

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ciencias Básicas
Escuela de Biología

Productividad Primaria en la columna de
agua de cuatro ecosistemas
marino-costeros de Costa Rica.

Tesis para optar al grado de Licenciatura en
Biología con énfasis en Recursos Acuáticos

Graciela Agüero Alfaro

Ciudad Universitaria, Rodrigo Facio
Diciembre 2007

Resumen

Los objetivos del presente trabajo fueron los de determinar la productividad primaria en la columna de agua de cuatro ecosistemas marino- costeros de Costa Rica:

1. Bahía Culebra, bahía abierta en una zona de afloramiento
2. Estero de Morales, canal de marea en la región media de un estuario
3. Bahía Golfito, bahía muy cerrada en una fosa anóxica
4. Bahía Moín, bahía muy abierta en el mar Caribe

Así como, analizar la relación entre la productividad primaria y los parámetros ambientales como cantidad de luz incidente, temperatura, salinidad, concentración de materia en suspensión, de clorofila-a y nutrimentos disueltos (silicato, fosfato, nitrito y nitrato) en un perfil de muestreo con cinco puntos al 100%, 50%, 25%, 10% y 1% de la radiación superficial (I_0); y comparar cada sitio de estudio según su productividad primaria.

En cada sitio de estudio se realizaron dos muestreos, en cada uno de los cuales se llevaron a cabo dos incubaciones consecutivas en los periodos denominados como segundo y tercer quinto del día, con una duración de 2,20 horas cada uno y que van desde las 8:40 a.m. hasta las 2:00 p.m.

La comparación entre los sitios, a partir del valor promedio para PPN, colocó a Bahía de Golfito en primer lugar con 2.097,60 gC/m²año; en el segundo a Punta Morales con 1.825,45 gC/m²año; en el tercero a Bahía Culebra con 1.353,25 gC/m²año y en el cuarto a Bahía Moín con un balance negativo de -3.109,90 gC/m²año.

Sin embargo, la exclusión del efecto producido sobre la tasa de PPN por los resultados negativos en la tasa de Rsp, llevó a utilizar la tasa promedio de PPB como referencia de la productividad primaria de los sitios de estudio, lo cual ubicó en primer lugar a Bahía Culebra con 4.454,75 gC/m²año; en el segundo a Punta Morales con 1.576,10 gC/m²año; en el tercero a Bahía Golfito con 1.445,20 gC/m²año; y en el cuarto lugar a Bahía Moín con un balance negativo de -1.083,50 gC/m²año.

El análisis estadístico realizado mediante la aplicación de la prueba de correlación lineal de Pearson, mostró relaciones positivas y negativas entre los distintos parámetros utilizados en la caracterización de las condiciones prevaletentes en la columna de agua y con la productividad primaria y la tasa respiratoria del plancton.

Se observaron algunas semejanzas en la variación de los perfiles generados para los parámetros físico-químicos, entre los quintos segundo y tercero del día, así como entre las fechas de muestreo para un mismo sitio.

La comparación realizada para la productividad primaria no mostró semejanzas entre los periodos de incubación, ni entre las fechas ni entre los sitios de estudio.

Los valores obtenidos para productividad primaria en los cuatro ecosistemas marino costeros, parecen indicar una subestimación por anteriores estudios que utilizaron un perfil con una menor cantidad de puntos de incubación en la columna de agua.

Se recomienda para estudios posteriores aumentar la frecuencia de muestreo en un mismo sitio, manteniendo el perfil con cinco puntos de muestreo, para lograr una mejor caracterización de un mismo sitio de estudio, así como evaluar la productividad primaria en otros periodos del día; y llevar a cabo determinaciones simultáneas de composición y abundancia del plancton en el perfil de incubación.

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ciencias Básicas

Escuela de Biología

***Productividad Primaria en la columna de agua
de cuatro ecosistemas marino-costeros
de Costa Rica***

**Tesis para optar al grado de
Licenciatura en Biología
con énfasis en Recursos Acuáticos**

Grettel Agüero Alfaro

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Diciembre 2007

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Licenciatura de la Universidad de Costa Rica como requisito para optar al grado de Licenciatura.

Jorge Carón Nájera Ph. D.
Representante Decano de la
Facultad de Ciencias Exactas



Federico Bolaños Vives M. Sc.
Representante Decano
Escuela de Biología



José Vargas Zamora Ph. D.
Director de Tesis



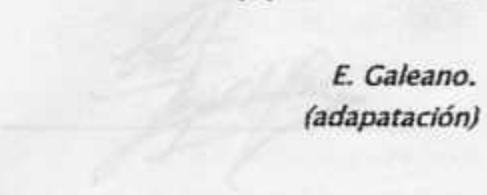
Yermin Acuña González M. Sc.
Miembro Comité Asesor

**A mi madre,
Quien me dio el ser y me acompañó a ser
quien con amor me enseñó
lo que solamente así se puede aprender.**

Gerardo Umaña Villalón M. Sc.
Miembro Comité Asesor

**... fue tanta la inmensidad de la mar,
y tanto su fulgor,
que la niña quedó muda de hermosura.
Y cuando por fin consiguió hablar temblando,
tartamudeando, pidió a su madre:
- ¡Ayúdame a mirar!**

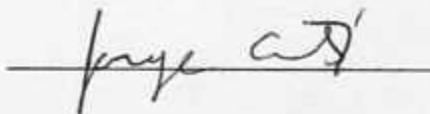
Cristina Aguirre Acuña
Candidata



**E. Galeano.
(adaptación)**

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Licenciatura de la Universidad de Costa Rica como requisito para optar al grado de Licenciatura.

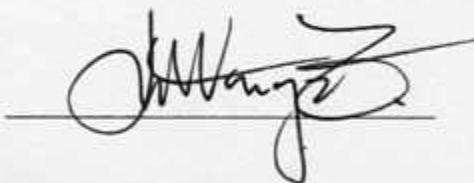
Jorge Cortés Núñez Ph. D.
Representante Decano de la
Facultad de Ciencias Básicas



Federico Bolaños Vives M. Sc.
Representante Director
Escuela de Biología



José Vargas Zamora Ph. D.
Director de Tesis



Jenaro Acuña González M. Sc.
Miembro Comité Asesor



Gerardo Umaña Villalobos M. Sc.
Miembro Comité Asesor



Grettel Agüero Alfaro
Candidata



Agradecimientos

A todos y todas las compañeros y compañeras
que me han dado su apoyo y colaboración
durante estos meses, especialmente a
quienes me han dado su tiempo y espacio
para compartir sus conocimientos.

Índice

Prelicencia	4
Miembros del Tribunal	III
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Lista de cuadros	vii
Lista de figuras	xii
Introducción	1
Objetivos	10
Materiales y métodos	11
Ases de arbolito Procedimiento	11 20
Capítulo 1: Costa Pacífica, Bahía Culebra	
Regulaciones	
Muestreo 1.1	28
Muestreo 1.2	39
Discusión	
Productividad	34
Parámetros físico-químicos	53
	Agradecimiento
Capítulo 2: Costa Pacífica, Estero de Manabá	
Resultados	
Muestreo 2.1	
Muestreo 2.2	
Discusión	
Productividad	
Parámetros físico-químicos	

*A todos y todas las compañeras y compañeros
de este viaje aventurero,
reunidos por la quimera
de nuestros sueños,
que nos da la inspiración necesaria
para continuar nuestro camino.*

Índice

Resultados	95
Muestreo 3.1	95
Muestreo 3.2	95
Dedicatoria	ii
Discusión	136
Productividad	136
Parámetros físico-químicos	136
Miembros del Tribunal	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Muestreo 4.1	132
Muestreo 4.2	143
Lista de cuadros	vii
Productividad	162
Parámetros físico-químicos	162
Lista de figuras	xiii
Introducción	1
Objetivos	10
Materiales y métodos	165
Áreas de estudio	11
Procedimiento	20
Capítulo 1: Costa Pacífica, Bahía Culebra	
Resultados y recomendaciones	178
Muestreo 1.1	28
Muestreo 1.2	39
Discusión	53
Productividad	54
Parámetros físico-químicos	57
Capítulo 2: Costa Pacífica, Estero de Morales	
Resultados	
Muestreo 2.1	59
Muestreo 2.2	72
Discusión	
Productividad	90
Parámetros físico-químicos	93

Capítulo 3: Costa Pacífica, Bahía de Golfito

Resultados	
Muestreo 3.1	95
Muestreo 3.2	109
Discusión	
Productividad	126
Parámetros físico-químicos	128

Capítulo 4: Costa Caribe, Bahía Moín

Resultados	
Muestreo 4.1	132
Muestreo 4.2	145
Discusión	
Productividad	161
Parámetros físico-químicos	162

Capítulo 5: Productividad primaria según el sitio y la fecha de muestreo

Resultados	
Productividad primaria	165
Parámetros físico-químicos	168
Consideraciones generales sobre los resultados negativos	171
Discusión	175

Conclusiones y recomendaciones

Anexo

Bibliografía

En conjunto, la exclusión del efecto producido sobre la tasa de PPM por los resultados negativos en la tasa de CO_2 , llevó a utilizar la tasa promedio de PPM como referencia de la productividad primaria de los sitios de estudio, lo cual ubicó en primer lugar a Bahía Culebra con 4.454,75 $gC/m^2/año$; en el segundo a Punta Muziles con 1.578,10 $gC/m^2/año$; en el tercero a Bahía Golfito con 1.443,20 $gC/m^2/año$; y en el cuarto lugar a Bahía Moín con un balance negativo de -1.083,50 $gC/m^2/año$.

Resumen

Los objetivos del presente trabajo fueron los de determinar la productividad primaria en la columna de agua de cuatro ecosistemas marino- costeros de Costa Rica:

1. Bahía Culebra, bahía abierta en una zona de afloramiento
2. Estero de Morales, canal de marea en la región media de un estuario
3. Bahía Golfito, bahía muy cerrada en una fosa anóxica
4. Bahía Moín, bahía muy abierta en el mar Caribe

Así como, analizar la relación entre la productividad primaria y los parámetros ambientales como cantidad de luz incidente, temperatura, salinidad, concentración de materia en suspensión, de clorofila-a y nutrimentos disueltos (silicato, fosfato, nitrito y nitrato) en un perfil de muestreo con cinco puntos al 100%, 50%, 25%, 10% y 1% de la radiación superficial (I_0); y comparar cada sitio de estudio según su productividad primaria.

En cada sitio de estudio se realizaron dos muestreos, en cada uno de los cuales se llevaron a cabo dos incubaciones consecutivas en los periodos denominados como segundo y tercer quinto del día, con una duración de 2,20 horas cada uno y que van desde las 8:40 a.m. hasta las 2:00 p.m.

La comparación entre los sitios, a partir del valor promedio para PPN, colocó a Bahía de Golfito en primer lugar con 2.097,60 gC/m²año; en el segundo a Punta Morales con 1.825,45 gC/m²año; en el tercero a Bahía Culebra con 1.353,25 gC/m²año y en el cuarto a Bahía Moín con un balance negativo de -3.109,90 gC/m²año.

Sin embargo, la exclusión del efecto producido sobre la tasa de PPN por los resultados negativos en la tasa de Rsp, llevó a utilizar la tasa promedio de PPB como referencia de la productividad primaria de los sitios de estudio, lo cual ubicó en primer lugar a Bahía Culebra con 4.454,75 gC/m²año; en el segundo a Punta Morales con 1.576,10 gC/m²año; en el tercero a Bahía Golfito con 1.445,20 gC/m²año; y en el cuarto lugar a Bahía Moín con un balance negativo de -1.083,50 gC/m²año.

El análisis estadístico realizado mediante la aplicación de la prueba de correlación lineal de Pearson, mostró relaciones positivas y negativas entre los distintos parámetros utilizados en la caracterización de las condiciones prevalecientes en la columna de agua y con la productividad primaria y la tasa respiratoria del plancton.

Se observaron algunas semejanzas en la variación de los perfiles generados para los parámetros físico-químicos, entre los quintos segundo y tercero del día, así como entre las fechas de muestreo para un mismo sitio.

La comparación realizada para la productividad primaria no mostró semejanzas entre los periodos de incubación, ni entre las fechas ni entre los sitios de estudio.

Los valores obtenidos para productividad primaria en los cuatro ecosistemas marino costeros, parecen indicar una subestimación por anteriores estudios que utilizaron un perfil con una menor cantidad de puntos de incubación en la columna de agua.

Se recomienda para estudios posteriores aumentar la frecuencia de muestreo en un mismo sitio, manteniendo el perfil con cinco puntos de muestreo, para lograr una mejor caracterización de un mismo sitio de estudio, así como evaluar la productividad primaria en otros periodos del día; y llevar a cabo determinaciones simultáneas de composición y abundancia del plancton en el perfil de incubación.

Cuadro 1.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (97%, 54%, 43%, 30% y 22% (1)), en la columna de agua, Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.

Cuadro 1.6. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (03), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (94%, 40%, 25%, 10% y 1% (2)), Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

Cuadro 1.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (05), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% (3)), en la columna de agua, Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

Lista de cuadros

Cuadro A. Productividad primaria marina mundial	8
Cuadro B. Productividad primaria marina y producción de alimento	9
Cuadro 1.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 9:32AM-12:10PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.	29
Cuadro 1.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3: 1:00PM-3:40 PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica. Junio 2000.	30
Cuadro 1.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, faeopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.	34
Cuadro 1.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.	37
Cuadro 1.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.	38
Cuadro 1.6. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0). Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.	39
Cuadro 1.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.	42

Cuadro 1.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

47

Cuadro 1.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

50

Cuadro 1.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

51

Cuadro 1.11. Integración del perfil de incubación con cinco puntos de muestreo en la columna de agua, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Bahía Culebra, Guanacaste. Costa Rica. 2000.

52

Cuadro 1.12. Variación con respecto a la época de muestreo de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica con cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste. Costa Rica 2000.

53

Cuadro 2.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 8:47AM-10:00AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (73%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica. Abril 2000.

61

Cuadro 2.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 11:20AM-2:14PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (84%, 51%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000.

63

Cuadro 2.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo en la columna de agua (q2: 73%, 51%, 25%, 10 y 1% I_0 , q3: 84%, 51%, 25% y 10% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000.

66

Cuadro 2.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2: 73%, 51%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 84%, 51%, 25% y 10% I_0) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000.

- Cuadro 2.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (63%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000. 70
- Cuadro 2.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (q2: 73%, 51%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 84%, 51%, 25% y 10% I_0) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000. 71
- Cuadro 2.6. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (63%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000. 73
- Cuadro 2.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (72%, 52%, 27%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000. 76
- Cuadro 2.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, faeopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo en la columna de agua (q2: 63%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 72%, 52%, 27%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000. 82
- Cuadro 2.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cuatro puntos de muestreo en la columna de agua (q2: 50%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 52%, 27%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000. 85
- Cuadro 2.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cuatro puntos de muestreo en la columna de agua (q2: 50%, 25%, 10% y 1% I_0 ; q3: 52%, 27%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000. 86
- Cuadro 2.11. Integración del perfil de incubación en la columna de agua, con cuatro puntos de muestreo en abril y cinco puntos de muestreo en setiembre, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril y setiembre 2000. 87
- Cuadro 2.12. Variación con respecto a la época de muestreo, de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica, con cuatro puntos de muestreo en abril y cinco puntos de muestreo en setiembre. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril y setiembre 2000. 88

Cuadro 3.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 9:30AM-12:00M), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (86%, 46%, 21%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

96

Cuadro 3.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3: 1:00PM-3:20PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (84%, 51%, 26%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

98

Cuadro 3.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2: 86%, 46%, 21%, 10% y 1% I₀, q3: 84%, 51%, 26%, 10%, 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

102

Cuadro 3.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2: 86, 46, 21, 11 y 1 % I₀, q3: 84, 51, 26, 10, y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

106

Cuadro 3.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo. (q2: 86, 46, 21, 10 y 1% I₀, q3: 86, 51, 26, 10, 1 % I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

107

Cuadro 3.6. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 9:00AM-11:40AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

109

Cuadro 3.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3: 12:26PM-3:00PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

113

Cuadro 3.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, faeopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

115

Cuadro 3.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

120

Cuadro 3.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

121

Cuadro 3.11. Integración del perfil de incubación en la columna de agua, con cinco puntos de muestreo en mayo y noviembre, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Punta Voladera, Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. 2000.

124

Cuadro 3.12. Variación con respecto a la época de muestreo, de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica con cinco puntos de muestreo en mayo y noviembre. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo y noviembre 2000.

124

Cuadro 4.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 8:25AM-10:45AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (90%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Mayo 2000.

133

Cuadro 4.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3: 12:02PM-2:16PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (93%, 50%, 25%, 10% y 3% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Mayo 2000.

135

Cuadro 4.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2: 90%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 93%, 50%, 25%, 10%, 3% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Mayo 2000.

138

Cuadro 4.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2: 90, 50, 25, 10 y 1 % I_0 , q3: 93, 50, 25, 10, y 3% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Mayo 2000.

142

Cuadro 4.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo. (q2: 90, 50, 25, 10 y 1% I_0 , q3: 93, 50, 25, 10, 3 % I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Mayo 2000.

143

Cuadro 4.6. Caracterización física y química de las condiciones prevaletientes durante la primera incubación (q2: 8:15AM-10:40AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Octubre 2000.

146

Cuadro 4.7. Caracterización física y química de las condiciones prevaletientes durante la segunda incubación (q3: 11:38PM-2:00PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Octubre 2000.

148

Cuadro 4.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Octubre 2000.

152

Cuadro 4.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92, 50, 25, 10 y 1 % I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Octubre 2000.

155

Cuadro 4.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo. (q2 y q3: 92, 50, 25, 10 y 1% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Octubre 2000.

156

Cuadro 4.11. Integración del perfil de incubación en la columna de agua, con cinco puntos de muestreo en mayo y noviembre, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Bahía Moín, Limón. Costa Rica 2000.

158

Cuadro 4.12. Variación con respecto a la época de muestreo, de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica con cinco puntos de muestreo en mayo y octubre. Bahía Moín, Limón. Costa Rica 2000.

159

Cuadro 5.1. Productividad primaria y respiración (gC/m^2a) producto de la integración de cinco puntos de incubación en la zona eufótica (superficie, 50, 25, 10 y 1% I_0) durante los quintos 2 y 3 del día, en dos fechas de muestreo para cuatro ecosistemas costeros. Costa Rica. 2000.

166

Cuadro 5.2. Valor promedio de parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación en la zona eufótica (superficie, 50, 25, 10 y 1% I_0), para la determinación de productividad durante los quintos 2 y 3 del día, en dos épocas de muestreo para cuatro ecosistemas costeros. Costa Rica. 2000.

168

Cuadro 5.3. Concentración promedio de nutrimentos en el perfil de incubación en la zona eufótica (superficie, 50%, 25%, 10% y 1% I₀), para la determinación de productividad durante los quintos 2 y 3 del día, en dos épocas de muestreo para cuatro ecosistemas costeros. Costa Rica. 2000.

169

Lista de figuras

Figura 1. Localización de los cuatro ecosistemas marino-costeros y de las estaciones de muestreo en cada uno de ellos. BCB: Bahía Culebra-B, frente a la playa Nacascolo. PMA: Punta Morales-A frente a las Islas Cortezas. GDC: Golfo Dulce-C, frente a Punta Voladera, en la salida del canal de navegación de la Estación Portuaria Golfito. MCB: Mar Caribe-B, cerca de la boya roja del canal de navegación de la Estación Portuaria Moín. Fuente: Proyecto CoCosRi (Contaminación Costera de Costa Rica), CR-USA- CIMAR-UCR. Los valores de las escalas están en km.

16

Figura 2. Comparación de los sitios de muestreo: Punta Morales (PMA), Golfo Dulce (GDC), Bahía Moín (MCB) y Bahía Culebra (BCB); según los valores promedio de productividad primaria bruta (PPB), neta (PPN) y respiración del plancton (Rsp.). Costa Rica. 2000.

Anexo



En esta ecuación H₂A representa a los compuestos en un estado reducido como por ejemplo, H₂O, H₂, H₂S, H₂SO₃, y algunos compuestos orgánicos que son donadores de protones. Para la producción llevada a cabo por las algas marinas el donador es el agua y la energía proviene de la absorción de la luz solar por la clorofila y los pigmentos accesorios que se encuentran en el citosol del alga (Parsons & Takahashi 1984). La fotosíntesis realizada por las algas marinas puede ser ahora expresada como:



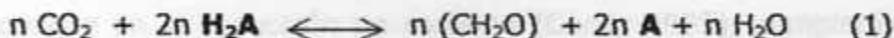
La molécula de clorofila posee un sistema resonante que proporciona electrones excitables a orbitales de alta energía por medio de la energía luminosa. La energía que absorben los pigmentos accesorios (xantofina, clorofila, ficocantina, etc.) también es transferida a la clorofila (Arey & Quader 1983). Estos pigmentos fotosintéticos se encuentran en unidades

Introducción

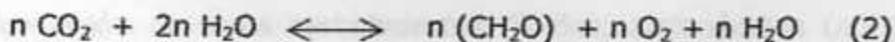
En el ámbito mundial se reconoce la necesidad de generar mayor información sobre los componentes funcionales de los sistemas marinos costeros (Alongi 1989). Un ejemplo importante de esto es la información tan limitada con que se cuenta hoy en día sobre el ciclo de la materia orgánica y el flujo de energía.

En este ciclo existen procesos autotróficos a cargo de algas y bacterias que son capaces de sintetizar compuestos orgánicos con alta energía potencial a partir de compuestos inorgánicos con baja energía potencial. Estos organismos son los productores primarios de materia orgánica.

Cuando el carbono fijado por medio de la producción primaria se determina en función del tiempo para un volumen o área se la denomina productividad primaria ($\text{gC}/\text{m}^2\text{día}$, $\text{gC}/\text{m}^3\text{día}$, etc.). Según la naturaleza de la energía empleada en el proceso, se distinguen dos tipos de síntesis primaria: fotosíntesis y quimiosíntesis. En la siguiente ecuación se ilustra el proceso fotosintético general:



En esta ecuación H_2A representa a los compuestos en un estado reducido como por ejemplo, H_2O , H_2 , H_2S , $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$ y algunos compuestos orgánicos que son donadores de protones. Para la fotosíntesis llevada a cabo por las algas marinas el donador es el agua y la energía proviene de la absorción de la luz solar por la clorofila y los pigmentos accesorios que se encuentran en el cromatóforo del alga (Parsons & Takahashi 1984). La fotosíntesis realizada por las algas marinas puede ser ahora expresada como:



La molécula de clorofila posee un sistema resonante que proporciona electrones excitables a orbitales de alta energía por medio de la energía lumínica. La energía que absorben los pigmentos accesorios (fucoxantina, globulina, ficobilina, etc.) también es transferida a la clorofila (Riley & Chester 1989). Estos pigmentos fotosintéticos se encuentran en unidades

denominadas como fotosistemas, de los cuales existen dos tipos; en el tipo II la clorofila proporciona un electrón que recorre una cadena de transporte donde se establece un gradiente de protones, de modo que la energía potencial del gradiente se utiliza para formar adenosín trifosfato (ATP) a partir de adenosín difosfato, iones ortofosfato y ATPeasa, en lo que se conoce como el proceso de fosforilación (Curtis 1985).

En el fotosistema I hay otro electrón que circula por otra serie de reacciones hasta una molécula de adenosín nicotinamida difosfato (NADP^+) para reducirla a NADPH. El H_2O se escinde en protones y oxígeno gaseoso y dona electrones al fotosistema II, sustituyendo al electrón que proporciona la molécula de clorofila inicialmente y que a su vez sustituye al electrón proveniente de la molécula de clorofila del fotosistema I. Por lo tanto, en presencia de luz existe un flujo continuo de electrones desde el H_2O hasta los fotosistemas II y I y el NADP^+ . El producto de estas reacciones fotodependientes es una molécula de ATP - cuya formación libera una molécula de H_2O - y otra de NADPH, las cuales son utilizadas como fuente de energía en la que se considera como la segunda etapa de la fotosíntesis y que consiste en la reducción de carbono (Curtis 1985), completándose con ello la reacción, hacia la derecha representada en la ecuación (2).

La fuente de carbono para las células marinas fotosintéticas se encuentra en el CO_2 disuelto en el agua circundante, y su reducción sucede en el Ciclo de Calvin (el compuesto inicial y final es un azúcar de cinco carbonos unido a dos fosfatos: ribulosa difosfato), donde cada paso esta regulado por una enzima específica. El producto de este Ciclo es el gliceraldehído fosfato, compuesto básico de carbonos que se puede destinar a la formación de glucosa o fructuosa para luego elaborar almidón y celulosa, o a la formación de otros carbohidratos, lípidos, aminoácidos (a.a.) y bases nitrogenadas. Esta incorporación del CO_2 en compuestos orgánicos se conoce como fijación de carbono (Curtis 1985).

Debido a la producción de otros compuestos además de los carbohidratos, el coeficiente fotosintético, $PQ = \text{O}_2 \text{ liberado} / \text{CO}_2 \text{ fijado}$, difiere de un valor unitario que le correspondería a la síntesis de la hexosa. Por lo

tanto, el valor del PQ depende del contenido de grasa y proteína, y de la forma en que se encuentre el nitrógeno en el medio. En poblaciones naturales comúnmente se encuentran valores de PQ entre 1,20 y 1,33 (Riley & Chester 1989).

Los compuestos orgánicos producto de la fotosíntesis, pueden almacenarse o usarse inmediatamente como fuente de energía para el metabolismo del alga (reacción hacia la izquierda en la ecuación 2). Este proceso es conocido como respiración y consiste en la oxidación de estas moléculas complejas a compuestos de energía potencial baja hasta finalmente obtener de nuevo CO_2 (Riley & Chester 1989, Valiela 1984). No obstante que las algas contienen grasas y proteínas además de carbohidratos, estos últimos parecen ser el sustrato de la mayor parte de los procesos respiratorios, por lo que el coeficiente respiratorio, $RQ = CO_2 \text{ liberado} / O_2 \text{ fijado}$, se encuentra generalmente cerca de la unidad (Riley & Chester 1989).

El proceso de respiración sucede tanto en la luz como en la oscuridad. La tasa respiratoria en condiciones de oscuridad representa entre el 5-10% de la tasa máxima de fotosíntesis en condiciones óptimas. La tasa respiratoria en presencia de luz, es similar a la que sucede en la oscuridad, excepto cuando la célula esta en presencia de una alta intensidad de luz que la puede incrementar (Riley & Chester 1989).

Entre los principales factores que afectan directamente el proceso de fotosíntesis se encuentran la cantidad y la calidad de la luz, ambas características dependen de la longitud de onda.

Durante el recorrido que hace la luz desde el sol hasta la célula fotosintética, se da un proceso de selección sobre la longitud de onda. El ozono y el vapor de agua presentes en la atmósfera actúan como filtros sobre las longitudes de onda más corta ($<400 \text{ nm}$) y la más larga ($>750 \text{ nm}$) del espectro visible, que corresponden al violeta y rojo respectivamente. Esto conduce a la adaptación de un ámbito de radiación fotoactiva ubicado, para la mayoría de las algas y plantas, entre 400 y 700 nm. (Valiela 1984).

En cuanto a la cantidad de luz que logra alcanzar la superficie del agua, ésta varía según la hora del día, la latitud y las condiciones atmosféricas ya mencionadas. Una vez en el agua sucede otro proceso de filtración, ya que parte de la radiación es absorbida y transformada en calor, y otra parte es dispersada por las moléculas de agua, por las partículas en suspensión y por los microorganismos (Parsons & Takahashi 1984, Riley & Chester 1989). Nuevamente, el comportamiento de la luz en la columna de agua depende de la longitud de onda de modo tal que, en aguas de tipo oceánico la luz azul con una longitud de onda menor (435-480 nm) es la que penetra a mayor profundidad, mientras que en las aguas de tipo costero sucede lo contrario, es la luz verde y la amarilla, con longitudes de onda más larga (500-595 nm), las que alcanzan la mayor penetración, hecho que se relaciona con la mayor cantidad de materia en suspensión y disuelta (turbiedad) (Raymond 1980)

El fenómeno de absorción de la luz solar en la columna de agua es descrita por la ley de Lambert y Beer, y se puede expresar en términos de un coeficiente de extinción:

$$I_z = I_0 e^{-Kz} \quad (3)$$

Donde, I_z es la cantidad de luz en z , la profundidad de interés; I_0 es la cantidad de luz en la superficie y K es el coeficiente de extinción. Debido a este comportamiento de extinción selectiva de la luz en la columna de agua, los organismos fotosintéticos han tenido que tratar con la disminución en la cantidad o intensidad y con el cambio en la calidad espectral, dando como resultado patrones específicos de absorción máxima en cada grupo de algas, producto de diferentes combinaciones de pigmentos fotosintéticos, (Riley & Chester 1989, Parsons & Takahashi 1984, Valiela 1984).

En cuanto a la intensidad de la luz, su incremento provoca un cambio proporcionalmente directo sobre la tasa fotosintética hasta alcanzar un valor de saturación y una tasa máxima, sobre la cual el alga no puede aprovechar un nuevo aumento en la intensidad debido a que las enzimas que participan en la fotosíntesis no pueden funcionar más rápido (Valiela 1984). Después

del punto de saturación se presenta un efecto inhibitorio cuya causa aún no es clara, pero parece que la radiación ultravioleta (UV) y la temperatura están involucradas, al menos para algunas especies (Valiela 1984). La magnitud de este efecto inhibitorio sobre la productividad puede ser importante en la superficie de la columna de agua, aunque puede extenderse todavía más allá cuando las aguas son claras (Raymond 1980).

Cuando un alga alcanza el punto de saturación a una intensidad baja, se ubica a una mayor profundidad en la columna o en latitudes donde la luz es poca la mayor parte del año. En estas condiciones se produce un aumento en la cantidad de pigmentos accesorios que permiten el uso efectivo de longitudes de onda más cortas que mejoran la eficiencia fotosintética lo que resulta en una mayor tasa por unidad de clorofila. A los pigmentos accesorios también se les atribuye la protección contra el exceso de luz (Raymond 1980, Valiela 1984).

El límite inferior en la columna de agua para la producción primaria corresponde a la profundidad de compensación, la cual se acepta como un valor promedio para la intensidad lumínica equivalente al 1% de la radiación superficial (I_0), y en donde el proceso de fotosíntesis y respiración se equiparan en un periodo de 24 horas (Valiela 1984). La columna de agua arriba del punto de compensación es la zona eufótica, y su profundidad en aguas oceánicas tropicales puede sobrepasar los 100m, mientras que en las aguas costeras tropicales, más turbias, alcanza apenas unos pocos metros, entre 10 y 30m. El efecto denominado autosombra, producido por las propias células del fitoplancton, puede en un momento beneficiar la producción porque limita el efecto inhibitorio más cerca de la superficie, pero en otro momento, dependiendo de su densidad impediría el paso de la luz y más bien reduciría la extensión de la zona eufótica (Raymond 1980, Valiela 1984).

Otro factor que afecta directamente a la productividad primaria es la disponibilidad de nutrimentos. El nitrógeno y el fósforo se consideran los más importantes por su papel estructural y funcional; luego están los metales como Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, que se incorporan a compuestos esenciales como por ejemplo, cofactores enzimáticos de reacciones fotosintéticas. En

general, el nitrógeno se acepta como el nutriente limitante en el mar. Se le ha detectado como gas disuelto, N_2 ; óxido nitroso, N_2O ; nitrato, NO_3^- ; nitrito, NO_2^- ; amonio NH_4^+ ; urea; amoníaco; a.a. (Raymond 1980).

El nitrato es la forma combinada de nitrógeno dominante en el océano, pero su distribución es muy variable. En la zona eufótica por ejemplo, puede llegar a ser indetectable; caso contrario a lo que sucede con el nitrito, que es una forma intermedia en el proceso de reducción del nitrato en amonio, forma esta última que el fitoplancton prefiere, ya que representa una ventaja energética al ser utilizado directamente en la síntesis de aminoácidos (Raymond 1980).

De acuerdo con el patrón vertical de distribución, los nutrientes disminuyen en la zona eufótica y aumentan en aguas más profundas. Este perfil se atribuye al consumo que realiza el fitoplancton con lo cual limita su propio crecimiento (Raymond 1980).

La regeneración o aumento periódico de nutrientes de naturaleza nueva en la zona eufótica, se da por el transporte vertical desde el fondo hasta la superficie, en los casos denominados como afloramiento y divergencia. También puede producirse por el transporte horizontal superficial -en el caso de las costas con influencia de ríos (estuarios), los cuales pueden tener un aporte significativo de nitrato, fosfato y sílice-, y por naturaleza regenerada -característico de las regiones oligotróficas extremas en donde la excreción de amonio por el zooplancton es muy importante- (Raymond 1980).

El límite para el transporte vertical de los nutrientes lo define en la mayoría de los casos, el establecimiento de la termoclina que divide en dos estratos a la columna de agua, el superior se denomina capa de mezcla. Para el transporte horizontal es la variación estacional del aporte de los ríos. La variación de la temperatura y la salinidad contribuyen al establecimiento de esta estabilidad en la columna de agua. El aumento en temperatura y la disminución en salinidad provocan a su vez una disminución en la densidad del agua superficial, lo cual restringe la mezcla con las capas inferiores.

El viento, por su parte, suele ser el responsable del deterioro de la termoclina, porque produce mezcla y posibilita el transporte del agua superficial que debe ser entonces, reemplazada por el agua de mayor profundidad, rica en nutrimentos, con lo cual se restablece su transporte vertical. Esto es lo que se denomina como afloramiento. Aunque la termoclina estabiliza y estratifica la columna de agua, termina con el transporte vertical de nutrimentos, cuyo establecimiento es básico para que se alcance el máximo de productividad primaria, por una reducción del transporte de algas fuera de la zona de fotosíntesis: la zona eufótica (Raymond 1980).

Existe una variante importante sobre el perfil típico de distribución del fitoplancton cuando se desarrolla un máximo subsuperficial de clorofila, cerca de la profundidad correspondiente al 1% de la luz incidente, en la base de la zona eufótica donde las algas se benefician por el aumento de nutrimentos. Sin embargo, este aumento de fitoplancton (biomasa) no necesariamente representa también un máximo de producción, ya que a pesar de una mayor disponibilidad de nutrimentos la menor cantidad de luz produce un efecto limitante sobre la productividad (Revelante & Gilmartin 1995).

Los patrones de disponibilidad de nutrimentos en la zona eufótica se relacionan, a su vez, con patrones de productividad a escalas grande, mediana y pequeña. Se distingue a gran escala una zona de productividad polar, templada y tropical; considerada esta última, como una zona de aguas oligotróficas, y por lo tanto, con una productividad primaria menor a las otras dos cuando se les compara en su época de mayor productividad (Duxbury & Duxbury 1999).

A mediana escala se establece una diferencia clara cuando se compara la productividad primaria de la región oceánica, en mar abierto, con la productividad primaria de la región costera y estuarina:

1. Región oceánica; productividad primaria baja (50-160 gC/m²a)
2. Región costera; productividad primaria moderada (100-250 gC/m²a)
3. Región estuarina; productividad primaria alta (200-500 gC/m²a)

(Smith & Hollibaugh 1993)

A pequeña escala, en las regiones oceánica y costera se presenta periódicamente el proceso de afloramiento, durante el cual las aguas alcanzan un nivel eutrófico que permite una elevada productividad durante un tiempo. Existen afloramientos de tipo costero, estacional y ecuatorial (Duxbury & Duxbury 1999).

Aunque la tasa de producción primaria para las regiones costera, estuarina y de afloramiento son mayores que la oceánica, es esta región la principal contribuyente a la cantidad total, debido a que ocupa una extensión mucho mayor:

Cuadro A. Productividad primaria marina mundial

Región	PP (gC / m ² año)	Área mundial (Km ²)	Porcentaje (%)	PP total (ton. Métricas C/año)
Afloramiento	640	0,36 × 10 ⁶	0,1	0,23 × 10 ⁹
Costera	160	54 × 10 ⁶	15,0	8,6 × 10 ⁹
Oceánica	130	307 × 10 ⁶	85,0	39,9 × 10 ⁹

(Smith & Hollibaugh 1993).

La producción primaria de materia orgánica por el fitoplancton representa el inicio de una sucesión de transferencias de nutrimentos y de energía: las cadenas y redes tróficas, en el ciclo de la materia orgánica y de la energía.

La eficiencia en la transferencia de energía entre los niveles tróficos varía según la disponibilidad de producción primaria. En zonas donde el fitoplancton es abundante, el alimento se obtiene con un menor esfuerzo y aumenta la transferencia de energía entre los diferentes niveles:

Cuadro B. Productividad primaria marina y producción de alimento

Zona	PP ton métrica C/año	Producción pesquera	Eficiencia transferencia energía por nivel trófico	Nivel trófico cosechado
Oceánica	39,9 × 10 ⁹	4,0 × 10 ⁶	10%	5
Costera	8,6 × 10 ⁹	29,0 × 10 ⁶	15%	4
Afloramiento	0,23 × 10 ⁹	46,0 × 10 ⁶	20%	2,5

(Smith & Hollibaugh 1993).

La energía que no se transfiere (90-80%) se invierte en satisfacer las necesidades fisiológicas del organismo como crecimiento, movimiento, reproducción, calor; e incluye a la materia que no se consume y se descompone en el agua (Duxbury & Duxbury 1999).

Además de su importancia como base de la cadena trófica marina, actualmente se le reconoce al fitoplancton, su papel en la regulación de la cantidad de carbono en la atmósfera, con lo cual podría afectar y quizás moderar cambios en la temperatura del aire a una escala espacial y temporal con efecto sobre el clima mundial (Brewer 1983)

En Costa Rica son escasos los trabajos realizados para determinar la productividad primaria en el mar, y en su mayoría estos han sido desarrollados en el Golfo de Nicoya. En 1978 y 1979 Gocke y sus colaboradores (1990, 2001) realizaron dos estudios; el primero determina la productividad primaria en la zona del Estero de Morales, durante el desarrollo de una marea roja, esta fue de $0,64 \text{ g C/m}^2 \text{ h}$ y la capa productiva se restringió a los dos metros superiores debido al efecto de autosombra. En el segundo estudio, realizado en el canal principal del manglar del mismo estero, se obtiene una productividad primaria neta de $278 \text{ g C /m}^2 \text{ año}$, en el que se observa que la variación estacional de la productividad depende estrechamente de la productividad primaria de las aguas abiertas de la región superior del Golfo de Nicoya.

El estudio más reciente en este golfo es el de Córdoba (1993) que desarrolla durante 15 meses y el cual determina una productividad de $450 \text{ g C/ m}^2 \text{ año}$ lo cual ubicó al Golfo de Nicoya (al menos su parte superior) dentro de los estuarios más productivos en el ámbito mundial.

En el Golfo Dulce, Lei (2002), desarrolla un modelo para estimar la productividad primaria potencial, con base en la técnica de sensores remotos satelitales y el cálculo de la concentración del pigmento clorofila-*a* en la superficie. Para este estudio utiliza datos de 1998.

En la zona del Caribe, Silva (1986) determina una productividad primaria de $1,44 \text{ g C /m}^2 \text{ día}$ en el arrecife coralino del Parque Nacional

Cahuita, como resultado del muestreo mensual que realiza desde marzo de 1985 hasta setiembre de 1986.

Se cuenta con un modelo trófico tanto para el Golfo de Nicoya como para el Golfo Dulce (Wolff et al. 1996, 1998); estos trabajos sintetizan el conocimiento generado hasta el momento para ambos sistemas y hacen referencia a la necesidad de promover la investigación sobre la productividad primaria del fitoplancton ya que solo se dispone de unas pocas estimaciones.

Con base en las consideraciones anteriores este proyecto propone la realización de los siguientes objetivos:

Objetivos Generales

1. Determinar la productividad primaria de la columna de agua en cuatro ecosistemas marinos costeros de Costa Rica:
 - Bahía Culebra (Bahía abierta en una zona de afloramiento)
 - Estero de Morales, (canal de marea en la región media de un estuario)
 - Bahía Golfito (Bahía muy cerrada en una fosa anóxica)
 - Bahía Moín (Bahía muy abierta en el mar Caribe)
2. Comparar cada sitio de estudio según su productividad

Objetivos específicos

- 1.1. Analizar la relación entre profundidad y productividad primaria.
- 1.2. Analizar la relación entre factores físico-químicos como salinidad, temperatura, materia en suspensión, oxígeno disuelto, clorofila *a*, nutrimentos disueltos ($\text{SiO}(\text{OH})_3^-$, PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+) y la productividad primaria.
 - 2.1. Comparar los resultados obtenidos entre los sitios de muestreo.
 - 2.2. Comparar los resultados obtenidos con los resultados esperados para cada uno de los ecosistemas.
 - 2.3. Ubicar en la clasificación mundial a cada uno de los sitios de estudio.

El planteamiento de estos objetivos también se encuentra dentro del marco del proyecto "Contaminación Costera en Costa Rica" (CoCosRI) ejecutado por el CIMAR-UCR y financiado por la Fundación Costa Rica-Estados Unidos (CR-USA), quienes brindaron el apoyo necesario (equipo, materiales, instalaciones, transporte, etc.) para su realización.

Hipótesis

1. No existe diferencia en la producción primaria a lo largo de la columna de agua.
2. No existe diferencia en la productividad primaria entre cada uno de los sitios de estudio ni al comparar las épocas de muestreo.
3. No existe evidencia estadística que relacione la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, materia en suspensión, clorofila-*a* y nutrimentos, con la productividad primaria de la columna de agua.

Materiales y Métodos

1. Áreas de estudio

1.1 Bahía Culebra

Bahía Culebra forma parte del Golfo de Papagayo el cual se ubica en la costa Pacífica Norte de Costa Rica. Uno de los rasgos oceanográficos más sobresalientes de esta área de estudio es que constituye uno de los tres lugares del Pacífico Occidental donde suceden los más extensos (>>300 Km.) afloramientos costeros de aguas (Glynn *et al.* 1983, Jiménez 2001). Los otros dos lugares se localizan en los Golfos de Panamá y Tehuantepec en México.

En la actualidad, Bahía Culebra es considerada también como una de las zonas costeras con mayor diversidad en corales (16 especies); en ella se encuentran arrecifes verdaderos con una extensión considerable y contruidos por especies que son poco abundantes o raras en otras partes del mundo (Jiménez, 1998). Aquí se encuentra el único arrecife de *Leptoceris papyracea* del que se tiene información en el Pacífico Oriental (aunque

severamente impactado por El Niño de 1997-98), así como la única población viva, que se conoce en Costa Rica, del coral de vida libre *Fungia (Cycloseris) curvata* (Jiménez 1998, 2001).

La Bahía tiene la forma de un lago interior, su plataforma continental relativamente angosta favorece la influencia de las aguas oceánicas sobre las costeras (Brenes *et al.* in prep. en Jiménez 2001). Tiene una superficie de aproximadamente 20 km² y una profundidad máxima de aproximadamente 35m (Jiménez 2001).

Como ya se mencionó, las zonas de afloramiento tienen una alta productividad a causa de la eutrofización temporal de sus aguas. Bahía Culebra posee aguas ricas en plancton, por lo que muchas especies de mar abierto entran en busca de alimento. También es sitio de desove de diferentes especies marinas que contribuyen a enriquecer su fauna. Los bajos rocosos dan protección a muchas de las especies comerciales de peces y a las formaciones coralinas. En cuanto al recurso pesquero es uno de los más ricos del país (Mora *et al.* 2002).

Entre las principales actividades comerciales de Bahía Culebra están, además de la pesca, el buceo tanto recreativo como de extracción y el turismo; las cuales han ocasionado frecuentemente conflictos de intereses entre los distintos sectores involucrados (Ibarra 1996, Jiménez 1998, Dominici 1999).

En cuanto al turismo, Bahía Culebra se considera como de potencial uso turístico desde 1965, cuando se realizaron los primeros estudios para la elaboración de un Plan Maestro de Turismo en Centroamérica, promovido por el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). En 1970 el Instituto Costarricense de Turismo (ICT) firma un contrato de préstamo con el BCIE para realizar el estudio de factibilidad para el desarrollo del proyecto turístico. Durante la administración Oduber (1974-1978), y como parte del plan de desarrollo de la provincia de Guanacaste, Bahía Culebra se constituye en el principal polo de atracción para el desarrollo turístico en Centroamérica (Mora *et al.* 2002).

Actualmente el proyecto cuenta con un área destinada total de 9.000 hectáreas, de las cuales 5.500 corresponden a la zona terrestre y 3.500 a la zona marina. Para el año 2002 se habían concesionado 2.000 ha., construido 5 hoteles de 250 habitaciones cada uno; a lo que se suma otro tipo de infraestructura como son, caminos, puentes, alumbrado, etc. En las proyecciones para el año 2010 se destacan, la construcción de 24 hoteles (6.000 habitaciones), tres marinas (Nacascolo, Monte del Barco, Punta Ballena), tres campos de golf, centro de compras, gasolineras, clubes de playa y campo ecuestre (Mora *et al.* 2002).

Debido al evidente impacto sobre los recursos naturales que este proyecto está en capacidad de producir, es que se hace urgente un estudio biológico que proporcione una base adecuada para el desarrollo de un plan de protección ambiental. Esta es una de las consideraciones hechas para la ubicación de una estación de muestreo frente a la Playa Nacascolo, en la costa noroeste de la Bahía (10°36'39" N., 85°39'35" W.), y a la cual se le denominará como BCB (Fig.1).

1.2 Estero de Morales

Se ubica en la costa Este de la región superior del Golfo de Nicoya, que se encuentra en la costa Pacífica Norte de Costa Rica. Este golfo es un estuario de origen tectónico (Peterson 1958), con una longitud cercana a los 80 Km. desde su confluencia con el Océano Pacífico hasta la boca del Río Tempisque, y con un área de 1530 Km² se ubica entre los estuarios más grandes de América Central.

Con base en sus características batimétricas e hidrológicas el golfo se divide en dos regiones:

1. La región superior (Puntarenas-Isla Chira), bordeada por manglares y con aguas poco profundas (menos de 20 m).
2. La región inferior, bordeada por playas rocosas separadas entre sí por playas arenosas angostas. La profundidad de sus aguas sufre un rápido aumento en dirección al océano abierto hasta alcanzar en la boca del golfo profundidades superiores a

los 200 m.

El golfo es un sistema estuarino clásico, el cual se maneja por la variación anual en la cantidad de agua que aportan los ríos. Durante la época lluviosa el flujo de agua dulce en la región superior del golfo (principalmente por el aporte del Río Tempisque), produce una corriente superficial que se dirige hacia mar afuera por el litoral Este del golfo; el cual se compensa por un flujo más salino que se dirige hacia la región superior por el fondo del litoral Oeste. Esto produce una fuerte estratificación vertical y gradientes horizontales de salinidad (Lizano 1998).

Esta estratificación disminuye su intensidad aguas abajo y ya en la región inferior es más fuerte la estratificación de naturaleza térmica que presenta una termoclina permanente, centrada en los 30 y 40m con una variación de 14°C entre superficie y fondo (Wolff *et al.* 1998).

