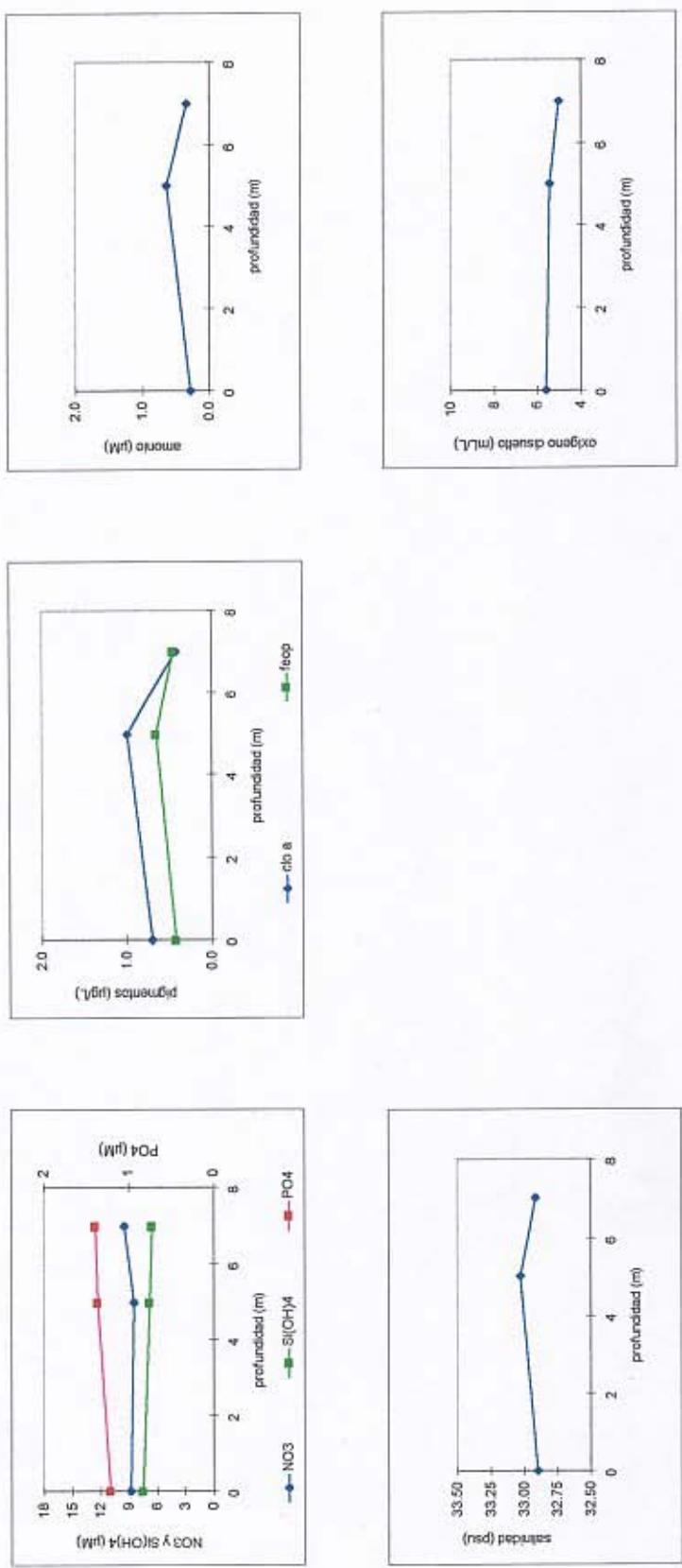


Figura 44. Diagramas de distribución batimétrica, en la estación control, de nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, verano de 1997.

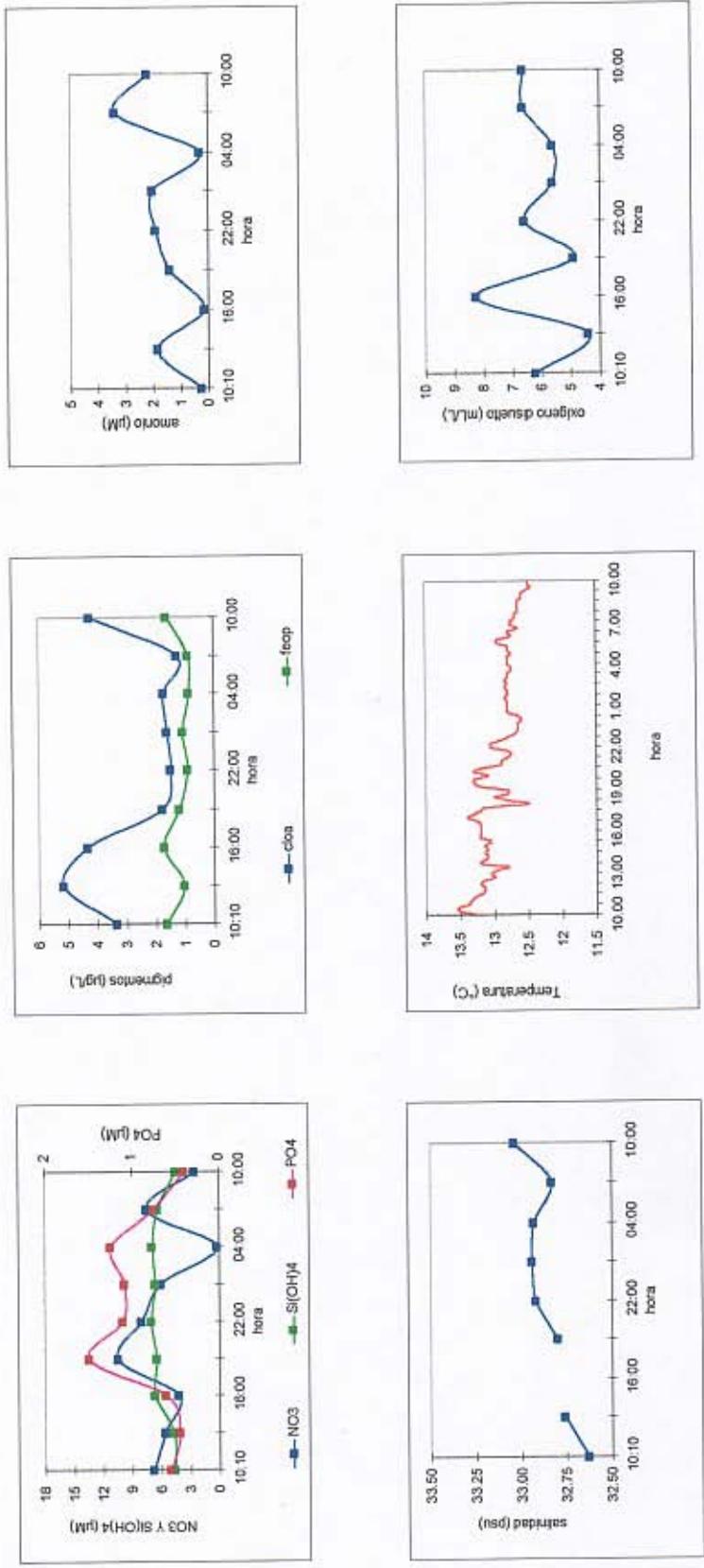


Figura 45. Variación superficial, en un ciclo de 24 h, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, verano de 1997.

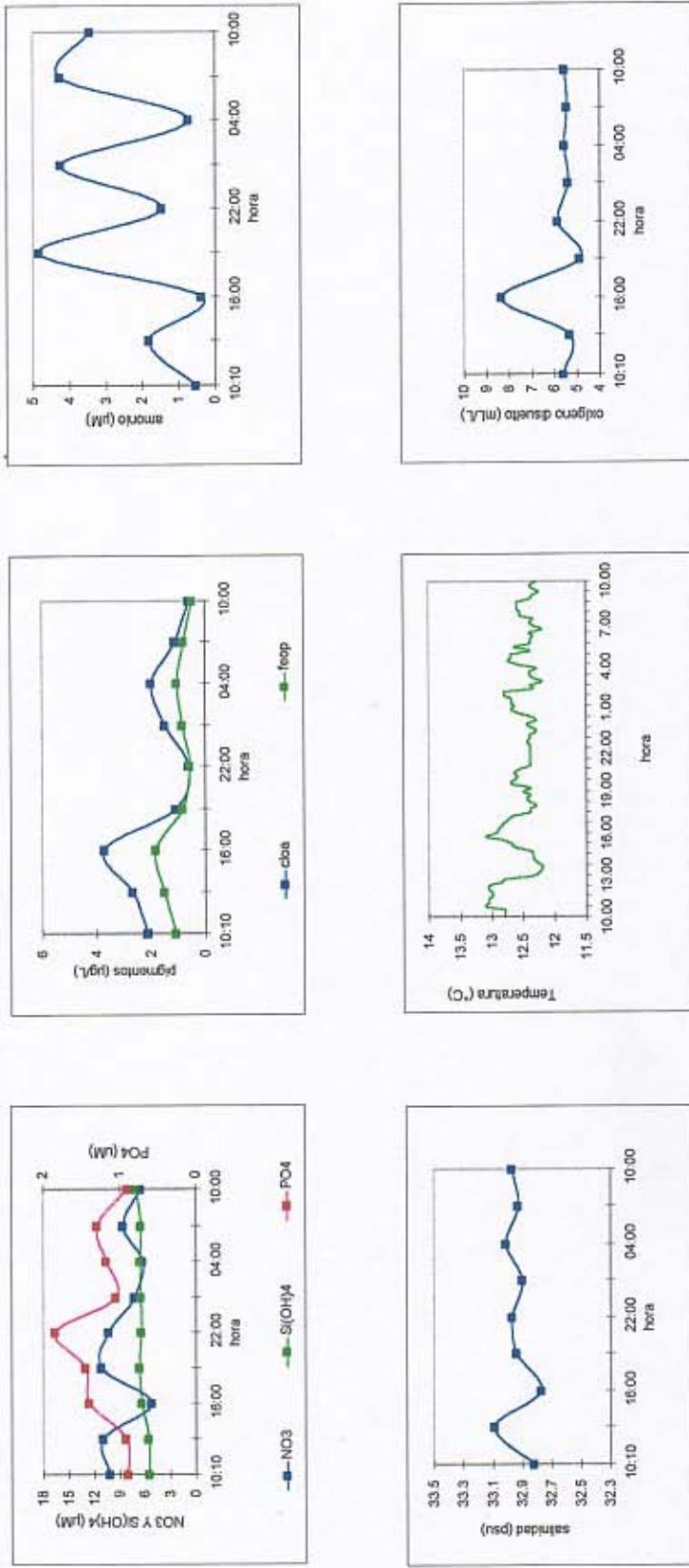


Figura 46. Variación a 5m, en un ciclo de 24 h, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, verano de 1997.

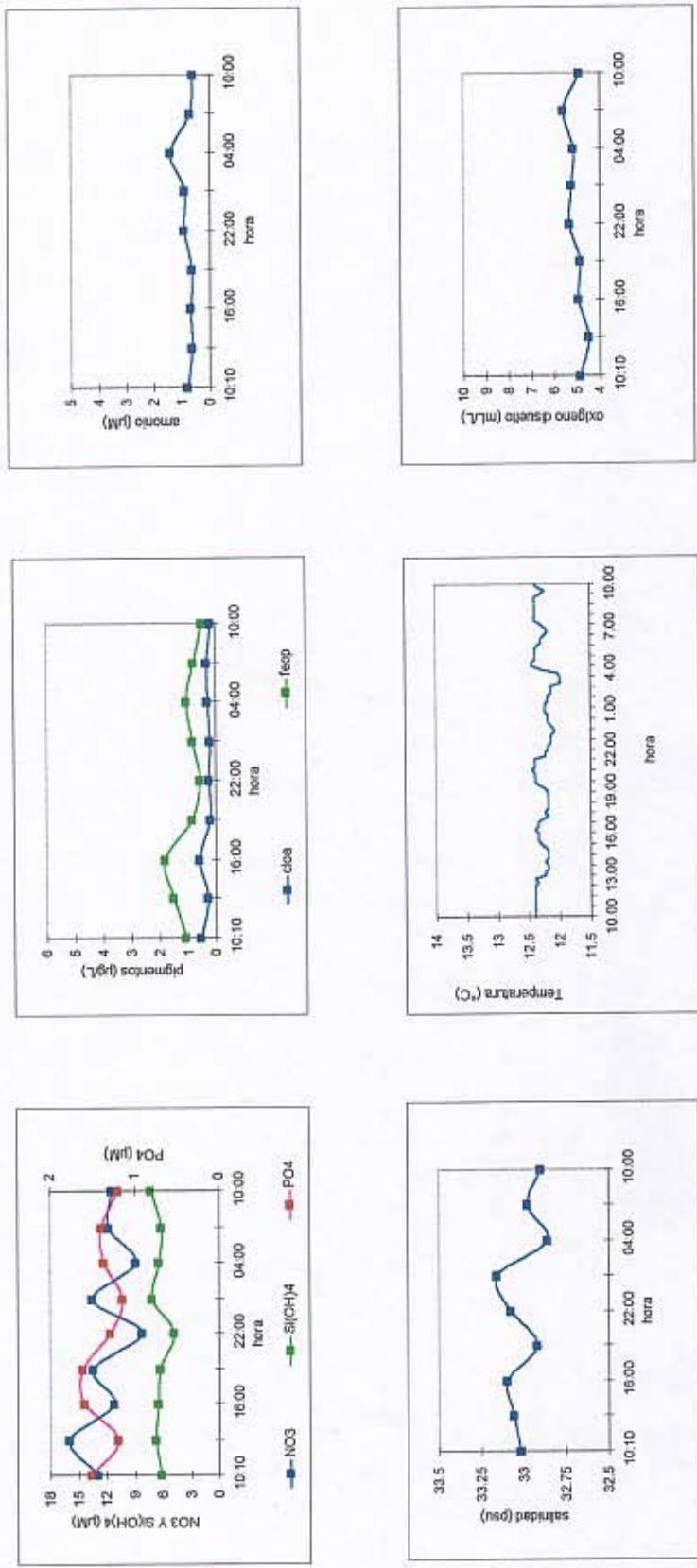


Figura 47. Variación a 20m, en un ciclo de 24 h, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, verano de 1997.

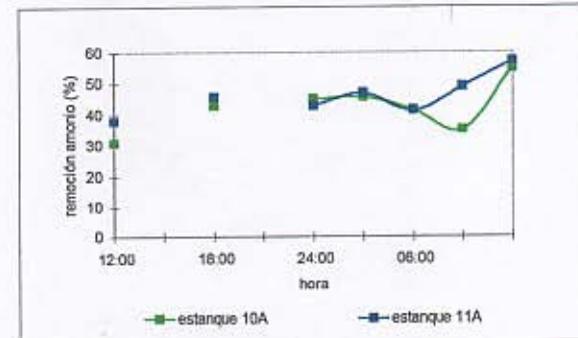
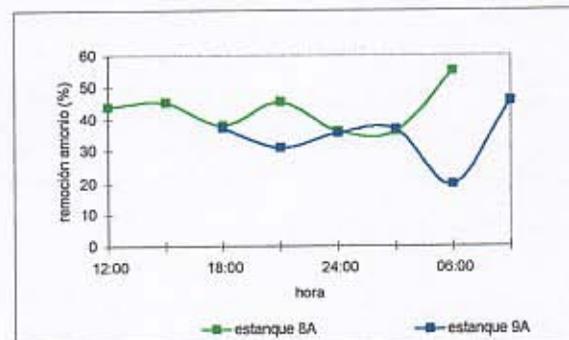
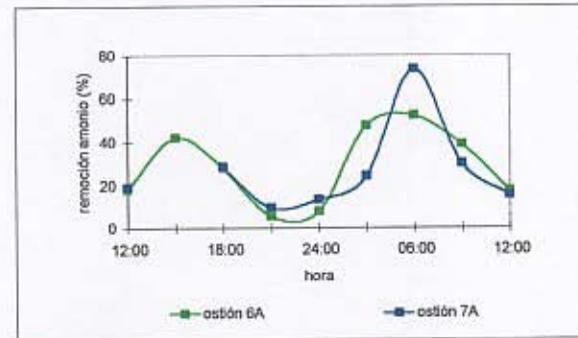
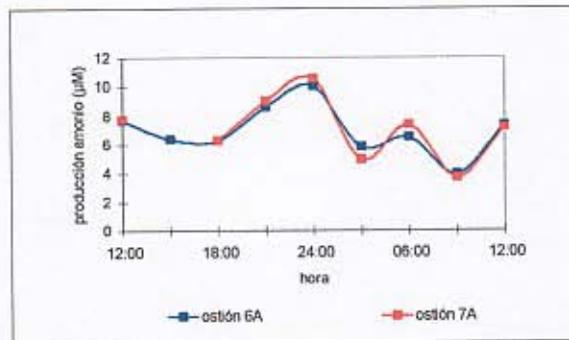
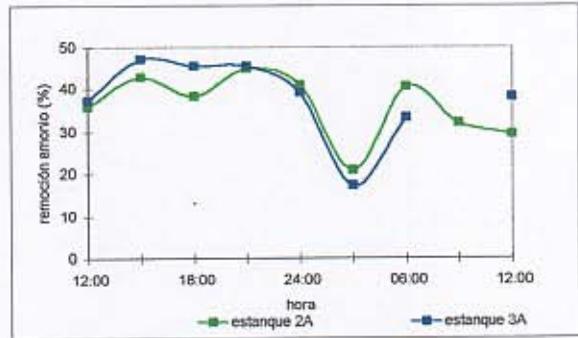
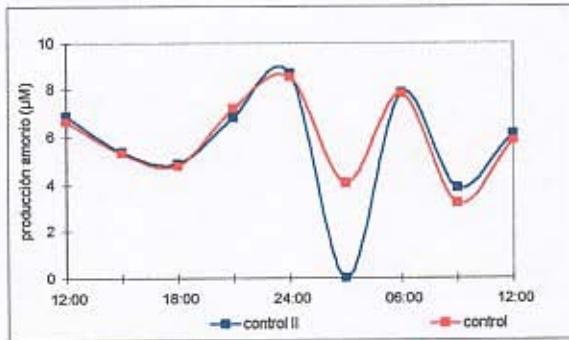
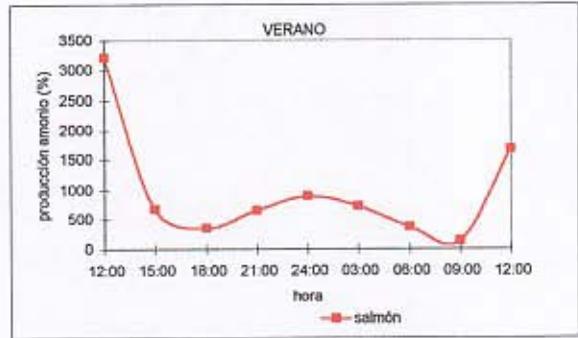
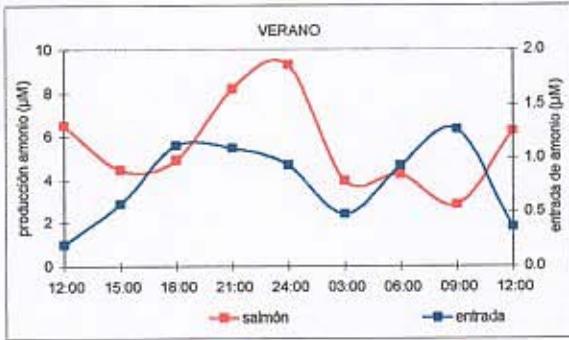


Figura 48. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y remoción/producción (%) de amonio, en condiciones semi controladas, en la línea A. Hueihue, verano de 1997.

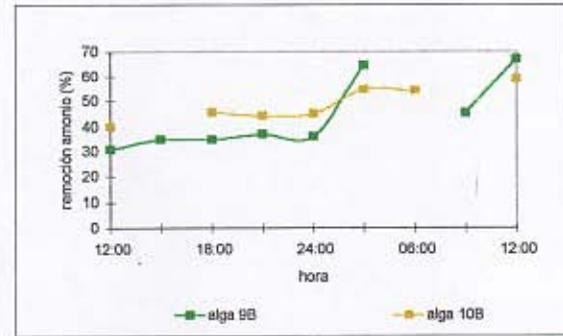
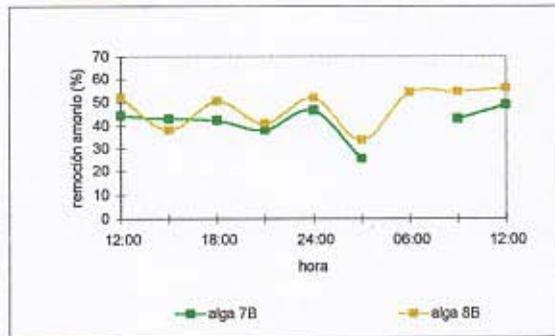
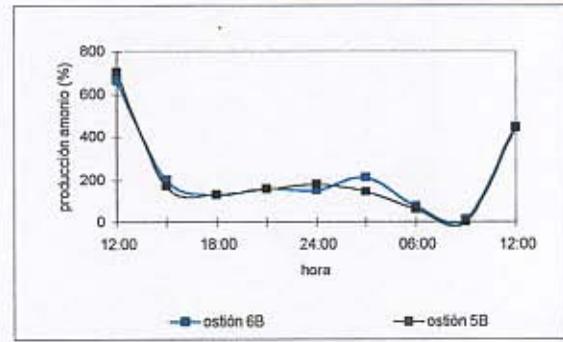
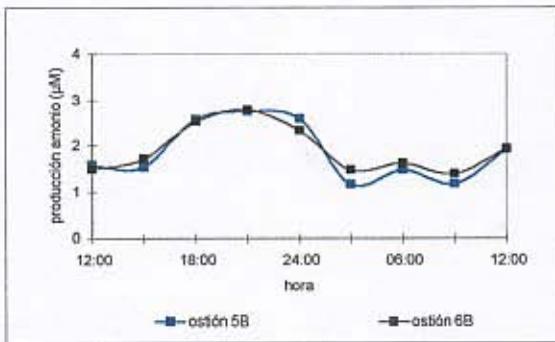
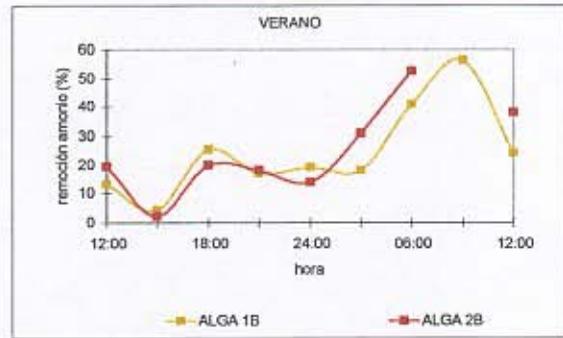
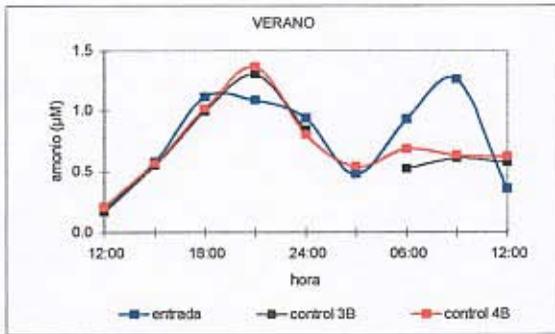


Figura 49. Diagrama de producción ( $\mu\text{M}$ ) y excreción/remoción (%) de amoniaco, en condiciones semi-controladas, en la línea B, en verano de 1997.

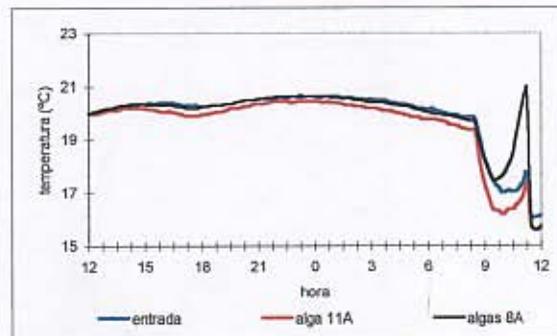
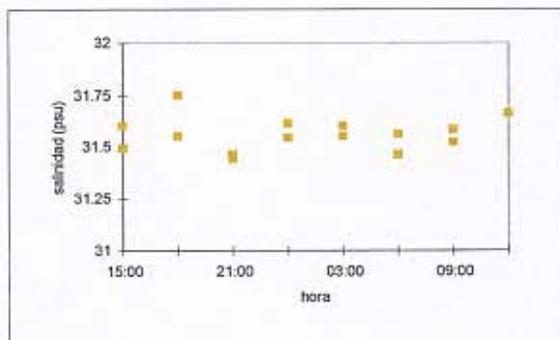
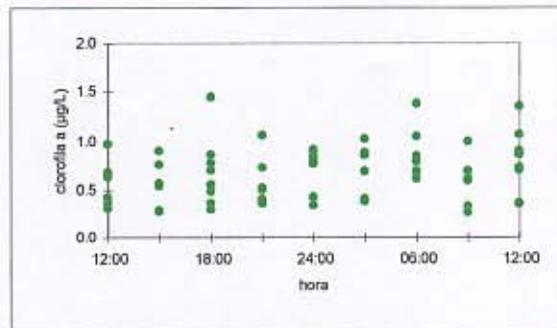
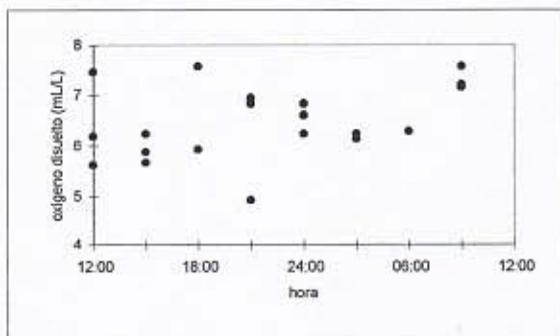
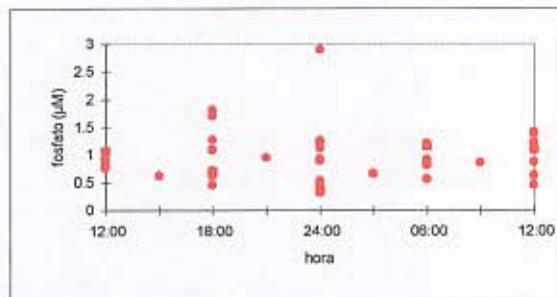
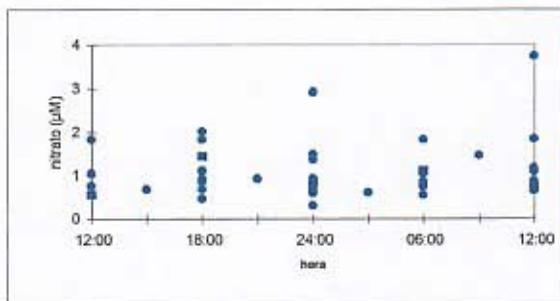


Figura 50. Diagramas de nutrientes, oxígeno disuelto, clorofila a, salinidad y temperatura, en el sistema semi-controlado, durante el verano de 1997.

