

**MONITOREO DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS (PERÍODO ABRIL-
JULIO DE 2009) Y EXPERIMENTOS SOBRE LA INFLUENCIA QUE
EJERCE LA ESPECIE *Caulerpa sertularioides* SOBRE LAS
CONCENTRACIONES DE AMONIO, NITRITOS Y ORTOFOSFATOS EN
EL ACUARIO MUNDO MARINO, SANTA MARTA**

ANDRÉS ALEJANDRO CEBALLES BURBANO

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
SANTA MARTA, D.T.C.H.**

2009

**MONITOREO DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS (PERÍODO ABRIL-
JULIO DE 2009) Y EXPERIMENTOS SOBRE LA INFLUENCIA QUE
EJERCE LA ESPECIE *Caulerpa sertularioides* SOBRE LAS
CONCENTRACIONES DE AMONIO, NITRITOS Y ORTOFOSFATOS EN
EL ACUARIO MUNDO MARINO, SANTA MARTA**

ANDRÉS ALEJANDRO CEBALLES BURBANO

**Trabajo de Grado para optar al título de
Biólogo Marino**

Director

ANDRÉS FRANCO HERRERA

Biólogo Marino

Ph.D. Oceanografía

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
SANTA MARTA, D.T.C.H.**

2009

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santa Marta 11 de Diciembre de 2009

A mi familia y amigos. Especialmente a mis padres, sin cuya dedicación, esfuerzo, amor y confianza, esto no habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Doctor Hernando Valencia, Director de la Fundación Museo del Mar y a cada uno de los funcionarios del Acuario Mundo Marino en el área de mantenimiento, por la colaboración brindada durante esta investigación, así mismo a los encargados del área administrativa, especialmente a Paula Polanía, por su ayuda en el suministro de datos y figuras. Igualmente a la Universidad Jorge Tadeo Lozano (sede Santa Marta) y cada uno de sus funcionarios, especialmente a Carlos Charris y Alexi Torres por su apoyo ofrecido en laboratorio y biblioteca, respectivamente.

También deseo expresar un profundo agradecimiento a mi Director Andrés Franco Herrera, por su ayuda, orientación, exigencia e interés a lo largo del proyecto. Así como también al profesor Adolfo Sanjuan Muñoz (UJTL), por su colaboración en el manejo de Excel y a la profesora Aminta Jáuregui (UJTL), por su apoyo e interés.

A toda mi familia, lo más valioso que tengo, por su apoyo incondicional, por su esfuerzo y por estar ahí cuando los necesité.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a mis amigos: **OSCAR CLARO, FRANCISCO LONDOÑO**, Santiago Martínez, Pedro Torres, Angélica Mejía, Milena Marrugo, Yuli Páez, Catalina Rojas y Camila Gómez entre otros. Por su incondicionalidad y apoyo antes, durante y después del proyecto. Seguramente mi trabajo y mi paso por la universidad no hubiesen sido los mismos sin su presencia.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA	25
1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	27
1.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	27
1.1.1 Temperatura	27
1.1.2 Salinidad	27
1.1.3 pH	28
1.1.4 Oxígeno disuelto	28
1.1.5 Nitrógeno	29
1.1.6 Fósforo	30
1.2 SISTEMAS DE FILTRACIÓN	30
1.3 PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y COMUNIDADES AUTOTRÓFICAS	37
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	41
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
4. HIPÓTESIS	43
5. METODOLOGÍA	44
5.1 ZONA DE ESTUDIO	44
5.2 TOMA DE DATOS	45
5.2.1 Monitoreo	45
5.2.2 Experimentos con macroalgas	48
5.3 FASE DE LABORATORIO	50
5.3.1 Amonio	50

5.3.2	Nitritos	
	50	
5.3.3	Ortofosfatos	
	50	
5.3.4	Pigmentos fotosintéticos	
	51	
		Pág.
5.4	FASE DE GABINETE	51
5.4.1	Monitoreo	51
5.4.2	Experimentos con macroalgas	55
6.	RESULTADOS	56
6.1	SISTEMAS INTERNOS	56
6.1.1	Temperatura	56
6.1.2	Salinidad	57
6.1.3	Porcentaje de saturación de O ₂	58
6.1.4	pH	59
6.1.5	Nutrientes	60
6.1.6	Pigmentos fotosintéticos	65
6.2	SISTEMAS EXTERNOS	69
6.2.1	Temperatura	69
6.2.2	Salinidad	70
6.2.3	Porcentaje de saturación de O ₂	71
6.2.4	pH	73
6.2.5	Nutrientes	74
6.2.6	Pigmentos fotosintéticos	78
6.3	COMPARACIÓN DE MONITOREOS	82
6.4	EXPERIMENTOS CON ALGAS	85
6.4.1	Biomasa algal	85

6.4.2	Temperatura del agua	87
6.4.3	Salinidad	88
6.4.4	pH	89
6.4.5	Nutrientes	91
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
7.1	COMPONENTE FÍSICO	99
		Pág.
7.2	NUTRIENTES	105
7.3	PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS	108
7.4	COMPARACIÓN DE MONITOREOS	110
7.5	EXPERIMENTOS CON ALGAS	113
8.	CONCLUSIONES	117
9.	RECOMENDACIONES	119
10.	BIBLIOGRAFÍA	120
11.	ANEXOS	128

LISTA DE TABLAS

Pág.

- Tabla 1. Rangos óptimos y valores aceptables de algunos parámetros fisicoquímicos para acuarios marinos tropicales (tomado y modificado de Ortiz, 2004). Temp.: temperatura del agua; Sal.: salinidad; O.D.: oxígeno disuelto; NH_4^+ : amonio; NO_2^- : nitritos; HPO_4^- : ortofosfatos; **** Dato no suministrado 32
- Tabla 2. Valores promedio, máximo y mínimo de los parámetros fisicoquímicos monitoreados en los sistemas de acuario de Mundo Marino entre los años 2000 y 2007. *** Dato no disponible (tomado de Fundación Museo del Mar, 2009). 35
- Tabla 3. Rangos de concentración de nutrientes ($\mu\text{g-at/L}$) y concentración de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en la Ensenada de Gaira (modificado de Franco, 2005). --- Dato no disponible. 37
- Tabla 4. Características de los diferentes sistemas que componen el Acuario Mundo Marino, Santa Marta (tomado y modificado de Montoya, 2003). 44
- Tabla 5. Prueba estadística espacial (entre acuarios) en donde se muestra el número de comparaciones y el porcentaje de esas comparaciones con diferencias significativas (Wilcoxon; valor $p < 0,05$) por pigmento de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009. 65

Tabla 6. Análisis temporal (entre muestreos) para cada pigmento de los sistemas internos estudiados entre abril y agosto de 2009, en donde se indica la cantidad de comparaciones y el porcentaje de las mismas con diferencias significativas (Wilcoxon; $n=122$; valor $p < 0,05$). 67

Tabla 7. IAF tanto para feopigmento como para carotenoides por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009, con su respectivo error estándar. 69

Tabla 8. Análisis espacial por pigmento fotosintético de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009, incluyendo número de comparaciones y porcentaje de éstas con diferencias significativas (Wilcoxon; $n=40$; valor $p < 0,05$).---: Prueba no realizada por el programa estadístico. 79

Tabla 9. Resultados obtenidos para el análisis temporal para cada pigmento de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009, en donde se indica la cantidad de comparaciones y el porcentaje de las mismas con diferencias significativas (Wilcoxon; $n=40$; valor $p < 0,05$). 81

Tabla 10. IAF tanto para feopigmento como para carotenoides por muestreo de los acuarios internos estudiados ente abril y agosto de 2009, con su respectivo error estándar. 82

Tabla 11. Prueba comparativa entre el actual monitoreo y los realizados en el 2008 y 2000, respectivamente, indicando el número de comparaciones y el valor p de la prueba (Wilcoxon-Mann Whitney; n.d: no determinada por el autor del año correspondiente). 85

Tabla 12. Resultados obtenidos de biomasa algal en el primer experimento con <i>Caulerpa sertularioides</i> .	86
---	----

Tabla 13. Resultados obtenidos de biomasa algal en el segundo experimento con <i>Caulerpa sertularioides</i> .	87
--	----

Tabla 14. Relación entre el cambio en la concentración de los nutrientes y la cantidad y la densidad del alga, así como también la relación entre la variación en la concentración del nutriente y el cambio en la biomasa algal en el primer experimento. Δ : Variación en el tiempo; los valores positivos representan ganancia y los negativos pérdida.	98
---	----

Tabla 15. Relación entre el cambio en la concentración de los nutrientes y la cantidad y la densidad del alga, así como también la relación entre la variación en la concentración del nutriente y el cambio en la biomasa algal en el el segundo experimento. Δ : Variación en el tiempo; los valores positivos representan ganancia y los negativos pérdida.	99
---	----

Tabla 16. Promedios mensuales de algunas variables climatológicas entre los meses de abril a agosto de 2009 para el Caribe Colombiano (Datos tomados de CIOH, 2009)	102
---	-----

Tabla 17. Número total de organismos exhibidos a lo largo del periodo de muestreo, tanto en los sistemas internos como en los externos (Datos facilitados por Polanía P. com pers. 24 de Septiembre de 2009).	113
---	-----

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Morfología externa del alga <i>Caulerpa sertularioides</i> , la cual se utilizó en los experimentos del presente estudio (tomado de Littler & Littler, 2000).	39
Figura 2. Distribución de los acuarios internos de Mundo Marino con los respectivos nombres que se les asignó, las flechas indican el recorrido que realizan los visitantes, desde la entrada hasta la salida al área de piscinas (tomado y modificado de Londoño (2009)).	46
Figura 3. Esquema y dimensiones de la megapiscina de Mundo Marino. A: Megapiscina tiburón somero; B: Megapiscina tiburón profundo; C: Megapiscina mangle somero; D: Megapiscina mangle profundo (tomado y modificado de Fundación Museo del Mar, 1999).	47
Figura 4. Temperatura del agua promedio para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).	56
Figura 5. Temperatura del agua promedio por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.	57
Figura 6. Salinidad promedio por acuario (UPS) para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).	57

Figura 7. Promedio obtenido en salinidad (UPS) por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 58

Figura 8. Porcentaje de saturación de O₂ promedio para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). 58

Figura 9. Porcentaje de saturación de O₂ promedio por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 59

Figura 10. pH promedio para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). 60

Figura 11. pH promedio por muestreo de los acuarios internos estudiados ente abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 60

Figura 12. Concentración promedio de amonio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$) para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). 61

Figura 13. Concentración promedio de amonio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$), por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 62

Figura 14. Concentración promedio de nitritos ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). 62

Figura 15. Concentración promedio por muestreo de nitritos ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 63

Figura 16. Concentración de ortofosfatos promedio ($\mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$) para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). 64

Figura 17. Concentración promedio de ortofosfatos ($\mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$) por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 64

Figura 18. Promedio obtenido durante el periodo de muestreo, de los diferentes pigmentos fotosintéticos ($\mu\text{g/L}$), por acuario en los sistemas internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (Chl a: Clorofila a; Chl b: Clorofila b; Chl c: Clorofila c). 66

Figura 19. Concentraciones promedio por muestreo para cada pigmento fotosintético de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo, A: Clorofila a, B: Clorofila b, C: Clorofila c, D: Carotenoides, E: Feopigmento a. 68

Figura 20. Temperatura promedio (°C) para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo. 69

Figura 21. Temperatura promedio por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 70

Figura 22. Salinidad promedio (UPS) para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo. 71

Figura 23. Salinidad promedio (UPS) por muestreo de los acuarios externos estudiados ente abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 71

Figura 24. Porcentaje de saturación de O₂ promedio para cada uno de las acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo. 72

Figura 25. Porcentaje de saturación promedio de O₂ por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 73

Figura 26. pH promedio para cada uno de las acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo. 73

Figura 27. pH promedio por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 74

Figura 28. Concentración promedio de amonio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$) para cada uno de las acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo. 75

Figura 29. Amonio promedio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$) por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 75

Figura 30. Concentración de nitritos promedio ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) para cada uno de las acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo. 76

Figura 31. Concentración de nitritos promedio ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 77

Figura 32. Concentración de ortofosfatos promedio ($\mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$) para cada uno de las acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo. 77

Figura 33. Ortofosfatos promedio ($\mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$) por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo. 78

Figura 34. Promedio de concentración de pigmentos fotosintéticos ($\mu\text{g/L}$) por acuario de los sistemas externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (Chl a: Clorofila a; Chl b: Clorofila b; Chl c: Clorofila c). 80

Figura 35. Concentraciones promedio por muestreo para cada pigmento fotosintético de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 ($\mu\text{g/L}$; cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo, A: Clorofila a, B: Clorofila b, C: Clorofila c, D: Carotenoides, E: Feopigmento a. 81

Figura 36. Promedios totales para cada uno de los tres monitoreos comparados (Corredor *et al.*, 2000; Londoño, 2009 y el presente estudio), para cada variable física (A: Temperatura, B: salinidad, C: porcentaje de saturación de O_2 y D: pH; las barras indican la desviación estándar). 83

Figura 37. Promedio de nutrientes (A: amonio, B: nitritos y C: ortofosfatos) por monitoreo(Corredor *et al.*, 2000; Londoño, 2009 y el presente estudio; Las barras expresan la desviación estándar). 83

Figura 38. Promedio total de pigmentos fotosintéticos (A: Clorofila a, B: Clorofila b, C: Clorofila c, D: Carotenoides y E: Feopigmento a) por monitoreo(Corredor *et al.*, 2000; Londoño, 2009 y el presente estudio; las barras indican la desviación estándar). 85

Figura 39. Temperaturas promedio de los dos experimentos realizados, por acuario (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento. 88

Figura 40. Comportamiento de la temperatura del agua a lo largo del tiempo por acuario, para los dos experimentos. A: primer experimento; B: segundo experimento. 89

Figura 41. Salinidades promedio de los dos experimentos realizados, por acuario (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento. 90

Figura 42. Comportamiento de la salinidad a lo largo del tiempo por acuario, para los dos experimentos. A: primer experimento; B: segundo experimento. 90

Figura 43. pH promedio para cada acuario, en los dos experimentos realizados (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento. 91

Figura 44. pH a lo largo del tiempo por acuario, para los dos experimentos. A: primer experimento; B: segundo experimento. 92

Figura 45. Amonio promedio por acuario para cada experimento realizado (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento. 93

Figura 46. Concentración de amonio a lo largo del tiempo por acuario, para cada experimento realizado. A: primer experimento; B: segundo experimento. 94

Figura 47. Nitritos promedio por acuario para cada uno de los experimentos (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento. 95

Figura 48. Concentración de nitritos a lo largo del tiempo para los dos experimentos realizados. A: primer experimento; B: segundo experimento. 96

Figura 49. Ortofosfatos promedio por acuario, para ambos experimentos realizados (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento. 97

Figura 50. Ortofosfatos a lo largo del tiempo por acuario, en ambos experimentos realizados. A: primer experimento; B: segundo experimento. 97

Figura 51. Distribución de la temperatura en los acuarios internos de Mundo Marino, indicando la ubicación del sistema de aire acondicionado (tomado y modificado de Londoño, 2009). 101

Figura 52. Patrón que sigue el nitrógeno en un acuario marino típico (tomado y modificado de Moe, 1992). 107

Figura 53. Esquema general de un refugio de algas, las flechas indican la dirección del agua. 117

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Datos brutos tanto del monitoreo como de los dos experimentos (En formato digital).	128
---	-----

RESUMEN

Con el fin de determinar si las condiciones físicas y químicas presentes en los sistemas del Acuario Mundo Marino eran óptimas para los animales exhibidos, se muestrearon por un lapso de 16 semanas variables fisicoquímicas tales como temperatura del agua, salinidad, porcentaje de saturación de oxígeno, pH, concentración de nutrientes (amonio, nitritos y ortofosfatos), así como la concentración de algunos pigmentos fotosintéticos. Se encontró que el Acuario Mundo Marino presenta una salinidad alta en los sistemas externos, un porcentaje de saturación de oxígeno en promedio un poco bajo, así como concentraciones altas de nutrientes en todos los acuarios. Por otro lado, la comunidad fitoplanctónica de los sistemas internos presentó un estado de senescencia. El resto de variables se comportaron de acuerdo a los rangos óptimos. Se confirmó también que históricamente estas variables no han fluctuado demasiado (promedio total) comparado con monitoreos realizados en los últimos 9 años.

Por otro lado se realizó un experimento con *Caulerpa sertularioides* con el fin de conocer si el alga podría ser útil en la reducción de la concentración de nutrientes. Se colocaron algas en ciertos acuarios por un periodo de 10 días en dos ocasiones con diferentes densidades en cada una. Se concluyó que el alga si reduce dichas concentraciones, pero su eficacia se da en densidades altas, por lo cual, se recomienda la construcción de un “refugio de algas”, que permita mejorar los niveles de nutrientes en los sistemas internos.

PALABRAS CLAVE: Parámetros fisicoquímicos, nutrientes, pigmentos fotosintéticos, *Caulerpa sertularioides*.

ABSTRACT

With the purpose of determining if the present physical and chemical conditions in the Mundo Marino Aquarium systems were optimal for the exhibited animals, variables such as water temperature, salinity, oxygen saturation, pH, nutrients concentration ammonium, nitrites and orthophosphates), as well as some photosynthetic pigments were sampled by a lapse of 16 weeks. The Mundo Marino Aquarium presents a high salinity levels in the external systems, a low oxygen percentage and high nutrients concentration at all the aquariums. On the other hand, the phytoplanktonic community of the internal systems appeared in senescence state. The rest of variables behaved according to the optimal ranks, and also confirmed that historically these variables have not fluctuated (total average) compared to previously studies in the last 9 years.

On the other hand, an experiment with *Caulerpa sertularioides* was made with the purpose of knowing if the algae could be useful in the nutrients concentration reduction. Seaweeds were putted in certain aquariums by a period of 10 days in two occasions with different densities in each one. We concluded that the algae do reduces these concentrations, but its effectiveness occurs in high densities of the algae, with which the construction of “seaweed refuge” is recommended to obtain better nutrient levels in the internal systems.

KEY WORDS: Physical and chemical parameters, nutrients, photosynthetic pigments, *Caulerpa sertularioides*.

INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA

Desde hace algunos años se ha venido despertando un interés por los sistemas marinos cerrados, bien sean para fines comerciales (e.g. cultivo de peces y moluscos), investigativos, educativos y recreativos, como es el caso del Acuario Mundo Marino (Fundación Museo del Mar, 1999). Debido a que se pretende que los acuarios simulen las condiciones del medio natural y así los organismos vivan en óptimas condiciones, se hace necesario encaminar esfuerzos que permitan entender los procesos que alteran la calidad de agua y establecer las medidas pertinentes que conlleven a la solución de tales problemas. Es de vital importancia que los parámetros que determinan dicha calidad, se mantengan en rangos estables y adecuados para las especies presentes en cada uno de estos sistemas y que los organismos tengan una buena calidad de vida (Wrobel & Meyers, 1997), ya que cambios o alteraciones existentes en la calidad del agua influyen directamente en las funciones vitales de los animales exhibidos, llegando en caso extremo a niveles letales con las respectivas repercusiones económicas, ante la falta de conocimiento y control (Hunnam *et al.*, 1991).

Es bien sabido que el agua marina de los sistemas cerrados tiende inevitablemente a la eutroficación, esto, debido a la alta producción de compuestos nitrogenados resultado del metabolismo de los organismos presentes en los acuarios (Spotte, 1973), pero la implementación de sistemas de aireación, recirculación y principalmente filtración, evitan la acumulación de dichos nutrientes, manteniendo en niveles óptimos la concentración de nutrientes y que de esta manera, se simulen adecuadamente los diferentes ecosistemas en los cuales habitan las especies exhibidas.

Debido a esta eutroficación, los acuarófilos desde hace tiempo incorporan en sus acuarios macroalgas, cuya función es asimilar estos nutrientes, manteniendo así óptima la calidad del agua, además de darle al acuario un mejor aspecto (Wrobel & Meyers, 1997). Ya que en el Acuario Mundo Marino no hay presencia de macroalgas en sus sistemas de exhibición, e históricamente se han reportado altos niveles de algunos nutrientes como ortofosfatos (Corredor *et al.*, 2000; Montoya, 2003; Londoño, 2009), es necesaria su introducción, ya sea tanto para regular la concentración de algunos de ellos, como también para darle a los acuarios un aspecto más natural.

Bajo este marco de referencia, el presente estudio tuvo como finalidad evaluar las características fisicoquímicas y la biomasa fitoplanctónica en las diferentes baterías de acuarios marinos que componen la infraestructura del Acuario Mundo Marino, y así establecer si se presenta una estabilidad, o por el contrario, cambios en las condiciones fisicoquímicas con respecto a los monitoreos realizados durante el segundo semestre del año 2000 (Corredor *et al.*, 2000) y entre los meses de agosto y septiembre de 2008 (Londoño, 2009). Asimismo, evaluar el comportamiento de los nutrientes en algunos sistemas al introducir macroalgas de la especie *Caulerpa sertularioides*, haciendo un seguimiento a sus concentraciones, con el fin de dictaminar si es o no beneficiosa su presencia en el acuario. Este trabajo está adscrito al Programa de Biología Marina, Facultad de Ciencias Naturales, de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, y se realiza como requisito para optar al título de Biólogo Marino de la misma Institución. Igualmente estuvo enmarcado dentro del Grupo de Investigación *Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino-Costeros*, dentro de la línea de investigación denominada *Acuario Mundo Marino*.

1. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

1.1.1 Temperatura La temperatura del agua es una de las propiedades físicas más importantes de los ambientes marinos ya que influencia muchos eventos físicos, químicos, geoquímicos y biológicos. Esta variable igualmente determina parcialmente la concentración de gases disueltos en el agua de mar, como el oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂), los cuales están profundamente ligados con los procesos biológicos (Lalli & Parsons, 1997; Cognetti *et al.*, 2001).

La temperatura es uno de los principales factores a tener en cuenta cuando se habla de acuarios marinos, puesto que esta determina el tipo de vida que se puede mantener en ellos, ya que cada organismo evolutivamente ha desarrollado las adaptaciones necesarias para desarrollarse dentro de un rango ideal (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992; Adey & Loveland, 1998). El óptimo de temperatura sugerido por Moe (1992) para un acuario marino tropical oscila entre los 24°C y 28°C, con un ideal de 25,60°C.

1.1.2 Salinidad La salinidad se refiere al contenido de sales en el agua de mar, de éstas el cloruro de sodio (NaCl) representa un poco más del 85 % de las sales disueltas en el agua marina; solo cuatro elementos adicionales (azufre en forma de sulfatos (SO₄⁻), magnesio (Mg⁺⁺), calcio (Ca⁺⁺) y potasio (K⁺)), completan el 99 % de la composición (Adey & Loveland, 1998). La salinidad en aguas superficiales se incrementa por la remoción de agua por medio de la evaporación, y disminuye principalmente mediante el aporte de agua dulce por precipitación y por la desembocadura de ríos. La salinidad promedio de los océanos es de aproximadamente 35 UPS. Su rango en las aguas superficiales es mucho mayor

que en las capas más profundas, fluctuaciones resultantes principalmente de las interacciones atmósfera-océano (Lalli & Parsons, 1997; Cognetti *et al.*, 2001). Para acuarios tropicales, este parámetro debe estar entre 34 y 37, sin variar más que 0,05 UPS al día (Adey & Loveland, 1998), aunque según lo propuesto por Moe (1992) el valor adecuado es de 35 UPS, sin embargo, hay muchos organismos que requieren salinidades entre 28 y 32 UPS. Es muy importante mantener estables estos valores, ya que ésta afecta fisiológicamente a los peces, puesto que su aumento tiende a desestabilizar el equilibrio osmótico de los individuos y pueden morir por deshidratación (Spotte, 1973).

1.1.3 pH Moe (1992), define el pH como el promedio de la cantidad de hidrogeniones (H^+) y de hidroxilos (OH^-) presentes en un medio acuoso. Para su cuantificación se usa una escala logarítmica (es decir que cada punto representa una concentración 10 veces mayor que el punto anterior), que varía de 1 a 14, siendo 1 el más ácido, 7 neutral y 14 básico. El valor para pH en el océano varía entre 7,50 y 8,30 (Spotte, 1973; Moe, 1992), y es este rango el que se aconseja mantener en los acuarios, teniendo cuidado de no presentar fluctuaciones bruscas en poco tiempo. Existen principalmente dos iones que afectan el pH, estos son el bicarbonato (HCO_3^-) y el carbonato (CO_3^{2-}) (Spotte, 1973), ambos provienen de la combinación de dióxido de carbono (CO_2) con el agua, es por esta razón que el control de esta molécula es la manera más efectiva de mantener el pH estable (Moe, 1992). Una de las formas en que se puede controlar esto, es utilizando gravilla calcárea en el fondo del filtro, puesto que está conformada por carbonato de calcio ($CaCO_3$), que mantiene equilibrada la ecuación que determina la acidez o basicidad del agua (Spotte, 1973).

1.1.4 Oxígeno disuelto El oxígeno disuelto (O.D.) llega al agua de dos formas, cuando el O_2 presente en la atmósfera (alrededor del 20 %) se disuelve directamente en las aguas superficiales (Moe, 1992) o bien, se puede generar

mediante la fotosíntesis de organismos autótrofos subacuáticos. Es afectado por factores como la profundidad, la respiración de la biota, oxidación de compuestos orgánicos (INVEMAR, 2003), así como también por la temperatura, salinidad e incluso la presión atmosférica (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992). La importancia del oxígeno disuelto se basa en su porcentaje de saturación, puesto que es éste el que determina la cantidad disponible para los organismos; en agua marina con una salinidad de 27,10, 25°C y 1 atm de presión se requieren 7,08 mg/L, para alcanzar una saturación del 100 % (INVEMAR, 2003). El O.D. puede caer a valores letales cuando los acuarios marinos presentan alta salinidad, alta temperatura, filtro con mucha demanda de oxígeno, iluminación nula o muy baja y poca aireación (Moe, 1992), sin embargo, existen formas efectivas las cuales previenen la falta de oxígeno en los acuarios, entre estas se encuentran, además de mantener parámetros como la temperatura y la salinidad en rangos apropiados, una buena iluminación, constante aireación y la creación de turbulencias al interior del acuario, puesto que estas aumentan la superficie de contacto entre el agua y el aire, maximizando el intercambio gaseoso, manteniendo así altos los valores de O.D. y bajos los de dióxido de carbono (CO₂) (Spotte, 1973; Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992).

1.1.5 Nitrógeno El nitrógeno es requerido para la síntesis de proteínas y se presenta en tres formas inorgánicas disueltas principales: amonio (NH₄⁺), nitrito (NO₂⁻), y nitrato (NO₃⁻). El nitrógeno también forma materia orgánica disuelta como urea, aminoácidos y péptidos. El amonio es la forma que los organismos autótrofos prefieren de nitrógeno ya que no requiere una reducción química para ser usado en la síntesis de proteínas y demanda menor consumo de energía celular. El nitrato debe ser reducido por la enzima nitrato reductasa y requiere la presencia de molibdeno como un oligoelemento para su asimilación, el nitrito debe ser reducido por la enzima nitrito reductasa y su asimilación requiere de luz; lo que

hace de su consumo (nitrito y nitrato) un proceso químicamente más lento (Balech, 1977; Álvarez, 1981).

1.1.6 Fósforo El fósforo se presenta en el agua de mar principalmente como fosfato inorgánico u ortofosfatos (PO_4^- ó HPO_4^-), es requerido para la síntesis de ATP, y es una fuente de energía crucial en las reacciones enzimáticas. También aparece como fósforo orgánico y particulado (Álvarez, 1981; Levinton, 2001). Su tendencia a formar compuestos difíciles de disolver constituye uno de los problemas ecológicos más graves, por cuanto el fósforo se va “retirando” del ciclo biológico y solo parte de él vuelve a incorporarse por acción del viento sobre las rocas, las salpicaduras del mar y los afloramientos oceánicos (Álvarez, 1981). En un sistema cerrado los ortofosfatos disueltos son producidos por los desechos metabólicos de peces y microorganismos (Moe, 1992).

1.2 SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Existen tres métodos que pueden filtrar el agua de los acuarios, estos son el mecánico (captura material particulado que se encuentra suspendido en el agua, puede retener partículas tan pequeñas como 50 μm); el químico (remueve moléculas de compuestos disueltos en el agua, trabaja principalmente con carbono activado y resinas) y el biológico, el cual utiliza organismos vivos para transformar o remover compuestos tóxicos del sistema (Moe, 1992). La filtración biológica se puede efectuar usando moluscos bivalvos, algas o bacterias, siendo esta última la más utilizada (Coll, 1986). La base para crear un filtro biológico es tener el sustrato adecuado, generalmente se recomienda grava, con una buena aireación para el establecimiento de bacterias aerobias, que realizan la oxidación de los compuestos tóxicos, los cuales son, principalmente amonio y nitritos (Moe, 1992).

El amonio, según lo explican Adey & Loveland (1998), es altamente tóxico cuando se encuentra en altas concentraciones y no existe una actividad bacteriana suficiente para removerlo. Este se presenta en el medio acuático (tanto en agua dulce como marina) de dos formas, la primera como amoniaco libre (NH_3^+), en segundo lugar se encuentra su estado ionizado, (NH_4^+), aunque sus dos formas se consideran tóxicas, el amonio libre ó amoniaco es el que más daño causa a los organismos acuáticos (Moe, 1992), normalmente estos dos compuestos se encuentran equilibrados en el medio marino, pero cambios en el pH pueden favorecer a uno u otro, es así como altos valores de esta variable favorecen la formación de NH_3^+ y existe un mayor riesgo por envenenamiento para los animales (Coll, 1986). El amonio proviene de los desechos metabólicos de los organismos presentes en el acuario, así como también de la remineralización de compuestos orgánicos por parte de bacterias heterotróficas (Spotte, 1973). La oxidación del amonio lo realizan un grupo de bacterias denominadas *Nitrosomonas* las cuales lo usan para adquirir energía y transforman este en nitritos (NO_2^-) en el proceso, aún así, el problema de toxicidad no está del todo resuelto, pues los nitritos también pueden llegar a ser perjudiciales para los organismos, cuando se encuentran en altas concentraciones, es por esto que el proceso se complementa con un segundo paso, el cual consiste en la oxidación de nitritos a nitratos (NO_3^-) y es llevado a cabo por bacterias denominadas *Nitrobacter* (Spotte, 1973; Coll, 1986; Moe, 1992). Aunque la mayoría de los autores no consideran los nitratos tóxicos (Spotte, 1973; Coll, 1986; Moe, 1992; Adey & Loveland, 1998; Neori *et al.*, 2007).

Gutiérrez y Malone (2006) señalan que altas concentraciones de este compuesto (superiores a 50 mg NO_3^-/L) pueden llegar a ser letales, aunque depende de la especie y el estado de desarrollo en que se encuentre, también puede provocar crecimiento lento, susceptibilidad a enfermedades y baja fertilidad. Para mantener

controlados los niveles de nitratos en un acuario, se recomienda efectuar recambios de agua periódicamente, también se puede favorecer el crecimiento de bacterias anaerobias denitrificantes, las cuales, a partir de nitratos y/u óxido nitroso, liberan nitrógeno gaseoso (N_2) a la atmósfera (Moe, 1992; Gutiérrez & Malone, 2006).

Desde 1985 se presenta material bibliográfico y estudios que conllevan a formular un valor o rango óptimo para el buen desarrollo de un acuario marino tropical, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Rangos óptimos y valores aceptables de algunos parámetros fisicoquímicos para acuarios marinos tropicales (tomado y modificado de Ortiz, 2004). Temp.: temperatura del agua; Sal.: salinidad; O.D.: oxígeno disuelto; NH_4^+ : amonio; NO_2^- : nitritos; HPO_4^- : ortofosfatos; **** Dato no suministrado.

Fuente	Temp. (°C)	Sal. (UPS)	pH	O.D. (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	HPO_4^- (mg/L)
Moe (1992)	23,90 - 27,80	28 - 35	7,8 - 8,4	4 - 7	0,10 - 1,00	1 - 3	< 3
Giraldo & Jáuregui (1995; En: Ortiz, 2004)	25 - 30	35 - 37	7,6 - 8,3	5 - 7	0,05 - 0,50	0,10 - 0,50	0,06 - 2
Tullock (1997)	24	35 - 36	8 - 8,5	> 6,90	0	0	< 0,05
Fenner (1998)	25 - 30	35 - 36	8,1 - 8,4	> 5	< 0,25	< 0,10	****
Ortiz (2004)	25 - 30	34 - 37	8,1 - 8,3	5 - 7	0,05 - 0,50	0,10 - 0,50	0,05 - 2,00

Los acuarios marinos tropicales han despertado el interés de particulares y científicos desde hace poco tiempo, y es por esta razón que son escasos los estudios acerca de estos. Internacionalmente, se reconoce como pionero al Smithsonian Institution National Museum of Natural History, en Washington (EE.UU.), que tiene en sus instalaciones lo que se denomina un “microcosmo de exhibición”, que en el caso en particular, es un tanque de 3000 galones de capacidad, en el cual simulan un ecosistema coralino caribeño y que está en

funcionamiento desde principios de la década de los 90. En sí, todos estos montajes, se pueden definir, como microcosmos que reúnen información tanto fisicoquímica como biológica que regulan su funcionamiento (Adey & Loveland, 1998).

Localmente, en el Acuario Mundo Marino, se han desarrollado estudios como Seminarios de investigación y Trabajos de grado de estudiantes de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, del Programa de Biología Marina. Gil *et al.* (1996), compararon tres sistemas de filtración, con base en algunos parámetros fisicoquímicos y supervivencia del componente biológico (dos especies de erizos: *Meoma ventricosa* y *Echinometra lucunter*), concluyendo que el fósforo presenta un comportamiento acumulativo y que la concentración de amonio y nitritos se ve afectada por la presencia de bacterias dentro de los sistemas. En 1999, Ortiz *et al.*, compararon la eficiencia de dos sistemas de filtración externa (biológica y química), con base en adiciones de amonio, los autores llegaron a la conclusión que el filtro biológico presenta una mayor efectividad cuando hay condiciones eutróficas (altas concentraciones de amonio), además de que puede reducir todos los nutrientes, así como también que el pH y el oxígeno disuelto son los parámetros que influyen en la tasa de reciclamiento de amonio en los acuarios marinos.

Posteriormente Corredor *et al.* (2000), evaluaron los parámetros fisicoquímicos y la biomasa fitoplanctónica en los acuarios durante el segundo semestre del mismo año, encontrando valores entre 25 a 30°C para la temperatura, 32 a 46 y 7,2 a 8,4 en la salinidad y pH, respectivamente; en el estudio concluyen que el sistema de filtración biológica implementado por el acuario es eficiente, puesto que mantiene bajos los niveles de amonio y nitritos, atribuyendo esto a los altos niveles de oxígeno disuelto (O.D.) reportados; en cuanto a la concentración de pigmentos fotosintéticos, se hallaron valores entre 24,2 y 87,38 µg clorofila a /L, debido a la

adición de agua potable sin previa filtración, lo que pudo facilitar la proliferación de fitoplancton, entre otros. Una continuación a este trabajo fue desarrollada por Montoya (2003), quien evaluó los mismos parámetros anteriormente estudiados (temperatura, salinidad, pH, O.D., porcentaje de saturación de oxígeno, amonio, nitritos, ortofosfatos y biomasa fitoplanctónica) entre los meses de julio y octubre de 2001, en este se evidenció anomalías en el sistema de filtración biológica, puesto que persistió la acumulación de ortofosfatos, al igual que se presentaron aguas subsaturadas de oxígeno teniendo como consecuencia incrementos en las concentraciones de nitritos; igualmente se hallaron bajas cantidades en la biomasa fitoplanctónica, lo que sugiere una buena retención de partículas por parte del filtro externo.

Ortiz (2004), estudió los posibles efectos de los parámetros físico-químicos sobre la clorofila c en *Acropora cervicornis*, en el cual se controlaban las variables con ayuda de recolectores de espuma, llegando a la conclusión que los nutrientes nitrogenados disminuyen su concentración si el recolector de espuma disminuye la carga de materia orgánica dentro del sistema, así como también que la combinación de recolector de espuma con macroalgas, producen un control sobre la acumulación de nitratos; una vez más, en este estudio se evidenció que el fósforo tiene una tendencia acumulativa en los sistemas cerrados.

En cuanto a los monitoreos de parámetros fisicoquímicos (e.g temperatura, salinidad, pH y O.D.) realizados por los funcionarios del Acuario mensualmente (Fundación Museo del Mar, 1999, 2009), se puede observar una baja fluctuación en los valores de las variables evaluadas entre los diferentes años, aunque independientemente a lo largo de cada uno de estos se presenta grandes diferencias especialmente en la salinidad y oxígeno disuelto (Tabla 2).

Por último Londoño (2009), realizó un monitoreo de parámetros físico-químicos en el periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2008, con el fin de

determinar si había o no fluctuación en los parámetros fisicoquímicos (e.g temperatura, salinidad, pH, saturación de oxígeno, amonio, nitritos, ortofosfatos), con respecto a monitoreos anteriores y así, valorar el grado de madurez de los filtros del acuario. La presente investigación constituye una continuación a los monitoreos que se han venido realizando en el acuario.

Tabla 2. Valores promedio, máximo y mínimo de los parámetros fisicoquímicos monitoreados en los sistemas de acuario de Mundo Marino entre los años 2000 y 2007. *** Dato no disponible (tomado de Fundación Museo del Mar, 2009).

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Temperatura (°C)	Promedio	27,11	26,02	26,87	25,93	25,87	26,62	26,17	27,04
	Máximo	28,5	28,1	29,0	30,0	28,8	30,0	28,8	31,6
	Mínimo	24,2	20,6	21,4	23,0	23,0	23,2	23,3	22,7
Salinidad (UPS)	Promedio	34,17	36,13	35,97	36,59	35,87	35,77	36,35	36,35
	Máximo	40	41	42	44	45	40	42	42
	Mínimo	29	30	30	30	30	30	33	29
pH	Promedio	7,71	7,78	7,82	7,81	7,86	7,88	7,87	7,74
	Máximo	8,26	8,34	8,56	8,42	8,50	8,26	8,20	8,20
	Mínimo	7,31	7,27	7,05	7,20	7,23	7,08	7,40	7,14
O.D. (mg/L)	Promedio	***	6,46	6,67	8,26	7,43	6,79	5,86	6,77
	Máximo	***	7,65	8,10	11,30	10,90	8,80	8,00	12,00
	Mínimo	***	4,70	4,30	5,30	4,10	4,70	3,40	3,70

En cuanto a estudios oceanográficos de la Bahía de El Rodadero, lugar de donde se abastece el Acuario Mundo Marino, se encuentran trabajos como los de Serna y Vallejo (1996), quienes describen algunos parámetros fisicoquímicos de la Bahía durante agosto y noviembre de 1996 y concluyen que los aportes de aguas continentales provenientes del río Gaira, enriquecen las aguas de la Bahía con elevadas concentraciones de nutrientes, así mismo bajan la salinidad y disminuyen la transparencia. Acosta y Cañón (1998), evaluaron la influencia de la época climática sobre las variables oceanográficas del lugar, dando como resultado los posibles movimientos de la masa de agua en la Bahía para la época seca, encontrando también una salinidad elevada y aguas más alcalinas

comparadas con estudios anteriores. En el año de 1999 Tigreros *et al.*, estudiaron la composición espacial de las larvas de las clases Stellerioidea y Echinoidea (Echinodermata), considerando algunas condiciones fisicoquímicas de la columna de agua, arrojando como principales conclusiones que el comportamiento de la temperatura, pH, salinidad y clorofila *a*, coinciden con los rangos reportados anteriormente para la zona, aunque parámetros como el oxígeno disuelto y los nutrientes indican diferencias en el evento de surgencia, en comparación con otros años, así como también que componentes como la temperatura, la salinidad y el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto presentan una clara diferencia espacial, dentro de la bahía. Castro *et al.* (2002), realizaron un estudio acerca de los aspectos fisicoquímicos y océano-atmosféricos de la surgencia que se presenta en la región, encontrando como resultado valores de temperatura del agua entre 23 - 27 °C, así como 7,70 - 8,90 y 35,30 - 36,30 UPS para el pH y la salinidad, respectivamente. En cuanto a los nutrientes se obtuvieron concentraciones entre < 0,01 y 4,11 µg-at N-NH₄⁺/L, 0 y 1,17 µg-at N-NO₂⁻/L y de 0 a 0,41 µg-at P-HPO₄⁻/L, siendo todos estos valores bajos comparados con muestreos anteriores. Las concentraciones de clorofila *a*, reflejaron valores bajos entre 0 y 0,003 mg/m³, producto de la baja oferta de nutrientes en el agua.

Finalmente Franco (2005), presenta una completa caracterización oceanográfica de la Bahía de Gaira, en la cual explica la influencia de las características meteorológicas de la región, en la oceanografía de la misma, así mismo expone los patrones de corrientes que se presentan en la zona, al igual que rangos para parámetros como los nutrientes y la concentración de clorofila *a*, evidenciándose que no hay una estacionalidad en cuanto a concentraciones de nutrientes, como se puede llegar a observar en otras variables (*e.g.* temperatura), sin descartar que altas concentraciones de fitoplancton participen activamente en el consumo de nutrientes en la columna de agua (Tabla 3).

Tabla 3. Rangos de concentración de nutrientes ($\mu\text{g-at/L}$) y concentración de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en la Ensenada de Gaira (modificado de Franco, 2005). --- Dato no disponible.

Fuente	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos	Clorofila <u>a</u>
Serna & Vallejo (1996)	0,17 - 2,00	0,07 - 0,87	0,16 - 2,34	---
Londoño (1995)	0,02 - 2,30	0,01 - 1,25	---	---
Tigreros <i>et al.</i> (1999)	0,10 - 0,71	0,01 - 1,49	0,01 - 1,92	---
Barragán <i>et al.</i> (2003)	<0,01 - 4,78	0,01 - 0,71	0,01 - 2,44	0,10 - 4,38
Campos <i>et al.</i> (2004)	<0,01 - 7,84	<0,01 - 5,63	<0,01 - 0,92	0,21 - 2,24

1.3 PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y COMUNIDADES AUTOTRÓFICAS

Los pigmentos fotosintéticos, los cuales se encuentran en los cloroplastos, tienen como función absorber energía electromagnética, para transportarla hacia los centros de reacción, en donde ocurren los procesos fotosintéticos como tal. Entre los diferentes pigmentos encontrados en la naturaleza, los de mayor importancia son las clorofilas (a, b, c y d), aunque se complementan con los carotenoides, luteína, fucoxantina, ficoeritrinas y ficocianinas. La clorofila a es considerada como el pigmento más importante, puesto que se encuentra presente en todos los grupos taxonómicos capaces de realizar fotosíntesis (*e.g.* algas verde-azules, algas verdes; Steemann-Nielsen, 1975).