La fuerte variación estacional que se observa en el golfo se refleja también en la distribución del oxígeno y los nutrimentos. El nitrógeno inorgánico disuelto, por ejemplo, varía en más de un orden de magnitud en la región superior mientras que en la inferior los niveles de nutrimentos son relativamente estables a través del año.

La región inferior se caracteriza por altas concentraciones de oxígeno y bajas de nutrimentos en la superficie, mientras en el fondo por menos oxígeno y más nutrimentos (Córdoba 1993). El golfo difiere de la mayoría de sus contrapartes templadas en que, gran parte del nitrógeno que ingresa al sistema proviene de aguas afuera, profundas, que afloran hacia el golfo (Wolf *et al.* 1998).

Según el modelo trófico desarrollado por Wolff y colaboradores (1998), la eficiencia de transferencia entre los niveles tróficos es del 14,9% (el valor esperado para una zona costera es de 15%). Por su elevada productividad el Golfo de Nicoya es el sitio más importante para la actividad pesquera en Costa Rica, contribuye con el 90% del total.

De acuerdo con numerosos proyectos y publicaciones (que iniciaron en 1979) el Golfo de Nicoya es uno de los estuarios tropicales más estudiados;

a pesar de que la base de datos es relativamente buena, el trabajo de Wolff (1998) pone en evidencia la necesidad de contar con mejores estimaciones para los valores de biomasa y productividad, en especial para los grupos del fitoplancton y fitobentos.

El Estero de Morales se ubica en una zona considerada como de las más productivas en el ámbito mundial (Córdoba 1993). Posee un manglar con un área de 327 ha, donde tanto la línea costera externa como los márgenes de todo el sistema de canales están ocupados por árboles de *Rhizophora racemosa*, y en la parte más interna por *Avicenia germinans* (Córdoba 1993).

La estación de muestreo se ubica frente a las islas Cortezas (09°59'49" N., 85°00'49" W.), en la desembocadura del canal principal del estero, y se le denomina, para efectos de este estudio, como PMB (Fig. 1). El trabajo en este sitio permite la comparación con los resultados obtenidos por Córdoba (1993), y sigue además una de sus recomendaciones en cuanto al aumento de los puntos de integración en la columna de agua (ver método).

Figura 1. Localización de los sitios ecosistémicos marino-costeros y de las estaciones de muestreo en cada uno de ellos. (A) Bahía Ciénega-II, frente a la playa Nacomin, Estero de Morales; (B) Frente a las Islas Cortezas; (C) Golfo Dulce-C, frente a Punta Voladero, en la zona del canal de navegación de la Estación Portuaria Golfito; (D) Mar Caribe-B, cerca de la boca sur del canal de navegación de la Estación Portuaria Golfito. Fuentes: Fomento Costero (Contaminación Costera de Costa Rica), CI-USA- CDMR-UCR. Los nombres de los ecosistemas están en Itz.

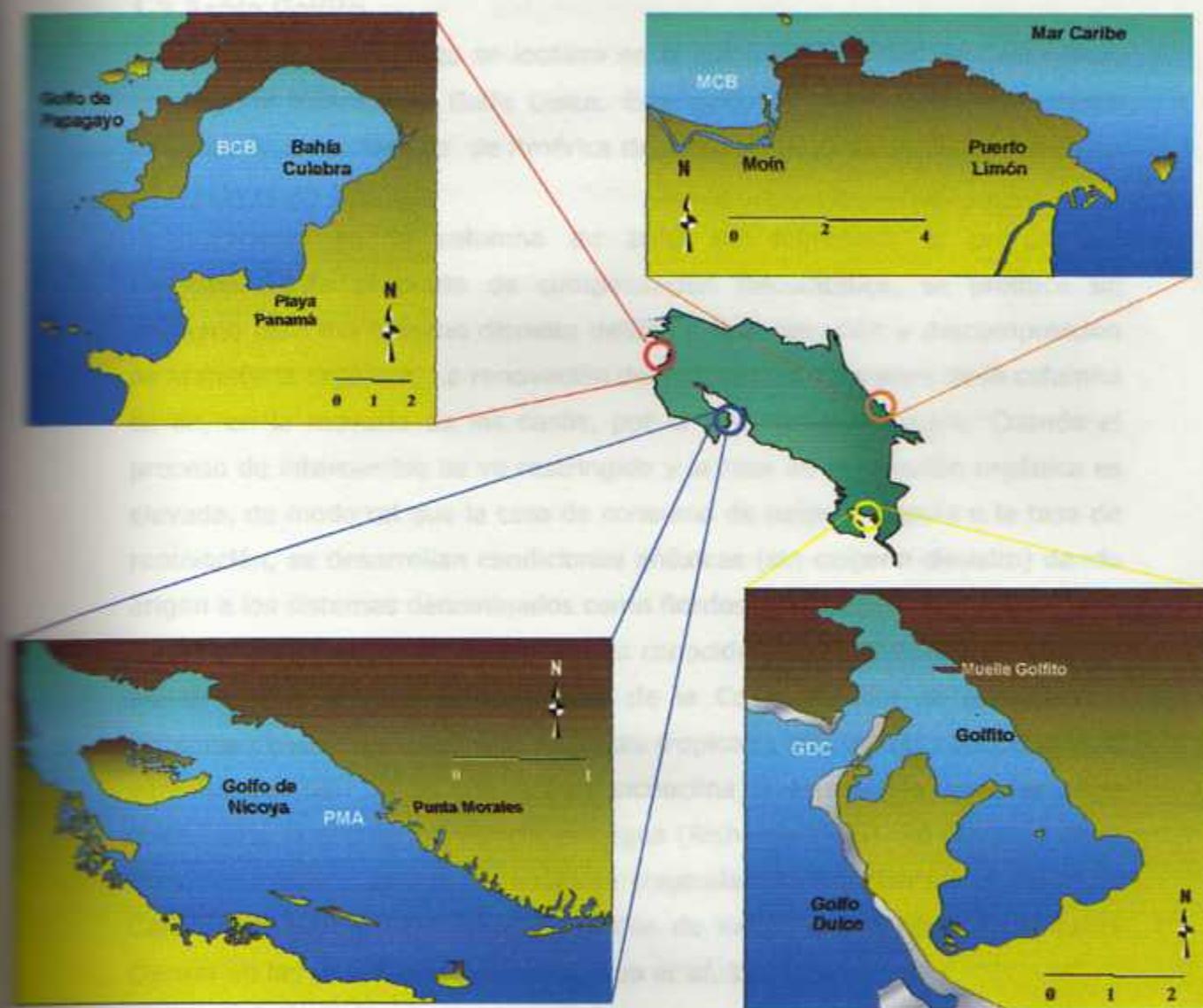


Figura 1. Localización de los cuatro ecosistemas marino-costeros y de las estaciones de muestreo en cada uno de ellos. BCB: Bahía Culebra-B, frente a la playa Nacascolo. PMA: Punta Morales-A frente a las Islas Cortezas. GDC: Golfo Dulce-C, frente a Punta Voladera, en la salida del canal de navegación de la Estación Portuaria Golfito. MCB: Mar Caribe-B, cerca de la boya roja del canal de navegación de la Estación Portuaria Moín. Fuente: Proyecto CoCosRi (Contaminación Costera de Costa Rica), CR-USA- CIMAR-UCR. Los valores de las escalas están en km.

1.3 Bahía Golfito

La Bahía de Golfito se localiza en la costa Pacífica Sur de Costa Rica, en la parte interna del Golfo Dulce. Este golfo es considerado un sistema único en la costa Pacífica de América debido a su naturaleza de fosa anóxica (Hebbeln *et al.* 1996).

Cuando en la columna de agua se sobrepasa la profundidad correspondiente al punto de compensación fotosintética, se produce un consumo neto del oxígeno disuelto debido a la respiración y descomposición de la materia orgánica. La renovación del oxígeno en esta zona de la columna se da, en la mayoría de los casos, por la circulación del agua. Cuando el proceso de intercambio se ve restringido y la tasa de producción orgánica es elevada, de modo tal que la tasa de consumo de oxígeno supera a la tasa de renovación, se desarrollan condiciones anóxicas (sin oxígeno disuelto) dando origen a los sistemas denominados como fiordos o fosas anóxicas.

El Mar Negro es el ejemplo más conocido de un sistema de este tipo, así como los fiordos de Noruega y de la Costa Pacífica de la Columbia Británica canadiense. Las fosas anóxicas tropicales son menos conocidas y se caracterizan por tener una fuerte picnoclina o termoclina que restringe físicamente la circulación vertical del agua (Richards 1965). Se reportan en la literatura otras cuatro fosas anóxicas tropicales: la Trinchera y el Golfo de Cariaco en Venezuela (Caribe), la Bahía de Kaoe en Indonesia, y la Bahía Darwin en las Islas Galápagos (Tamdrup *et al.* 1996).

El Golfo Dulce es una fosa anóxica de origen tectónico, posee cerca de 50 Km. de largo; entre 10 y 15 Km. de ancho; una superficie de 750 Km² y una profundidad máxima de 215 m. Se le divide en dos partes: la cuenca interior, con una fuerte pendiente hasta alcanzar un fondo plano en la profundidad máxima; y una cuenca externa, somera, con un sill o umbral a 60 metros de profundidad en su frontera con el Océano Pacífico.

Debido a esta topografía, la circulación del agua en el Golfo Dulce está restringida, aunque el intercambio con el océano es lo suficientemente frecuente como para evitar el establecimiento de condiciones altamente reductoras en la zona más profunda (Richards *et al.* 1971, Tamdrup *et al.*

1996). La presencia del oxígeno disuelto llega hasta los 100 m. de profundidad y en ausencia de oxígeno el nitrato y el nitrito se convierten en el sustrato reducible para la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Este proceso se conoce como *denitrificación*, y su producto final es el nitrógeno libre (N_2). También el sulfato actúa como sustrato reducible y produce sulfuros como H_2S , HS^- y solo pequeñas cantidades de S^{2-} . Estos sulfuros forman compuestos muy tóxicos y poco solubles con metales, lo que enriquece los sedimentos con este tipo de precipitados. Con la desaparición del oxígeno también se da la disminución del potencial redox (Eh) lo cual se traduce en una acumulación de materia orgánica no oxidada en los sedimentos (Richards 1965).

En hecho de que en el Golfo Dulce la pycnoclina se encuentre a una profundidad menor que la del umbral, y que la estratificación de las aguas por debajo de éste sea débil, facilita el intercambio de agua entre la fosa y el Océano Pacífico (Tamdrup *et al.* 1996). Algunas investigaciones han sugerido un afloramiento estacional que produce una tasa estable de intercambio sobre el umbral con agua pobre en oxígeno pero rica en nitratos, los cuales actuarían como oxidante de los sulfatos (Richards *et al.* 1971, Tamdrup *et al.* 1996).

La zona eufótica se encuentra entre los 30 y 40 m de profundidad y el fitoplancton es abundante en la superficie, el cual disminuye hasta los 40m. Predominan dentro del fitoplancton las diatomeas y los dinoflagelados, estos últimos con especies que desarrollan mareas rojas. Por debajo de los 40 m. abundan el fitoplancton muerto y las bacterias, que llegan a ser la forma dominante en el fondo (Kuever *et al.* 1996, Wolff *et al.* 1996).

La actividad pesquera en Golfo Dulce tiene un nivel de desarrollo artesanal que representa apenas el 3% del total en el ámbito nacional. Sus costas y los bosques de manglar son sitios de anidación para tortugas marinas y aves y sus aguas albergan una población residente de delfines (Wolff *et al.* 1996).

El modelo trófico piloto para Golfo Dulce, elaborado por Wolff y colaboradores (1996), confirma que éste funciona de una manera diferente a

la mayoría de los ecosistemas costeros tropicales y se asemeja más a un sistema oceánico abierto que a uno estuarino. De acuerdo con sus sugerencias para la investigación futura en el Golfo se encuentran el plancton y los procesos de transferencia dentro de la sección pelágica; por lo tanto los objetivos del presente proyecto se encuentran dentro de la línea de investigación reconocida como necesaria por desarrollar en esta zona.

El sitio de muestreo se ubica frente a Punta Voladera a la salida del canal de navegación de la Bahía de Golfito ($08^{\circ}37'19''$ N., $83^{\circ}10'47''$ W.), denominada como GDC (Fig.1), y se enmarca también en la necesidad de generar información base sobre el efecto en la productividad primaria que puede tener el poblado de Golfito como principal fuente de contaminantes de naturaleza urbana.

1.4 Bahía Moín

Ubicada en la costa caribeña de Costa Rica, la ciudad de Limón representa el centro comercial e industrial de la región y es donde se asientan los principales puertos comerciales: el muelle en Bahía Moín y el muelle Alemán.

A diferencia del litoral Pacífico, la mayor parte del litoral Caribeño se desarrolla de manera rectilínea (212 km de extensión), y corresponde al tipo de llanura costera de bajo relieve. Esto hace de la Bahía de Limón una zona costera abierta, expuesta de manera directa a las aguas del Mar Caribe y bajo la influencia de la corriente costera que se desplaza en una dirección sureste-noroeste, a una velocidad de 0,5-1,0 nudos, y con un transporte de 26-34 millones de m^3 de agua por segundo. De esta corriente costera se deriva un giro hacia el sur frente a las costas de Honduras y Nicaragua; este giro origina la típica corriente superficial frente a la costa de Costa Rica en donde tiene una dirección sur-sureste con algunas derivaciones como el giro sureste-norte que se observa en Bahía Moín. Esta corriente acarrea contaminantes de otras regiones del Caribe, además de los generados localmente (Acuña 1997).

La ciudad de Limón esta rodeada por pequeñas lomas con menos de 60 msnm y con una pendiente suave. Estos terrenos están formados por plataformas calcáreas que alcanzan el mar directamente y se extienden unas decenas de metros después de la zona de entre mareas para dar paso a un sustrato de arena y fango, en donde se encuentran arrecifes de diferente tamaño, en su mayoría muertos y cubiertos por algas que invaden este tipo de ambientes (Soto 1997).

La bahía artificial de Moín es una plataforma carbonatada coralina que se hace profunda de manera gradual (>15 metros); en su muelle se trasiega petróleo crudo y refinado por la planta de RECOPE, la cual se localiza en la margen sur del Río Moín que desemboca en esta misma bahía (Acuna 1997). La zona tiene asignado un valor de sensibilidad ambiental de 8 para derrames de petróleo, donde 10 es el máximo (Acuña *et al.* 1997).

Entre los principales problemas ecológicos de carácter antropogénico están la contaminación de las aguas costeras por aguas negras, desechos sólidos, plaguicidas, hidrocarburos y metales pesados; además de la modificación del sistema costero por las obras portuarias desarrolladas y por el terremoto de 1991, que produjo el levantamiento de las plataformas arrecifales a lo largo de la línea costera.

El sitio de muestreo se denomina como MCB (Fig.1), se ubica cerca del canal de navegación en Bahía Moín (10° 00' 29" N., 83°04'50" W.), en los alrededores de la segunda boya de navegación.

Sección de profundidad del agua (m)

2. Procedimiento

La productividad primaria en la columna de agua se determina por el método de la botella clara y oscura según Hall y Moll (1975); que utiliza el cambio en la concentración de oxígeno para calcularla. Una de las razones más importantes para la utilización de este método es que tiene la ventaja de ser simple, fácilmente practicable y por permitir la determinación de la productividad primaria neta y bruta, además de la respiración de la comunidad pláncica. Su limitación principal es que tiene sensibilidad baja,

razón por la cual se emplea sólo en zonas productivas como aquellas que se encuentran en las aguas costeras (Parsons & Takahashi 1984, Gocke 1986).

La productividad primaria bruta se define como, la fijación total de energía por unidad de tiempo y espacio en términos de carbono asimilado. La productividad primaria neta es la fijación total de energía menos la energía perdida en la Respiración (Hall & Moll 1975, Krebs 1978).

Se seleccionaron 5 profundidades de incubación para las botellas a lo largo de la columna de agua, estas representan el 100, 50, 25, 10 y 1% de la luz incidente superficial (I_0). La profundidad en metros para cada uno de estos porcentajes de luz incidente, se calcula a partir de la profundidad del disco de Secchi (disco de material acrílico con dos zonas blancas y dos zonas negras intercaladas, amarrado a una cuerda cuya longitud se conoce en centímetros, se deja hundir en el agua y se anota la profundidad a la que deja de ser visible) y la ecuación de la extinción de la luz solar (3), donde el factor k toma los valores de 0,4 y 1,7 para aguas turbias y claras respectivamente (Holmes 1970):

$$\%I = 100 e^{-z_i k / \text{Secchi}}$$

donde

$\%I$ = porcentaje de incidencia

z_i = profundidad (m)

k = coeficiente de extinción

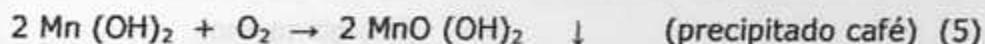
Secchiprofundidad del disco Secchi (m)

Según lo anterior las correspondientes profundidades para $\%I = 50$, 25, 10 y 1 se obtienen multiplicando la profundidad de Secchi por 0,41, 0,81, 1,35 y 2,7 Respectivamente. Para obtener el agua a cada una de estas profundidades se utiliza una botella del tipo Niskin de 1,5 litros de capacidad.

Las botellas utilizadas para incubar las muestras son del tipo DBO (demanda bioquímica de oxígeno) con una capacidad aproximada de 300 ml, pero su volumen debe ser determinado individualmente de la manera más precisa posible:

1. Se identifica cada botella y su tapa Respectiva
2. Se ponen a secar las botellas y sus tapas a 60°C durante tres horas
3. Se dejan alcanzar la temperatura ambiente
4. Se tapan y se determina su masa
5. Se llenan con agua destilada cuya temperatura es conocida y se tapan evitando que se humedezcan externamente
6. Se pesan nuevamente
7. Se calcula el volumen de cada botella

Las botellas en el campo, se disponen en una pareja clara y otra oscura en una roseta diseñada para mantenerlas sujetas por el cuello de manera tal que mantengan una posición casi horizontal para maximizar su exposición a la luz. Cada roseta sostiene dos parejas de botellas que se fijan a la profundidad adecuada para cada porcentaje de incidencia por medio de una cuerda cuyo extremo inferior esta atado a un lastre y el superior a un grupo de boyas. Se llenan dos botellas inicialmente como control, en cada profundidad antes de la incubación. Con estas botellas control se procede de manera inmediata a fijar la cantidad de oxígeno presente en ese momento, y se agrega a cada botella 1,0 ml de $MnCl_2$ y 1,0 ml de disolución alcalina $NaOH - NaI$ por medio de jeringas dispensadoras automáticas:

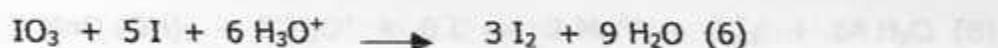


Para determinar los periodos de incubación se divide el tiempo de un día entre el amanecer y el anochecer en 5 partes iguales llamadas quintos (Gocke 1986). Se seleccionaron dos periodos de incubación para las botellas claras y oscuras de 2,20 horas cada uno; estos van desde las 8:40 a.m. hasta 2:00 p.m. y corresponden al segundo y tercer quinto del día (la

primera incubación se llama segundo quinto, q_2 ; la segunda incubación se llama tercer quinto, q_3).

La determinación de la concentración de oxígeno se realiza posteriormente en el laboratorio del CIMAR, y se sigue el método Winkler modificado para agua de mar (Strickland y Parsons 1972, UNESCO 1993, Gocke 1986). Este consiste básicamente en valoraciones yodométricas de las muestras, utilizando una disolución de tiosulfato de sodio 0,01N que ha sido valorada previamente con yodato de potasio, un patrón tipo primario:

Valoración del tiosulfato de sodio con yodato de potasio:



Así se obtiene que un mol de yodato de potasio es equivalente a seis moles de tiosulfato ($n_{\text{Tio}} = 6 n_{\text{KIO}_3}$)

Sea:

- n cantidad de sustancia
- M_{KIO_3} masa molar del yodato de potasio (214,001 g/mol)
- m_{KIO_3} masa del yodato de potasio (g)
- V_{KIO_3} volumen de yodato de potasio (l)
- Cn_{KIO_3} concentración del yodato de potasio (mol/l)
- A_{KIO_3} alícuota del yodato de potasio (ml)
- U mediana de los valores de volumen de tiosulfato consumido (ml)
- B_R blanco de reactivos (ml): volumen de tiosulfato consumido por los reactivos
- Cn_{Tio} concentración de tiosulfato (mol/l)

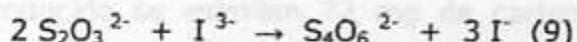
Entonces:

$$Cn_{K103} = \frac{m_{K103}}{(M_{K103} \cdot V_{K103})}$$

$$(U - B_R) = 6 A_{K103} \cdot Cn_{K103}$$

$$Cn_{T10} = \frac{6 \cdot A_{K103} \cdot Cn_{K103}}{(U - B_R)}$$

Valoración yodométrica



Para el cálculo de la producción primaria neta (PPN) y bruta (PPB), se le debe restar a la concentración de oxígeno determinada en las botellas claras (H), la concentración de oxígeno de las botellas iniciales o control (K) y el de las oscuras (Q), Respectivamente (Hall y Moll 1975).

- Producción primaria neta (mg C/m^3), $PPN_{zi} = H - K$
- Producción primaria bruta (mg C/m^3), $PPB_{zi} = H - Q$
- Respiración (mg C/m^3), $Rsp_{zi} = K - Q$

Esta diferencia se convierte a unidades de carbono orgánico por medio del coeficiente fotosintético de 1,20 y el Respiratorio de 0,85, los cuales son característicos de estuarios tropicales (Gocke 1990). Según estos valores un miligramo de oxígeno liberado equivale a 0,313 mg de carbono asimilado.

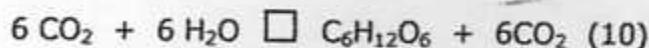
De cada botella se miden dos alícuotas de 50 ml para ser valoradas, de tal modo que por cada tipo de botella (control, clara y oscura) se obtienen 4 valores de oxígeno disuelto por profundidad, el cual se convierte a mg C/m^3 usando las siguientes igualdades:

$$0,313 \text{ mg C} = 1 \text{ mg O}_2$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$\frac{\text{mg C}}{\text{m}^3} = \text{OD (mg/L)} \cdot 313$$

La equivalencia entre el oxígeno y el carbono se calcula a partir de la ecuación:



Se usa un coeficiente fotosintético cuyo valor se aproxima al valor inverso del coeficiente respiratorio. De acuerdo con esto, por cada 192 mg de O_2 producido se asimilan 72 mg de carbono. La razón 72/192 debe ser dividida por el coeficiente fotosintético de 1,20:

$$72 \text{ mg C} / 192 \text{ mg O}_2 \times 1,20 = 0,313 \text{ mg C} / 1 \text{ mg O}_2$$

De cada uno de estos 3 grupos de 4 valores se toma la mediana para realizar el cálculo de la producción primaria neta, bruta y la respiración por cada profundidad

Luego se integra el área bajo la curva suponiendo cubos de 1 m^2 de área y la altura como la diferencia de dos profundidades contiguas. Al final se obtiene una sumatoria que integra la producción primaria bruta, otra sumatoria para la producción neta y otra más para la respiración:

Producción primaria neta en el quinto j

$$PPN_{qj} (\text{mg C} / \text{m}^2) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} [(z_{i+1} - z_i) (PPN_{z_{i+1}} + PPN_{z_i})]$$

Para obtener la tasa de producción o productividad, se debe tomar en cuenta el tiempo de incubación (Δt_q). Cada incubación inicia a las t_i horas y

finaliza a las t_r , de donde $\Delta t_{qj} = (t_r - t_j)$. Este valor de tiempo se especifica en horas y decimales de hora y se supone un año de 365,4 días

Productividad primaria neta en el quinto j:

$$PPN_{qj} \text{ (mg C/ m}^2 \cdot \text{día)} = \frac{PPN_{qj} \cdot 24}{\Delta t_{qj}}$$

$$PPN_{qj} \text{ (mg C/ m}^2 \cdot \text{año)} = \frac{PPN_{qj} \cdot 24 \cdot 365,4}{\Delta t_{qj}}$$

Para cada periodo de incubación (quinto dos y tres) se obtiene un valor de producción para el sitio de muestreo; el valor final pondera los valores de producción con respecto al tiempo de incubación.

$$PPN = \frac{\sum_{j=2}^k (PPN_{qj} \cdot \Delta t_{qj})}{\sum_{j=2}^k \Delta t_{qj}}$$

Se sigue en forma análoga para encontrar PPB y Rsp.

Después de que se coloca el sistema completo de incubación en cada periodo, se continua con la toma de muestras para la determinación de salinidad, temperatura, material en suspensión, clorofila a y nutrientes inorgánicos disueltos (silicato, fosfato, nitrato, nitrito, amonio) para cada profundidad en ambos periodos de incubación.

La medición de salinidad se realiza con un refractómetro de mano del tipo Atago S/ Mill-E salinity 0-100 psu y un termómetro de mercurio o electrónico para la temperatura.

Para la determinación de la clorofila-a se toman muestras de aproximadamente 2 litros, en botellas plásticas oscuras que se llevan a tierra para filtrarlas durante la noche. Los filtros, de fibra de vidrio (Watman® GF/C, 47mm) se transportan, protegidos de la luz y en frío, hasta el laboratorio donde se realiza la extracción del pigmento con acetona al 90%.

Para la obtención de la concentración de clorofila-*a* se lleva a cabo la medición de la absorbancia a cuatro longitudes de onda (630, 645, 663 y 750 nm) y se emplean coeficientes empíricos en una ecuación desarrollada por la SCOR/UNESCO adaptada para los procedimientos del CIMAR.

Para la determinación de la materia en suspensión se realiza igualmente una filtración de 2 litros de agua por medio filtros de fibra de vidrio (Watman® GF/C, 47 mm) prepesados con una balanza analítica. El incremento en la masa del filtro con la muestra, referido a la masa del filtro sin muestra, representa la masa de los sólidos en suspensión. El análisis gravimétrico incluye todo el material en suspensión: sedimento, plancton, materia orgánica e inorgánica de origen terrestre y marino.

En la determinación de nutrientes se sigue el método según Strickland y Parsons (1972). En un tubo de ensayo se pone una pequeña cantidad de la muestra se agregan reactivos específicos que desarrollan compuestos coloreados con el analito y luego se determina su absorbancia por espectrofotometría visible. Por medio de curvas de calibración, en una aplicación de la ley de Beer-Lambert, se determina la concentración del nutriente.

Para el análisis estadístico, el número de datos por cada parámetro, generado en cada periodo de muestreo (q_2 y q_3), permite la aplicación de la prueba de correlación lineal de Pearson, para lo cual se utilizó el programa gratuito Palaeontological Statistic (PAST), versión 1.73 (Ryan *et al.* 2007).

Con respecto a los parámetros utilizados para la caracterización físico y química de las condiciones prevalecientes durante el periodo de estudio en el perfil de localización, basta la temperatura como la salinidad, indican la presencia de una capa de agua superficial a partir del 30% de salinidad a 7,0m de profundidad, al tener una temperatura mayor de 2,0°C y una salinidad mayor de 1,5 ups, con respecto a la parte inferior de la columna.

La concentración de materia en suspensión (MES) y de clorofila-*a* fue mayor en la parte inferior del perfil de muestreo mientras que los nutrientes lo es en la parte superior, en cuanto a la concentración de los nutrientes, destacó la no detección de nitrógeno disuelto y silicón a lo

Capítulo 1: Costa Pacífica, Bahía Culebra

Resultados

I. Sitio: Nacascolo (BCB) Muestreo: 1.1 (Junio 2000)

1. Perfil de incubación y muestreo en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 9:32 AM-12:10 PM)

El primer muestreo realizado frente al sitio Nacascolo, en Bahía Culebra, identificado en este estudio como BCB (Figura 2), se realizó el 28 de junio del 2000. La profundidad alcanzada por el disco de Secchi fue de 10,0m y el nivel de la marea se encontraba bajando al momento de tomar las muestras y realizar la primera incubación durante el segundo quinto del día (q2), la cual se inició a las 9:32 AM y se extendió hasta las 12:10 PM, para una duración de 2,63 horas (Cuadro 1.1).

La columna de agua alcanzó una profundidad total de 19,0m mientras que, la zona eufótica correspondiente alcanzaba una profundidad de 21,0m; esta diferencia de profundidades provocó un cambio en la profundidad de las incubaciones y consecuentemente de los correspondientes porcentajes de I_0 que se habían preestablecido. La incubación a mayor profundidad se ubicó a 9,0m y las tres incubaciones por arriba de ésta guardaron una distancia entre sí de 2,0m, manteniendo la incubación superficial a 0,20m de profundidad, por lo tanto los nuevos porcentajes de incubación se ubicaron al 60%, 42%, 30% y 22% I_0 .

Con respecto a los parámetros utilizados para la caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante el periodo q2 en el perfil de incubación, tanto la temperatura como la salinidad indicaron la presencia de una capa de agua diferente a partir del 30% I_0 ubicado a 7,0m de profundidad, al tener una temperatura mayor en 3,0°C y una salinidad mayor en 1,5 ups, con respecto a la parte superior de la columna.

La concentración de materia en suspensión (MS) y de clorofila-a fue mayor en la parte inferior del perfil de muestreo mientras que la de feopigmentos lo es en la parte superior. En cuanto a la concentración de los nutrimentos, destacó la no detección de nitrógeno disuelto y silicato a lo

largo del perfil de incubación (ver anexo Límites de Detección) mientras que, los fosfatos fueron detectados en los cinco puntos del perfil de muestreo, con la concentración máxima ubicada en la superficie (Cuadro 1.1).

La concentración máxima de oxígeno disuelto se ubicó al 22% I_0 con 7,20 mg/L y el porcentaje de saturación fue de 121,7.

Producto de esta primera incubación realizada en q2, se obtuvo para la actividad respiratoria del plancton (Rsp), valores con una magnitud positiva que no superaron los correspondientes valores de síntesis primaria del fitoplancton (PPB), a excepción de los puntos ubicados al 30% y 22% I_0 (Cuadro 1.1), lo cual produjo que los respectivos valores de PPN presentaran una magnitud negativa.

Cuadro 1.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalentes durante la primera incubación (q2: 9:32AM-12:10PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.

Sitio 1	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	t _i (min:seg)	t _f (min:seg)	Δt (h)
BCB	1.1	28-Jun-00	2	09:32 AM	12:10 PM	2.63
Característica						Promedio
% I_0	97	60	42	30	22	
Profundidad (m)	0.2	3.0	5.0	7.0	9.0	
PPN (mgC/m ³)	157.8	226.9	163.8	-6.3	-50.2	98.4
PPB (mgC/m ³)	1379.8	718.0	818.8	50.3	69.3	607.2
Rsp (mgC/m ³)	1222.0	491.1	655.0	56.6	119.5	508.8
Temp. (°C)	29.3	29.0	29.0	32.0	32.0	30.3
Salinidad (ups)	28.5	28.5	28.5	30.0	30.0	29.1
M. S. (mg/L)	6.10	8.65	7.42	8.97	8.41	7.91
Cl-a (mg/m ³)	0.55	0.43	0.61	0.90	0.63	0.62
Faeop. (mg/m ³)	0.38	0.43	0.62	0.10	0.21	0.35
Fosfatos (μmol/L)	0.36	0.16	0.17	0.18	0.27	0.23
Silicatos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitratos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
O.D. (mg/L)	7.16	6.88	6.84	7.23	7.29	7.08
% Saturación	121.7					
Marea (cm)	229	64				
hora	07:41AM	1:45PM				

Secchi (m)	10.0
Fondo (m)	19.0

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 1:00 PM- 3:40 PM)

La incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3), mantuvo una profundidad del disco de Secchi en 10,0m, en consecuencia la profundidad para los respectivos porcentajes de I_0 establecida en q2 es semejante durante q3. La duración de este segundo periodo fue de 2,67 horas, iniciando a la 1:00 PM y finalizando a las 3:40 PM (Cuadro 1.2).

En cuanto al nivel de marea, alcanzó su altura mínima a la 1:45 PM, por lo que el muestreo se realizó mientras la marea bajaba y parte de la incubación transcurrió mientras la marea subía. La profundidad de la columna de agua aumentó en 1,0m alcanzando 20,0m en total (Cuadro 1.2)

El perfil de temperatura en el periodo q3 mostró la desaparición de la capa de agua entre 30% y 22% I_0 con mayor temperatura y salinidad, aunque si mantuvo la tendencia observada en q2 con valores más altos hacia la parte más profunda del perfil de incubación, pero disminuyó con respecto a los valores registrados en q2.

Cuadro 1.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3: 1:00PM-3:40 PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica. Junio 2000.

Sitio 1	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	ti (min:seg)	tf (min:seg)	Δt (h)
BCB	1.1	28-Jun-00	3	1:00 PM	3:40 PM	2.67
Característica						Promedio
% I_0	97	60	42	30	22	
Profundidad (m)	0.2	3.0	5.0	7.0	9.0	
PPN (mgC/m^3)	435.9	12.1	-50.3	-37.9	0.3	72.0
PPB (mgC/m^3)	-99.7	-189.0	-12.7	-31.6	63.0	-54.0
Rsp (mgC/m^3)	-535.6	-201.2	37.7	6.3	62.7	-126.0
Temp. (°C)	32.0	29.0	31.0	30.0	30.0	30.4
Salinidad (ups)	23.0	23.0	23.0	26.0	25.0	24.0
M. S. (mg/L)	6.97	5.26	6.20	6.94	7.74	6.62
Cl-a (mg/m^3)	0.69	0.63	0.49	0.35	0.42	0.52

Faeop.(mg/m ³)	0.32	0.21	0.38	0.14	0.26	0.26
Fosfatos(μmol/L)	0.27	0.21	0.17	0.19	0.16	0.20
Silicatos(μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitratos(μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
O.D. (mg/L)	5.74	6.76	7.37	7.33	7.29	6.9
% Saturación	99.8					
Marea (cm)	229	64				
hora	07:41AM	1:45PM				
Secchi (m)	10.0					
Fondo (m)	20.0					

En cuanto a la concentración de materia en suspensión (MS), su valor máximo se mantuvo ubicado en la parte inferior del perfil mientras que, el de clorofila-*a* ascendió del 30% al 97% I_0 y la concentración de feopigmentos continuó siendo mayor en la parte superior del perfil. La no detección de silicato y nitrógeno disuelto se prolongó al periodo q3 y la concentración máxima de fosfato disuelto continuó ubicada en la superficie (Cuadro 1.2).

La concentración de oxígeno disuelto fue máxima al 42% I_0 con 7,37 mg/L y el porcentaje de saturación disminuyó a 99,8.

Producto de esta segunda incubación realizada en el tercer quinto del día (q3), se obtuvo valores negativos para PPB, a excepción del valor registrado al 22% I_0 en la parte baja del perfil (Cuadro 1.2).

Por su parte, la actividad respiratoria del plancton (Rps) presentó un valor negativo en la superficie y al 60% I_0 , cuya magnitud superó al respectivo valor de PPB, provocando la obtención de valores positivos de PPN en ambos puntos. La respiración al 42% y 30 % I_0 fue positiva y de magnitud menor a la PPB, lo que produjo valores negativos para PPN en estos puntos del perfil mientras que, la incubación ubicada al 22% I_0 mostró valores prácticamente similares para PPB y Rsp obteniendo una PPN de 0,3 mgC/m³.

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación (Cuadro 1.3)

2.1 Temperatura

En q2, la temperatura presentó un ámbito de 29,0 a 32,0 °C, para una variación de 3,0°C, con el valor mínimo ubicado al 60% y 42% I₀, y el máximo al 30% y 22% I₀, con un valor promedio de 30,3°C.

En q3, la temperatura mantuvo el mismo ámbito de variación y cambió su distribución en la columna de agua, con un valor mínimo ubicado solamente al 60% I₀ y el valor máximo se trasladó a la superficie con 97% I₀. La temperatura promedio fue de 30,4°C.

Al considerar la totalidad del periodo muestreado (q2+q3), el ámbito de temperatura se mantuvo constante, el valor mínimo se ubicó al 60% y 42% I₀ y el máximo al 97%, 30% y 22%. El promedio fue de 30,35°C.

2.2 Salinidad

Durante q2, la salinidad presentó un ámbito de 28,5 a 30,0 ups, para una variación de 1,5 ups, con el valor mínimo ubicado al 97% y 42% I₀ y el máximo al 30% y 22% I₀, con un valor promedio de 29,1 ups.

Durante q3, el ámbito fue de 23,0 a 26,0 ups, para un aumento de la variación que alcanzó 3,0 ups, con el valor mínimo ubicado nuevamente al 97% y 42% I₀ y el máximo al 30% I₀. El promedio fue de 24,0 ups.

Al considerar q2+q3, el ámbito total fue de 23,0 a 30,0 ups, para una variación de 7,0 ups, con el valor mínimo ubicado al 97% y 42% I₀ y el máximo al 30% y 22% I₀. El promedio fue de 26,5 ups.

2.3 Materia en suspensión (MS)

La materia en suspensión presentó un ámbito de concentración durante q2 de 6,10 a 8,97 mg/L, para una variación de 2,87 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 97% I₀ y la máxima al 30% I₀, con un promedio de 7,91 mg/L.

Durante q3, el ámbito fue de 5,26 a 7,74 mg/L, para una variación de 2,48 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 60% I_0 y la máxima al 22% I_0 y un promedio de 6,62 mg/L.

Si se toma en cuenta la suma de ambos periodos, la concentración mínima se registró durante q3 al 60% I_0 y la máxima durante q2 al 30% I_0 , el ámbito total fue de 5,26 a 8,97 mg/L, para una variación de 3,71 mg/L y un promedio de 7,26 mg/L.

2.4 Clorofila-a

El ámbito de concentración de clorofila-a en q2 estuvo entre 0,43 y 0,90 mg/m³, para una variación de 0,47 mg/m³, con la mínima ubicada al 60% y la máxima al 30% I_0 y una concentración promedio de 0,62 mg/m³.

En q3 el ámbito estuvo entre 0,42 y 0,69 mg/m³, para una variación de 0,27 mg/m³. La ubicación de la concentración mínima sucedió al 22% I_0 mientras que, la máxima al 97% I_0 y el promedio fue de 0,52 mg/m³.

La suma de ambos periodos de muestreo, ubicó la concentración mínima durante q3 al 22% I_0 y la máxima en q2 al 30% I_0 , para un ámbito total de 0,42 a 0,90 mg/m³, para una variación de 0,48 mg/m³ y una concentración promedio de 0,57 mg/m³.

2.5 Faeopigmentos

La concentración de feopigmentos durante q2 presentó un ámbito entre 0,10 y 0,62 mg/m³, para un variación de 0,52 mg/m³, con la ubicación de la concentración mínima al 30% I_0 y la máxima al 42% I_0 .

En q3 el ámbito de concentración estuvo entre 0,14 y 0,38 mg/m³ para una variación de 0,24 mg/m³, con una ubicación de la concentración mínima y máxima semejante a la observada durante q2, y un promedio de 0,26 mg/m³.

La consideración de la totalidad del periodo muestreado, ubicó tanto al valor mínimo como al máximo en q2, por lo que la variación es la misma a la de este periodo mientras que, la concentración promedio fue de 0,30 mg/m³.

Cuadro 1.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, faeopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I₀), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	29.0	32.0	29.0	32.0	29.0	32.0
Ubicación %I ₀	60 y 42	30 y 22	60	97	60 y 42	97, 30 y 22
Variación	3.0		3.0		3.0	
Promedio	30.3		30.4		30.3	
2.2 Salinidad (ups)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	28.5	30.0	23.0	26.0	23.0	30.0
Ubicación %I ₀	97, 60 y 42	30 y 22	97, 60 y 42	30	97 - 42	30 y 22
Variación	1.5		3.0		7.0	
Promedio	29.1		24.0		26.5	
2.3 Materia en suspensión (mg/L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	6.10	8.97	5.26	7.74	5.26	8.97
Ubicación %I ₀	97	30	60	22	60	30
Variación	2.87		2.48		3.71	
Promedio	7.91		6.62		7.26	
2.4 Clorofila-a (mg/m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.43	0.90	0.42	0.69	0.42	0.90
Ubicación %I ₀	60	30	22	97	22	30
Variación	0.47		0.27		0.48	
Promedio	0.62		0.52		0.57	
2.5 Faeopigmentos (mg/m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.10	0.62	0.14	0.38	0.10	0.62
Ubicación %I ₀	30	42	30	42	30	42
Variación	0.52		0.24		0.52	
Promedio	0.35		0.26		0.30	
2.6 Fosfato (μmol/L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.16	0.36	0.16	0.27	0.16	0.36
Ubicación %I ₀	60	97	22	97	60 y 22	97
Variación	0.20		0.11		0.20	
Promedio	0.23		0.20		0.22	
2.10 Oxígeno disuelto (mg/L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	6.84	7.29	5.74	7.37	5.74	7.37
Ubicación %I ₀	42	22	97	42	97	42

Variación	0.45	1.63	1.63
Promedio	7.08	6.90	6.99

2.6 Fosfato disuelto

El ámbito de concentración del ion ortofosfato en q2 osciló entre 0,16 y 0,36 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,20 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 60% I_0 y la máxima al 97% I_0 , y una concentración promedio de 0,23 $\mu\text{mol/L}$.

En q3 el ámbito estuvo entre 0,16 y 0,27 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,11 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 22% I_0 y la máxima al 97% I_0 y un promedio de 0,20 $\mu\text{mol/L}$.

Para la totalidad del periodo muestreado, el ámbito de variación es similar al observado durante q2, con la concentración mínima ubicada al 60% y 22% I_0 y la máxima al 97% I_0 . La concentración promedio fue de 0,22 $\mu\text{mol/L}$.

Como ya se comentó anteriormente no fue posible detectar la presencia de silicato y de nitrógeno en sus formas de nitrato, nitrito y amonio.

2.11 Oxígeno disuelto

En q2, el oxígeno disuelto presentó un ámbito de concentración de 6,84 a 7,29 mg/L, para una variación de 0,45 mg/L, con la mínima ubicada al 42% I_0 y la máxima al 22% I_0 , y un promedio de 7,08 mg/L.

En q3, el ámbito de concentración estuvo entre 5,74 y 7,37 mg/L para una variación de 1,63 mg/L, ubicando la concentración mínima al 97% I_0 y la máxima al 42% I_0 , con un promedio de 6,90 mg/L.

Para el periodo total de muestreo, tanto la concentración mínima como la máxima se ubicaron durante q3 para un promedio de 6,99 mg/L.

El porcentaje de saturación disminuyó de 121,7 en q2 a 99,8 en q3, obteniendo un promedio de 110,7 (Cuadros 1.1 y 1.2).

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación

La productividad primaria bruta en q2 presentó un ámbito de 50,3 a 1379,8 mgC/m³, con una variación de 1329 mgC/m³, con la mínima ubicada al 30% I₀ y una máxima al nivel superficial con 97% I₀. El promedio de la PPB, en estas 2,63 horas de incubación, fue de 607,2 mgC/m³ (Cuadro 1.4).

Los resultados obtenidos durante q3 expusieron una PPB con una ámbito de -189,0 a 63,0 mgC/m³, para una variación de 252,0 mgC/m³. La ubicación de la tasa mínima sucedió al 60% I₀ y la máxima al 22% I₀. En promedio, durante las 2,67 horas de incubación en q3 la PPB fue de -54,0 mgC/m³.

Al considerar el periodo total de incubación, el cual sumó un total de 5,30 horas, el ámbito de PPB fue de -189,0 a 1379,8 mgC/m³, para una variación que alcanzó 1568,8 mgC/m³. La PPB mínima se produjo al 60% I₀ durante q3 y la máxima al 97% I₀ durante q2 y en promedio se produjeron 276,6 mgC/m³.

3.2 Variación de la Respiración (Rsp) en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2, presentó un ámbito de 56,6 a 1222,0 mgC/m³ para una variación de 1164,4 mgC/m³. La tasa mínima se ubicó al 30% I₀ y la máxima al 97% I₀. En promedio, durante estas 2,63 horas se consumieron 403,3 mgC/m³ (Cuadro 1.4).

Durante las 2,67 horas de incubación en q3, el ámbito fue de -535,6 a 62,7 mgC/m³ para una variación de 598,3 mgC/m³. La ubicación de la tasa mínima sucedió al 97% I₀ mientras que, la máxima lo estuvo al 22% I₀. El promedio fue de -126,0 mgC/m³.

Para el periodo total de intubación, que sumó 5,30 horas, la Rsp presentó un ámbito de -535,6 a 1222,0 mgC/m³, para una variación de 1.757,6 mgC/m³. La ubicación de la tasa mínima se dio durante q3 y la máxima durante q2, ambas al 97% I₀, en la superficie de la columna de agua. En promedio se consumieron 191,4 mgC/m³.

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

La PPN en q2, como consecuencia de la relación entre Rsp y PPB, presentó un ámbito de $-50,2$ a $226,9$ mgC/m^3 , para una variación de $277,1$ mgC/m^3 . La tasa mínima se ubicó al 22% I_0 y la máxima al 60% I_0 . En promedio, durante las 2,63 horas en q2 se produjeron $98,4$ mgC/m^3 (Cuadro 1.4).

El perfil de incubación durante las 2,67 horas en q3, proporcionó un ámbito de $-50,3$ a $435,9$ mgC/m^3 para una variación de $486,2$ mgC/m^3 . La tasa mínima se ubicó al 42% I_0 , y la máxima al 97% I_0 . El promedio fue de $72,0$ mgC/m^3 .

Al considerar el periodo del día cubierto por ambos quintos, el ámbito obtenido durante q3 fue el más amplio. El promedio alcanzado por PPN durante las 5,30 horas de incubación fue de $85,2$ $\text{mg C}/\text{m}^3$.

Cuadro 1.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.

3.1 PPB (mgC/m^3)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	50.3	1379.8	-189.0	63.0	-189.0	1379.8
Ubicación % I_0	30	97	60	22	60	97
Variación	1329.5		252.0		1568.8	
Promedio	607.2		-54.0		276.6	
3.2 Rsp (mgC/m^3)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	56.6	1222.0	-535.6	62.7	-535.6	1222.0
Ubicación % I_0	30	97	97	22	97	97
Variación	1164.4		598.3		1757.6	
Promedio	508.8		-126.0		191.4	
3.3 PPN (mgC/m^3)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-50.2	226.9	-50.3	435.9	-50.2	435.9
Ubicación % I_0	22	60	42	97	22	97
Variación	277.1		486.2		486.1	
Promedio	98.4		72.0		85.2	

4. Integración de los perfiles de incubación

De acuerdo con los datos obtenidos para esta primera fecha de muestreo, tanto PPB como Rsp, presentaron una amplia variación diaria, y su intensidad alcanzó incluso valores negativos en q3 (Cuadro 1.5).

Cuadro 1.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (97%, 60%, 42%, 30% y 22% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Junio 2000.

Periodo / Tasa	PPN (gC / m ² d)	PPB (gC / m ² d)	Rsp (gC / m ² d)
q2	9.39	49.78	40.40
q3	4.17	-5.57	-9.74
Variación	-5.22	-55.35	-50.14
q2 + q3	6.76	21.93	15.17

En cuanto PPN, el valor positivo obtenido en q3, es producto de la suma y no de la resta de Rsp a PPB.