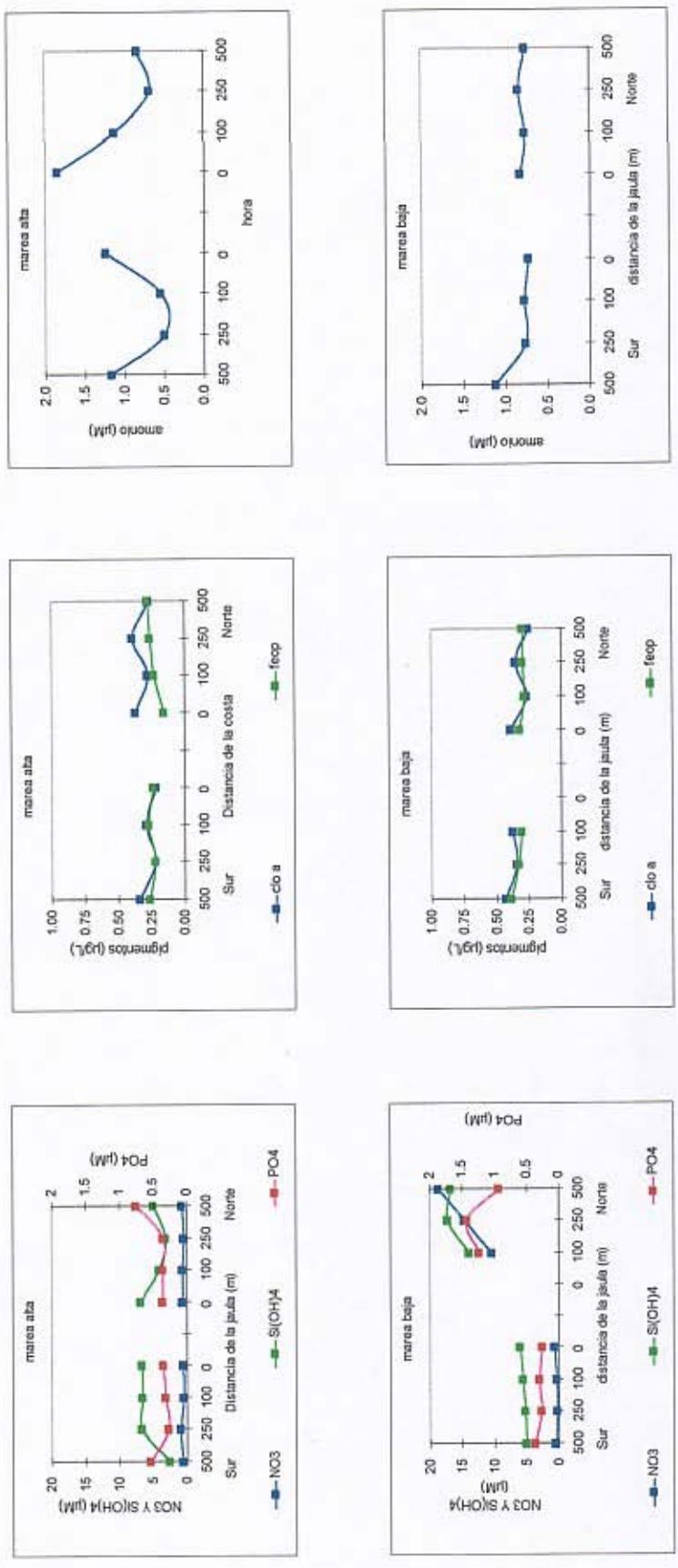


Figura 51. Diagramas de distribución superficial, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur (B) y norte (A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

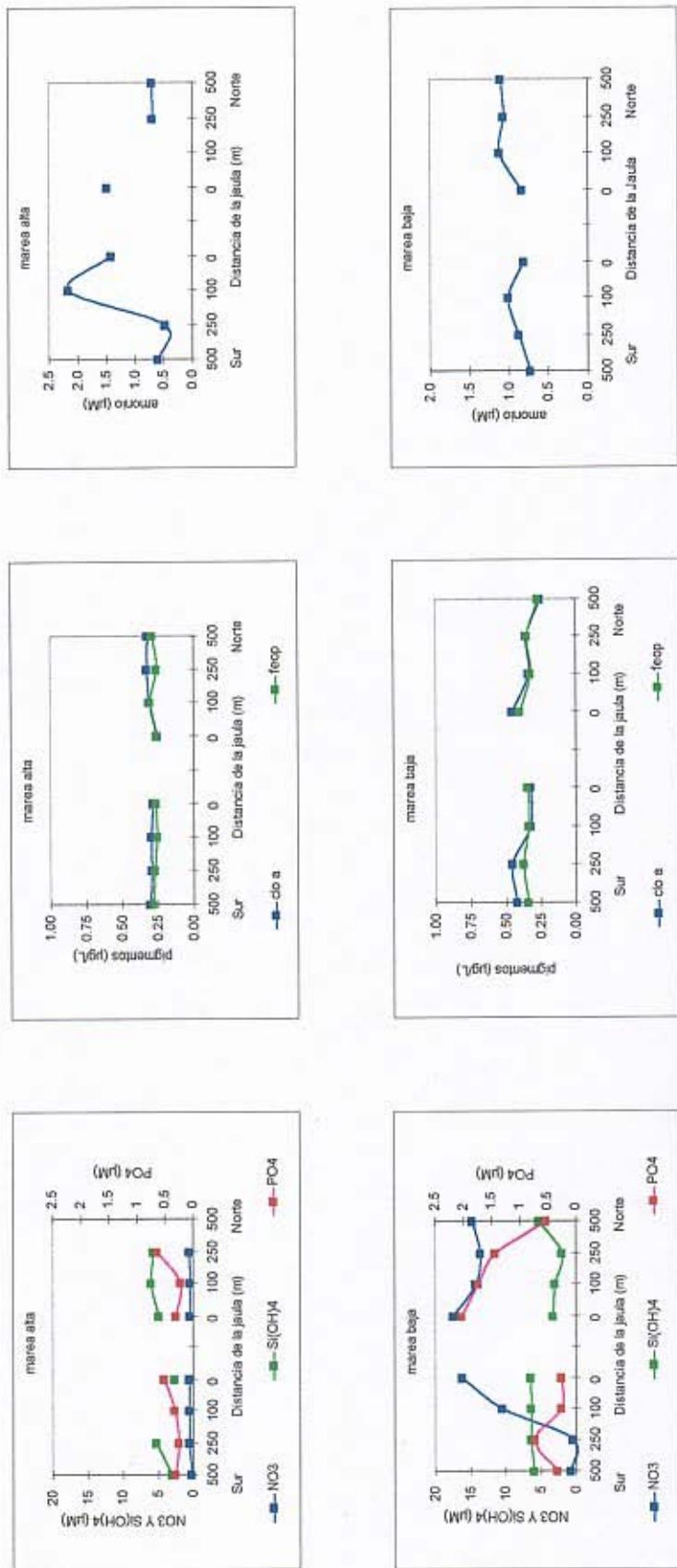


Figura 52. Diagramas de distribución a 5 m del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur(B) y norte(A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

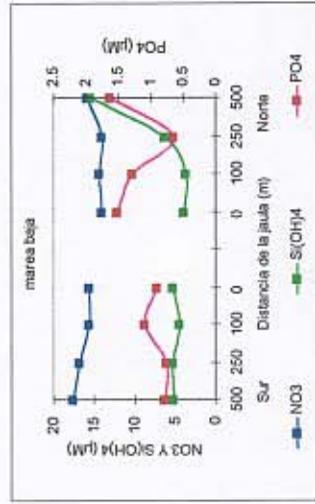
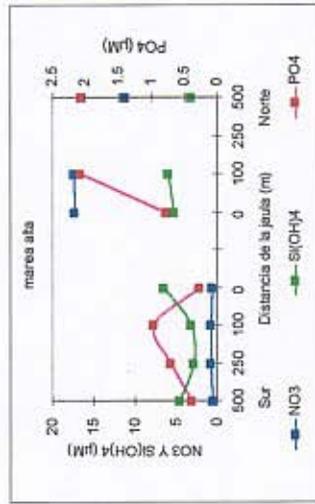
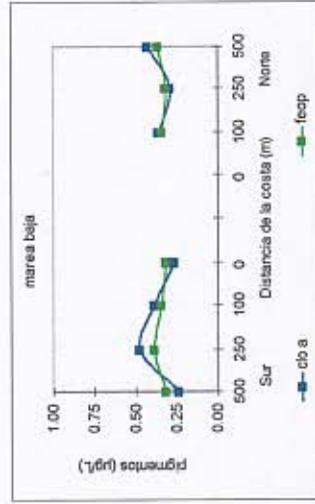
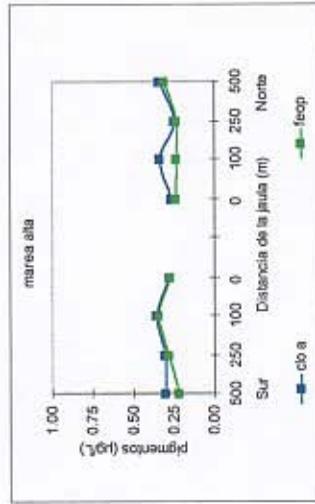
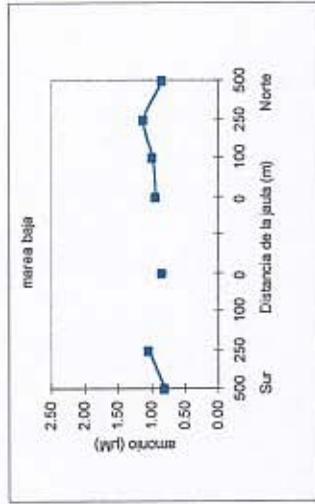
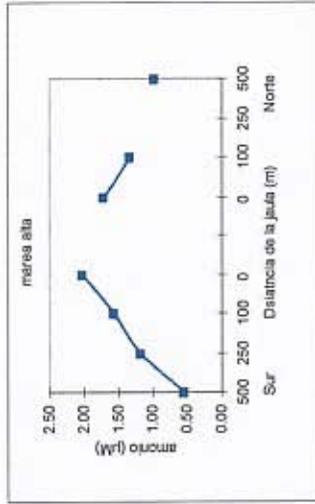


Figura 53. Diagramas de distribución a 20 m del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos y amonio, en las transectas sur(B) y norte(A), a 0, 100, 200 y 500 m de distancia de las balsas. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

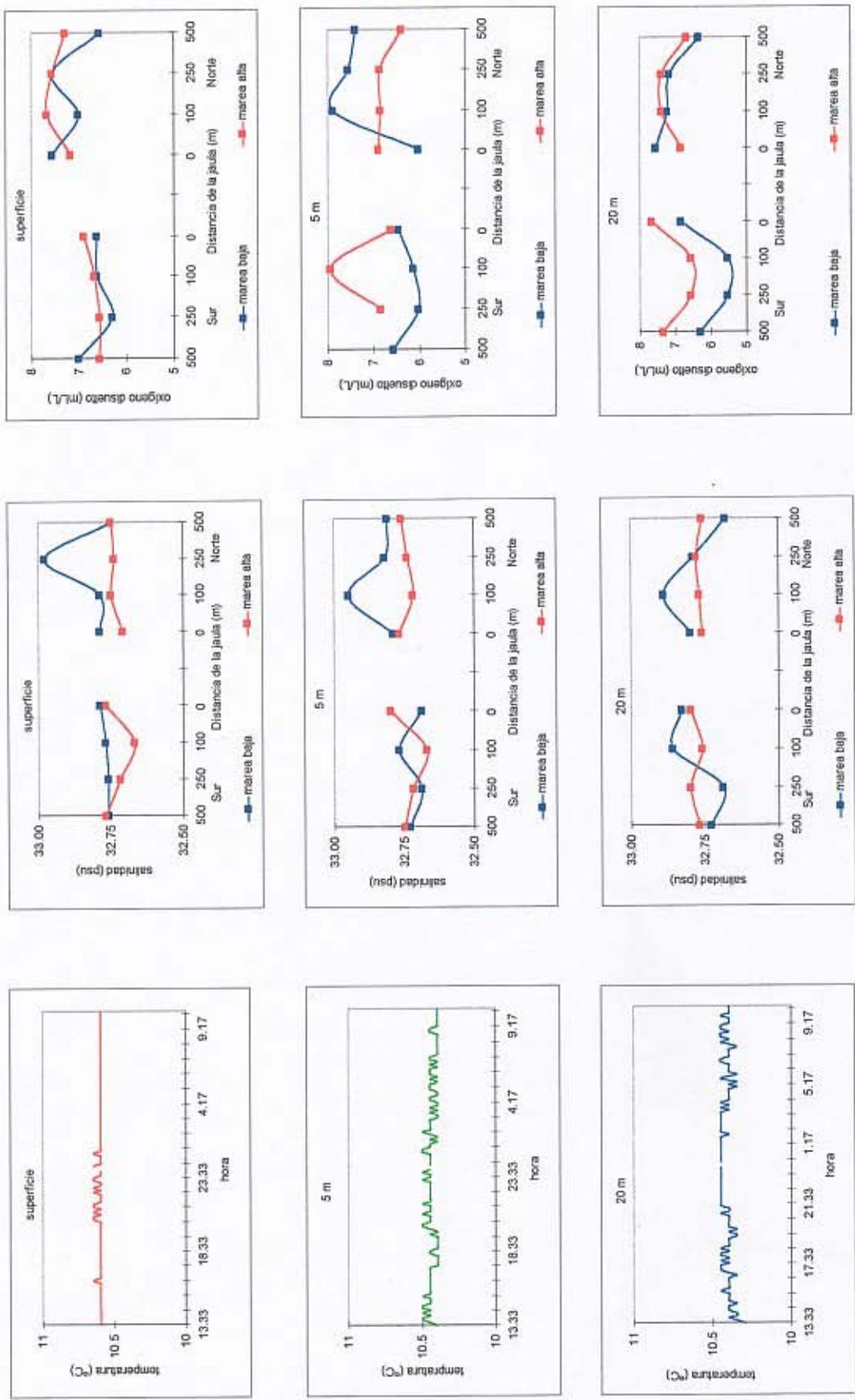


Figura 54. Distribución de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, en la superficie, 5 y 20 m. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

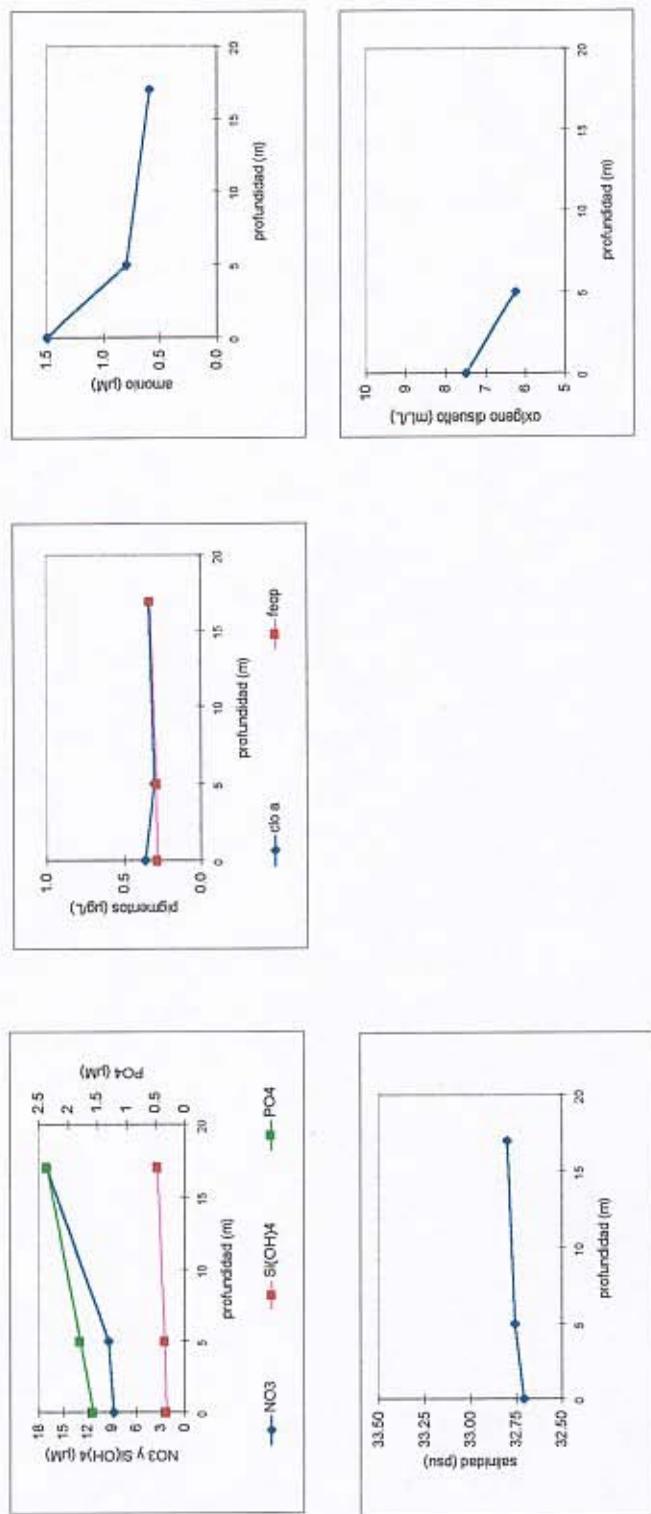


Figura 55. Diagramas de la distribución batimétrica, en una estación control, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

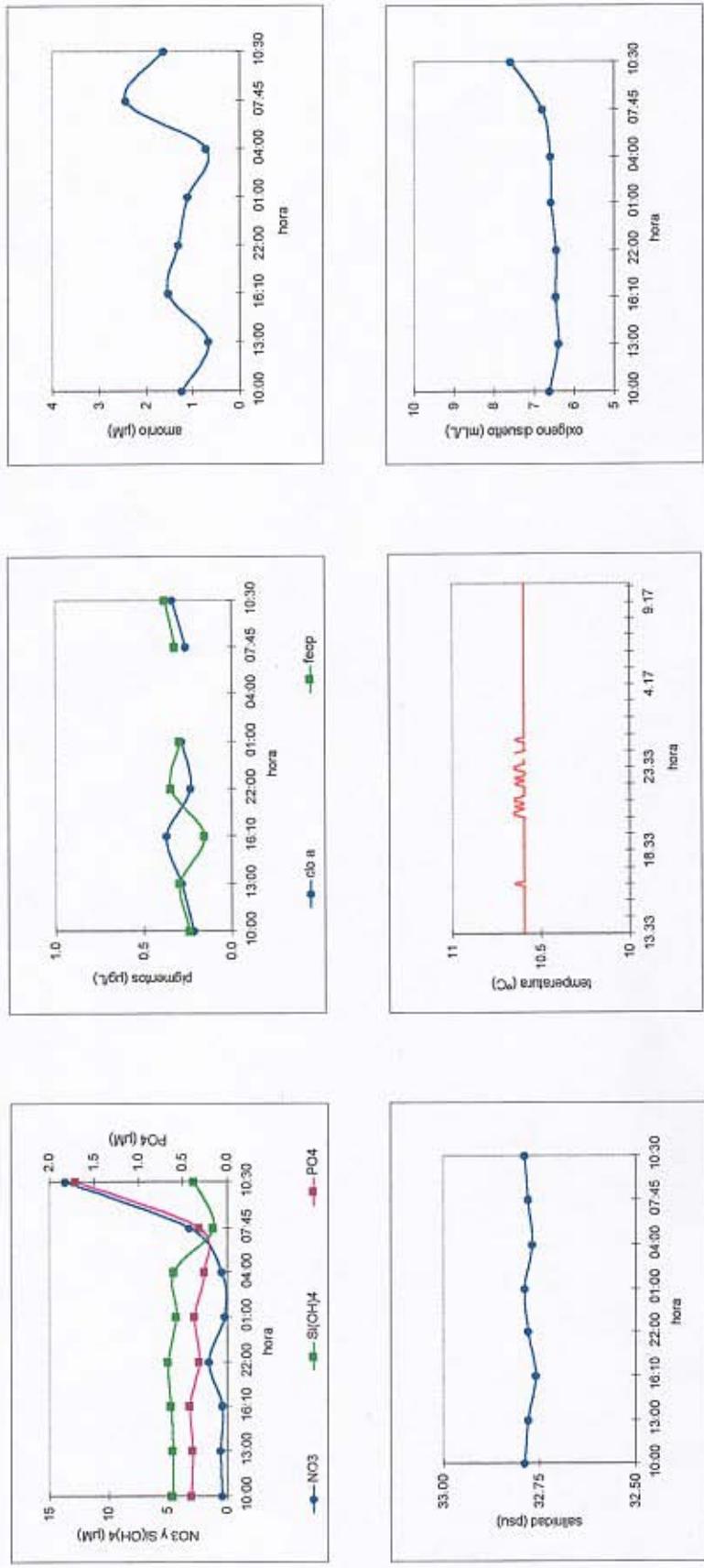


Figura 56. Variación superficial, en un ciclo de 24h, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

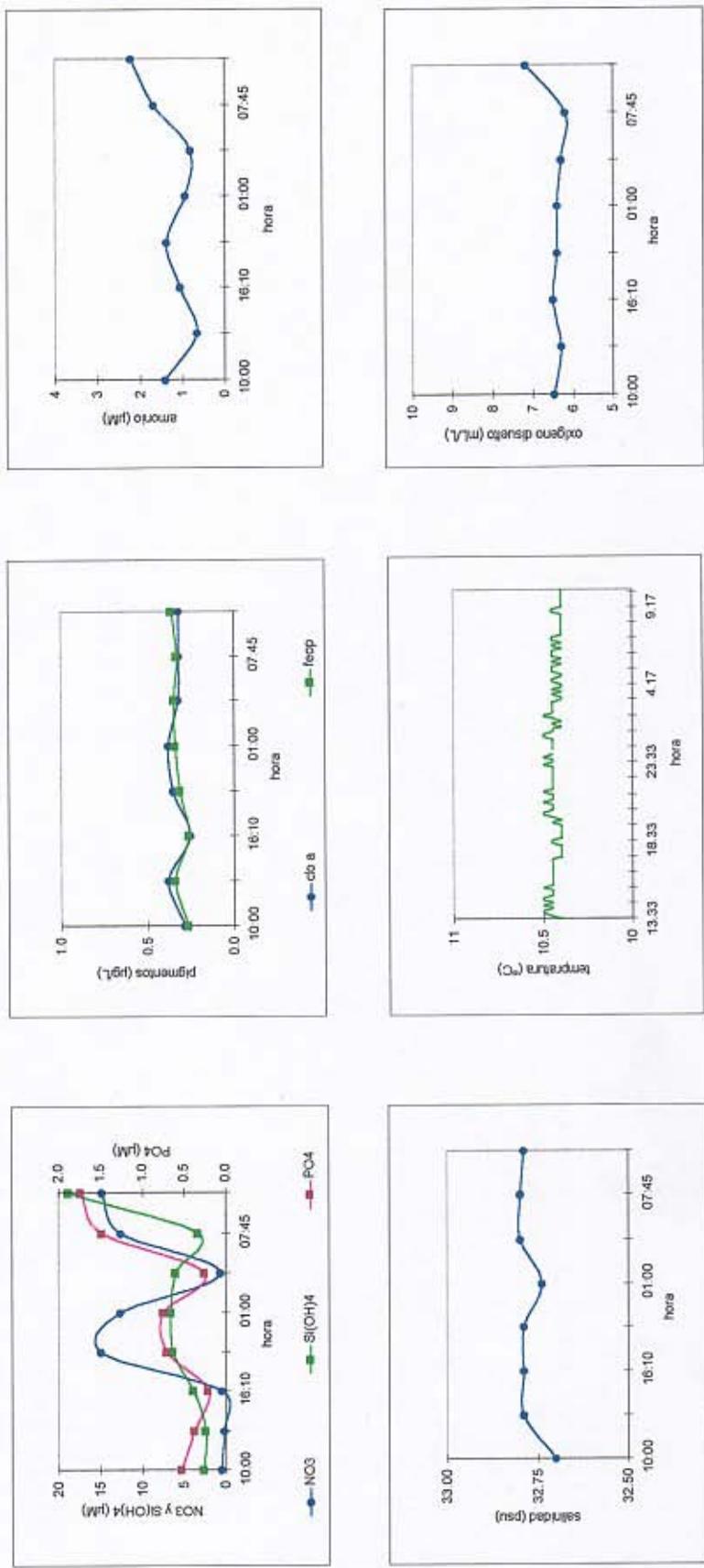


Figura 57. Variación a 5m, en un ciclo de 24h, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