Tal y como ocurre en el ambiente natural, la producción de materia orgánica en un acuario también depende de los organismos autótrofos, quienes a través de la fotosíntesis fijan el carbono elemental en compuestos orgánicos. Dichos autótrofos se pueden presentar de dos formas, el fitoplancton y las macroalgas (*i.e.* carnosas y calcáreas; Moe, 1992). El fitoplancton está generalmente asociado con el zooplancton, formando así el plancton, el cual puede, eventualmente, ser de gran utilidad en los acuarios al ser la base para el mantenimiento de comunidades

bentónicas, como por ejemplo algunos poliquetos, esponjas, gasterópodos verméticos y bivalvos. Cabe resaltar, que para la utilización de plancton como alimento para estas comunidades, es necesario poseer una excelente calidad de agua en el acuario, así como también un riguroso control en el manejo de los nutrientes (Adey & Loveland, 1998), es por esta razón que Moe (1992) y Adey & Loveland (1998) proponen mantener la cantidad de fitoplancton nula o en su defecto muy baja, utilizando los sistemas de filtración como herramienta principal, al mantener bajas las concentraciones de nutrientes y reemplazar la dieta de las comunidades bentónicas por otros productos comerciales.

Para el caso de las macroalgas, se recomienda controlar su abundancia, debido a que en bajas cantidades aportan decoración al acuario y una fuente de alimento para los peces presentes, pero en casos de infestación, impiden la visibilidad de las especies en exhibición y al morir disminuyen la concentración de oxígeno, llegando en casos extremos, a causar anoxia y provocar la muerte de los peces y demás organismos presentes en los acuarios (Moe, 1992).

Las macroalgas han sido utilizadas durante cientos de años como alimento humano y en remedios populares, para consumo animal, como fertilizante agrícola y en acuarios (McHugh, 1987). Muchas algas pueden mantenerse en sistemas de laboratorio o en acuarios, donde los factores que influyen en su crecimiento pueden ser controlados, o en el caso de los nutrientes en el agua, ayudar a regularlos ya que los asimilan para llevar a cabo sus procesos metabólicos. Son también capaces de asimilar y acumular metales pesados del agua, dependiendo de la especie de alga y el metal presente en el medio, llegando así a ser importantes bioindicadores (Morris & Bale, 1975).

Caulerpa sertularioides es un alga Chlorophyta, que se caracteriza por tener el eje principal rastrero liso, de hasta 2 mm de diámetro; ramas erectas que pueden

llegar a 15 cm de altura, simples o poco furcadas, con pínulas casi hasta las bases o la parte proximal del eje (cerca a 1 cm) desnuda; las partes pinnadas de hasta 22 mm de ancho (Schnetters, 1978; Littler & Littler, 2000). Los rizoides de *C. sertularioides* ayudan en la adquisición de nutrientes del sedimento, similar a otras especies del género *Caulerpa*, el reclutamiento primario ocurre por fragmentación, pero ésta alga puede reproducirse sexualmente también (Larned, 1998; Figura 1).



Figura 1. Morfología externa del alga *Caulerpa sertularioides*, la cual se utilizó en los experimentos del presente estudio (tomado de Littler & Littler, 2000).

Mundialmente se encuentra en el Pacífico mexicano, Micronesia, al norte de las islas Marianas, las islas Marshall, Gilbert y Solomon, se encuentra también en Japón, China, Australia, Filipinas, Tahití, Indonesia, en el océano Índico y en el Caribe hasta Brasil. En Colombia se puede encontrar a lo largo de toda la costa Caribe y en las islas de San Andrés y Providencia. Habita principalmente en zonas arenosas poco profundas, cerca a las raíces de mangle y en ocasiones se encuentra rodeada por pasto marino. Esta alga se ubica siempre por encima de los 10 m de profundidad (Schnetters, 1978; Littler & Littler, 2000).

La gran mayoría de las investigaciones realizadas en macroalgas se centran en su parte productiva, cosmética y medicinal (e.g. Chapman & Chapman, 1980; Bidwell *et al.*, 1985) pero son muy pocos los trabajos de estos organismos en acuarios;

dichos estudios comprueban que las macroalgas muestran una gran eficiencia en la absorción del nitrógeno y fosfatos orgánicos en forma de ortofosfatos (Dawes, 1986), en especial las pertenecientes a los géneros *Chaetomorpha* y *Caulerpa*, son útiles reduciendo los niveles de compuestos nitrogenados y fosfatos, mejorando la calidad del agua en el acuario (Wrobel & Meyers, 1997).

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Determinar la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos y biológicos a través del tiempo, basándose en comparaciones con los datos reportados para los años 2000 y segundo semestre de 2008 mediante el monitoreo de dichos parámetros, en los sistemas del Acuario Mundo Marino, durante los meses de abril a julio del año 2009. Igualmente evaluar la acción que ejercen las macroalgas de la especie *Caulerpa sertularioides* sobre las concentraciones de nutrientes presentes en el medio, y así establecer si son benéficas para los sistemas de acuario estudiados.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar si se presentan fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos correspondientes a temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, amonio, nitritos y fosforo reactivo en los acuarios o si por el contrario, es un sistema relativamente estable tanto a lo largo del tiempo como históricamente.
- Determinar el estado fisiológico de la comunidad fitoplanctónica presente en los acuarios de Mundo Marino, mediante la concentración de pigmentos fotosintéticos.
- Establecer los cambios en las concentraciones de nutrientes, a partir de introducciones de la macroalga *Caulerpa sertularioides* y establecer si tiene un efecto significativo en la disminución de dichos niveles en los acuarios.

4. HIPÓTESIS

- Los parámetros fisicoquímicos, como son la temperatura del agua, la salinidad, el porcentaje de saturación de O₂ y el pH, van a ser estables a lo largo del tiempo de estudio y estarán dentro del rango óptimo para los acuarios.
- Todas las variables (temperatura, salinidad, porcentaje de saturación de O₂, nutrientes y pigmentos fotosintéticos), no presentarán diferencias significativas con respecto a monitoreos realizados en años anteriores.
- Debido a la presencia elevada de nutrientes en el agua, la comunidad fitoplanctónica presente en los acuarios se encontrará saludable y relativamente abundante.
- Los nutrientes presentarán una concentración elevada debido a la ausencia de macroalgas en los acuarios.
- La presencia de macroalgas en los acuarios mejorará significativamente la calidad de agua, lo cual se verá reflejado directamente en una baja en las concentraciones de los nutrientes en un periodo corto de tiempo.

5. METODOLOGÍA

5.1 ZONA DE ESTUDIO

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Acuario Mundo Marino, inaugurado en diciembre del año 1999, fue creado con fines educativos, recreativos e investigativos el cual se encuentra ubicado en el Balneario El Rodadero, Santa Marta – Caribe colombiano. Éste consta de 34 módulos, algunos de ellos se han modificado para generar en total 24 escenarios marinos diferentes, una pileta de contacto, una megapiscina que alberga las especies de mayor tamaño (tiburones, jureles, sábalos, tortugas, entre otros) así como también la piscina pequeña, una piscina plástica y el filtro biológico (Fundación Museo del Mar, 1999; Tabla 4).

Tabla 4. Características de los diferentes sistemas que componen el Acuario Mundo Marino, Santa Marta (tomado y modificado de Montoya, 2003).

Sistema	Cantidad	*Dimensiones (m)	Profundidad (m)	Volumen (m ³)	Observaciones
Baterías Acuarios	34	2,0 x 0,85	1,10	1,87	Constituyen 24 acuarios marinos. Algunos cuentan con más de una batería y con mecanismos de filtración, circulación y aireación independientes.
Megapiscina	1	25 x 12	1,80 - 5,20	1000	Sistema de circulación exterior.
Piscina pequeña	1	13,30 x 4,30	2,45	140	Sistema de circulación exterior
Piscina plástica	1	2,0***	0,6	3,73	Sistema independiente.
Filtro externo	1	1,20 x 12	2	**70	Sistema de tratamiento del agua compuesto por cuatro terrazas. Posee grava y capas gruesas de tela sintética.

* Largo x Ancho; corresponde a una sola batería.

** Volumen del reservorio con una circulación constante hacia el sistema de tratamiento.

*** Diámetro.

Cada estructura cuenta con un sistema de filtración y circulación independiente, abasteciéndose de las aguas del sector de El Rodadero en la Bahía de Gaira, sometidas a un proceso de purificación fisicoquímica y biológica previo a su distribución (Fundación Museo del Mar, 1999). En los sistemas internos se efectúan recambios del 20 % del volumen total de agua de mar mensualmente, completando el resto con agua dulce y cada uno cuenta con un sistema de circulación de 400 galones/hora. Todo este complejo se surte con la ayuda de cuatro bombas marca Monoblock, modelo NOWA 8016, cada una con su respectivo motor eléctrico marca Siemens de 5,0 HP a 1800 rpm. El punto de mayor eficiencia para mover el caudal del agua es de 92 m³/hora, con un voltaje en el motor de 220-440 Hz (Montoya, 2003).

5.2 TOMA DE DATOS

5.2.1 Monitoreo Los muestreos de este trabajo se llevaron a cabo entre abril y julio de 2009 (16 semanas), en las instalaciones del Acuario Mundo Marino, mientras que la fase de laboratorio se adelantó en las instalaciones de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Sede Santa Marta. Los acuarios mantuvieron en la mayoría de los casos los nombres otorgados por Londoño (2009), para facilitar su identificación y trabajo (Figura 2).

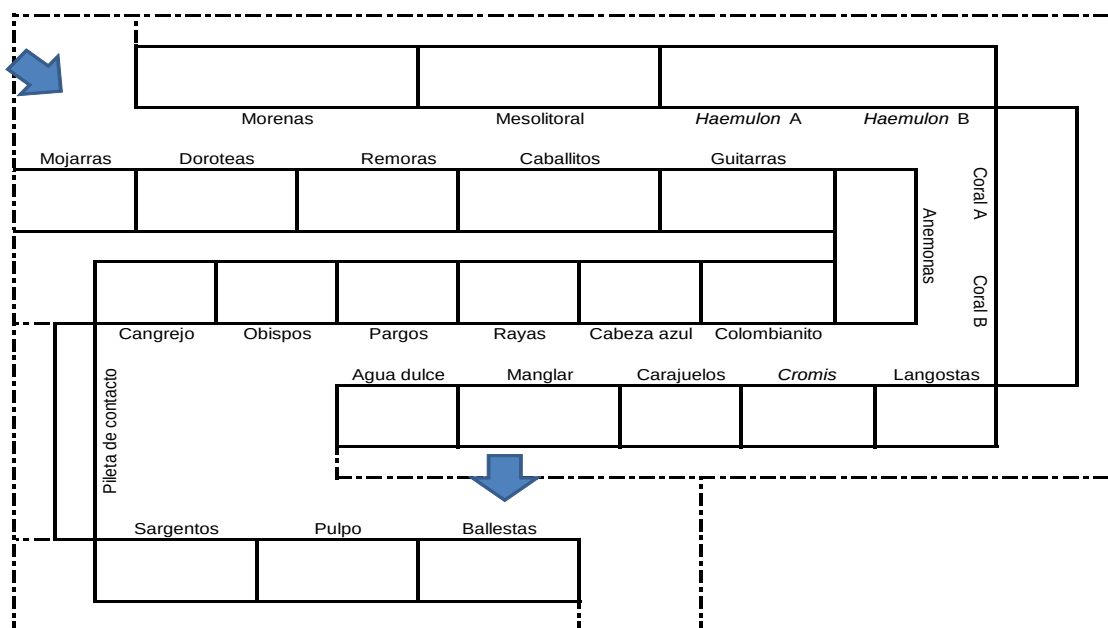


Figura 2. Distribución de los acuarios internos de Mundo Marino con los respectivos nombres que se les asignó, las flechas indican el recorrido que realizan los visitantes, desde la entrada hasta la salida al área de piscinas (tomado y modificado de Londoño (2009)).

Por otro lado, en el presente monitoreo se agregaron tres acuarios para complementar el estudio, los cuales fueron “*Himantura*”, una piscina plástica que alberga rayas de tamaño relativamente grande y la piscina pequeña, con capacidad para 140 m³, la cual se dividió para un mejor estudio en somero y profundo. Estos sistemas junto a la Megapiscina (la cual se trabajó por secciones, tanto tiburones como manglar y cada una de éstas en somero y profundo) y el filtro (lugar en el que cae el agua desde las tejas), completan los sistemas externos.

Para el presente proyecto, se aplicó la misma metodología seguida por Corredor *et al.* (2000), Montoya (2003) y Londoño (2009) a excepción de la estimación de oxígeno disuelto (O.D.) y el porcentaje de saturación de oxígeno, los cuales se midieron mediante sondas eléctricas, a diferencia del método volumétrico de Winkler, utilizado anteriormente. En los acuarios internos, la piscina pequeña, la megapiscina y el filtro, se muestrearon semanalmente los parámetros

correspondientes a temperatura del agua, salinidad, pH, oxígeno disuelto (O.D.) y porcentaje de saturación de oxígeno. Los nutrientes (*i.e.* amonio, nitrito y ortofosfatos), se determinaron quincenalmente y la biomasa fitoplanctónica (clorofila a, b y c, feopigmento a, carotenoides) se estimó mensualmente. Cabe resaltar, que se muestrearon todas las baterías de acuarios a excepción de los ecosistemas de agua dulce y manglar, colectando una muestra por acuario. En los acuarios de mayor longitud, se tomaron tantas muestras como filtros poseían, específicamente se aplicó para los acuarios de *Haemulon* y de Arrecife de coral, los cuales poseen dos filtros. Para el caso de la megapiscina, se obtuvieron cuatro muestras, dos de las cuales correspondieron a la zona donde se encuentra el manglar (superficie y fondo), mientras que las dos restantes se tomaron en la zona de tiburones (superficie y fondo, igualmente). Para las muestras de fondo, se usó la botella de Van Dorn, al igual que en el filtro en donde se tomó la muestra a 1 m de profundidad (Figura 3). Para la piscina pequeña se sacaron dos muestras, una de superficie y otra de fondo y al igual que con la megapiscina, la muestra de fondo se obtuvo con botella Van Dorn.

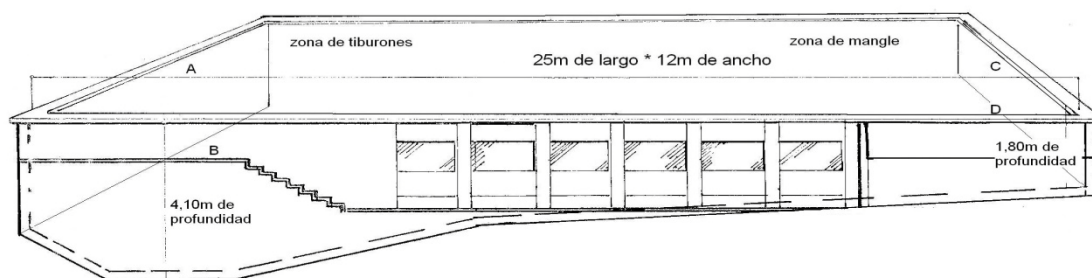


Figura 3. Esquema y dimensiones de la megapiscina de Mundo Marino. A: Megapiscina tiburón somero; B: Megapiscina tiburón profundo; C: Megapiscina mangle somero; D: Megapiscina mangle profundo (tomado y modificado de Fundación Museo del Mar, 1999).

Las muestras se colectaron en recipientes de vidrio de 100 mL, para la determinación de amonio, nitritos y ortofosfatos. Adicionalmente, se recogieron 2 L de agua en recipientes oscurecidos con el fin de cuantificar los pigmentos fotosintéticos. La toma de muestras se realizó mediante botella Van-Dorn en la

megapiscina y su sistema de filtro. Las muestras a nivel de acuarios internos, fueron tomadas succionando con una manguera plástica cuyo extremo estuvo a profundidad media en la columna de agua. Se definió esta metodología, ya que a nivel de los acuarios internos no es posible muestrear con botella Van Dorn, y es una estrategia adecuada para tomar muestras representativas del sistema cerrado, una vez que la recirculación del agua, permite una homogeneidad en la distribución de la materia orgánica e inorgánica disuelta.

Para la medición de la salinidad se utilizó un conductímetro marca WTW modelo LF 330 de precisión 0,1 UPS, el pH y la temperatura, mediante la utilización de un pHmetro marca WTW, modelo 330 de precisión 0,01 H⁺ y 0,1°C, respectivamente. El O.D. y % de saturación de oxígeno usando un oxímetro marca WTW, modelo 330i de precisión 0,1 mgO₂/L y 1 %, respectivamente. Se siguieron las metodologías estándar definidas por los fabricantes (WTW, 1997, 2000, 2004).

5.2.2 Experimentos con macroalgas Para el estudio del efecto de las macroalgas sobre las concentraciones de nutrientes, se colectaron muestras de la especie *Caulerpa sertularioides* en el sector costero frente al Aeropuerto Simón Bolívar, específicamente en Punta La Loma. La extracción se realizó con martillo y cincel, tratando de sacar un poco de roca a la cual se encontraba adherida. Se escogieron piedras con alga que aproximadamente contuvieran la cantidad deseada de alga (15 g y 50 g para el primer y segundo experimento, respectivamente), los organismos se colocaron en un balde con agua de la zona y se trasladaron inmediatamente al Acuario Mundo Marino, para ser lavadas con agua de mar filtrada, con el fin de eliminar individuos (e.g. camarones, poliquetos, esponjas), que potencialmente pudieran ingresar a los sistemas cerrados y afectar a los organismos que allí habitan. Posteriormente, fueron pesadas (biomasa húmeda + rocas), eliminando el exceso de agua envolviendo las macroalgas por una vez en papel secante. Acto seguido, las piedras se marcaron para su posterior

identificación. Realizados los pasos anteriores, las algas fueron colocadas en los acuarios destinados para los experimentos.

El primer experimento se realizó en cuatro acuarios, a los cuales se les incorporaron las macroalgas a una razón de 15 g/m^3 aproximadamente y uno control, los cuales fueron seleccionados por poseer las mayores concentraciones de amonio según lo observado por Londoño (2009) ya que en ellos se presentan en promedio las concentraciones de amonio más altas, y este nutriente es el que las macroalgas más utilizan para realizar sus procesos metabólicos (Chapman & Chapman, 1980). Los acuarios seleccionados fueron Morenas (Control), *Haemulon* A, *Haemulon* B, Doroteas y Guitarras.

A los acuarios antes mencionados se les muestreó diariamente por un periodo de 10 días la temperatura del agua, la salinidad y el pH, así como las concentraciones de amonio, nitritos y ortofosfatos, con el fin de observar de una forma más detallada los cambios que ocurrían a lo largo del tiempo en los acuarios. Pasado el tiempo de muestreo, las macroalgas se retiraron, se pesaron de la misma forma que al principio del experimento con y sin roca, para determinar el peso exacto al iniciar el experimento, descontando la masa de las rocas y para establecer el incremento y descenso en la biomasa algal al terminar la experimentación.

Luego de dos meses, se incorporaron nuevamente las algas. Para este segundo procedimiento, se aumentó un acuario control (Cabeza azul), siendo esa vez la densidad algal introducida 50 g/m^3 aproximadamente, se repitió el mismo procedimiento empleado en el primer experimento.

5.3 FASE DE LABORATORIO

Para la determinación de nutrientes y la biomasa fitoplanctónica se utilizaron las metodologías propuestas por INVEMAR (2003):

5.3.1 Amonio Se determinó mediante el método de azul de indofenol propuesto inicialmente por Ridley (1953) y modificado por Strickland & Parsons (1972 En: INVEMAR, 2003). La técnica se basa en la reacción del ión amonio con hipoclorito de sodio en un medio citrato alcalino, que forma monocloroamida, la cual en presencia de fenol y nitropruciato de sodio, que actúa como catalizador forma el azul de indofenol y un complejo de citrato con los iones Ca^+ y Mg^{++} , eliminando así la interferencia que estos puedan causar al precipitarse durante el análisis. La absorbancia de la solución resultante se mide espectrofotométricamente a 640 nm (INVEMAR, 2003).

5.3.2 Nitritos Se obtuvieron mediante la técnica propuesta por Shinn (1941) y modificado por Bendschneider & Robinson (1952 En: Parsons *et al.*, 1984). En principio el NO_2^- es determinado a través de la formación de un compuesto rojo producido a un pH de 2 a 2,50, acoplado sulfanilamida diazotizada con N-(1-naftil) etilendiamina dicloruro. La absorbancia de la solución es medida a 543 nm para su posterior cuantificación (INVEMAR, 2003).

5.3.3 Ortofosfatos Se determinaron siguiendo el método propuesto por Murphy & Riley (1962). La muestra reacciona con un reactivo que contiene ácido molíbdico, ácido ascórbico y antimonio trivalente. El compuesto resultante muestra una coloración azul cuya absorbancia se mide espectrofotométricamente a 885 nm (Parsons *et al.*, 1984).

Para cada uno de los nutrientes a evaluar, se realizó la respectiva calibración con 5 soluciones de concentración 0,25, 0,50, 0,75, 1,00 y 1,25 $\mu\text{g-at/L}$ respectivamente, hechas a partir de una solución patrón cuya concentración es de 100 $\mu\text{mol/L}$. De esta manera, se realizó la curva de calibración que permita hallar los valores de concentración (INVEMAR, 2003), a partir de las absorbancias generadas para la soluciones de concentración conocida. Cabe resaltar que se utilizó una sola curva de calibración por nutriente para todas las mediciones.