La ponderación de la integración de los perfiles de incubación en el sitio BCB, para esta fecha de muestreo, reflejaron altas tasas de productividad y de respiración:

- **PPN:** 6,76 gC/m²d (2 470,9 gC/m²a); con un ámbito de 4,17 a 9,39 gC/m²d, para una disminución de 5,2 gC/m²d entre q2 y q3.
- **PPB:** 21,93 gC/m²d (8 014,4 g C/m²a); con un ámbito de -5,57 a 49,78 gC/ m²d, para una disminución de 55,35 gC/m²d entre q2 y q3.
- **Rsp:** 15,17 gC/m²d (5 543 gC/m²a); con un ámbito de -9,74 a 40,40 gC/m²d, para una disminución de 50,14 gC/m²d entre q2 y q3.

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado entre todos los parámetros ambientales para esta primera fecha de muestreo, expuso una correlación alta y positiva entre PPN y % I_0 ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$); y entre PPB y Rsp ($n=10$, $r=0,9$, $p<0,05$).

En cuanto a la evaluación entre los parámetros físico-químicos, se encontró una correlación media y positiva entre la concentración de materia en suspensión y la salinidad ((n=10, r=0,7, p<0,05).

II. Muestreo: 1.2 (Octubre 2000)

1. Perfil de incubación en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 8:37 AM-11:00 AM)

La segunda visita al sitio de muestreo en Nacascolo, se realizó el 18 de octubre del 2000. La profundidad del disco de Secchi alcanzó 5,4 m. Para esta fecha la incubación q2, dio inicio a las 8.37 AM y finalizó a las 11:00 AM, para una duración de 2,38 horas. La altura de la marea sería máxima a las 11:24 a.m. y mínima a las 17:41 p.m., así que la toma de muestras y su incubación se realizó mientras la marea subía. (Cuadro 1.6).

Cuadro 1.6. Caracterización física y química de las condiciones prevalentes durante la primera incubación (q2), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I₀). Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

Sitio 1	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	ti (min:seg)	tf (min:seg)	Δt (h)
BCB	1.2	18-Oct-00	2	08:37 AM	11:00 AM	2.38
Característica						Promedio
%I ₀	94	49	25	10	1	
Profundidad (m)	0.2	2.2	4.3	7.3	14.5	
PPN (mgC/m ³)	106.0	0.2	-6.1	-51.0	69.2	23.7
PPB (mgC/m ³)	137.0	24.8	6.2	-56.6	-106.8	0.92
Rsp (mgC/m ³)	31.0	24.6	12.3	-5.6	-176	-22.7
Temp. (°C)	24.0	24.0	24.5	23.5	22.0	23.6
Salinidad (ups)	31.0	34.0	34.0	34.0	34.0	33.4
M. S. (mg/L)	6.90	6.95	7.73	7.14	12.73	8.29
Cl-a (mg/m ³)	1.61	1.64	1.55	1.56	4.67	2.21
Faeop. (mg/m ³)	0.14	0.14	0.50	0.31	2.02	0.62
Fosfatos (μmol/L)	0.14	0.14	0.12	0.14	0.97	0.3
Silicatos (μmol/L)	1.06	0.58	0.58	0.68	4.73	1.53
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	0.46	0.09
Nitratos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	6.14	1.23

O.D. (mg/L)	7.07	7.41	7.65	7.91	4.01	6.81
% Saturación	109.5					
Marea (cm)	255	30				
hora	11:24AM	5:41PM				
Secchi (m)	5.4					
Fondo (m)	nd					

La zona eufótica, según la profundidad de Secchi, abarcó una profundidad de 14,5m; en donde se ubicó el 1% I_0 ; las otras cuatro incubaciones se realizaron según los correspondientes porcentajes de I_0 que se habían preestablecido.

Con respecto a los otros parámetros utilizados para la caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante q2 en el perfil de incubación, la temperatura mostró una disminución de 2°C desde la superficie hasta el fondo de la zona eufótica, pasando de 24° a 22°C. Por su parte el perfil para la salinidad mostró dos valores o estratos: a nivel superficial con 31,0 ups y el resto de la zona eufótica con 34,0 ups.

La concentración de materia en suspensión (MS) aumentó conforme lo hizo la profundidad, alcanzando su máximo en el fondo de la zona eufótica mientras que, la distribución de la concentración de clorofila-a presentó tres valores o estratos muy semejantes entre sí: el primero al 94% y 49%, el segundo al 25% y 10 % de I_0 y el tercero al fondo de la zona eufótica, en donde presentó su concentración máxima con 4,67 mg/m³, coincidiendo con la concentración máxima de materia en suspensión y de feopigmentos, cuyos valores también tienden a aumentar conforme lo hace la profundidad.

En cuanto a los nutrimentos, la concentración de fosfato fue casi homogénea entre la superficie y el 10% I_0 alcanzando su máximo al 1% I_0 .

La concentración del silicato también presentó su valor máximo al 1% I_0 , seguida por la concentración en la superficie.

El amonio continuó sin poder ser detectado mientras que, tanto el nitrito como el nitrato solamente lo fueron al 1% I_0 ; siendo la concentración del nitrato la mayor de todas (Anexo Límites de Detección).

La concentración de oxígeno disuelto aumentó hacia el fondo de la zona eufótica alcanzando el máximo al 10% I_0 con 7,91 mg/L mientras que, el mínimo se ubicó al 1% I_0 con 4,01 mg/L. Su saturación alcanzó el 109,5%.

Producto de esta primera incubación en q2, se obtuvo para la actividad respiratoria del plancton (Rsp) un perfil positivo desde la superficie hasta el 25% I_0 , observándose su disminución conforme disminuye % I_0 hasta que, al 10% y 1% de I_0 se presentaron tasas negativas.

Por su parte, el perfil presentado por la tasa PPB es semejante al perfil Rsp, por cuanto sus valores son positivos hasta el 25% I_0 , disminuyendo también en su intensidad y con valores negativos al 10% y 1% de I_0 .

La tasa resultante para PPN fue positiva al 94% y 49% I_0 producto de una PPB más intensa que Rsp mientras que, el valor positivo observado al 1% I_0 fue el producto de una combinación de valores negativos entre PPB y Rsp. El valor negativo al 25%, se produjo por una Rsp más intensa que PPB mientras que el valor negativo al 10% I_0 es producto de una combinación de valores negativos de PPB y Rsp.

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 12:00 M- 2:20 PM)

La incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3), mantuvo una profundidad del disco de Secchi en 5,4m por lo que, los porcentajes de I_0 establecidos en q2 permanecen a las mismas profundidades en q3. La duración de esta segunda incubación fue de 2,33 horas, iniciando a las 12:00M y finalizando a las 2:20 PM (Cuadro 1.7).

En cuanto al nivel de marea para esta fecha, su altura máxima (255cm) fue a las 11:24 a.m., lo que significa que la toma de muestras así como la incubación se realizó con la marea bajando, a diferencia de lo sucedido en q2 cuando la marea subía (Cuadro 1.7).

Cuadro 1.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalentes durante la segunda incubación (q3), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

Sitio 1	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	ti (min:seg)	tf (min:seg)	Δt (h)
BCB	1.2	18-Oct-00	3	12:00 M	2:20 PM	2.33
Característica						Promedio
% I_0	94	49	25	10	1	
Profundidad (m)	0.2	2.2	4.3	7.3	14.5	
PPN (mgC/m ³)	-49.4	98.6	240.3	-86.2	-73.9	25.9
PPB (mgC/m ³)	30.6	-24.7	431.2	49.2	-12.5	94.8
Rsp (mgC/m ³)	80.1	-123.3	190.8	135.4	61.4	68.9
Temp. (°C)	28.5	28.5	28.5	28.5	28.0	28.4
Salinidad (ups)	36.0	36.0	35.0	36.0	35.0	35.6
M. S. (mg/L)	5.82	6.40	6.65	6.54	8.80	6.84
Cl-a (mg/m ³)	nd	nd	nd	1.59	3.08	0.93
Faeop.(mg/m ³)	nd	nd	nd	0.72	0.63	0.68
Fosfatos(μmol/L)	0.13	0.13	0.14	0.14	0.65	0.24
Silicatos(μmol/L)	0.78	0.59	0.97	0.78	4.10	1.44
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	0.38	0.08
Nitratos(μmol/L)	nd	nd	nd	nd	3.23	0.65
O.D. (mg/L)	7.72	7.4	7.07	7.56	5.08	6.97
% Saturación	134.6					
Marea (cm)	255	30				
hora	11:24AM	5:41PM				
Secchi (m)	5.4					
Fondo (m)	nd					

2.3 Temperatura

En q2 la temperatura presentó un rango de 23.0 a 28.0 °C, para una

En cuanto a otros parámetros físicos y químicos determinados (Cuadro 1.7), entre aquellos que aumentaron su valor conforme avanzó el día se encuentran: la temperatura y la salinidad, que además tienden a disminuir su variación a lo largo de la columna de agua; la concentración de feopigmentos, a pesar de que no fueron detectados al 94%, 49% y 25% I_0 , las concentraciones determinadas al 10% y 1% I_0 produjeron que su promedio fuera mayor al obtenido en q2.

En q3 la temperatura presentó un rango de 22.0 a 28.5 °C, para una variación de 6.5°C, la temperatura mínima se

Entre los que disminuyeron su concentración se encuentran: la materia en suspensión, cuya tendencia a aumentar con la profundidad sí se mantiene; la clorofila-*a*, que al igual con lo sucedido para los feopigmentos, no fue detectada al 94%, 49% y 25% I_0 durante q3, produciendo en su caso un menor promedio.

Los nutrimentos detectados siguen esta tendencia hacia la disminución en su concentración al comparar q2 y q3.

La concentración de oxígeno disuélto alcanzó el máximo valor en la superficie al 94% I_0 con 7,72 mg/L y el porcentaje de saturación aumentó a 134,6.

Los resultados obtenidos de la incubación durante q3 muestran una Rsp del plancton negativa al 49% I_0 y las mayores tasas positivas al 25% y 10% I_0 . La PPB presenta un perfil mayormente positivo (94%, 25%, 10% I_0) pero la intensidad con que esta sucede es menor a la intensidad del proceso respiratorio del plancton, con excepción del resultado al 25% I_0 . En consecuencia, el perfil de PPN es mayormente negativo (94%, 10% y 1% I_0), y el resultado positivo obtenido al 49% I_0 se debe a una mayor magnitud negativa de Rsp que de PPB, por lo tanto, solamente el resultado al 25% I_0 se debe a una PPB más intensa que la correspondiente Rsp (Cuadro 1.7).

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación (Cuadro 1.8)

2.1 Temperatura

En q2 la temperatura presentó un ámbito de 22,0 a 24,0 °C, para una variación de 2,0°C, con el valor mínimo ubicado en el fondo de la zona eufótica y el máximo en la superficie y al 25% I_0 , con un promedio de 23,6.

En el periodo q3 el perfil de temperatura se homogeniza, el ámbito va de 28,0 a 28,5 °C, presentando una variación de apenas 0,5°C, con la mínima siempre ubicada al 1% I_0 mientras que la temperatura máxima cubre el resto del perfil. El promedio fue de 28,5°C.

Al considerar la totalidad del periodo muestreado, el ámbito total fue de 22,0 a 28,5 °C para una variación de 6,5°C, la temperatura mínima se

ubicó durante q2 al 1% I_0 , la máxima abarcó desde el 94% hasta 10% I_0 durante q3. El promedio fue de 26 °C.

2.2 Salinidad

Durante q2 se obtuvo un ámbito para la salinidad de 31,0 a 34,0 ups, para una variación de 3,0 ups en el perfil de muestreo. La salinidad mínima se ubicó en la superficie y la salinidad máximo lo hizo al 49% y 1% I_0 . El promedio fue de 33,4 ups.

Durante q3 el ámbito fue de 35,0 a 36,0 ups, lo que representó una disminución de su variación en 2 ups, y un aumento del promedio a 35,6 ups. La salinidad mínima se ubicó al ubicarse al 25% y 1% I_0 mientras que la salinidad máxima se ubicó en al 94%, 49% y 10% I_0 .

Al considerar q2+q3, el ámbito fue de 31,0 a 36,0 ups, para una variación de 5 ups. La salinidad mínima se ubicó al 94% I_0 durante q2 y la máxima durante q3 al 94%, 49% y 10% I_0 . El promedio total fue de 34,5 ups.

2.3 Materia en suspensión (MS)

La concentración de materia en suspensión durante el muestreo en q2 presentó un ámbito de 6,90 a 12,73 mg/L, para una variación de 5,83mg/L. La concentración mínima se ubicó al 94% I_0 y la máxima al 1% I_0 . En promedio su concentración fue de 8,29 mg/L.

Durante el muestreo en q3 el ámbito de concentración de materia en suspensión fue de 5,82 a 8,80 mg/L, para una variación de 2,98 mg/L. La concentración mínima conservó su ubicación al 94% I_0 así como la máxima lo hizo al 1% I_0 . El promedio fue de 6,84 mg/L.

El ámbito total fue de 5,82 a 12,73 mg/L, la concentración mínima se ubicó durante q3 al 94% I_0 y la máxima durante q2 al 1% I_0 . La variación total fue de 6,91 mg/L, y en promedio la concentración de materia en suspensión fue de 7,56 mg/L.

2.4 Clorofila-a

En q2, la concentración de clorofila-a en el perfil de muestreo osciló entre 1,55 y 4,67 mg/m³, para una variación de 3,12 mg/m³. La ubicación de la concentración mínima se dio al 25% I₀ y la máxima al 1% I₀. La concentración promedio fue de 2,21 mg/m³.

El muestreo realizado durante q3 mostró un ámbito entre 1,59 y 3,08 mg/m³, para una variación de 1,49 mg/m³. El valor mínimo se ubicó al 10% I₀ y el máximo se mantuvo ubicado al 1% I₀. La concentración promedio fue de 0,93 mg/m³.

La suma de ambos periodos de muestreo ubicó, tanto la concentración mínima como la máxima en q2 por lo que, su ámbito, localización en el perfil de profundidad y su variación son semejantes al de este periodo, el promedio total fue de 1,57 mg/m³.

2.5 Faeopigmentos

Durante q2 el ámbito de las concentración de faeopigmentos, en el perfil de muestreo estuvo entre 0,14 y 2,02 mg/m³, para una variación de 1,88 mg/m³. La concentración mínima se ubicó al 94% y 49% I₀ y la máxima al 1% I₀. La concentración promedio fue de 0,62 mg/m³.

Durante q3 el ámbito estuvo entre 0,63 y 0,72 mg/m³, para una variación de 0,09 mg/m³. La concentración mínima se localizó al 1% I₀ y la máxima al 10% I₀. La concentración promedio es de 0,68 mg/m³.

La consideración de q2+q3 proporcionó un ámbito de concentración semejante al determinado durante q2 y un promedio total de 0,65 mg/m³.

2.6 Fosfato disuelto

En q2, la concentración del fosfato osciló entre 0,12 y 0,97 μmol/L, para una variación de 0,85 μmol/L. La concentración mínima se ubicó al 25% y la máxima al 1% I₀. En promedio, su concentración fue de 0,30 μmol/L.

Durante q3 el ámbito de concentración estuvo entre 0,13 y 0,65 μmol/L, para una variación de 0,52 μmol/L. La concentración mínima se ubicó al 94% y 49% I₀ y la concentración máxima mantuvo su ubicación al

1% I_0 . La concentración promedio de fosfato en el perfil de muestreo fue de 0,24 $\mu\text{mol/L}$.

El ámbito de variación al considerar q2+q3, coincide con el registrado durante q2 y en promedio la concentración de fosfato fue de 0,27 $\mu\text{mol/L}$.

2.7 Silicato disuelto

La concentración de silicato osciló entre 0,58 y 4,73 $\mu\text{mol/L}$ durante el muestreo en q2, para una variación de 4,15 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 49% y 25% I_0 , y la máxima al 1% I_0 . La concentración promedio de silicato fue de 1,53 $\mu\text{mol/L}$.

Durante el muestreo realizado en q3 el ámbito de concentración estuvo entre 0,59 y 4,10 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 3,51 $\mu\text{mol/L}$. La ubicación de la concentración mínima se mantuvo solamente al 49% I_0 mientras que la máxima lo hizo al 1% I_0 . La concentración promedio fue de 1,44 $\mu\text{mol/L}$.

Al considerar q2+q3 el ámbito de variación corresponde al determinado durante q2 y el promedio total para la concentración de silicato fue de 1,48 $\mu\text{mol/L}$.

2.8 Nitrito disuelto

Esta forma de nitrógeno fue detectada solamente al 1% I_0 en ambos periodos de incubación, su concentración osciló entre 0,38 y 0,46 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,08 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima sucedió durante q3 y la máxima durante q2. En promedio, la concentración de nitrito fue de 0,08 $\mu\text{mol/L}$.

2.9 Nitrato disuelto

El nitrato al igual que el nitrito fue detectado solamente al 1% I_0 en ambos periodos de incubación, su ámbito de concentración fue de 3,23 a 6,14 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 2,91 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima sucedió durante q3 y la máxima durante q2. La concentración promedio fue de 0,94 $\mu\text{mol/L}$.

2.10 Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto en el muestreo durante q2 tuvo un ámbito de concentración entre 4,01 y 7,91 mg/L, para una variación de 3,90 mg/L. La concentración mínima se ubicó al 1% I_0 y la máxima al 25% I_0 . En promedio hubo 6,81 mg/L de oxígeno disuelto.

Durante q3 el ámbito de concentración estuvo entre 5,08 y 7,72 mg/L, para una variación de 2,64 mg/L. La concentración mínima conservó su ubicación al 1% I_0 mientras que, la concentración se ubicó al 94% I_0 . El promedio fue de 6,97 mg/L.

El ámbito de variación al considerar q2+q3 coincide nuevamente con el registrado durante q2 y el promedio total fue de 6,89 mg/L. La saturación pasó de 109,5% en q2 a 134,6% en q3 para un promedio de 122,1% (Cuadro 1.6 y 1.7).

Cuadro 1.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	22.0	24.0	28.0	28.5	22.0	28.5
Ubicación % I_0	1	94 y 25	1	94 y 10	1	94 y 10
Variación	2.0		0.5		6.5	
Promedio	23.6		28.4		26.0	
2.2 Salinidad (ups)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	31.0	34.0	35.0	36.0	31.0	36.0
Ubicación % I_0	94	49 y 1	25 y 1	94, 49 y 10	94	94, 49 y 10
Variación	3.0		1.0		5.0	
Promedio	33.4		35.6		34.5	
2.3 Materia en suspensión (mg / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	6.90	12.73	5.82	8.80	5.82	12.73
Ubicación % I_0	94	1	94	1	94	1
Variación	5.83		2.98		6.91	
Promedio	8.29		6.84		7.56	

2.4 Clorofila -a (mg / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	1.55	4.67	1.59	3.08	1.55	4.67
Ubicación %lo	25	1	10	1	25	1
Variación	3.12		1.49		3.12	
Promedio	2.21		0.93		1.57	
2.5 Faeopigmentos (mg / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.14	2.02	0.63	0.72	0.14	2.02
Ubicación %lo	94 y 49	1	1	10	94 y 49	1
Variación	1.88		0.09		1.88	
Promedio	0.62		0.68		0.65	
2.6 Fosfato (μmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.12	0.97	0.13	0.65	0.12	0.97
Ubicación %lo	25	1	94 y 49	1	25	1
Variación	0.85		0.52		0.85	
Promedio	0.30		0.24		0.27	
2.7 Silicato (μmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.58	4.73	0.59	4.10	0.58	4.73
Ubicación %lo	49 y 25	1	49	1	49 y 25	1
Variación	4.15		3.51		4.15	
Promedio	1.53		1.44		1.48	
2.10 Oxígeno disuelto (mg / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	4.01	7.91	5.08	7.72	4.01	7.91
Ubicación %lo	1	25	1	94	1	25
Variación	3.90		2.64		3.90	
Promedio	6.81		6.97		6.89	

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación

Durante q2, PPB presentó un ámbito entre -106,8 y 137,0 mgC/m³, para una variación de 243,8 mgC/m³. La concentración mínima se ubicó al 1% I₀ y la máxima al 94%. El promedio alcanzado por PPB en estas 2,38 horas de incubación fue de 0.9 mgC/m³ (Cuadro 1.9).

Los resultados obtenidos en q3 muestran un ámbito que fue de -24,7 a 431,2 mgC/m³ para una variación de la tasa productiva del fitoplancton de 455,9 mgC/m³. La ubicación de la PPB mínima sucede al 49% I₀ y la máxima

al 25% I_0 . En promedio se produjeron $94,8 \text{ mgC/m}^3$ durante las 2,33 horas de incubación.

Si consideramos la totalidad del periodo de incubación, lo cual sumó 4,71 horas de incubación, el ámbito de PPB fue de $-106,8$ a $431,2 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $538,0 \text{ mgC/m}^3$. La intensidad mínima sucedió durante q2 al 1% I_0 y la máxima durante q3 al 25% I_0 y en promedio se produjeron $47,8 \text{ mgC/m}^3$.

3.2 Variación de Rsp en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2 presentó un ámbito de $-176,0$ a $31,0 \text{ mgC/m}^3$ para una variación de $207,0 \text{ mgC/m}^3$, con la intensidad mínimo ubicada al 1% I_0 y la máxima al 94% I_0 . En promedio Rsp durante 2,38 horas de incubación fue de $-22,7 \text{ mgC/m}^3$ (Cuadro 1.9).

Durante q3 el ámbito fue de $-86,2$ a $240,3 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $326,5 \text{ mgC/m}^3$, la tasa mínima se ubicó al 10% I_0 y la máxima al 25% I_0 , situándose en estratos contiguos según el perfil de muestreo predefinido. El promedio durante 2,33 horas de incubación fue de $25,9 \text{ mgC/m}^3$.

El ámbito Rsp durante las 4,71 horas de incubación que suman ambos periodos es similar al producido durante q3. En promedio se consumieron $24,8 \text{ mgC/m}^3$.

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

El ámbito de PPN en q2 fue de $-51,0$ a $106,0 \text{ mgC/m}^3$ para una variación de $157,0 \text{ mgC/m}^3$, con PPN mínima localizada al 10% I_0 y máximo al 94% I_0 . En promedio durante las 2,63 horas de incubación se produjeron $36,2 \text{ mgC/m}^3$ (Cuadro 1.9).

La incubación durante q3 proporcionó un ámbito para PPN de $-86,2$ a $240,3 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $326,5 \text{ mgC/m}^3$. La tasa neta mínima se ubicó al 10% I_0 mientras que, la máxima lo hizo al 25% I_0 . El promedio PPN en 2,33 horas de incubación alcanzó $25,9 \text{ mgC/m}^3$.

Al considerar el periodo del día cubierto por ambos quintos, el ámbito de variación es semejante al obtenido durante la incubación en q3 para PPN promedio de $24,8 \text{ mgC/m}^3$ $4,71 \text{ h}$.

Cuadro 1.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

3.1 PPB (mgC/m^3)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-106.8	137.0	-24.7	431.2	-106.8	431.2
Ubicación % I_0	1	94	50	25	1	25
Variación	243.8		455.9		538.0	
Promedio	0.9		94.8		47.8	
3.2 Rsp (mgC/m^3)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-176.0	31.0	-86.2	240.3	-86.2	240.3
Ubicación % I_0	1	94	10	25	10	25
Variación	207.0		326.5		326.5	
Promedio	-22.7		25.9		24.8	
3.3 PPN (mgC/m^3)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-51.0	106.0	-86.2	240.3	-86.2	240.3
Ubicación % I_0	10	94	10	25	10	25
Variación	157.0		326.5		326.5	
Promedio	23.7		25.9		24.8	

4. Integración de los perfiles de incubación

De acuerdo con los datos obtenidos para la fecha de muestreo en el mes de octubre, tanto PPB como Rsp aumentan su intensidad conforme avanza el día, pasando de un valor negativo en q2 a uno positivo en q3, para una variación cercana a los $15 \text{ gC/m}^2\text{d}$ para ambas tasas (Cuadro 1.10).

El perfil de temperatura y salinidad muestran una correlación media y positiva entre sí ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$).

Cuadro 1.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I_0), en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica, Octubre 2000.

Periodo / Tasa	PPN (gC / m ² d)	PPB (gC / m ² d)	Rsp (gC / m ² d)
q2	0.81	-4.77	-5.58
q3	0.48	9.83	9.35
Variación	-0.33	14.60	14.93
q2 + q3	0.64	2.45	1.80

La manera en que se desarrollaron ambos procesos durante q2, produjo un valor positivo de PPN que se explica por una combinación de magnitudes negativas entre PPB y Rsp mientras que, el valor positivo de PPN en q3 es producto de una PPB más intensa que Rsp.

Para esta fecha de muestreo, la integración de los perfiles de incubación en el sitio BCB proporcionó los siguientes resultados:

- **PPN:** 0,64 gC/m²d (235,5 gC/m²a); con un ámbito de 0,81 a 0,48 gC/m²d, para una disminución 0,3 gC/d entre q2 y q3.
- **PPB:** 2,45 gC/m²d (895,1 gC /m²a); con un ámbito desde -4,77 a 9,83 gC/m²d, para un aumento de 14,60 gC/d entre q2 y q3.
- **Rsp:** 1,80 gC/m²d (659,6 gC/m²a); con un ámbito de -5,58 a 9,35 gC/m²d, para un aumento de 14,93 gC/d entre q2 y q3.

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico para esta segunda fecha de muestreo, detectó una correlación media y positiva entre PPB y PPN; y entre PPB y Rsp (n=10, r=0,7, p<0,05).

La evaluación de la relación entre los parámetros físico-químicos, mostró una correlación alta y positiva entre la profundidad del perfil de muestreo (Z) y la concentración de materia en suspensión, de clorofila-a, de faeopigmentos, fosfato, silicato, nitrito y nitrato (n=10, r=0,9, p<0,05).

El perfil de temperatura y salinidad mostraron una correlación media y positiva entre sí (n=10, r=0,7, p<0,05).

6. Variación de la productividad primaria y respiración entre las épocas de muestreo

En la incubación realizada en el mes de junio, tanto PPB como PPN y Rsp, presentaron una mayor variación entre los periodos de incubación q2 y q3, que la observada en el mes de octubre (Cuadros 1.5 y 1.10).

En cuanto a los resultados producidos por la ponderación de la integración de los perfiles de incubación, se observó una disminución tanto de productividad primaria como de respiración entre ambos meses (Cuadro 1.11).

Además, la disminución en PPB es mayor a la disminución en Rsp lo cual contribuyó a la disminución de PPN observada entre junio y octubre.

Cuadro 1.11. Integración del perfil de incubación con cinco puntos de muestreo en la columna de agua, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Bahía Culebra, Guanacaste. Costa Rica. 2000.

Mes	Jun-00	Oct-00	Jun-Oct-00	Promedio
Tasa / periodo	q2+q3	q2+q3	Variación	
PPN (g C / m ² d)	6.76	0.64	-6.12	3,70
PPB (g C / m ² d)	21.93	2.45	-19.48	12,19
Rsp (g C / m ² d)	15.17	1.80	-13.37	8,49

Para el sitio de muestreo en Nacascolo, Bahía Culebra, el promedio de PPN fue de 3,70 gC/m²d, el de PPB fue de 12,19 gC/m²d, y el de Rsp fue de 8,49 gC/m²d.

7. Variación de los otros parámetros ambientales entre las épocas de muestreo

La comparación de los valores promedio para q2+q3 de los restantes parámetros ambientales indicó que disminuyeron: temperatura, en 4,3 °C; la concentración de oxígeno disuelto, en 0,10 mg/L y la profundidad alcanzada por Secchi en 4,6 m.

Cuadro 1.12. Variación con respecto a la época de muestreo de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica con cinco puntos de muestreo (94%, 49%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Bahía Culebra, Guanacaste. Costa Rica 2000.

Sitio 1 BCB	Fecha		
	28-Jun-00	18-Oct-00	Jun - Oct.00
Característica	Promedio	Promedio	Variación
Temp. (°C)	30,3	26,4	-4,3
Salinidad (ups)	26,5	34,5	8,0
M. S. (mg/L)	7,26	7,56	0,3
Cl-a (mg/m ³)	0,57	1,57	1,00
Feop. (mg/m ³)	0,30	0,65	0,35
Fosfatos (μmol/L)	0,22	0,27	0,05
Silicatos (μmol/L)	nd	1,48	1,48
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	0,08	0,08
Nitratos (μmol/L)	nd	0,94	0,94
O.D. (mg/L)	6,99	6,89	-0,10
% Saturación	110,7	122,1	11,4
Marea (cm)	229	255	26
hora	07:41AM	11:24AM	3:43
Marea (cm)	64	30	-34
hora	1:45PM	5:41PM	3:56
Secchi (m)	10,0	5,4	-4,6
Fondo (m)	19,5	nd	19,5
T. incubado (h)	5,30	4,71	-0,59

Entre los parámetros que aumentaron están: salinidad, en 8.0 UPS; la concentración de MS, en 0,30 mg/L; concentración de clorofila-*a*, en 1 mg/m³ y los feopigmentos, en 0,35 mg/m³. En cuanto a los nutrimentos, el fosfato aumentó en 0,05 μmol/L; el silicato que no fue detectado en junio, y en octubre presentó una concentración promedio de 1,48 μmol/L. Con respecto al nitrógeno, solamente fue detectado como nitrito y nitrato en octubre.

La concentración promedio de oxígeno disuelto aumentó en 0,94 mg/L y el porcentaje de saturación en 11,4 mg/L.

El nivel de marea y el tiempo total de incubación, no se expresan como promedios. La marea alta aumentó en 26cm su nivel máximo y la marea baja

en 34cm. El tiempo de incubación total disminuyó en 0,59 horas, lo que corresponde a 35 minutos (Cuadro 1.12).

8. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado tomando en cuenta los datos para ambas fechas de muestreo, detectó una correlación media y positiva entre PPB y Rsp; y entre PPB y PPN ($n=20$, $r=0,7$, $p<0,05$).

En cuanto a la relación entre los parámetros físico-químicos, se obtuvo una correlación alta y positiva entre la profundidad del perfil de muestreo (Z) y la concentración de materia en suspensión, así como con la concentración de fosfato ($n=20$, $r=0,9$, $p<0,05$); una correlación media y positiva entre Z y la concentración de nitrito y nitrato ($n=20$, $r=0,7$, $p<0,05$), y una correlación media y positiva entre Z y la concentración de clorofila-a, faeopigmentos y silicato ($n=20$, $r=0,6$, $p<0,05$).

Los perfiles de temperatura y salinidad mostraron una correlación media y positiva ($n=20$, $r=0,7$, $p<0,05$). La temperatura mostró una correlación media y negativa con la concentración de clorofila-a ($n=20$, $r=-0,6$, $p<0,05$) y la concentración de silicato ($n=20$, $r=-0,5$, $p<0,05$). Entre el perfil de salinidad y la concentración de silicato, se detectó una correlación media y positiva ($n=20$, $r=0,5$, $p<0,05$).

Se obtuvo una correlación media y positiva entre la profundidad de Secchi y la temperatura ($n=20$, $r=0,6$, $p<0,05$); una correlación media y negativa entre la profundidad de Secchi y la concentración de silicato ($n=20$, $r=-0,6$, $p<0,05$); y una correlación alta y negativa entre la profundidad de Secchi y la salinidad ($n=20$, $r=-0,9$, $p<0,05$).

Discusión

1. Productividad

El valor promedio de productividad primaria neta (PPN) obtenido en Nacascolo, Bahía Culebra, fue de $3,70 \text{ gC/m}^2\text{d}$ (Cuadro 1.11), el cual triplica el valor de $1,20 \text{ gC/m}^2\text{d}$ obtenido en Punta Morales por Córdoba (1993), y

que ubicó al Golfo de Nicoya dentro de los estuarios más productivos a nivel mundial.

Encontramos tres diferencias fundamentales con el trabajo realizado por Córdoba; la primera radica en la utilización de un perfil con cinco puntos de incubación abarcando la zona eufótica hasta el 1% I_0 , con lo cual se obtuvo una integración más precisa, con respecto a los dos puntos de incubación al 50% y 10% I_0 utilizados por Córdoba.

La segunda se encontró en la frecuencia de muestreo, ya que se realizó uno al mes, por dos meses, con respecto a los 15 meses cubiertos por Córdoba; y la tercera diferencia se encuentra en que su estudio utilizó una incubación por cinco horas continuas, abarcando el segundo y tercer quinto del día.

Una mayor frecuencia de muestreo podría significar abarcar valores extremos de baja productividad afectando el valor promedio; sin embargo Córdoba refiere como límite inferior un valor de 0,69 gC/m^2d (setiembre, 1970), el cual es semejante al dato más bajo en Nacascolo (0,64 gC/m^2d ; octubre 2000).

La comparación de las fechas de muestreo, no encontró correlación entre el perfil de productividad primaria y la profundidad de la columna de agua, pero sí entre el perfil de PPB con el de PPN y Rsp ($r=0,7$, $p<0,05$).

En junio, los perfiles de PPB, Rsp y PPN mostraron las tasas máximas al 97% I_0 , mientras que, la ubicación de la tasa mínima no coincidió (Cuadro 1.4, q2+q3 ubicación).

Esta falta de coincidencia en la ubicación de las tasas mínimas podría deberse a que la comparación se hace entre valores positivos en q2 y valores negativos en q3 (Cuadro 1.4 ámbito q2, q3), lo cual también se tradujo en la disminución de los promedios de cada perfil (Cuadro 1.4, q2, q3 promedio); así como en su valor de integración, que mostró una disminución entre q2 y q3 de PPN en 5,2 gC/m^2d , de PPB en 55,4 gC/m^2d para y de Rsp en 50,2 gC/m^2d (Cuadro1.5).

Aunque en junio, se detectó entre los quintos del día q2 y q3, una correlación alta y positiva del perfil de PPN con el de cantidad de luz incidente

($r=0,8$, $p<0,05$); en este resultado intervienen los datos negativos de PPB y Rsp en la parte superior del perfil durante q3, los que provocaron la obtención de valores máximos de PPN (Cuadro 1.2). Por lo tanto el resultado entre PPN y $\%I_0$ tiene un significado diferente (Ver sección valores negativos).

En octubre, las tres tasas ubicaron su valor máximo al 25% I_0 y el valor mínimo entre el 10% y 1% I_0 (Cuadro 1.9, q2+q3 ubicación). En esta fecha, el valor de la tasa mínima fue negativo y el de la tasa máxima fue positivo en ambos quintos tanto para PPB como para PPN y Rsp; y los promedios de los tres perfiles aumentaron entre q2 y q3 (Cuadro 1.9, q2, q3 promedio).

En cuanto a la variación de la integración de los perfiles, ésta mostró una disminución entre q2 y q3 para PPN en $0,3 \text{ gC/m}^2\text{d}$ mientras que, para PPB aumentó en $2,4 \text{ gC/m}^2\text{d}$ y para Rsp en $1,8 \text{ gC/m}^2\text{d}$ (Cuadro 1.10).

De acuerdo con la variación entre las fechas de muestreo el valor final, ponderación de los perfiles de incubación para cada periodo, mostró una disminución entre junio y octubre de PPN en $6,2 \text{ gC/m}^2\text{d}$, de PPB en $19,5 \text{ gC/m}^2\text{d}$ y de Rsp en $13,4 \text{ gC/m}^2\text{d}$ (Cuadro 1.11).

Para realizar la integración del perfil, se calculó la tasa promedio por volumen de agua entre estratos contiguos, que es el volumen comprendido por una columna de agua de un metro cuadrado de superficie y la altura estaría dada por la profundidad en metros entre los estratos.

Por lo tanto, a la hora de realizar la comparación entre integraciones se debe tomar en cuenta tanto la distribución de los valores así como la profundidad de cada estrato del perfil.

En este caso, el perfil del mes de junio fue menos profundo y obtuvo un mayor valor de integración para las tres tasas que el perfil más profundo de octubre, a lo cual se suma que en junio, también los promedios de estos tres perfiles fueron mayores a los obtenidos en octubre (Cuadros 1.4 y 1.9, q2+q3 promedio), con lo cual se descarta que la distribución de productividad así como las profundidades entre estratos afectaran este resultado.

Encontramos en el sitio de muestreo Nacascolo, Bahía Culebra que la productividad primaria es diferente a lo largo de la columna de agua, pero no esta relacionada con la profundidad; así como también es diferente la productividad entre las fechas de muestreo, siendo mayor en junio que en octubre; y entre los periodos del día q2 y q3 de tal modo que, en junio fue mayor durante q2 y en octubre fue mayor durante q3.

2. Parámetros físico-químicos

La comparación de la fechas de muestreo no encontró correlación entre los parámetros físico-químicos y la productividad primaria en la columna de agua.

La comparación entre los parámetros mostró que, los perfiles de MS, clorofila-*a*, faeopigmentos, fosfatos, silicato, nitrito y nitrato se correlacionaron entre sí, positivamente con una intensidad entre media y alta en la mayoría de los casos; también mostraron una correlación baja y negativa con la cantidad de luz incidente ($\%I_0$) ($r=-0,5$, $p<0,05$); y una correlación media y positiva con la profundidad expresada en metros ($r=0,6$, $p<0,05$).

La correlación negativa con el $\%I_0$, concuerda con los resultados de variación del perfil, aunque de una manera más clara en octubre que en junio, cuando la concentración mayor de todos estos parámetros se ubicó al 1% I_0 (Cuadro 1.3 y 1.8, q2+q3 ubicación); con excepción del nitrito y nitrato que solamente fueron detectados al 1% I_0 en octubre (Cuadro 1.6 y 1.7).

Por otra parte, se encontró una correlación media y negativa entre la profundidad de Secchi y la concentración de silicato ($r=-0,6$, $p<0,05$); una correlación alta y negativa con la salinidad ($r=-0,9$, $p<0,05$); y una correlación media y positiva con la temperatura ($r=0,6$, $p<0,05$).

La profundidad de Secchi en el muestreo de junio, alcanzó una profundidad de 10,0m para ambos periodos de incubación; y de 5,4m en octubre (Cuadro 1.12).

La concentración de silicato en junio estuvo por debajo del límite de detección del método analítico mientras que, en octubre se logró detectar en todo el perfil de muestreo durante ambos quintos, con la concentración máxima ubicada al 1% I_0 (Cuadro 1.8).

En cuanto al perfil de salinidad, su promedio fue de 26,5 ups en junio, y de 34,5 ups en octubre mientras que, el perfil de temperatura fue mayor en junio por 4,3°C (Cuadro 1.12).

Por lo tanto, en Nacascolo, la concentración de MS, clorofila-a, faeopigmentos, fosfato, silicato, nitrito y nitrato fueron mayores a una mayor profundidad mientras que, la salinidad y la concentración de silicato fueron menores cuando la temperatura y la profundidad de Secchi fueron mayores, indicando que el primer grupo de parámetros no varió significativamente entre la fecha de muestreo, mientras que el segundo grupo sí.

Al igual que la productividad, el muestreo realizado en dos periodos consecutivos permitió evaluar la variación entre estos.

En el mes de junio, solamente se encontró correlación del perfil de salinidad con el de MS ($r=0,7$, $p<0,05$).

En cuanto a la comparación de un mismo parámetro, se observó que todos disminuyeron en q3 tanto en su ámbito de variación como en el promedio del perfil, con excepción de la salinidad que aumentó la variación en 1,5 ups y de la temperatura que mantuvo el promedio en 30°C y la variación en 3°C (Cuadro 1.3).

La comparación de las incubaciones realizadas en el mes de octubre, por el contrario, detectó que todos los perfiles de nutrientes se correlacionaron entre sí de manera alta y positiva ($r >0,7$, $p<0,05$); y a su vez el perfil de profundidad en la columna de agua, se correlacionó de manera alta y positiva con los perfiles de nutrientes, MS, clorofila-a y faeopigmentos ($r >0,8$ $p<0,05$).

En cuanto a los perfiles de temperatura y salinidad, estos se correlacionaron entre sí de manera media y positiva ($r=0,7$, $p<0,05$).

La comparación de un mismo parámetro, mostró que todos disminuyeron su ámbito de variación durante q3 mientras que el promedio

del perfil aumentó para la temperatura, la salinidad, y los faeopigmentos y disminuyó para todos los demás.

Encontramos en el sitio de muestreo Nacascolo, Bahía Culebra que la variación en los perfiles de los parámetros físico-químicos no se correlacionó con la variación en los perfiles de productividad primaria y respiración; pero sí con la profundidad de la columna de agua, la cual fue diferente entre las fechas de muestreo, así como que la variación de un mismo perfil disminuyó durante q3 en ambas fechas de muestreo.

Capítulo 2: Costa Pacífica, Golfo de Nicoya, Punta Morales

Resultados

I. Sitio: Punta Morales (PMA) Muestreo: 2.1 (Abril 2000)

1. Perfil de incubación y muestreo en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 8:47 AM-10:00 AM)

La primera visita al sitio de muestreo en Punta Morales, identificado en este estudio como PMA (Fig. 1), se realizó el 12 de abril del 2000. La profundidad alcanzada por el disco de Secchi fue de 1,1 m y el nivel de la marea al momento de tomar las muestras para productividad se encontraba en su nivel máximo. La etapa de incubación se realizó mientras la marea bajaba, ya que inició a las 8:47 AM y finalizó a las 10:00 AM, para una duración de 1,22 horas. Por su parte, el muestreo y determinación de otros parámetros físicos y químicos se realizó mientras la marea bajaba (Cuadro 2.1).

La columna de agua alcanzó una profundidad total de 6,0m, y la zona eufótica según la profundidad de Secchi, abarcó hasta los primeros 3,0m de la columna de agua, en donde se ubicó el 1% I_0 y las otras cuatro

incubaciones se realizaron según los correspondientes porcentajes que se habían preestablecido.

Con respecto a los resultados para los parámetros físicos y químicos determinados, la temperatura presentó valores bastante homogéneos, variando a nivel de décimas solamente. La menor temperatura se ubicó al 1% I_0 y la mayor al 51% I_0 .

La salinidad presentó un valor homogéneo de 30 UPS en los cinco puntos del perfil de incubación.

La distribución de materia en suspensión (MS), presentó las concentraciones más bajas en los puntos intermedios del perfil, con un mínimo ubicado al 25% I_0 y un máximo a nivel superficial (Cuadro 2.1). La distribución de clorofila-*a* presentó mayores concentraciones en la parte alta de la zona eufótica, con la máxima ubicada en la superficie y la mínima al 10% I_0 mientras que; los feopigmentos, por el contrario, presentaron concentraciones mayores en la parte baja, con la mínima en la superficie y la máxima al 25 y 10 % I_0 .

En cuanto a la concentración de los nutrimentos, el fosfato presentó concentraciones menores en la parte alta de la zona eufótica, ubicando el valor mínimo al 51% I_0 y el máximo al 1% I_0 . Por su parte, el silicato no logra ser detectado en ningún punto del perfil de muestreo mientras que, el nitrógeno logra ser detectado solamente como nitrito y nitrato, siendo este último el nutrimento con mayor concentración de todos, con un promedio de 1,31 $\mu\text{mol/L}$ en la zona eufótica. En cuanto a su distribución de concentración, el nitrito presentó su valor mínimo al 1% I_0 y el máximo al 25% I_0 mientras que, el nitrato tuvo su mínimo al 51% I_0 y el máximo a nivel superficial con 73% I_0 .

La concentración de oxígeno disuelto fue máxima al 51% I_0 y mínima al 10% I_0 , con un porcentaje de saturación de 117,2.

Producto de esta incubación en q2, se obtuvo para la actividad respiratoria del plancton (Rsp), tres valores positivos y dos negativos, estos últimos ubicados al 25% y 10% I_0 . La productividad primaria del fitoplancton

(PPB) en el perfil de incubación presentó cuatro valores positivos y uno negativo que se ubicó al 51% I_0 (Cuadro 2.1).

Esta combinación de resultados entre Rsp y PPB produjo un perfil de PPN con valores positivos y negativos. Los valores negativos ubicados al 73% y 51% I_0 corresponden a una PPB más baja que su correspondiente Rsp. Los valores positivos de PPN al 25% y 10% I_0 son producto de la suma de valores negativos de Rsp a valores positivos de PPB mientras que, el valor positivo de PPN al 1% I_0 provino de una PPB positiva que superó a una actividad de Rsp también positiva.

Cuadro 2.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalentes durante la primera incubación (q2: 8:47AM-10:00AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (73%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica. Abril 2000.

Sitio 2	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	ti (min:seg)	tf (min:seg)	Δt (h)
PMA	2.1	12-Abr-00	2	8:47AM	10:00AM	1.22
Característica						Promedio
% I_0	73	51	25	10	1	
Profundidad (m)	0.2	0.4	0.9	1.5	3.0	
PPN (mgC/m ³)	-61.4	-245.0	34.6	104.1	110.2	-11.5
PPB (mgC/m ³)	103.9	-92.0	30.7	79.5	196.0	63.6
Rsp (mgC/m ³)	165.3	153.0	-3.9	-24.5	85.7	75.1
Temp. (°C)	27.7	27.8	27.7	27.7	27.3	27.6
Salinidad (ups)	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
M. S. (mg/L)	16.06	13.25	12.90	12.97	14.33	13.90
Cl-a (mg/m ³)	5.79	5.28	5.13	4.35	4.89	5.09
Faeop. (mg/m ³)	0.63	0.64	0.71	0.71	0.66	0.67
Fosfatos (μmol/L)	0.58	0.48	0.79	0.78	0.82	0.69
Silicatos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.06	nd	0.08	0.06	0.02	0.04
Nitratos (μmol/L)	1.70	1.52	1.63	1.63	1.68	1.31
O.D. (mg/L)	7.06	7.46	6.86	6.73	6.77	6.98
% Saturación	117.2					
Marea (cm)	235	37				
hora	8:57AM	3:00PM				
Secchi (m)	1.1					
Fondo (m)	6.0					

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 11:20 AM- 2:14 PM)

La incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3) presentó un aumento de 0,90m en la profundidad de Secchi, ubicándose ahora a 2,0m de la superficie, con lo cual la zona eufótica se amplió hasta los primeros 5,4m de la columna de agua, en donde se ubicó el 1% I_0 . La duración de este segundo periodo fue de 2,90 horas, iniciando a las 11:20 AM y finalizando a las 2:14 PM por lo que, tanto la toma de muestras como su incubación se realizó mientras la marea bajaba (Cuadro 2.2).

Durante el retiro del sistema de incubación, la roseta ubicada al 1% I_0 se desprendió del resto y se extravió en el fondo sin poderla recuperar, por lo tanto, no se cuenta con los datos para este punto del perfil de incubación.

El perfil de muestreo en q3, mostró para temperatura un aumento de 1°C en promedio con respecto a los resultados en q2 mientras que, mantiene el nivel de homogeneidad observado en su distribución, variando solamente a nivel de décimas de grado. La salinidad disminuyó 2 UPS en su promedio y presentó, al igual que en q2, un único valor a lo largo del perfil en la zona eufótica.