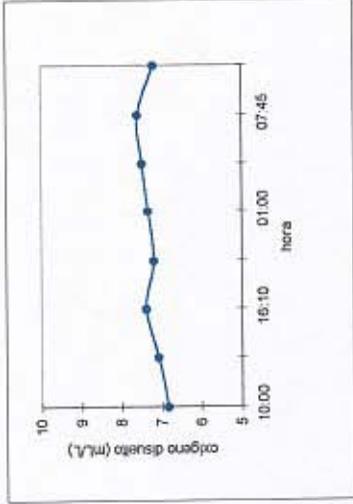
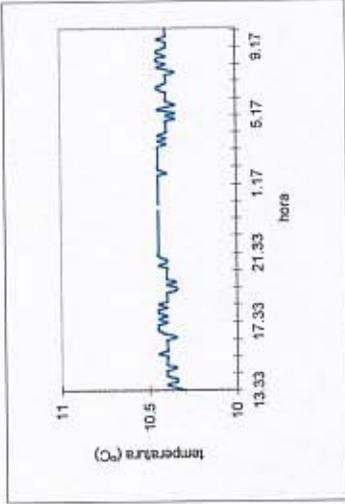
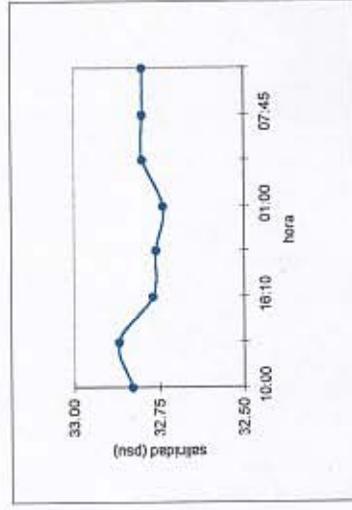
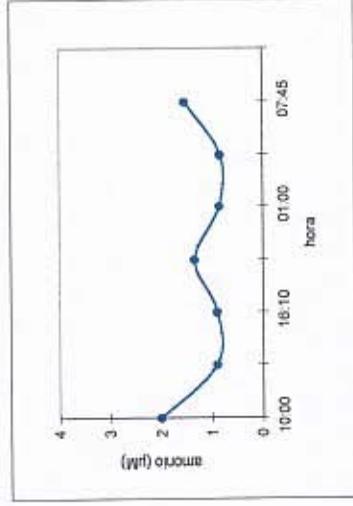
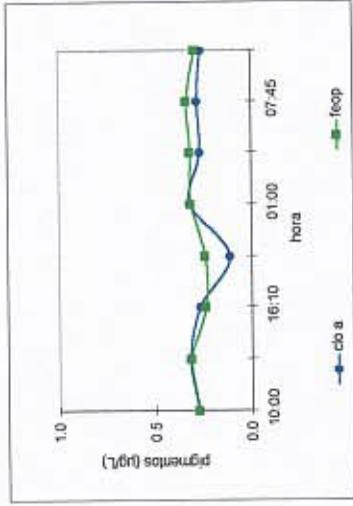
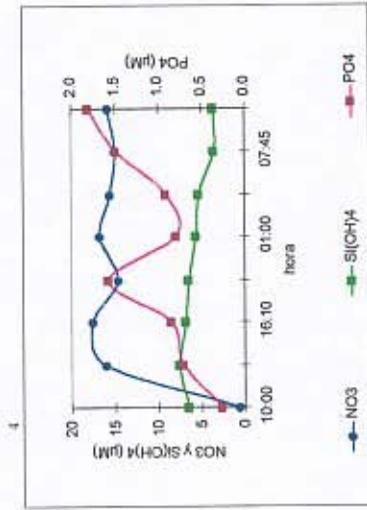


Figura 58. Variación a 20m, en un ciclo de 24h, del nitrato, silicato, fosfato, clorofila a, feopigmentos, amonio, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Isla Lin Lin, otoño de 1996.

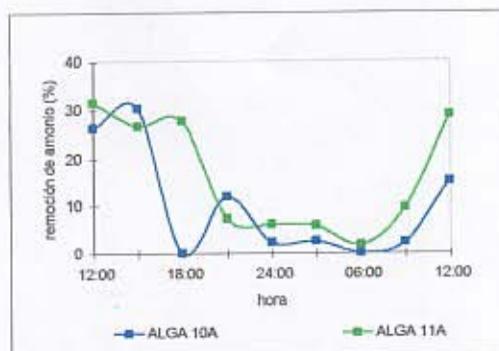
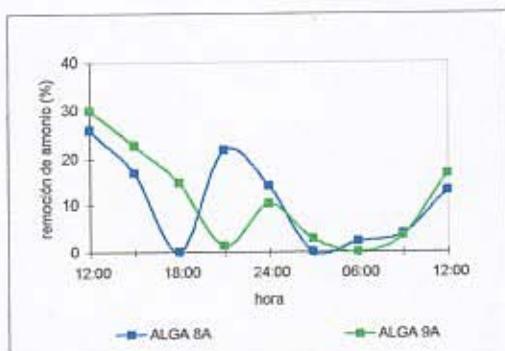
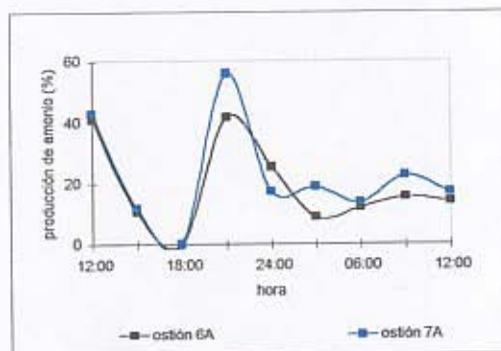
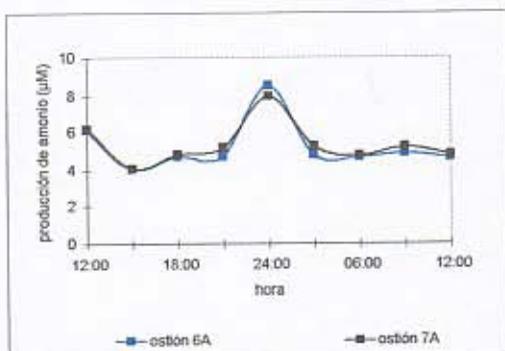
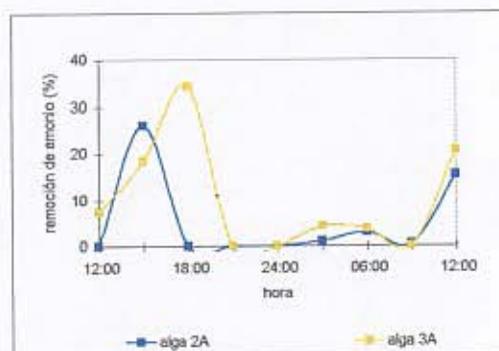
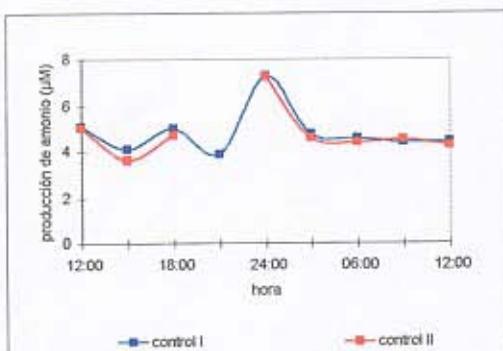
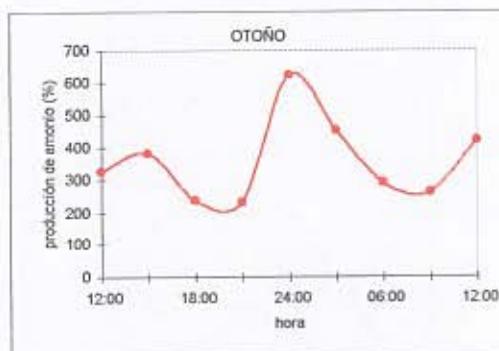
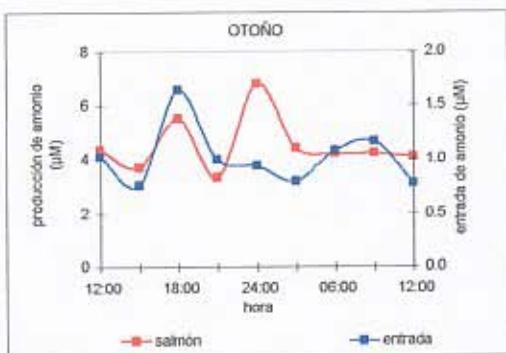


Figura 59. Diagramas de producción ( $\mu\text{M}$ ) y utilización/producción (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en línea A. Hueihue, otoño de 1996.

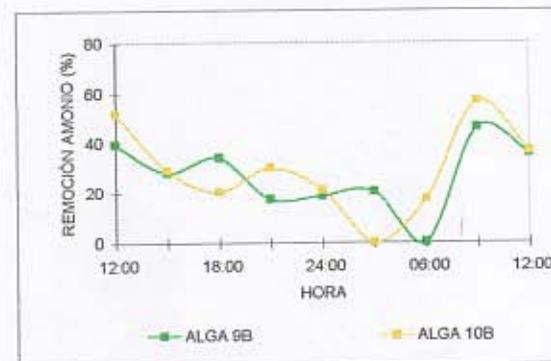
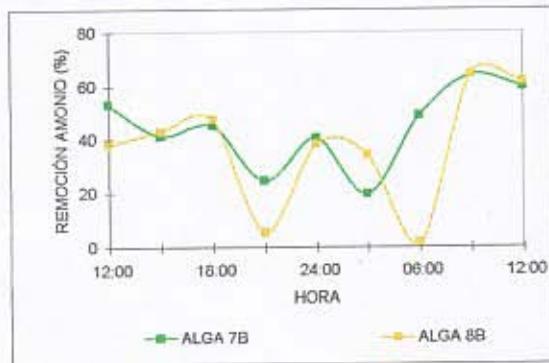
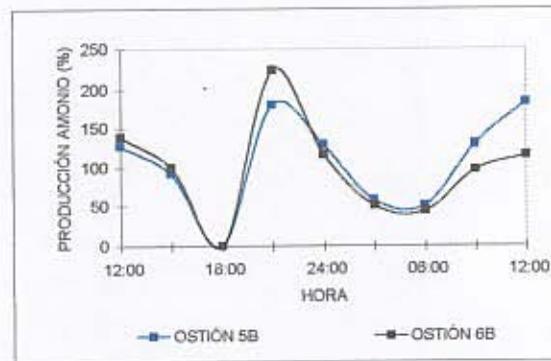
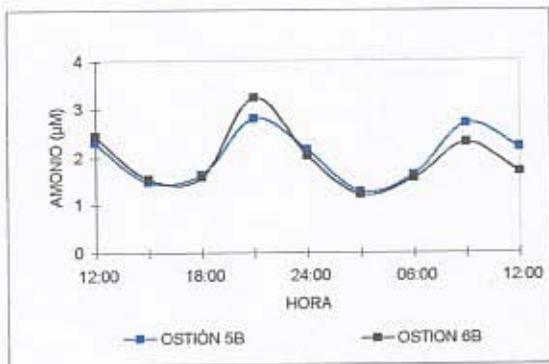
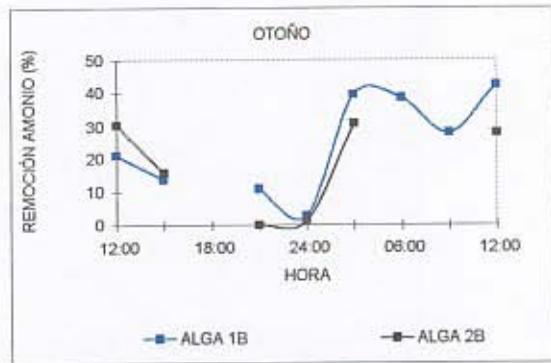
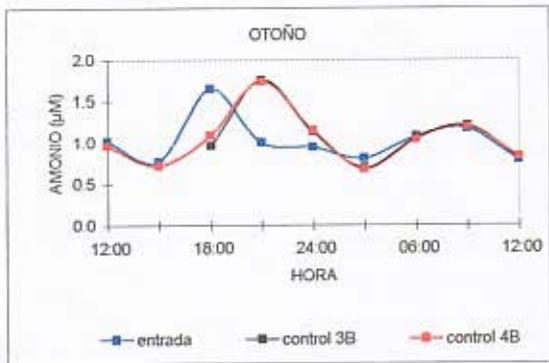


Figura 60. Diagramas de producción (µM), excreción/remoción (%) de amonio, en condiciones semi-controladas, en la línea B. Hueihue, otoño de 1996.

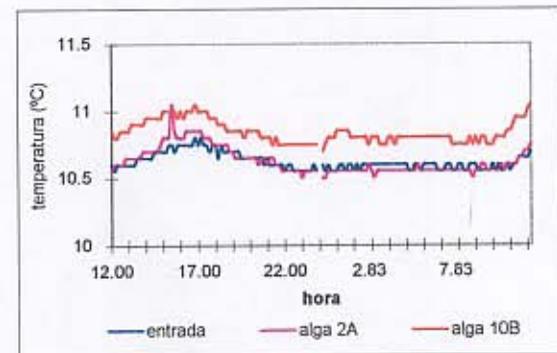
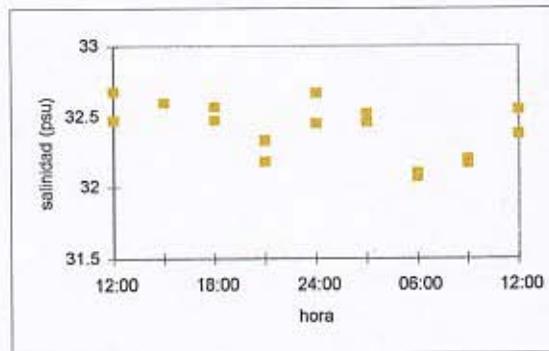
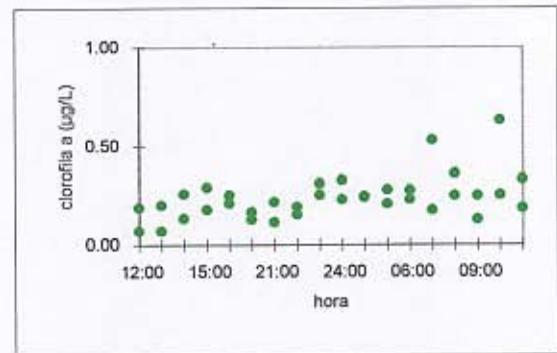
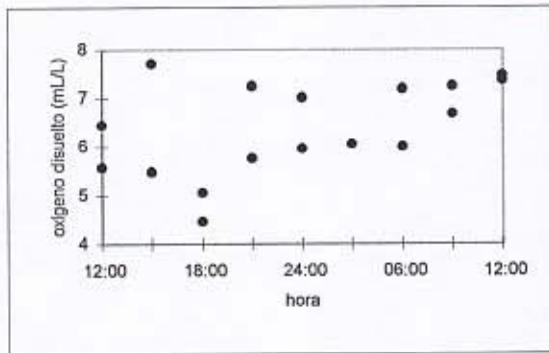
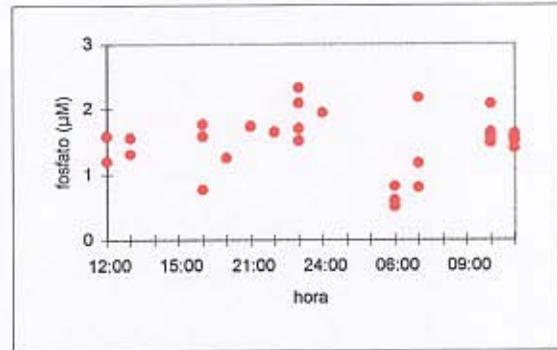
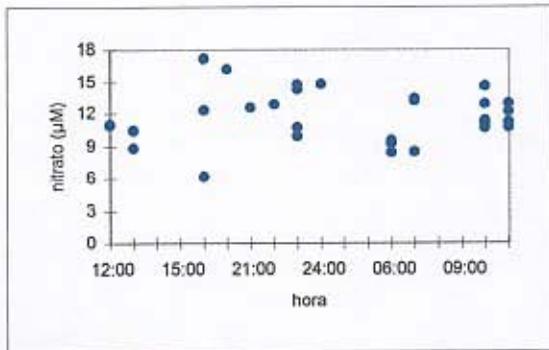


Figura 61. Variación temporal del nitrato, fosfato, oxígeno disuelto, clorofila a, salinidad y temperatura, en condiciones semi-controladas. Durante el otoño de 1996.

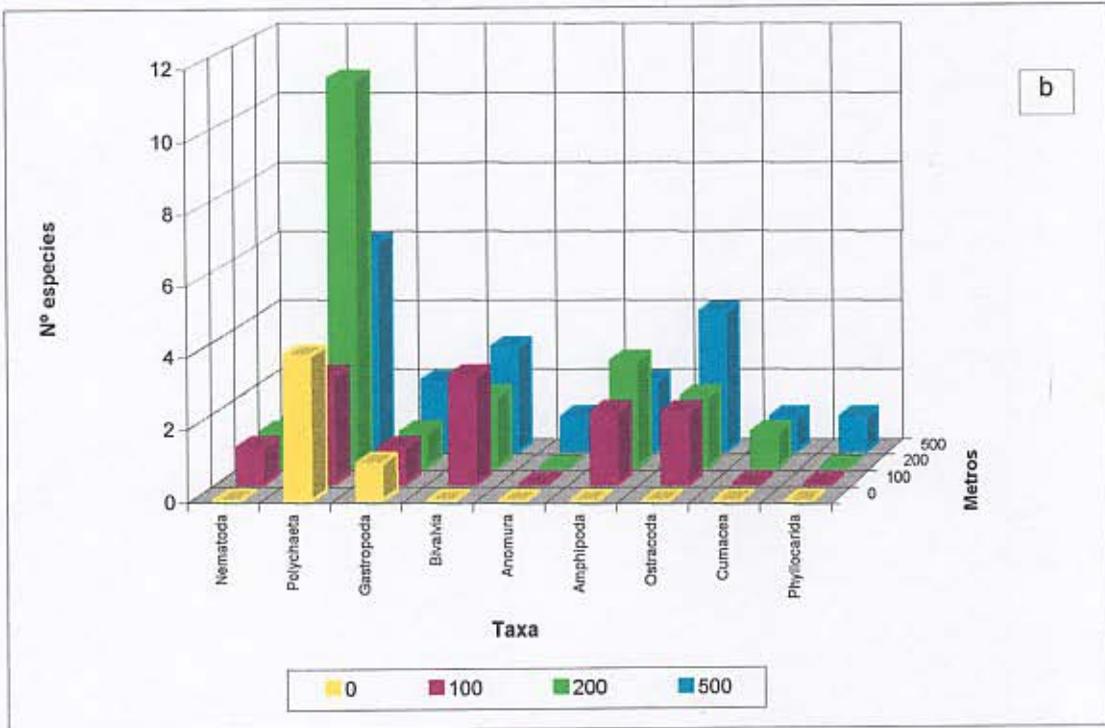
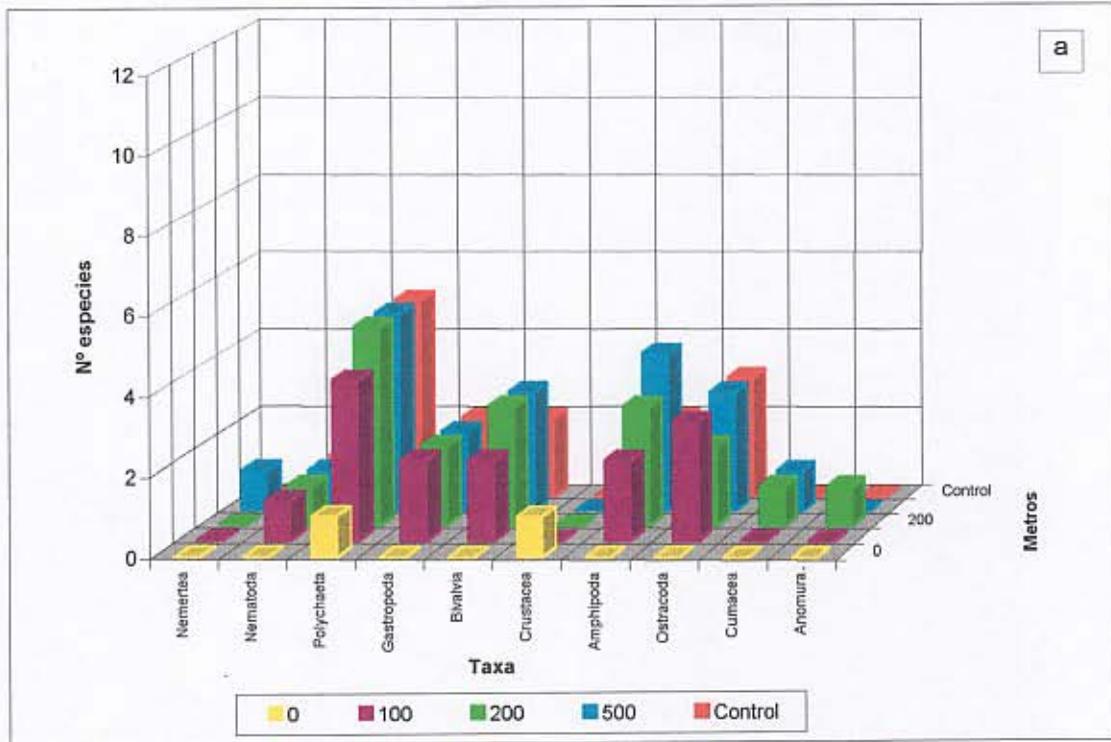


Figura 62. Número de especies por taxa en a) área control y transecta sur, y b) transecta norte en otoño de 1996.

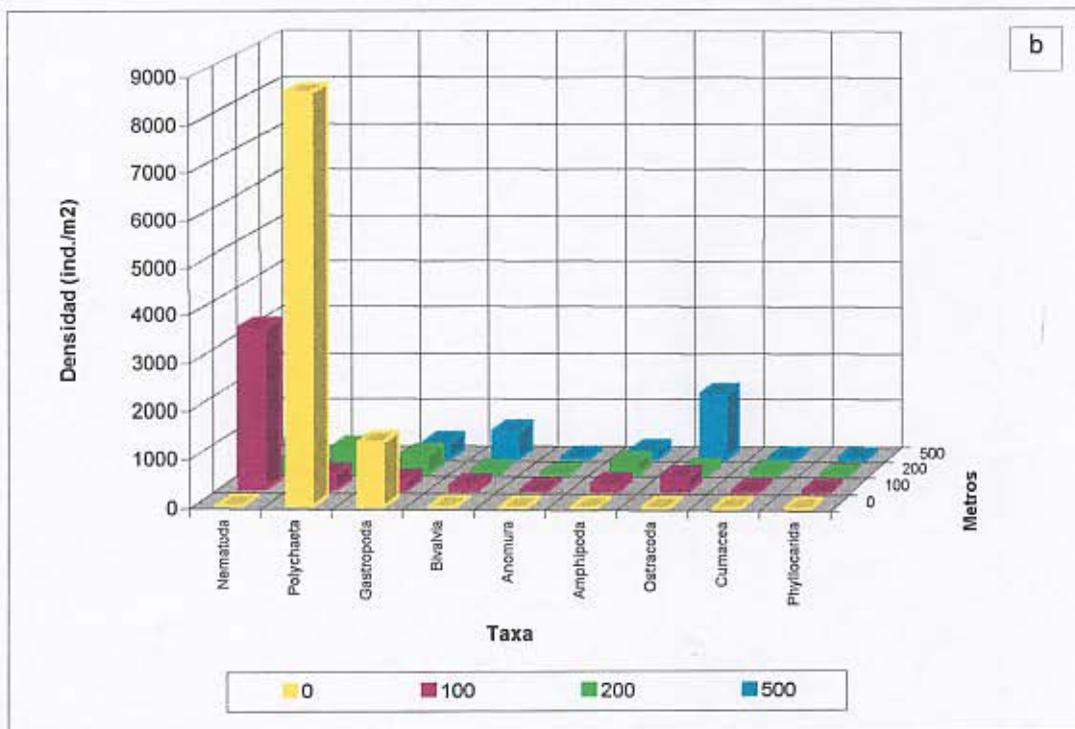
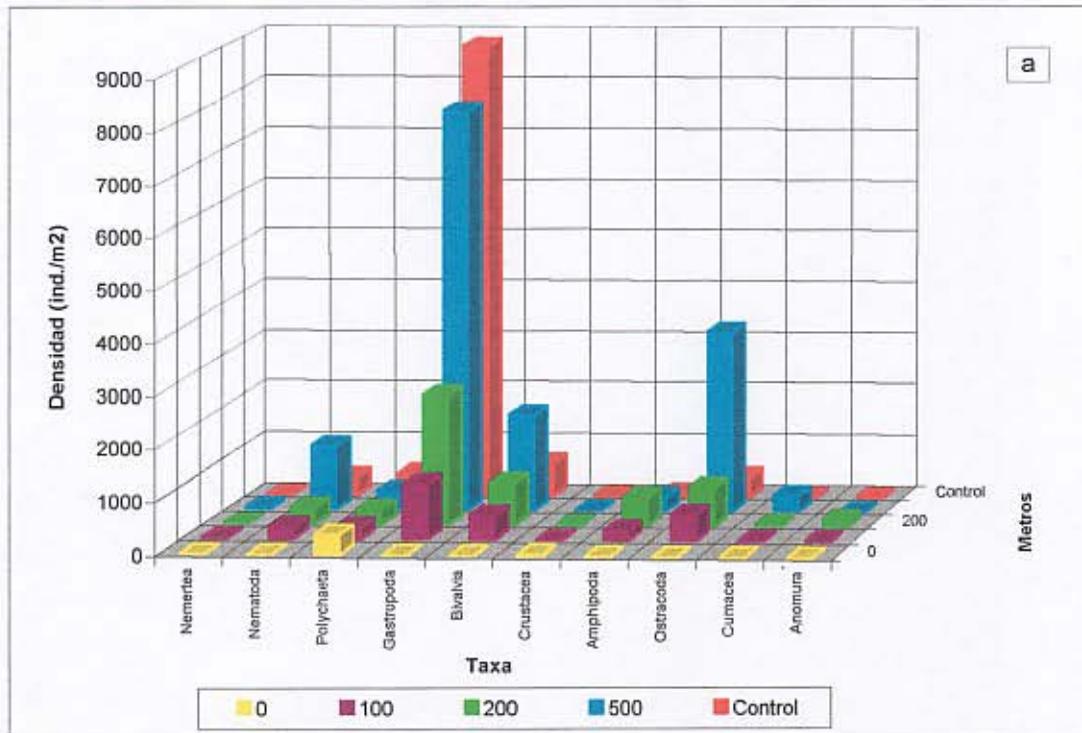


Figura 63. Densidad (N° indiv./m<sup>2</sup>) de los taxa en a) área control y transecta sur, b) transecta norte, en otoño de 1996.