5.3.4 Pigmentos fotosintéticos El procedimiento utilizado para la determinación de la concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila **a**, **b** y **c**, feopigmento **a** y carotenoides) se realizó siguiendo el método de Lorenzen, en el cual la muestra (2 L en este caso), debía ser primero filtrada al vacío, luego los filtros se introdujeron en viales de centrifugado y se les agregó acetona acuosa (90 %), se maceraron, se dejaron reposar en oscuridad por 24 h, se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 min y finalmente se leyeron las absorbancias a 480, 510, 630, 645, 665 y 750 nm sin acidificar y a 665 y 750 nm después de adicionar ácido clorhídrico al 1 %. Para el proceso espectrofotométrico tanto de los nutrientes como de la biomasa fitoplanctónica se usó un espectrofotómetro marca Milton Roy, Spectronic 21D, con celdas de 1 cm de paso, previamente calibrado antes de cada medición. Para la filtración se utilizó una bomba de vacío marca Neuberger, modelo D-7800 Freiburg, y filtros Whatman GF/C de 1,2 μm de tamaño medio de poro.

5.4 FASE DE GABINETE

5.4.1 Monitoreo Una vez realizados los procedimientos requeridos, los valores de absorbancia se reemplazaron en cada una de las fórmulas, teniendo en cuenta de realizar la corrección del blanco respectivo.

Amonio: $Abs - 0,078$

$$C = \frac{\quad}{0,002}$$

Nitritos: $e^{(abs+0,585)}$

$$C = \frac{\quad}{0,539}$$

Ortofosfatos: $e^{(abs+0,162)}$

$$C = \frac{\quad}{0,256}$$

Donde: C: Concentración de la muestra en µg-at./L.

Abs: Absorbancia de la muestra corregida.

Las curvas de calibración se utilizaron según el modelo que más se ajustaba a la relación absorbancia-concentración.

Clorofila a: $27,63 (665_0 - 665_a) (V_A)$

$$Chl \underline{a} (\mu g/L) = \frac{\quad}{V_M \cdot l}$$

Clorofila b:

$$Chl \underline{b} (\mu g/L) = 21,03 E_{645} - 5,43 E_{665} - 2,66 E_{630}$$

Clorofila c:

$$Chl \underline{c} (\mu g/L) = 24,52 E_{630} - 1,67 E_{665} - 7,60 E_{645}$$

Carotenoides:

$$Carotenoides (\mu g/L) = 7,6 (E_{480} - 1,49 E_{510})$$

Donde: E_{480} : Absorbancia a 480 nm, después de aplicar la corrección de la absorbancia a 750 nm, multiplicada por un factor de 3.
 E_{510} : Absorbancia a 510 nm, después de aplicar la corrección de la absorbancia a 750 nm, multiplicada por un factor de 2.
 E_{630} : Absorbancia a 630 nm, después de aplicar la corrección a 750 nm.
 E_{645} : Absorbancia a 645 nm, después de aplicar la corrección a 750 nm.
 E_{665} : Absorbancia a 665 nm, después de aplicar la corrección a 750 nm (Parsons *et al.*, 1984).

Feopigmento a: $26,7 \{1,7 (665_a) - 665_0\} (V_A)$

$$\text{Feopigmento } a \text{ } (\mu\text{g/L}) = \frac{\quad}{V_M \cdot l}$$

Donde: 665_0 : Absorbancia a 665 nm antes de acidificar.
 665_a : Absorbancia a 665 nm después de acidificar.
 V_A : Volumen de acetona para la extracción (mL).
 V_M : Volumen de agua filtrada (L).
 l : Longitud de la celda fotométrica (cm) (INVEMAR, 2003).

Los valores obtenidos en cada una de las ecuaciones anteriores para clorofila **b**, **c** ó carotenoides, se reemplazaron en la ecuación:

$$\mu\text{g /mL} = \frac{C_{(\underline{b} \text{ ó } \underline{c} \text{ ó carotenoides})} \times v}{V \times 10}$$

Donde: $C_{(\underline{b} \text{ ó } \underline{c} \text{ ó carotenoides})}$: Factor de reemplazo.
 v : Volumen de acetona para la extracción (mL).

V: Volumen de agua filtrada (L) (Parsons *et al.*, 1984).

El manejo estadístico en primer lugar fue descriptivo, es decir medidas de tendencia central como la media, valor máximo y mínimo y de dispersión como el error estándar, con lo cual se evaluó si los rangos encontrados se encontraban dentro de los valores propuestos por los diferentes autores y los establecidos en el Plan de Manejo de los Acuarios. Así mismo, se realizaron análisis estadísticos no paramétricos tanto espaciales como temporales con el test de Wilcoxon de rangos asignados (Mora *et al.*, 1996). Lo anterior para cada variable estudiada, con el fin de determinar si se presentaban diferencias significativas entre acuarios así como también a lo largo del periodo de muestreo.

Se realizó el cálculo de los índices de actividad fotosintética (Margalef, 1991) con el fin de conocer el estado fisiológico de la comunidad fitoplanctónica presente en todos los acuarios, estos índices se calcularon según las ecuaciones:

$$\text{IAF (Feopigmento a):} \quad \text{Concentración de Clorofila a}$$

$$\text{IAF= } \frac{\text{Concentración de Feopigmento a}}{\text{Concentración de Clorofila a}}$$

$$\text{IAF (Carotenoides):} \quad \text{Concentración de Clorofila a}$$

$$\text{IAF= } \frac{\text{Concentración de Carotenoides}}{\text{Concentración de Clorofila a}}$$

Se comparó el actual estudio con los realizados por Corredor *et al.* (2000) y Londoño (2009), cuyo procedimiento consistió primero en homogenizar los datos, ya que estos autores trabajaron en algunos casos con unidades diferentes. Al ser muestras independientes y de diferente tamaño muestral (n), se realizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon y Mann-Whitney (Mora *et al.*, 1996), con el fin de

establecer si se presentaban diferencias en las variables a una escala mayor de tiempo.

5.4.2 Experimentos con macroalgas Para el estudio con macroalgas, se generaron gráficos x-y, que mostraron la variación temporal de cada uno de los nutrientes en cada uno de los acuarios para cada experimento. Por otra parte, se adelantó un estudio estadístico para cada variable con el fin de determinar si existían diferencias significativas generadas por la presencia de las macroalgas. Para tal propósito se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon de rangos asignados (Mora *et al.*, 1996). Por último, se realizaron razones entre las diferencias en concentración del nutriente y las concentraciones iniciales del alga, su densidad y la variación en la biomasa presentada por éstas.

Todos los datos tanto del monitoreo como de los experimentos con macroalgas se consignaron de manera digital en el anexo A.

6. RESULTADOS

6.1 SISTEMAS INTERNOS

6.1.1 Temperatura La temperatura en los sistemas internos se comportó en promedio a $26,18^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,08$), observándose un valor mínimo durante el tiempo de muestreo de $22,80^{\circ}\text{C}$ y un máximo de $31,50^{\circ}\text{C}$. El análisis espacial que comparó la temperatura entre los acuarios arrojó 300 comparaciones, de las cuales el 87,83 % resultaron con diferencias significativas entre ellos (Wilcoxon; $n= 391$; valor $p < 0,05$). Se encontraron tres “zonas” de temperatura, la primera en donde se halló el promedio más bajo, pero con mayor variabilidad (acuarios desde Morenas hasta Carajuelos), otra zona de temperatura media y baja variabilidad (Mojarras hasta Cangrejo reina) y una última, de mayor temperatura y alta variabilidad (Sargentos, Pulpo y Ballestas; Figura 4).

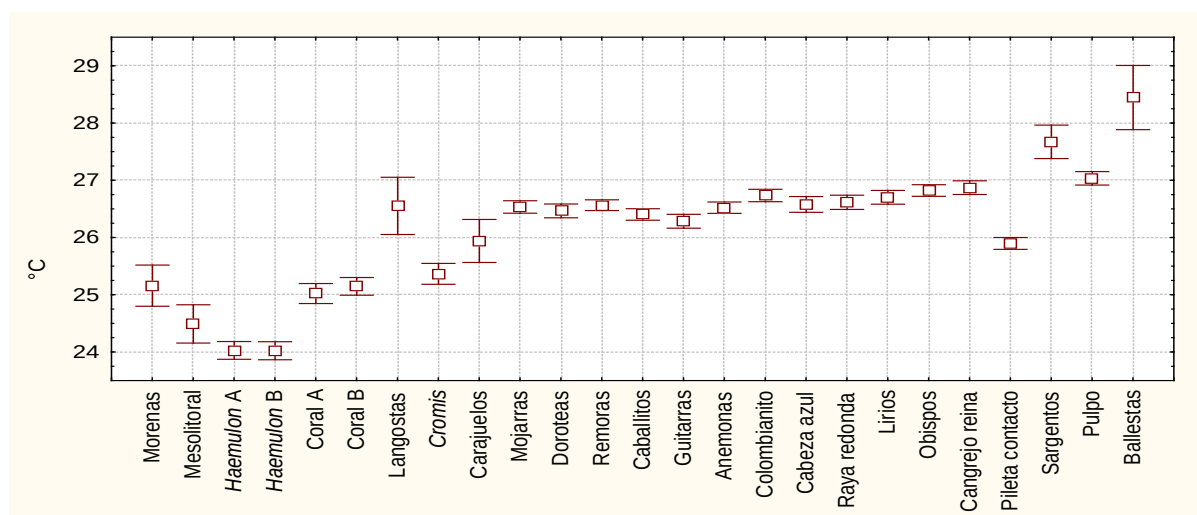


Figura 4. Temperatura del agua promedio para cada uno de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).

El análisis estadístico temporal dio como resultado un total de 120 comparaciones, encontrándose diferencias significativas en el 86,25 % del total de ellas (Wilcoxon;

$n = 391$; valor $p < 0,05$), indicando diferencias en los promedios entre ellos (Figura 5), en donde los muestreos 9 a 11 obtuvieron los valores más bajos.

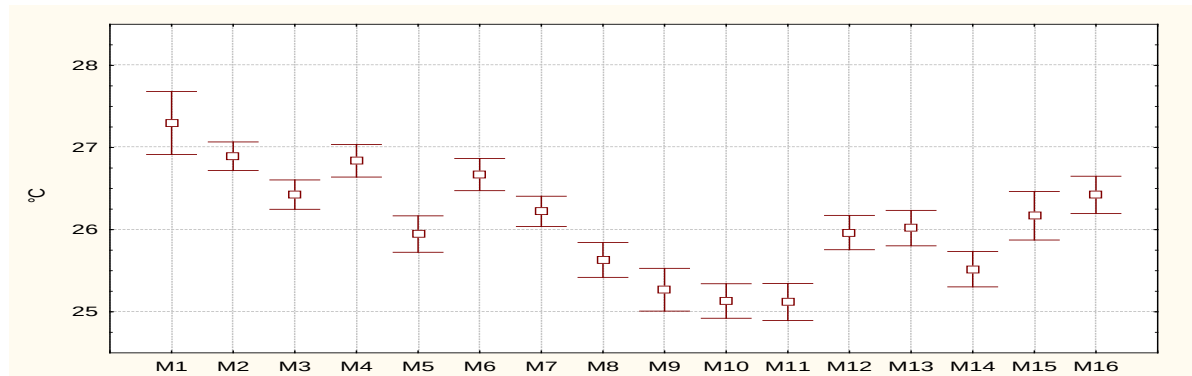


Figura 5. Temperatura del agua promedio por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.1.2 Salinidad La salinidad para los acuarios internos, durante todo el periodo de muestreo, en promedio se mantuvo sobre 36,06 ($\pm 0,08$), obteniéndose un valor mínimo de 30,60 y un máximo de 41,10. El análisis espacial arrojó 300 comparaciones de las cuales el 50,33 % presentó diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 391$; valor $p < 0,05$), indicando una baja diferencia entre acuarios. Contrario a la temperatura del agua, las variabilidades de la salinidad no generaron una división zonal (Figura 6); el acuario que en promedio presentó la menor salinidad fue Cabeza azul y el de mayor Guitarras.

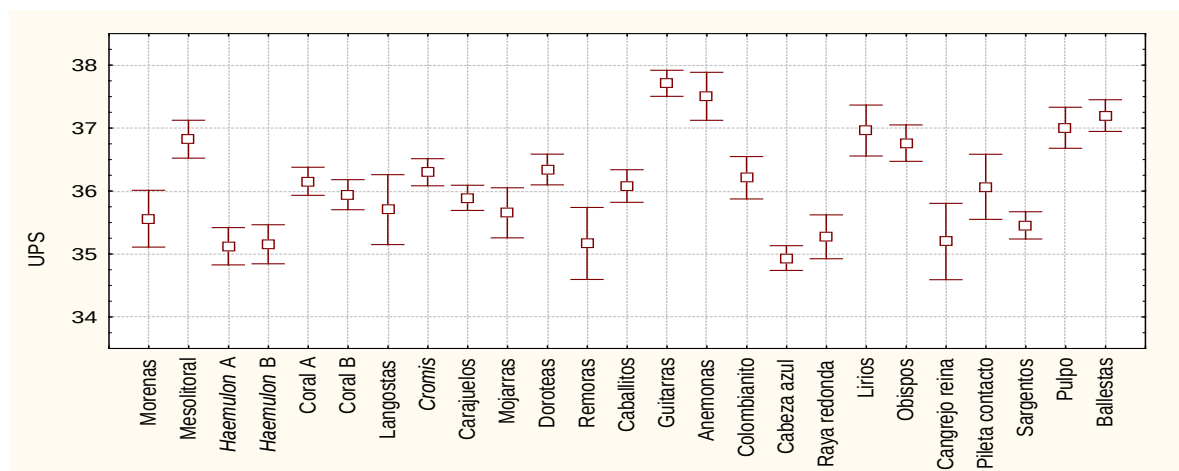


Figura 6. Salinidad promedio (UPS) para cada uno de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).

En el análisis temporal, se obtuvieron también 120 comparaciones, obteniéndose diferencias significativas en el 67,92 % (Wilcoxon; $n = 391$; valor $p < 0,05$), con un claro descenso entre los muestreos 8 y 11 (Figura 7).

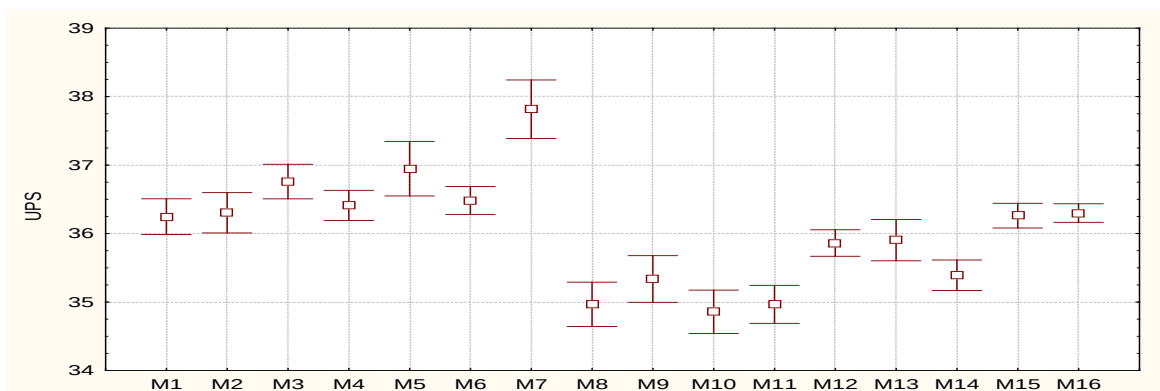


Figura 7. Promedio obtenido en salinidad (UPS) por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.1.3 Porcentaje de saturación de O_2 La saturación de oxígeno en los sistemas internos se determinó en promedio a 67,29 % ($\pm 0,50$), con valores que van desde 32,70 % hasta 95 %. El análisis estadístico espacial produjo 300 comparaciones, de ese total, el 45 % presentó diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 391$; valor $p < 0,05$), indicando que la saturación de oxígeno es relativamente estable entre acuarios (Figura 8). El acuario con menor porcentaje de saturación fue el Coral B, y con mayor porcentaje el de Lirios.

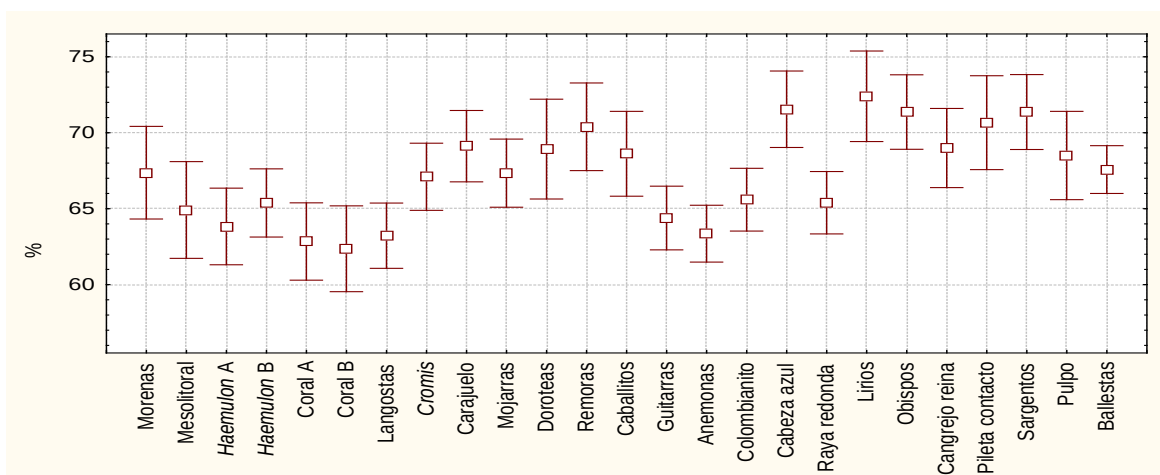


Figura 8. Porcentaje de saturación de O_2 promedio para cada uno de las acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).

Para el análisis en el tiempo, hay que indicar que de la semana 5 a la 7 no se pudo realizar el muestreo debido a que el equipo se encontraba dañado. El análisis estadístico temporal entregó 78 comparaciones, de las cuales el 52,56 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 391$; valor $p < 0,05$). Aunque la variación en el tiempo no fue muy marcada, se presentó un claro descenso en el nivel de oxígeno disuelto en el muestreo 9, el cual, al parecer respondió a problemas metodológicos (Figura 9).

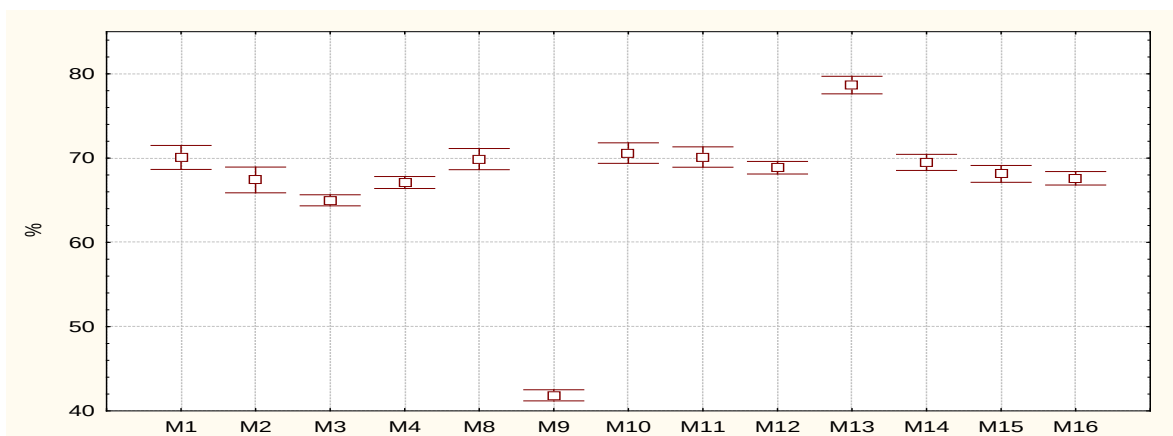


Figura 9. Porcentaje de saturación de O₂ promedio por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.1.4 pH El pH de los acuarios internos, estuvo en promedio a 7,94 ($\pm 0,01$), obteniéndose como valor mínimo 7,42 y como valor máximo 8,35. De las 300 comparaciones a nivel espacial, el 58,66 % obtuvieron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 391$; valor $p < 0,05$; Figura 10), resaltándose el acuario de Remoras con el menor pH y el de Ballestas con el mayor valor.

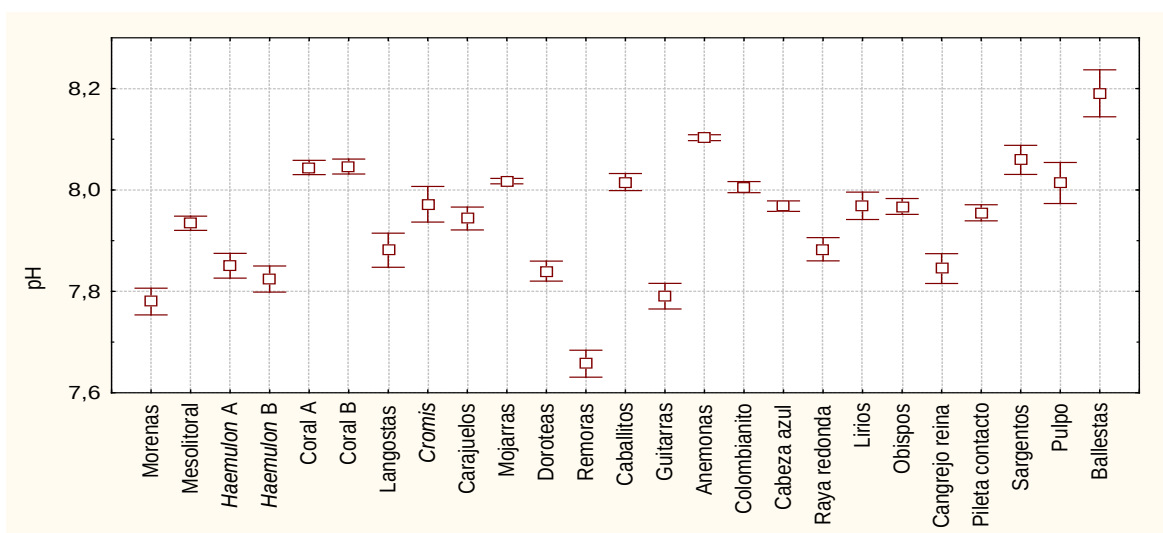


Figura 10. pH promedio para cada uno de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).