En cuanto a materia en suspensión, su concentración mínima se ubicó al 25% I_0 y la máxima al 10% I_0 , al igual que sucedió con la distribución de clorofila-*a*. La distribución de feopigmentos ubicó la concentración mínima al 51% I_0 y la máxima al 10% y 84% I_0 .

La concentración de fosfatos fue menor en la parte alta de la zona eufótica, ubicándose la concentración mínima al 84% y 51% I_0 y la máxima al 10% I_0 . El silicato continuó sin ser detectado, al igual que el amonio, a los que se suma ahora el nitrito. Por su parte, el nitrato no es detectado en la superficie y ubicó la concentración mínima al 25% I_0 y la máxima al 10% I_0 (Cuadro 2.2).

La concentración de oxígeno disuelto fue mínima al 10% I_0 y máxima al 51% I_0 . El porcentaje de saturación en q3 aumentó a 125,6.

Producto de esta segunda incubación se obtuvo para la actividad respiratoria del plancton (Rsp), tres valores negativos ubicados en el perfil al

84%, 51% y 25% I_0 y solamente uno positivo ubicado al 10% I_0 (Cuadro 2.2).

En cuanto a los resultados para PPB, se observó un fuerte incremento al pasar de 63,6 mgC/m^3 a 248,0 mgC/m^3 en promedio entre q2 y q3. En consecuencia, PPN presentó valores positivos elevados, que en la superficie fue producto de la suma de valores negativos entre PPB y Rsp mientras que, al 25% I_0 es derivado de la suma del valor negativo de Rsp al valor positivo de PPB.

Cuadro 2.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 11:20AM-2:14PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (84%, 51%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000.

Sitio 2	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	ti (min:seg)	tf (min:seg)	Δt (h)
PMA	2.1	12-Abr-00	3	11:20AM	2:14PM	2.90
Característica						Promedio
% I_0	84	51	25	10	1	
Profundidad (m)	0.2	0.8	1.6	2.7	5.4	
PPN (mgC/m^3)	-349.1	422.7	588.3	438.8	nst	286.4
PPB (mgC/m^3)	-435.1	422.7	465.7	538.8	nst	248.0
Rsp (mgC/m^3)	-86.0	-0.1	-122.6	55.0	nst	-38.4
Temp. (°C)	28.6	29.0	28.6	28.2	nst	28.6
Salinidad (psu)	28.0	28.0	28.0	28.0	nst	28.0
M. S. (mg/L)	12.64	12.94	10.58	17.47	nst	13.41
Cl-a (mg/m^3)	5.59	5.66	3.93	7.06	nst	5.56
Faeop. (mg/m^3)	0.85	0.03	0.70	0.86	nst	0.61
Fosfatos ($\mu\text{mol/L}$)	0.46	0.45	0.50	0.60	nst	0.50
Silicatos ($\mu\text{mol/L}$)	nd	nd	nd	nd	nst	nd
Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	nd	nd	nd	nd	nst	nd
Nitritos ($\mu\text{mol/L}$)	nd	nd	nd	nd	nst	nd
Nitratos ($\mu\text{mol/L}$)	nd	1.31	1.22	1.35	nst	0.97
O.D. (mg/L)	7.51	7.59	7.16	6.95	nst	7.30
% Saturación	125.6					
Marea (cm)	235	37				
hora	8:57AM	3:00PM				
Secchi (m)	2.0					
Fondo (m)	nst					

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación (Cuadro 2.3)

2.1 Temperatura

En el periodo q2, la temperatura presentó un ámbito de 27,3 a 27,8 °C, para una variación de 0,5°C. En cuanto a su distribución, la temperatura mínima se ubicó al 1% I_0 y la máxima al 51% I_0 , con un valor promedio de 27,6°C.

En el periodo q3, el ámbito fue de 28,2 a 29,0°C, para una variación de 0,8°C, con el valor mínimo ubicado al 10% I_0 y el máximo al 51% I_0 . El promedio fue de 28,6°C.

Considerando la totalidad del periodo muestreado como q2+q3, el ámbito de temperatura fue de 27,3 a 29,0 °C, para una variación de 1,7°C. La temperatura mínima se ubicó durante q2 al 1% I_0 y la máxima al 51% I_0 durante q3. El promedio fue de 28,1°C.

2.2 Salinidad

Durante q2, se obtuvo un valor constante de 30,0 ups a lo largo del perfil en la zona eufótica.

En el muestreo realizado durante q3, el valor de la salinidad mantuvo su distribución homogénea a lo largo del perfil de muestreo, pero disminuyó a 28 ups. Al considerar ambos periodos de muestreo, la salinidad alcanzó en promedio 29,0 ups.

2.3 Materia en suspensión (MS)

Su ámbito durante q2 fue de 9,78 a 15,54 mg/L, para una variación de 3,16 mg/L, con la concentración mínima ubicada en el 25% I_0 y la máxima en 73% I_0 . En promedio hubo 13,90 mg/L de materia en suspensión en el perfil de muestreo.

Durante q3, el ámbito fue de 10,58 a 17,47 mg/L, para una variación de 6,89 mg/L, con la concentración mínima igualmente ubicada al 25% I_0 y la máxima descendiendo al 10% I_0 . El promedio fue de 13,41 mg/L.

Con la suma de ambos periodos de muestreo, el ámbito de concentración registrado durante q3 fue el más amplio y el promedio total alcanzado fue de 13,66 mg/L.

2.4 Clorofila-a

El ámbito de concentración en q2 osciló entre 4,35 y 5,79 mg/m³, para una variación de 1,44 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 10% I₀ y la máxima al 73% I₀. En promedio la concentración de clorofila- a fue de 5,09 mg/m³.

En el periodo q3 el ámbito de variación estuvo entre 3,93 y 7,06 mg/m³, para una variación de 3,13 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 25% I₀ y la máxima al 10% I₀. El promedio fue de 5,56 mg/m³.

Con la consideración de la totalidad del periodo de muestreo q2+q3, el ámbito de variación para clorofila-a en el perfil de muestreo, coincidió con el observado durante el periodo q3 mientras que, el promedio total fue de 5,32 mg/m³.

2.5 Faeopigmentos

En el muestreo realizado durante q2, el ámbito fue de 0,63 a 0,71 mg/m³, para una variación de 0,08 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 73% I₀ y la máxima al 25% y 10 % I₀. El promedio alcanzado por feopigmentos fue de 0,67 mg/m³.

Durante el muestreo en q3, el ámbito de variación estuvo entre 0,03 y 0,86 mg/m³, para una variación de 0,83 mg/m³ mientras que, con la concentración mínima ubicada al 51% I₀ y la máxima al 10 % I₀. El promedio fue de 0,61 mg/m³.

La suma de los periodos de muestreo q2+q3 ubicó la mayor variación durante el periodo q3 (al igual que ha sucedido para materia en suspensión y clorofila-a. El promedio alcanzado por los feopigmentos fue de 0,64 mg/m³.

Cuadro 2.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, faeopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el período de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo en la columna de agua (q2: 73%, 51%, 25%, 10 y 1% I₀, q3: 84%, 51%, 25% y 10% I₀). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	27.3	27.8	28.2	29.0	27.3	29.0
Ubicación %lo	1	51	10	51	1	51
Variación	0.5		0.8		1.7	
Promedio	27.6		28.6		28.1	
2.2 Salinidad (ups)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	30.0		28.0		28.0	30.0
Ubicación %lo	73 - 1		84 - 10		84 - 10	73 - 1
Variación	0.0		0.0		2.0	
Promedio	30.0		28.0		29.0	
2.3 Materia en suspensión (mg / L)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	12.90	16.06	10.58	17.47	10.58	17.47
Ubicación %lo	25	73	25	10	25	10
Variación	3.16		6.89		6.89	
Promedio	13.90		13.41		13.66	
2.4 Clorofila- a (mg / m3)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	4.35	5.79	3.93	7.06	3.93	7.06
Ubicación %lo	10	73	25	10	25	10
Variación	1.44		3.13		3.13	
Promedio	5.09		5.56		5.32	
2.5 Faeopigmentos (mg / m3)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.63	0.71	0.03	0.86	0.03	0.86
Ubicación %lo	73	25 y 10	50	10	50	10
Variación	0.08		0.83		0.83	
Promedio	0.67		0.61		0.64	
2.6 Fosfato (µmol / L)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.48	0.82	0.45	0.60	0.45	0.82
Ubicación %lo	51	1	51	10	51	1
Variación	0.34		0.15		0.37	
Promedio	0.69		0.50		0.59	
2.8 Nitrito (µmol / L)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.02	0.08	nd		0.02	0.08
Ubicación %lo	1	25	nd		1	25

Variación	0.06		nd		0.06	
Promedio	0.04		nd		0.04	
2.9 Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	1.52	1.70	1.22	1.35	1.22	1.70
Ubicación %I ₀	51	73	25	10	25	73
Variación	0.18		0.13		0.48	
Promedio	1.31		0.97		1.14	
2.10 Oxígeno disuelto (mg/L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	6.73	7.46	6.95	7.59	6.73	7.59
Ubicación %I ₀	10	51	10	50	10	51
Variación	0.73		0.64		0.86	
Promedio	6.98		7.30		7.14	

2.6 Fosfato

La concentración del ion ortofosfato durante q2, tuvo un ámbito entre 0,48 y 0,82 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,34 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 51% I₀ y la máxima al 1% I₀. El promedio fue de 0,67 $\mu\text{mol/L}$.

Durante q3, el ámbito fue de 0,45 a 0,60 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,15 $\mu\text{mol/L}$. La ubicación de la concentración mínima se dio al 51% I₀ y la máxima al 10% I₀. El promedio fue de 0,50 $\mu\text{mol/L}$.

La consideración de ambos periodos de muestreo proporcionó un ámbito de concentración entre 0,45 y 0,82 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,37 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó durante q3 al 51% I₀ y la máxima durante q2 al 1% I₀. El promedio total fue de 0,59 $\mu\text{mol/L}$.

2.8 Nitrito

Durante q2 el ámbito de concentración para nitrito estuvo entre 0,02 a 0,08 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,06 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 1% y la máxima al 25% I₀ mientras que, al 51% I₀ no fue posible detectarlo. El promedio fue de 0,04 $\mu\text{mol/L}$.

Durante el periodo q3, el nitrito no fue detectado en ninguno de los puntos del perfil de muestreo en la columna de agua (Ver apéndice Límite de

detección), por lo tanto el ámbito de variación total solamente cuenta con los datos registrados durante q2.

2.9 Nitrato

El ámbito de concentración de nitrato fue de 1,52 a 1,70 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,18 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se localizó al 51% I_0 y la máxima al 73% I_0 . En promedio hubo 1,31 $\mu\text{mol/L}$ en el perfil de muestreo.

Durante q3, la concentración de nitrato tuvo un ámbito entre 1,22 y 1,35 $\mu\text{mol/L}$, para un variación de 0,13 $\mu\text{mol/L}$. La ubicación de la concentración mínima se dio al 25% I_0 y la máxima al 10% I_0 . El promedio alcanzado fue de 0,97 $\mu\text{mol/L}$.

La consideración de ambos periodos de muestreo proporcionó un ámbito entre 1,22 y 1,70 $\mu\text{mol/L}$ para una variación de 0,48 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima ocurrió durante q3 al 25% I_0 y la concentración máxima durante q2 al 73% I_0 . El promedio total fue de 1,14 $\mu\text{mol/L}$.

2.10 Oxígeno disuelto

La determinación de la concentración de oxígeno disuelto durante q2, tuvo un ámbito que osciló entre 6,73 y 7,46 mg/L, para una variación de 0,73 mg/L. La concentración mínima se ubicó al 10% I_0 y la máxima al 51% I_0 . El promedio fue de 7,30 mg/L.

En q3, el ámbito fue de 6,95 a 7,59 mg/L, para una variación de 0,64 mg/L. La concentración mínima se ubicó al 10% I_0 y la máxima al 51% I_0 . La concentración promedio alcanzó 7,30 mg/L.

La consideración de la totalidad de ambos periodos de muestreo proporcionó un ámbito entre 6,73 y 7,59 mg/L, para una variación de 0,86 mg/L. La concentración mínima ocurrió durante q2 al 10% I_0 y la máxima durante q3 al 51% I_0 . El promedio alcanzado fue de 7,14 mg/L.

El porcentaje de saturación aumentó de 117,2 a 125,6 mg/L, para un promedio de 121,4%.

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación

La productividad primaria bruta en q2 presentó un ámbito de -92,0 a 196,0 mgC/m³, con una de variación de 288,0 mgC/m³, con el valor mínimo ubicado al 51% I₀ y el máximo al 1% I₀, para producirse 63,6 mgC/m³ en promedio (Cuadro 2.4).

Los resultados obtenidos durante q3, exhibieron un ámbito de -435,1 a 538,8 mgC/m³, con una variación de 973,9 mgC/m³, la tasa mínima se ubicó al 84% I₀ y la máxima al 10% I₀.

Al considerar el periodo total de incubación q2+q3, con una duración total de 4,12 horas, el ámbito de variación total coincide con el registrado durante q3 y el promedio total es de 155,8 mgC/m³.

3.2 Variación de la Respiración (Rsp) en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2, presentó un ámbito de -24,5 a 165,3 mgC/m³, lo que significó una variación de 189,8 mgC/m³ en el perfil de incubación. La tasa mínima se ubicó al 10% I₀ y la máxima al 73% I₀, y en promedio se consumen 75,1 mgC / m³ (Cuadro 2.4).

Durante la incubación en q3, el ámbito fue de -122,6 a 55,0 mgC/m³, con una variación de 177,6 mg C / m³. La ubicación de la tasa mínima sucedió al 25% I₀, y la tasa máxima al 10% I₀. El promedio de Rsp pasa a ser negativo, con -38,4 mg C / m³.

Al considerar la suma q2+q3 para un tota de 4,12 horas, el ámbito total fue de -122,6 a 165,3 mgC/m³, para una variación de 287,9 mg C / m³, con la tasa mínima registrada durante q3 al 25% I₀, y la máxima durante q2 al 73% I₀. En promedio fue de 18,4 mg C / m³.

Cuadro 2.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2: 73%, 51%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 84%, 51%, 25% y 10% I_0) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000.

3.1 PPB (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-92	196	-435.1	538.8	-435.1	538.8
Ubicación % I_0	51	1	84	10	84	10
Variación	288		973.9		973.9	
Promedio	63.6		248.0		155.8	
3.2 Rsp (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-24.5	165.3	-122.6	55.0	-122.6	165.3
Ubicación % I_0	10	73	25	10	25	73
Variación	189.8		177.6		287.9	
Promedio	75.1		-38.4		18.4	
3.3 PPN (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-245.0	110.2	-349.1	588.3	-349.1	588.3
Ubicación % I_0	51	1	84	25	84	25
Variación	355.2		937.4		239.2	
Promedio	-11.5		286.4		137.4	

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

Producto de los resultados de la incubación realizada durante q2 para PPB y Rsp, la PPN presentó un ámbito de -245,0 a 110,2 mgC/m³, para una variación de 355,2 mgC/m³. La tasa mínima se ubicó al 51% I_0 , la máxima al 1% I_0 , y se obtuvo un promedio de -11,5 mgC/m³ (Cuadro 2.4).

Durante q3, el ámbito de PPN fue de -349,1 a 588,3 mgC/m³, para una variación de 937,4 mgC/m³. La tasa mínima se ubicó al 84% I_0 , la tasa máxima al 25% I_0 , y el promedio fue de 286,4 mgC/m³.

Al considerar el periodo del día cubierto por ambos quintos, la variación total coincide con la registrada durante q3 y en promedio se produjeron 137,4 mgC/m³.

4 Integración de los perfiles de incubación

De acuerdo con los datos obtenidos, en esta primera fecha de muestreo, de la integración del perfil de incubación, ocurrió un descenso en la actividad respiratoria del plancton (Rsp) entre el periodo q2 y q3, correspondiente a una variación de 3,0 gC/m²d, la cual está acompañada por un aumento en la actividad fotosintética del fitoplancton (PPB) que alcanza 3,1 gC/m²d (Cuadro 2.5).

En consecuencia, la variación alcanzada por PPN, con 6,1 gC/m²d, es producto del aumento en la PPB a la que se añade la disminución en Rsp, que incluso llega a ser negativa.

Cuadro 2.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (q2: 73%, 51%, 25%, 10% y 1 % I₀, q3: 84%, 51%, 25% y 10% I₀) en la columna de agua. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril 2000.

Periodo / Taza	PPN (gC / m ² d)	PPB (gC / m ² d)	Rsp (gC / m ² d)
q2	2.30	4.45	2.15
q3	8.40	7.47	-0.93
Variación	6.10	3.02	-3.08
q2 + q3	6.60	6.58	-0.02

En el sitio Islas Cortezas, Estero de Morales, el valor total producto de la ponderación de la integración de ambos perfiles de incubación, mostró una tasa acelerada de productividad primaria y una actividad respiratoria cercana a cero, igualando PPB con PPN:

- **PPN:** 6,60 gC/m²d (2411,6 gC/m²a); con un ámbito de 2,30 a 8,40 gC/m²d, que representa un aumento de 6,10 g C/ m²d entre q2 y q3.
- **PPB:** 6,58 gC/m²d (2403,8 gC/m²a); con un ámbito de 4,45 a 7,47 gC/m²d, que representa un aumento de 3,02 gC/m²d entre q2 y q3.
- **Rsp:** -0,02 gC/m²d (-7,7 gC/m²a); con un ámbito de 2,1 a -0,9 gC/m²d, que representa una disminución de 3,0 gC/m²d entre q2 y q3.

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado entre todos los parámetros ambientales para esta primera fecha de muestreo, expuso una correlación alta y positiva entre PPB y PPN ($n=9$, $r=0,96$, $p<0,05$); y una correlación media y positiva entre Rsp y la concentración de materia en suspensión ($n=9$, $r=0,7$, $p<0,05$).

En cuanto a los parámetros físico-químicos, se detectó una correlación alta y positiva entre la concentración de materia en suspensión y de clorofila-*a* ($n=9$, $r=0,8$, $p<0,05$).

La concentración de nitrito disuelto, mostró una correlación media y positiva con la salinidad y la concentración de fosfato ($n=9$, $r=0,7$, $p<0,05$), y una correlación media y negativa con la profundidad de Secchi ($n=9$, $r=-0,7$, $p<0,05$). La profundidad de Secchi, además, mostró una correlación alta y positiva con la temperatura ($n=9$, $r=-0,9$, $p<0,05$).

II. Muestreo: 2.2 (Setiembre 2000)

1. Perfil de incubación en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 8:30 AM-11:50 AM)

La segunda visita al sitio PMA en Punta Morales se realizó el 01 de setiembre del 2000. Para esta fecha la incubación q2, inició a las 8:30 AM y finalizó a las 10:50 AM, para una duración de 2,33 horas. La profundidad del disco de Secchi alcanzó 0,75 m y la profundidad total de la columna de agua es de 6,0 m. La altura de la marea fue máxima a las 10:46 AM y mínima a las 16:59 PM por lo tanto, la toma de muestras así como prácticamente toda la incubación se realizó mientras la marea subía (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6. Caracterización física y química de las condiciones prevaletientes durante la primera incubación (q2), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (63%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000.

Sitio 2	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	t _i (min:seg)	t _f (min:seg)	Δt (h)
PMA	2.2	01-Set-00	2	08:30AM	10:50AM	2.33
Característica						Promedio
%I ₀	63	50	25	10	1	
Profundidad (m)	0	0.3	0.6	1.1	2.2	
PPN (mgC/m ³)	nst	140.4	133.7	92.0	59.7	106.4
PPB (mgC/m ³)	nst	26.7	6.7	-6.7	99.2	31.5
Rsp (mgC/m ³)	nst	-113.8	-127.0	-98.6	39.5	-75.0
Temp. (°C)	28.0	28.5	29.0	28.0	28.0	28.3
Salinidad (psu)	27.0	28.0	28.0	28.0	32.0	28.6
M. S. (mg/L)	46.47	51.55	42.94	44.71	65.52	50.24
Cl-a (mg/m ³)	4.45	6.01	4.55	4.51	5.58	5.02
Faeop. (mg/m ³)	1.26	1.94	1.03	2.10	2.65	1.80
Fosfatos (μmol/L)	1.36	1.59	1.48	1.76	2.05	1.65
Silicatos (μmol/L)	27.15	25.61	27.15	27.11	25.08	26.42
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.70	0.57	0.53	0.59	0.18	0.51
Nitratos (μmol/L)	4.59	4.13	4.33	3.86	3.99	4.18
O.D. (mg/L)	4.30	4.08	4.10	4.06	4.00	4.11
% Saturación	70.6					
Marea (cm)	299	-18				
hora	10:46AM	4:59PM				
Secchi (m)	0.75					
Fondo (m)	6.0					

Debido a la profundidad alcanzada por Secchi durante q2, el primer nivel de incubación, fijada a 0,20m de la superficie, se traslapó con el segundo punto del perfil al 50% I₀, ubicado a 0,30m, por lo que se eliminó el primer nivel de incubación para realizar el segundo, y se mantuvo el mismo perfil de incubación durante q3 con el objetivo de no introducir otra fuente de variación en los resultados mientras que, muestreo de los otros parámetros sí abarcó el nivel superficial.

Con respecto a los resultados obtenidos para el muestreo de los otros parámetros, el perfil de temperatura, mostró un capa de agua más cálida en

la zona media del perfil comprendida entre el 50% y 25% I_0 . La salinidad por su parte, presentó un aumento conforme lo hizo la profundidad, desde 27,0 ups en la superficie hasta 32,0 ups al 1% I_0 .

La materia en suspensión (MS), presentó la concentración mínima al 25% I_0 y la máxima al 1% I_0 . La distribución de la concentración de clorofila-*a* presentó su valor mínimo a nivel superficial y su máximo al 50% I_0 mientras que, los feopigmentos tienen su valor mínimo al 25% I_0 y coinciden con la distribución de MS, en la ubicación de la concentración máxima en el fondo de la zona eufótica.

En cuanto a los nutrimentos, la distribución de la concentración de fosfato en el perfil de muestreo registró el valor mínimo en la superficie y el máximo al 1% I_0 . El silicato por su parte, con una mayor concentración relativa, en todos los puntos del perfil de muestreo, ubicó la mínima al 1% I_0 y la máxima repitió en la superficie y al 25% I_0 .

El nitrógeno en la forma de amonio, continúa sin poder ser detectado en la zona eufótica mientras que, el nitrito y el nitrato están presentes en todo el perfil. En cuanto al nitrito la concentración mínima se ubicó al 1% I_0 y la máxima en la superficie al 63% I_0 ; el nitrato por su parte, en mayor concentración que el nitrito y el fosfato, presentó una zona de menor concentración hacia el fondo del perfil al 10% I_0 (mínima) y 1% I_0 , y de mayor concentración entre la superficie (máxima) y el 25% I_0 .

La concentración de oxígeno disuelto tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad, ubicando su valor máximo en la superficie y su mínimo al 1% I_0 . El porcentaje de saturación fue de 70,6.

Producto de esta primera incubación en q2, se obtuvo para la actividad respiratoria del plancton (Rsp), un perfil negativo desde el 50% I_0 , en donde se ubicó el valor mínimo, hasta el 10% I_0 ; el único valor positivo se presentó al 1% de I_0 con 39,5 mgC/m³.

Por su parte, el perfil de PPB es positivo, excepto por el valor ubicado al 10% I_0 . Al igual que lo sucedido con Rsp, la velocidad de la tasa PPB tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad hasta que, se presentó al 1% I_0 la tasa máxima con 99,2 mgC/m³.

En cuanto al perfil de PPN, esta fue positiva en todos sus puntos, pero sus valores son producto de condiciones diferentes debido a que, en los primeros tres niveles la Rsp fue negativa y por lo tanto, sus valores se sumaron a los de PPB, además, PPB al 10% I_0 fue también negativa pero de menor magnitud que Rsp. La tasa PPN ubicada al 1% es la única que se produjo por una PPB que superó en intensidad a Rsp.

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 11:45 AM- 2:05 PM)

La incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3), presentó un aumento de 0,35m en la profundidad de Secchi al ubicarse a 1,10m, con lo cual la zona eufórica se amplió a los primeros 2,8m de la columna de agua, en donde se ubicó el 1% I_0 . Este segundo periodo de incubación tuvo una duración de 2,33 horas, iniciando a las 11:45 a.m. y finalizando a las 2:05 p.m. (Cuadro 2.7).

En cuanto al cambio en el nivel de marea, el muestreo e incubación de las muestras en q3, se realizó cuando ésta bajaba, contrario a lo sucedido en q2.

La distribución de temperatura durante q3, mostró un único valor de 29°C en todo el perfil de muestreo, aumentando con esto su valor promedio. La salinidad tendió a disminuir conforme lo hacía la profundidad y disminuyó 4,1 ups en su promedio.

La concentración de materia en suspensión (MS) presentó una disminución de más del doble en su valor promedio y las mayores concentraciones se mantuvieron hacia el fondo del perfil de muestreo. La concentración promedio de clorofila-*a*, aumentó durante q3 y las concentraciones mínima y máxima se ubicaron a mayor profundidad. En cuanto a los feopigmentos, además de que su concentración promedio disminuyó, la concentración mínima ascendió del 25% I_0 hasta la superficie con el 72% I_0 mientras que, la máxima se mantuvo al 1% I_0 .

El valor promedio de la concentración de fosfato disminuyó en q3 y su distribución en el perfil de muestreo mantuvo la ubicación de la concentración mínima en la superficie y la máxima al 1% I_0 . El silicato

aumentó su concentración promedio y la ubicación de la concentración mínima ascendió del 1% I_0 al 52% I_0 y la máxima se mantuvo al 27% I_0 .

En cuanto al nitrógeno, se observó el aumento en la concentración promedio del nitrito y la disminución del nitrato, a pesar de lo cual continúa este último, con mayores concentraciones. La distribución del nitrito en el perfil de muestreo mantuvo la ubicación del valor mínimo al 1% I_0 y el máximo a nivel superficial. Para el nitrato sucedió un ascenso en la ubicación de la concentración mínima, del 10% al 27% I_0 , y el descenso de la concentración máxima desde la superficie hasta el 1% I_0 .

La concentración promedio de oxígeno disuelto aumentó de 4,11 a 4,84 mg/L y la ubicación del valor mínimo ascendió del 1% I_0 al 27% I_0 mientras que, el valor máximo se mantuvo a nivel superficial. El porcentaje de saturación aumentó de 70,6 a 87,8.

En cuanto a los resultados de la incubación en este segundo periodo, se obtuvo un perfil para Rsp totalmente negativo y para PPB un perfil totalmente positivo con magnitudes siempre mayores a las correspondientes de Rsp. En consecuencia, el perfil positivo para PPN es producto de la suma de valores negativos de Rsp, a los valores positivos de PPB (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo en la columna de agua (72%, 52%, 27%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000.

Sitio 2	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	t _i (min:seg)	t _f (min:seg)	Δt (h)
PMA	2.2	01-Set-00	3	11:45	14:05	2.33
Característica						Promedio
% I_0	72	52	27	10	1	
Profundidad (m)	0.0	0.4	0.8	1.4	2.8	
PPN (mgC/m ³)	nst	311.0	297.8	184.5	120.3	228.4
PPB (mgC/m ³)	nst	244.8	191.8	138.8	80	163.8
Rsp (mgC/m ³)	nst	-66.2	-106.0	-45.7	-40.3	-64.5
Temp. (°C)	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
Salinidad (ups)	25.0	24.0	24.0	25.5	24.0	24.5
M. S. (mg/L)	17.75	19.34	18.83	19.52	19.24	18.94
Cl-a (mg/m ³)	7.03	4.54	6.51	9.02	6.73	6.77
Faeop. (mg/m ³)	0.90	1.29	1.52	1.13	1.58	1.28

Fosfatos($\mu\text{mol/L}$)	0.97	1.03	1.02	1.04	1.13	1.04
Silicatos($\mu\text{mol/L}$)	32.95	32.16	35.18	34.34	34.34	33.79
Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos ($\mu\text{mol/L}$)	0.88	0.82	0.84	0.80	0.78	0.82
Nitratos ($\mu\text{mol/L}$)	3.03	3.00	2.66	3.15	3.64	3.10
O.D. (mg/L)	5.30	4.74	4.71	4.72	4.74	4.84
% Saturación	87.8					
Marea (cm)	299	-18				
hora	10:46AM	4:59PM				
Secchi (m)	1.10					
Fondo (m)	4.0					

Al comparar ambos quintos, persistió la obtención de valores negativos de Rsp en todo el perfil de incubación, pero con una disminución en el valor absoluto entre ambos promedios (Cuadro 2.7).

Por su parte, PPB positiva en todo el perfil, registró un aumento de 132 mgC/m^3 en su promedio, lo que tuvo como consecuencia un incremento en 122 mgC/m^3 en el promedio de PPN.

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación (Cuadro 2.8)

2.1 Temperatura

En el periodo q2 presentó un ámbito de variación de $28,0$ a $29,0$ °C, para una variación de $1,0$ °C. La temperatura mínima se ubicó en tres puntos del perfil: 63%, 10% y 1% I_0 y la máximo al 25% I_0 .

Durante q3, a lo largo de todo el perfil de muestreo, se midió una temperatura de $29,0$ °C. La suma de ambos periodos de muestreo proporcionó un promedio de $28,7$ ° C y un ámbito de variación dado por el perfil registrado durante q2.

2.2 Salinidad

Durante q2 se obtuvo un ámbito de $27,0$ a $32,0$ ups, para una variación de $5,0$ ups en el perfil de muestreo. El valor mínimo de salinidad se

ubicó al 63% I_0 y al 1% I_0 el máximo. El valor promedio fue de 28,6 ups en la zona eufórica de la columna de agua.

Durante q3 el ámbito de salinidad fue de 24,0 a 25,5 ups, para una variación de 1,5 ups en el perfil de muestreo. El valor mínimo se ubicó al 52%, 27% y 1% I_0 y el máximo al 10% I_0 . El valor promedio fue de 24,5 ups en la zona eufórica.

Al considerar la suma q2+q3, el ámbito de salinidad fue de 24,0 a 32,0 ups, para una variación de 8 ups. La salinidad mínima se ubicó durante q3 al 52%, 27% y 1% I_0 y la máxima durante q2 al 1% I_0 . En promedio la salinidad fue de 26,6 ups.

2.3 Materia en suspensión

En el periodo q2 se obtuvo un ámbito de 42,94 a 65,52 mg/L, para una variación de 22,58 mg/L en el perfil de muestreo. La concentración mínima de MS se ubicó al 25% I_0 y la máxima al 1% I_0 . La concentración promedio fue de 50,24 mg/L en la zona eufórica.

Durante q3 el ámbito fue de 17,75 a 19,52 mg/L, para una variación de 1,77 mg/L. La concentración mínima de MS se ubicó en la superficie al 72% I_0 y la máxima al 10% I_0 . La concentración promedio fue de 18,94 mg/L.

Para el periodo total de muestreo q2+q3 el ámbito fue de 17,75 a 65,52 mg/L para una variación de 47,77 mg/L de MS. La concentración mínima se ubicó al 72% I_0 durante q3 y la máxima al 1% I_0 durante q2. En promedio, la concentración de materia en suspensión en la zona eufórica fue de 34,59 mg/L.

2.4 Clorofila-a

La concentración de clorofila en q2 tubo un ámbito entre 4,45 y 6,01 mg/m^3 , para una variación de 1,56 mg/m^3 . La concentración mínima se ubicó al 63% I_0 y la máxima al 50% I_0 . El valor promedio fue de 5,02 mg/m^3 .

Durante q3, el ámbito de concentración osciló entre 4,54 y 9,02 mg/m^3 , para una variación de 4,48 mg/m^3 . La concentración mínima se ubicó

al 52% I_0 y la máxima al 10% I_0 . El valor promedio alcanzado fue de 6,77 mg/m^3 .

La suma de ambos periodos de muestreo proporcionó un ámbito total entre 4,45 y 9,02 mg/m^3 , para una variación de 4,57 mg/m^3 en el perfil de muestreo. La concentración mínima sucedió durante q2 al 63% I_0 y la máxima durante q3 al 10% I_0 . En promedio la concentración de clorofila-a fue de 5,89 mg/m^3 .

2.5 Faeopigmentos

El muestreo realizado durante q2 proporcionó un ámbito en la concentración de feopigmentos que osciló entre 1,03 y 2,64 mg/m^3 , para una variación de 1,62 mg/m^3 . La concentración mínima se ubicó al 25% I_0 y la máxima al 1% I_0 . El promedio fue de 1,80 mg/m^3 .

Durante q3 se obtuvo un ámbito entre 0,90 y 1,58 mg/m^3 , para una variación de 0,68 mg/m^3 en el perfil de muestreo. La concentración mínima se ubico al 72% I_0 y la máxima al 1% I_0 . La concentración promedio de feopigmentos en la zona eufórica fue de 1,28 mg/m^3 .

El ámbito de concentración para la suma q2+q3 fue de 0,90 a 2,65 mg/m^3 , para una variación de 1,08 mg/m^3 . La concentración mínima sucedió durante q3 al 72% I_0 y la máxima durante q2 al 1% I_0 . En promedio, la concentración de feopigmentos fue de 1,54 mg/m^3 .

2.6 Fosfato

Durante el periodo q2, el ámbito de concentración del fosfato osciló entre 1,36 y 2,05 $\mu\text{mol}/\text{L}$, para una variación de 0,69 $\mu\text{mol}/\text{L}$ en el perfil de muestreo en la zona eufórica de la columna de agua. La concentración mínima se ubicó al 63% I_0 y la máxima al 1% I_0 . El promedio fue de 1,65 $\mu\text{mol}/\text{L}$.

Con el segundo muestreo consecutivo realizado en q3, el ámbito estuvo entre 0,97 y 1,13 $\mu\text{mol}/\text{L}$, para una variación de 0,16 $\mu\text{mol}/\text{L}$. La concentración mínima se ubicó al 72% I_0 y la máxima al 1%. El promedio fue de 1,04 $\mu\text{mol}/\text{L}$.

Al considerar el periodo total como $q2+q3$, el ámbito de concentración en el perfil de muestreo fue de 0,97 a 2,05 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 1,08 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 72% I_0 y la máxima al 1% I_0 . El valor promedio de concentración fue de 1,34 $\mu\text{mol/L}$.

2.7 Silicato

El muestreo realizado en el periodo $q2$ proporcionó un ámbito de concentración entre [25,08 y 27,15] $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 2,07 $\mu\text{mol/L}$ en el perfil de muestro. La concentración mínima se ubicó al 1% I_0 y la máxima al 63% y 25% I_0 . El valor promedio fue de 26,42 $\mu\text{mol/L}$.

Durante el periodo $q3$, el ámbito de concentración osciló entre [32,16 y 35,18] $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 3,02 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 52% I_0 y la máxima al 27% I_0 . La concentración promedio fue de 33,79 $\mu\text{mol/L}$.

Al considerar la suma $q2+q3$, el ámbito total de concentración estuvo entre [25,08 y 35,18] $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 10,10 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se registró al 1% I_0 durante $q2$ y la máxima al 27% I_0 durante $q3$. En promedio la concentración fue de 30,10 $\mu\text{mol/L}$.

2.8 Nitrito

El ámbito de concentración para nitrito durante el periodo $q2$ osciló entre 0,18 y 0,70 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,52 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 1% I_0 y la máxima al 63% I_0 . La concentración promedio fue de 0,51 $\mu\text{mol/L}$.

Durante el periodo $q3$ el ámbito estuvo entre 0,78 y 0,88 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,10 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 1% I_0 y la máxima al 72% I_0 . La concentración promedio fue de 0,82 $\mu\text{mol/L}$.

Con la suma $q2+q3$ el ámbito total de concentración fue de 0,18 a 0,88 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,70 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 1% I_0 durante $q2$ y la máxima al 72% I_0 durante $q3$. La concentración promedio fue de 0,66 $\mu\text{mol/L}$.

2.9 Nitrato

Durante q2, la concentración de nitrato en el perfil de muestreo osciló entre 3,86 y 4,59 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,73 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 9% I_0 y la máxima al 63 % I_0 .

Durante q3, el ámbito de concentración estuvo entre 2,66 y 3,64 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,98 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se ubicó al 27% I_0 y la máxima al 1% I_0 . El promedio fue de 3,10 $\mu\text{mol/L}$.

Para el total del tiempo de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración fue de 2,66 a 4,59 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 1,93 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima sucedió al 27% I_0 durante q3 y la máxima al 63% I_0 durante q2. El promedio total fue de 3,64 $\mu\text{mol/L}$.

2.10 Oxígeno disuelto

Durante q2 el oxígeno disuelto presentó un ámbito de concentración de 4,00 a 4,30 mg/L, para una variación de 0,39 mg/L. La concentración mínima se ubicó al 1% I_0 y la máxima al 63% I_0 . La concentración promedio fue de 4,11 mg/L.

El ámbito de concentración durante q3 fue de 4,71 a 5,30 mg/L, para una variación de 0,59 mg/L. La concentración mínima se ubicó al 27% I_0 y la máxima al 72% I_0 . La concentración promedio fue de 4,84 mg/L.

Al considerar q2+q3 el ámbito de variación fue de 4,00 a 5,30 mg/L, para una variación de 1,30 mg/L. La concentración mínima sucedió al 1% I_0 durante q2 y la máxima al 72% I_0 durante q3. La concentración promedio fue de 4,48 mg/L.

El porcentaje de saturación pasó de 70,6 en q2 a 87,8 en q3, para un promedio de 79,2%.

Variable	q2	q3	q2+q3
Concentración (mg/L)	4,00 - 4,30	4,71 - 5,30	4,00 - 5,30
Variación (mg/L)	0,39	0,59	1,30
Promedio (mg/L)	4,11	4,84	4,48
Porcentaje de saturación (%)	70,6	87,8	79,2

Cuadro 2.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, faeopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil de cinco puntos de muestreo en la columna de agua (q2: 63%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀, q3: 72%, 52%, 27%, 10% y 1% I₀). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	28.0	29.0	29.0		28.0	29.0
Ubicación %lo	63, 10, 1	25	72 - 1		63, 10, 1	25, 72 - 1
Variación	1.0		0.0		1.0	
Promedio	28.5		29.0		28.7	
2.2 Salinidad (ups)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	27.0	32.0	24.0	25.5	24.0	32.0
Ubicación %lo	63	1	52, 27, 1	10	52, 27, 1	1
Variación	5.0		1.5		8.0	
Promedio	28.6		24.5		26.6	
2.3 Materia en suspensión (mg / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	42.94	65.52	17.75	19.52	17.75	65.52
Ubicación %lo	25	1	72	10	72	1
Variación	22.58		1.77		47.77	
Promedio	50.24		18.94		34.59	
2.4 Clorofila- a (mg / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	4.45	6.01	4.54	9.02	4.45	9.02
Ubicación %lo	63	50	52	10	63	10
Variación	1.56		4.48		4.57	
Promedio	5.02		6.77		5.89	
2.5 Faeopigmentos (mg / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	1.03	2.65	0.90	1.58	0.90	2.65
Ubicación %lo	25	1	72	1	72	1
Variación	1.62		0.68		1.75	
Promedio	1.80		1.28		1.54	
2.6 Fosfato (µmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	1.36	2.05	0.97	1.13	0.97	2.05
Ubicación %lo	63	1	72	1	72	1
Variación	0.69		0.16		1.08	
Promedio X ⁻	1.65		1.04		1.34	
2.7 Silicato (µmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	25.08	27.15	32.16	35.18	25.08	35.18
Ubicación %lo	1	63 y 25	52	27	1	27

Variación	2.07		3.02		10.10	
Promedio	26.42		33.79		30.10	
2.8 Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.18	0.70	0.78	0.88	0.18	0.88
Ubicación %I ₀	1	63	1	72	1	72
Variación	0.52		0.10		0.70	
Promedio	0.51		0.82		0.66	
2.9 Nitrate ($\mu\text{mol/L}$)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	3.86	4.59	2.66	3.64	2.66	4.59
Ubicación %I ₀	9	63	27	1	27	63
Variación	0.73		0.98		1.93	
Promedio	4.18		3.10		3.84	
2.10 Oxígeno disuelto (mg/L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	4.00	4.30	4.71	5.30	4.00	5.30
Ubicación %I ₀	1	63	27	72	1	72
Variación	0.30		0.59		1.30	
Promedio	4.11		4.84		4.48	

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación

La incubación realizada durante q2 con una duración de 2,33 horas, presentó un ámbito de PPB entre $-6,7$ y $99,2 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $105,9 \text{ mgC/m}^3$. La tasa mínima se ubicó al 10% I₀ y la máxima al 1% I₀. La productividad promedio fue de $31,5 \text{ mgC/m}^3$ (Cuadro 2.9).

La incubación realizada en q3 se extendió por 2,33 horas, y proporcionó un ámbito de PPB entre $80,0$ y $244,8 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $164,8 \text{ mgC/m}^3$. La tasa mínima se ubicó al 1% I₀ y la máxima al 52% I₀. La productividad promedio fue de $163,8 \text{ mgC/m}^3$.

Si consideramos la totalidad del periodo de incubación que suma 4,66 horas, la PPB osciló entre de $-6,7$ a $244,8 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $251,5 \text{ mgC/m}^3$. La PPB mínima sucedió durante q2 al 10% I₀ y la máxima al 52% I₀ durante q3. En promedio la PPB fue de $97,6 \text{ mgC/m}^3$.

3.2 Variación de la Respiración (Rsp) en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2, presentó un ámbito de $-127,0$ a $39,5$ mgC/m^3 , para una variación de $166,5$ mgC/m^3 en el perfil de incubación en la zona eufórica de la columna de agua. La tasa mínima se ubicó al 25% I_0 y la máxima al 1%. En promedio, Rsp fue de $53,8$ mgC/m^3 (Cuadro 2.9).

Durante q3, todos los valores de Rsp obtenidos en el perfil de incubación fueron negativos, el ámbito fue de $-106,0$ a $-40,3$ mgC/m^3 , para una variación de $65,7$ mgC/m^3 . La ubicación de la tasa mínima se mantuvo al 27% I_0 así como la máxima al 1% I_0 . El promedio fue de $-64,6$ mgC/m^3 .

Para el periodo total con 4,66 horas de incubación, el ámbito de variación correspondió al sucedido durante q2 y el promedio total fue de $-69,8$ mgC/m^3 .

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

El ámbito de PPN, producto de la incubación realizada en q2, fue de $92,0$ a $140,4$ mgC/m^3 , para una variación de $48,4$ mgC/m^3 . La tasa mínima se localizó al 10% I_0 y la máxima al 50% I_0 . En promedio, PPN fue de $106,4$ mg C/ m^3 en 2,33 horas de incubación (Cuadro 2.9).

La incubación durante q3 produjo un ámbito que osciló entre $120,3$ y $311,0$ mgC/m^3 , para una variación de $190,7$ mgC/m^3 . La tasa mínima se localizó al 1% I_0 y la máxima al 52% I_0 . El promedio fue de $228,4$ mgC/m^3 en 2,33 horas de incubación.

Al considerar el periodo del día cubierto por ambos quintos, el ámbito total estuvo entre $92,0$ y $311,0$ mgC/m^3 , para una variación de $219,0$ mgC/m^3 . La tasa mínima sucedió durante q2 al 10% I_0 y la máxima al 52% I_0 durante q3. El promedio fue de $167,4$ mgC/m^3 en 4,66 horas de incubación.

Cuadro 2.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cuatro puntos de muestreo en la columna de agua (q2: 50%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 52%, 27%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000.

3.1 PPB (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-6.7	99.2	80.0	244.8	-6.7	244.8
Ubicación % ₀	10	1	1	52	10	52
Variación	105.9		164.8		251.5	
Promedio	31.5		163.8		97.6	
3.2 Rsp (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-127.0	39.5	-106.0	-40.3	-127.0	39.5
Ubicación % ₀	25	1	27	1	25	1
Variación	166.5		65.7		166.5	
Promedio	-75.0		-64.6		-69.8	
3.3 PPN (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	92.0	140.4	120.3	311.0	92.0	311.0
Ubicación % ₀	10	50	1	52	10	52
Variación	48.4		190.7		219	
Promedio	106.4		228.4		167.4	

4 Integración de los perfiles de incubación

Durante esta segunda fecha de muestreo, la integración del perfil de incubación produjo valores de PPN y PPB positivos para ambos periodos de muestreo, así como un incremento de ambas tasas entre q2 y q3 (Cuadro 2.10).

Por el contrario, la integración del perfil para Rsp produjo valores negativos en ambas incubaciones, con un incremento negativo entre q2 y q3. En consecuencia, se obtuvieron valores de PPN mayores a los de PPB.

La integración de ambos perfiles de incubación q2+q3, en el sitio PMA proporcionó los siguientes resultados:

- **PPN:** 3,4 gC/m²d (1239,4 gC/m²a); con un ámbito de 1,80 a 4,98 gC/m²d, para un aumento de 3,2 gC/m²d entre q2 y q3
- **PPB:** 2,0 gC/m²d (748,4 gC/m²a); con un ámbito desde 0,57 a 3,53 gC/m²d, para un aumento de 2,9 gC/m²d entre q2 y q3.

- **Rsp:** $-1,4 \text{ gC/m}^2\text{d}$ ($-491,0 \text{ gC/m}^2\text{a}$); con un ámbito desde $-1,24$ a $-1,45 \text{ gC/m}^2\text{d}$, para una disminución de $0,2 \text{ gC/m}^2\text{d}$ entre q_2 y q_3 .

Cuadro 2.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cuatro puntos de muestreo en la columna de agua (q_2 : 50%, 25%, 10% y 1% I_0 ; q_3 : 52%, 27%, 10% y 1% I_0). Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Setiembre 2000.

Periodo / Tasa	PPN ($\text{gC/m}^2 \text{ d}$)	PPB ($\text{gC/m}^2 \text{ d}$)	Rsp ($\text{gC/m}^2 \text{ d}$)
q_2	1.80	0.57	-1.24
q_3	4.98	3.53	-1.45
Variación	3.18	2.96	-0.21
$q_2 + q_3$	3.39	2.05	-1.34

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado entre todos los parámetros ambientales para esta segunda fecha de muestreo, expuso una correlación entre la profundidad de Secchi y nueve de los otros 14 parámetros considerados.

La profundidad de Secchi mostró una correlación alta y positiva con PPN ($n=8$, $r=0,8$, $p<0,05$); con la concentración de nitrito disuelto ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$); y con la concentración de silicato ($n=10$, $r=0,9$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con PPB ($n=8$, $r=0,7$, $p<0,05$) y con la temperatura ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una correlación alta y negativa con la salinidad, la concentración de materia en suspensión, la concentración de fosfato y de nitrato ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$).

La tasa de Rsp mostró una correlación media y positiva con la profundidad del perfil de incubación (z) ($n=8$, $r=0,7$, $p<0,05$).

También se obtuvo una correlación media y positiva entre la concentración de materia en suspensión y la concentración de faeopigmentos ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una correlación alta y positiva entre la concentración de faeopigmentos y la concentración de fosfato ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$).