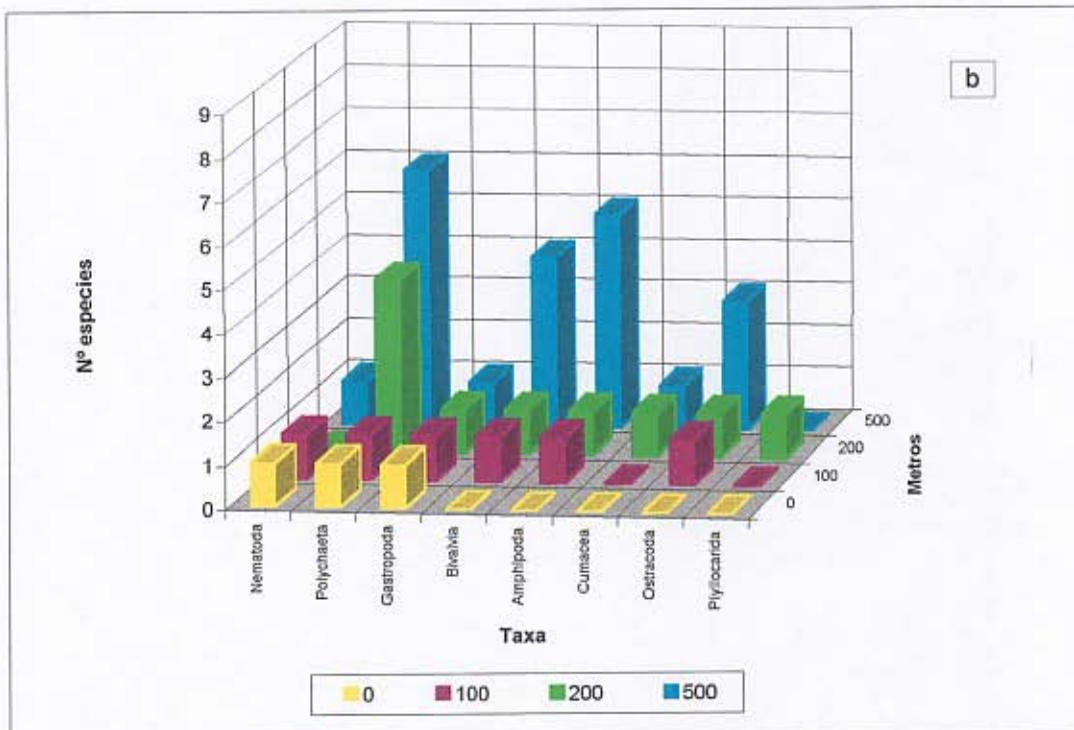
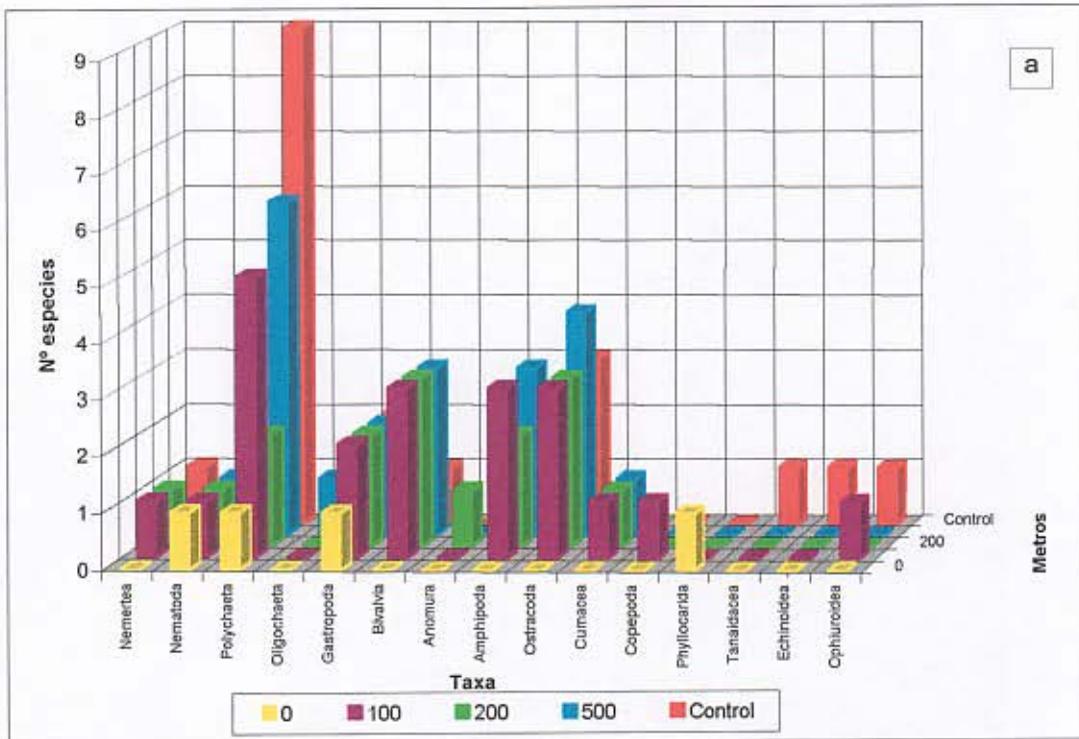


Figura 64. Número de especies por taxa en a) área control y transecta sur, y b) transecta norte en invierno de 1996.

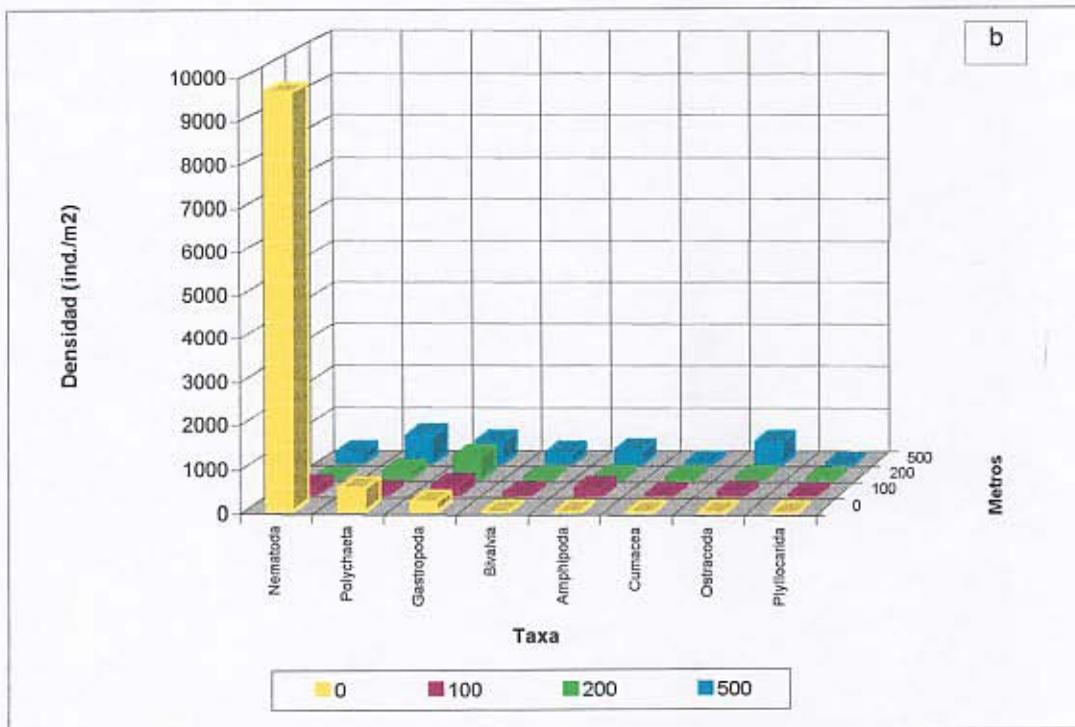
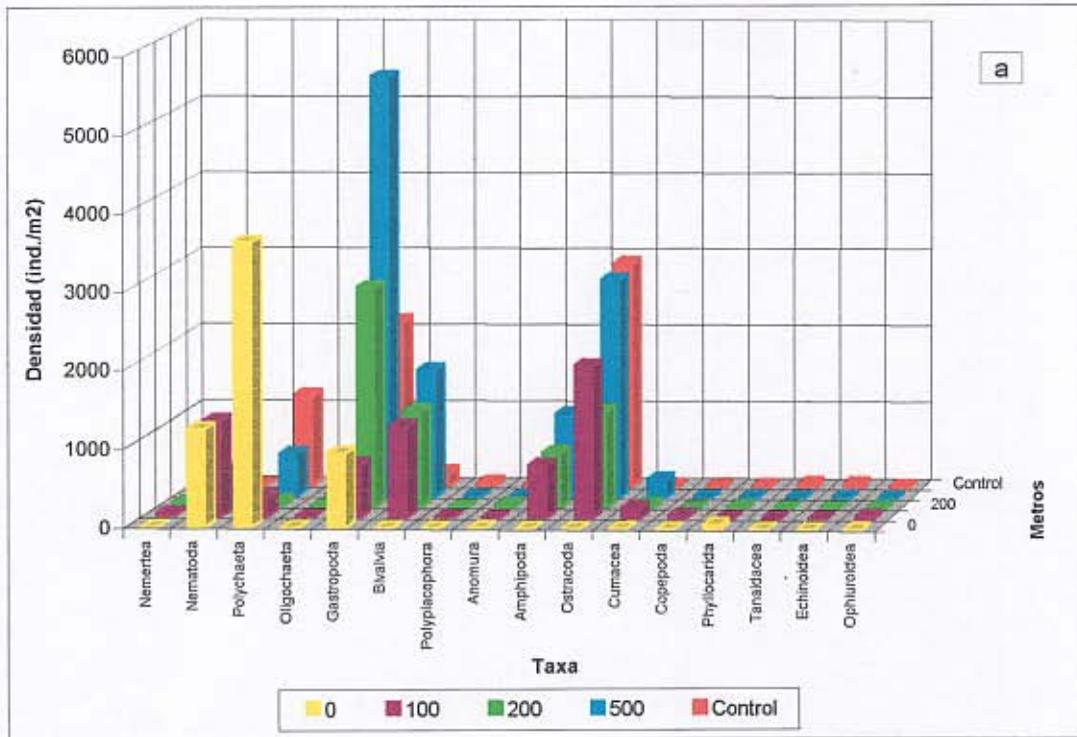


Figura 65. Densidad (Nº indiv./m<sup>2</sup>) de los taxa en a) área control y transecta sur, b) transecta norte, en invierno de 1996.

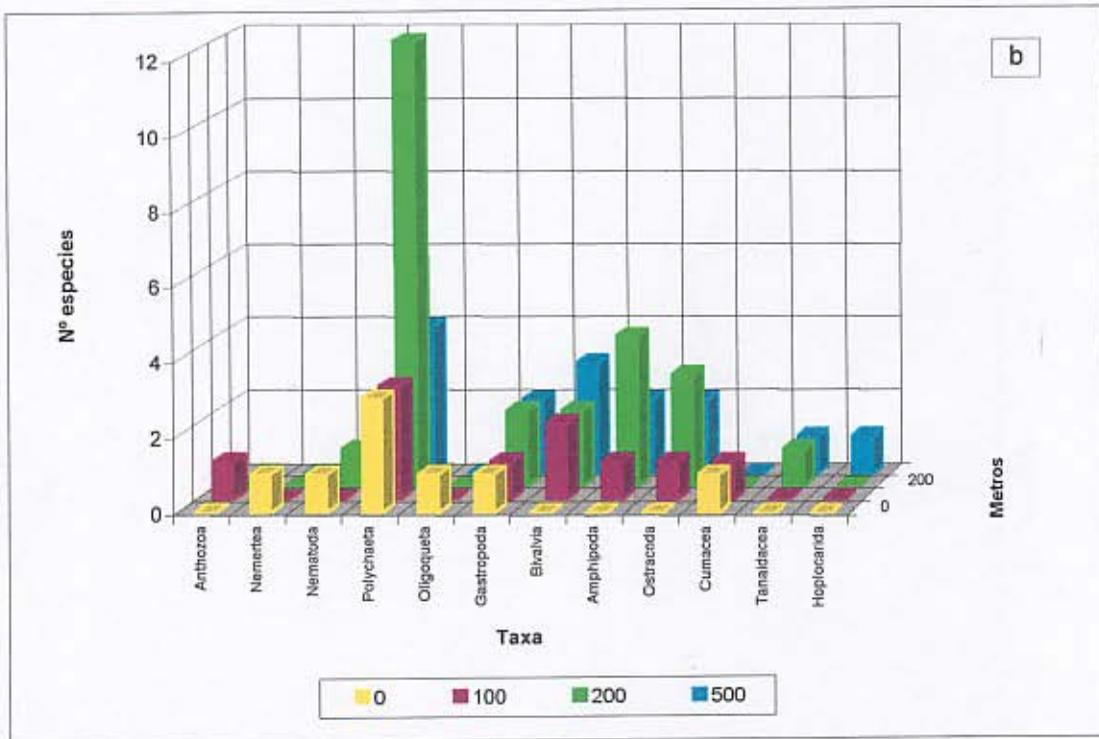
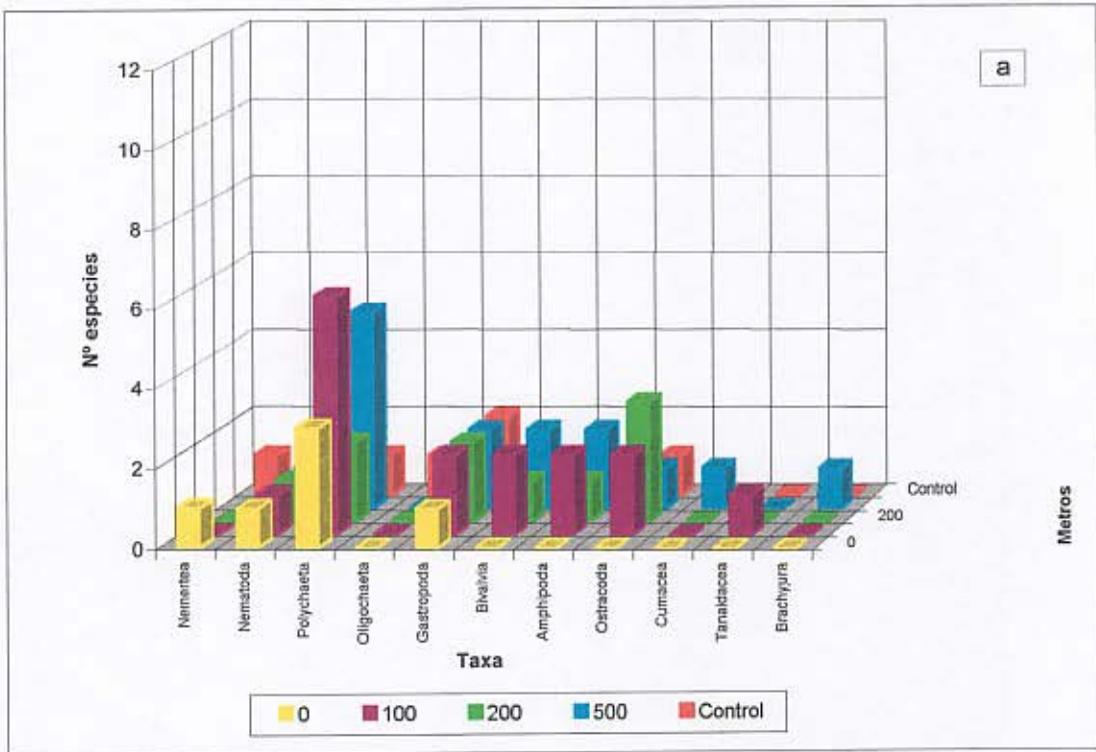


Figura 66. Número de especies por taxa en a) área control y transecta sur, y b) transecta norte en primavera de 1996.

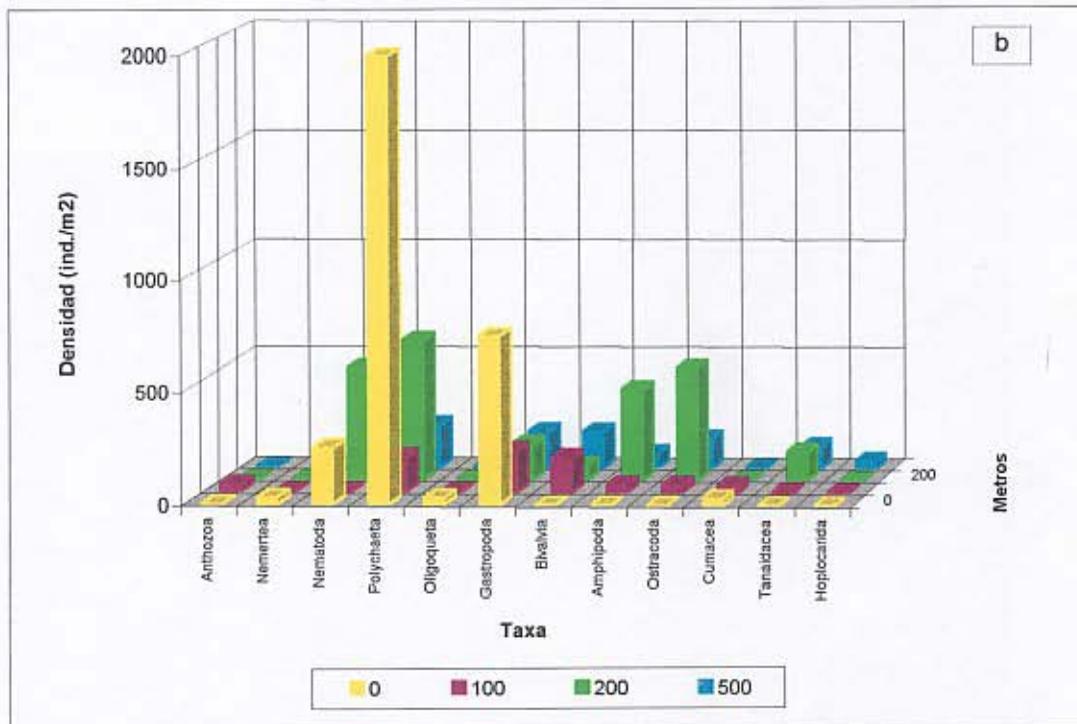
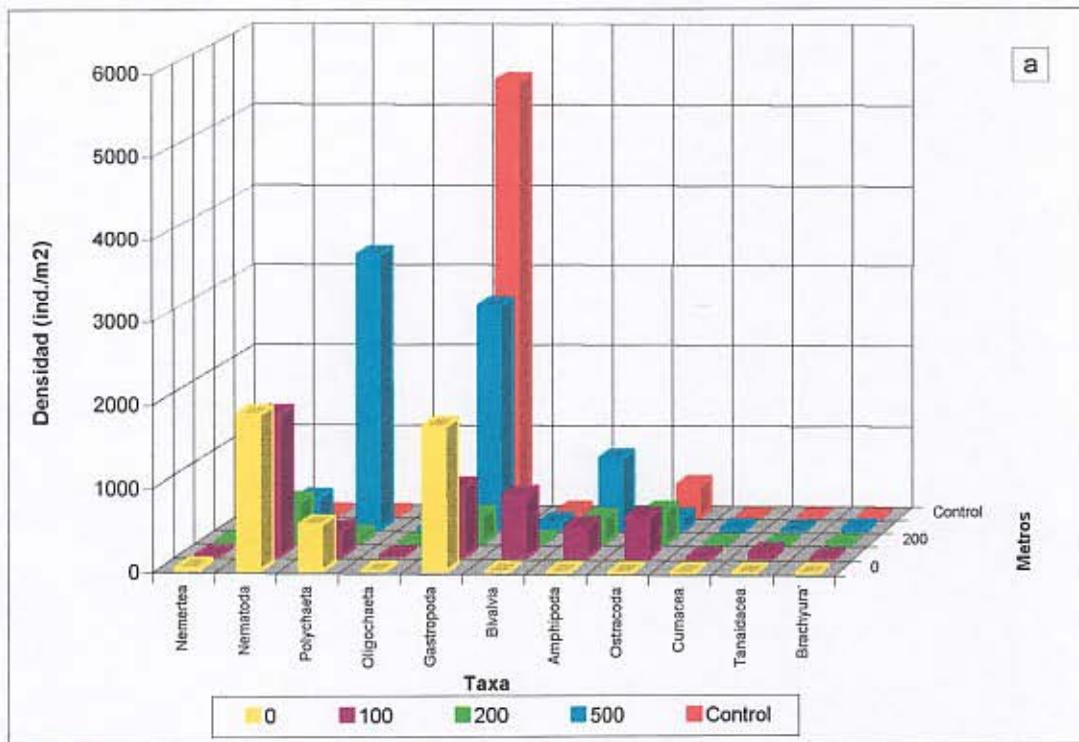


Figura 67. Densidad (N° ind./m<sup>2</sup>) de los taxa en a) área control y transecta sur, y b) transecta norte en primavera de 1996.