El análisis temporal realizado arrojó 120 comparaciones, de las cuales el 72,08 % mostraron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 391$; valor $p < 0,05$), indicando que el pH varió en el tiempo (Figura 11), tendiendo a estabilizarse a partir del muestreo 10 en adelante.

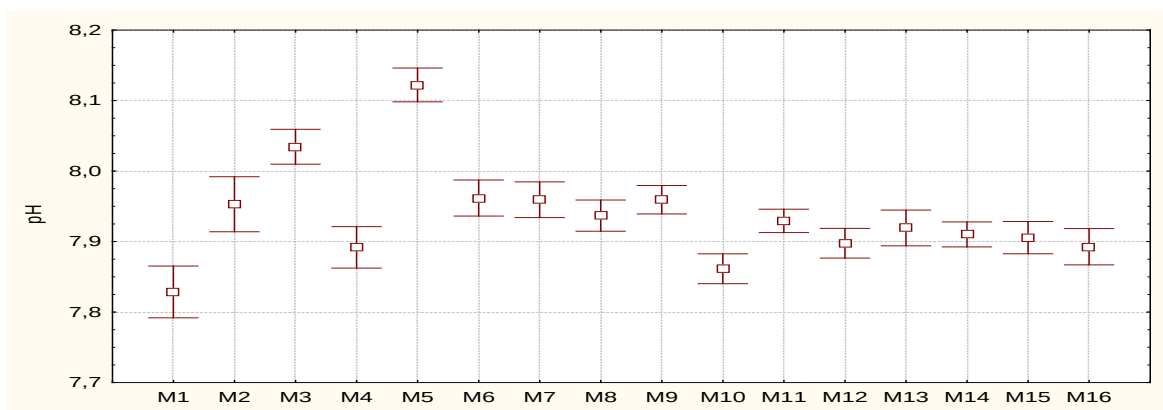


Figura 11. pH promedio por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.1.5 Nutrientes Dentro de los acuarios internos, los nutrientes fueron los que más variabilidad presentaron. El amonio se determinó en promedio en $155,76 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ ($\pm 8,29$), encontrándose un rango de variación entre 3 y $659 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$.

NH_4^+ /L. El análisis espacial arrojó 300 comparaciones, de las cuales, solo el 25,33 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n=187$; valor $p < 0,05$), lo cual indica que el amonio es relativamente estable entre acuarios. El acuario con menor concentración de amonio durante el muestreo fue el de Lirios y aquel con mayores niveles fue el de Remoras (Figura 12).

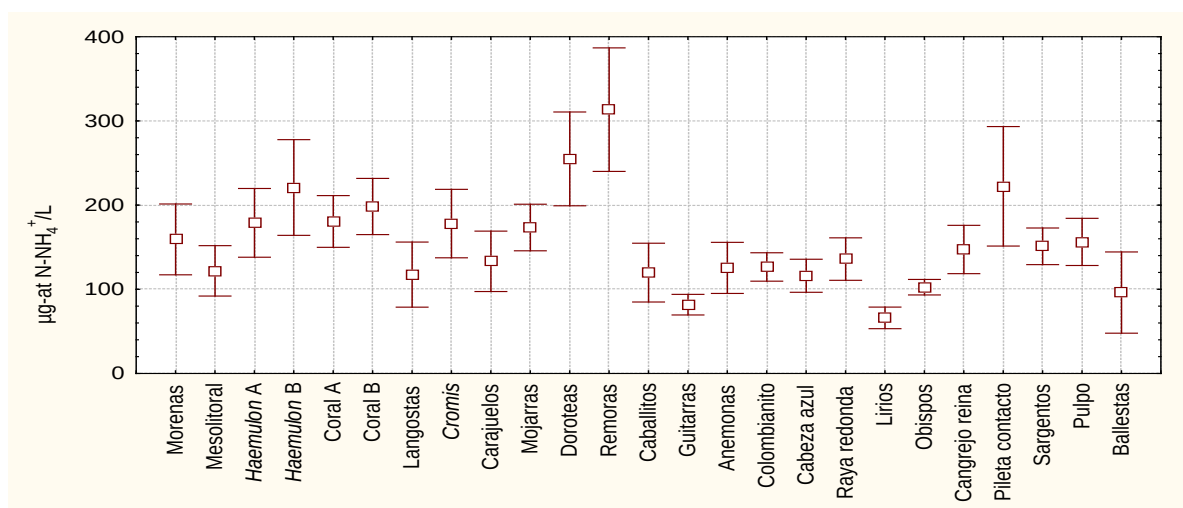


Figura 12. Concentración promedio de amonio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$) para cada uno de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).

La prueba que determinó si existían diferencias significativas en el tiempo, arrojó 28 comparaciones, de estas el 75% presentaron cambios destacados (Wilcoxon; $n=187$; valor $p < 0,05$), indicando variaciones en cuanto al promedio de este nutriente a lo largo del tiempo. El muestreo 3 obtuvo el menor promedio de amonio, mientras que el 11 el mayor valor (Figura 13), además se apreció que a lo largo del tiempo éste aumenta y disminuye su concentración, pero siempre tendiendo al aumento.

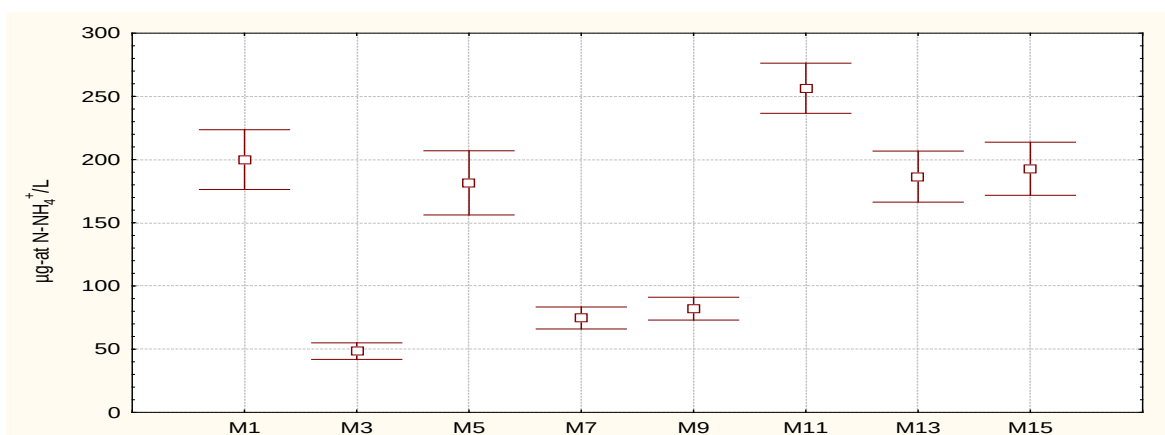


Figura 13. Concentración promedio de amonio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$), por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

Los nitritos tuvieron un promedio de $7,05 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$ ($\pm 0,21$), obteniéndose como valor mínimo $3,10 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$ y un máximo de $21,83 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$. El análisis estadístico espacial generó 300 comparaciones, de estas, el 34,66 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n= 196$; valor $p < 0,05$), lo que indica que el nutriente se comportó relativamente similar en los acuarios. El acuario con menor concentración de nitritos fue Sargentos, mientras que el sistema que presentó la mayor concentración fue la Pileta de contacto (Figura 14).

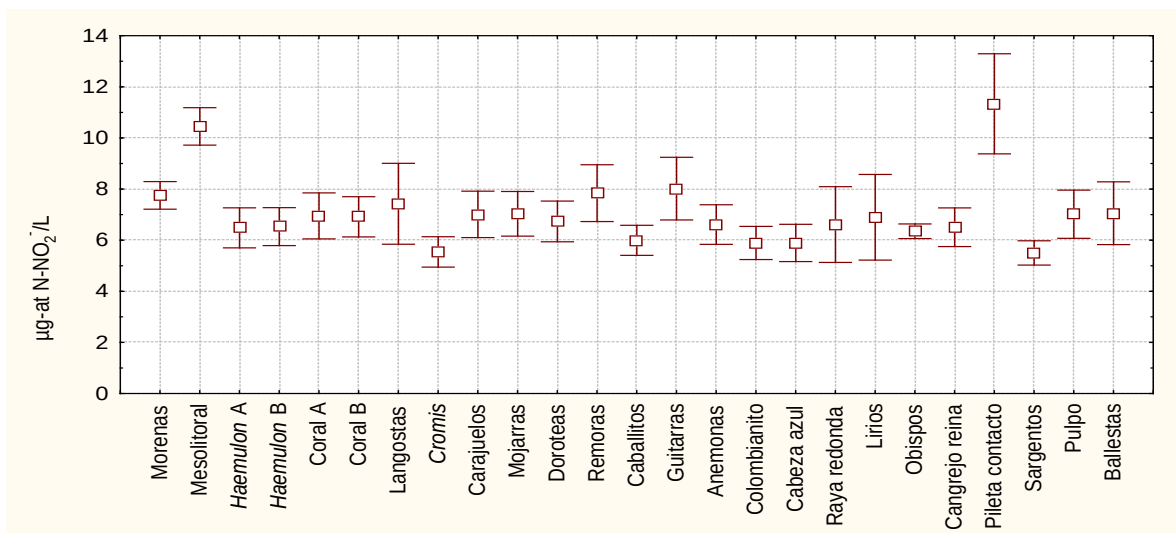


Figura 14. Concentración promedio de nitritos ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) para cada uno de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).

El análisis estadístico temporal arrojó 28 comparaciones, el 92,85 % de estas presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 196$; valor $p < 0,05$), sugiriendo que las concentraciones de nitritos no se comportan igual entre muestreos (Figura 15). Se destacó además, que el muestreo 1 obtuvo la menor concentración promedio del nutriente y el 3 la mayor. Es de resaltar también que después del muestreo 3, la concentración promedio del nutriente decayó a lo largo del tiempo.

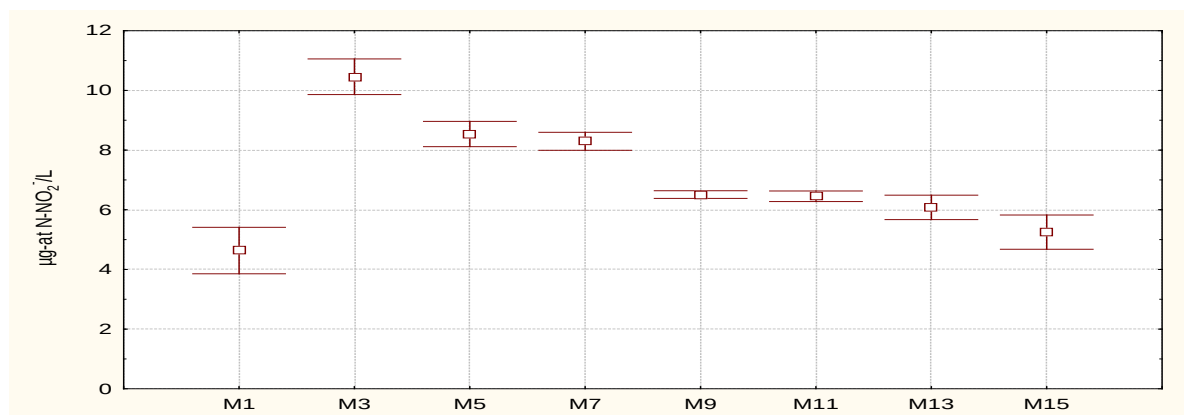


Figura 15. Concentración promedio por muestreo de nitritos ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

Por su parte, los ortofosfatos son los nutrientes que más concentración y variabilidad presentaron, encontrándose en promedio a $838,40 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$ ($\pm 89,17$), determinándose valores entre $42,67$ y $12111,61 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$. El análisis espacial generó 300 comparaciones, de las cuales el 64,33 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 196$; valor $p < 0,05$), indicando que los ortofosfatos no se comportan de forma igual en cada acuario (Figura 16). El acuario Doroteas y Sargentos tuvieron una concentración mayor del nutriente que el resto de sistemas, mientras que Coral A, Coral B y Ballestas, obtuvieron el promedio más bajo para todo el conjunto de acuarios internos.

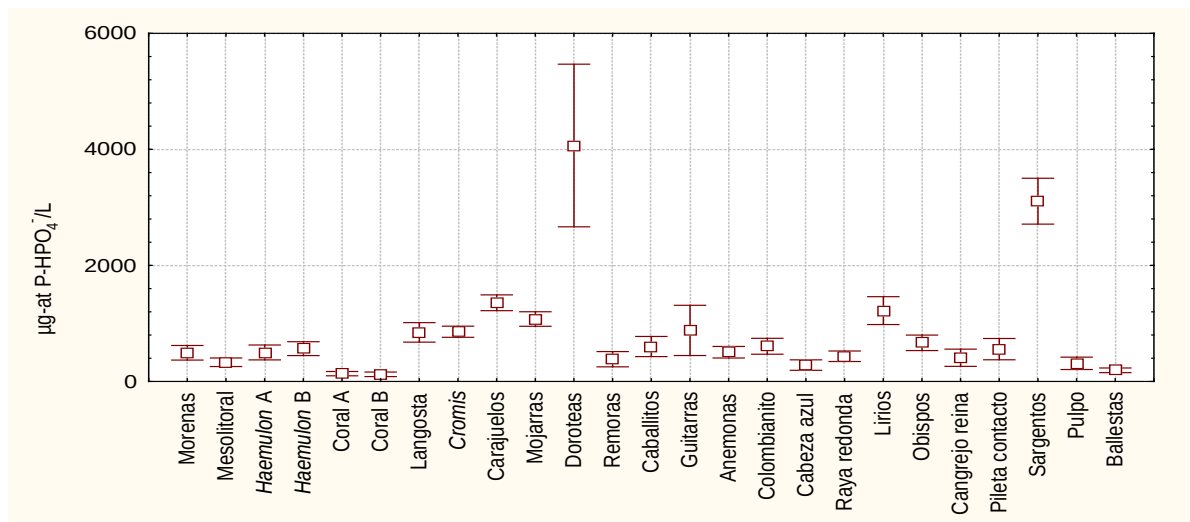


Figura 16. Concentración de ortofosfatos promedio ($\mu\text{g-at P-HPO}_4/\text{L}$) para cada uno de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar).

El análisis temporal arrojó 28 comparaciones y de esas, el 53,57 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 196$; valor $p < 0,05$), indicando una pequeña variación entre muestreos (Figura 17). El muestreo 3 presentó el promedio de concentración menor, mientras que en el 11 se alcanzaron los niveles más altos.

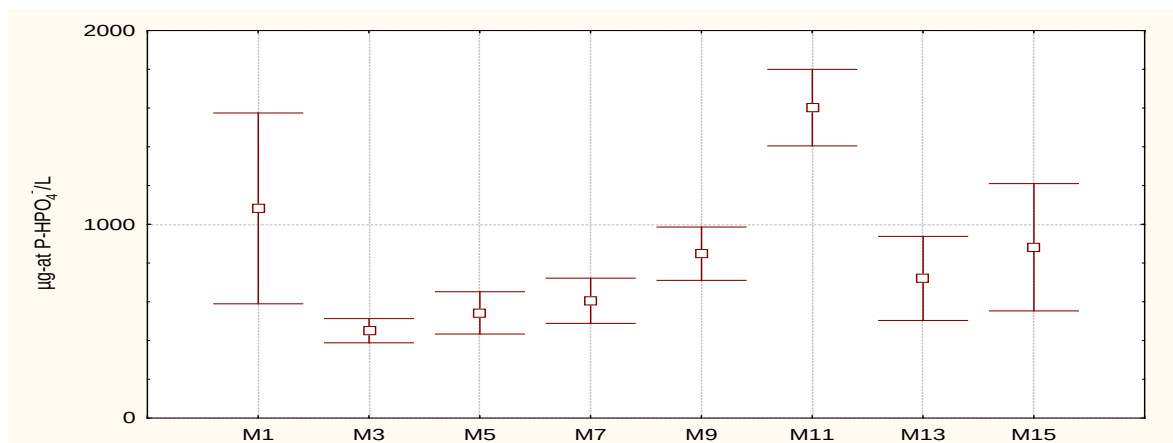


Figura 17. Concentración promedio de ortofosfatos ($\mu\text{g-at P-HPO}_4/\text{L}$) por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.1.6 Pigmentos fotosintéticos Los valores determinados de pigmentos fotosintéticos en los sistemas internos fueron relativamente poco variables y bajos, encontrándose una gran cantidad de concentraciones por debajo del límite de detección del equipo. En primer lugar, la clorofila a tuvo un promedio de 0,08 µg/L ($\pm 0,01$), con un valor mínimo de 0,006 µg/L y un máximo de 0,50 µg/L. Por otro lado, la clorofila b se determinó en promedio a 0,07 µg/L ($\pm 0,01$), variando desde 0,011 µg/L hasta 0,47 µg/L. Por su parte, la clorofila c promedió una concentración de 0,11 µg/L ($\pm 0,01$), con niveles mínimos de 0,011 µg/L y máximos de 1,35 µg/L. Los carotenoides en los sistemas internos se determinaron en promedio a 0,22 µg/L ($\pm 0,05$), con concentraciones que fluctuaron entre 0,040 y 4,350 µg/L. Por último, el feopigmento a en los acuarios internos fue el pigmento fotosintético que presentó una mayor concentración. En promedio se determinó a 0,24 µg/L ($\pm 0,03$), obteniéndose como valor mínimo 0,040 µg/L y como valor máximo 1,180 µg/L. Todos los pigmentos se comportaron de manera relativamente estable en todos los acuarios, siendo la clorofila b la de menor variabilidad entre acuarios y la clorofila c la que relativamente fluctuó más entre los mismos (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba estadística espacial (entre acuarios) en donde se muestra el número de comparaciones y el porcentaje de esas comparaciones con diferencias significativas (Wilcoxon; valor $p < 0,05$) por pigmento de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009.

Pigmento fotosintético	Número de comparaciones	Porcentaje de comparaciones con diferencias significativas
Clorofila <u>a</u>	240	19,16
Clorofila <u>b</u>	225	13,77
Clorofila <u>c</u>	215	34,88
Carotenoides	228	20,61
Feopigmento <u>a</u>	226	18,14

La concentración de Chl a (Clorofila a), no es muy alta en los sistemas internos, ya que en comparación con los otros pigmentos fotosintéticos, ésta es mayor solo en el acuario Guitarras, pero es relativamente alta en Anémonas, *Cromis* y Mojarra. La Chl b (Clorofila b), es la que menor cantidad presentó en sus valores, sin

ningún valor destacado en ninguno de los sistemas analizados. La Chl c (Clorofila c) presentó una concentración mayor en Ballestas, y fue relativamente alto su valor en Morenas, *Haemulon* B, Guitarras, Anémonas, Colombiano y Pileta de contacto. Por su parte los carotenoides, que presentaron los mayores valores de concentración por acuario (Coral A y Coral B), mostraron sus más altas concentraciones en Mesolitoral, *Haemulon* A, *Haemulon* B y Colombiano. Valores aún más superiores fueron registrados en Morenas, Langostas, Mojaras, Remoras, Caballitos, Raya redonda y Pulpo, demostrando ser el segundo pigmento dominante en los acuarios internos. Finalmente, en el feopigmento a se encontraron sus valores más altos en Morenas, Langostas, *Cromis*, Carajuelos, Mojaras, Doroteas, Remoras, Caballitos, Anemonas, Cabeza azul, Raya redonda, Lirios, Obispos, Cangrejo reina, Pileta de contacto, Sargentos y Pulpo, siendo junto a los carotenoides el pigmento más abundante en los sistemas internos (Figura 18).