6. Variación de la productividad primaria y respiración entre las épocas de incubación

La variación entre los periodos de muestreo q2 y q3 es menor en abril que en setiembre, tanto para productividad como respiración (Cuadros 2.5 y 2.10).

En abril, se produjeron valores similares de PPB y PPN resultado de una tasa respiratoria del plancton igual a cero (Cuadro 2.11).

La incubación realizada en setiembre, presentó la particularidad de que la integración de ambos perfiles para Rsp produjo un valor negativo que al sumarse a PPB, originó un valor de PPN superior a PPB (Cuadro 2.10)

Al comparar entre abril y mayo, la ponderación de la integración de los perfiles de incubación, se observó una disminución de PPN, PPB y Rsp (Cuadro 2.11).

Cuadro 2.11. Integración del perfil de incubación en la columna de agua, con cuatro puntos de muestreo en abril y cinco puntos de muestreo en setiembre, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril y setiembre 2000.

Mes	Abr-00	Set-00	Abr-Set-00	Promedio
Tasa / Periodo	q2+q3	q2+q3	Variación	
PPN (gC/ m ² d)	6.60	3.39	-3.21	4.99
PPB (gC/ m ² d)	6.58	2.05	-4.53	4.31
Rsp (gC/ m ² d)	-0.02	-1.34	-1.32	-0.68

Para el sitio de muestreo Islas Cortezas en el Estero de Morales, el promedio de PPN fue de 5,0 gC/m²d, el cual se vio afectado por el valor negativo de Rsp, el cual sumó en lugar de restarle a PPN, la cual obtuvo un promedio de 4,3 gC/m²d.

7. Variación de otros parámetros ambientales entre las épocas de muestreo

La comparación de los valores promedio de otros parámetros ambientales para q2+q3 en cada fecha de muestreo indicó que, entre los que disminuyeron su magnitud se encuentran: salinidad, en 2,4 ups; la

concentración de oxígeno disuelto en 2,66 mg/L, el porcentaje de saturación en 42,2 %, y la profundidad del disco de Secchi en 0,65m (Cuadro 2.12).

Entre los parámetros que aumentaron están: temperatura, en 0,5°C; concentración MS en 20,93 mg/L; en 0,57 mg/m³ la concentración de clorofila-*a*, y la de feopigmentos en 0,9 mg/m³.

Cuadro 2.12. Variación con respecto a la época de muestreo, de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica, con cuatro puntos de muestreo en abril y cinco puntos de muestreo en setiembre. Punta Morales, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Abril y setiembre 2000.

Sitio 2 PMA	Fecha		
	12-Abr-00	01-Set-00	Abr-Set-00
Característica	Promedio	Promedio	Variación
Temp. (°C)	28.1	28.6	0.5
Salinidad (ups)	29.0	26.6	-2.4
M. S. (mg/L)	13.66	34.59	20.93
Cl-a (mg/m ³)	5.32	5.89	0.57
Faeop. (mg/m ³)	0.64	1.54	0.9
Fosfatos (μmol/L)	0.59	1.34	0.75
Silicatos (μmol/L)	nd	30.10	30.10
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.02	0.66	0.64
Nitratos (μmol/L)	1.14	3.64	2.5
O.D. (mg/L)	7.14	4.48	-2.66
% Saturación	121.4	79.2	-42.2
Marea (cm)	235	299	64
hora	08:57AM	10:46AM	
Marea (cm)	37	-18	-55
hora	3:00PM	4:59PM	
Secchi (m)	1.55	0.90	-0.65
Fondo (m)	nst	5.0	nq
T. incubado (h)	4.12	4.66	0.54

En cuanto a los nutrientes, el fosfato aumentó en 0,75 μmol/L y el silicato en 30,10 μmol/L. El nitrógeno como nitrito aumentó en 0,64 μmol/L y el nitrato en 2,5 μmol/L mientras que, como amonio no fue posible detectarlo en ninguna de las fechas de muestreo.

La altura de la marea alta es mayor por 64 cm, y con respecto a la profundidad de la columna de agua, como no fue determinada en la primera fecha de muestreo, se considera no cuantificable (nq), su variación con respecto a la segunda fecha donde si fue determinada. El tiempo de incubación total reporta un aumento de 0,54 horas.

El nivel de marea y el tiempo total de incubación, no se expresan como promedios. La marea alta aumentó en 64cm su nivel máximo y la marea baja disminuyó en 55cm. El tiempo de incubación total aumentó en 0,54 horas, lo que corresponde a 32 minutos (Cuadro 2.12).

8. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado tomando en cuenta ambas fechas de muestreo, puso en evidencia una correlación alta y positiva entre PPN y PPB ($n=17$, $r=0,9$, $p<0,05$); una correlación baja y negativa entre la tasa Rsp y la concentración de nitrito y silicato ($n=17$, $r=-0,5$, $p<0,05$); y una correlación baja y positiva con la salinidad ($n=17$, $r=0,5$, $p<0,05$).

La salinidad mostró una correlación alta y negativa con la concentración de nitrito ($n=18$, $r=-0,8$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la temperatura y la concentración de silicato ($n=18$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La temperatura mostró una correlación media y positiva con la concentración de nitrito y silicato ($n=18$, $r=-0,6$, $p<0,05$).

La concentración de materia en suspensión mostró una correlación alta y positiva con la concentración de fosfato ($n=18$, $r=0,9$, $p<0,05$), la concentración de faeopigmentos y nitrato ($n=18$, $r=0,8$, $p<0,05$); una correlación baja y positiva con la concentración de silicato ($n=18$, $r=0,5$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la profundidad de Secchi ($n=18$, $r=-0,6$, $p<0,05$).

La profundidad de Secchi también mostró una correlación media y negativa con la concentración de faeopigmentos, de silicato ($n=18$, $r=-0,6$, $p<0,05$), y la concentración de fosfato ($n=18$, $r=-0,7$, $p<0,05$); una

correlación alta y negativa con la concentración de nitrato ($n=18$, $r=-0,8$, $p<0,05$); y una correlación baja y negativa con la concentración de nitrito.

La concentración de faeopigmentos mostró una correlación alta y positiva con la concentración de fosfato ($n=18$, $r=0,9$, $p<0,05$) y nitrato ($n=18$, $r=0,8$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con la concentración de silicato ($n=18$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una correlación baja y positiva con la concentración de nitrito ($n=18$, $r=0,5$, $p<0,05$).

La concentración de fosfato, además de las correlaciones anteriores con MS y faeopigmentos, mostró una correlación alta y positiva con la concentración de nitrato ($n=18$, $r=0,9$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con la concentración de silicato ($n=18$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una correlación baja y positiva con la concentración de nitrito ($n=18$, $r=0,5$, $p<0,05$).

La concentración de nitrito mostró una correlación alta positiva con la concentración de silicato ($n=18$, $r=0,9$, $p<0,05$) y una correlación media y positiva con la concentración de nitrato ($n=18$, $r=0,7$, $p<0,05$). Por su parte la concentración de nitrato y silicato obtuvieron una correlación alta y positiva ($n=18$, $r=0,8$, $p<0,05$).

La concentración de silicato estableció el máximo de correlaciones, con un total de 9, mientras que la concentración de clorofila-*a*, al otro extremo, no mostró ninguna correlación con los parámetros ambientales evaluados.

Discusión

1. Productividad

El valor promedio de productividad primaria neta (PPN) obtenido en el sitio PMA (Islas Cortezas), Estero de Morales, fue de $4,99 \text{ gC/m}^2\text{d}$ (Cuadro 1.11), el cual cuadruplica el valor promedio de $1,2 \text{ gC/m}^2\text{d}$ obtenido por Córdoba (1993), y supera en $1,29 \text{ gC/m}^2\text{d}$ al obtenido por el presente estudio en Bahía Culebra (Nacascolo).

El valor mínimo de PPN fue de 3,39 gC/m²d y superó en casi cinco veces el valor mínimo encontrado por Córdoba (1993), de 0,69 gC/m²d, ambos obtenidos en el mes de setiembre.

La comparación de las fechas de muestreo, abril y setiembre, no detectó correlación entre el perfil de productividad primaria y la profundidad de la columna de agua, pero sí entre el perfil de PPN y PPB ($r=0,9$, $p<0,05$); así como entre el perfil de Rsp y de temperatura ($r=-0,6$, $p<0,05$); salinidad ($r=0,5$, $p<0,05$); de silicato y nitrito ($r=-0,5$, $p<0,05$).

En abril, el perfil de PPN ubicó la tasa máxima al 25% I_0 y PPB al 10% I_0 mientras que las mínimas se ubicaron ambas al 84% I_0 (Cuadro 2.3 q2+q3 ubicación). En setiembre la tasa mínima de ambas se ubicó al 10% I_0 y las máximas al 52% I_0 (Cuadro 2.8 q2+q3 ubicación). Estos resultados pusieron en evidencia que los perfiles prácticamente se invirtieron entre las fechas de muestreo.

La correlación baja entre el perfil de Rsp y temperatura, mostró que ambos aumentaban conforme se ascendía por la columna de agua en abril (Cuadro 2.3 y 2.4), y que en setiembre disminuían conforme se descendía por la columna el agua (Cuadro 2.8 y 2.9 q2+q3 ubicación).

La correlación entre el perfil de Rsp y salinidad mostró que, en abril Rsp fue máxima en la superficie y la salinidad fue mínima (Cuadro 2.3 y 2.4 q2+q3 ubicación). La correlación con el perfil de silicato y nitrito mostró que durante setiembre el máximo de Rsp se ubicó al 1% I_0 en donde se ubicó el mínimo del perfil de silicato y nitrito (Cuadro 2.8 y 2.9 q2+q3 ubicación).

Estos resultados pusieron en evidencia que también, para este grupo de perfiles, se hubo una inversión entre las fechas de muestreo, pero de manera opuesta a la inversión del perfil de productividad.

En cuanto a la integración de los perfiles de PPN y PPB, la máxima productividad ocurrió durante abril, con 6,6 gC/m²d para ambas tasas (Cuadro 2.5).

Este resultado debe ser contrastado con la profundidad de cada estrato del perfil por cuanto la profundidad de Secchi fue diferente entre las fechas,

siendo menor en setiembre en una proporción de 1,72 con respecto al de abril (Cuadro 2.1, 2.2, 2.6 y 2.7).

Además, durante abril las tasas máximas de ambas, se ubicaron hacia el fondo del perfil, en donde los estratos tienen una mayor altura, con lo cual el resultado puede estar influenciado por un efecto de alargamiento del perfil y por la distribución de las tasas de productividad según la fecha de muestreo (Cuadro 2.1 y 2.2).

La proporción de la ponderación de PPN mostró que fue mayor 1,95 veces en abril (Cuadro 2.5), en tanto que el valor promedio del perfil de PPN, el cual no involucra la altura entre los estratos, indicó que fue menor en ese mes (Cuadro 2.3). Sin embargo, el promedio de Rsp fue positivo en abril y negativo en setiembre, lo cual tendría un efecto de aumento en el promedio de PPN observado en ese mes (Cuadro 2.8).

Los resultados de Córdoba (1993), aunque con las diferencias en el método ya acotadas, ubicaron el valor máximo de PPN durante el mes de agosto y el valor mínimo en setiembre.

En cuanto a la variación entre los periodos de incubación para una misma fecha, se observó una mayor variación así como un promedio mayor durante q3, para los perfiles de productividad; y una disminución en la variación y en el promedio de Rsp (Cuadro 2.3).

La integración de los perfiles también mostró el aumento de la productividad y la disminución de Rsp durante q3 en el mes de abril.

Los resultados en setiembre, de igual forma, mostraron un incremento de la productividad durante q3, y Rsp que fue negativa en ambos periodos, experimentó durante q3 una disminución (Cuadro 2.8 y 2.10).

Encontramos en el sitio de muestreo PMA (Islas Cortezas), Estero de Morales que la productividad primaria es diferente a lo largo de la columna de agua, y no esta relacionada con la profundidad; así como también es diferente la productividad entre las fechas de muestreo, siendo mayor en abril que en setiembre; y mayor en q3 que en q2.

2. Parámetros físico-químicos

La comparación de la fechas de muestreo, no encontró correlación entre los perfiles de parámetros físico-químicos y de productividad primaria en la columna de agua, durante el muestro en abril mientras que, los resultados del muestreo realizado en setiembre si detectó correlación entre estos perfiles.

De acuerdo con lo esperado, en el mes de setiembre se obtuvo una disminución de la salinidad y de la profundidad de Secchi, con un aumento en la concentración de MS y de nutrimentos, lo cual estuvo acompañado, por una disminución de la productividad primaria (Cuadro 2.12).

La salinidad, entre los meses de abril y setiembre, disminuyó en 2,4 ups y mostró una correlación con el aumento de la temperatura y la concentración de nitrito y silicato (Cuadro 2.12).

Entre las fechas de muestreo, la profundidad de Secchi mostró una disminución de 0,65m y se correlacionó con un aumento en la concentración de MS, fosfato, nitrito, nitrato, silicato y faeopigmentos.

La concentración de clorofila-a no mostró correlación alguna, sin embargo, tuvo un aumento de 0,57 mg/m³ en setiembre.

Para una misma fecha, la comparación entre los periodos q2 y q3 mostró una correlación alta y positiva del perfil concentración de MS, con el perfil de concentración de clorofila-a y de la tasa Rsp, en el muestreo realizado durante abril ($r \geq 0,7$, $p < 0,05$).

El perfil de Rsp disminuyó en su valor promedio y su tasa mínima se ubicó al 10% I₀ y la máxima al 73% I₀ durante q2, semejante a lo mostrado por el perfil de MS, mientras que, con el perfil de clorofila-a se compartió la ubicación de los valores mínimo y máximo en ambos quintos (Cuadro 2.3 y 2.4).

El perfil de concentración de nitrito mostró una correlación media y positiva con el perfil de salinidad y de concentración de fosfato ($r=0,7$, $p < 0,05$). El valor promedio para el perfil de salinidad, disminuyó durante q3, al igual que el promedio de la concentración de fosfato y el nitrito, el cual no pudo ser detectado en ningún punto del perfil (Cuadro 2.4).

La profundidad de Secchi, aumentó 0,90m durante q3 (Cuadro 2.1 y 2.3), y se correlacionó negativamente con el perfil de concentración de nitrito y positivamente con el perfil de temperatura, cuyo promedio aumento 1°C (Cuadro 2.4).

En el mes de setiembre, la profundidad de Secchi aumentó de 0,75m a 1,10m (Cuadro 2.6 y 2.7) mostrando esta variación una correlación media y positiva con la variación del perfil de PPN, PPB, temperatura y concentración de nitrito (Cuadro 2.8 y 2.9).

Por otra parte, el aumento en la profundidad de Secchi, mostró una correlación alta y negativa con la variación del perfil de salinidad, MS, concentración de fosfato y concentración de nitrato. A su vez, la variación del perfil de concentración de faeopigmentos se correlacionó, de manera positiva con la variación del perfil de concentración de fosfato y MS.

El aumento de PPN durante q3, mostró una correlación positiva con el aumento de PPB y la concentración de nitrito; y una correlación negativa con la disminución de la salinidad, la concentración de MS, fosfato y nitrato.

Simultáneamente, al aumento de PPB, mostró una correlación negativa con la disminución en la concentración de nitrato.

En cuanto a la variación del perfil Rsp, esta mostró una correlación positiva con la profundidad del perfil de incubación en la columna de agua, al ubicar la tasa máxima al 1% I_0 y la mínima al 25% I_0 , en ambos periodos de incubación (Cuadro 2.9).

Encontramos en el sitio de muestreo PMA (Islas Cortezas), Estero de Morales, que la comparación realizada entre fechas de muestreo, no detectó correlación entre la variación en los perfiles de los parámetros físico-químicos y la variación de los perfiles de productividad primaria (PPN, PPB); pero sí con la variación del perfil de respiración (Rsp).

Sin embargo, la comparación entre los periodos de incubación para una misma fecha de muestreo, si detectó una correlación entre la variación en los perfiles de los parámetros físico-químicos y la variación de los perfiles de PPN y PPB, durante el muestreo realizado en el mes de setiembre; así

como una relación en la variación del perfil Rsp con la profundidad del perfil de incubación en la columna de agua.

En ambos muestreos se detectó diferencia entre los periodos de incubación q2 y q3 de modo tal que, en abril aumentaron durante q3, la profundidad de Secchi y la temperatura, mientras que disminuyeron, la tasa Rsp, la salinidad, la concentración de MS, clorofila-a, nitrito, y fosfato.

En setiembre, aumentaron en q3, la profundidad de Secchi, la temperatura y la concentración de nitrito, disminuyendo la salinidad, la concentración de materia en suspensión, de fosfato, nitrato y faeopigmentos.

Capítulo 3: Costa Pacífica, Golfo Dulce, Golfito

Resultados

I. Sitio: Golfo Dulce (GDC) Muestreo 3.1 (Mayo 2000)

1. Perfil de incubación y muestreo en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 9:30 AM- 12:00 M)

La primera visita al sitio de muestreo en Golfito, identificado en este estudio como GDC (Fig. 1), se realizó el 10 de mayo del 2000. La profundidad alcanzada por el disco de Secchi fue de 2,2m, la columna de agua alcanzó 10,3m mientras que, la zona eufótica abarcaría los primeros 5,9m en donde se ubicó el 1% I_0 .

El nivel de la marea se encontraba bajando al momento de tomar las muestras y realizar la incubación q2, la cual inició a la 9:30 AM y se extendió hasta las 12:00 M, para una duración de 2,50 horas¹ (Cuadro 3.1).

Con respecto a los parámetros determinados para la caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante q2 en el perfil de incubación, la temperatura presentó valores entre 29,0 y 30,5°C con alternancia de agua a

¹ En realidad el periodo de incubación abarca parte del segundo y tercer quinto del día con luz solar, pero se mantiene q2 como el inicio del periodo de incubación.

menor y mayor temperatura de modo tal que, el fondo de la zona eufótica posee agua más caliente, con $1,5^{\circ}\text{C}$ de diferencia con respecto al punto de muestreo más cercano (Cuadro 3.1). La salinidad, por el contrario, presentó un valor homogéneo de 30 ups en todo el perfil de muestreo.

La concentración de materia en suspensión (MS), tiende a aumentar con la profundidad hasta alcanzar el máximo al 1% I_0 . Situación similar sucede con la distribución de la concentración de clorofila-a mientras que, la distribución de feopigmentos es algo más irregular con una zona de mayor concentración al 46% y 21% I_0 .

En cuanto a la distribución de la concentración de los nutrimentos, el fosfato tiene su máxima concentración en la superficie y solamente no es detectado al 46% I_0 (Anexo Límites de Detección).

Por su parte, el silicato es el nutrimento con mayor concentración promedio y cuya distribución abarca todo el perfil de muestreo, con el valor máximo en superficie y el mínimo en el 1% I_0 . El nitrógeno logra ser detectado como nitrito, solamente en la superficie y al 1% I_0 mientras que, como nitrato es detectado en la parte baja del perfil (10% y 1% I_0). La ubicación de la máxima concentración es al 1% I_0 para ambos nutrimentos.

La concentración de oxígeno disuelto es máxima con $8,56 \text{ mg / L}$ al 46% I_0 , a partir de donde disminuye hasta el mínimo al 1% I_0 , el porcentaje de saturación alcanzado es de 109,8.

Cuadro 3.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 9:30AM-12:00M), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (86%, 46%, 21%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

Sitio 3	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	t _i (min:seg)	t _f (min:seg)	Δt (h)
GDC	3.1	10-May-00	2	9:30AM	12:00M	2.50
Característica						Promedio
% I_0	86	46	21	10	1	
Profundidad (m)	0.2	1.0	1.8	3.0	5.9	
PPN (mgC/m ³)	129.7	-175	155.7	65.1	110.3	57.2
PPB (mgC/m ³)	162.1	487.1	220.4	123.5	136.3	225.9
Rsp (mgC/m ³)	32.4	662.2	64.8	58.4	25.9	168.7
Temp. (°C)	nst	29.5	30.5	29.0	30.5	29.9

Salinidad (psu)	nst	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
M. S. (mg/L)	9.78	9.84	13.40	13.49	15.54	12.41
Cl-a (mg/m ³)	1.30	1.71	1.46	1.79	2.01	1.65
Faeop. (mg/m ³)	0.30	0.55	0.54	0.39	0.52	0.46
Fosfatos (μmol/L)	0.36	nd	0.15	0.16	0.17	0.17
Silicatos (μmol/L)	7.67	6.49	7.23	6.14	5.49	6.6
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.06	nd	nd	nd	0.13	0.04
Nitratos (μmol/L)	nd	nd	nd	0.09	0.38	0.09
O.D. (mg/L)	6.30	8.56	6.42	6.34	5.99	6.72
% Saturación	109.8					
Marea (cm)	259	24				
hora	07:41	13:45				
Secchi (m)	2.2					
Fondo (m)	10.3					

Producto de esta incubación, se obtuvo un perfil con valores positivos para la actividad respiratoria del plancton (Rsp), que no alcanzaron superar al respectivo valor de fotosíntesis primaria del fitoplancton (PPB), con excepción del valor ubicado al 46% I_0 en donde se ubicaron ambos máximos (Cuadro 3.1).

El perfil de PPB es positivo en sus cinco puntos de incubación mientras que, el perfil de PPN muestra una tasa negativa al 46% I_0 consecuencia de, como ya se mencionó, un valor de Rsp mayor que PPB.

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 1:00PM-3:20PM)

La incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3)² tuvo una duración de 2,33 horas, iniciando a las 1:00 PM y finalizando a las 3:20 PM con lo cual, la toma de muestras para incubar se realizó en marea baja mientras que, su incubación así como la toma de las muestras para la determinación de los parámetros ambientales se realizó mientras la marea subía (Cuadro 3.2).

² El retraso en el inicio de la primera incubación (q2) provocó que, el periodo abarcado por la segunda incubación (q3), corresponda más bien al cuarto quinto del día con luz solar, y se sigue denominando como q3 para indicar solamente que es la segunda incubación y así dar continuidad al diseño experimental.

Se presentó una disminución de 0,20m en la profundidad de Secchi, ubicándose ahora a 2,0m de la superficie, por lo tanto la zona eufótica también se redujo, abarcando ahora los primeros 5,4m de la columna de agua, cuya profundidad total no fue determinada.

El perfil de temperatura en q3 mostró un aumento en todos los puntos del perfil de muestreo, aunque el valor mínimo se mantuvo en la mitad de la zona eufótica y el máximo hacia el fondo de ésta.

La distribución de la salinidad fue irregular con respecto a la registrada durante q2 y se produjo una disminución en todos los puntos a excepción del ubicado al 1% I_0 , que representa el valor máximo para ambos periodos de incubación.

En cuanto a la concentración de la materia en suspensión (MS), su distribución ha variado hacia una mayor concentración en la mitad superior del perfil y un valor mínimo ubicado al 1% I_0 .

La concentración promedio de clorofila-a aumentó y mantuvo la ubicación del valor máximo al 1% I_0 . Los feopigmentos aumentaron su concentración promedio, al igual que lo hizo la clorofila-a, pero su valor máximo se ubicó al 26% y 10% I_0 .

Cuadro 3.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3: 1:00PM-3:20PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (84%, 51%, 26%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

Sitio 3	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	ti (min:seg)	tf (min:seg)	Δt (h)
GDC	3.1	10-May-00	3	1:00PM	3:20PM	2.33
Característica						Promedio
% I_0	84	51	26	10	1	
Profundidad (m)	0.2	0.8	1.6	2.7	5.4	
PPN (mgC/m ³)	80.6	-3.6	61.5	120.0	101.4	72.0
PPB (mgC/m ³)	45.0	116.0	-0.2	142.0	58.4	72.2
Rsp (mgC/m ³)	-35.6	119.6	-61.7	22.0	-43.0	0.3
Temp. (°C)	31.0	30.5	32.0	32.5	nst	31.5
Salinidad (psu)	27.0	26.0	26.0	27.0	31.0	27.4
M. S. (mg/L)	10.05	10.27	9.68	10.37	9.74	10.02
Cl-a (mg/m ³)	1.37	2.02	1.39	1.94	2.42	1.83
Faeop. (mg/m ³)	0.51	0.41	0.53	0.53	0.46	0.49

Fosfatos($\mu\text{mol/L}$)	0.33	0.33	0.34	0.37	0.46	0.37
Silicatos($\mu\text{mol/L}$)	8.19	1.60	5.53	5.74	6.54	5.52
Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos ($\mu\text{mol/L}$)	nd	0.02	0.04	0.04	0.15	0.05
Nitratos ($\mu\text{mol/L}$)	nd	0.29	0.29	0.57	0.76	0.38
O.D. (mg/L)	6.67	6.88	6.40	6.38	6.01	6.47
% Saturación	116.2					
Marea (cm)	259	24				
hora	07:41	13:45				
Secchi (m)	2.0					
Fondo (m)	nst					

El silicato, aunque continua siendo el nutrimento más abundante, ha disminuido su concentración promedio, mientras que la ubicación del valor máximo se mantuvo en la superficie el valor mínimo se trasladó del 1% al 51% I_0 .

El fosfato estuvo presente ahora en todo el perfil, aumentando su concentración promedio y la concentración máxima se mantuvo en la superficie. En cuanto al nitrógeno, tanto el nitrito como el nitrato amplían su distribución de dos a cuatro puntos en el perfil; solamente no siendo detectados en la superficie, lo cual representa una disminución para el nitrito con respecto a q2. Para ambas formas de nitrógeno la concentración máxima se mantuvo al 1% I_0 (Cuadro 3.1 y 3.2).

La concentración de oxígeno disuelto mantuvo su valor máximo en la mitad de la zona eufótica así como la tendencia a disminuir con la profundidad (mínimo ubicado al 1% I_0). Por su parte el porcentaje de saturación aumentó a 116,2.

Producto de esta incubación q3, se obtuvo una actividad respiratoria del plancton Rsp, que pasa a ser negativa en tres de los cinco puntos de incubación: en superficie con 84% I_0 , al 26% I_0 y 1% I_0 . De éstos, solamente el valor registrado al 26% I_0 posee un valor absoluto mayor que el respectivo valor de PPB, que también es el único valor negativo en su perfil.

De los dos valores positivos Rsp, el obtenido al 51% superó a su respectivo valor PPB, lo que produjo el único valor negativo en el perfil PPN.

Los valores PPN obtenidos en la superficie, al 26% y 1% I_0 , reflejan el efecto de suma del valor R_{sp} (Cuadro 3.2).

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación (Cuadro 3.3)

2.1 Temperatura

En el periodo q2, la temperatura presentó un ámbito de 29,0 a 30,5 °C, para una variación de 1,5°C, con el valor mínimo ubicado al 11% I_0 , y el máximo al 21% y 1% I_0 , con un valor promedio de 29,9°C.

En el periodo q3, el ámbito fue de 30,5 a 32,5 °C, para una variación de 2,0°C, con el valor mínimo ubicado al 51% I_0 , y el máximo al 10% I_0 , con un valor promedio de 31,5°C.

Considerando la suma q2+q3, el ámbito total fue de 29,0 a 32,5 °C, para una variación de 3,0 °C, con el valor mínimo ubicado al 11% I_0 durante q2, y el máximo al 10% I_0 durante q3, con un valor promedio de 30,7°C.

2.2 Salinidad

Durante q2 se obtiene un valor constante de 30,0 ups a lo largo del perfil en la zona eufótica.

Durante q3 el valor de la salinidad varía presentando un ámbito de 26,0 a 31,0 ups, para una variación de 5,0 ups, con el valor mínimo al 51% y 26 % I_0 y el máximo al 1 % I_0 . El promedio fue de 27,4 ups.

Al considerar la suma de ambos periodos, la variación está dada por el muestreo realizado durante q3 y el promedio total fue de 28,7 ups.

2.3 Materia en suspensión

La concentración MS tuvo un ámbito de 9,78 a 15,54 mg/L, para una variación de 5.76 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 86% I_0 , la máxima al 1% I_0 . En promedio la concentración fue de 12,41 mg/L.

Los resultados en q3, presentaron un ámbito de 9,74 a 10,37 mg/L, para una variación de 0,63 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 1% I_0 mientras y la máxima al 10% I_0 . El promedio fue de 10,02 mg/L.

Con la suma de ambos periodos, el ámbito total fue de 9,74 a 15,54 mg/L, para una variación de 5,80 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 1% I_0 durante q3 y la máxima también al 1% I_0 pero durante q2. El promedio fue de 11,22 mg/L.

2.4 Clorofila-a

Su concentración durante q2 presentó un ámbito de 1,30 a 2,01 mg/m³, para variación de 0,71 mg/m³, con la mínima ubicada al 86% y la máxima al 1% I_0 . El promedio alcanzado fue de 1,65 mg/m³.

En q3, el ámbito estuvo entre 1,37 y 2,42 mg/m³, para una variación de 1,05 mg/m³. La ubicación de la concentración mínima se mantuvo en la superficie, ahora con 84% I_0 , así como el máximo se mantuvo al 1% I_0 . La concentración promedio fue de 1,83 mg/m³.

La suma q2+q3 muestra un ámbito total de 1,30 a 2,42 mg/m³, para una variación de 1,12 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 86% I_0 durante q2 y la máxima al 1% I_0 durante q3. La concentración promedio fue de 1,74 mg/m³.

2.5 Faeopigmentos

Durante el muestreo en q2 la concentración de feopigmentos presentó un ámbito de 0,30 a 0,55 mg/m³, para una variación de 0,25 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 86% I_0 y la máxima al 46 % I_0 , y una concentración promedio de 0,46 mg/m³.

Los resultados obtenidos del muestreo en q3, mostraron un ámbito de 0,30 a 0,55 mg/m³, para una variación de 0,12 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 51 % I_0 y la máxima al 26 y 10 % I_0 . El promedio fue de 0,49 mg/m³.

La consideración de q2+q3 presentó un ámbito total semejante al obtenido durante el muestreo en q2 mientras que el promedio total fue de 0,48 mg/m³.

Cuadro 3.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2: 86%, 46%, 21%, 10% y 1% I₀, q3: 84%, 51%, 26%, 10%, 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	29.0	30.5	30.5	32.5	29.0	32.5
Ubicación %I ₀	10	21 y 1	51	10	10	10
Variación	1.5		2.0		3.0	
Promedio	29.9		31.5		30.7	
2.2 Salinidad (ups)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	30.0		26.0	31.0	26.0	31.0
Ubicación %I ₀	86 - 1		51 - 26	1	51 - 26	1
Variación	0.0		5.0		5.0	
Promedio	30.0		27.4		28.7	
2.3 Materia en suspensión (mg / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	9.78	15.54	9.74	10.37	9.74	15.54
Ubicación %I ₀	86	1	1	10	1	1
Variación	5.76		0.63		5.80	
Promedio	12.41		10.02		11.22	
2.4 Clorofila-a (mg / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	1.30	2.01	1.37	2.42	1.30	2.42
Ubicación %I ₀	86	1	84	1	86	1
Variación	0.71		1.05		1.12	
Promedio	1.65		1.83		1.74	
2.5 Feopigmentos (mg / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.30	0.55	0.41	0.53	0.30	0.55
Ubicación %I ₀	86	46	51	26 y 10	86	46
Variación	0.25		0.12		0.25	
Promedio	0.48		0.49		0.48	
2.6 Fosfato (µmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.15	0.36	0.33	0.46	0.15	0.36
Ubicación %I ₀	21	86	84 y 51	1	21	86
Variación	0.21		0.13		0.21	
Promedio	0.17		0.37		0.27	
2.7 Silicato (µmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	5.49	7.67	1.6	8.19	1.6	8.19
Ubicación %I ₀	1	86	51	84	51	84

Variación	2.18		6.59		6.59	
Promedio	6.60		5.52		6.06	
2.8 Nitrito ($\mu\text{mol/L}$)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.06	0.13	0.02	0.15	0.02	0.15
Ubicación %I ₀	86	1	51	1	51	1
Variación	0.07		0.13		0.13	
Promedio	0.40		0.05		0.04	
2.9 Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.09	0.38	0.29	0.76	0.09	0.76
Ubicación %I ₀	11	1	51 y 26	1	11	1
Variación	0.29		0.47		0.67	
Promedio	0.09		0.38		0.24	
2.10 Oxígeno disuelto (mg/L)						
Período	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	5.99	8.56	6.01	6.88	5.99	8.56
Ubicación %I ₀	1	46	1	51	1	46
Variación	2.57		0.87		2.57	
Promedio	6.72		6.47		6.60	

2.6 Fosfato

La concentración del ión ortofosfato durante q2, registró un ámbito de 0,15 a 0,36 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,21 $\mu\text{mol/L}$, con la mínima ubicada al 21% I₀ y la máxima al 86% I₀, y una concentración promedio de 0,17 $\mu\text{mol/L}$.

Durante q3, un ámbito de 0,33 a 0,46 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,13 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 84% y 51% I₀ y la máxima al 1% I₀. El promedio fue de 0,37 $\mu\text{mol/L}$.

La consideración de la suma q2+q3, aportó un ámbito de variación semejante al obtenido durante el muestreo en q2, para promedio total de 0,27 $\mu\text{mol/L}$.

2.7 Silicato

Los resultados obtenidos en q2 presentaron un ámbito de concentración entre 5,49 y 7,67 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 2,18 $\mu\text{mol/L}$,

con la concentración mínima ubicada al 1% y la máxima al 86% I_0 . El promedio fue de 6,60 $\mu\text{mol/L}$.

En q3 el ámbito osciló entre 1,6 y 8,19 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 6,59 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 51% y la máxima al 84% I_0 . El promedio alcanzado fue de 5,52 $\mu\text{mol/L}$.

Al considerar la suma q2+q3, el ámbito de variación total es semejante al registrado durante q3, y el promedio total fue de 6,06 $\mu\text{mol/L}$.

2.8 Nitrito

Durante q2 solamente fue detectado en los puntos extremos del perfil de muestreo, con un ámbito de 0,06 a 0,13 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,07 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 86% y la máxima al 1% I_0 . El promedio fue de 0,40 $\mu\text{mol/L}$.

Durante el muestreo en q3, su distribución se amplió a cuatro puntos en el perfil de muestreo y el ámbito fue de 0,02 a 0,15 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,13 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 51% I_0 y la máxima al 1% I_0 . La concentración promedio fue de 0,05 $\mu\text{mol/L}$.

La definición del ámbito de variación para ambos periodos de muestreo hizo que este correspondiera al observado durante q3 y que el promedio total fuera de 0,04 $\mu\text{mol/L}$.

2.9 Nitrate

Durante q2 solamente fue detectado en los dos puntos más profundos del perfil de muestreo, con un ámbito de 0,09 a 0,38 $\mu\text{mol/L}$ y una variación de 0,29 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se localizó al 11% I_0 y la máxima al 1% I_0 , el promedio fue de 0,09 $\mu\text{mol/L}$.

Durante q3 hubo un aumento en la distribución a cuatro puntos del perfil de muestreo, con un ámbito de 0,29 a 0,76 $\mu\text{mol/L}$ y una variación de 0,47 $\mu\text{mol/L}$. La concentración mínima se localizó al 51% y 26% I_0 y la máxima al 1% I_0 , el promedio fue de 0,38 $\mu\text{mol/L}$.

La consideración de ambos periodos de muestreo presentó un ámbito de 0,09 a 0,76 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,67 $\mu\text{mol/L}$. La concentración

mínima se localizó al 11% I_0 durante q2 y la máxima al 1% I_0 durante q3. La concentración promedio total fue de 0,24 $\mu\text{mol/L}$.

2.10 Oxígeno disuelto

Durante el periodo q2 el oxígeno disuelto presentó un ámbito de concentración de 5,99 a 8,56 mg/L, para una variación de 2,57 mg/L. La concentración mínima sucede al 1% y la máxima al 46% I_0 , para un promedio de 6,72 mg/L.

Durante q3 el ámbito fue de 6,01 a 6,88 mg/L, para una variación de 0,87 mg/L, con una ubicación de la concentración mínima y máxima semejante a la observada en q2. El valor promedio fue de 6,47 mg/L.

La consideración de q2+q3 proporcionó un ámbito de variación semejante al observado durante q2 y el promedio total fue de 6,60 mg/L.

El porcentaje de saturación aumentó de 109,8 en q2 a 116,2 en q3, para un promedio de 113,0%.

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación

La productividad primaria bruta en q2 presentó un ámbito de 123,5 a 487,1 mgC/m^3 , con una variación de 363,6 mgC/m^3 , con PPB mínima ubicada al 11% I_0 y máxima al 46% I_0 , para 225,9 mgC/m^3 de PPB promedio (Cuadro 3.4).

Los resultados obtenidos durante q3, expusieron un ámbito de -0,2 a 142,0 mgC/m^3 , con una variación de 142,2 mgC/m^3 , y una ubicación del valor mínimo al 26% I_0 y del máximo al 10% I_0 . El promedio alcanzado fue de 72,2 mgC/m^3 .

Al considerar el periodo total de incubación q2+q3 que suma 5,30 horas, el ámbito osciló entre -0,2 y 487,1 mgC/m^3 , con una variación de 487,3 mgC/m^3 . El valor mínimo se ubicó al 26% I_0 durante q3 y el máximo al 10% I_0 durante q2. El promedio total para PPB fue de 149,0 mgC/m^3 .

3.2 Variación de la Respiración (Rsp) en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2, presentó un ámbito de 25,9 a 662,2 mgC/m³, con una variación de 636,3 mgC/m³, y una ubicación de Rsp mínima al 1% I₀ y máxima al 46% I₀. En promedio se consumieron 168,7 mgC/m³ (Cuadro 3.4).

Durante q3, el ámbito fue de -61,7 a 119,6 mgC/m³, para una variación de 181,3 mgC/m³, la Rsp mínima se ubicó al 26% I₀ y la máxima al 51% I₀. El promedio Rsp fue de 0,3 mgC/m³.

La consideración del periodo total de incubación como q2+q3 presentó un ámbito de -61,7 a 662,2 mgC/m³, para una variación de la actividad respiratoria de 723,9 mgC/m³. La Rsp mínima sucedió durante q3 al 26% I₀ y la máxima durante q2 al 46% I₀. El promedio Rsp fue de 84,5 mgC/m³.

Cuadro 3.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2: 86, 46, 21, 11 y 1 % I₀, q3: 84, 51, 26, 10, y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

3.1 PPB (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	123.5	487.1	-0.2	142.0	-0.2	487.1
Ubicación %I ₀	11	46	26	10	26	46
Variación	363.6		142.2		487.3	
Promedio	225.9		72.2		149.0	
3.2 Rsp (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	25.9	662.2	-61.7	119.6	-61.7	662.2
Ubicación %I ₀	1	46	26	51	26	46
Variación	636.3		181.3		723.9	
Promedio	168.7		0.3		84.5	
3.3 PPN (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-175.0	155.7	-3.6	120.0	-175.0	155.7
Ubicación %I ₀	46	21	51	10	46	21
Variación	330.7		123.6		330.7	
Promedio	57.2		72.0		64.6	

Por otro lado, se obtuvo un aumento en la tasa de PPN entre los periodos de incubación, lo cual se debió al descenso de Rsp durante q3, que prácticamente igualó PPB con PPN.

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

Como consecuencia de la relación entre la actividad respiratoria del plancton y la actividad fotosintética del fitoplancton, la productividad primaria neta en q2, presentó un ámbito de $-175,0$ a $155,7$ mgC/m^3 , para una variación de $330,7$ mgC/m^3 . La PPN mínima se ubicó en la parte media de la zona eufótica con 46% I_0 , y la máxima al 21% I_0 . En promedio se produjeron $57,2$ mgC/m^3 (Cuadro 3.4).

En q3, el perfil de incubación proporcionó un ámbito de $-3,6$ a $120,0$ mgC/m^3 , para una variación de $123,6$ mgC/m^3 . La PPN mínima se ubicó al 51% I_0 , en la mitad de la zona eufótica mientras que, la máxima lo hizo al 10% I_0 . El promedio PPN fue de $72,0$ mgC/m^3 .

Al considerar el periodo q2+q3, el ámbito de variación total fue semejante al presentado en q2, y en promedio se produjeron $64,6$ mgC/m^3 .

4 Integración de los perfiles de incubación

En esta primer fecha de muestreo, la integración de los valores de incubación en el sitio GDC, mostraron un marcado descenso de PPB y Rsp entre el periodo q2 y q3, está última incluso llegando a ser negativa. (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo. (q2: 86, 46, 21, 10 y 1% I_0 , q3: 86, 51, 26, 10, 1% I_0) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

Periodo / Tasa	PPN ($\text{g C} / \text{m}^2 \text{ d}$)	PPB ($\text{g C} / \text{m}^2 \text{ d}$)	Rsp ($\text{g C} / \text{m}^2 \text{ d}$)
q2	3.21	11.12	7.90
q3	4.58	4.56	-0,02
Variación	1.37	-6.56	-7.92
q2 + q3	3.87	7.95	4.08

Por otro lado, se obtuvo un aumento en la tasa de PPN entre los periodos de incubación, lo cual se debió al descenso de Rsp durante q3, que prácticamente igualó PPB con PPN.

La ponderación de la integración de ambos perfiles de incubación q_2+q_3 , mostró una elevada productividad y respiración del plancton:

- **PPN:** 3,87 gC/m²d (1414,7 gC/m²a); con un ámbito de 3,21 a 4,58 gC/m²d, para un aumento de 1,37 gC/ m²d entre q_2 y q_3 .
- **PPB:** 7,95 gC/m²d (2905,1 gC/m²a); con un ámbito de 4,56 a 11,12 gC/m²d, para una disminución de 6,56 gC/m²d entre q_2 y q_3 .
- **Rsp:** 4,08 gC/m²d (1490,4 gC/m²a); con un ámbito de 0,02 a 7,90 gC/m²d, para una disminución de 7,92 gC/m²d entre q_2 y q_3 .

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado para los datos de esta primera fecha de muestreo, mostró una correlación alta y positiva entre PPB y Rsp ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$); una correlación media y negativa entre PPB y PPN ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$); y una correlación alta y negativa entre Rsp y PPN ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$)

En cuanto a la evaluación de la relación entre los parámetros físico-químicos, se obtuvo una correlación media y negativa entre la temperatura y PPB ($n=8$, $r=-0,7$, $p<0,05$); y una correlación media y positiva entre la profundidad de Secchi y PPB ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$).

La profundidad de Secchi mostró una correlación media y positiva con la salinidad ($n=9$, $r=0,7$, $p<0,05$) y la concentración de materia en suspensión ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una correlación alta y negativa con la concentración de fosfato ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$).

Para la concentración de clorofila-a se detectó una correlación media y positiva con la profundidad del perfil de muestreo (z) y la concentración de nitrito ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una correlación alta y positiva con la concentración de nitrato ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$).

La concentración de fosfato mostró una correlación baja y negativa con la temperatura ($n=8$, $r=-0,4$, $p<0,05$); una correlación media y negativa con la tasa Rsp ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$); y una correlación alta y negativa con PPB ($n=10$, $r=-0,8$, $p<0,05$).

Clor. (mg/l)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Fosfo. (mg/l)	0,71	0,83	0,80	0,80	0,80	0,80

Se detectó una correlación media y positiva entre la concentración de nitrato y de fosfato ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$).

Tanto la concentración de faeopigmentos como de silicato no mostraron correlación con ninguno de los parámetros ambientales evaluados.

II. Muestreo 3.2 (Noviembre 2000)

1. Perfil de incubación en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 9:00 AM- 11:40 AM)

La segunda visita al sitio de muestreo en Golfito, identificado en este estudio como GDC, se realizó el 22 de noviembre del 2000. La profundidad del disco de Secchi alcanzó 4,0 m y la profundidad total de la columna de agua fue de 10,3 m (Cuadro 3.6).

Para esta fecha el periodo de incubación q2, dio inicio a las 9:00 AM y finalizó a las 11:40 AM, para una duración de 2,67 horas. La altura de la marea era máxima a las 11:59 AM y mínima a las 06:02 PM, así que la toma de muestras y su incubación se realizó mientras la marea subía.

Cuadro 3.6. Caracterización física y química de las condiciones prevaletientes durante la primera incubación (q2: 9:00AM-11:40AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

Sitio 3	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	t _i (min:seg)	t _f (min:seg)	Δt (h)
GDC	3.2	22-Nov-00	2	9:00AM	11:40AM	2.67
Característica						Promedio
% I_0	92	50	25	10	1	
Profundidad (m)	0.2	1.6	3.2	5.4	10,0	
PPN (mgC/m ³)	12.3	-18.6	69.1	122.4	24.8	42.0
PPB (mgC/m ³)	173.4	106.5	131.7	178.3	-110.8	95.8
Rsp (mgC/m ³)	161.1	125.1	62.6	55.9	-135.6	53.8
Temp. (°C)	29.5	29.0	29.0	28.5	27.0	28.6
Salinidad (psu)	26.0	26.0	28.0	28.0	30.0	27.6
M. S. (mg/L)	174.96	154.61	153.58	158.98	166.70	161.77
Cl-a (mg/m ³)	0.69	0.63	1.21	0.62	1.25	0.88
Faeop. (mg/m ³)	0.23	0.63	0.29	0.38	0.61	0.43

Fosfatos($\mu\text{mol/L}$)	0.27	0.26	0.25	0.30	0.60	0.34
Silicatos($\mu\text{mol/L}$)	26.13	21.57	21.47	13.87	3.88	17.38
Amonio ($\mu\text{mol/L}$)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos ($\mu\text{mol/L}$)	nd	nd	nd	nd	0.48	0.1
Nitratos ($\mu\text{mol/L}$)	0.81	0.86	0.85	1.02	3.70	1.45
O.D. (mg/L)	7.33	7.27	7.05	6.57	5.74	6.79
% Saturación	123.3					
Marea (cm)	244	30				
hora	11:59	18:02				
Secchi (m)	4.0					
Fondo (m)	10.3					

Con respecto al perfil de temperatura, se observó una disminución de $2,5^{\circ}\text{C}$ entre la superficie y el fondo de la zona eufótica, pasando de $29,5^{\circ}$ a 27°C . La salinidad, por su parte, aumentó conforme lo hacía la profundidad, desde 26,0 ups en la superficie hasta 30,0 ups al 1% I_0 .

La concentración de materia en suspensión (MS) presentó una distribución con valores mínimos hacia la mitad de la zona eufótica, con la concentración máxima ubicada en la superficie y la mínima al 25% I_0 mientras que, la distribución de la concentración de clorofila-*a* y feopigmentos parece coincidir ya que al aumentar la clorofila-*a* y disminuyen los feopigmentos, y al 50% I_0 la concentración de ambos parámetros es semejante.

En cuanto a los nutrientes, la concentración de fosfato es casi homogénea entre la superficie y el 10% I_0 mientras que, al 1% I_0 se registró un aumento cercano al doble de los restantes valores detectados en la zona eufótica.

El silicato es el nutriente con mayor concentración promedio, con un máximo superficial al 92% I_0 , a partir de donde comienza a disminuir hasta alcanzar un mínimo casi siete veces menor al 1% I_0 .