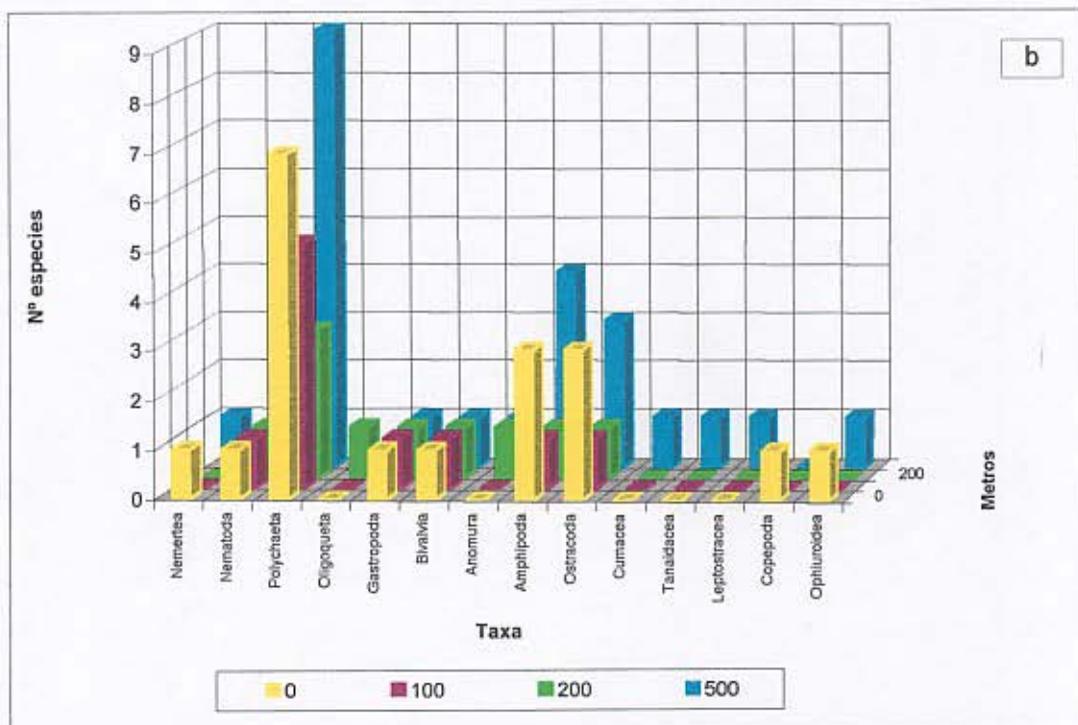
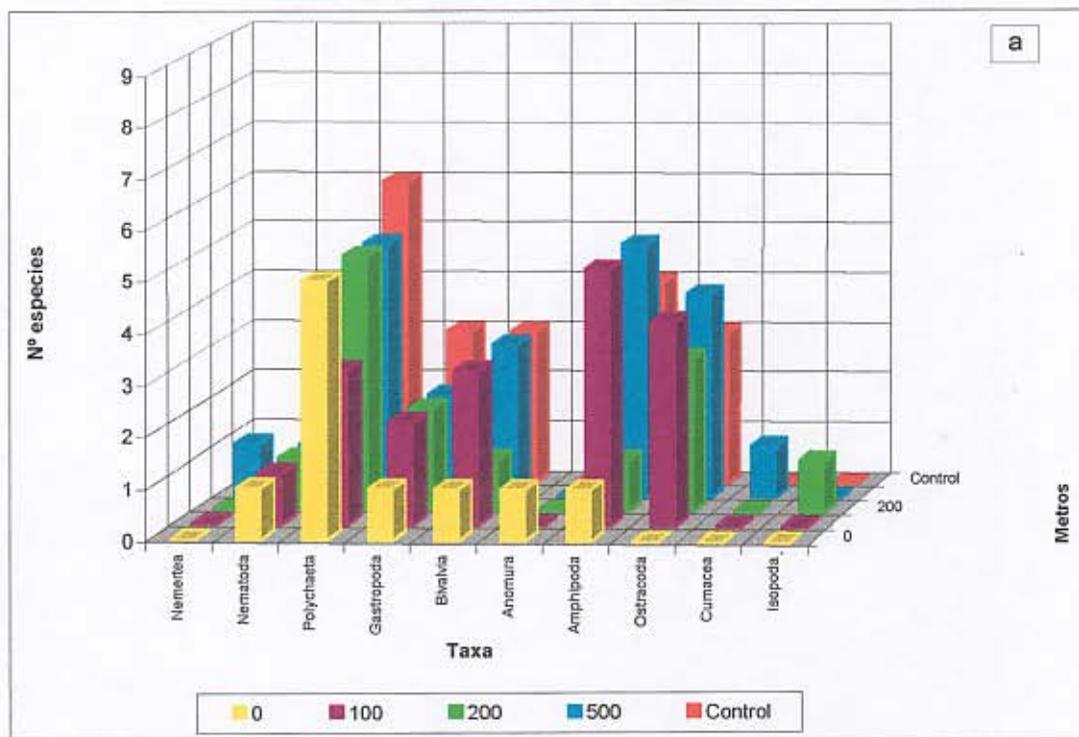


Figura 68. Número de especies por taxa, a) control y transecta sur, y b) transecta norte en verano de 1997.

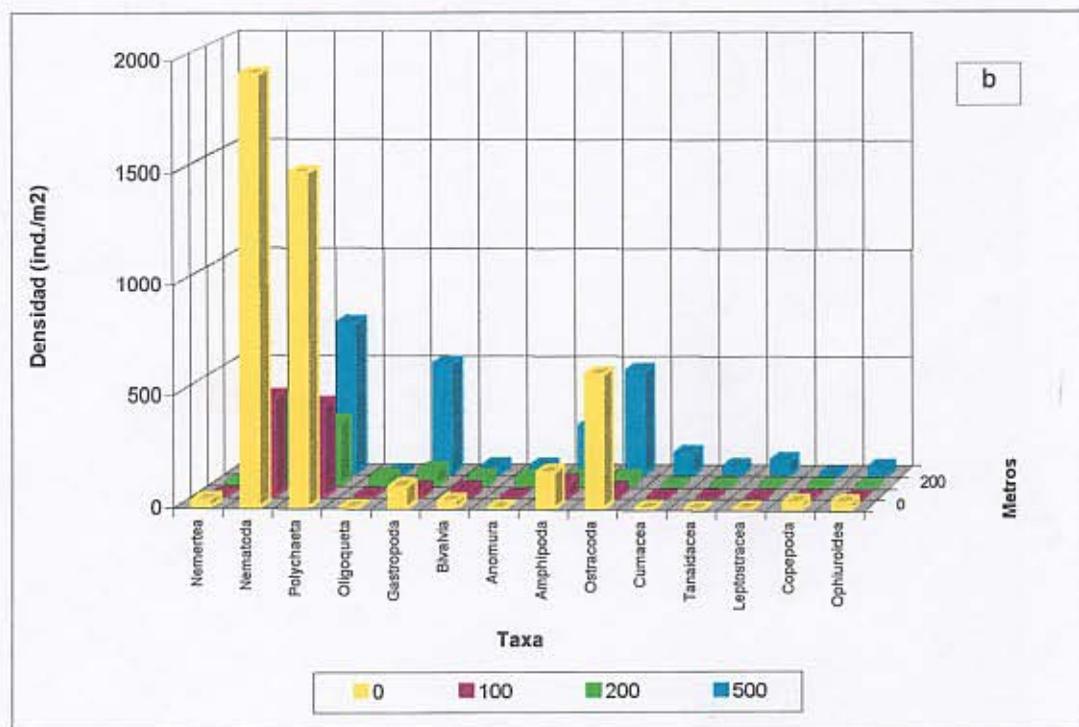
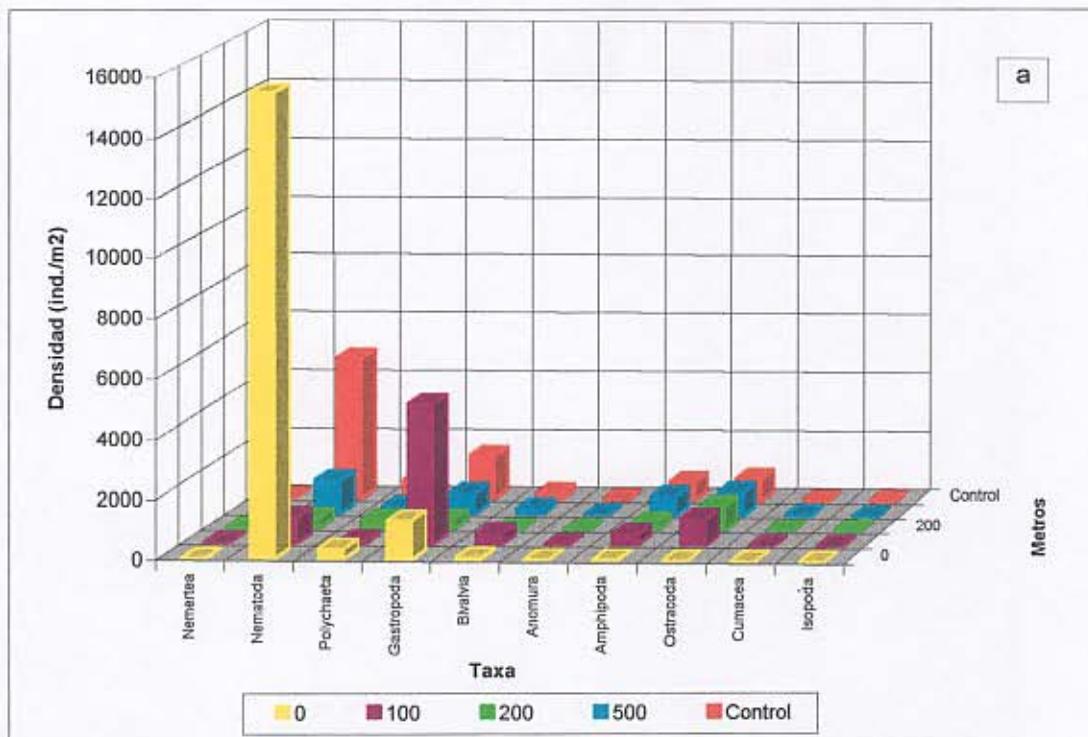


Figura 69. Densidad (N° ind./m<sup>2</sup>) de los taxa en a) área control y transecta sur, y b) transecta norte en verano de 1997.

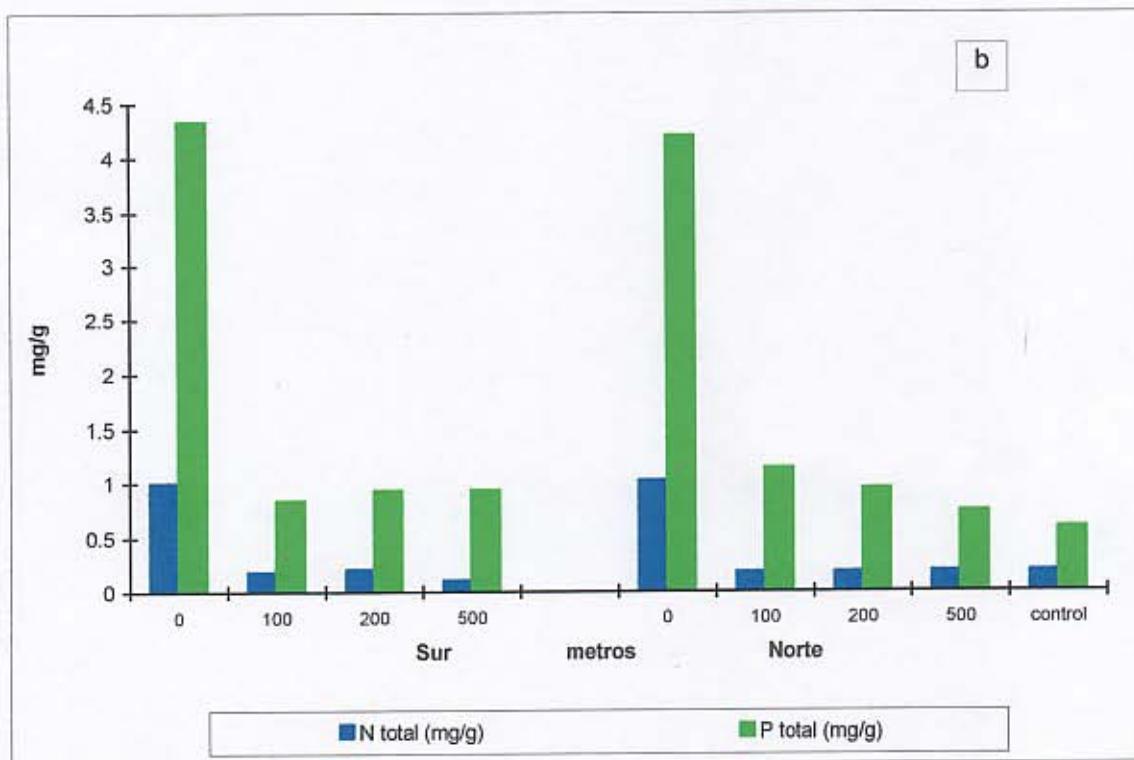
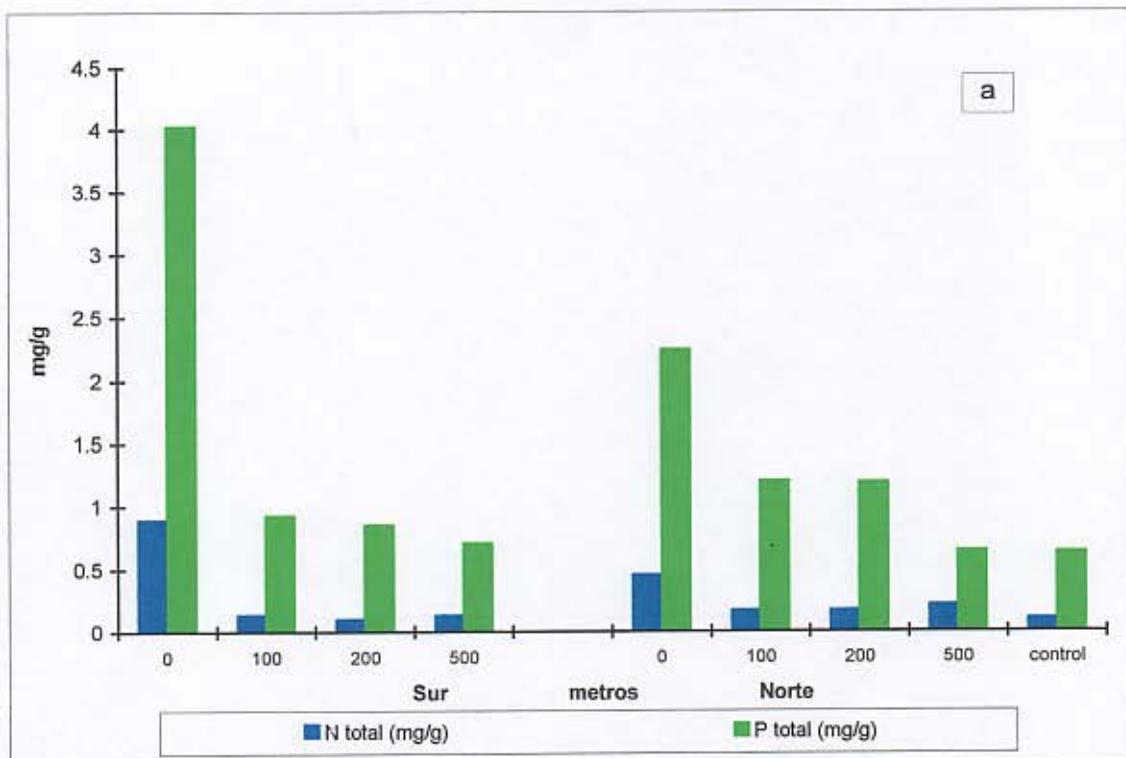


Figura 70. Variación de nitrógeno (N) total y fósforo (P) total en los sedimentos, en el área control, transecta sur y norte. a) otoño y b) invierno.

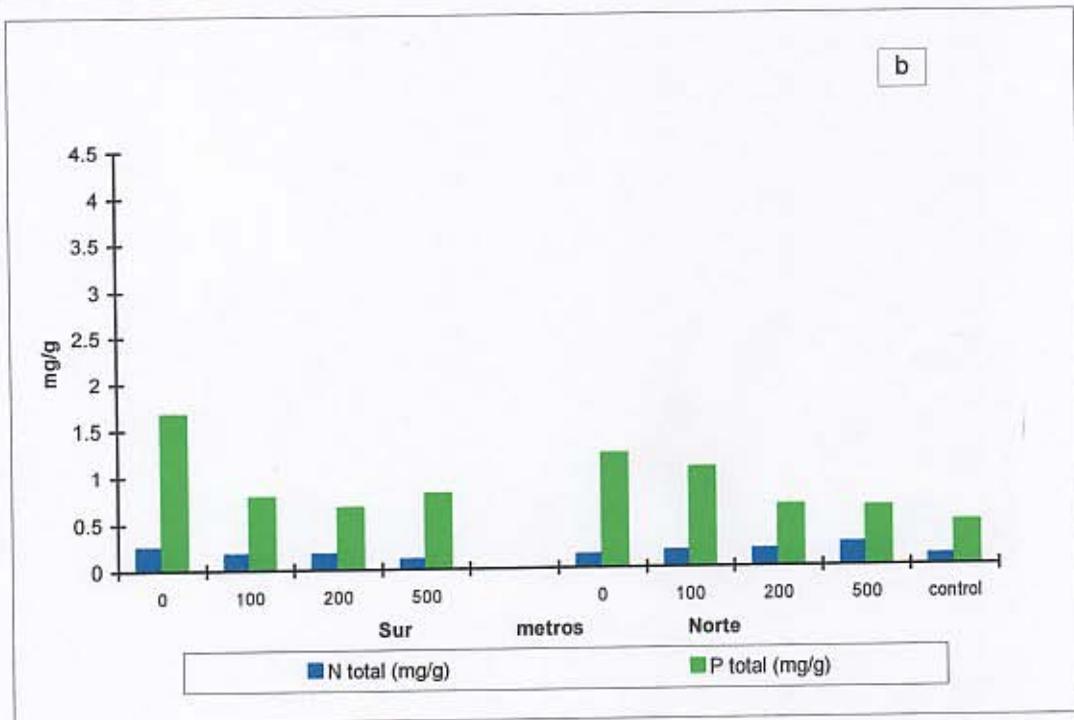
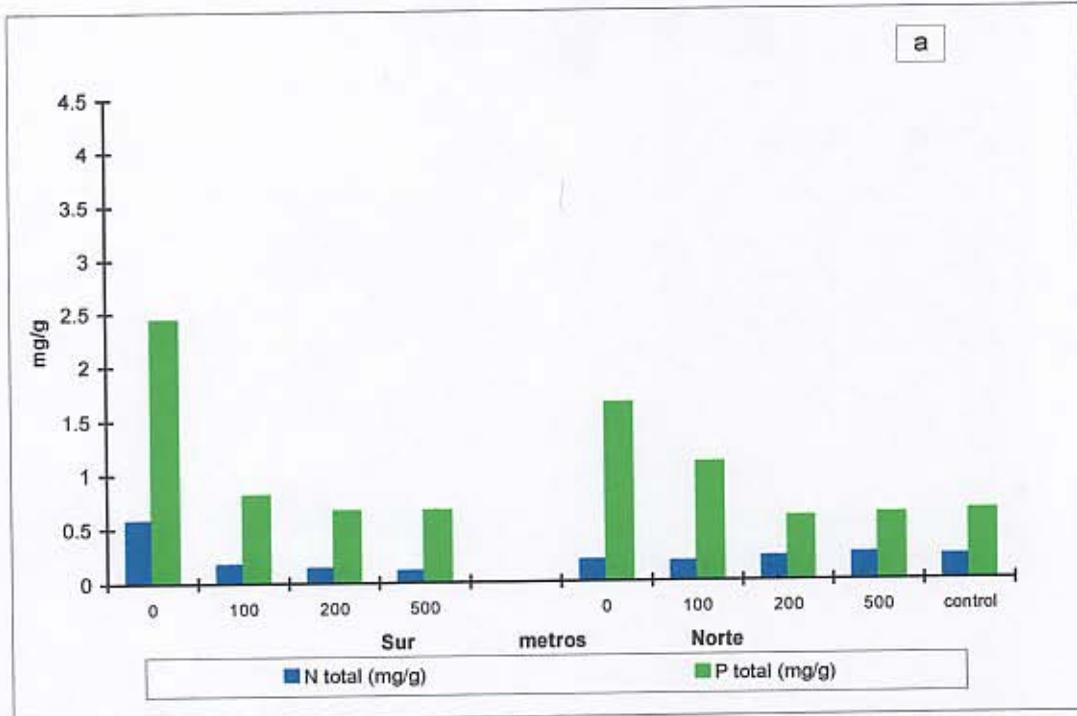


Figura 71. Variación de nitrógeno (N) total y fósforo (P) total en los sedimentos, en el área control, transecta sur y norte. a) primavera y b) verano.

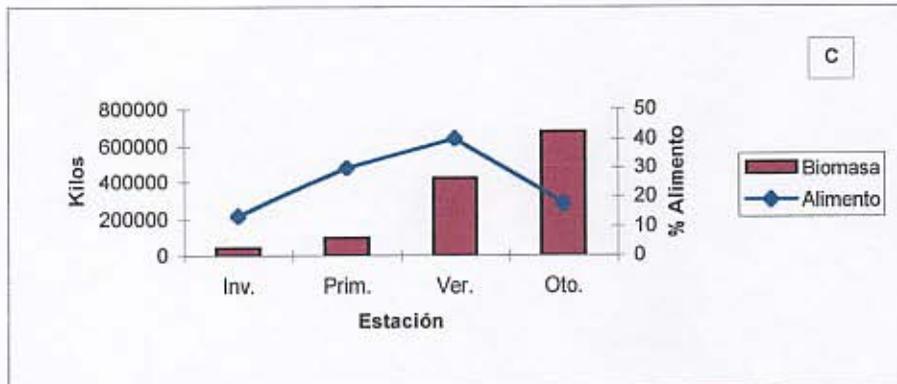
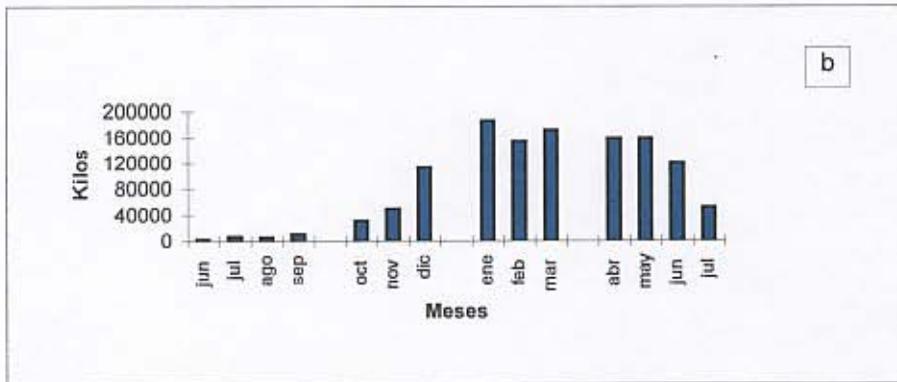
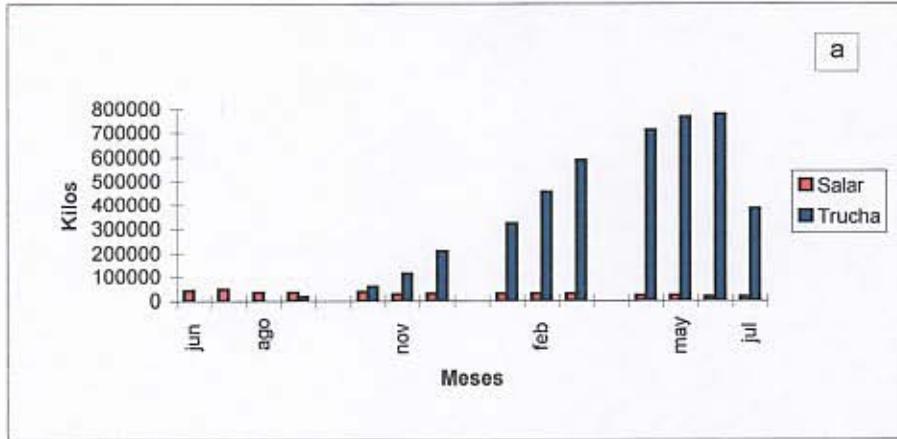


Fig.72. a) Variación mensual de la biomasa de S.Salar y Trucha en Lin-lin, b) Variación mensual del alimento en Lin-lin y c) relación entre la cantidad de alimento y la biomasa estacional en Lin-lin.

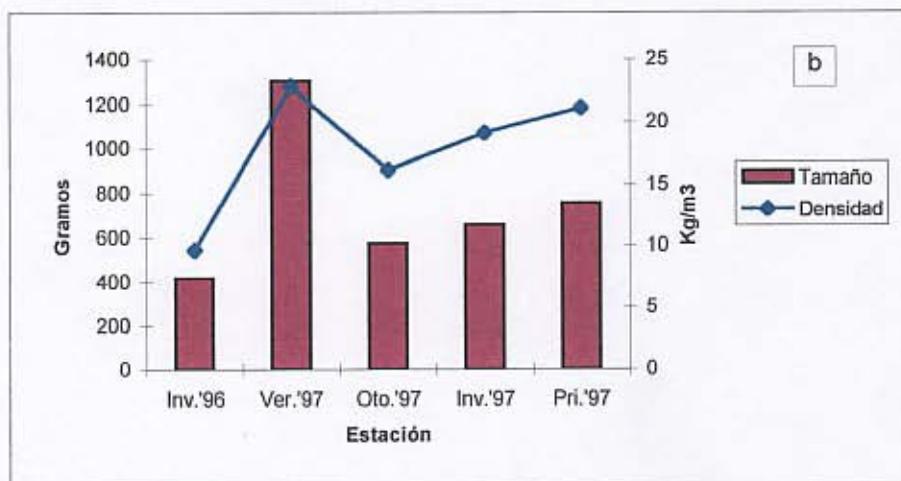
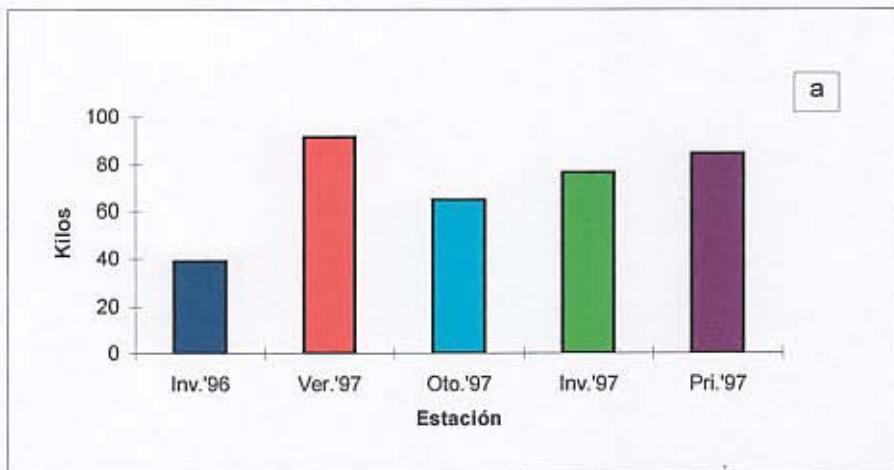


Fig. 73. a) Variación de la biomasa estacional de salmones en Hueihue, b) Peso promedio y densidad de cultivo estacional en Hueihue.