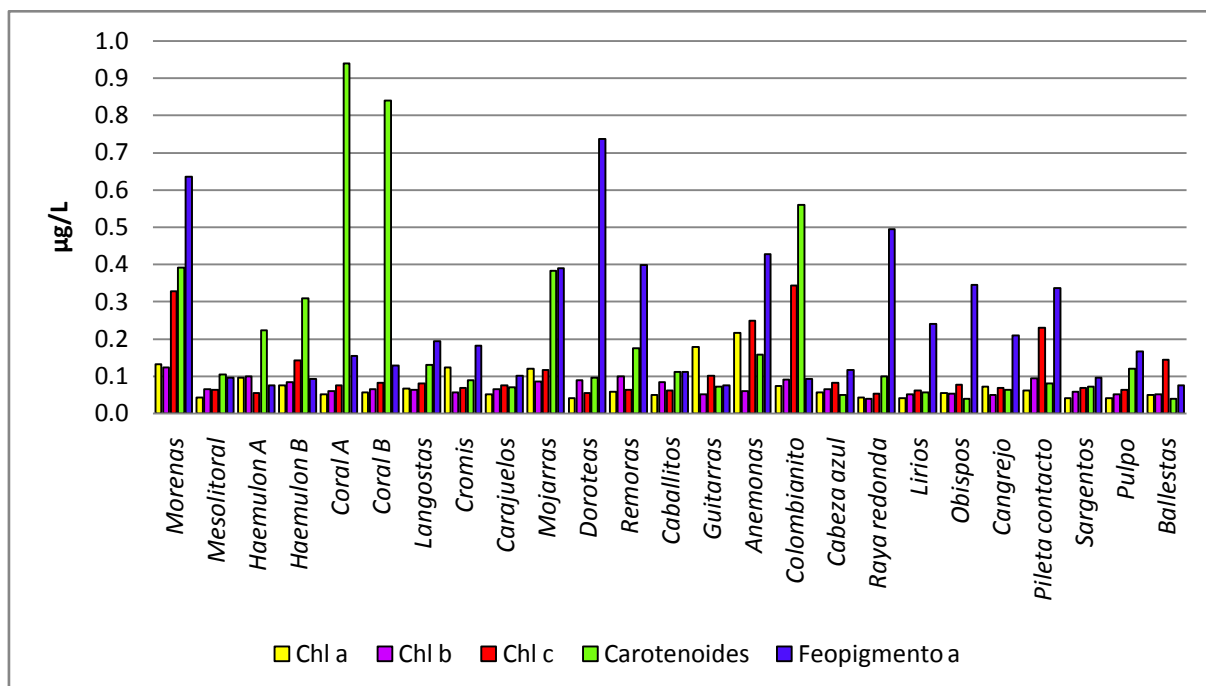


Figura 18. Promedio obtenido durante el periodo de muestreo, de los diferentes pigmentos fotosintéticos (µg/L), por acuario en los sistemas internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (Chl a: Clorofila a; Chl b: Clorofila b; Chl c: Clorofila c).

Por otro lado, la Chl a y los carotenoides presentaron diferencias significativas (50 y 60 %, respectivamente) a lo largo del tiempo, mientras que la clorofila b, c y el feopigmento a no presentaron diferencias (0, 10 y 30 % respectivamente), reflejando su estabilidad en el tiempo (Tabla 6). En el muestreo 8 se aprecia un aumento en la concentración de los pigmentos, excepto en Chl a, siendo en este muestreo en donde se obtuvieron los mayores valores de pigmentos. Para Chl a, el primer muestreo presentó la mayor cantidad del pigmento (Figura 19).

Tabla 6. Análisis temporal (entre muestreos) para cada pigmento de los sistemas internos estudiados entre abril y agosto de 2009, en donde se indica la cantidad de comparaciones y el porcentaje de las mismas con diferencias significativas (Wilcoxon; n= 122; valor p < 0,05).

Pigmento fotosintético	Número de comparaciones	Porcentaje de comparaciones con diferencias significativas
Clorofila <u>a</u>	10	50
Clorofila <u>b</u>	10	0
Clorofila <u>c</u>	10	10
Carotenoides	10	60
Feopigmento <u>a</u>	10	30

Luego de hacer los respectivos cálculos del IAF (índice de actividad fotosintética), los resultados mostraron que en ningún muestreo el IAF con respecto al feopigmento a, fue mayor a 1, lo cual significa que hay una menor cantidad de clorofila a, que de feopigmento; mientras que en el IAF con respecto a los carotenoides, solamente en los muestreos 1 y 16 éste resultó mayor a 1, significando que en estos muestreos la clorofila a se determinó a mayores concentraciones que los carotenoides (Tabla 7).

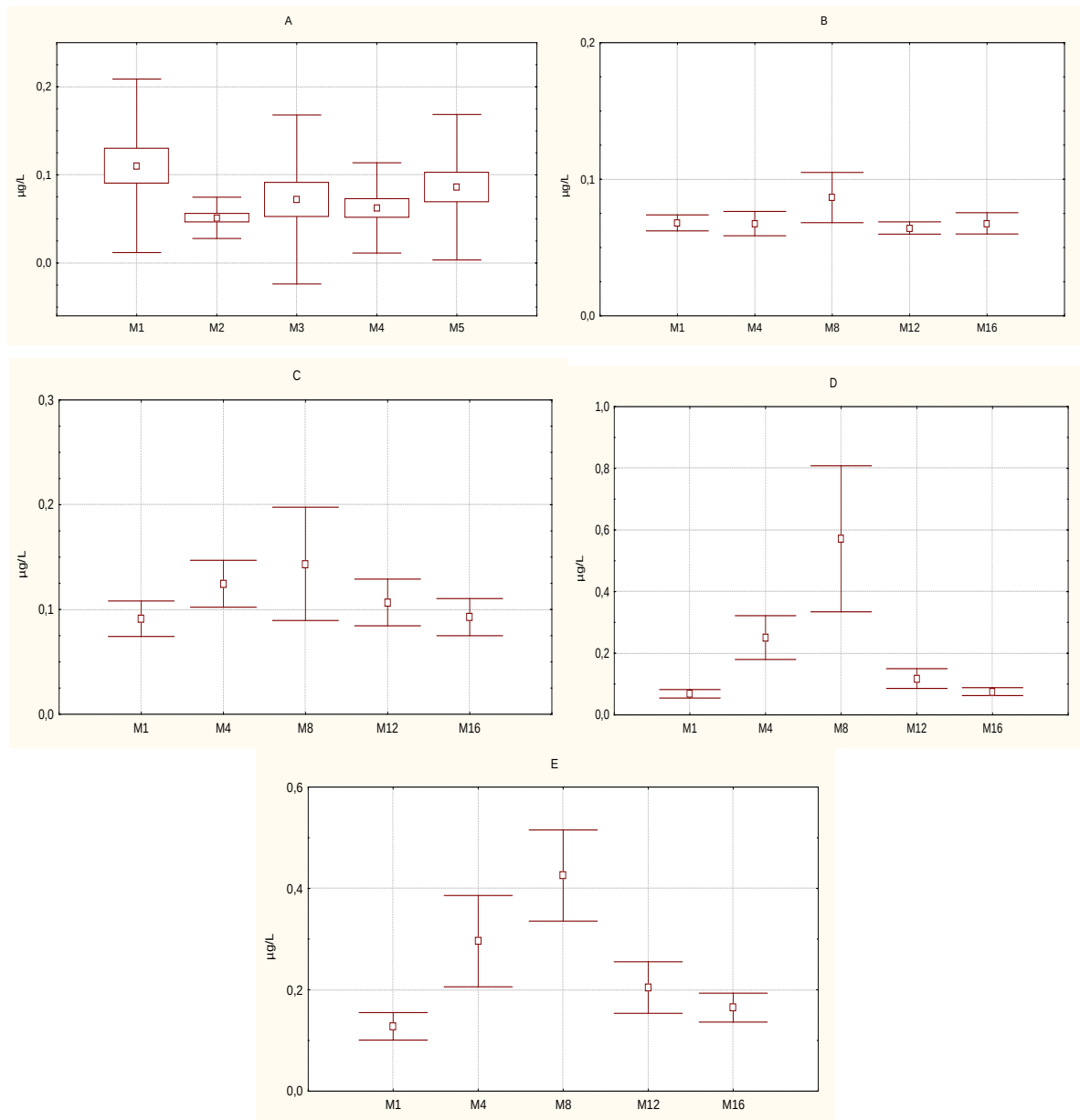


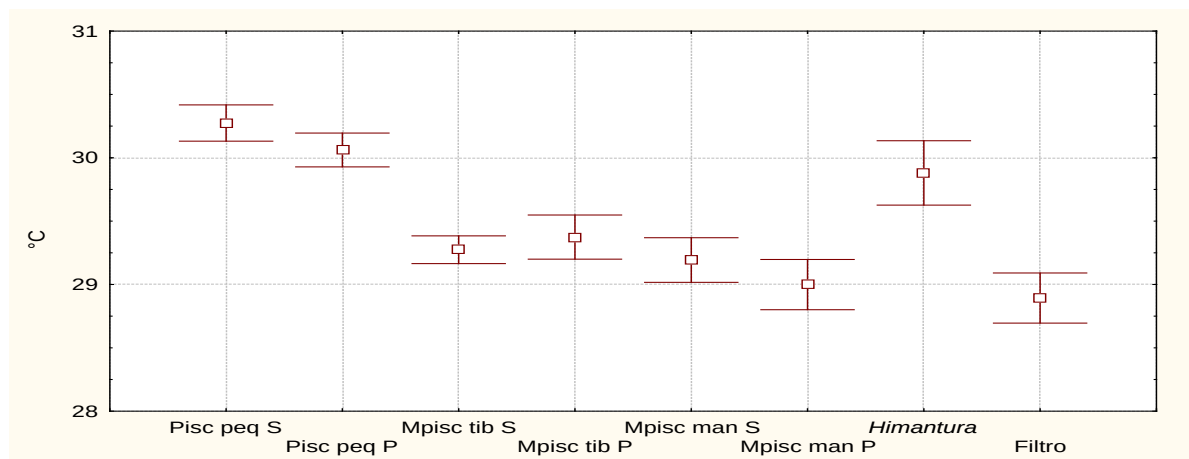
Figura 19. Concentraciones promedio por muestreo para cada pigmento fotosintético de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo, A: Clorofila a, B: Clorofila b, C: Clorofila c, D: Carotenoides, E: Feopigmento a.

Tabla 7. IAF promedio tanto para feopigmento como para carotenoides por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009, con su respectivo error estándar.

Muestreo	Clorofila <u>a</u> / Feopigmento <u>a</u>	Error estándar	Clorofila <u>a</u> / Carotenoides	Error estándar
1	0,92	0,23	2,14	0,374
4	0,49	0,08	0,58	0,136
8	0,37	0,10	0,55	0,086
12	0,60	0,12	0,85	0,116
16	0,85	0,21	1,35	0,214

6.2 SISTEMAS EXTERNOS

6.2.1 Temperatura La temperatura en los sistemas externos fue mayor que la registrada en los sistemas internos, obteniéndose valores promedio de 29,49°C ($\pm 0,07$), y un rango entre 26,70°C y 33,10°C. El análisis espacial arrojó 28 comparaciones de las cuales el 67,85 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 128$; valor $p < 0,05$), lo cual indica que la temperatura no se comportó igual para todos los sistemas externos. Se destaca una diferenciación zonal (Figura 20), en donde se pudo identificar la Piscina pequeña, la Megapiscina, *Himantura* y el Filtro por separado.

**Figura 20.** Temperatura promedio (°C) para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Mpisc man P: Megapiscina mangle profundo.

El análisis temporal generó 120 comparaciones de las cuales el 35,41 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 128$; valor $p < 0,05$), sugiriendo que a diferencia de la escala espacial, la temperatura se mantuvo relativamente estable en el tiempo (Figura 21).

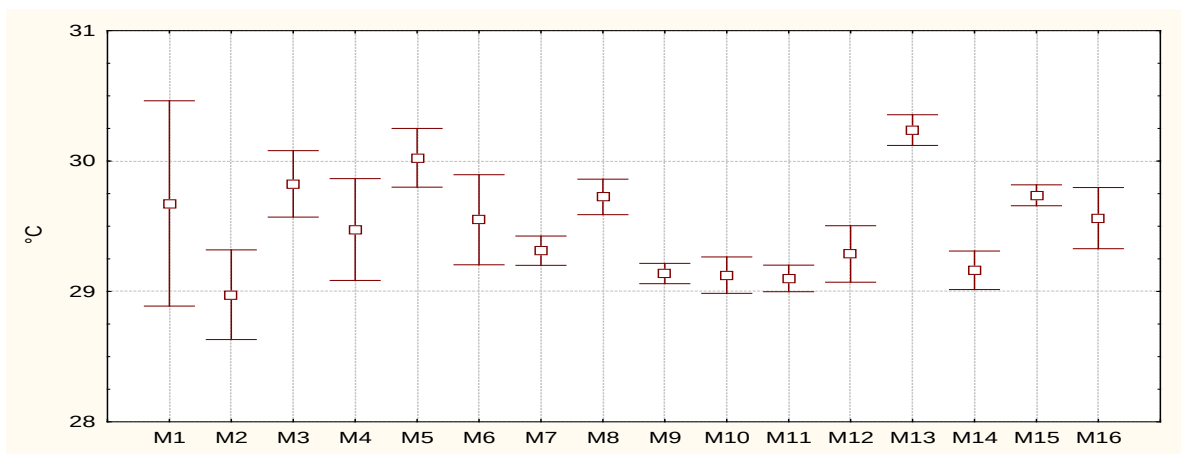


Figura 21. Temperatura promedio por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.2.2 Salinidad La salinidad fue también mayor en los sistemas externos que en los internos, encontrándose en promedio valores de 42,06 UPS ($\pm 0,13$), y un rango de variación entre 36,30 y 44,80 UPS. El análisis estadístico espacial generó 28 comparaciones, de las cuales el 42,85 % obtuvieron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 128$; valor $p < 0,05$), indicando que la salinidad se comportó relativamente estable entre acuarios, siendo el Filtro, el sistema que mostró una salinidad un poco más baja (Figura 22)

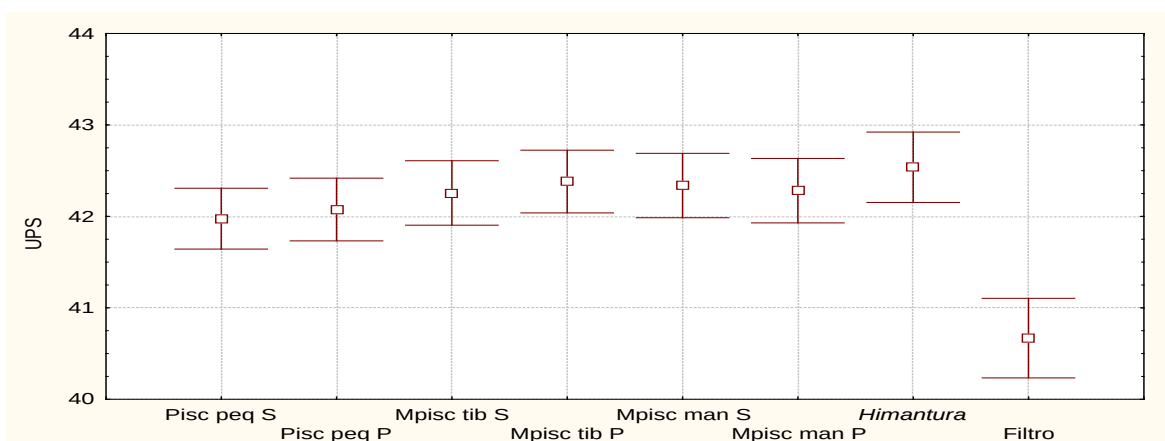


Figura 22. Salinidad promedio (UPS) para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina Tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Mpisc man P: Megapiscina mangle profundo.

El análisis temporal efectuado produjo un total de 120 comparaciones, de las cuales el 68,33 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 128$; valor $p < 0,05$), de tal forma que la salinidad no es muy estable en los sistemas externos a lo largo del tiempo, ya que aumenta y decae continuamente, pero destacando que siempre con valores que superan los 40 UPS. De los muestreos, el 10 obtuvo la salinidad más baja y el 3 la más alta (Figura 23).

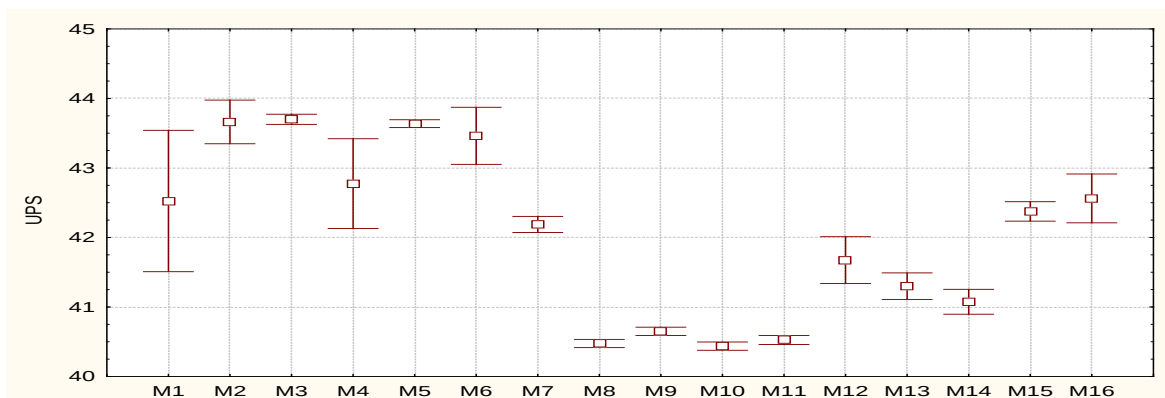


Figura 23. Salinidad promedio (UPS) por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.2.3 Porcentaje de saturación de O_2 El porcentaje de saturación de O_2 en promedio se comportó un poco más alto que en los acuarios internos, con una

concentración de 68,17 % ($\pm 0,98$), hallándose valores que fluctuaron entre 40,30 y 94 %. El análisis estadístico espacial generó 28 comparaciones, de las cuales, el 21,42 % obtuvieron diferencias significativas (Wilcoxon; $n= 128$; valor $p < 0,05$), lo que mostró que el porcentaje de saturación de O_2 fue relativamente similar en todos los sistemas. El acuario que presentó el menor porcentaje fue el de la Megapiscina tiburones-profundo y el de mayor valor fue la Piscina pequeña somero (Figura 24).

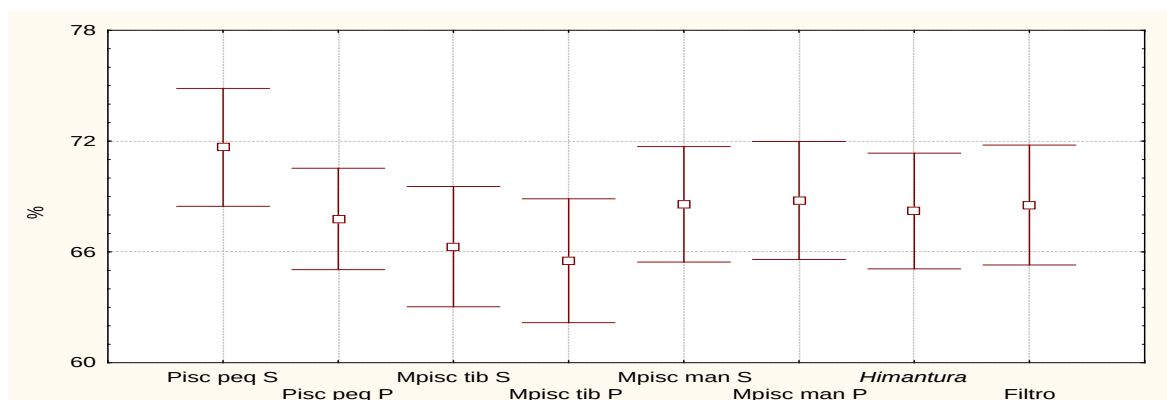


Figura 24. Porcentaje de saturación de O_2 promedio para cada uno de las acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo.

La prueba estadística temporal que se realizó, generó 78 comparaciones, de éstas el 64,10 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n= 128$; valor $p < 0,05$), indicando que el porcentaje de O_2 a lo largo del tiempo, para los sistemas externos varió. El muestreo 1 fue el que presentó un mayor porcentaje de saturación y el 9 al igual que con los sistemas internos, tuvo un descenso abrupto con respecto a los demás muestreos, posiblemente por problemas de tipo metodológico (Figura 25).

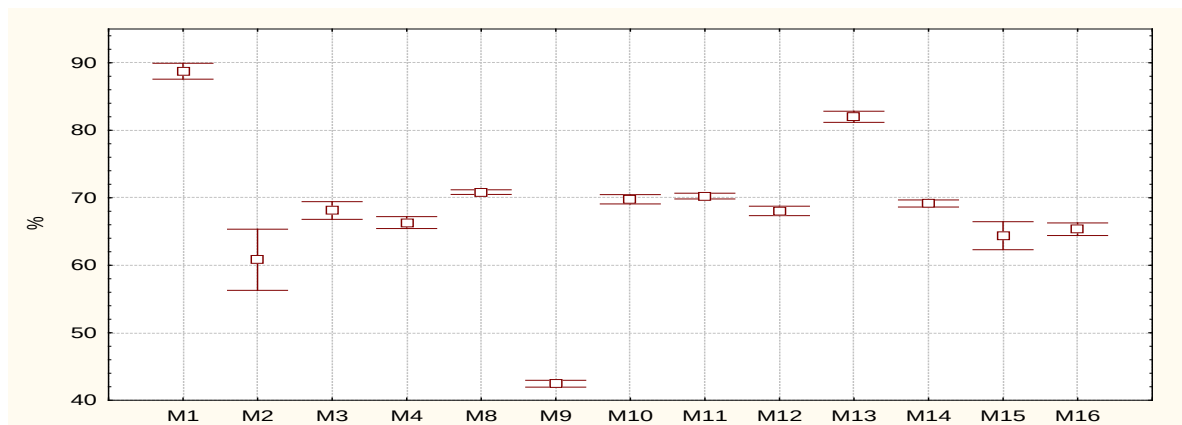


Figura 25. Porcentaje de saturación promedio de O₂ por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.2.4 pH El pH en promedio, fue mayor que el presentado por los sistemas internos, con un valor de 8,10 ($\pm 0,01$), observándose como valor mínimo 7,64 y máximo 8,34. La estadística espacial realizada aportó 56 comparaciones, de estas el 78,57 % poseían diferencias significativas (Wilcoxon; $n= 128$; valor $p < 0,05$), indicando que el pH no se comportó de igual manera en cada sistema y como en la temperatura, se pudo diferenciar claramente la Piscina pequeña, la Megapiscina, *Himantura* y Filtro por separado (Figura 26).