El nitrógeno en la forma de amonio, continúa sin poder ser detectado en la zona eufótica mientras que, el nitrito logra serlo al 1% I_0 solamente. El nitrato, presente en todo el perfil de muestreo, tiende a aumentar su

concentración conforme lo hace la profundidad, mostrando así una tendencia opuesta a la observada para el silicato y que coincide con la del fosfato

La concentración de oxígeno disuelto disminuyó conforme aumentó la profundidad, por lo que su valor máximo se localizó en la superficie y su mínimo al 1% I_0 . El porcentaje de saturación alcanzado fue de 123,3.

Producto de esta primera incubación en q2, se obtuvo para la actividad Rsp del plancton, un perfil positivo desde la superficie hasta el 10% I_0 , con valores de Rsp menores conforme aumentó la profundidad hasta que, al 1% de I_0 se presentó un valor negativo.

Por su parte, el perfil de PPB también es positivo hasta que, al igual que Rsp, al 1% I_0 se presentó un valor negativo. En cuanto al perfil de PPN este es positivo, excepto al 50% I_0 en donde PPB es superada por Rsp. Con respecto a la combinación de tasas negativas de Rsp y PPB al 1% esta produjo un valor positivo de PPN.

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 12:26 PM- 3:00 PM)

La incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3), inició a las 12:26 PM y finalizó a las 3:00 PM para una duración de 2,57 horas. En cuanto al nivel de la marea, para esta fecha la altura máxima sucedió las 11:59 AM, lo que significó que la toma de muestras así como la incubación se realizara con la marea bajando, a diferencia de lo sucedido en q2 cuando la marea subía (Cuadro 3.7).

La profundidad de Secchi se mantuvo a 4,0m de la superficie por lo que, los porcentajes de I_0 establecidos para la incubación de las muestras permanecen también a las mismas profundidades en q3. La profundidad total de la columna de agua aumentó a 10,9m.

En cuanto a los otros parámetros determinados, entre los que aumentan su valor conforme avanza el día se encuentran: la clorofila-a y los feopigmentos mientras que, el resto de los parámetros presentaron una disminución en sus valores promedio entre ambos periodos de muestreo.

La distribución de temperatura mantiene la tendencia observada en q2, disminuyendo su valor conforme aumenta la profundidad mientras que,

la salinidad mantiene la tendencia a aumentar conforme lo hace la profundidad.

La concentración de materia en suspensión (MS) presentó una distribución más homogénea en el perfil de muestreo en la zona eufótica. La clorofila-*a* y los feopigmentos tienden a aumentar su concentración conforme lo hace la profundidad, a diferencia de lo observado en q2 donde alternaban valores mayores y menores a lo largo del perfil de muestreo.

La concentración promedio del fosfato fue prácticamente la misma entre ambos periodos y también mantuvo la tendencia a aumentar su concentración conforme lo hace la profundidad, con el máximo ubicado al 1% I_0 . El silicato mantuvo la mayor concentración promedio entre los nutrimentos determinados, aunque disminuyó con respecto al valor registrado durante q2. La concentración máxima conservó su ubicación en la superficie y la mínima al 1% I_0 , pero presentó un incremento al 25% I_0 .

En cuanto al nitrógeno, el principal cambio se dio en la disminución de la concentración y distribución, la cual se limitó a la parte baja de la zona eufótica (10% y 1% I_0) tanto para el nitrato como para el nitrito.

La concentración de oxígeno disuelto presentó su valor máximo al 50% I_0 desde donde disminuye hasta ser mínima al 10% I_0 . El porcentaje de saturación fue de 113,0.

Los resultados obtenidos por la incubación q3 mostraron una Rsp negativa al 92%, 25% y 10% I_0 , y positiva al 50 y 1% I_0 . El perfil de PPB fue mayormente negativo al registrar un único valor positivo al 50% I_0 .

En consecuencia, el perfil positivo obtenido para PPN es producto de la resta de valores negativos de Rsp y PPB en los puntos de muestreo ubicados al 92%, 25% y 10% I_0 , y solamente el valor registrado al 50% I_0 se debe a una productividad primaria más intensa que la actividad respiratoria. El valor negativo de PPN ubicado al 1% I_0 se produjo por la resta de Rsp a una PPB negativa (Cuadro 3.7).

la zona eufótica y la máxima en la superficie, con 28,6 °C en promedio.

Cuadro 3.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la segunda incubación (q3: 12:26PM-3:00PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

Sitio 3	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	t _i (min:seg)	t _f (min:seg)	Δt (h)
GDC	3.2	22-Nov-00	3	12:26PM	3:00PM	2.57
Característica						Promedio
%I ₀	92	50	25	10	1	
Profundidad (m)	0.2	1.6	3.2	5.4	10.0	
PPN (mgC/m ³)	153.0	85.8	69.4	339.2	-188.4	91.8
PPB (mgC/m ³)	-98.2	202.0	-145.2	-138.2	-163.4	-68.6
Rsp (mgC/m ³)	-251.1	116.3	-214.7	-477.4	24.9	-159.4
Temp. (°C)	29.5	28.5	28.0	28.0	26.5	28.1
Salinidad (psu)	26.0	26.0	26.0	29.0	30.0	27.4
M. S. (mg/L)	156.72	156.04	157.79	160.45	157.45	157.69
Cl-a (mg/m ³)	0.50	0.86	0.87	1.12	1.34	0.94
Faeop. (mg/m ³)	0.57	0.58	0.59	0.76	0.95	0.69
Fosfatos (μmol/L)	0.29	0.26	0.30	0.32	0.58	0.35
Silicatos (μmol/L)	22.52	11.23	17.84	5.80	3.51	12.18
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	nd	nd	0.10	0.34	0.09
Nitratos (μmol/L)	nd	nd	nd	0.47	2.91	0.68
O.D. (mg/L)	6.71	7.46	6.53	5.26	5.46	6.28
% Saturación	113.0					
Marea (cm)	244	30				
hora	11:59	18:02				
Secchi (m)	4.0					
Fondo (m)	10.9					

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación (Cuadro 3.8)

2.1 Temperatura

Los resultados obtenidos en el periodo q2 dieron un ámbito de 27,0 a 29,5 °C, para una variación de 2,5 °C, con la mínima ubicada en el fondo de la zona eufótica y la máxima en la superficie, con 28,6 °C en promedio.

Durante q3 el ámbito fue de 26,5 a 29,5 °C, para una variación de 3,0 °C e idéntica ubicación para la temperatura mínima y máxima. El promedio fue de 28,1°C.

La suma de ambos periodos de muestreo registró un ámbito de variación similar al de q3, con un promedio total de 28,4°C.

2.2 Salinidad

En q2 la salinidad presentó un ámbito entre 26,0 y 30,0 ups, para una variación de 4,0 ups, con el valor mínimo al 90% y 51% I_0 y el máximo al 1% I_0 . El promedio fue de 27,6 ups.

En q3 el ámbito fue similar al observado en q2, ubicando el valor mínimo al 90%, 50% y 25% I_0 y el máximo al 1% I_0 . El promedio fue de 27,4 ups.

Al considerar q2+q3, el ámbito de variación permanece igual para ambos periodos y el promedio alcanzado fue de 27,5 ups.

2.3 Materia en suspensión

La concentración MS en q2, tuvo un ámbito de 153,58 a 174,96 mg/L, para una variación de 21,38 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 25% I_0 , la máxima al 90% I_0 . En promedio la concentración fue de 161,77 mg/L.

La concentración MS en q3 presentó un ámbito de 156,04 a 160,45 mg/L, para una variación de 4,41 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 51% I_0 , la máxima al 10% I_0 . En promedio la concentración fue de 157,69 mg/L.

Con la suma q2+q3 el ámbito de variación total es semejante al observado durante q2, mientras que el promedio total fue de 159,73 mg/L.

2.4 Clorofila-a

La concentración de clorofila-a en q2, osciló entre 0,62 y 1,25 mg/m³, para una variación de 0,63 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 10% I_0 y la máxima al 1% I_0 , y un promedio de 0,88 mg/m³.

El ámbito de concentración en q3 estuvo entre 0,50 y 1,34 mg/m³, para una variación de 0,84 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 90% I₀ y la máxima al 1% I₀, y el promedio fue de 0,94 mg/m³.

La suma de ambos periodos de muestreo mostró un ámbito de variación total semejante al obtenido durante q3 mientras que, la concentración promedio total fue de 0,91 mg/m³.

2.5 Faeopigmentos

El ámbito de concentración obtenido con el muestreo realizado en q2 fue de 0,23 a 0,63 mg/m³, para una variación de 0,40 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 1% I₀ y la máxima al 51% I₀, y el promedio fue de 0,43 mg/m³.

Los resultados obtenidos en q3 mostraron un ámbito entre variación en la concentración de feopigmentos disminuye entre 0,57 y 0,95 mg/m³, para una variación de 0,38 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 90% I₀ y la máxima al 1% I₀. La concentración promedio fue de 0,69 mg/m³.

Al considerar q2+q3 el ámbito total de concentración osciló entre 0,23 y 0,95 mg/m³, para una variación de 0,72 mg/m³, con la concentración mínima ubicada al 1% I₀ durante q2 y la máxima al 1% I₀ durante q3. La concentración promedio total de feopigmentos fue de 0,56 mg/m³.

Cuadro 3.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, faeopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	27.0	29.5	26.5	29.5	26.5	29.5
Ubicación %I ₀	1	92	1	92	1	92
Variación	2.5		3.0		3.0	
Promedio	28.6		28.1		28.4	
2.2 Salinidad (ups)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	26.0	30.0	26.0	30.0	26.0	30.0

Ubicación %lo	92 y 50	1	92 y 25	1	92 y 25	1
Variación	4.0		4.0		4.0	
Promedio	27.6		27.4		27.5	
2.3 Materia en suspensión (mg / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	153.58	174.96	156.04	160.45	153.58	174.96
Ubicación %lo	25	92	50	10	25	92
Variación	21.38		4.41		21.38	
Promedio	161.77		157.69		159.73	
2.4 Clorofila- a (mg / m³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.62	1.25	0.50	1.34	0.50	1.34
Ubicación %lo	10	1	92	1	92	1
Variación	0.63		0.84		0.84	
Promedio	0.88		0.94		0.91	
2.5 Faeopigmentos (mg / m³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.23	0.63	0.57	0.95	0.23	0.95
Ubicación %lo	1	50	92	1	1	1
Variación	0.4		0.38		0.72	
Promedio	0.43		0.69		0.56	
2.6 Fosfato (µmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.25	0.60	0.26	0.58	0.25	0.60
Ubicación %lo	25	1	50	1	25	1
Variación	0.35		0.32		0.35	
Promedio	0.34		0.35		0.34	
2.7 Silicato (µmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	3.90	26.10	3.50	22.50	3.50	26.10
Ubicación %lo	1	92	1	92	1	92
Variación	22.20		19.00		22.60	
Promedio	17.40		12.20		14.80	
2.8 Nitrito (µmol / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.48		0.10	0.34	0.10	0.48
Ubicación %lo	1		10	1	10	1
Variación	0.48		0.24		0.38	
Promedio	0.10		0.22		0.16	
2.9 Nitrate (µmol / L)						

Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	0.60	3,70	0.50	2.90	0.50	3.70
Ubicación %I ₀	92	1	10	1	10	1
Variación	2.90		2.40		3.20	
Promedio	1.40		1.70		1.60	

2.10 Oxígeno disuelto (mg / L)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	5.74	7.33	5.26	7.46	5.26	7.46
Ubicación %I ₀	1	92	10	51	10	51
Variación	1.59		2.20		2.20	
Promedio	6.79		6.26		6.54	

2.6 Fosfato

La concentración del fosfato durante q2, osciló entre 0,25 y 0,60 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,35 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 25% y la máxima al 1% I₀, y un promedio de 0,34 $\mu\text{mol/L}$.

Durante q3 el ámbito estuvo entre 0,26 y 0,58 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,32 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 51% I₀ y la máxima al 1% I₀, en el fondo de la zona eufótica.

El ámbito de variación total, al considerar q2+q3, coincide con el registrado durante q2 y la concentración promedio total fue de 0,34 $\mu\text{mol/L}$.

2.7 Silicato

La concentración de silicato en q2 tuvo un ámbito de 3,90 a 26,10 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 22,20 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 1% I₀ y la máxima al 92% I₀, y un promedio de 17,40 $\mu\text{mol/L}$.

Durante q3 el ámbito de concentración fue de 3,50 a 22,50 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 19,00 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 1% I₀ y la máxima al 92% I₀, y en promedio la concentración fue de 12,20 $\mu\text{mol/L}$.

Al considerar q2+q3 el ámbito fue de 3,50 a 26,10 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 22,60 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 1% I₀

durante q3 y la máxima al 92% I_0 durante q2. El promedio total fue de 14,80 $\mu\text{mol/L}$.

2.8 Nitrito

Durante q2, el nitrito solamente es detectado al 1% I_0 con una concentración de 0,48 $\mu\text{mol/L}$, para un promedio de 0.10 $\mu\text{mol/L}$ mientras que, durante q3 se logró detectar al 10% con 0,10 $\mu\text{mol/L}$ y al 1% I_0 con 0,48 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,24 $\mu\text{mol/L}$ y una concentración promedio de 0,22 $\mu\text{mol/L}$.

La suma q2+q3 ubicó la concentración mínima durante q3 al 10% I_0 , la máxima durante q2 al 1% I_0 y se obtuvo un promedio total de 0,16 $\mu\text{mol/L}$.

2.9 Nitrato

Durante q2, el ámbito de concentración fue de 0,80 a 3,70 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 2,90 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicándose al 92% I_0 y la máxima al 1% I_0 , y una concentración promedio de 1,40 $\mu\text{mol/L}$.

Durante q3 la distribución de nitrato se reduce a los dos puntos más profundos de la zona eufótica. El ámbito fue de 0,50 a 2,90 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 2,40 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima al 10% I_0 y la máxima al 1% I_0 , y una concentración promedio de 1,70 $\mu\text{mol/L}$.

Con la suma q2+q3 el ámbito de concentración fue de 0,50 a 3,70 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 3,20 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima al 10% I_0 durante q3 y la máxima al 1% I_0 durante q2, y una concentración promedio total de 1,60 $\mu\text{mol/L}$.

2.10 Oxígeno disuelto

Durante q2 el ámbito fue de 5,74 a 7,33 mg/L, para una variación de 1,59 mg/L. La concentración mínima se ubicó al 1% y la máxima al 92% I_0 , y se obtuvo una concentración promedio de 6,79 mg/L.

Con el muestreo realizado durante q3 el ámbito de concentración fue de 5,26 a 7,46 mg/L, para una variación de 2,20 mg/L. La concentración mínima se ubicó al 10% y la máxima al 51% I_0 , y se obtuvo una concentración promedio de 6,28 mg/L.

El ámbito de variación al considerar q2+q3 coincidió con el registrado durante q3 y la concentración promedio total fue de 6,54 mg/L.

El porcentaje de saturación disminuyó de 123,3 en q2 a 113,0 en q3, para un promedio de 118,1%.

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación

La productividad primaria bruta en q2 presentó un ámbito de -110,8 a 178,3 mgC/m³, para una variación de 289,1 mgC/m³, con PPB mínima ubicada al 1% I_0 y la máxima al 10%, para un promedio de 95,8 mgC/m³ (Cuadro 3.9).

Los resultados obtenidos en q3, mostraron un ámbito de -163,4 a 202,0 mgC/m³, para una variación de 365,4 mgC/m³, con PPB mínima al 1% I_0 y máxima al 50% I_0 , para un promedio de -68,6 mgC/m³.

Si consideramos la totalidad del periodo de incubación q2+q3, con una duración de 5,24 horas, el ámbito de variación fue definido por los valores registrados durante q3 y PPB promedió 13,6 mgC/m³.

3.2 Variación de la Respiración (Rsp) en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2, presentó un ámbito de -135,6 a 161,1 mgC/m³, para una variación de 296,7 mgC/m³ y con Rsp mínima ubicada al 1% I_0 y máxima al 92% I_0 . En promedio se consumieron 53,8 mgC/m³ (Cuadro 3.9).

Durante q3 el ámbito fue de -477,4 a 116,3 mgC/m³, para una variación de 593,7 mgC/m³, con la ubicación de Rsp mínima al 10% y la máxima al 50% I_0 . El promedio fue de -159,4 mgC/m³.

El ámbito Rsp para el periodo de 5,24 horas de incubación fue de -477,4 a 161,1 mgC/m³, para una variación de 638,5 mgC/m³, con el valor mínimo registrado durante q3 al 10% y el máximo durante q2 al 50% I₀. El promedio total para Rsp fue de -52,8 mgC/m³.

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

El ámbito de PPN en q2 fue de -18,6 a 122,4 mgC/m³, para una variación de 141,0 mgC/m³, con la tasa mínima localizada al 50% I₀, y la máxima al 10% I₀ para una productividad neta promedio de 42,0 mgC/m³ (Cuadro 3.9).

La incubación durante q3 produjo un ámbito de -188,4 a 339,2 mgC/m³, para una variación de 527,6 mgC/m³, con la tasa mínima ubicada al 1% I₀, y la máxima al 10% I₀ para una productividad neta promedio de 91,8 mgC/m³.

Al considerar el periodo del día cubierto por ambos quintos, el ámbito de variación total coincidió con el obtenido durante q3. El promedio total para PPN fue de 66,9 mgC/m³.

Cuadro 3.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo 2000.

3.1 PPB (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-110.8	178.3	-163.4	202.0	-163.4	202.0
Ubicación %I ₀	1	10	1	50	1	50
Variación	289.1		365.4		365.4	
Promedio	95.8		-68.6		13.6	
3.2 Rsp (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-135.6	161.1	-477.4	116.3	-477.4	161.1
Ubicación %I ₀	1	92	10	50	10	92
Variación	296.7		593.7		638.5	
Promedio	53.8		-159.4		-52.8	

3.3 PPN (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2 + q3	
Ámbito	-18.6	122.4	-188.4	339.2	-188.4	339.2
Ubicación %I ₀	50	10	1	10	1	10
Variación	141.0		527.6		527.6	
Promedio	42.0		91.8		66.9	

4. Integración de los perfiles de incubación

De acuerdo con los datos obtenidos para esta segunda fecha de muestreo en el sitio GDC, tanto PPB como Rsp pasan de tasas positivas durante q2 a valores negativos durante q3 (Cuadro 3.10).

Cuadro 3.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Goffito, Golfo Dulce, Costa Rica. Noviembre 2000.

Periodo / Tasa	PPN (gC / m ² d)	PPB (gC / m ² d)	Rsp (gC / m ² d)
q2	5.24	7.87	2.63
q3	10.07	-8.26	-18.33
Variación	4.83	-16.13	-20.96
q2 + q3	7.61	-0,04	-7.65

Para PPN se obtuvieron valores positivos para ambas incubaciones sin embargo, cada uno es producto de procesos diferentes por cuanto durante q2, PPB es superior a Rsp mientras que, el valor PPN durante q3 es producto de la resta de valores negativos de Rsp y PPB, teniendo como consecuencia que la variación de PPN aparezca como un aumento con respecto al tiempo.

La ponderación de la integración de ambos perfiles de incubación q2+q3, mostró una PPN positiva producto de una Rsp negativa que sumo a una PPB negativa y cercana al cero:

- **PPN:** 7,61 gC/m²d (2780,5 gC/m²a); con un ámbito de 5,24 a 10,07 gC/m²d, para un aumento de 4,83 gC/m²d entre q2 y q3.
- **PPB:** -0,04 gC/m²d; (-14,7 gC/m²a); con un ámbito de 7,87 a -8,26 gC/m²d, para una disminución de 16,13 gC/m²d entre q2 y q3.

- **Rsp:** $-7,65 \text{ gC/m}^2\text{d}$ ($-2795,2 \text{ gC/m}^2\text{a}$); con un ámbito de 2,63 a $-18,33 \text{ gC/m}^2\text{d}$, para una disminución de $20,96 \text{ gC/m}^2\text{d}$ entre q_2 y q_3 .

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado para el conjunto de datos obtenido en esta segunda fecha de muestreo, detectó una correlación media y positiva entre Rsp y PPN ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La PPB mostró una correlación alta y positiva con la tasa Rsp ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con la temperatura ($n=10$, $r=0,6$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la concentración de faeopigmentos ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La temperatura mostró una correlación alta y positiva con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($\%I_0$) ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$) y con la concentración de silicato ($n=10$, $r=0,9$, $p<0,05$); una correlación media y negativa con la concentración de faeopigmentos y de nitrato ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$); y una correlación alta y negativa con la salinidad, la concentración de clorofila-*a*, la concentración de nitrito ($n=10$, $r=-0,8$, $p<0,05$), y con la concentración de fosfato y la profundidad del perfil de muestreo (z) ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$); para un total de 9 correlaciones.

Por su parte, la salinidad mostró una correlación alta y negativa con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($\%I_0$) y con la concentración de silicato ($n=10$, $r=-0,8$, $p<0,05$); y una correlación alta y positiva con la concentración de clorofila-*a*, de fosfato, de nitrito, de nitrato ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$), y con la profundidad del perfil de muestreo (z) ($n=10$, $r=0,9$, $p<0,05$).

La concentración de clorofila-*a* mostró una correlación media y negativa con la concentración de silicato ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$); una correlación alta y negativa con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($\%I_0$) ($n=10$, $r=-0,8$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con la concentración de fosfato, de nitrito y de nitrato ($n=10$, $r=0,6$, $p<0,05$); y

una correlación alta y positiva con la profundidad del perfil de muestreo en la columna de agua (z) ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$).

Para la concentración de fosfato, además de su correlación con la temperatura, la salinidad y la concentración de clorofila-*a*, se detectó una correlación alta y positiva con la concentración de nitrito, nitrato y la profundidad del perfil de muestreo (z) ($n=10$, $r=0,9$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la concentración de silicato ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La concentración de silicato mostró una correlación alta y negativa con la concentración de nitrito ($n=10$, $r=-0,8$, $p<0,05$); una correlación alta y positiva con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la concentración de faeopigmentos ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

Por otra parte, la concentración de materia en suspensión no mostró correlación con ninguno de los parámetros ambientales evaluados.

6. Variación de la productividad primaria y respiración entre las épocas de muestreo

Al comparar los resultados obtenidos de la integración del perfil de incubación según el periodo, se observó una disminución tanto de PPB como de Rsp; así como un aumento de PPN en mayo y noviembre (Cuadro 3.5 y 3.10). En cuanto al valor de la variación, este es mayor en octubre tanto para productividad como para respiración.

Al comparar la ponderación de la integración del perfil de incubación del periodo total q_2+q_3 para cada una de las fechas, se observó durante octubre, un aumento de PPN en $3,74 \text{ gC/m}^2\text{d}$, y una disminución de PPB en $7,99 \text{ gC/m}^2\text{d}$ y de Rsp en $-1,78 \text{ gC/m}^2\text{d}$ (Cuadro 3.11).

En el sitio Punta Voladera, Bahía Golfito, el promedio de PPN fue de $5,74 \text{ gC/m}^2\text{d}$, el de PPB fue de $3,96 \text{ gC/m}^2\text{d}$, y el de Rsp fue de $-1,78 \text{ gC/m}^2\text{d}$.

Cuadro 3.11. Integración del perfil de incubación en la columna de agua, con cinco puntos de muestreo en mayo y noviembre, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Punta Voladera, Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. 2000.

Mes	May-00	Nov-00	May-Nov-00	Promedio
	q2+q3	q2+q3	Variación	
PPN (g C / m ² d)	3.87	7,61	3,74	5,74
PPB (g C / m ² d)	7,95	-0,04	-7,99	3,96
Rsp (g C / m ² d)	4.08	-7,65	-11,73	-1,78

7. Variación de otros parámetros ambientales entre las épocas de muestreo

La comparación de los valores promedio del periodo total de muestreo q2+q3 para los parámetros ambientales indicó que, disminuyeron la temperatura, en 2,3°C, la salinidad en 1,2 ups, la clorofila-*a* en 0,83 mg/m³ y la altura de la marea alta en 15cm, cuyo valor no es un promedio (Cuadro 3.12).

Cuadro 3.12. Variación con respecto a la época de muestreo, de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica con cinco puntos de muestreo en mayo y noviembre. Golfito, Golfo Dulce, Costa Rica. Mayo y noviembre 2000.

Sitio 3	Fecha		
	10-May-00	22-Nov-00	May - Nov.00
Característica	Promedio	Promedio	Variación
Temp. (°C)	30.7	28.4	-2.3
Salinidad (ups)	28.7	27.5	-1.2
M. S. (mg/L)	11.22	159.73	148.51
Cl-a (mg/m ³)	1.74	0.91	-0.83
Faeop. (mg/m ³)	0.48	0.56	0.08
Fosfatos (μmol/L)	0.30	0.34	0.04
Silicatos (μmol/L)	0.06	14.78	14.72
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.04	0.1	0.06
Nitratos (μmol/L)	0.24	1.06	0.82
O.D. (mg/L)	6.49	7.02	0.53
% Saturación	113.0	118.2	5.2
Marea (cm)	259	244	-15
hora	07:41	11:59	
Marea (cm)	24	30	6

hora	13:45	18:02	
Secchi (m)	2.2	4	1.8
Fondo (m)	10.3	10.6	0.3
T. Incubado (h)	4.83	5.24	0.41

Entre los parámetros que aumentaron están: la concentración de materia en suspensión, en 148,51 mg/L, y la de feopigmentos en 0,08 mg/m³.

En cuanto a los nutrientes, el fosfato aumentó en 0,04 µmol/L y el silicato en 14,72 µmol/L. El nitrógeno como nitrito aumentó en 0,06 µmol/L y como nitrato en 0,82 µmol/L mientras que, como amonio no fue posible detectarlo en ninguna de las fechas de muestreo.

La concentración promedio de oxígeno disuelto, en el perfil de muestreo aumentó de mayo a noviembre en 0,53 mg/L y el porcentaje de saturación en 5,2. La profundidad del disco de Secchi aumentó en 1,8m y el tiempo de incubación total, que no se expresa como promedio, fue mayor en noviembre en 0,41 hora, lo que corresponde a 24,6 minutos (Cuadro 3.12).

8. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado para el conjunto de datos obtenido para ambas fechas de muestreo, detectó una correlación media y negativa entre Rsp y PPN ($n=20$, $r=-0,7$, $p<0,05$); y una correlación baja y negativa entre Rsp y la concentración de fosfato ($n=10$, $r=-0,5$, $p<0,05$).

La PPB mostró una correlación alta y positiva con la tasa Rsp ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$); una correlación media y negativa con la concentración de fosfato ($n=20$, $r=-0,7$, $p<0,05$); y una correlación baja y negativa con la concentración de feopigmentos ($n=20$, $r=-0,5$, $p<0,05$).

La salinidad mostró una correlación media y negativa con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($n=19$, $r=-0,7$, $p<0,05$); y una correlación baja y positiva con la concentración de clorofila-*a* y la concentración de nitrito ($n=19$, $r=0,5$, $p<0,05$).

La temperatura mostró una correlación baja y negativa con la concentración de nitrato ($n=18$, $r=-0,1$, $p<0,05$) y la concentración de nitrito

($n=18$, $r=-0,3$, $p<0,05$); y una correlación baja y positiva con la concentración de materia en suspensión ($n=19$, $r=0,1$, $p<0,05$).

La concentración de clorofila-*a* mostró una correlación alta y negativa con la concentración de materia en suspensión ($n=20$, $r=-0,8$, $p<0,05$); y una correlación baja y negativa con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($\%I_0$) ($n=20$, $r=-0,5$, $p<0,05$).

La concentración de nitrito mostró una correlación de alta y positiva con la concentración de nitrato ($n=20$, $r=0,9$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con la concentración de fosfato ($n=20$, $r=0,7$, $p<0,05$); una correlación baja y positiva con la concentración de faeopigmentos ($n=20$, $r=0,5$, $p<0,05$); y una correlación baja y negativa con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($n=20$, $r=-0,5$, $p<0,05$).

La concentración de nitrato mostró una correlación alta y positiva con la concentración de fosfato ($n=20$, $r=0,8$, $p<0,05$).

Discusión

1. Productividad

El valor promedio de productividad primaria neta (PPN) obtenido en el sitio GDC (Punta Voladera), Bahía Golfito, fue de $5,74 \text{ gC/m}^2\text{d}$ (Cuadro 3.11), y lo colocó como el de mayor productividad primaria entre los sitios de estudio.

La comparación de las fechas de muestreo, mayo y noviembre, no detectó correlación entre el perfil de productividad primaria y la profundidad de la columna de agua, pero sí entre el perfil de PPN y Rsp ($r=-0,7$, $p<0,05$); así como entre el perfil de PPB y Rsp ($r=0,8$, $p<0,05$).

En el muestreo realizado en mayo, la tasa máxima de Rsp se ubicó al $46\% I_0$, en donde fue mínima la tasa de PPN, y la tasa mínima de Rsp se ubicó al $26\% I_0$ en donde fue máxima la tasa de PPN (Cuadro 3.4).

En el muestreo realizado en noviembre, la ubicación de la tasa mínima de Rsp coincidió exactamente, con la ubicación de la tasa máxima de PPN, no así la tasa máxima de Rsp, que se ubicó al $92\% I_0$ mientras que, la mínima de PPN se ubicó al $10\% I_0$. (Cuadro 3.9).

En cuanto a la correlación alta positiva entre PPB y Rsp, ésta reflejó la coincidencia en la ubicación de la tasa máxima y mínima de ambos perfiles, en ambas fechas, aunque menos fuerte durante noviembre (Cuadro 3.4 y 3.9).

Se detectó la correlación entre el perfil de PPB y el perfil de concentración de faeopigmentos ($r=-0,5$, $p<0,05$); así como con el perfil de concentración de fosfato ($r=-0,7$, $p<0,05$). Sin embargo, al observar la variación de estos perfiles, la relación negativa entre PPB y la concentraciones de faeopigmentos no es tan clara, aunque sí un poco más fuerte con la variación del perfil de concentración de fosfato. El valor promedio del perfil de concentración de faeopigmentos y fosfato aumentó mientras que, el promedio del perfil de PPB disminuyó (Cuadro 3.3, 3.4, 3.8 y 3.9).

El perfil de Rsp, mostró una correlación baja y negativa con el perfil de concentración de fosfato ($r=-0,5$, $p<0,05$), y al igual que la relación entre PPB y la concentración de fosfato, esta se presentó como débil, sugiriendo una zona de ubicación inversa, más que una ubicación exacta. El valor promedio de Rsp disminuyó cuando la concentración promedio de fosfato aumentó (Cuadro 3.3, 3.4, 3.8 y 3.9).

En cuanto a la integración de los perfiles por fecha de muestreo, se observó la disminución de PPB y de Rsp, y un aumento de PPN entre mayo y noviembre, lo cual concuerda con la correlación positiva para los perfiles de PPB y Rsp (Cuadro 3.11).

La comparación de los periodos de incubación para una misma fecha, mostró en el mes de mayo, una correlación semejante entre PPN y Rsp, PPB y Rsp a la detectada en la comparación entre fechas. Se detectó, además, una correlación media y negativa entre PPB y PPN, la cual concuerda con las correlaciones anteriores.

Durante la incubación en q3, se produjo la disminución en el ámbito de variación y en el promedio de PPB y Rsp. El promedio de PPN aumentó en q3 mientras que, el ámbito de variación disminuyó (Cuadro 3.4).

La integración del perfil de incubación mostró la disminución de PPB, y de Rsp que prácticamente no fue detectada, con el consecuente aumento de PPN. La ponderación de ambas integraciones dio como resultado una PPB que duplicó a la tasa de Rsp (Cuadro 3.5 q2+q3).

En el mes de noviembre, se mantuvo la correlación positiva, observada en mayo, entre PPB y Rsp, y la correlación negativa entre PPN y Rsp. Se detectó además, una correlación negativa entre el perfil de PPB y el perfil de concentración de faeopigmentos, y una correlación positiva entre PPB y el perfil de temperatura.

Estas correlaciones parecen reflejar el aumento en la variación y la disminución del valor promedio del perfil de PPB durante q3, semejante al cambio del perfil de temperatura mientras que, el perfil de faeopigmentos disminuyó la variación y aumentó la concentración promedio (Cuadro 3.8 y 3.9).

La integración de los perfiles de cada incubación, mostró al igual que en mayo, una disminución de PPB y Rsp durante q3 acompañado por un aumento de PPN. La ponderación de la integración, mostró una tasa de PPB que apenas pudo ser detectada, por lo que el dato de PPN es el resultado de la suma de la ponderación de Rsp (Cuadro 3.11).

Encontramos en el sitio de muestreo GDC (Punta Voladera), Bahía Golfito, que la productividad primaria es diferente a lo largo de la columna de agua, y no está relacionada con la profundidad; así como también es diferente la productividad entre las fechas de muestreo, siendo mayor en noviembre que en mayo; y mayor en el periodo de incubación q3 en ambas fechas.

2. Parámetros físico-químicos

La comparación de las fechas de muestreo, detectó una correlación positiva entre la profundidad del perfil de muestreo y la variación en el perfil de concentración de nitrato, nitrito, fosfato, faeopigmentos y el perfil de salinidad; y a su vez estos se correlacionaron entre sí positivamente.

En ambas fechas estos parámetros ubicaron su valor máximo en el punto de muestreo más profundo, y el valor mínimo a una menor profundidad, algunas veces con una ubicación contigua. Se observó una excepción en el perfil de concentración de fosfato durante el mes de mayo en el periodo q2, con la concentración máxima ubicada en la superficie, pero que durante q3 descendió hasta el fondo del perfil de muestreo (Cuadro 3.3 y 3.8).

Por otra parte, la variación en la cantidad de luz incidente ($\% I_0$), mostró una correlación negativa con la variación del perfil de salinidad, y de concentración de nitrito y clorofila-a; y una correlación positiva con la variación del perfil de concentración de silicato. A su vez, la variación en el perfil de salinidad, silicato y clorofila-a se correlacionaron entre sí de manera consecutiva.

Estas correlaciones con $\% I_0$, sumaron al parámetro de clorofila-a las observadas con la variación del perfil de profundidad, mostrando la ubicación de su concentración máxima en el punto con menor porcentaje de luz incidente y la concentración mínima siempre en el punto superficial (Cuadro 3.3 y 3.8).

La variación del perfil de concentración de clorofila-a mostró una correlación negativa con la variación del perfil de concentración de MS, evidenciando que en mayo, la concentración de MS fue mínima en el fondo del perfil cuando la concentración de clorofila-a fue máxima (Cuadro 3.3, q2+q3); y que en noviembre, la concentración de MS fue máxima en la superficie cuando la concentración de clorofila-a fue mínima (Cuadro 3.8, q2+q3).

Entre el muestreo de mayo y el de noviembre la profundidad de Secchi aumentó en promedio 1,8m, y esta variación mostró una correlación positiva con la variación del perfil de faeopigmentos cuyo promedio aumentó en 0,08 mg/m^3 y con el aumento de 148.51 mg/L en el promedio de concentración de MS.

El perfil de temperatura no mostró correlación con los otros parámetros; por cuanto presentó en mayo una distribución irregular, con un

valor máximo que se ubicó por arriba y por debajo del punto en donde se ubicó el valor mínimo; y en noviembre por el contrario, mantuvo en ambos periodos la misma distribución, con el valor máximo en la superficie y el valor mínimo en el fondo del perfil de muestreo.

La comparación de una misma fecha de muestreo, detectó en mayo, una correlación positiva entre la disminución en la profundidad de Secchi, de 0,20m entre q2 y q3 (Cuadro 3.1 y 3.2), con la disminución en el valor promedio del perfil de PPB, salinidad y de concentración de MS; y una correlación negativa con el aumento en el promedio del perfil de concentración de fosfato (Cuadro 3.3 y 3.4).

El promedio del perfil de concentración de fosfato aumentó entre q2 y q3 y mostró una correlación negativa con la disminución en el promedio del perfil de PPB y Rsp; y una correlación positiva con el aumento en la concentración de nitrato.

El aumento entre q2 y q3, del promedio del perfil de temperatura mostró una correlación negativa con la disminución en el promedio del perfil de PPB.

La profundidad del perfil de muestreo (z), mostró una correlación positiva con la variación del perfil de concentración de clorofila-a, de nitrito y nitrato. Estos tres parámetros mantuvieron en ambos periodos de muestreo la ubicación de la concentración máxima en el punto con mayor profundidad, y la concentración mínima a una menor profundidad, lo cual produjo a su vez, la correlación positiva entre estos parámetros (Cuadro 3.3).

La variación del perfil de concentración de faeopigmentos y de silicato no mostró correlación con ninguna otra durante este muestreo.

El muestreo realizado en noviembre detectó una correlación positiva entre la profundidad del perfil de muestreo y la ubicación de la concentración máxima y mínima de nitrito, nitrato, fosfato, clorofila-a y la salinidad.

El perfil de profundidad mostró una correlación negativa con la ubicación del valor máximo de temperatura y de concentración de silicato, manteniendo en q2 y q3 el valor máximo en la superficie y el valor mínimo al fondo del perfil de muestreo. Este resultado fue congruente con una

correlación positiva entre estos parámetros y la cantidad de luz incidente, así como la correlación positiva detectada entre % I_0 y el perfil de concentración de clorofila-a y salinidad.

El perfil de concentración de faeopigmentos mostró una correlación negativa con el perfil de temperatura, silicato y PPB, lo cual coincidió con el aumento en q3 de la concentración promedio de faeopigmentos y la disminución del promedio en temperatura, concentración de silicato y PPB.

Por su parte la disminución en el promedio de temperatura mostró una correlación positiva con la disminución en el promedio de PPB.

La variación del perfil de concentración de MS no mostró correlación con ninguna otra durante este muestreo.

Encontramos en el sitio de muestreo Punta Voladera (GDC), Bahía Golfito, que la productividad primaria expresada como PPB mostró relación con algunos parámetros físico-químicos.

En mayo, los parámetros físico-químicos de clorofila-a, nitrito y nitrato no mostraron cambio significativo entre los periodos q2 y q3 en cuanto a la ubicación de sus valores máximos y mínimos mientras que, el perfil de fosfato, temperatura, MS y salinidad si fueron diferentes entre los periodos de muestreo.

En noviembre, no se detectó una diferencia significativa de los perfiles entre los periodos de incubación, en cuanto a la variación en la ubicación de los valores mínimos y máximos, no así para los valores promedio de temperatura, faeopigmentos PPB y silicato.

Capítulo 4: Costa Caribe, Bahía Moín

Resultados

I. Sitio: Mar Caribe (MCB) Muestreo 4.1 (Mayo 2000)

1. Perfil de incubación y muestreo en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 8:25AM- 10:45AM)

El primer muestreo en el sitio Bahía Moín identificado en este estudio como MCB, se realizó el 25 de mayo del 2000 (Fig.). La profundidad del disco de Secchi fue de 3,3m y la columna de agua tiene una extensión total de 12,0m mientras que, la zona eufótica abarcó los primeros 8,8m en donde se ubicó el 1% I_0 (Cuadro 4.1).

El periodo de incubación inició a las 8:25AM y se extendió hasta las 10:45AM para una duración de 2,33 horas. El nivel de la marea se encontraba bajando durante todo el periodo de muestreo e incubación.

Con respecto a los resultados obtenidos del muestreo para la caracterización física y química, el perfil de temperatura mostró una columna de agua dividida en dos estratos: desde la superficie hasta el 25% I_0 con 29°C y son 28°C al 10% y 1% I_0 .

La salinidad presentó también dos estratos: superficie con 29 ups y el resto de la zona eufótica con 35 ups.

En cuanto a la materia en suspensión, su concentración máxima se localizó al 1% I_0 , al igual que la concentración máxima de clorofila. Los feopigmentos, por su parte, ubicaron la concentración mínima al 1% y la máxima tanto al 10% I_0 como al 90% I_0 .

La concentración de nutrientes mostró un máximo superficial para el fosfato mientras que el silicato solamente fue detectado en la superficie. El nitrógeno, como nitrito presenta la concentración máxima al 50% I_0 y el nitrato al 1% I_0 mientras que, como amonio no fue detectable en el perfil de muestreo,

La concentración de oxígeno disuelto fue máxima con 7,89 mg/L al 10% I_0 y mínima con 7,34 mg/L al 90% I_0 .

Producto de la primera incubación en el segundo quinto del día (q2), se obtuvo para Rsp valores que superaron a PPB en todos los puntos del perfil de incubación, la cual incluso presentó con valores negativos al nivel de superficie, 10% I₀ y 1% I₀ (Cuadro 4.1).

La relación entre PPB y Rsp establecida con estas características provocó que, PPN fuera negativa en todo el perfil de incubación en la zona eufótica de la columna de agua.

Cuadro 4.1. Caracterización física y química de las condiciones prevalecientes durante la primera incubación (q2: 8:25AM-10:45AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (90%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Mayo 2000.

Sitio 4	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	Ti (min:seg)	Tf (min:seg)	ΔT (h)
MCB	4.1	25-May-00	2	08:25	10:45	2,33 h
Característica						Promedio
%I ₀	90	50	25	10	1	
Z (m)	0.2	1.3	2.6	4.4	8.8	
PPN (mgC/m ³)	-338.5	-254.5	-301.5	-1024.5	-467.8	-477.36
PPB (mgC/m ³)	-6.9	6.7	76.9	-226.9	-220.2	-74.08
Rsp (mgC/m ³)	331.6	261.2	378.4	797.6	247.6	403.28
Temp. (°C)	29,0	29,0	29,0	28,0	28,0	28.6
Salinidad (ups)	29,0	35,0	35,0	35,0	35,0	33.8
M. S. (mg/L)	8.03	8.17	7.69	8.09	15.00	9.396
Cl-a (mg/m ³)	0.42	0.21	0.42	0.42	0.56	0.406
Feop. (mg/m ³)	0.72	0.36	0.43	0.72	0.38	0.522
Fosfatos (μmol/L)	0.38	0.14	0.05	nq	0.13	0.175
Silicatos (μmol/L)	14.72	nst	nst	nq	nst	2,94
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.12	0.14	0.12	nq	0.08	0.112
Nitratos (μmol/L)	1.44	1.63	0.87	nq	1.85	1.418
O.D. (mg/L)	7,34	7,47	7,65	7,89	7,38	7,55
% Saturación	124,4	130,9	134,0	135,5	126,8	130,3
Marea (cm)	229	64				
hora	07:41	13:45				
Secchi (m)	3,3					
Fondo (m)	12,0					

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 12:02PM- 2:16PM)

Para la incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3), se obtuvo una profundidad de Secchi de 5,0m, lo cual amplió la zona eufótica a los primeros 10,0m de la columna de agua, la cual poseía una profundidad total de 12,0m.

La duración de este segundo periodo fue de 2,23 horas, iniciando a las 12:02PM y finalizando a las 2:16PM (Cuadro 4.2). En cuanto al nivel de marea, esta se encontraba bajando hasta las 13:45 PM por lo que el muestreo se realizó mientras la marea bajaba, y parte de la incubación se realizó mientras la marea subía.

El perfil de temperatura en q3, mostró la desaparición de la estratificación observada durante q2, con un aumento en todos los puntos de muestreo. El valor de salinidad en superficie se igualó con el resto de los puntos del perfil de muestreo aumentando hasta 35 ups.

La concentración de materia en suspensión mantuvo su valor máximo al 1% I_0 y el perfil de clorofila a, casi homogéneo en toda la zona eufótica presentó también su valor máximo al 1% I_0 . Los feopigmentos presentaron su concentración mínima al 10% I_0 y la máxima se ubicó en superficie y 50% I_0 .

En cuanto a la distribución de los nutrientes, tanto fosfato como silicato disminuyeron su concentración en superficie y prácticamente fueron no detectables en el resto de la zona eufótica (Anexo Límites de detección).

Producto de esta segunda incubación los resultados obtenidos para Rsp, mostraron un perfil totalmente negativo, situación opuesta a la registrada en q2 (Cuadro 4.2).

Por su parte el perfil de PPB, aunque presentó valores negativos en los puntos extremos de la zona eufótica, su menor valor absoluto con respecto a los de Rsp, condujo a un perfil de PPN positivo en todos los puntos.

Cuadro 4.2. Caracterización física y química de las condiciones prevalentes durante la segunda incubación (q3: 12:02PM-2:16PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (93%, 50%, 25%, 10% y 3% I₀) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Mayo 2000.

Sitio 4	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	Ti (min:seg)	Tf (min:seg)	ΔT (h)
MCB	4.1	25-May-00	3	12:02	14:16	2,23
Característica						Promedio
%I ₀	93	50	25	10	3	
Z (m)	0.2	2.0	4.0	6.7	10.0	
PPN (mgC/m ³)	275.0	357.8	116.3	165.1	151.2	213.1
PPB (mgC/m ³)	-55.0	103.1	68.7	54.9	-0.3	34.28
Rsp (mgC/m ³)	-330.0	-254.7	-47.6	-110.2	-151.5	-178.8
Temp. (°C)	29.5	29.0	29.0	29.0	29.0	29.1
Salinidad (ups)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
M. S. (mg/L)	6.99	6.54	6.79	7.11	8.88	7.26
Cl-a (mg/m ³)	0.29	0.27	0.21	0.21	0.58	0.31
Feop (mg/m ³)	0.48	0.48	0.36	0.19	0.38	0.38
Fosfatos (μmol/L)	0.05	nd	nd	nd	0.08	0.06
Silicatos μmol/L)	NST	NST	NST	NST	NST	nd
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.14	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12
Nitratos (μmol/L)	0.64	0.74	0.52	0.45	0.59	0.59
O.D. (mg/L)	6.59	6.63	6.66	6.46	6.33	6.53
% Saturación	116.6	116.1	116.7	113.2	110.9	114.7
Marea (cm)	229	64				
hora	07:41	13:45				
Secchi (m)	5.0					
Fondo (m)	12.0					

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación (Cuadro 4.3)

2.1 Temperatura

La distribución de los valores de temperatura en q2, presentó un ámbito de 28,0 a 29,5 °C, para una variación de 1 °C, con el valor mínimo ubicado al 10% y 1% I₀ y el máximo al 93% I₀. En promedio la temperatura fue de 28,6 °C.

En q3, el ámbito fue de 29,0 a 29,5 °C, para una variación de 0,5 °C, con el valor mínimo abarcando desde el 50% hasta el 3% I_0 y la máxima se ubicó al 93% I_0 . En promedio la temperatura fue de 29,1° C.

La consideración del periodo total q2+q3, tuvo un ámbito de 28,0 a 29,5 °C, para una variación de 1,5 °C, con el valor mínimo ubicado al 10% y 1% I_0 durante q2 y el máximo al 93% I_0 durante q3. En promedio la temperatura fue de 28,9 °C.

2.2 Salinidad

El perfil de salinidad en q2 presentó un ámbito de 29,0 a 35,0 ups, para una variación de 6 ups, con el valor mínimo ubicado al 90% I_0 y el máximo abarcó desde el 50% hasta el 1% I_0 . El promedio fue de 34,0 ups.

Durante q3 se obtuvo en todo el perfil un único valor de 35 ups por lo que la variación reportada proviene del muestreo realizado en q2. El valor promedio para q2+q3 fue de 34,5 ups.

2.3 Materia en suspensión

La concentración de MS en q2, presentó un ámbito de 7,69 a 15,00 mg/L, para una variación de 7,31 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 25% I_0 y la máxima al 1% I_0 . En promedio, hubo en la zona eufótica 9,40 mg/L de MS.