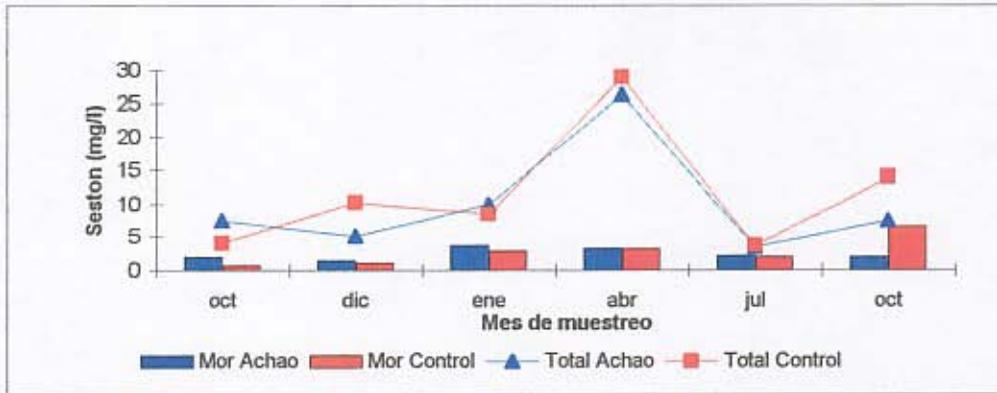


Fig. 74. Fluctuación estacional del contenido total de partículas y del contenido de partículas orgánicas del agua de mar en policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

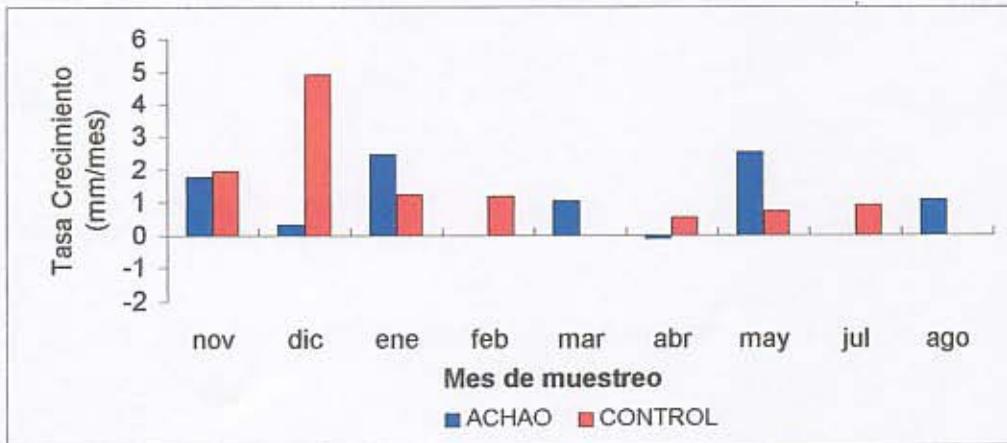


Fig. 75. Tasa de crecimiento estacional de los ostiones en policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control

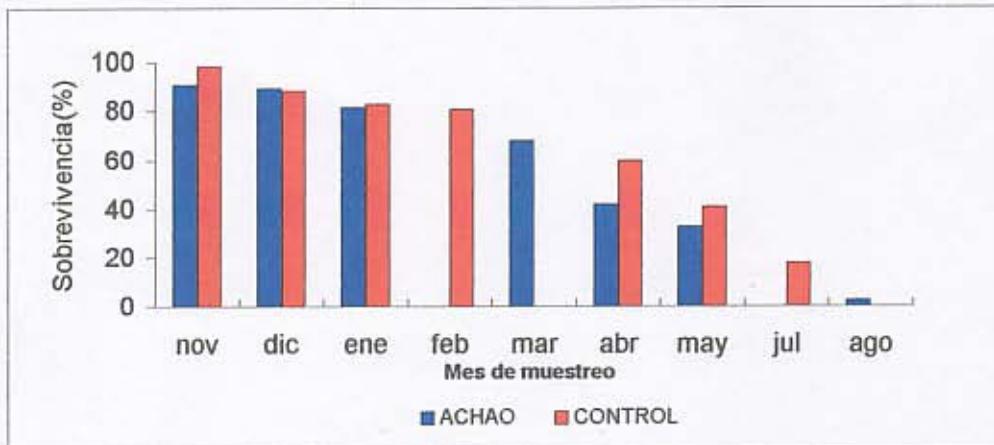


Fig. 76. Sobrevivencia de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

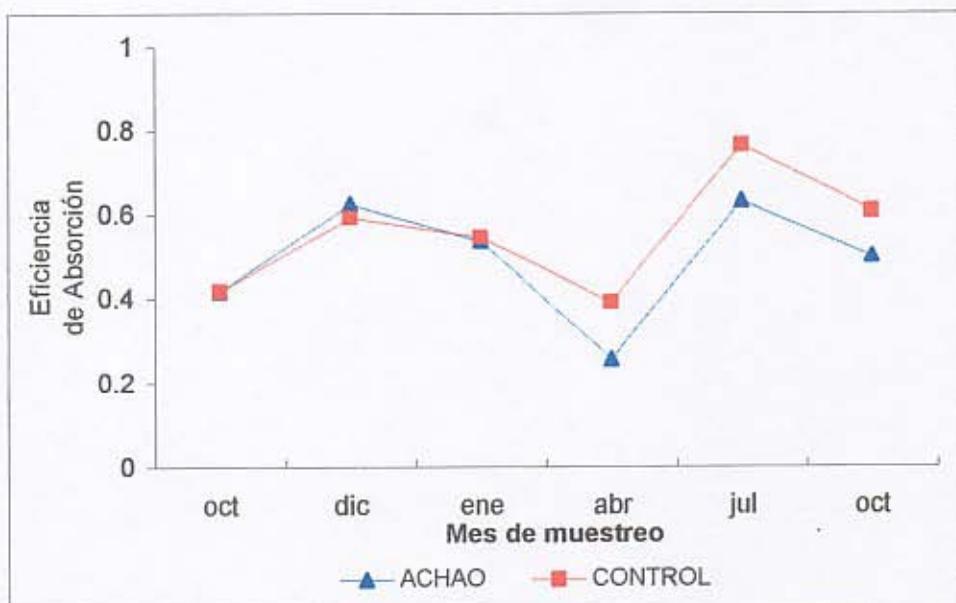


Fig. 77. Variación estacional de la eficiencia de absorción de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

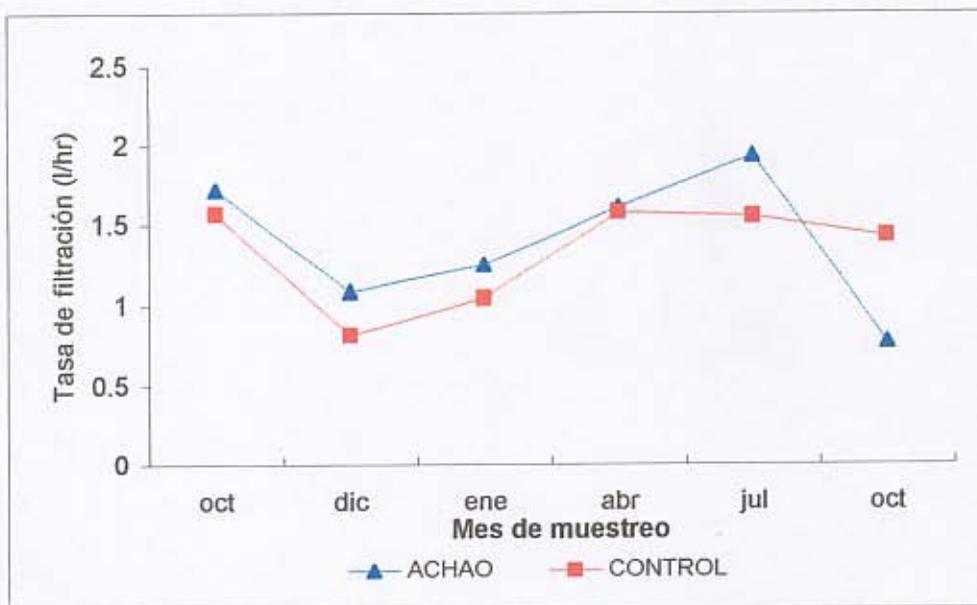


Fig. 78. Variación estacional de la tasa de filtración de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

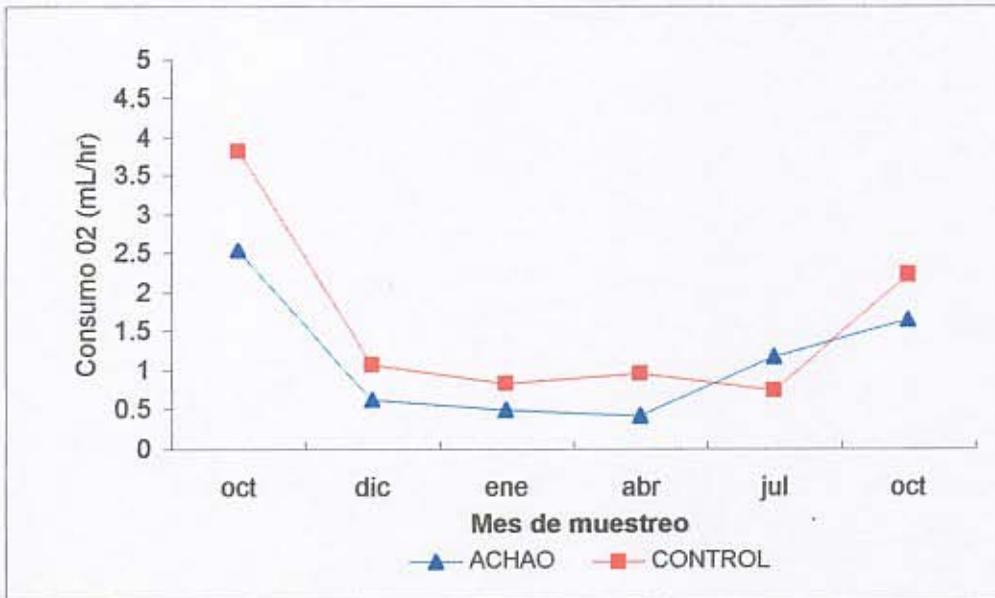


Fig. 79. Variación estacional del consumo de oxígeno de los ostiones en el policultivo de Achao (Lin-Lin), y en el control.

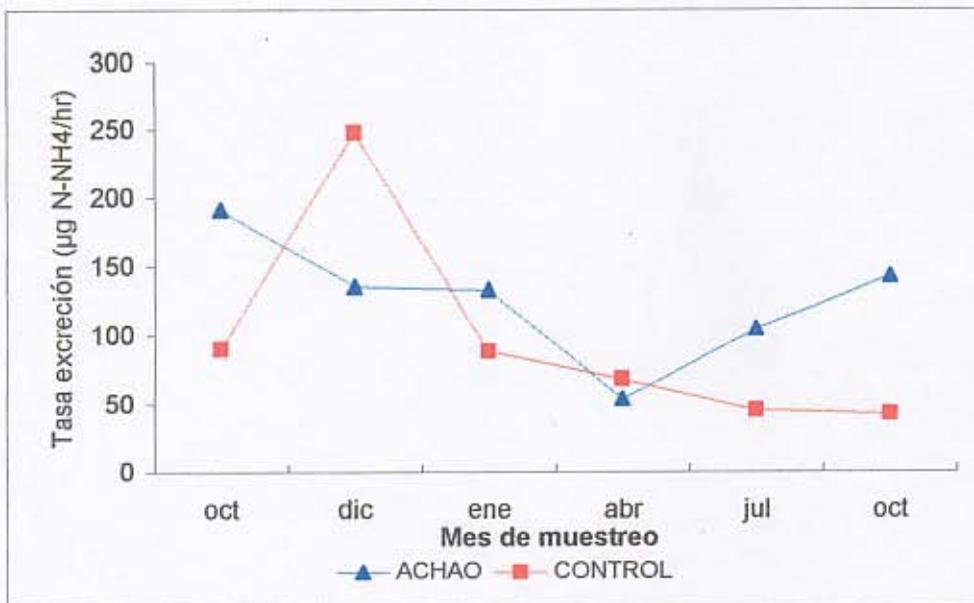


Fig. 80. Variación estacional de la tasa de excreción de amonio de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

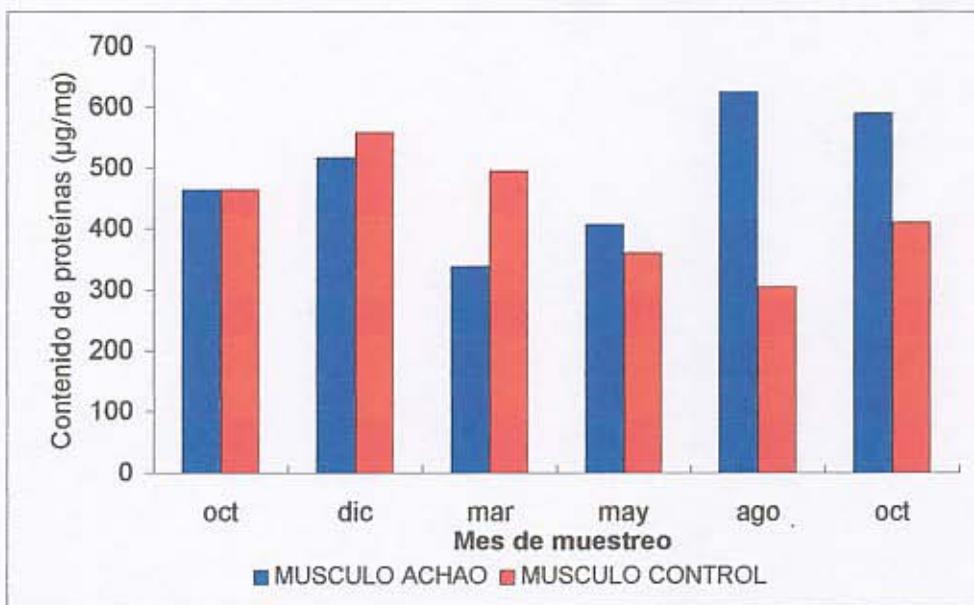


Fig. 81. Cambios estacionales en la composición de proteínas del músculo de ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

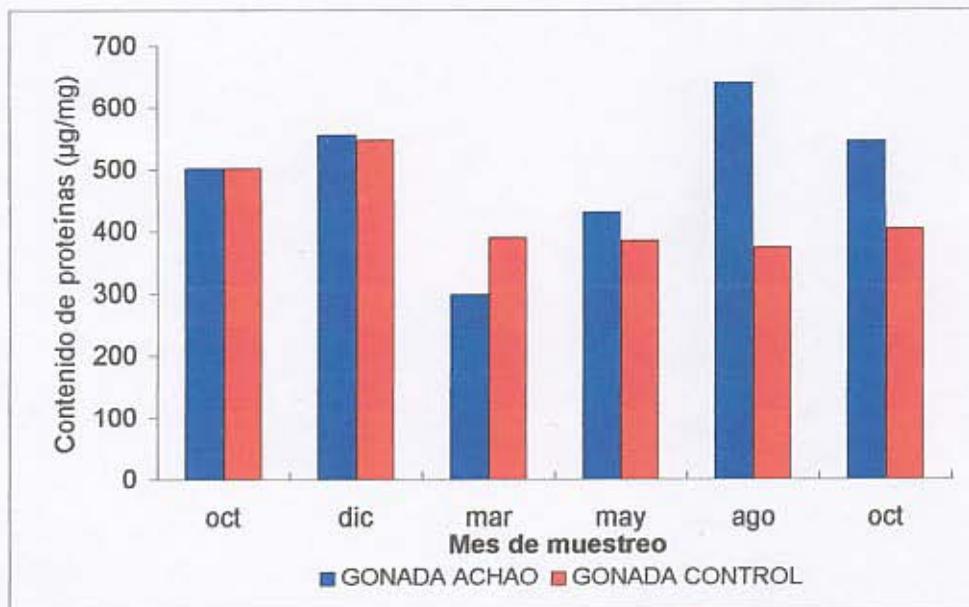


Fig. 82. Cambios estacionales en la composición de proteínas de la gónada de ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

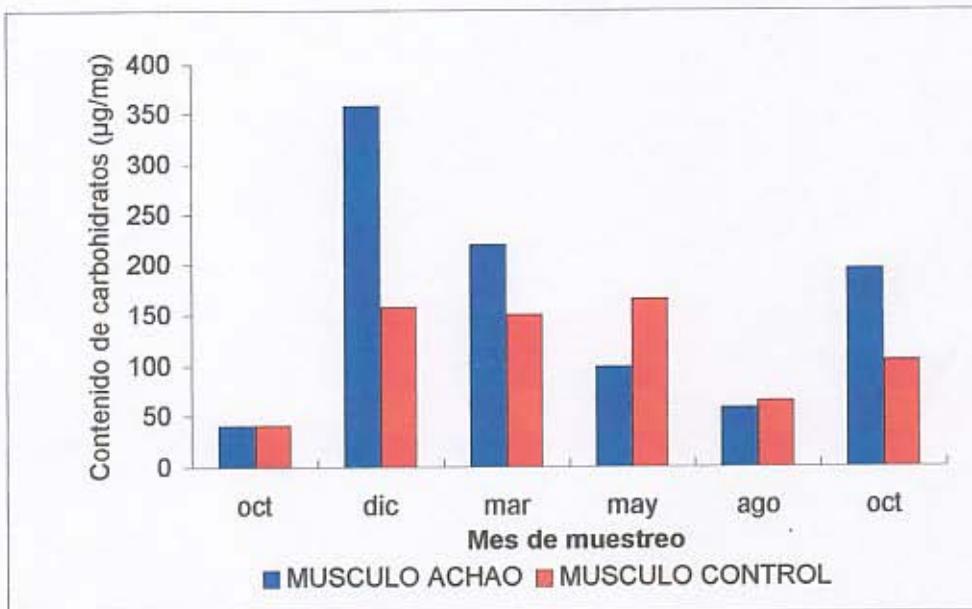


Fig. 83. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos del músculo de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

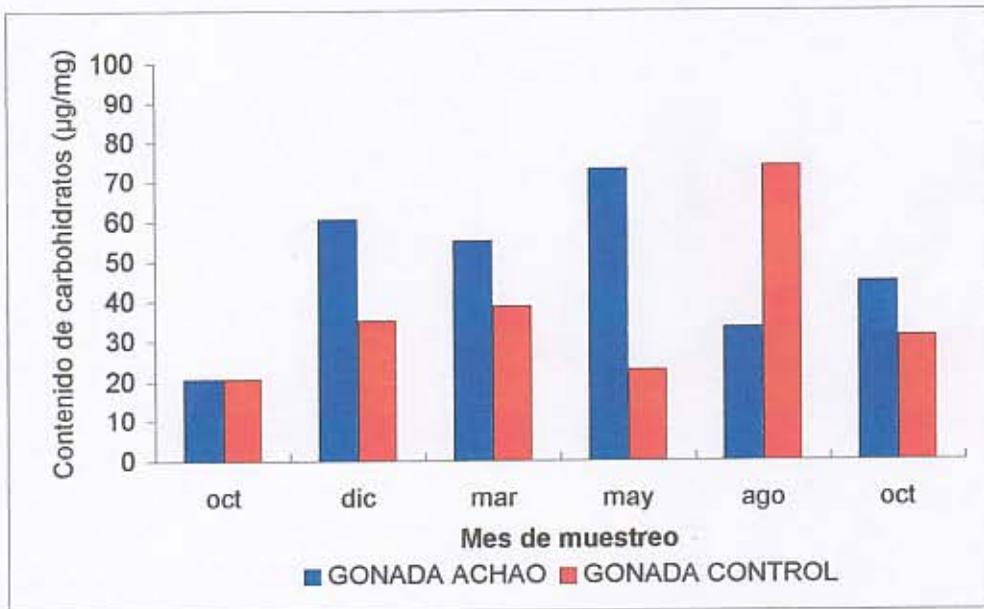


Fig. 84. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos de la gónada de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

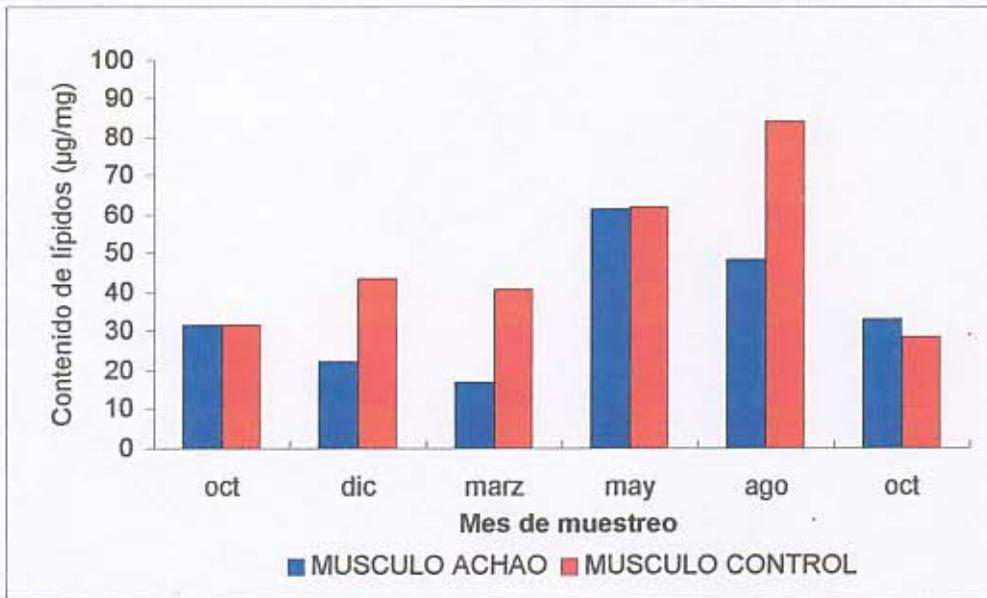


Fig. 85. Cambios estacionales en la composición de lípidos del músculo de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

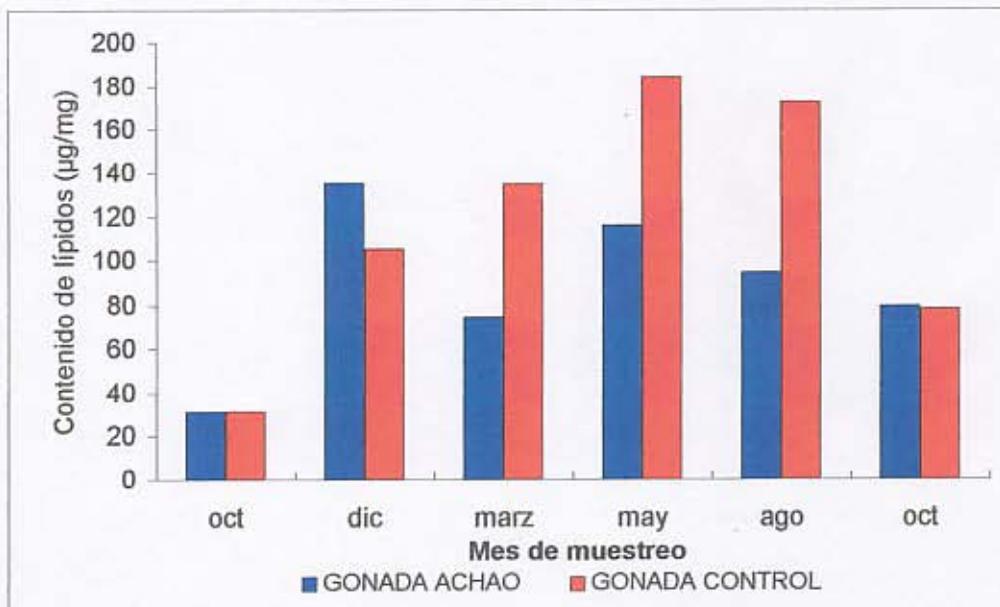


Fig. 86. Cambios estacionales en la composición de lípidos de la gónada de ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

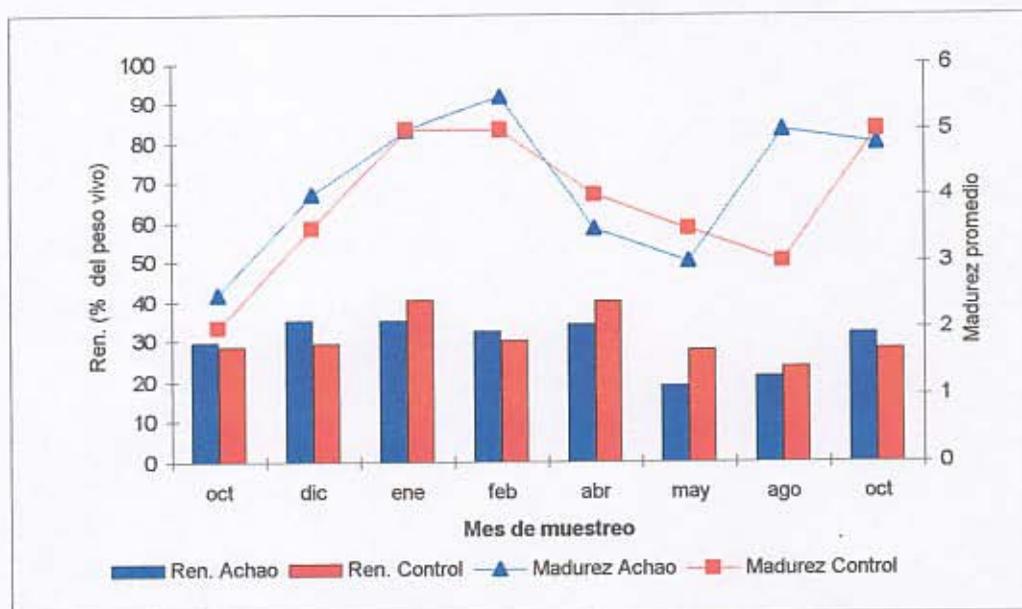


Fig. 87. Rendimiento en carne e índice macroscópico de madurez de la de la gónada de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

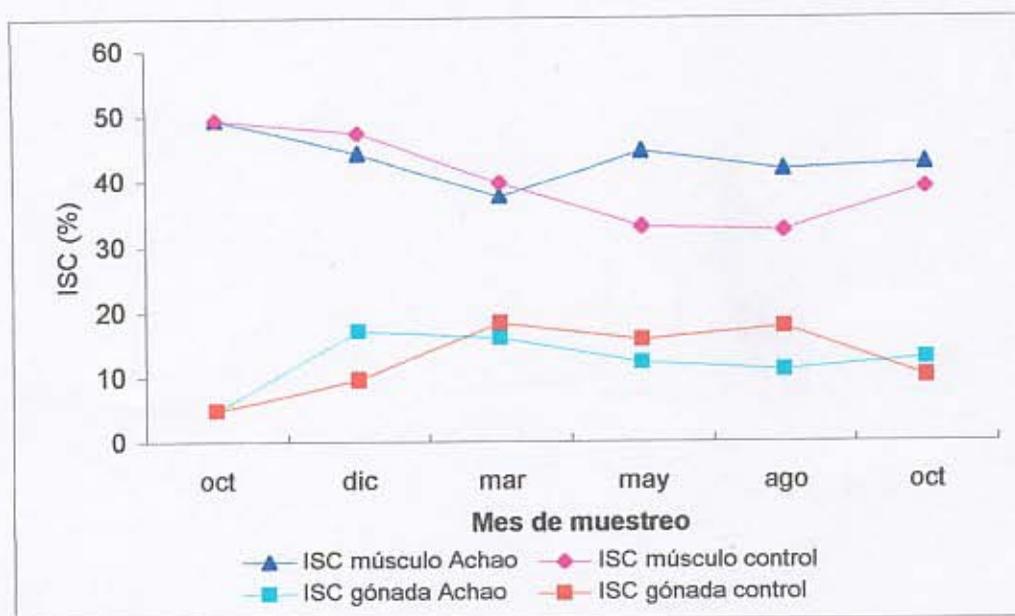


Fig. 88. Índices de condición del músculo (ISC músculo) y la gónada (ISC gónada) de los ostiones en el policultivo en Achao (Lin-Lin), y en el control.