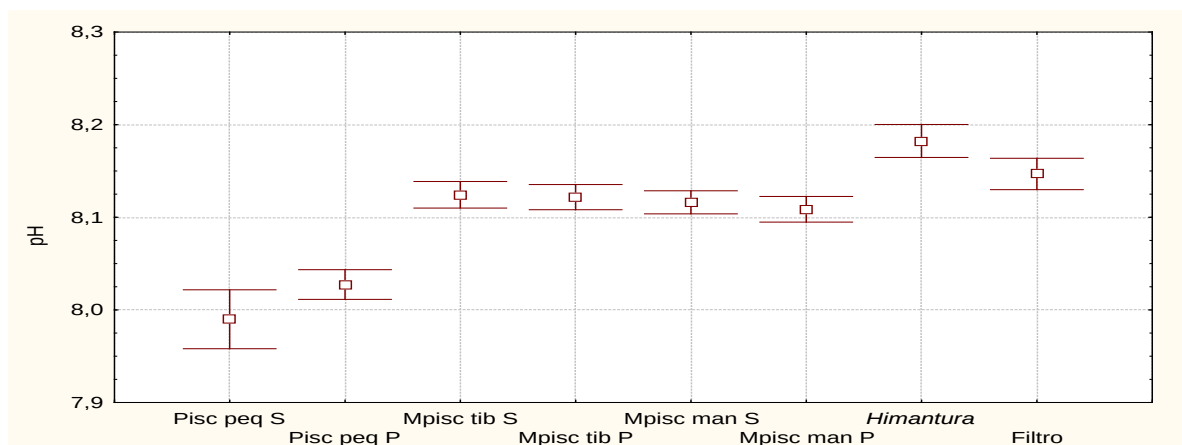


Figura 26. pH promedio para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Mpisc man P: Megapiscina mangle profundo.

La prueba realizada para determinar si hay o no diferencias significativas a lo largo del tiempo, arrojó 240 comparaciones, de las cuales el 45 % resultaron con diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 128$; valor $p < 0,05$), indicando que a lo largo del tiempo el pH se mantuvo relativamente estable, a pesar que los cinco primeros muestreos mostraron ligeras variaciones, posteriormente los niveles se mantuvieron estables (Figura 27).

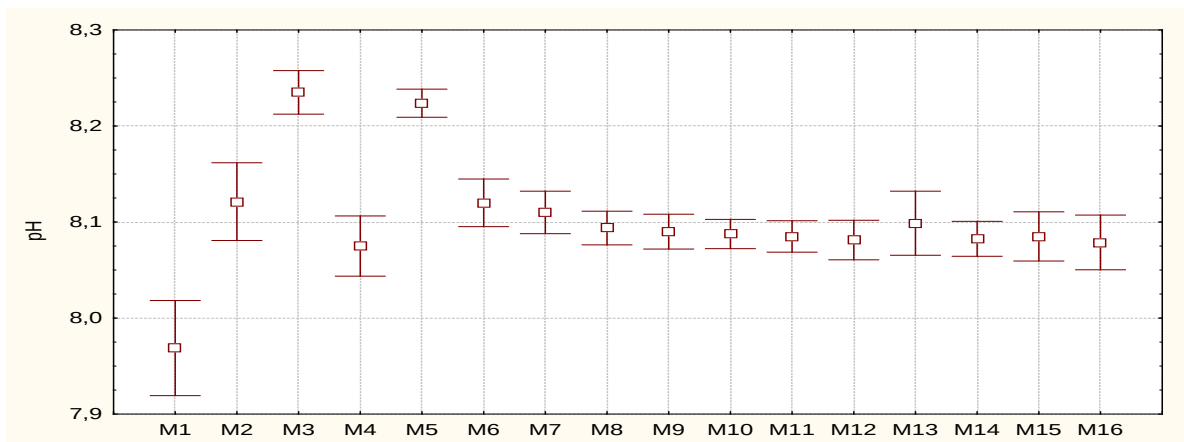


Figura 27. pH promedio por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.2.5 Nutrientes Como en los sistemas internos, los nutrientes fueron los parámetros que presentaron una mayor variabilidad. En general, los valores promedio en los sistemas externos son mayores que en los sistemas internos. El amonio registró un promedio de $258,99 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ ($\pm 24,89$), encontrándose valores que van desde $51 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ hasta los $740 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$. El análisis estadístico espacial generó 56 comparaciones, de las cuales el 21,42 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 64$; valor $p < 0,05$), indicando que las concentraciones de amonio fueron relativamente iguales. Lo anterior se observó en la figura 28, excepto por la Piscina pequeña, cuya concentración del nutriente resultó menor que en el resto de los acuarios externos.

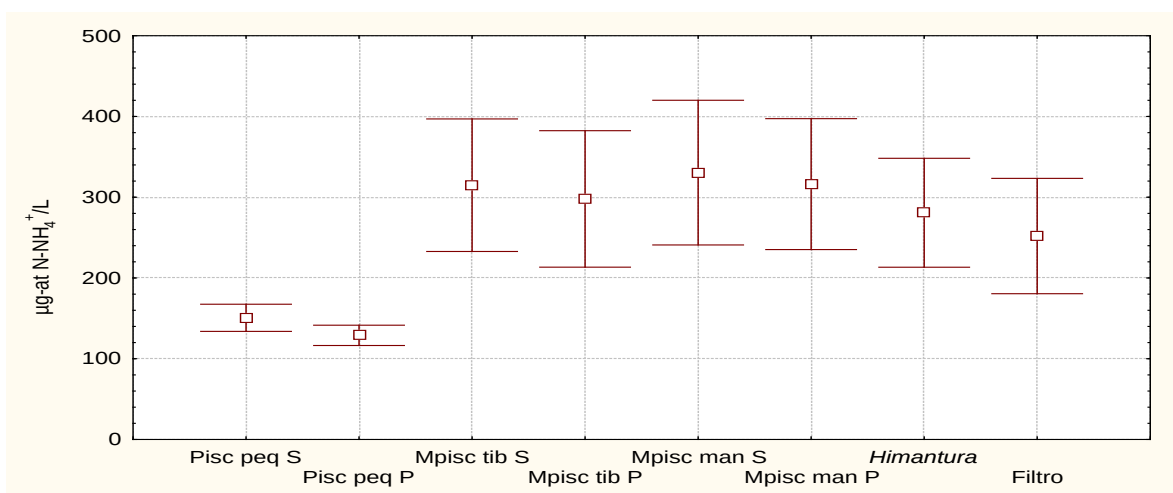


Figura 28. Concentración promedio de amonio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$) para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Mpisc man P: Megapiscina mangle profundo.

El análisis estadístico temporal realizó 56 comparaciones, de las cuales el 89,28 % resultaron con diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 64$; valor $p < 0,05$), demostrando que el amonio a lo largo del tiempo fue bastante variable, (Figura 29), siendo el muestreo 3 donde se encontró la concentración más baja y el 5, el de mayor valor.

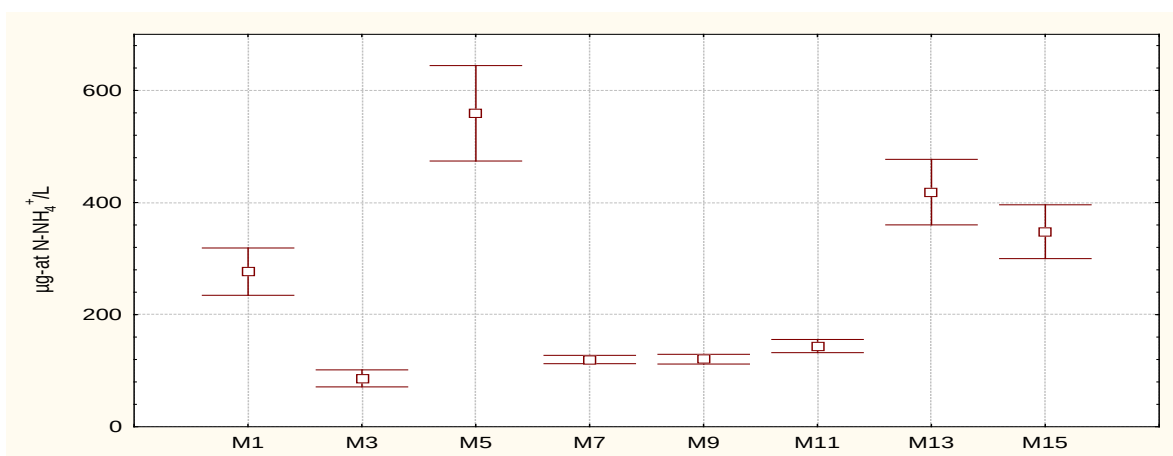


Figura 29. Amonio promedio ($\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$) por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

Los nitritos se comportaron en promedio a $10,72 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$ ($\pm 0,70$), siendo el valor mínimo $3,19 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$ y el máximo $22,29 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$. El estadístico espacial generó 56 comparaciones, de estas el 67,85 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 64$; valor $p < 0,05$), indicando que los nitritos no se comportaron de igual manera entre acuarios. Con este nutriente también se observa una zonación por acuarios como en temperatura (Figura 30), siendo la Piscina pequeña la que presentó una concentración menor de nitritos.

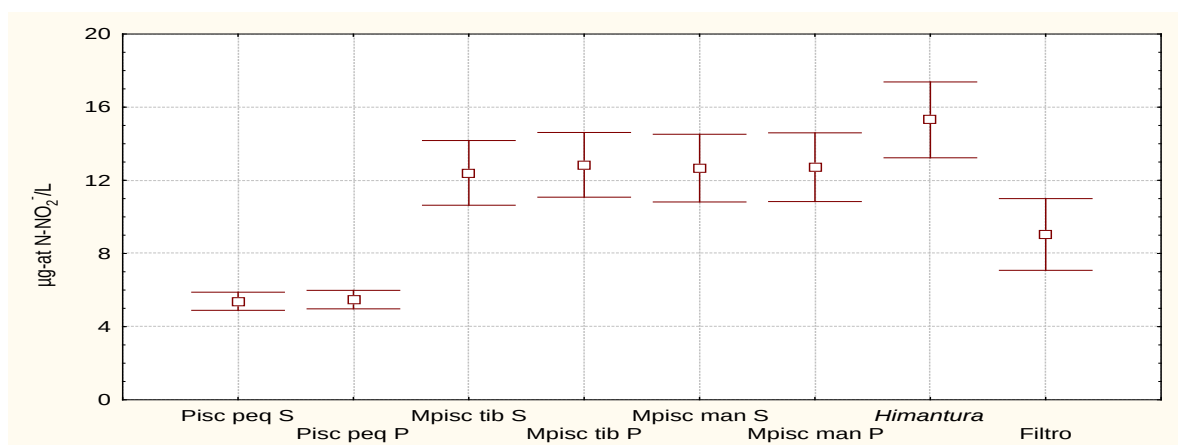


Figura 30. Concentración de nitritos promedio ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Mpisc man P: Megapiscina mangle profundo.

El análisis temporal realizó 56 comparaciones, de las cuales el 67,85 % poseían diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 64$; valor $p < 0,05$), es decir, los nitritos no se comportaron de manera estable a lo largo del tiempo, ya que sus concentraciones como los amonios, aumentaron y disminuyeron conforme pasaba el tiempo. En el muestreo 1 se determinó la menor concentración del nutriente y en el 5 la mayor (Figura 31).

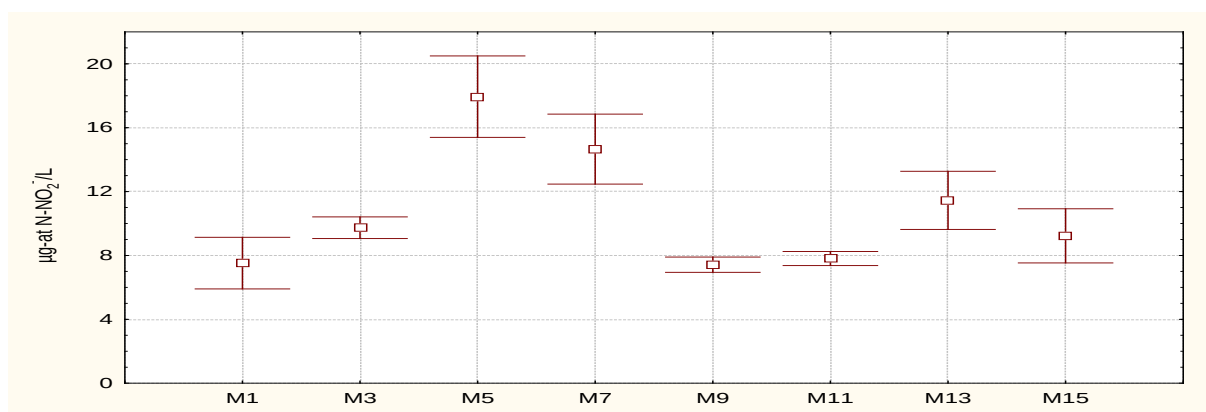


Figura 31. Concentración de nitritos promedio ($\mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$) de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

Los ortofosfatos, por su parte presentaron la mayor variabilidad, al igual que en los acuarios internos, obteniéndose como promedio un valor de $3405,08 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$ ($\pm 275,41$), hallándose valores que variaron entre $9,86 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$ y $6927,99 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$. El análisis espacial generó 56 comparaciones, de las cuales el 75 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 64$; valor $p < 0,05$; Figura 32), en donde el Filtro y la Piscina pequeña somero, presentaron valores mucho más bajos que los demás acuarios, y la parte superficial de la Megapiscina tuvo las concentraciones más altas del nutriente.

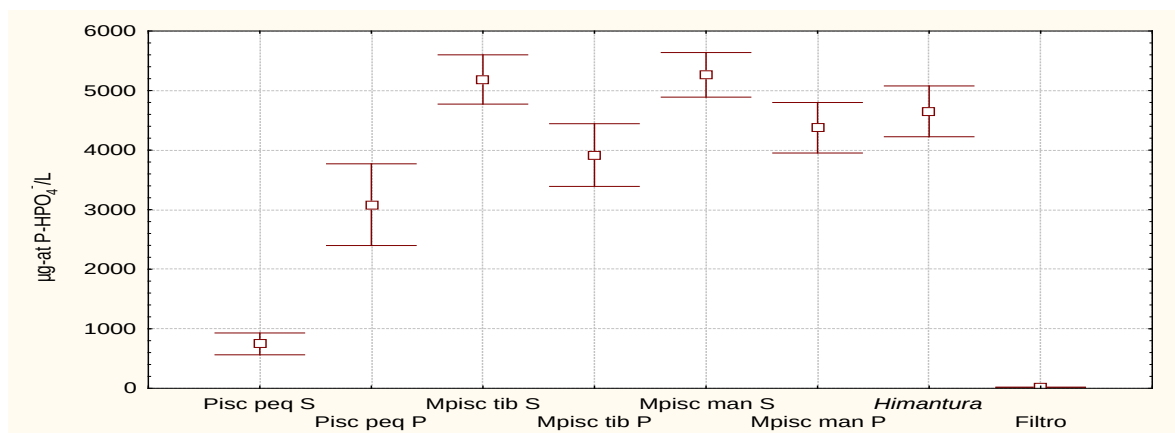


Figura 32. Concentración de ortofosfatos promedio ($\mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$) para cada uno de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). Pisc peq S: Piscina pequeña somero, Pisc peq P: Piscina pequeña profundo, Mpisc tib S: Megapiscina Tiburón somero, Mpisc tib P: Megapiscina tiburón profundo, Mpisc man S: Megapiscina mangle somero, Misc man P: Megapiscina mangle profundo.

El análisis estadístico temporal produjo 56 comparaciones, 39,28 % de ellas presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 64$; valor $p < 0,05$), exponiendo que los ortofosfatos a lo largo del tiempo se comportaron relativamente estables (Figura 33), siendo los muestreos 7 y 9 en los que se determinaron concentraciones menores de ortofosfatos, y el 3 en el que mayor concentración del nutriente se obtuvo.

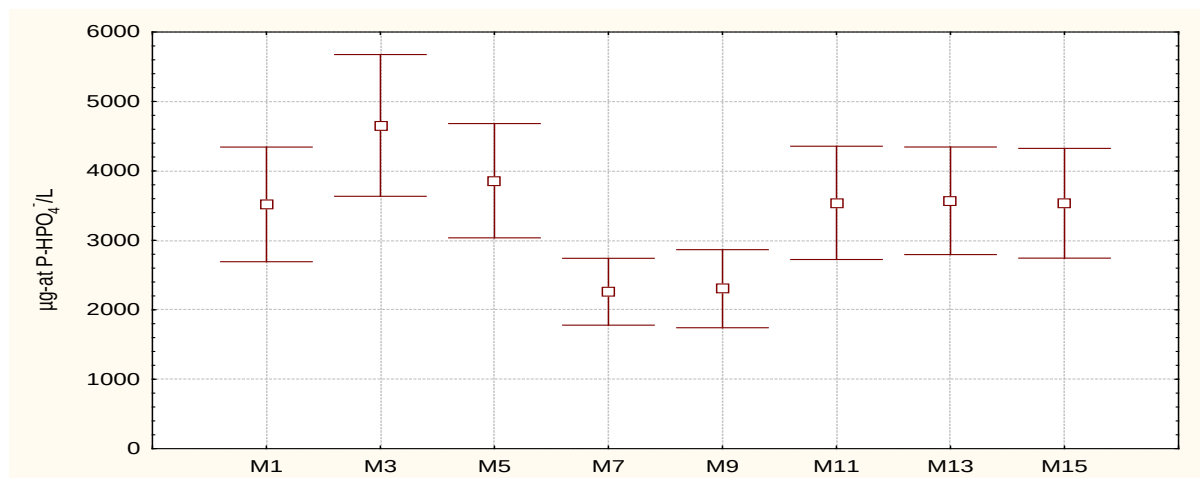


Figura 33. Ortofosfatos promedio ($\mu\text{g-at P-HPO}_4/\text{L}$) por muestreo de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo.

6.2.6 Pigmentos fotosintéticos Los pigmentos fotosintéticos al igual que en los acuarios internos presentaron poca variabilidad, pero fueron en general de valores mayores a los encontrados en los sistemas internos. En primer lugar, la Chl **a** se encontró en promedio a $0,29 \mu\text{g/L}$ ($\pm 0,04$), observándose valores que fluctuaron entre $0,01$ y $1,29 \mu\text{g/L}$. La Chl **b** por su parte, se comportó en promedio a $0,09 \mu\text{g/L}$ ($\pm 0,01$), con un rango de fluctuación entre $0,02 \mu\text{g/L}$ y $0,40 \mu\text{g/L}$. Por otro lado, la Chl **c** se mantuvo en promedio a $0,15 \mu\text{g/L}$ ($\pm 0,02$), encontrándose un valor mínimo de $0,02 \mu\text{g/L}$ y un valor máximo de $0,44 \mu\text{g/L}$. Los carotenoides fueron los pigmentos que mayor concentración presentaron en los acuarios externos, con un promedio de $0,47 \mu\text{g/L}$ ($\pm 0,06$), con un rango que se encontró entre los $0,04 \mu\text{g/L}$ y los $4,35 \mu\text{g/L}$. Por último, el feopigmento **a** se determinó en promedio a $0,39 \mu\text{g/L}$ ($\pm 0,10$), fluctuando entre $0,01$ y $2,47 \mu\text{g/L}$.

Al realizar el análisis espacial, de todos los pigmentos, la Chl **b** fue la única que no se comportó de igual manera en los sistemas, ya que se encontró en el filtro una concentración mucho mayor a la determinada en el resto de acuarios generando esta diferencia. Por otro lado, el programa estadístico no corrió la prueba (Wilcoxon; $n = 40$) para Feopigmento **a**, debido a que las concentraciones que se encontraron sólo en el muestreo 8 fueron mayores al límite de detección de equipo, mientras que en los demás muestreos todos los valores se ubicaron por debajo de éste (Tabla 8), reflejando la clara homogeneidad de este pigmento en el tiempo, sin presentarse en ningún caso diferencias significativas.

Tabla 8. Análisis espacial por pigmento fotosintético de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009, incluyendo número de comparaciones y porcentaje de éstas con diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 40$; valor $p < 0,05$).---: Prueba no realizada por el programa estadístico.

Pigmento fotosintético	Número de comparaciones	Porcentaje de comparaciones con diferencias significativas
Clorofila a	28	39,28
Clorofila b	13	84,61
Clorofila c	27	3,70
Carotenoides	26	11,11
Feopigmento a	---	---

Como se observó en la figura 34, al igual que en los sistemas internos, se presentó una mayor cantidad tanto de carotenoides como de feopigmento **a** con respecto a los otros pigmentos fotosintéticos, se observó también que el acuario *Himantura* presentó una cantidad relativamente alta de Chl **a**, Carotenoides y Feopigmento **a**. En el Filtro se evidenció poca presencia de pigmentos, siendo el más significativo la Chl **a**. La Piscina pequeña presentó también poca cantidad de pigmentos tanto en la superficie como en profundidad siendo el pigmento más abundante el Feopigmento **a**.