Durante q3 el ámbito de concentración fue de 6,54 a 8,88 mg/L, para una variación de 2,34 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 50% I_0 y la máxima al 3% I_0 . El promedio de MS en la zona eufótica fue de 7,26 mg/L.

Para el periodo total q2+q3, el ámbito osciló entre 6,54 y 15,00 mg/L, para una variación de 6,00 mg/L, con la concentración mínima ubicada al 50% I_0 durante q3 y la máxima al 1% I_0 durante q2. El promedio total fue de 8,33 mg/L.

2.4 Clorofila-a

El primer muestreo en q2, la clorofila-a mostró un ámbito de concentración entre 0,21 y 0,56 mg/m³, para una variación de 0,35 mg/m³,

con la concentración mínima ubicada al 50% I_0 y la máxima al 1% I_0 . El promedio de concentración en la zona eufótica fue de $0,41 \text{ mg/m}^3$.

El segundo muestreo en q3, mostró un ámbito de concentración entre $0,21$ y $0,58 \text{ mg/m}^3$, para una variación de $0,37 \text{ mg/m}^3$, con la concentración mínima ubicada al 25% y 10% I_0 y la máxima al 3% I_0 . El promedio de concentración fue de $0,31 \text{ mg/m}^3$.

Para el periodo total q2+q3, el ámbito osciló entre $0,21$ y $0,58 \text{ mg/m}^3$, para una variación de $0,37 \text{ mg/m}^3$, con la concentración mínima ubicada al 50% I_0 durante q2 y la máxima al 3% I_0 durante q3. El promedio total fue de $0,36 \text{ mg/m}^3$.

2.5 Feopigmentos

Su concentración en q2 tuvo un ámbito entre $0,36$ y $0,72 \text{ mg/m}^3$, para una variación de $0,36 \text{ mg/m}^3$, con el valor mínimo ubicado al 50% y el máximo al 90% y 10% I_0 . La concentración promedio de feopigmentos fue de $0,52 \text{ mg/m}^3$.

El perfil de concentración en q3 proporcionó un ámbito de $0,19$ a $0,48 \text{ mg/m}^3$, para una variación de $0,29 \text{ mg/m}^3$, con el valor mínimo ubicado al 10% y el máximo al 93% y 10% I_0 . La concentración promedio de feopigmentos fue de $0,52 \text{ mg/m}^3$.

Para el periodo total de muestreo q2+q3 el ámbito fue de $0,19$ a $0,72 \text{ mg/m}^3$, para una variación de $0,53 \text{ mg/m}^3$, con el valor mínimo ubicado al 10% durante q3 y el máximo al 90% y 10% I_0 durante q2. La concentración promedio total fue de $0,45 \text{ mg/m}^3$.

Cuadro 4.3. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrimentos y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2: 90%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0 , q3: 93%, 50%, 25%, 10%, 3% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Mayo 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Periodo	q2		q3		q2q3	
Ámbito	28.0	29.0	29.0	29.5	28.0	29.5
Ubicación % I_0	10 y 1	90, 50 y 25	50, 25, 10 y 3	93	10 y 1	93

Variación	1		0.5		1.5	
Promedio	28.6		29.1		28.9	
2.2 Salinidad (ups)						
Período	q2		q3		q2q3	
Ámbito	29	35	35		29	35
Ubicación %lo	90	50, 25, 10 y 1	93, 50, 25, 10 y 3		90	93... 3
Variación	6		0		6	
Promedio	33.8		35		34.5	
2.3 Materia en suspensión (mg / L)						
Período	q2		q3		q2q3	
Ámbito	7.69	15.00	6.54	8.88	6.54	15.00
Ubicación %lo	25	1	50	3	50	1
Variación	7.31		2.34		6.00	
Promedio	9.40		7.26		8.33	
2.4 Clorofila- a (mg / m³)						
Período	q2		q3		q2q3	
Ámbito	0.21	0.56	0.21	0.58	0.21	0.58
Ubicación %lo	50	1	25 y 10	3	50	3
Variación	0.35		0.37		0.37	
Promedio	0.41		0.31		0.36	
2.5 Feopigmentos (mg / m³)						
Período	q2		q3		q2q3	
Ámbito	0.36	0.72	0.19	0.48	0.19	0.72
Ubicación %lo	50	90 y 10	10	93 y 50	10	90 y 10
Variación	0.38		0.29		0.53	
Promedio	0.52		0.38		0.45	
2.6 Fosfato (µmol / L)						
Período	q2		q3		q2q3	
Ámbito	0.05	0.38	0.05	0.08	0.05	0.38
Ubicación %lo	25	90	93	3	93 y 25	90
Variación	0.33		0.03		0.33	
Promedio	0.18		0.06		0.12	
2.7 Silicato (µmol / L)						
Período	q2		q3		q2q3	
Ámbito	nd	14.72	nd		14.72	
Ubicación %lo	90		nd		90	
Variación	14.72		nd		14.72	
Promedio	2.94		nd		1.47	
2.8 Nitrito (µmol / L)						
Período	q2		q3		q2q3	
Ámbito	0.08	0.14	0.1	0.14	0.08	0.14
Ubicación %lo	1	50	25 y 3	93	1	93
Variación	0.06		0.04		0.06	

Promedio	0.11		0.12		0.11	
2.9 Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)						
Periodo	q2		q3		q2q3	
Ámbito	0.87	1.85	0.45	0.74	0.45	1.85
Ubicación %I ₀	25	1	10	50	10	1
Variación	0.98		0.29		1.40	
Promedio	1.42		0.59		1.00	
2.10 Oxígeno disuelto (mg/L)						
Periodo	q2		q3		q2q3	
Ámbito	7.34	7.65	6.33	6.66	6.33	7.65
Ubicación %I ₀	1	25	3	25	3	25
Variación	0.31		0.33		1.32	
Promedio	7.55		6.53		7.04	

2.6 Fosfato

En el primer muestreo, la concentración del ión ortofosfato osciló entre 0,05 y 0,38 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,33 $\mu\text{mol/L}$, con la mínima ubicada al 25% I₀ y la máxima al 90% I₀. El promedio fue de 0,12 $\mu\text{mol/L}$.

Al igual que los anteriores parámetros, el fosfato disminuyó su concentración en q3, el ámbito fue de 0,05 y 0,08 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,03 $\mu\text{mol/L}$, con la mínima ubicada al 93% I₀ y la máxima al 1% I₀. El promedio fue de 0,06 $\mu\text{mol/L}$.

El periodo total de muestreo q2+q3 presentó un ámbito de variación semejante al obtenido durante el periodo q2, para un promedio total de 0.12 $\mu\text{mol/L}$.

2.7 Silicato

Este nutrimento fue detectado solamente en el muestro realizado en q2, con una concentración de 14,72 $\mu\text{mol/L}$ al 90% I₀.

2.8 Nitrito

La concentración de nitrito en q2 presentó un ámbito entre 0,08 y 0,14 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,06 $\mu\text{mol/L}$, con la mínima ubicada al 1% I₀ y la máxima al 50% I₀. En promedio hubo, en el perfil de muestreo 0,11 $\mu\text{mol/L}$.

Con el muestreo en q3 se obtuvo un ámbito de concentración que osciló entre 0,10 y 0,14 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,04 $\mu\text{mol/L}$, con la mínima ubicada al 25% y 3% I_0 y la máxima al 93% I_0 . La concentración promedio fue de 0,12 $\mu\text{mol/L}$.

El ámbito de variación total q2+q3, fue semejante al obtenido durante q2, para un promedio de 0,11 $\mu\text{mol/L}$.

2.9 Nitrato

El perfil de concentración en q2 para el nitrato, presentó un ámbito de 0,87 a 1,85 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,98 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 25% I_0 y la máxima al 1% I_0 . En promedio la concentración fue de 1,42 $\mu\text{mol/L}$.

En q3 el ámbito fue de 0,45 a 0,74 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,29 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 10% I_0 y la máxima al 50% I_0 . La concentración promedio fue de 0,59 $\mu\text{mol/L}$.

Para la totalidad del periodo muestreado q2+q3, el ámbito de concentración de nitrato fue de 0,45 a 1,85 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 1,40 $\mu\text{mol/L}$, con la concentración mínima ubicada al 10% I_0 durante q3 y la máxima al 1% I_0 durante q2. El promedio total fue de 0,59 $\mu\text{mol/L}$.

2.10 Oxígeno disuelto

El muestreo en q2 presentó un ámbito de concentración entre 7,34 y 7,65 mg/L, para una variación de 0,31mg/L, con la mínima ubicada al 1% y la máxima al 25% I_0 . El promedio de oxígeno disuelto fue de 7,55 mg/L.

El perfil obtenido en q3 tuvo un ámbito entre 6,33 y 6,66 mg/L, para una variación de 0,33mg/L, con la mínima ubicada al 3% y la máxima al 25% I_0 . El promedio de oxígeno disuelto disminuyó a 6,53 mg/L.

Para el periodo total q2+q3 el ámbito osciló entre 6,33 y 7,65 mg/L, para una variación de 1,32 mg/L, con la mínima ubicada al 3% durante q3 y la máxima al 25% I_0 durante q2. El promedio total fue de 7,04mg/L.

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación (Cuadro 4.4)

La productividad primaria bruta en q2, presentó un ámbito de -226,9 a 76,9 mgC/m³, para una variación de 303,8 mgC/m³, con PPB mínima al 10% I₀ y máxima al 25% I₀. PPB promedio fue de -74,1 mgC/m³.

Los resultados obtenidos en q3, mostraron un ámbito de -55,0 a 103,1 mgC/m³ para una variación de 158,1 mgC/m³, con PPB mínima ubicada al 93% I₀ y máxima al 50% I₀. El promedio aumentó a 34,3 mgC/m³.

Si consideramos ambos periodos de incubación q2+q3 el cual acumula 4,56 horas, el ámbito osciló entre -226,9 y 103,1 mgC/m³, para una variación de 330 mgC/m³, con el valor mínimo ubicado al 10% I₀ durante q2 y el máximo al 50% I₀ durante q3. El promedio total fue de -19,9 mgC/m³.

3.2 Variación de la Respiración (Rsp) en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2 presentó un ámbito entre 247,6 y 797,6 mgC/m³, para una variación de 550 mgC/m³, con Rsp mínima al 1% I₀ y máxima al 10% I₀. El promedio Rsp fue de 403,3 mgC/m³.

Durante q3 el ámbito estuvo entre -330,0 y -47,6 mgC/m³, para una variación de 282,0 mgC/m³, con Rsp mínima al 93% I₀ y máxima al 25% I₀. El promedio fue de -178,8 mgC/m³.

La gran variación de la actividad respiratoria entre ambos quintos queda evidenciada por un ámbito total entre -330,0 y 797,6 mgC/m³, para una variación de 1.127,6 mgC/m³, con un mínimo superficial al 93% I₀ durante q3 y un máximo al 10% I₀ durante q2. El valor promedio fue de 112,2 mgC/m³.

Cuadro 4.4. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2: 90, 50, 25, 10 y 1 % I_0 , q3: 93, 50, 25, 10, y 3% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Mayo 2000.

3.1 PPB (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	-226.6	76.9	-55	103.1	-226.9	103.1
Ubicación % I_0	10	25	93	50	10	50
Variación	303.8		158.1		330	
Promedio	-74.1		34.3		-19.9	
3.2 Rsp (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	247.6	797.6	-330	-47.6	-330	797.6
Ubicación % I_0	1	10	93	25	93	10
Variación	550		282		1127.6	
Promedio	403.3		-178.8		112.2	
3.3 PPN (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	-1024.5	-254.5	116.3	357.8	-1024.5	357.8
Ubicación % I_0	10	50	25	50	10	50
Variación	770		241.5		1382	
Promedio	-477.4		213.1		-132.2	

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

Como consecuencia de la relación entre Rsp y PPB en q2, PPN presentó valores negativos en todo el perfil de incubación, con un ámbito entre -1 024,5 y -254,5 mgC/m³, para una variación de 770,0 mgC/m³, con el valor mínimo ubicado al 10% I_0 y el máximo al 50% I_0 . El valor promedio de PPN fue de -474,4 mgC/m³.

En q3, la relación entre Rsp y PPB proporcionó un perfil de PPN con un ámbito entre 116,3 y 357,8 mgC/m³, para una variación de 241,5 mgC/m³, con PPN mínima ubicada al 25% I_0 y máxima al 50% I_0 . El promedio fue de 213,1 mgC/m³.

Al considerar el periodo del día cubierto por ambos quintos, con 4,56 horas, el ámbito total para PPN fue de -1 024,5 a 357,8 mgC/m³, para una

variación de $1\,382,0\text{ mgC/m}^3$, con PPN mínima ubicada al 10% I_0 durante q2 y máxima al 50% I_0 durante q3. El promedio total fue de $-132,2\text{ mgC/m}^3$.

4. Integración de los perfiles de incubación

De acuerdo con los datos obtenidos para esta primera fecha de muestreo, realizada en mayo, la productividad del fitoplancton (PPB y PPN), presentó una variación diaria pasaron de valores negativos durante q2 a valores positivos durante q3 (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo. (q2: 90, 50, 25, 10 y 1% I_0 , q3: 93, 50, 25, 10, 3 % I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Mayo 2000.

Periodo / Tasa	PPN (g C / m ² d)	PPB (g C / m ² d)	Rsp (g C / m ² d)
q2	-53,12	-10,95	42,17
q3	21,08	4,74	-16,36
Variación	74,22	15,69	-58,53
q2+q3	-16,83	-3,29	13,54

Por su parte Rsp presentó una variación opuesta a la observada para PPB y PPN, pasando de un valor positivo durante q2 a uno negativo durante q3.

La ponderación de la integración de ambos perfiles, suministró valores negativos tanto para PPB como para PPN y una Rsp positiva.

Los resultados obtenidos de la integración de los perfiles q2q3 en el sitio MCB para este muestreo en mayo, mostraron una intensa Rsp y valores negativos para PPN y PPB:

- **PPN:** $-16,83\text{ gC/m}^2\text{d}$ ($-6\,149,3\text{ gC/m}^2\text{a}$); con un ámbito de $-53,12$ a $21,08\text{ gC/m}^2\text{d}$, para un aumento de $74,22\text{ gC/m}^2\text{d}$ entre q2 y q3.
- **PPB:** $-3,29\text{ gC/m}^2\text{d}$ ($-1\,200,4\text{ gC/m}^2\text{a}$); con un ámbito de $-10,95$ a $4,74\text{ gC/m}^2\text{d}$, para un aumento de $15,69\text{ gC/m}^2\text{d}$ entre q2 y q3.
- **Rsp:** $13,54\text{ gC/m}^2\text{d}$ ($4\,948,9\text{ gC/m}^2\text{a}$); con un ámbito de $-16,36$ a $42,17\text{ gC/m}^2\text{d}$, para una disminución de $58,53\text{ gC/m}^2\text{d}$ entre q2 y q3.

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado tomando en cuenta los datos para esta primera fecha de muestreo se obtuvo una correlación alta y negativa entre la tasa Rsp y PPN; y entre Rsp y la profundidad de Secchi ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$), una correlación media y negativa entre Rsp y la temperatura ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$), y una correlación media y positiva entre Rsp y la concentración de nitrato ($n=10$, $r=0,6$, $p<0,05$).

La PPN mostró una correlación baja y positiva con la PPB ($n=10$, $r=0,4$, $p<0,05$); una correlación alta y positiva con la temperatura y la profundidad de Secchi ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la concentración de nitrato ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La temperatura mostró una correlación alta y negativa con la concentración de materia en suspensión ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$); una correlación media y negativa con la concentración de clorofila-a ($n=10$, $r=-0,5$, $p<0,05$); y una correlación alta y positiva con la concentración de nitrito.

La concentración de materia en suspensión mostró una correlación alta y positiva con la concentración de clorofila-a y nitrato ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una concentración media y negativa con la concentración de nitrito ($n=10$, $r=-0,6$, $p<0,05$).

La concentración de fosfato mostró una correlación alta y positiva con la concentración de silicato ($n=10$, $r=0,9$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con la concentración de nitrato ($n=10$, $r=0,6$, $p<0,05$); una correlación alta y negativa con la salinidad ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$).

La concentración de nitrito mostró una correlación media y positiva con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($\%I_0$) ($n=10$, $r=0,7$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la profundidad de la columna de agua (z) ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La concentración de sulfato disueltos fue menor en el fondo de la zona eufótica, desde donde se incrementa hacia alcanzar el máximo al 50% la para disminuir nuevamente en la superficie.

II. Muestreo 4.2 (Octubre 2000)

1. Perfil de incubación en la zona eufótica

1.1 Consideraciones generales del segundo quinto (q2: 8:15 AM- 10:40 AM)

El segundo muestreo en el sitio MCB en Bahía Moín se realizó el 4 de octubre del 2000. La profundidad de Secchi fue de 4,0m y la columna de agua alcanzó una extensión total de 10,7m, con una zona eufótica que abarcaba hasta los 10m donde se ubicó el 1% I_0 .

El periodo de incubación inició a las 8:15AM y finalizó a las 10:40AM, para una duración de 2,42 horas. El nivel de la marea se encontraba bajando hasta la 1:16PM.

Con respecto a los resultados obtenidos del muestreo para la caracterización física y química, el perfil de temperatura mostró una disminución gradual de 1°C entre la superficie y el fondo de la zona eufótica. La salinidad, por el contrario, aumentó su valor con la profundidad, hasta alcanzar un valor constante de 34 ups a partir del 25% I_0 .

La concentración de MS fue mínima en la superficie y máxima en el fondo de la zona eufótica mientras que, la clorofila-a tuvo su concentración máxima en superficie disminuyendo con la profundidad hasta un mínimo ubicado al 10% I_0 . La concentración de feopigmentos, al igual que la clorofila-a, decrece con la profundidad hasta alcanzar el valor mínimo al 10% I_0 , pero con un valor máximo al 1% I_0 .

En cuanto a los nutrimentos, la concentración de fosfato disminuyó desde la superficie hasta el 10% I_0 , con un máximo que sucede al 1% I_0 . El silicato, por el contrario, presentó su concentración máxima en superficie y luego disminuye continuamente con la profundidad hasta un valor mínimo al 1% I_0 .

Durante q2, el nitrito no fue detectado en ningún punto del perfil de muestreo en la zona eufótica (Anexo límites de detección). El nitrato, por su parte, tuvo un máximo superficial y un mínimo al 25% I_0 .

La concentración de oxígeno disuelto fue mínima en el fondo de la zona eufótica, desde donde se incrementa hasta alcanzar el máximo al 50% I_0 para disminuir nuevamente en la superficie.

Producto de la incubación en q2, se obtuvo para Rsp, un perfil negativo, con excepción del valor al 1% I₀. (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Caracterización física y química de las condiciones prevalentes durante la primera incubación (q2: 8:15AM-10:40AM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Octubre 2000.

Sitio 4	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	Ti (min:seg)	Tf (min:seg)	ΔT (h)
MCB	4.2	04-Oct-00	2	08:15	10:40	2,42
Característica						Promedio
%I ₀	92	50	25	10	1	
Z (m)	0.2	1.6	3.2	5.4	10.0	
PPN (mgC/m ³)	149.6	31.4	12.6	11.9	-24.3	36.2
PPB (mgC/m ³)	43.5	24.8	-62.4	-37.4	-6.2	-7.5
Rsp (mgC/m ³)	-106.1	-6.5	-75.0	-49.3	18.1	-43.8
Temp. (°C)	30.0	30.0	29.5	29.5	29.0	29.6
Salinidad (ups)	31.5	32.0	34.0	34.0	34.0	33.1
M. S. (mg/L)	6.76	10.95	7.55	7.95	12.86	9.21
Cl-a (mg/m ³)	1.53	1.41	1.41	1.18	1.23	1.35
Feop. (mg·m ³)	0.88	0.64	0.65	0.29	0.98	0.69
Fosfatos (μmol/L)	0.12	0.10	0.10	0.06	0.15	0.11
Silicatos (μmol/L)	14.87	10.07	9.15	6.83	5.06	9.2
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitratos (μmol/L)	0.30	0.12	0.07	nd	0.15	0.16
O.D. (mg/L)	6.57	6.75	6.69	6.61	6.41	6.61
% Saturación	115.1	118.6	117.7	116.4	111.7	115.9
Marea (cm)	250	37				
hora	07:04	13:16				
Secchi (m)	4,0					
Fondo (m)	10.7					

Por su parte, PPB también presentó valores negativos ubicados al 25%, 10% y 1% I₀. De acuerdo con estas características de los valores para Rsp y PPB se obtuvo un perfil positivo para PPN cuyos valores son mayores a los valores positivos de PPB, con excepción del valor negativo obtenido al 1% I₀.

1.2 Consideraciones generales del tercer quinto (q3: 11:38PM- 2:00PM)

Los resultados obtenidos para la incubación consecutiva realizada en el tercer quinto del día (q3) mostraron una profundidad de Secchi de 4,0m, semejante a la obtenida en q2, por lo que la zona eufótica mantuvo su extensión hasta los primeros 10,0m de la columna de agua, con un fondo a 10,7m (Cuadro 4.7).

La duración de este segundo periodo de incubación fue de 2,37 horas, iniciando a las 11:38AM y finalizando a las 2:00PM, lo que provocó que cerca de la mitad del periodo transcurriera mientras la marea empezaba a subir.

El perfil de temperatura mostró un aumento de 1°C con respecto al promedio de q2, y la desaparición de los estratos con límite en la mitad de la zona eufótica.

El perfil de salinidad aumentó su valor con la profundidad y desapareció la zona homogénea a partir del 25% I_0 , y presentó una disminución de 3,3 ups con respecto al promedio de q2.

La concentración de MS también disminuyó su valor promedio en q3 y el valor mínimo se ubicó al 10% I_0 , contiguo al máximo situado al 25% I_0 . La concentración de clorofila-a disminuyó en q3, observándose una distribución en dos estratos, con mayor valor ubicado en la superficie y al 25% I_0 y el de menor valor al 10% y 1% I_0 . La concentración promedio de feopigmentos disminuyó en q3, y se dio el intercambio en la ubicación del valor mínimo y máximo con respecto a lo observado en q2.

El perfil de concentración para fosfato presentó una disminución de los valores detectados en todos los puntos de muestreo, con un mismo valor desde la superficie hasta el 25% I_0 , y mantuvo la ubicación del máximo al 1% I_0 y el mínimo al 10% I_0 .

La concentración promedio de silicato presentó un aumento en q3 debido a que solo disminuyó su concentración en la superficie y la concentración mínima se mantuvo al 1% I_0 .

La determinación de nitrito disuelto no fue posible en todo el perfil de muestreo mientras que, el nitrato presente solo al 25% y 10% I_0 obtuvo una

concentración promedio mayor que la obtenida en q2, cuando estuvo presente en cuatro puntos del perfil de muestreo.

La concentración de oxígeno disuelto aumentó en q3, con el valor máximo en superficie, disminuyendo hasta el 10% en donde se ubicó el valor mínimo, para aumentar al 1% I_0 .

Cuadro 4.7. Caracterización física y química de las condiciones prevalentes durante la segunda incubación (q3: 11:38PM-2:00PM), para el perfil de productividad primaria y respiración con cinco puntos de muestreo (92%, 50%, 25%, 10% y 1% I_0) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón, Costa Rica. Octubre 2000.

Sitio 4	Muestreo	Fecha	Quinto (q)	Ti (min:seg)	Tf (min:seg)	ΔT (h)
MCB	4.2	04-Oct-00	3	11:38	14:00	2,37
Característica						Promedio
% I_0	92	50	25	10	1	
Z (m)	0.2	1.6	3.2	5.4	10.0	
PPN (mgC/m ³)	-0.1	25.0	-105.9	-6.3	-6.2	-18.7
PPB (mgC/m ³)	179.6	137.1	-62.4	-124.9	-56.3	14.6
Rsp (mgC/m ³)	179.7	112.1	43.5	-118.6	-50.1	33.3
Temp. (°C)	30.5	31.0	30.5	30.0	30.5	30.6
Salinidad (ups)	28.0	28.0	31.0	30.0	32.0	29.8
M. S. (mg/L)	8.00	8.40	8.29	6.95	7.95	7.92
Cl-a (mg/m ³)	0.54	NST	0.54	0.47	0.47	0.50
Feop. (mg/m ³)	0.66	NST	0.66	0.84	0.26	0.60
Fosfatos (μmol/L)	0.08	0.08	0.08	0.05	0.09	0.08
Silicatos (μmol/L)	10.32	11.75	10.23	9.66	6.58	9.71
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Nitratos (μmol/L)	nd	nd	0.25	0.32	nd	0.28
O.D. (mg/L)	7.48	7.37	7.35	7.19	7.33	7.34
% Saturación	129.9	129.1	129.6	124.9	130.0	128.7
Marea (cm)	250	37				
hora	07:04	13:16				
Secchi (m)	4.0					
Fondo (m)	10.7					

Producto de esta segunda incubación consecutiva, se obtuvo un perfil Rsp positivo desde la superficie hasta el 25% I_0 y negativo al 10% y 1% I_0 , con lo cual el promedio fue positivo para el total del perfil.

Por su parte, el perfil de PPB de nuevo presentó valores negativos al 25%, 10% y 1% I_0 , pero los valores positivos en la parte superior de la zona eufótica experimentaron un aumento tal, que permitió la obtención de un promedio positivo en q3 (Cuadro 4.7).

De acuerdo con los valores obtenidos para PPB y Rsp, el perfil para PPN tuvo solo un valor positivo ubicado al 50% I_0 y un promedio negativo durante q3.

2. Variación de los parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación

(Cuadro 4.8)

2.1 Temperatura

El perfil de temperatura presentó un ámbito entre 29,0 y 30,0 °C en q2, para una variación de 1,0 °C, con la mínima ubicada en el fondo de la zona eufótica y la máxima al 92% y 50% I_0 . El promedio fue de 29,6 °C.

El resultado del muestreo en q3 mostró un ámbito entre 30,0 y 31,0 °C, para una variación de 1,0 °C, con la mínima ubicada al 10% I_0 y la máxima al 50% I_0 . La temperatura promedio fue de 30,6 °C.

La consideración del periodo total q2+q3, tuvo un ámbito de 29,0 a 31,0 °C, para una variación de 2,0 °C, con el valor mínimo ubicado al 1% durante q2 y el máximo al 50% I_0 durante q3. En promedio la temperatura fue de 30,0 °C.

2.2 Salinidad

En q2, el perfil para salinidad presentó un ámbito entre 31,5 y 34,0 ups, para una variación de 2,5 ups, con el valor mínimo ubicado al 92% I_0 y el máximo al 25%, 10% y 1% I_0 . El promedio fue de 33,1 ups.

En q3 el ámbito fue de 28,0 y 32,0 ups, para una variación de 4,0 ups, con el valor mínimo ubicado al 92% y 50% I_0 y el máximo al 1% I_0 . El promedio fue de 30,6 ups.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de salinidad osciló entre 28,0 y 34,0 ups, para una variación total de 6,0 ups, con el valor

mínimo ubicado al 92% y 50% I_0 durante q3 y el máximo al 25%, 10% y 1% I_0 durante q2. El promedio fue de 31,4 ups.

2.3 Materia en suspensión

En q2, la concentración de MS presentó un ámbito de 6,76 a 12,86 mg/L, para una variación de 6,10 mg/L, con el valor mínimo ubicado al 92% I_0 y el máximo al 1% I_0 . La concentración promedio fue de 9,21 mg/L.

El ámbito de concentración en q3 fue de 6,95 a 8,40 mg/L, para una variación de 1,45 mg/L, con el valor mínimo ubicado al 10% I_0 y el máximo al 50% I_0 . La concentración promedio fue de 7,92 mg/L.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración para MS coincidió con el obtenido durante el muestreo en q2 mientras que, el promedio total fue de 8,57 mg/L.

2.4 Clorofila-a

El muestreo realizado durante q2, dio como resultado un ámbito de concentración para clorofila-a que osciló entre 1,18 y 1,53 mg/m³, para una variación de 0,35 mg/m³, con el valor mínimo ubicado al 10% I_0 y el máximo al 92% I_0 . La concentración promedio fue de 1,35 mg/m³.

Durante q3, el ámbito osciló entre 0,47 y 0,54 mg/m³, para una variación de 0,07 mg/m³, con el valor mínimo ubicado al 10% y 1% I_0 y el máximo al 92% y 25% I_0 . La concentración promedio fue de 0,50 mg/m³.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración para clorofila-a fue de 0,47 a 1,53 mg/m³, para una variación de 1,06 mg/m³, con el valor mínimo ubicado al 10% y 1% I_0 durante q3 y el máximo al 92% I_0 durante q2. La concentración promedio total fue de 0,93 mg/m³.

2.5 Faeopigmentos

La concentración de feopigmentos en el perfil de muestreo durante q2, dio como resultado un ámbito entre 0,29 y 0,98 mg/m³, para una variación de 0,69 mg/m³, con el valor mínimo ubicado al 10% I_0 y el máximo al 1% I_0 . La concentración promedio fue de 0,69 mg/m³.

Durante q3, el perfil presentó un ámbito entre 0,26 y 0,84 mg/m³, para una variación de 0,58 mg/m³, con el valor mínimo ubicado al 1% I₀ y el máximo al 10% I₀. La concentración promedio fue de 0,60 mg/m³.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración fue de 0,26 a 0,98 mg/m³, para una variación total de 0,72 mg/m³, con el valor mínimo ubicado al 1% I₀ durante q3 y el máximo al 1% I₀ durante q2. La concentración promedio total fue de 0,64 mg/m³.

2.6 Fosfato disuelto

La concentración de fosfato disuelto en q2, osciló entre 0,06 y 0,15 µmol/L, para una variación de 0,09 µmol/L, con la mínima ubicada al 10% I₀ y la máxima al 1% I₀. La concentración promedio fue de 0,11 µmol/L.

En q3 el ámbito de concentración estuvo entre 0,05 y 0,09 µmol/L, para una variación de 0,04 µmol/L, con la mínima ubicada al 10% I₀ y la máxima al 1% I₀. La concentración promedio fue de 0,08 µmol/L.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración fue de 0,05 a 0,15 µmol/L, para una variación total de 0,10 µmol/L, con el valor mínimo ubicado al 10% I₀ durante q3 y el máximo al 1% I₀ durante q2. La concentración promedio total fue de 0,09 µmol/L.

2.7 Silicato disuelto

La concentración de silicato en q2, osciló entre 5,06 y 14,87 µmol/L, para una variación de 9,81 µmol/L, con la mínima ubicada al 1% I₀ y la máxima al 92% I₀. La concentración promedio fue de 9,20 µmol/L.

En q3 el ámbito de concentración estuvo entre 6,58 y 11,75 µmol/L, para una variación de 5,17 µmol/L, con la mínima ubicada al 1% I₀ y la máxima al 50% I₀. La concentración promedio fue de 9,71 µmol/L.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración coincidió con el obtenido durante el muestreo en q2 mientras que la concentración promedio total fue 9,45 µmol/L.

2.8 Nitrito disuelto

No fue detectado durante el periodo de muestreo (Anexo Límites de detección).

2.9 Nitrato disuelto

La concentración de nitrato disuelto en q2, osciló entre 0,07 y 0,30 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,23 $\mu\text{mol/L}$, con la mínima ubicada al 25% I_0 y la máxima al 92% I_0 . La concentración promedio fue de 0,16 $\mu\text{mol/L}$.

En q3 el ámbito de concentración estuvo entre 0,25 y 0,32 $\mu\text{mol/L}$, para una variación de 0,07 $\mu\text{mol/L}$, con la mínima ubicada al 25% I_0 y la máxima al 10% I_0 . La concentración promedio fue de 0,28 $\mu\text{mol/L}$.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración fue de 0,07 a 0,32 $\mu\text{mol/L}$, para una variación total de 0,25 $\mu\text{mol/L}$, con el valor mínimo ubicado al 25% I_0 durante q2 y el máximo al 10% I_0 durante q3. La concentración promedio total fue de 0,22 $\mu\text{mol/L}$.

2.10 Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto durante q2, tuvo un ámbito de 6,41 a 6,75, para una variación de 0,34 mg/L, con la mínima ubicada al 1% y la máxima al 50% I_0 . La concentración promedio fue de 6,61 mg/L.

Los resultados en q3, mostraron un ámbito de 7,19 a 7,48 mg/L, para una variación de 0,29 mg/L, con la mínima ubicada al 10% y la máxima al 92% I_0 . La concentración promedio fue de 7,34 mg/L.

Para el periodo total de muestreo q2+q3, el ámbito de concentración fue de 6,41 a 7,48 mg/L, para una variación total de 1,07 mg/L, con el valor mínimo ubicado al 1% I_0 durante q2 y el máximo al 92% I_0 durante q3. La concentración promedio total fue de 6,98 mg/L.

Cuadro 4.8. Variación en la temperatura, salinidad, clorofila-a, feopigmentos, nutrientes y oxígeno disuelto según el periodo de incubación en un perfil con cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92%, 50%, 25%, 10% y 1% I₀) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Octubre 2000.

2.1 Temperatura (°C)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	29.0	30.0	30.0	31.0	29.0	31.0
Ubicación %I ₀	1	92 y 50	10	50	1	50
Variación	1.0		1.0		2.0	
Promedio	29.6		30.6		30.0	
2.2 Salinidad (ups)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	31.5	34.0	28.0	32.0	28.0	34.0
Ubicación %I ₀	92	25, 10 y 1	92 y 50	1	92 y 50	25, 10 y 1
Variación	2.5		4		6	
Promedio	33.1		29.8		31.4	
2.3 Materia en suspensión (mg/L)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	6.76	12.86	6.95	8.40	6.76	12.86
Ubicación %I ₀	92	1	10	50	92	1
Variación	6.10		1.45		6.10	
Promedio	9.21		7.92		8.57	
2.4 Clorofila-a (mg/m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	1.18	1.53	0.47	0.54	0.47	1.53
Ubicación %I ₀	10	92	10 y 1	92 y 25	10 y 1	92
Variación	0.35		0.07		1.06	
Promedio	1.35		0.50		0.93	
2.5 Feopigmentos (mg/m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	0.29	0.98	0.26	0.84	0.26	0.98
Ubicación %I ₀	10	1	1	10	1	1
Variación	0.69		0.58		0.72	
Promedio	0.69		0.60		0.64	
2.6 Fosfato (µmol/L)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	0.06	0.15	0.05	0.09	0.05	0.15
Ubicación %I ₀	10	1	10	1	10	1
Variación	0.09		0.04		0.10	
Promedio	0.11		0.08		0.09	
2.7 Silicato (µmol/L)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	5.06	14.87	6.58	11.75	5.06	14.87
Ubicación %I ₀	1	92	1	50	1	90

Variación	9.81		5.17		9.81	
Promedio	9.20		9.71		9.45	
2.9 Nitrato ($\mu\text{mol/L}$)						
Período	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	0.07	0.30	0.25	0.32	0.07	0.32
Ubicación %I ₀	25	92	25	10	25	10
Variación	0.23		0.07		0.25	
Promedio	0.16		0.28		0.22	
2.10 Oxígeno disuelto (mg/L)						
Período	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	6.41	6.75	7.19	7.48	6.41	7.48
Ubicación %I ₀	1	50	10	92	1	92
Variación	0.34		0.29		1.07	
Promedio	6.61		7.34		6.98	

3. Productividad Primaria

3.1 Variación de la Productividad Primaria Bruta (PPB) en el perfil de incubación (Cuadro 4.9)

Los resultados obtenidos con la incubación en q2, definieron un ámbito de PPB entre $-62,4$ y $43,5 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $105,9 \text{ mgC/m}^3$, con el valor mínimo ubicado al 25% I₀ y el valor máximo al 92%. El valor promedio de PPB fue de $-7,5 \text{ mgC/m}^3$.

Los resultados obtenidos con la incubación en q3, mostraron un ámbito de PPB entre $-124,9$ y $179,6 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de $304,5 \text{ mgC/m}^3$, con el valor mínimo ubicado al 10% I₀ y el valor máximo al 92%. El valor promedio de PPB fue de $14,6 \text{ mgC/m}^3$.

Si consideramos la totalidad del periodo de incubación, con una duración de 4,79 horas, el ámbito para PPB coincidió con el obtenido para el periodo q3 mientras que, el promedio total fue de $3,5 \text{ mgC/m}^3$.

3.2 Variación de la Respiración (Rsp) en el perfil de incubación

La actividad respiratoria del plancton en q2, presentó un ámbito entre $-106,1$ y $18,1 \text{ mgC/m}^3$, para una variación de 124 mgC/m^3 , con Rsp mínima ubicada al 92% I₀ y la máxima al 1%. El valor promedio fue de $-43,8 \text{ mgC/m}^3$.

Durante q3 el ámbito fue de -118,6 a 179,7 mgC/m³, para una variación de 298,3 mgC/m³, con el valor mínimo ubicado al 10% y el máximo al 92% I₀. El promedio fue de 33,3 mgC/m³.

El ámbito total durante las 4,79 horas de incubación coincidió con el obtenido durante q3, para un valor promedio de -5,2 mgC/m³.

3.3 Variación de la Productividad Primaria Neta (PPN) en el perfil de incubación

La productividad primaria neta en q2, presentó un ámbito de -24,3 a 149,6 mgC/m³, para una variación de 173,9 mgC/m³ en el perfil de incubación. El valor mínimo de PPN se localizó al 1% I₀ y el máximo al 92% I₀. En promedio se produjeron 36,2 mgC/m³.

Los resultados obtenidos en q3, mostraron un ámbito de -105,9 a 25,0 mgC/m³, para una variación de 130,9 mgC/m³, con PPN mínima ubicada al 25% I₀ y máxima al 50% I₀. El promedio disminuyó a -18,7 mgC/m³.

Al considerar el periodo del día cubierto por ambos quintos, con una duración de 4,79 horas, el ámbito de PPN osciló entre -105,9- 149,6 mgC/m³, para una variación de 255,5 mgC/m³, con el valor mínimo ubicado al 25% durante q3 y el máximo al 92% durante q2. El valor promedio de PPN fue de 8,8 mgC/m³.

Cuadro 4.9. Variación de la actividad fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, en un perfil de cinco puntos de muestreo (q2 y q3: 92, 50, 25, 10 y 1 % I₀) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Octubre 2000.

3.1 PPB (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	-62.4	43.5	-124.9	179.6	-124.9	179.6
Ubicación %I ₀	25	92	10	92	10	92
Variación	105.9		304.5		304.5	
Promedio	-7.5		14.6		3.5	
3.2 Rsp (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	-106.1	18.1	-118.6	179.7	-118.6	179.7
Ubicación %I ₀	92	1	10	92	10	92
Variación	124.2		298.3		298.3	
Promedio	-43.8		33.3		-5.2	

3.3 PPN (mgC / m ³)						
Periodo	q2		q3		q2+q3	
Ámbito	-24.3	149.6	-105.9	25.0	-105.9	149.6
Ubicación %I ₀	1	92	25	50	25	92
Variación	173.9		130.9		255.5	
Promedio	36.2		-18.7		8.8	

3.4 Integración de los perfiles de incubación (Cuadro 4.10)

De acuerdo con los datos obtenidos para esta segunda fecha de muestreo, la integración del perfil para PPB fue negativa en ambos periodos consecutivos de incubación al igual que la integración para Rsp. Por su parte la integración del perfil para PPN presentó un valor positivo en q2 y uno negativo en q3.

En cuanto a la variación entre los periodos de incubación, se presentó una disminución tanto para PPB como para PPN mientras que, Rsp mostró un aumento durante q3.

Cuadro 4.10. Variación de la tasa fotosintética y respiratoria según el periodo de incubación, producto de la integración del perfil con cinco puntos de muestreo. (q2 y q3: 92, 50, 25, 10 y 1% I₀) en la columna de agua. Bahía Moín, Limón. Costa Rica, Octubre 2000.

Periodo / Tasa	PPN (g C / m ² d)	PPB (g C / m ² d)	Rsp (g C / m ² d)
q2	1.59	-1.90	-3.49
q3	-2.02	-3.41	-1.39
Variación	-3.61	-1.51	2.10
q2q3	-0.19	-2.64	-2.45

El valor positivo de PPN en q2, se debió al efecto de suma que tuvo el valor negativo de Rsp, el cual a diferencia del valor obtenido en q3, alcanzó un valor absoluto mayor al de PPB.

La integración de los perfiles de incubación en el sitio MCB proporcionó los siguientes resultados:

- **PPN:** -0,19 gC/m²d (-70,5 gC/m²a); con un ámbito de 1,59 a -2,02 gC/m²d, para una disminución de 3,61 gC/m²d entre q2 y q3.

- **PPB:** $-2,64 \text{ gC/m}^2\text{d}$ ($-966,6 \text{ gC/m}^2\text{a}$); con un ámbito de $-1,90$ a $-3,41 \text{ gC/m}^2\text{d}$, para una disminución de $1,51 \text{ gC/m}^2\text{d}$ entre q2 y q3.
- **Rsp:** $-2,45 \text{ gC/m}^2\text{d}$ ($-896,1 \text{ gC/m}^2\text{a}$); con un ámbito de $-3,49$ a $-1,39 \text{ gC/m}^2\text{d}$, para un aumento de $2,10 \text{ gC/m}^2\text{d}$ entre q2 y q3.

5. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado tomando en cuenta los datos para esta segunda fecha de muestreo mostró una correlación alta y positiva entre la tasa Rsp y PPB; y entre PPB y el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($\%I_0$) ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$).

La temperatura mostró una correlación alta y negativa con la salinidad ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la concentración de clorofila-*a* ($n=9$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La concentración de silicato mostró una correlación alta y negativa con la profundidad del perfil de muestreo en la columna de agua ($n=10$, $r=-0,7$, $p<0,05$), entre Rsp y la concentración de nitrato ($n=10$, $r=-0,9$, $p<0,05$); y una correlación alta y positiva con el porcentaje de luz incidente en la columna de agua ($n=10$, $r=0,8$, $p<0,05$).

La concentración de faeopigmentos mostró una correlación media y positiva con la concentración de nitrato ($n=9$, $r=0,7$, $p<0,05$).

6. Variación de la productividad primaria y respiración entre las épocas de muestreo

Los resultados de las incubaciones realizadas en q2 y q3 mostraron en mayo, una mayor variación que la obtenida en octubre para el sitio MCB (Cuadros 4.5 y 4.10).

En cuanto al resultado de la integración para el periodo total de incubación, la variación entre los meses, significó un aumento en el caso de los valores negativos de PPN y PPB mientras que, para Rsp fue una disminución entre el valor positivo en mayo y el valor negativo en octubre (Cuadro 4.11)

Cuadro 4.11. Integración del perfil de incubación en la columna de agua, con cinco puntos de muestreo en mayo y noviembre, para productividad primaria y respiración, y su respectiva variación con respecto a la época de muestreo. Bahía Moín, Limón. Costa Rica 2000.

Mes	May-00	Oct-00	May-Oct	Promedio
Tasa/ periodo	q2+q3	q2+q3	Variación	
PPN (g C / m ² d)	-18.83	-0.19	18.64	-8,51
PPB (g C / m ² d)	-3.29	-2.64	0.65	-2,96
Rsp (g C / m ² d)	13.54	-2.45	-15,99	5,54

En octubre, el aumento de PPB y la disminución de Rsp produjeron un valor de PPN cercano al cero.

En el sitio MCB, Bahía Moín, el promedio de PPN fue de -8,51 gC/m²d, el de PPB fue de -2,96 gC/m²d, y el de Rsp fue de 5,54 gC/m²d.

7. Variación de otros parámetros ambientales entre las épocas de muestreo

La comparación de los valores promedio q2+q3, para los restantes parámetros ambientales entre mayo y octubre indicaron que, la temperatura aumentó 1,1°C, MS en 0,24 mg/L, clorofila-a en 0,57 mg/m³, feopigmentos en 0,19 mg/m³ y la concentración de silicato aumentó en 7,98 µmol/L. El tiempo total de incubación, que no se expresa como promedio, aumentó 0,23 horas en octubre, lo que corresponde a 13,8 minutos.

Los restantes parámetros disminuyeron sus valores: salinidad en 3 ups, la concentración de fosfato en 0,03 µmol/L, la de nitrito en 0,11 µmol/L y de nitrato en 0,78 µmol/L, la concentración de oxígeno disuelto en 0,06 mg/L y el porcentaje de saturación en 0,2%.

Cuadro 4.12. Variación con respecto a la época de muestreo, de los promedios de las características ambientales en la zona eufótica con cinco puntos de muestreo en mayo y octubre. Bahía Moín, Limón. Costa Rica 2000.

Sítio 4 MCB	Fecha		
	25-May-00	04-Oct-00	May - Oct.00
Característica	Promedio	Promedio	Variación
Temp. (°C)	28.9	30	1.1
Salinidad (ups)	34.4	31.4	-3.0
M. S. (mg/L)	8.33	8.57	0.24
Cl-a (mg/m ³)	0.36	0.93	0.57
Faeop. (mg/m ³)	0.45	0.64	0.19
Fosfatos (μmol/L)	0.12	0.09	-0.03
Silicatos (μmol/L)	1.47	9.45	7.98
Amonio (μmol/L)	nd	nd	nd
Nitritos (μmol/L)	0.11	nd	-0.11
Nitratos (μmol/L)	1.00	0.22	-0.78
O.D. (mg/L)	7.04	6.98	-0.06
% Saturación	122.5	122.3	-0.2
Marea (cm)	229	250	21
hora	07:41	07:04	00:37
Marea (cm)	64	37	-27
hora	13:45	13:16	00:29
Secchi (m)	4.15	4	-0.15
Fondo (m)	12,0	10,7	- 1,3
T. incubado (h)	4.56	4.79	0.23

La altura de la marea al inicio de las incubaciones se encontraba bajando y durante el tercer quinto comenzaba a subir. En octubre, la variación de la altura entre la marea alta y baja fue de 213cm y en mayo, fue de 165cm.

La profundidad promedio del disco de Secchi disminuyó de 4,15 a 4,00m. La profundidad total de la columna de agua en mayo fue de 12,0m y en octubre de 10,7m.

8. Análisis estadístico

El análisis estadístico realizado con los datos generados en ambas fechas de muestreo mostró una correlación alta y negativa entre la tasa Rsp y PPN ($n=20$, $r=-0,9$, $p<0,05$); entre Rsp y la profundidad de Secchi ($n=20$,

$r=-0,8$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa entre Rsp y la concentración de nitrato ($n=20$, $r=-0,5$, $p<0,05$).

Por su parte la PPN mostró una correlación media y negativa con la concentración de nitrato ($n=20$, $r=-0,5$, $p<0,05$); y una correlación alta y positiva con la profundidad de Secchi ($n=20$, $r=0,8$, $p<0,05$).

La temperatura mostró una correlación alta y negativa con la concentración de silicato ($n=20$, $r=-0,8$, $p<0,05$); y una correlación media y negativa con la concentración de nitrato, nitrito y la salinidad ($n=20$, $r=-0,7$, $p<0,05$).

La concentración de materia en suspensión mostró una correlación media y positiva con la profundidad de la columna de agua.