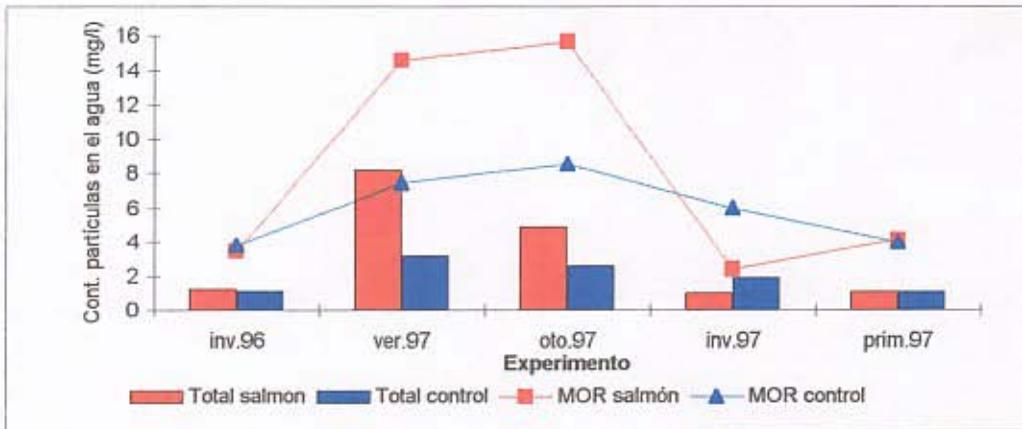


Fig. 89. Fluctuación estacional del contenido total y contenido orgánico particulado del agua de mar, en los sistemas control y efuente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

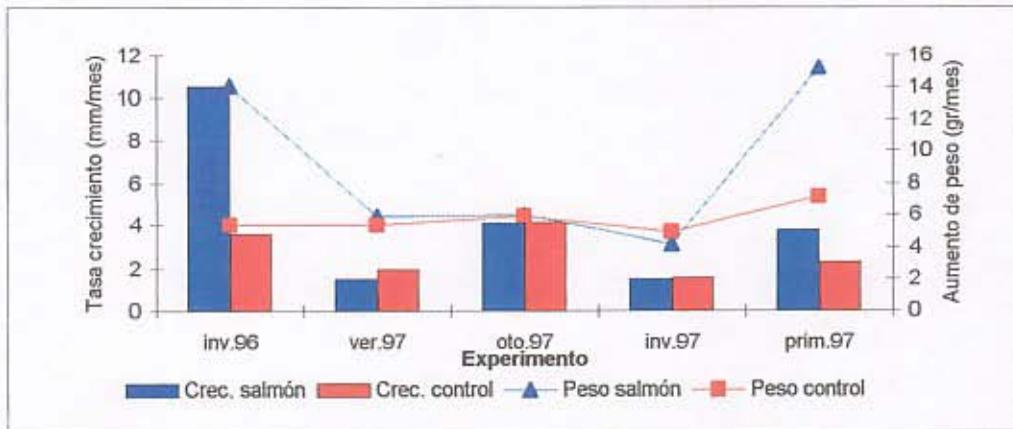


Fig. 90. Tasa de crecimiento e incremento de peso de los ostiones en los experimentos estacionales en condiciones semi-controladas de invernadero.

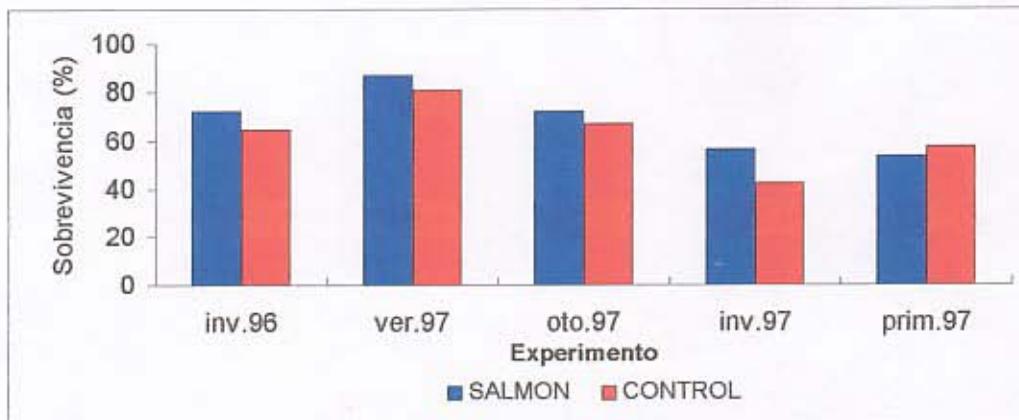


Fig. 91. Sobrevivencia estacional de ostiones, en condiciones semi-controladas de invernadero.

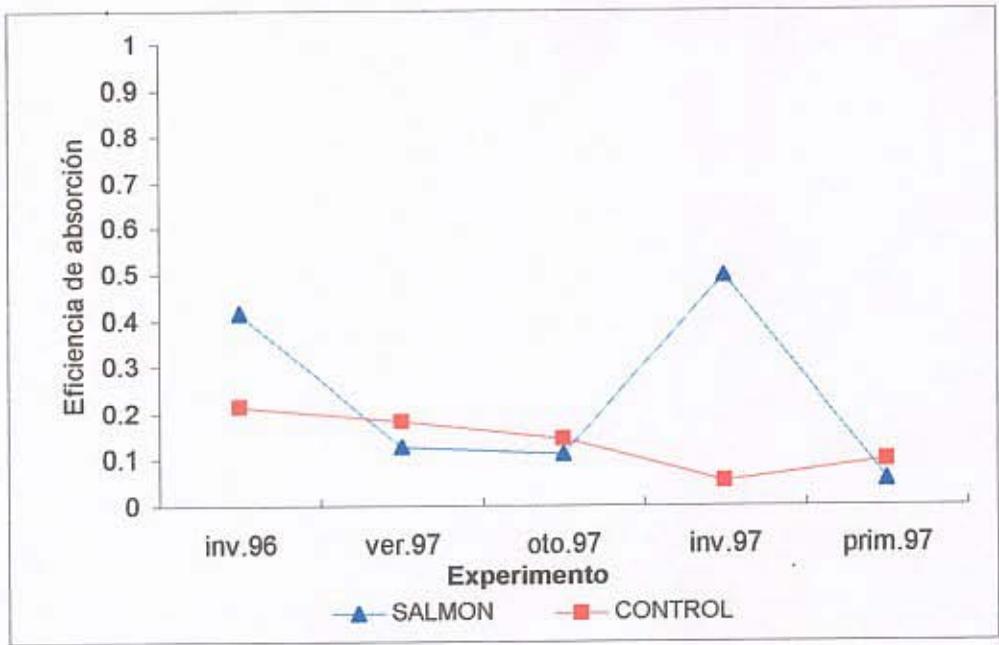


Fig. 92. Variación estacional de la eficiencia de absorción de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

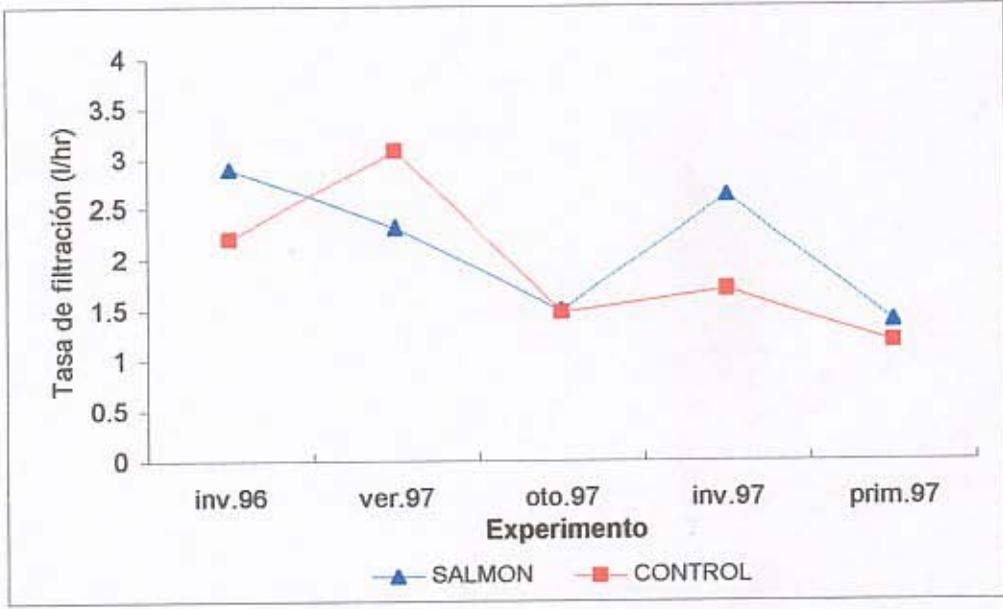


Fig. 93. Variación estacional de la tasa de filtración de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

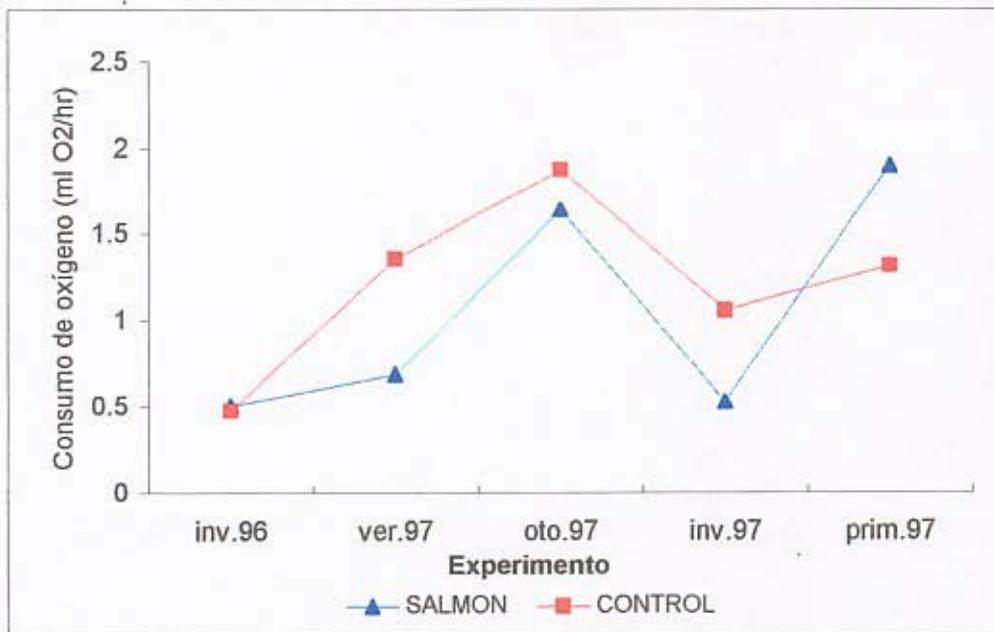


Fig. 94. Variación estacional del consumo de oxígeno de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

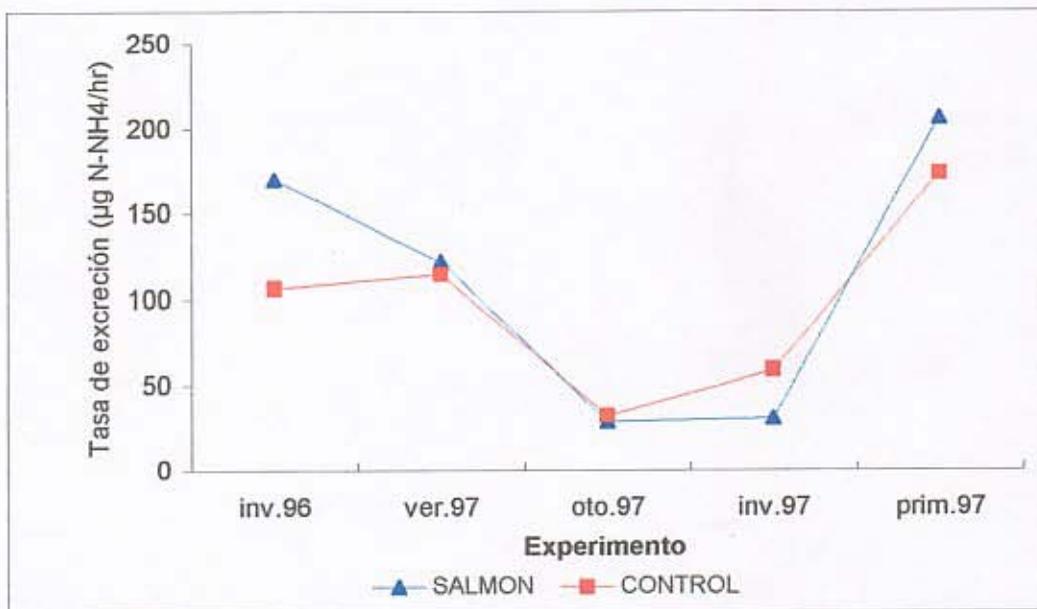


Fig. 95. Variación estacional de la tasa de excreción de amonio de los ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

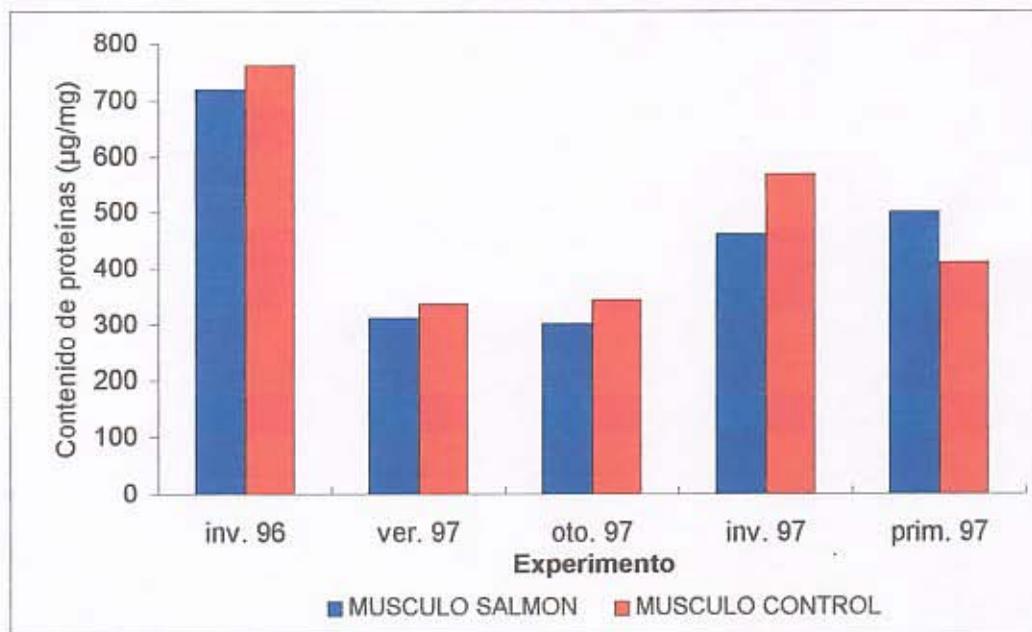


Fig. 96. Cambios estacionales en la composición de proteínas del músculo de ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

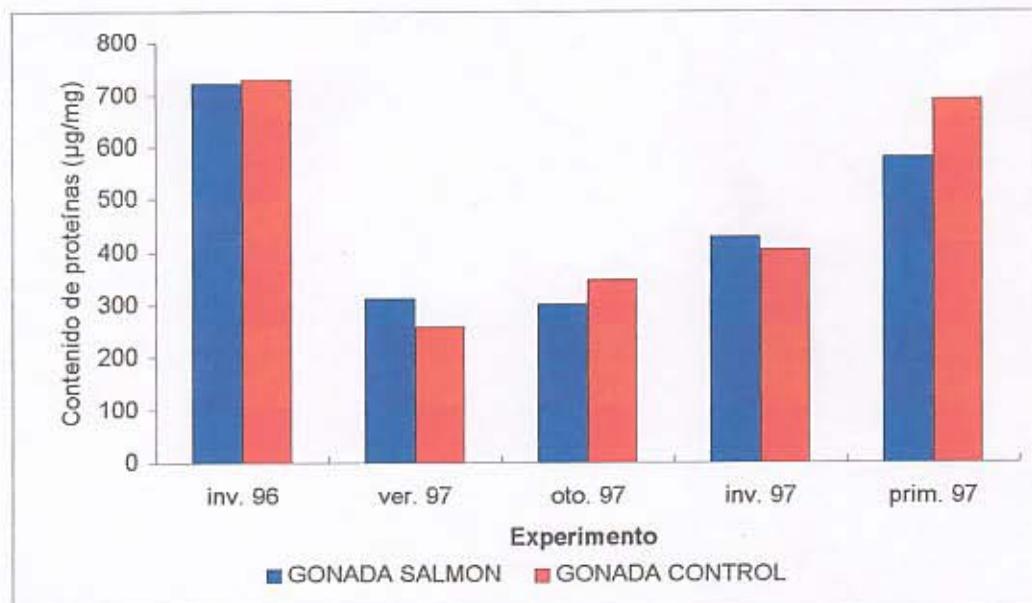


Fig. 97. Cambios estacionales en la composición de proteínas de la gónada de ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

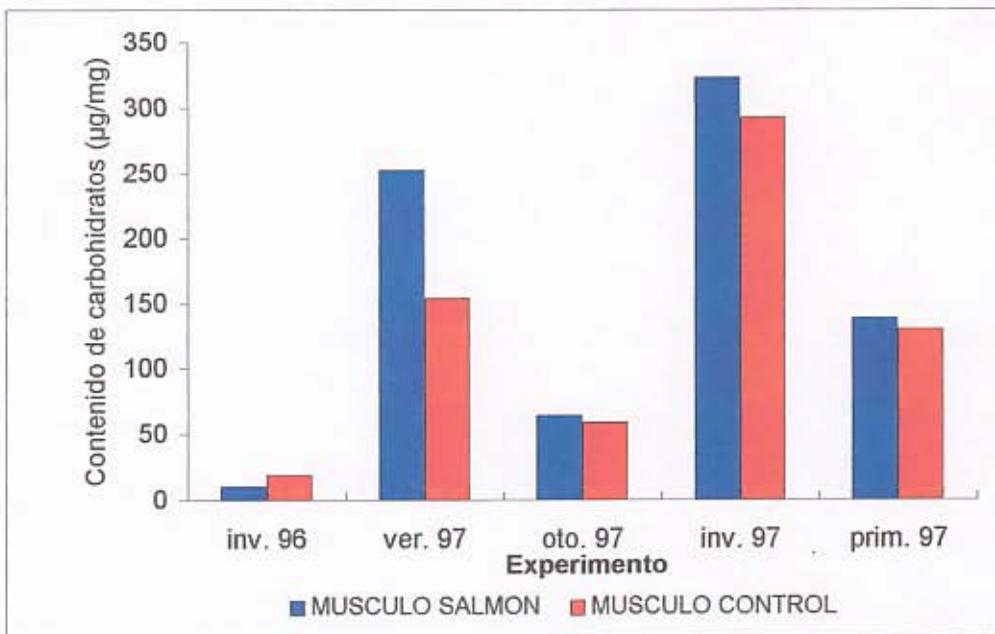


Fig. 98. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos del músculo de ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

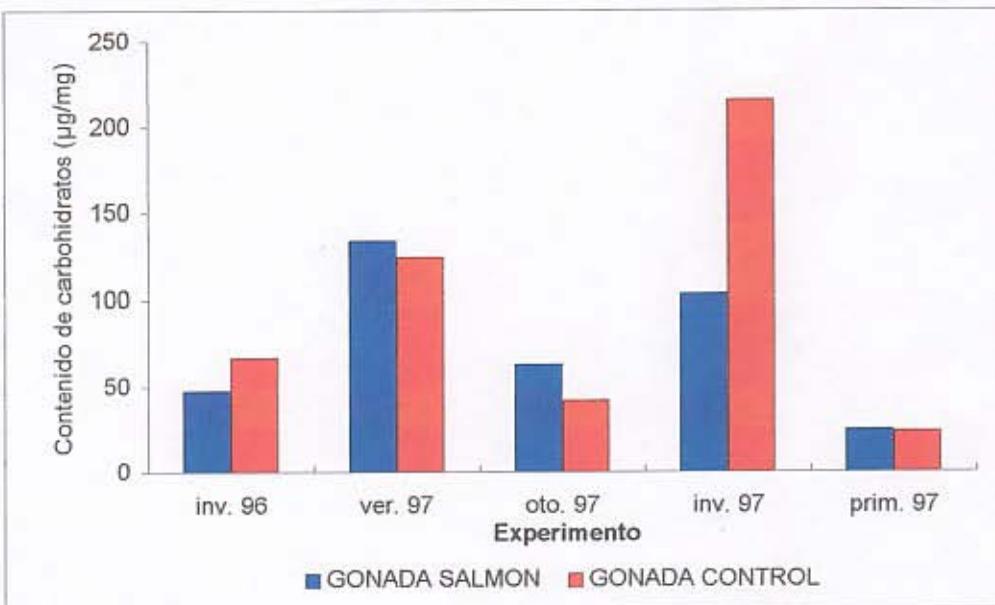


Fig. 99. Cambios estacionales en la composición de carbohidratos de la gónada de ostiones en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

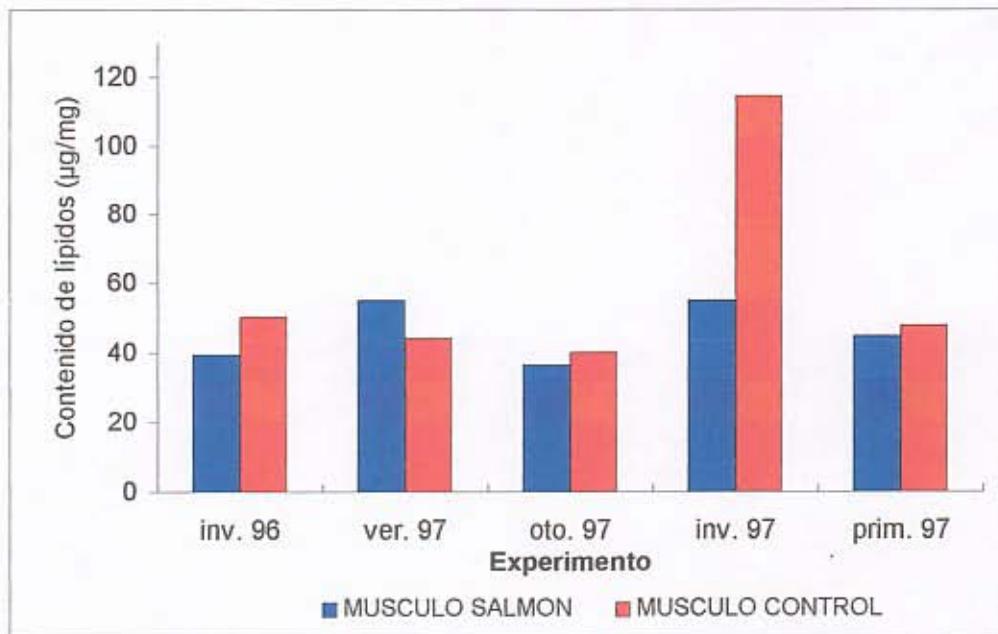


Fig. 100. Cambios estacionales en la composición de lípidos del músculo de ostras en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

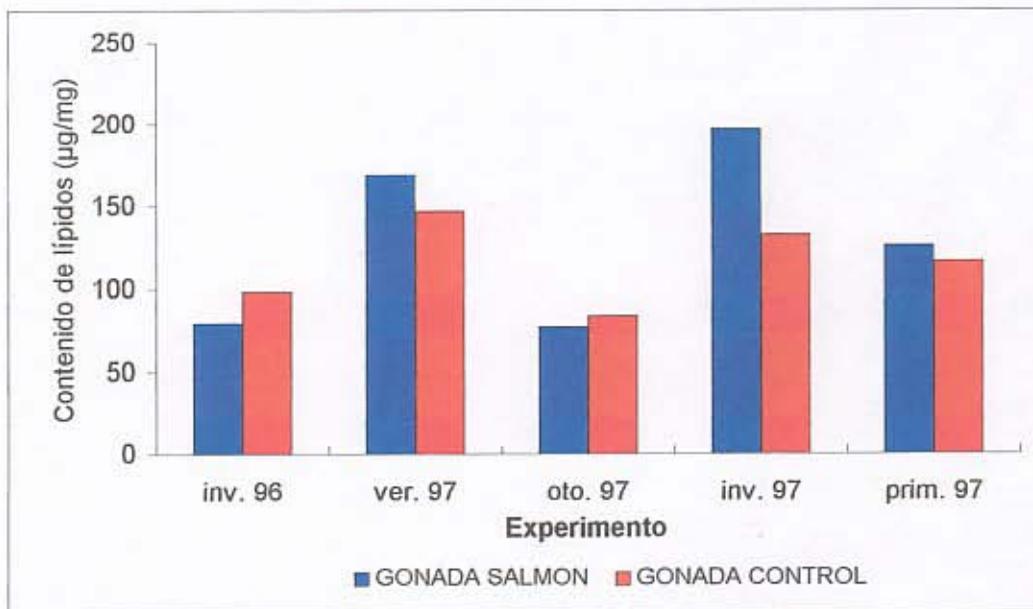


Fig. 101. Cambios estacionales en la composición de lípidos de la gónada de ostras en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

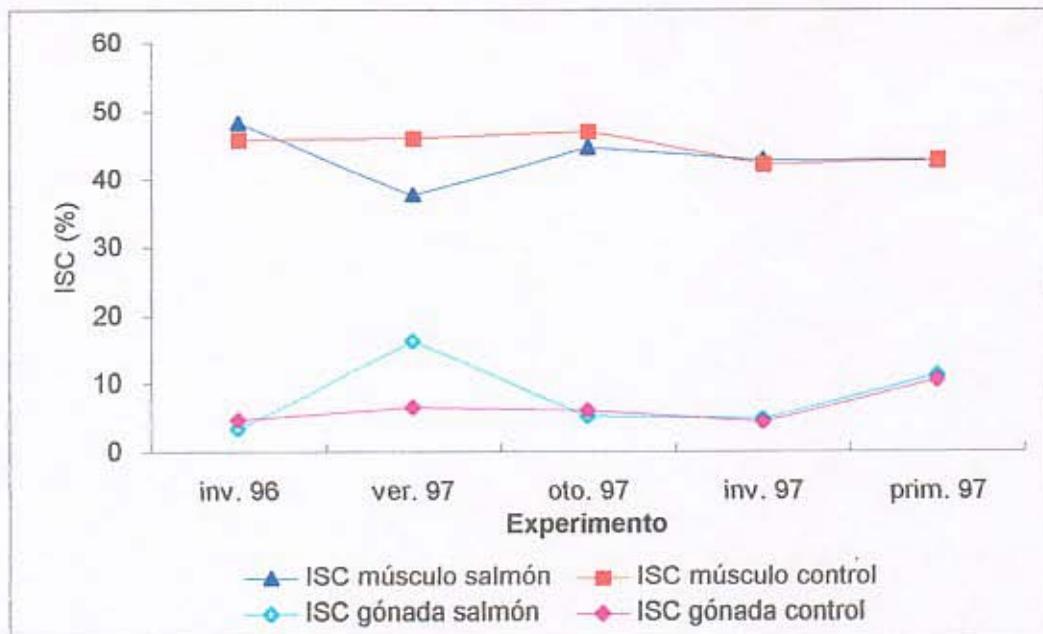


Fig. 102. Índices de condición del músculo (ISC músculo) y la gónada (ISC gónada) de ostión en los sistemas control y efluente de salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

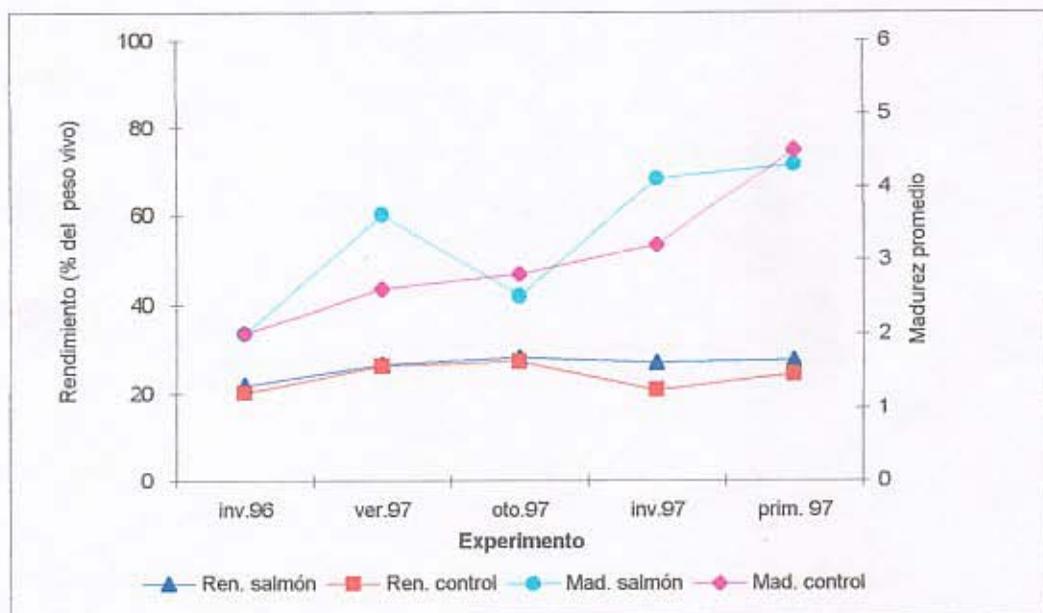


Fig. 103. Rendimiento e índice macroscópico de madurez de la gónada de los ostiones en los sistemas control y efluente salmón en condiciones semi-controladas de invernadero.

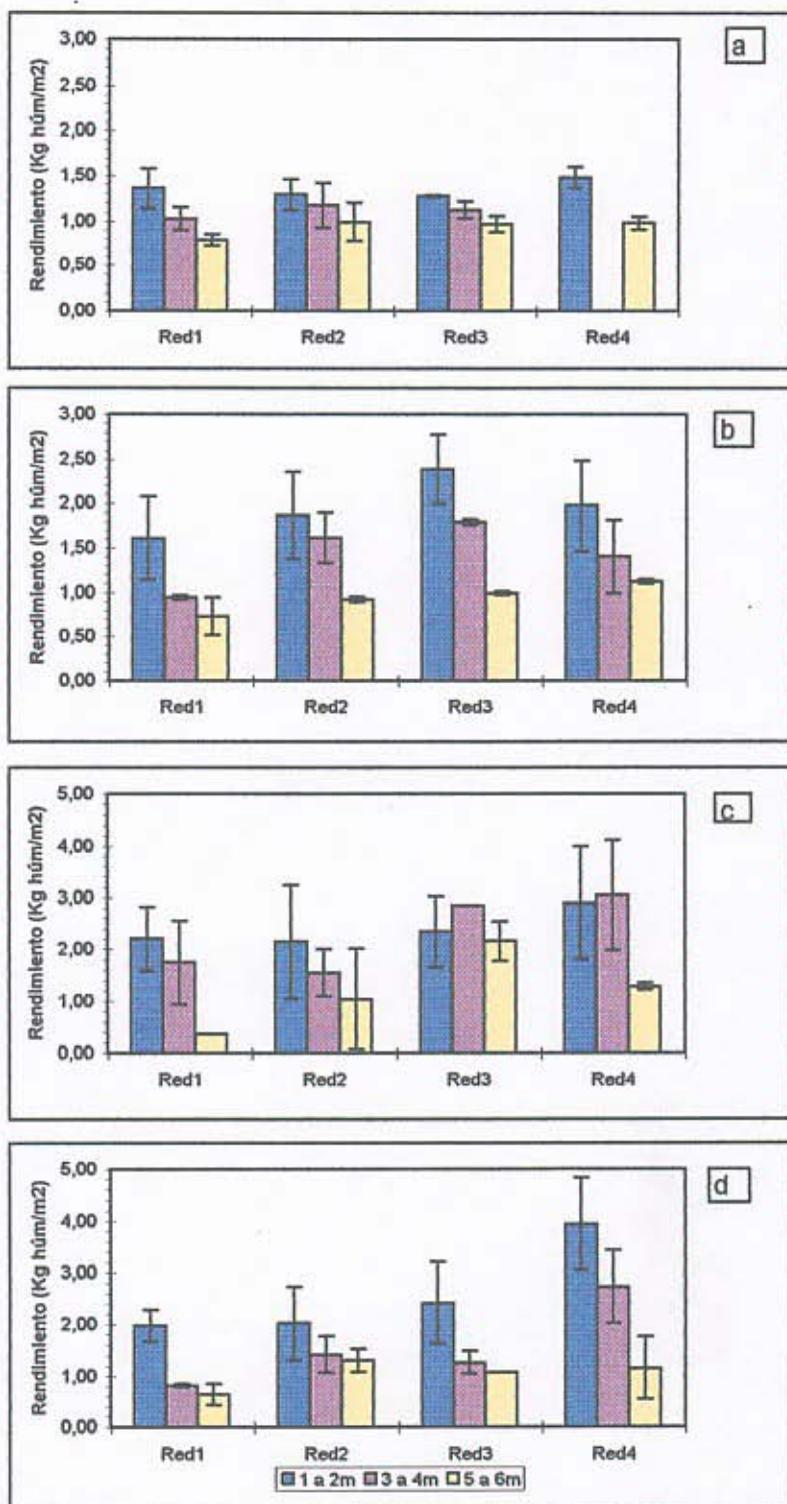


Figura 104 Promedio de incremento de biomasa ( $\pm$  d e), en el sistema de redes en desuso, expresado en Kg/m<sup>2</sup> de alga húmeda a diferentes profundidades. a) Noviembre de 1996 b) Diciembre de 1996 c) Enero de 1997 d) Febrero de 1997.

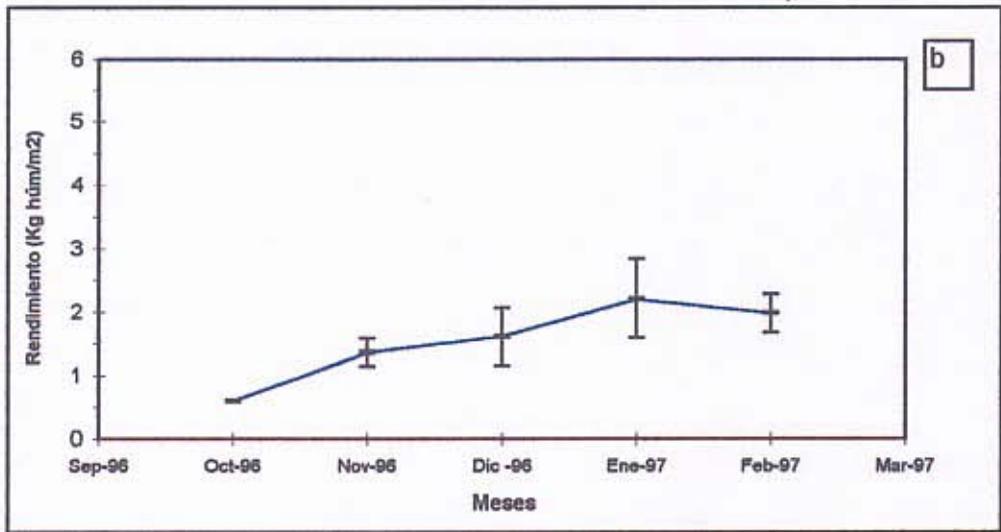
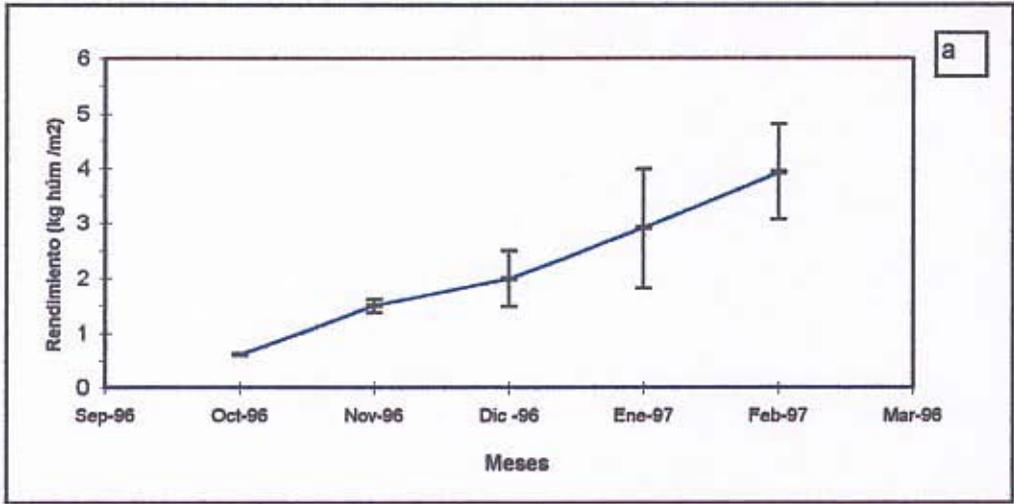


Figura 105 Rendimiento promedio ( $\pm$  d e), en el sistema de redes en desuso, expresado en Kg/m<sup>2</sup> de alga húmeda. a) Red N°4 ubicada a 146 m de las balsas jaulas b) Red N° 1 ubicada a 200 m de las balsas jaulas

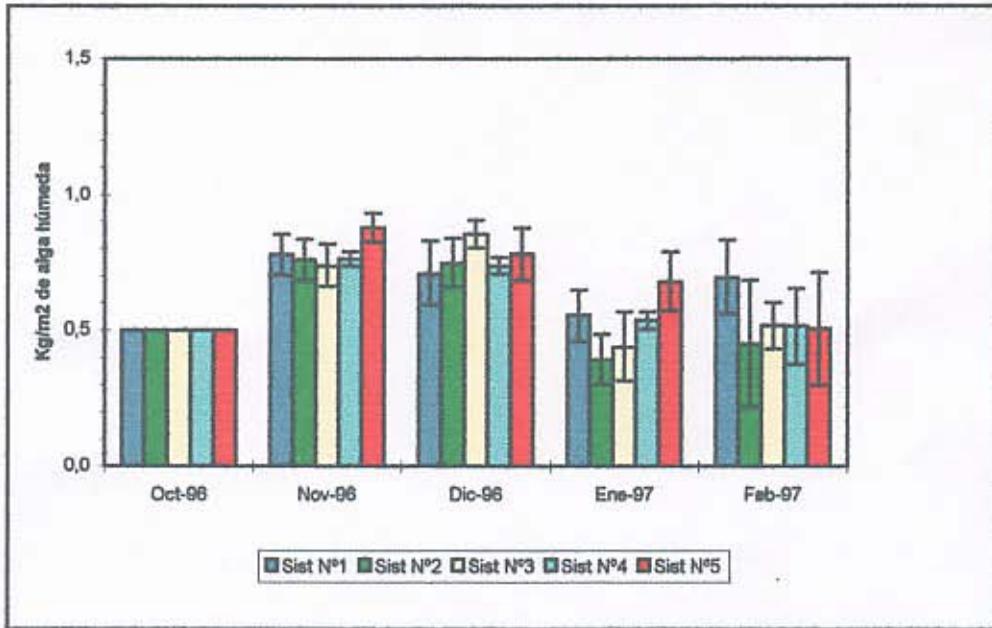


Figura 106 Incremento en biomasa en el sistema de malla pavo, entre los meses de Octubre de 1996 a Febrero de 1997 en la localidad de Achao. Los sistemas 1 al 5 corresponden a distancias desde las balsa jaulas al experimento (Sist 1) ubicado a 183 m de las balsas jaulas; (Sist 2) ubicado a 175 m de las balsas jaulas; (Sist 3) ubicado a 171 m de las balsas jaulas; (Sist 4) ubicado a 167 m de las balsas jaulas; (Sist5) ubicado a 159 m de las balsas jaulas.

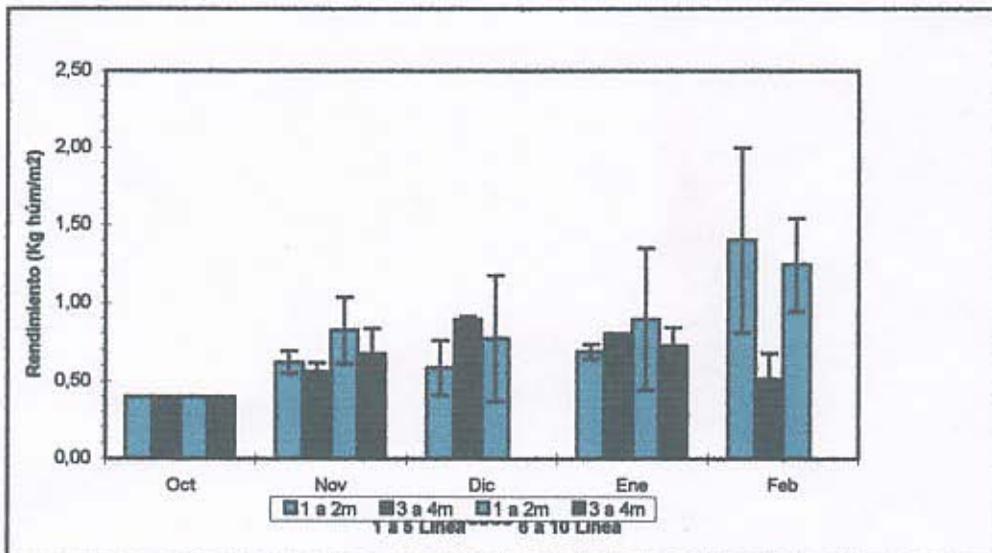


Figura 107 Incremento en biomasa en el sistema de pearl-net, entre los meses de Octubre de 1996 y Febrero de 1997, en la localidad de Achao. Desde la 1 a 5 línea se encuentran a una distancia de 176 m de las balsas jaulas y desde la 6 a 10 línea a una distancia de 150 m de las balsas jaulas.

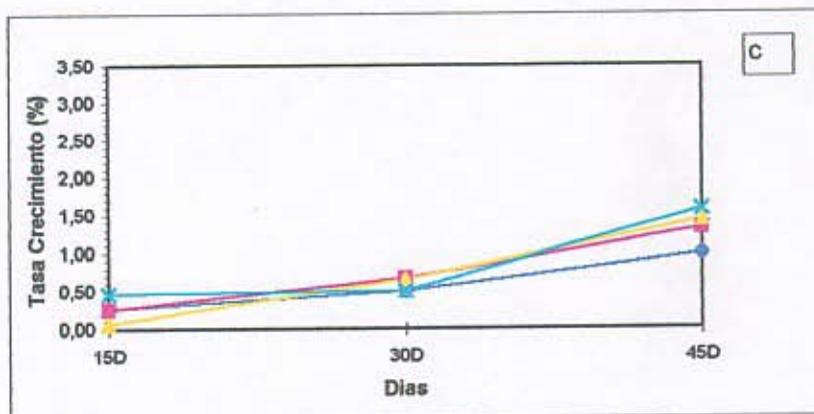
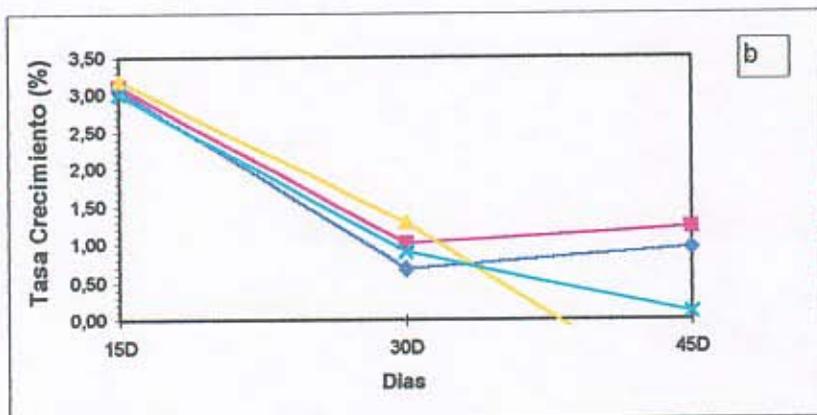
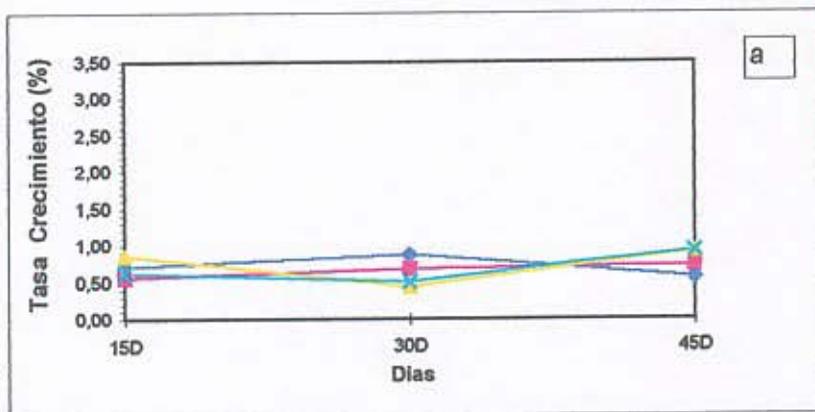


Figura 108 Tasas de Crecimiento (%) de *Gracilaria* registradas a los 15, 30 y 45 días de cada experimento. Las líneas representan los diferentes efluentes que se les suministro como alimento. a) Invierno 1996; b) Verano 1997; c) Otoño 1997.

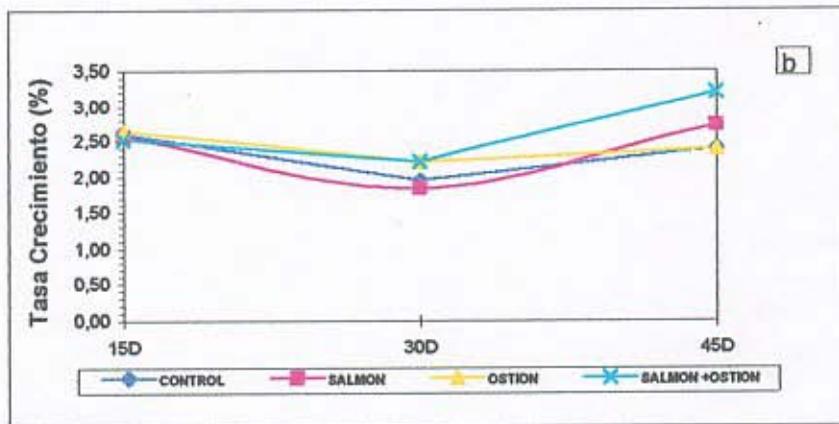
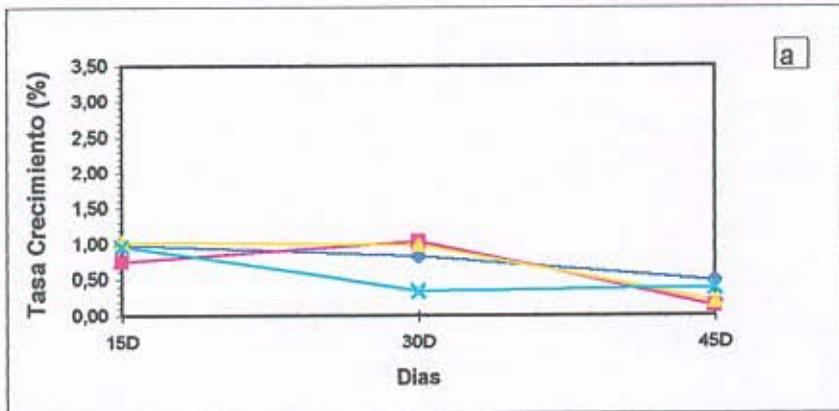


Figura 109 Tasas de Crecimiento (%) de *Gracilaria* registradas a los 15, 30 y 45 días de cada experimento. Las líneas representan los diferentes efluentes que se les suministro como alimento. a) Invierno 1997; b) Primavera 1997.