La concentración de silicato mostró una correlación baja y negativa con la concentración de nitrato ($n=20$, $r=-0,4$, $p<0,05$); una correlación media y negativa con la concentración de nitrito ($n=20$, $r=-0,7$, $p<0,05$); una correlación media y positiva con la concentración de clorofila-a ($n=19$, $r=0,6$, $p<0,05$) y la concentración de faeopigmentos y fosfato ($n=19$ y 20 , $r=0,5$, $p<0,05$).

La salinidad mostró una correlación alta y negativa con la concentración de silicato ($n=20$, $r=-0,8$, $p<0,05$); una correlación media y negativa con la concentración de faeopigmentos ($n=19$, $r=-0,5$, $p<0,05$); y una correlación media y positiva con la concentración de nitrito ($n=20$, $r=0,6$, $p<0,05$).

La concentración de clorofila-a mostró una correlación media y negativa con la concentración de nitrato ($n=19$, $r=-0,5$, $p<0,05$) y nitrito ($n=19$, $r=-0,6$, $p<0,05$); y una correlación media y positiva con la concentración de faeopigmentos ($n=19$, $r=0,5$, $p<0,05$).

La concentración de nitrito mostró una correlación media y positiva con la concentración de nitrato ($n=20$, $r=0,7$, $p<0,05$).

Discusión

1. Productividad

El valor promedio de productividad primaria neta (PPN) obtenido en el sitio MCB, Bahía Moín, fue de $-8,51 \text{ gC/m}^2\text{d}$ (Cuadro 4.11), y lo colocó como el de menor productividad primaria entre los sitios de estudio.

La tasa respiratoria promedio fue de $5,54 \text{ gC/m}^2\text{d}$ la cual fue semejante a la PPN promedio máxima del presente estudio, obtenida en Bahía Golfito.

La comparación de las fechas de muestreo, mayo y octubre, no encontró correlación entre el perfil de productividad primaria y la profundidad de la columna de agua, pero sí entre el perfil de PPN, Rsp, nitrato y la profundidad de Secchi.

Se detectó una correlación negativa entre el aumento del valor promedio del perfil de PPN en octubre (Cuadro 4.4 y 4.8, q_2+q_3), y la disminución en la concentración promedio de nitrato; y una correlación positiva con el aumento de $0,15\text{m}$ en la profundidad de Secchi (Cuadro 4.12).

La disminución en octubre, del promedio del perfil de Rsp mostró una correlación negativa con el aumento en el promedio del perfil de PPN, nitrato y la profundidad de Secchi.

En cuanto a la ponderación de la integración de los perfiles de productividad, está mostró un aumento en octubre de PPN y PPB; y una disminución en Rsp.

La disminución en la profundidad del perfil de incubación, así como la ubicación de las tasas máximas en la parte superior, durante el muestreo en octubre, descarta un efecto de la integración de los perfiles en este resultado.

En cuanto a la variación entre los periodos de incubación para una misma fecha, en mayo, se detectó una correlación positiva entre la variación en el perfil de PPN y el de PPB, así como entre la variación en el perfil de temperatura y la profundidad de Secchi.

Entre los perfiles de PPN y PPB, se produjo durante q3, un aumento en la concentración promedio (Cuadro 4.4), cuando la profundidad de Secchi aumentó en 1,7m y la temperatura promedio en 0,5 °C.

La disminución en el promedio del perfil de respiración durante q3 mostró una correlación negativa con el aumento en el promedio del perfil de PPN, temperatura y la profundidad de Secchi, y una correlación positiva con la disminución en el promedio del perfil de nitrato (Cuadro 4.3 y 4.4).

En cuanto a la integración de los perfiles de productividad, ésta también mostró un aumento de PPN y PPB durante q3 acompañada por una disminución de Rsp (Cuadro 4.5).

En octubre, se detectó una correlación positiva entre el aumento en el promedio del perfil de PPB y el aumento en el promedio de Rsp, durante q3; así como con la variación del perfil de intensidad de luz incidente (%I₀), cuando la tasa máxima de PPB y Rsp se ubicó en la superficie con un 92% I₀, y la tasa mínima se ubicó al 10% I₀ para ambos perfiles (Cuadro 4.9).

Encontramos en el sitio de muestreo MCB, Bahía Moín, una correlación negativa entre el aumento de PPN durante octubre, y la disminución de la concentración promedio de nitrato.

2. Parámetros físico-químicos

La comparación de las fechas de muestreo encontró una correlación negativa entre el aumento de PPN durante octubre y la disminución en la concentración promedio de nitrato en este mismo periodo ($r=-0,5$, $p < 0,05$), la cual ya fue comentada en el apartado anterior.

Entre los parámetros físico-químicos, se detectó una correlación negativa entre el aumento del promedio de temperatura y la disminución en el promedio de la salinidad y la concentración de nitrato y nitrito; así como una correlación positiva con el aumento de la concentración promedio de silicato (Cuadro 4.12).

Por otra parte la disminución de la salinidad promedio durante octubre, mostró una correlación positiva con la disminución de la concentración

promedio de nitrito; y una correlación negativa con el aumento de la concentración promedio de silicato y faeopigmentos (Cuadro 4.2).

El aumento en la concentración promedio del perfil de silicato en octubre mostró, una correlación positiva con el aumento en la concentración promedio del perfil de clorofila-*a* y faeopigmentos; y una correlación negativa con la disminución en la concentración promedio del perfil de fosfato, nitrito y nitrato.

El aumento en la concentración promedio del perfil de clorofila-*a*, mostró una correlación negativa con la disminución en la concentración promedio del perfil de concentración de nitrito y nitrato.

La ubicación de la concentración máxima de MS, en mayo y octubre se ubicó a la máxima profundidad del perfil en metros (*z*), mientras que la concentración mínima se ubicó a una profundidad menor (Cuadro 4.3 y 4.8), lo cual fue detectado como una correlación baja y positiva ($r=0,5$, $p < 0,05$).

La comparación entre periodos de muestreo en una misma fecha, mostró en mayo, una correlación negativa entre el aumento de la concentración promedio del perfil de temperatura y la disminución en la concentración promedio del perfil de MS y clorofila-*a*, así como en la ubicación de los valores máximos y mínimos de estos perfiles (Cuadro 4.3). También se detectó una correlación positiva entre el perfil de temperatura y el aumento de la concentración promedio del perfil de nitrito y la ubicación de su valor máximo y mínimo.

La disminución en la concentración promedio del perfil MS mostró, una correlación positiva con la disminución de la concentración promedio de clorofila-*a* y nitrato, así como en la ubicación relativa de los valor mínimo y máximo; y una correlación negativa con el aumento en la concentración promedio del perfil de nitrito y la ubicación de sus valores extremos de concentración (Cuadro 4.3).

La variación del perfil de concentración de nitrito mostró una correlación positiva con el perfil de cantidad de luz incidente ($\%I_0$), ya que su concentración máxima en ambos periodos de muestreo, se mantuvo a un mayor $\% I_0$ que el valor mínimo.

La disminución en la concentración promedio del perfil de fosfato, durante q3, mostró una correlación positiva con la disminución de la concentración promedio del perfil de nitrato y silicato; y una correlación negativa con el aumento de la salinidad promedio (Cuadro 4.3).

La comparación entre los periodos q2 y q3 durante octubre, mostró una correlación negativa entre el aumento en la temperatura promedio durante q3, y la disminución en el promedio del perfil de salinidad y clorofila-a (Cuadro 4.8).

La variación del perfil de concentración de silicato, mostró una correlación negativa con la variación del perfil de profundidad en metros (z), y positiva con respecto al perfil %I₀, ubicando la concentración mínima, en ambos quintos, en la mayor profundidad y la máxima a una profundidad menor (Cuadro 4.8).

La variación del perfil de faeopigmentos mostró una correlación positiva con la variación del perfil de nitrato, al aumentar la concentración promedio de ambos durante q3, para ambos perfiles.

Encontramos en el sitio de muestreo MCB, Bahía Moín, que la disminución en la concentración promedio de nitrato y el aumento en la PPN mostraron una correlación negativa.

Se detectaron diferencias en los promedio de los perfiles entre mayo y noviembre, así como entre los promedios de los perfiles entre los periodos de muestreo q2 y q3, así como en la ubicación del valor mínimo y máximo en el perfil de muestreo en la columna de agua.

La segunda jornada de trabajo se realizó de la siguiente manera:

1. Septiembre, en Bahía Samborombón
2. Octubre, en Bahía Samborombón y Bahía Moín (MCB)
3. Noviembre, en Bahía Samborombón

Capítulo 5: Productividad primaria según el sitio y la fecha de muestreo

Resultados

5.1 Productividad primaria

5.1.1 Fecha de muestreo

La primera jornada de muestreo en los sitios de estudio se llevó a cabo según el siguiente orden cronológico:

1. Abril, en Punta Morales (PMA)
2. Mayo, en Bahía Golfito (GDC) y Bahía Moín (MCB)
3. Junio, en Bahía Culebra (BCB)

El sitio BCB, obtuvo la mayor tasa de PPB, con una diferencia de 5109.3 gC/m²/año, sobre el segundo lugar obtenido por el sitio GDC; en el tercero se ubicó el sitio PMA, y el cuarto lugar lo ocupó el sitio MCB, con una tasa negativa de PPB (Cuadro 5.1).

La mayor tasa de Rsp correspondió también para el sitio BCB, en segundo lugar se ubicó el sitio MCB, en el tercero el sitio GDC y en el cuarto lugar el sitio PMA con un valor negativo, el cual tuvo un efecto de sumatoria sobre PPB.

El mayor valor de PPN correspondió al registrado en el sitio BCB, superando a PMA por 59,4 gC/m²/año, el tercer lugar fue para GDC y el cuarto para MCB, con un valor negativo consecuencia de una PPB negativa a la que se le restó una elevada tasa de Rsp (la segunda mayor magnitud de las cuatro).

La segunda jornada de muestreo se distribuyó de la siguiente manera:

1. Setiembre, en Punta Morales (PMA)
2. Octubre, en Bahía Culebra (BCB) y Bahía Moín (MCB)
3. Noviembre, en Bahía Golfito (GDC)

Los resultados mostraron una disminución tanto de PPN, PPB y Rsp, en los sitios BCB y PMA mientras que, en GDC se produjo una disminución en PPB y Rsp, ambas alcanzando valores negativos, lo cual originó un valor de PPN a partir de la suma de Rsp y PPB.

En el sitio MCB, se produjo un aumento en PPB y PPN, a pesar de que continuaron siendo negativas con respecto a los resultados de la primera jornada. La tasa de Rsp disminuyó, alcanzando un valor negativo, pero a diferencia de la situación observada en GDC, la combinación con el valor negativo de PPB no produjo un valor positivo de PPN.

El sitio BCB, obtuvo nuevamente la mayor PPB, superando en 146.7 gC/m²/año al segundo lugar ocupado por el sitio PMA, diferencia que se redujo notablemente con respecto a la registrada en el primer muestreo entre el primero y segundo lugar (BCB y GDC).

Cuadro 5.1. Productividad primaria y respiración (gC/m²a) producto de la integración de cinco puntos de incubación en la zona eufótica (superficie, 50, 25, 10 y 1% I₀) durante los quintos 2 y 3 del día, en dos fechas de muestreo para cuatro ecosistemas costeros. Costa Rica. 2000.

SITIO	FECHA	PPB (g C/m ² año)	Rsp (g C/m ² año)	PPN (g C/m ² año)
1. BCB	1-Junio	8014.4	5543.5	2470.9
	2-October	895.1	659.6	235.6
	<i>Promedio</i>	<i>4454.75</i>	<i>3101.55</i>	<i>1353.25</i>
2. PMA	1-Abril	2403.8	-7.7	2411.5
	2-Setiembre	748.4	-491	1239.4
	<i>Promedio</i>	<i>1576.1</i>	<i>-249.35</i>	<i>1825.45</i>
3. GDC	1-Mayo	2905.1	1490.4	1414.7
	2-Noviembre	-14.7	-2795.2	2780.5
	<i>Promedio</i>	<i>1445.2</i>	<i>-652.4</i>	<i>2097.6</i>
4. MCB	1-Mayo	-1200.4	4948.9	-6149.3
	2-October	-966.6	-896.1	-70.5
	<i>Promedio</i>	<i>-1083.5</i>	<i>2026.4</i>	<i>-3109.9</i>

El sitio GDC, pasó del segundo al tercer lugar con un valor negativo de PPB, al igual que Bahía Moín que, con un mayor valor absoluto se ubicó en el cuarto lugar nuevamente.

En cuanto a los resultados observados para Rsp, solamente BCB mostró un valor positivo, los otros tres sitios obtuvieron valores negativos por lo que, según su valor absoluto, el segundo lugar lo ocupó PMA, que en la fecha anterior ocupaba el cuarto lugar con un valor también negativo; el tercer lugar fue para MCB, anteriormente segundo; y el cuarto lugar para GDC, que fuera tercero en la primera fecha.

Los valores obtenidos para PPN, ubicaron a Golfito con el mayor valor y con el segundo a Punta Morales, aunque ambos resultados son consecuencia de un efecto de sumatoria de Rsp sobre PPB; al igual que el cuarto lugar ocupado por Bahía Moín, nuevamente con un valor negativo. El valor obtenido para Bahía Culebra, el cual lo ubicó en el tercer lugar, es el único que se produjo por la resta de valores positivos de Rsp y PPB.

5.1.2 Sitio de muestreo

La comparación entre los sitios, a partir del valor promedio para PPN, colocó al sitio GDC en primer lugar, en el segundo a PMA, en el tercero a BCB y en el cuarto a MCB.

El valor promedio para Rsp colocó al sitio BCB en primer lugar, en el segundo a MCB, y con valores negativos en el tercero a PMA y en el cuarto a GDC.

El valor promedio para PPB colocó en primer lugar al sitio BCB, en el segundo a PMA, en el tercero a GDC y en cuarto lugar a MCB.

Sin embargo, el sitio BCB, obtuvo siempre valores positivos para PPB, Rsp y PPN mientras que, en el sitio PMA solamente PPN fue positiva en ambos muestreos.

Por su parte, el sitio GDC, obtuvo valores positivos de PPN, PPB y Rsp en el primer muestreo mientras que, en el segundo muestreo, tanto PPB como Rsp alcanzaron valores negativos que produjeron un valor positivo para PPN, el cual lo ubicó en el primer lugar.

El sitio MCB, obtuvo solamente un valor positivo, que correspondió a Rsp, durante la primera fecha de muestreo en el mes de mayo.

5.2 Parámetros físico-químicos

Con respecto a las condiciones físico-químicas prevalecientes en la columna de agua, cuyo perfil de muestreo corresponde con el perfil de *incubación para la determinación de productividad primaria, la comparación* entre fechas indicó que, durante junio, en el sitio BCB, la cantidad de luz incidente en la columna de agua, obtuvo un mayor porcentaje en el punto de muestreo más superficial y una clara diferencia en la profundidad alcanzada por el disco Secchi, lo cual se tradujo en una zona eufótica más extensa. Esta condición lumínica estuvo acompañada por una mayor temperatura y una mayor salinidad (Cuadro 5.2).

En el sitio PMA, también se dispuso de una mayor cantidad de luz incidente en abril, con una menor temperatura y una mayor salinidad.

Cuadro 5.2. Valor promedio de parámetros físicos y químicos en el perfil de incubación en la zona eufótica (superficie, 50, 25, 10 y 1% I_0), para la determinación de productividad durante los quintos 2 y 3 del día, en dos épocas de muestreo para cuatro ecosistemas costeros. Costa Rica. 2000.

Sitio	Fecha	% I_0 Sup	Prof. 1% I_0 (m)	Secchi (m)	Temp. (°C)	Salinidad (ups)	M. S. mg/L	Clor-a (mg/m ³)	Faeop (mg/m ³)
1. BCB	1- Jun	97	19.0 (27.0) ¹	10.0	30.4	26.6	7.27	0.57	0.30
	2- Oct	94	14.5	5.4	26.0	34.5	7.57	1.57	0.65
2. PMA	1- Abr	78.	4.2	1.6	28.1	29.0	41.46	5.32	0.64
	2- Set	68	2.5	0.9	28.6	26.6	34.59	5.89	1.54
3. GDC	1- May	85	5.6	2.1	30.7	28.7	11.22	1.74	0.48
	2- Nov	92	10.0	4.0	28.4	27.5	159.73	0.91	0.56
4. MCB	1- May	92	11.2	4.15	28.8	34.4	8.33	0.36	0.45
	2- Oct	92	10.8	4.0	30.1	31.4	8.56	0.93	0.64

¹ La profundidad exacta del 1% I_0 es a 27m, pero la columna de agua en el sitio tiene 19m por lo que no es posible cumplir con su ubicación exacta.

En el sitio GDC, la cantidad de luz incidente en la columna durante mayo, obtuvo un menor porcentaje en el punto superficial de muestreo con respecto al porcentaje de octubre y una zona eufótica menos extensa. Esta condición estuvo acompañada por una mayor temperatura y salinidad.

En el sitio MCB, la cantidad de luz incidente fue semejante entre mayo y octubre, con un valor de 92% I_0 en el punto más superficial, pero la profundidad de Secchi fue mayor por 15 cm en mayo.

Esta diferencia fue originada por una mayor profundidad de Secchi durante el periodo q3 (5m), con lo cual el promedio de la profundidad de la zona eufótica fue mayor en 40 cm. Esta condición estuvo acompañada por una menor temperatura y una mayor salinidad.

En resumen, el primer muestreo presentó una mayor cantidad de luz incidente en PMA, MCB y BCB mientras que en el sitio GDC fue menor con respecto al segundo muestreo.

En cuanto a la concentración de MS, el resultado obtenido en PMA y GDC mostró una mayor concentración cuando la zona eufótica fue más amplia mientras que, la concentración de clorofila-a fue menor.

La variación en la concentración de MS entre las fechas de muestreo, fue menor en los sitios MCB y BCB, y fueron los valores de menor concentración que coincidieron con una zona eufótica más amplia y una menor concentración de clorofila-a.

Otro factor determinante en la columna de agua para la productividad primaria es la disponibilidad de nutrimentos; y según los resultados obtenidos, el fosfato fue el único de los nutrimentos analizados que pudo ser detectado en los cuatro sitios y en las dos épocas de muestreo (Cuadro 5.3).

La distribución espacial de los nutrimentos en promedio de cada sitio fue la más consistente, presentando siempre la menor concentración durante la primera fecha en todos los sitios.

Además de estas observaciones generales y regionales, se destaca la mayor concentración de todos los nutrimentos en Puerto Barrios durante el segundo muestreo correspondiente (Cuadro 5.3).

Cuadro 5.3. Concentración promedio de nutrimentos en el perfil de incubación en la zona eufótica (superficie, 50%, 25%, 10% y 1% I₀), para la determinación de productividad durante los quintos 2 y 3 del día, en dos épocas de muestreo para cuatro ecosistemas costeros. Costa Rica. 2000.

Sitio	Fecha	Fosfato (μmol/L)	Silicato (μmol/L)	Nitrito (μmol/L)	Nitrato (μmol/L)
1. BCB	1-Junio	0.22	nd	nd	nd
	2-Octubre	0.27	1.48	0.08	0.94
2. PMA	1-Abril	0.59	nd	0.02	1.14
	2-Setiembre	1.34	30.10	0.66	3.64
3. GDC	1-Mayo	0.30	0.06	0.04	0.24
	2-Noviembre	0.34	14.78	0.10	1.06
4. MCB	1-Mayo	0.12	1.47	0.11	1.00
	2-Octubre	0.09	9.45	nd	0.22

Durante la primera fecha de muestreo en los sitios BCB, PMA y GDC; los nutrimentos tuvieron una concentración menor con respecto a la segunda fecha de muestreo. La concentración de silicato, nitrito y nitrato, no pudo ser detectada en el sitio BCB mientras que, en el sitio PMA solamente no fue detectado el silicato.

Con respecto a la situación en el sitio MCB, durante el primer muestreo fue mayor la concentración del fosfato, nitrito y nitrato y menor la de silicato.

En resumen, la primera fecha presentó una mayor disponibilidad de luz en la columna de agua y una menor concentración de nutrimentos en el sitio BCB y PMA mientras que, el sitio GDC tuvo una menor disponibilidad de luz y de nutrimentos. En el sitio MCB, la mayor disponibilidad de luz durante el primer muestreo, coincidió con una mayor concentración de fosfato, nitrito y nitrato; y una menor concentración de silicato.

La distribución temporal de la concentración promedio de silicato fue la más consistente, presentando siempre la menor concentración durante la primera fecha en todos los sitios.

Además de estas relaciones temporales y espaciales, se destaca la mayor concentración de todos los nutrimentos en Punta Morales durante el muestreo realizado en setiembre (Cuadro 5.3).

5.3 Consideraciones generales sobre los resultados negativos

Se presentaron durante el presente estudio, cinco diferentes combinaciones entre los valores de la concentración de oxígeno disuelto en las botellas control, claras y oscuras que condujeron a la obtención de, al menos, una tasa negativa en todos los sitios de estudio.

Las tasas determinadas se definieron como:

- **PPB**= Botella clara (H) - Botella oscura (Q)
- **Rsp**= Botella control (K) - Botella oscura (Q)
- **PPN**= Botella clara (H) - Botella control (K)

Combinación I: $K > H > Q$

Resultado observado:

- PPB positiva: $H > Q$
- Rsp positiva: $K > Q$
- PPN negativa: $H < K$

Este resultado proviene de una cantidad de oxígeno mayor en la botella control (t_0) que en la botella clara después de ser incubada (t_1); y de una mayor cantidad de oxígeno en la botella clara que en la botella oscura:

$$K > H > Q$$

El proceso fotosintético es realizado solo por los productores primarios mientras que, la medición del proceso respiratorio, no distingue entre productores primarios y consumidores, es para todo el plancton presente en la muestra.

Este caso particular, reflejó un incremento de la tasa Rsp con respecto a la tasa fotosintética en la botella clara, un efecto en el que pueden intervenir varios factores.

Una cantidad de luz excesiva, más allá del punto de saturación, produce un efecto inhibitorio en la fotosíntesis, lo cual provocaría el aumento relativo de Rsp en la botella clara que continua expuesta a la luz.

Entre las posibles causas de este efecto inhibitorio están, el aumento de la radiación ultravioleta y de la temperatura.

Un aumento de la temperatura durante la incubación podría acelerar el metabolismo del plancton de manera que se produce un aumento en la tasa Rsp; y el confinamiento de la muestra en la botella podría favorecer la herbivoría sobre los productores primarios.

La composición y abundancia del plancton también es un factor que interviene, por cuanto una mayor cantidad de bacterioplancton, por ejemplo, el cual puede llevar a cabo la síntesis de ATP sin generar oxígeno, utilizando el flujo cíclico de electrones en el cloroplasto, podría contribuir así significativamente al consumo de oxígeno observada en la botella clara.

Combinación II: $K > Q > H$

Resultado observado:

- PPB negativa: $H < Q$
- Rsp positiva: $K < Q$
- PPN negativa: $H < K$

Este resultado proviene de una cantidad de oxígeno mayor en la botella control (t_0) que en la botella clara después de ser incubada (t_1); y de una mayor cantidad de oxígeno en la botella oscura que en la botella clara:

$$K > Q > H$$

Este resultado sería producido por una intensificación del proceso respiratorio en la botella clara, en las condiciones expuestas en el caso anterior, como posibles responsables de este resultado.

Combinación III: $K > Q > H$

Resultado observado:

- PPB negativa: $H < Q$
- Rsp negativa: $K < Q$
- PPN positiva: $H > K$

Este resultado proviene de una cantidad de oxígeno menor en la botella control (t_0) que en la botella clara después de ser incubada (t_1); y de una mayor cantidad de oxígeno en la botella oscura que en la botella clara:

$$Q > H > K$$

El resultado $H > K$ es el que se espera como un aumento en la concentración de oxígeno producto del transcurso de la fotosíntesis en la botella clara y que se detuvo en la botella control.

Este resultado parcial indica que las condiciones prevalecientes en la muestra durante la incubación, favorecieron la fotosíntesis sobre la respiración en la botella clara.

El resultado que no se espera es $Q > H$; que corresponde a un aumento en la cantidad de oxígeno en la botella oscura, en donde se detiene la fotosíntesis que es el proceso que lo genera.

Combinación IV: $Q > K > H$

Resultado observado:

- PPB negativa: $H < Q$
- Rsp negativa: $K < Q$
- PPN negativa: $H < K$

Este resultado proviene de una cantidad de oxígeno mayor en la botella control (t_0) que en la botella clara después de ser incubada (t_1); y de una mayor cantidad de oxígeno en la botella oscura (t_1) que en la botella control (t_0) y la botella clara (t_1):

$$Q > K > H$$

En este caso, los factores para que la cantidad de oxígeno sea mayor en la botella control que en la botella clara, citados anteriormente en la combinación I, podrían intervenir también en este resultado. Sin embargo, para el aumento de la cantidad de oxígeno en la botella oscura, no se tiene una explicación diferente al de un error en el procedimiento, por ejemplo, una burbuja atrapada en esta botella, que no fuera observada por su condición de aislamiento a la luz, a diferencia de la botella clara.

A esta posible explicación, surgen algunas observaciones que le restan posibilidad de ser la única razón para estos resultados.

La incubación de dos botellas oscuras por cada profundidad del perfil, proporcionó dos mediciones de oxígeno por cada botella, y de estos cuatro valores se seleccionó la mediana como el dato final, con lo cual se estaría

dejando por fuera los valores extremos, que serían generados por este tipo de error de procedimiento, lo contrario solo sería posible si este se hubiera cometido en las dos botellas oscuras simultáneamente.

El muestreo simultáneo en otros puntos de cada uno de los sitios de estudio, como parte del proyecto Contaminación Costera en Costa Rica, en los cuales también se obtuvieron datos negativos con esta característica.

Combinación V: $H > Q > K$

Resultado observado:

- PPB positiva: $H > Q$
- Rsp negativa: $K < Q$
- PPN positiva: $H > K$

Este resultado proviene de una cantidad de oxígeno mayor en la botella clara (t_1) que en la botella control (t_0); y de una mayor cantidad de oxígeno en la botella oscura (t_1) que en la botella control (t_0):

$$H > Q > K$$

El resultado parcial $H > Q$ es el que se espera como un aumento en la concentración de oxígeno producto del transcurso de la fotosíntesis en la botella clara y que se detuvo en la botella oscura. Sin embargo la segunda parte, $Q > K$, es semejante al caso anterior.

Las combinaciones III, IV y V, en las cuales $Q > K$; son las que pueden representar un error de procedimiento; y fueron la causa de 11 de los 14 datos negativos obtenidos en el sitio PMA, lo que representó un 79% del total. En el sitio MCB, sumaron 7 casos de los 19 resultados negativos, para un 37% del total. En el sitio GDC, sumaron 2 casos de los 11 resultados negativos, para un 18% del total; y en el sitio BCB solamente fue un caso de los 11 resultados negativos, para un 13% del total.

El mayor impacto sería sobre los resultados obtenidos en el sitio PMA, con lo cual podríamos considerar se realizó una subestimación de los datos de productividad en este sitio principalmente.

Por las consideraciones anteriores se sugiere la utilización de la tasa PPB como referencia de la productividad primaria de los sitios de estudio.

Discusión

Al utilizar los valores obtenidos de PPB como referencia de la productividad primaria para cada sitio, con el objetivo de excluir el efecto producido por los valores negativos de la tasa Rsp sobre PPN, se obtuvo que la mayor productividad primaria fue para el sitio BCB, el segundo lugar fue para PMA, el tercero para GDC y el cuarto lugar fue para el sitio MCB.

Según el resumen de las condiciones prevalecientes en el perfil de incubación, en el sitio BCB se obtuvo la mayor profundidad de Secchi y la menor concentración de materia en suspensión (MS) y clorofila-*a*.

Estas condiciones fueron muy similares a las observadas en el sitio MCB, que sin embargo obtuvo en ambos muestreos valores negativos de PPB, evidenciando una mayor velocidad de la tasa Rsp.

Por otra parte, estos sitios también presentaron una semejanza en cuanto a una menor concentración de nutrientes con respecto a los sitios PMA y GDC.

Con valores intermedios en la tasa de PPB se ubicó el sitio PMA y GDC, los cuales presentaron la menor profundidad de Secchi y la mayor concentración de MS y clorofila-*a*. Ambos sitios presentaron una mayor disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, y en el sitio PMA se presentó durante la época lluviosa, la concentración máxima para cada uno de los nutrientes determinados.

La mayor disponibilidad de nutrientes en los sitios PMA y GDC coincidió con el efecto esperado por el aporte de los centros de población que se encuentran en su área de influencia.

Los valores de PPB obtenidos para los sitios de estudio son congruentes con las referencias sobre sus condiciones oceanográficas y biológicas.

El sitio BCB ubicado en Bahía Culebra, forma parte de uno de los afloramientos costeros más extensos, esperando así obtener valores elevados de productividad primaria que sustente el recurso pesquero considerado como uno de los más ricos del país (Mora et al. 2002).

La referencia de producción primaria a partir de datos de biomasa expresada como concentración de clorofila-*a* en el estudio llevado a cabo por Desrosiers *et al.* (2006), mostraron un ámbito entre 1,84 y 8,95 μg clorofila-*a*/L valores que superan el ámbito entre 0,57 y 1,57 mg/m^3 obtenido por el presente estudio.

Es importante hacer la observación que los meses de muestreo en el estudio de Desrosiers *et al.* (2006) abarcaron de marzo a abril mientras que el presente estudio se llevó a cabo en los meses de junio y octubre, y que el máximo de clorofila-*a* no coincidió con el máximo de productividad (Cuadro 5.1 y 5.2)

Si comparamos con datos de productividad para otras regiones, por ejemplo, la zona costera de afloramiento en Perú, la productividad primaria es mayor a los $200\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$ (Córdoba 1993); y el valor para zonas de afloramiento en general se estima en $640\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$ (Smith & Hollibaugh 1993), ambos valores inferiores al valor promedio de PPB $4.455\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$ obtenido por el presente estudio

El sitio PMA ubicado en el Estero de Morales, es considerado como una de las zonas más productivas a nivel mundial (Córdoba 1993), con una eficiencia de transferencia entre los niveles tróficos de 14,9%, y que por su elevada productividad es el sitio más importante para la actividad pesquera en Costa Rica (Wolff *et al.* 1998).

El estudio de Córdoba (1993), obtuvo un ámbito de PPB entre 270 y $935\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$, y el estudio de Gocke *et al.* (2001) la PPB alcanzó un valor de $1.037\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$, valor que se ubicó entre el ámbito obtenido por el presente estudio que fue de 748 a $2.404\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$, teniendo en común ambos estudios, un perfil con cinco puntos de incubación en la columna de agua, así como un periodo de incubación entre 8:30 a.m. y 1:30 p.m.

Para el sitio GDC, ubicado en el Golfo Dulce, se cuenta con la referencia de que el fitoplancton es abundante en la superficie con un dominio de diatomeas y dinoflagelados con especies que desarrollan mareas rojas (Kuever *et al.* 1996, Wolff *et al.* 1996); y se ha sugerido un

afloramiento estacional con agua rica en nitratos (Richards *et al.* 1971, Tamdrup *et al.* 1996).

Se cuenta también para este sitio con la referencia de producción primaria a partir de datos de biomasa expresada como concentración de clorofila-*a* por el estudio llevado a cabo por Desrosiers *et al.* (2006), el cual obtuvo un ámbito entre 0,5 y 4,0 μg clorofila-*a*/L, mayor al ámbito entre 0,91 y 1,74 mg/m^3 obtenido por el presente estudio. Es importante hacer la observación que el muestreo por Desrosiers *et al.* (2006) se refiere como época de muestreo la época lluviosa, llevado a cabo en noviembre y el muestreo del presente estudio se realizó en mayo y noviembre, y que el máximo de clorofila-*a* coincidió con el máximo de productividad (Cuadro 5.1 y 5.2).

El sitio MCB ubicado en Bahía Moín, corresponde a una llanura costera de bajo relieve, esto lo caracteriza como un sistema oceánico abierto, expuesta de manera directa a las aguas del Mar Caribe, y con una baja productividad primaria.

El estudio de Silva (1996) realizado en el arrecife de Cahuita obtuvo una PPB máxima de 574 $\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$ mientras que el valor máximo del presente del presente estudio fue de -966,6 $\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$. Sin embargo, durante este estudio se contó con otro sitio de muestreo en Bahía Moín, identificado como MCA, parte del proyecto Contaminación Costera en Costa Rica (CoCosRI), para el cual se obtuvo una PPB de 2.222 $\text{gC}/\text{m}^2/\text{año}$.

La diferencia entre los resultados obtenidos parece indicar la influencia de la ubicación de ambos sitios de muestreo, ya que MCA se encuentra libre del influjo de las aguas del río Moín que desemboca en esta bahía y que transporta hidrocarburos de petróleo, mientras que MCB sí lo está, así como también está expuesta a la corriente superficial costera que acarrea contaminantes de otras regiones del Caribe (Acuña 1997).

Entre los principales problemas ecológicos de carácter antropogénico en la zona costera, está la contaminación por aguas negras, a lo cual podría deberse una alta concentración de bacterias que produjera una sobre estimación de la respiración en este sitio.

Conclusiones y Recomendaciones

Los valores de productividad primaria bruta determinados en el presente estudio, ubicaron a los sitios Bahía Culebra, Estero de Morales y Bahía Golfito entre los sistemas marino- costeros altamente productivos.

Por su parte, el sitio de estudio ubicado en Bahía Moín se ubicó como un sistema con una baja productividad primaria, obteniendo valores negativos que evidenciaron una mayor velocidad de la tasa respiratoria.

Estos resultados fueron congruentes con las características oceanográficas y biológicas de cada sitio.

La utilización de un perfil con cinco incubaciones: superficie, 50%, 25%, 10% y 1% de la radiación superficial permitió obtener una integración más precisa y una mejor estimación de la productividad primaria que otros estudios con menor número de incubaciones.

El análisis estadístico realizado con la prueba de correlación lineal de Pearson, no mostró relación entre la variación del perfil de productividad primaria y el perfil de incubación. Este mismo análisis no mostró semejanzas en la productividad primaria entre los periodos de incubación segundo y tercer quinto del día, ni entre las fechas de muestreo ni entre los sitios de estudio.

Se observaron algunas semejanzas en la variación de los perfiles generados para los parámetros físico-químicos, entre los quintos segundo y tercero del día, así como entre las fechas de muestreo para un mismo sitio.

Se recomienda para estudios posteriores aumentar la frecuencia de muestreo en un mismo sitio, manteniendo el perfil con cinco puntos de incubación, para generar una estructura de datos que permitan evaluar estadísticamente las variaciones espaciales y temporales en el sitio de estudio.

Es recomendable el muestreo simultáneo de varios grupos de plancton - incluyendo autótrofos y heterótrofos - en el perfil de incubación para determinar la composición de especies y su abundancia, con el fin de establecer posibles relaciones de ambos tipos de datos.

Se recomienda generar información para otros periodos de incubación (p.e. q1, q4, q5) y comparar los resultados con estudios anteriores.

Se recomienda para el caso particular de Bahía Moín, que se generen datos para la estaciona de muestreo utilizada para el presente estudio, e incluir otras estaciones en la costa Caribe para comparar sus resultados.

Continuar con un esquema de monitoreo de estos parámetros en todos los ambientes estudiados para establecer cambios a través del tiempo y ser por lo tanto, herramienta de manejo marino costero en Costa Rica.

Tempo	0.26	0.71	0.13	0.41	0.70	0.62	0.34	0.20
PH	7.39	7.29	7.46	7.29	7.28	7.41	7.21	7.39
Salinidad	32.4	32.5	32.1	32.8	32.8	32.4	32.8	32.0
Clorofila	0.72	1.10	0.87	0.77	0.70	0.74	0.78	0.90



Figura 2. Comparación de los ambientes muestreados Puerto Barrios (PBA), Golfo Dulce (GD), Bahía Moín (BM) y Bahía Culebra (BC) según los valores promedio de temperatura (Temp), pH, salinidad (Sal) y clorofila (Chl).

Anexo

Límites de detección

Sítio	Limite de Detección ($\mu\text{mol/L}$)							
	PMA		GDC		MCB		BCB	
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2
Fosfato	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.01
Silicato	0.18	127.00	0.80	0.24	0.79	0.10	0.36	0.07
Amonio	0.50	0.71	0.12	141	0.30	0.07	0.57	0.55
Nitrito	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00
Nitrato - A	0.30	0.05	0.03	0.06	0.08	0.04	0.04	0.05
Nitrato - B	0.72	0.06	0.27	0.07	0.09	0.04	0.69	0.02

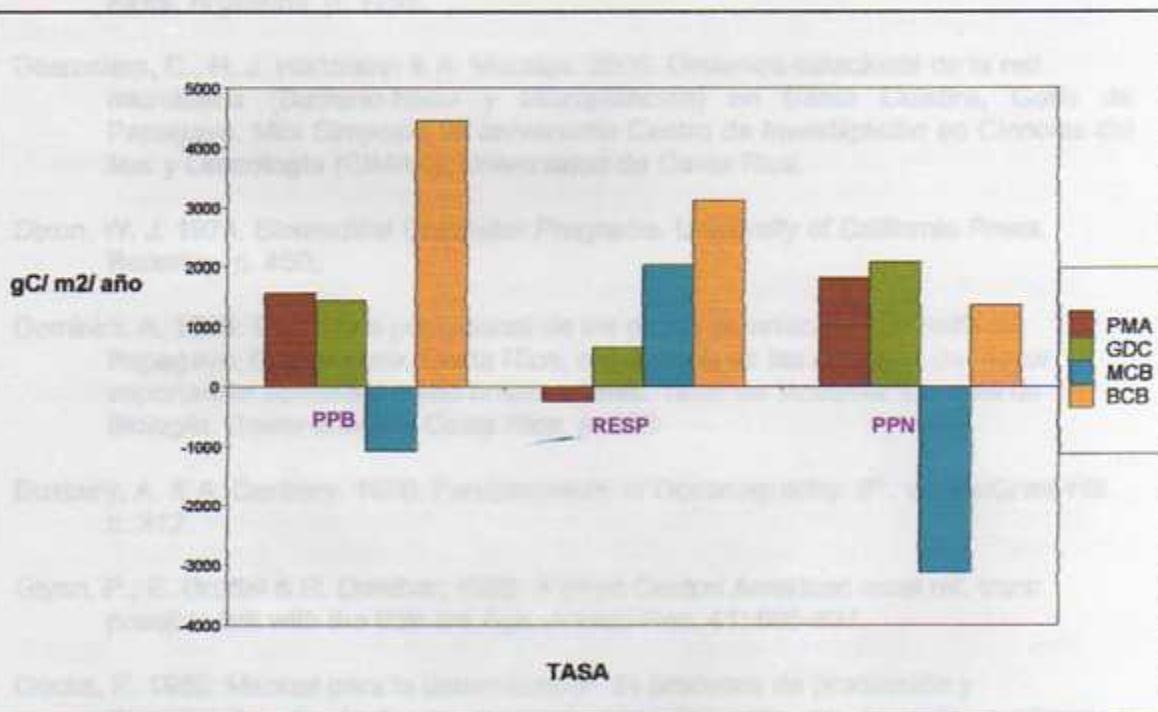


Figura 2. Comparación de los sitios de muestreo: Punta Morales (PMA), Golfo Dulce (GDC), Bahía Moín (MCB) y Bahía Culebra (BCB); según los valores promedio de productividad primaria bruta (PPB), neta (PPN) y respiración del plancton (Rsp.). Costa Rica. 2000.

Bibliografía

- Acuña, J., J. Cortés & M. Murillo. 1996-1997. Mapa de sensibilidad ambiental para derrames de petróleo en las costas de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (3)/ 45(1): 463- 470.
- Acuña, J. 1997. Informe Final Proyecto Regional GEF/RLA/G41 Planificación y Manejo de Bahías y Áreas Costeras Fuertemente contaminadas del Gran Caribe. Estudio de caso: Puerto Limón, Costa Rica. CIMAR-UCR. Capítulo Quinto.
- Alongi, D. M. 1989. Ecology of tropical soft bottom benthos: A review with emphasis on emerging concepts. *Rev. Biol. Trop.* 37: 85-100.
- Brewer, P. G. 1983. Carbon dioxide and the oceans. *In: Changing Climate*. National Academy Press, Washington DC.
- Córdoba, R. 1993. Productividad primaria en la columna de agua. Golfo de Nicoya, Costa Rica. Tesis. Maestría. Sistema de Estudios de Postgrado, Universidad de Costa Rica. p.73.
- Curtis, H. 1985. *Biología*. Cuarta Edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina. p. 1255.
- Desrosiers, C., H. J. Hartmann & A. Morales. 2006. Dinámica estacional de la red microbiana (Bacterio-Nano y Microplancton) en Bahía Culebra, Golfo de Papagayo. Mini Simposio 25 aniversario Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica.
- Dixon, W. J. 1974. *Biomedical Computer Programs*. University of California Press. Berkeley. p. 450.
- Dominici, A. 1999. Estructura poblacional de los peces de arrecifes del Golfo de Papagayo, Guanacaste, Costa Rica, con énfasis en las especies de mayor importancia comercial como ornamentales. Tesis de Maestría. Escuela de Biología. Universidad de Costa Rica. p. 208.
- Duxbury, A. & A. Duxbury. 1999. *Fundamentals of Oceanography*. 3rd. ed. McGraw-Hill. p. 312.
- Glynn, P., E. Druffel & R. Dumbar. 1983. A dead Central American coral reef tract: possible link with the little Ice Age. *J. Mar. Res.* 41: 605-637.
- Gocke, K. 1986. Manual para la determinación de procesos de producción y degradación de biotopos marinos especialmente en lagunas costeras y manglares. s.p. (mimeo.).
- Gocke, K., J. Cortés & C. Villalobos. 1990. Effects of red tides on oxygen concentration and distribution in the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 38 (2B): 401-407.

- Gocke, K., J. Cortés & M. Murillo. 2001. Planktonic primary production in a tidally influenced mangrove forest on the Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49. (Suppl. 2): 279-288.
- Hall, C.A.S. & R. Moll. 1975. Methods for assessing aquatic primary productivity. In: Lieth, H. y R. Whittaker (eds.). *Primary productivity of the biosphere*. Springer Verlag, Berlin. p. 339.
- Hebbeln, D., D. Beese and J. Cortes. 1996. Morphology and sediment structures in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Suppl. 3): 1-10.
- Holmes, R. W. 1970. The Secchi disk in turbid coastal waters. *Limnol. Oceanogr.* 15: 688-694.
- Ibarra, E. 1996. El valor de uso del paisaje submarino en el Golfo de Papagayo. Comparación de la industria de buceo deportivo con la industria de extracción de peces para acuario. Tesis de Licenciatura. Escuela de Economía, Universidad de Costa Rica. p. 120.
- Intergovernmental Oceanographic Commission. 1993. *Chemical Methods for use in marine environmental monitoring. Manuals and guides 12*. UNESCO. p. 53.
- Jiménez, C. 1998. Arrecifes y comunidades coralinas de Bahía Culebra, pacífico norte de Costa Rica (Golfo de Papagayo): aspectos ecológicos. Tesis Magister Scientiae Universidad de Costa Rica. p. 218.
- Jiménez, C. 2001. Arrecifes y ambientes coralinos de Bahía Culebra, pacífico de Costa Rica: aspectos biológicos, económicos-recreativos y de manejo. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Suppl. 2): 215-231.
- Krebs, C. J. 1978. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row, Publishers, Inc. New York, N.Y. p. 753.
- Kueber, J., C. Wawer & R. Lillebaek 1996. Microbiological observations in the anoxic basin Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 44 (Suppl. 3): 49-57.
- Lei, Zhang. 2002. Marine coastal dynamics and primary production response in Golfo Dulce, Costa Rica. A multi-sensor satellite approach. Tesis Magister Scientiae. International Institute for Geoinformation Science and Earth observation, Enschede, The Netherlands. p. 114.
- Lizano, O. 1998. Dinámica de las aguas en la parte interna del Golfo de Nicoya ante altas descargas del Río Tempisque. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Suppl. 6): 11-20.
- Mora, C., G. Hamazoui & R. Rojas. 2002. Estudio de Caso, Proyecto Turístico Golfo de Papagayo, Bahía Culebra. Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales. Sistema de Estudios de Postgrado, Universidad de Costa Rica. p. 48.
- Parsons, T., M. Takahaski & B. Hardgrave. 1984. *Biological Oceanographic Processes*. 3rd Edition. Pergamon Press, Oxford. p. 330.

- Peterson, C.L. 1958. The physical oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a tropical estuary. *Bull Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* 3: 139-216.
- Raymont, J. E.G. 1980. Plankton and Productivity in The Oceans. Volume 1 Phytoplankton. 2 th Edition. Pergamon Press. p. 489.
- Revelante, N. & M. Gilmartin. 1995. The relative increase of larger phytoplankton in a subsurface chlorophyll maximum of the northern Adriatic Sea. *J. Plancton Res.* 17: 1563-1571.
- Richards, F. 1965. *Anoxic Basins and Fjords. Chapter 13. In: Riley, J.P. & G. Skirrow (eds.). Chemical Oceanography. Vol.1. Academic, London.*
- Richards, F.A., J.J. Anderson & J.D. Cline. 1971. Chemical and physical observations in Golfo Dulce, an anoxic basin on the Pacific coast of Costa Rica. *Limnol and Oceanog.* 16 (1): 43-50.
- Riley, J. P. & R. Chester. 1989. *Introducción a la Química Marina. A.G.T. Editor, S.A. México, DF. p. 459.*
- Ryan, P.D., D.A.T. Harper & J.S. Whalley. 2007. PAST- Palaeontological Statistic, ver. 1.73.
- Silva, M. 1986. Productividad Primaria, Biomasa del Fitoplancton y la relación con parámetros físico-químicos en el Arrecife Coralino del Parque Nacional Cahuita. Tesis. Licenciatura. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. p. 72.
- Smith, S. & J. Hollibaugh. 1993. Coastal Metabolism and the Oceanic Carbon Balance. *Review of Geophysics* 31 (1): 75-89.
- Soto, R. 1997. Informe Final Proyecto Regional GEF/RLA/G41 Planificación y Manejo de Bahías y Áreas Costeras Fuertemente contaminadas del Gran Caribe. Estudio de caso: Puerto Limón, Costa Rica. CIMAR-UCR. Capitulo Segundo.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. A practical Handbook of seawater analysis. 2^o Edition. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- Thamdrup, B., D. Canfield, T. Ferdeman, R. Glud & J. Gundersen. 1996. A biogeochemical survey of the anoxic basin Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Suppl. 3): 19-33.
- Valiela I. 1984. *Marine Ecological processes. Springer-Verlag. New York. p. 546.*
- Wolff, M., H. Hartmann & V. Koch. 1996. A pilot trophic model for Golfo Dulce, a fjord-like tropical embayment, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 (Suppl. 3): 215-231.
- Wolff, M., V. Koch, J. B. Chavarria & J. Vargas. 1998. A trophic flow model of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46 (Suppl. 6): 63-79.