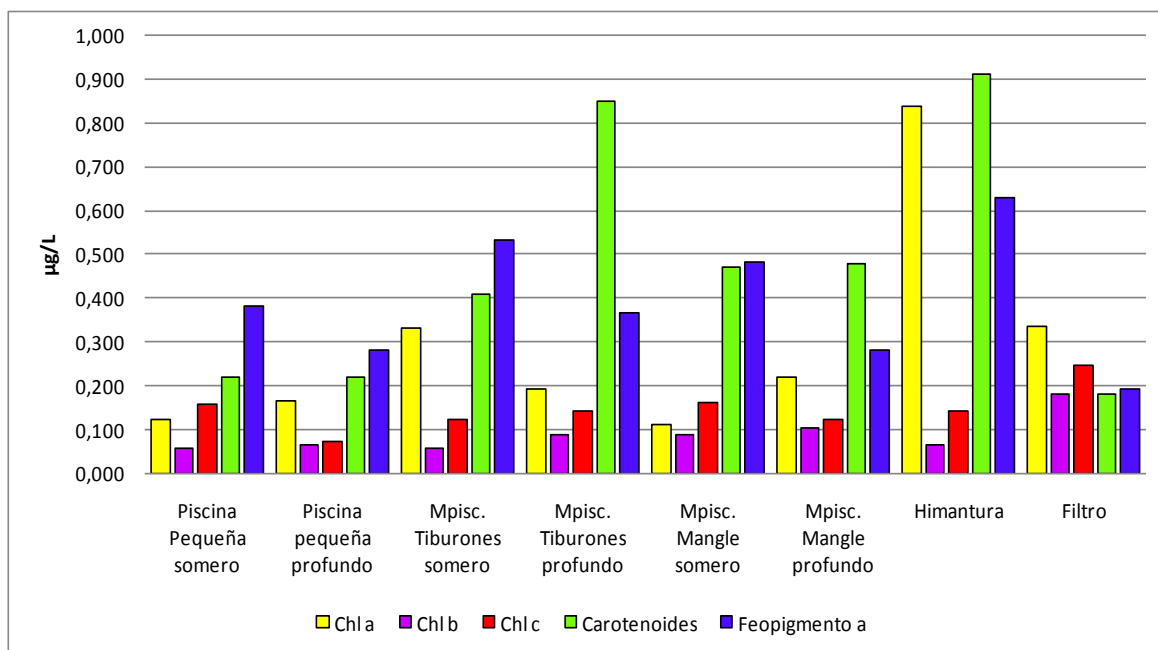


Figura 34. Promedio de concentración de pigmentos fotosintéticos (µg/L) por acuario de los sistemas externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (Chl a: Clorofila a; Chl b: Clorofila b; Chl c: Clorofila c).

En la tabla 9 se apreció que tanto la clorofila c como el feopigmento a no se comportaron de manera estable a lo largo del tiempo, ya que presentaron diferencias significativas (70 y 57,14 % respectivamente), mientras que la clorofila a, b y los carotenoides si lo hicieron, ya que no presentaron estas diferencias tan altas (45 %, 11,11 % y 57,14 %, respectivamente). La clorofila c se destacó por presentar concentraciones muy variables a lo largo del tiempo, al igual que el feopigmento a, el cual durante el tercer muestreo mostró un comportamiento inusual ya que sus niveles aumentaron drásticamente, con respecto a los muestreos restantes (Figura 35).

Tabla 9. Resultados obtenidos para el análisis temporal para cada pigmento de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009, en donde se indica la cantidad de comparaciones y el porcentaje de las mismas con diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 40$; valor $p < 0,05$).

Pigmento fotosintético	Número de comparaciones	Porcentaje de comparaciones con diferencias significativas
Clorofila <u>a</u>	10	45
Clorofila <u>b</u>	9	11,11
Clorofila <u>c</u>	10	70
Carotenoides	10	20
Feopigmento <u>a</u>	7	57,14

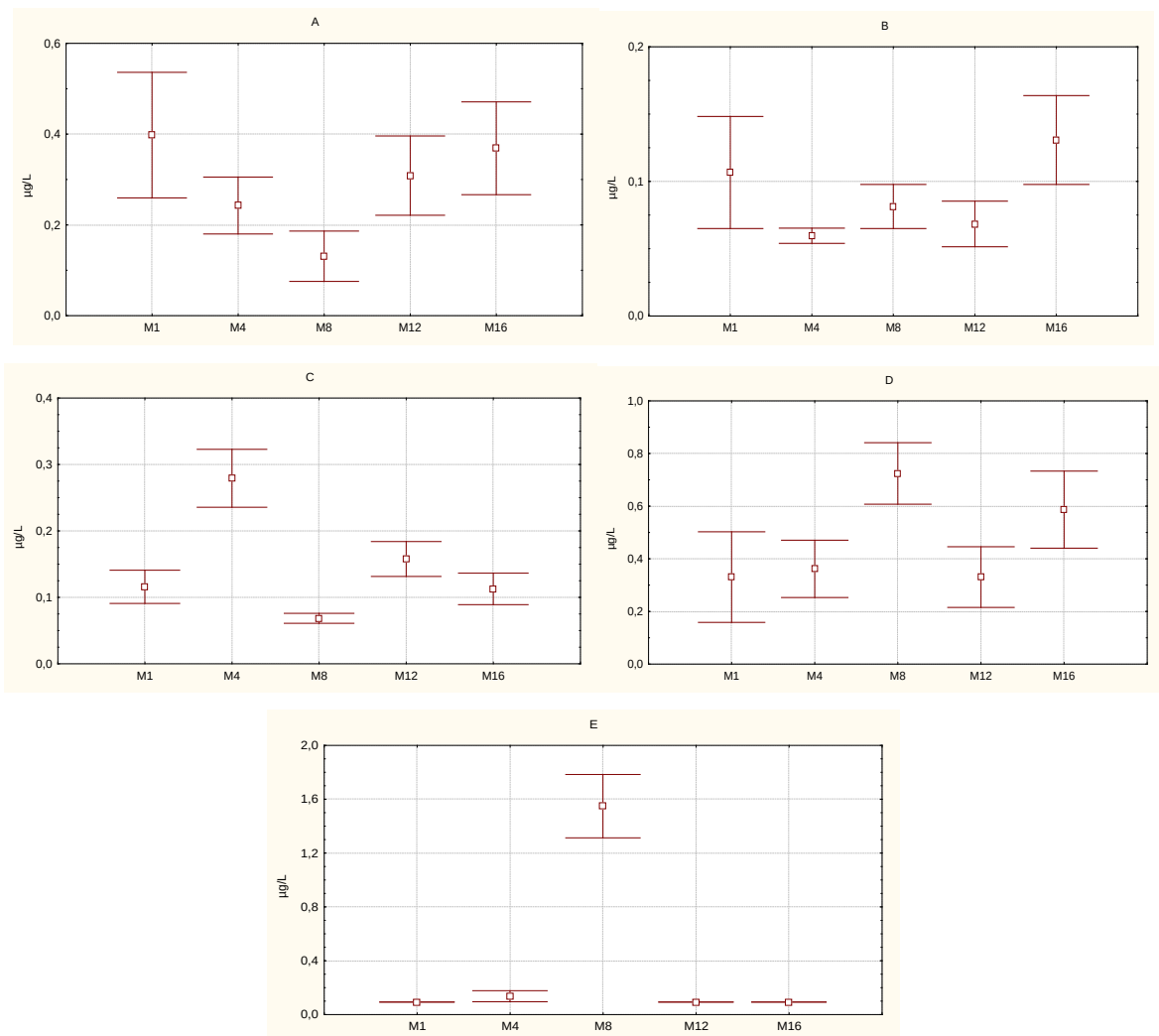


Figura 35. Concentraciones promedio por muestreo para cada pigmento fotosintético de los acuarios externos estudiados entre abril y agosto de 2009 (µg/L; cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). M: muestreo, A: Clorofila a, B: Clorofila b, C: Clorofila c, D: Carotenoides, E: Feopigmento a.

Los IAF indicaron que solo en el muestreo 8 el IAF con respecto al feopigmento a, dio menor a 1, indicando que en ese momento la concentración del feopigmento era mayor a la de la clorofila; mientras que en el IAF con respecto a los carotenoides, fue mayor a 1 en los muestreos 1, 12 y 16, mostrando que en los muestreos 4 y 8 los carotenoides se determinaron a mayor cantidad que la clorofila (Tabla 10).

Tabla 10. IAF promedio tanto para feopigmento como para carotenoides por muestreo de los acuarios internos estudiados entre abril y agosto de 2009, con su respectivo error estándar.

Muestreo	Clorofila <u>a</u> / Feopigmento <u>a</u>	Error estándar	Clorofila <u>a</u> / Carotenoides	Error estándar
1	4,26	1,48	3,57	0,48
4	4,31	1,15	0,94	0,15
8	0,07	0,01	0,28	0,06
12	3,31	0,45	1,33	0,17
16	3,95	0,52	1,37	0,22

6.3 COMPARACIÓN DE MONITOREOS

En las variables físicas, se observó que en general los promedios fueron similares, excepto en el porcentaje de saturación de O₂ ya que el promedio del monitoreo de Corredor *et al.* (2000), es mucho mayor que el de los otros dos. Y en el pH, el promedio de esta variable se determinó un poco más elevado en el presente monitoreo que en los otros dos (Figura 36).

En cuanto a los nutrientes, se apreció que las concentraciones de amonio y ortofosfatos del actual monitoreo, fueron mayores que las concentraciones de los anteriores, mostrando un incremento en el tiempo. Los nitritos que presentaron una concentración mayor, fueron los determinados en el monitoreo realizado en el año 2000 (Figura 37).

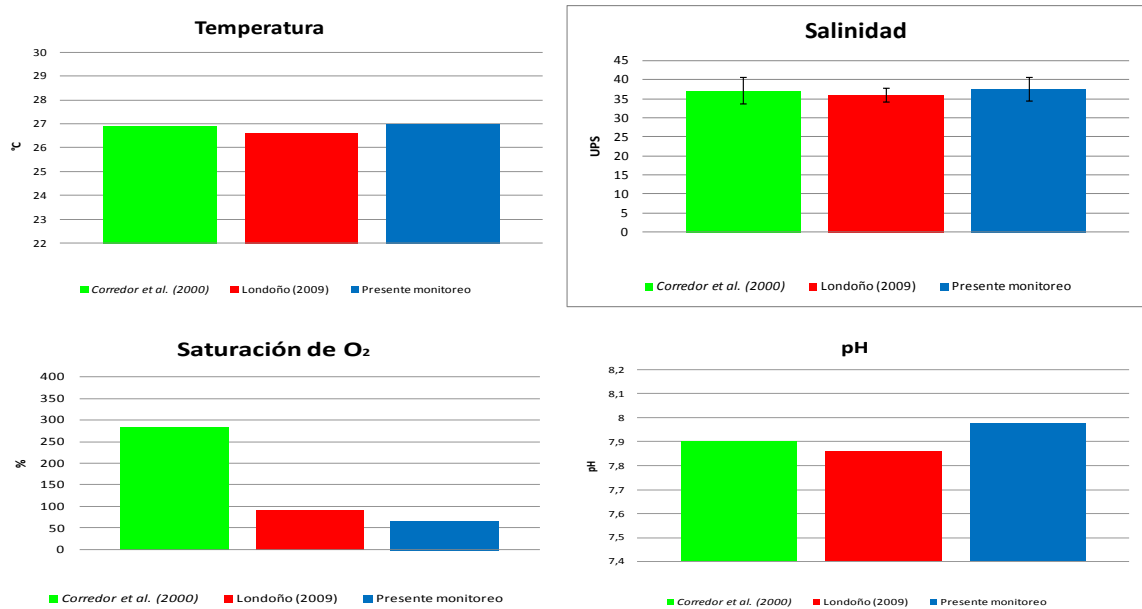


Figura 36. Promedios totales para cada uno de los tres monitoreos comparados (Corredor *et al.*, 2000; Londoño, 2009 y el presente estudio), para cada variable física (A: Temperatura, B: salinidad, C: porcentaje de saturación de O₂ y D: pH; las barras indican la desviación estándar).

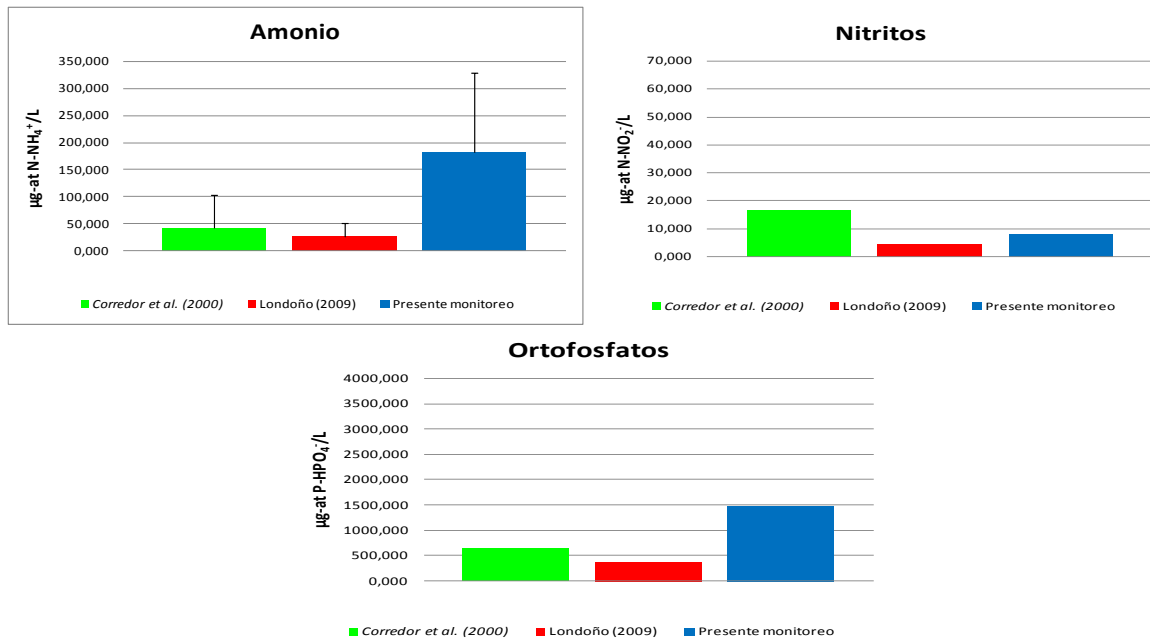
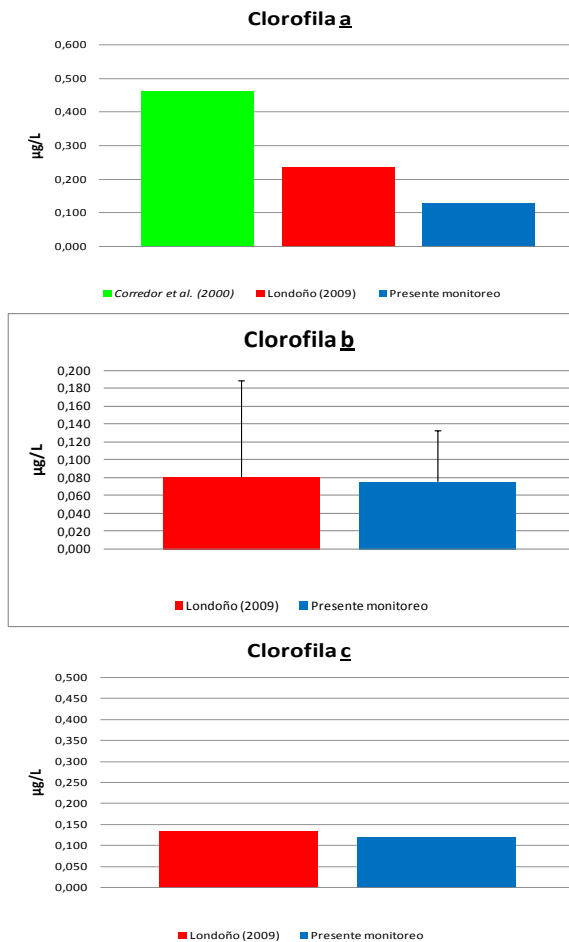


Figura 37. Promedio de nutrientes (A: amonio, B: nitritos y C: ortofosfatos) por monitoreo (Corredor *et al.*, 2000; Londoño, 2009 y el presente estudio; Las barras expresan la desviación estándar).

Por otra parte, en el año 2000 la concentración de Chl a fue mucho mayor a la de los otros monitoreos. Las concentraciones de clorofila b y c fueron un poco más altas en el monitoreo del 2008 que en el presente, mientras que carotenoides y feopigmento a, si fueron mucho mayores en el presente estudio comparado a los registrados en el 2008 (Figura 38).



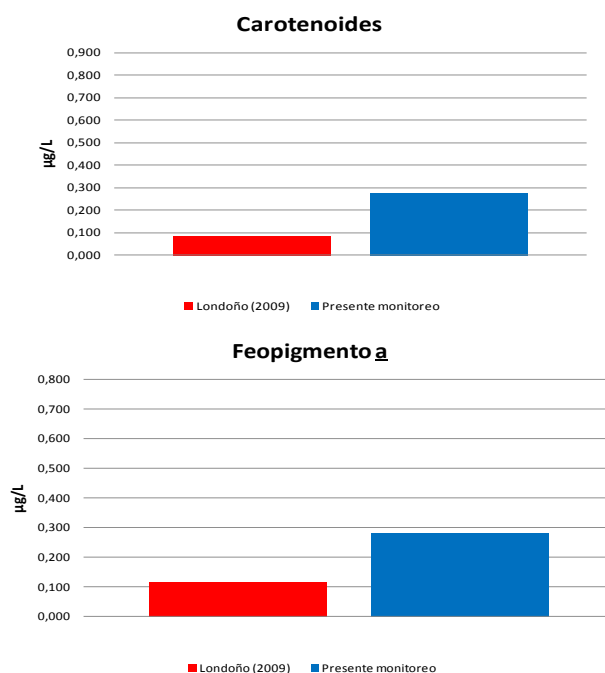


Figura 38. Promedio total de pigmentos fotosintéticos (A: Clorofila a, B: Clorofila b, C: Clorofila c, D: Carotenoides y E: Feopigmento a) por monitoreo (Corredor *et al.*, 2000; Londoño, 2009 y el presente estudio; las barras indican la desviación estándar).

Se presentaron los resultados obtenidos mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon- Mann Whitney (Tabla 11), en donde se observó que el actual monitoreo presentó diferencias significativas en todas las variables con respecto al monitoreo realizado en el 2008, mientras que con el monitoreo del 2000, no se encontraron diferencias significativas tanto en temperatura como en salinidad, pero si en el resto de las variables.

Tabla 11. Prueba comparativa entre el actual monitoreo y los realizados en el 2008 y 2000, respectivamente, indicando el número de comparaciones y el valor p de la prueba (Wilcoxon-Mann Whitney; n.d: no determinada por el autor del año correspondiente).

Variable	Actual monitoreo comparado con el realizado en el 2008 por Londoño (2009)		Actual monitoreo comparado con el realizado en el 2000 por Corredor et al. (2000)	
	n	valor p	n	valor p
Temperatura	990	< 0,05	587	0,166
Salinidad	990	< 0,05	587	0,515
Porcentaje de sat. De O ₂	831	< 0,05	489	< 0,05
pH	990	< 0,05	587	< 0,05
Amonio	367	< 0,05	319	< 0,05
Nitritos	348	< 0,05	329	< 0,05
Ortofosfatos	378	< 0,05	328	< 0,05
Clorofila a	398	< 0,05	217	< 0,05
Clorofila b	398	< 0,05	n.d	n.d
Clorofila c	398	< 0,05	n.d	n.d
Carotenoides	398	< 0,05	n.d	n.d
Feopigmento a	398	< 0,05	n.d	n.d

6.4 EXPERIMENTOS CON ALGAS

6.4.1 Biomasa algal Luego de diez 10 de muestreo se apreció que en el primer experimento, de los cuatro acuarios, solo Guitarras presentó un aumento en gramos, en el caso de *Haemulon A* y *Haemulon B*, se evidenció una pérdida de biomasa importante y al mismo tiempo indicios de blanqueamiento en el alga a partir del quinto día. En el caso de Doroteas, los organismos consumieron el alga, siendo evidente esto desde el tercer día, acabando completamente las algas al sexto día, de ahí la reducción del 100 % en la biomasa algal para este acuario (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados obtenidos de biomasa algal en el primer experimento con *Caulerpa sertularioides*.

Acuario	Volumen del acuario (m ³)	Biomasa total inicial (g)	Biomasa total final (g)	Densidad inicial (g/m ³)	Densidad final (g/m ³)	Pérdida (-) ó Ganancia (+) total (%)
<i>Haemulon A</i>	1,87	60,77	33,38	16,25	17,85	-45,07
<i>Haemulon B</i>	1,87	58,84	39,49	15,73	21,12	-32,89
Doroteas	1,87	44,94	0	24,03	0	-100

Guitarras	3,74	62,85	65,38	16,80	17,48	+4,03
-----------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Luego del segundo experimento, donde se incrementó la densidad algal para ver si existían cambios más marcados en las variaciones de los nutrientes objeto de estudio, se apreció que los resultados en general son los mismos que en el primero, con la diferencia que la pérdida de biomasa algal fue mucho menor para *Haemulon A* y *Haemulon B*, aunque también se observó un blanqueamiento en el alga a partir del cuarto día. Los animales dentro del acuario Doroteas consumieron la totalidad del alga en cuatro días, dos días antes que en el primer experimento (Tabla 13).

Tabla 13. Resultados obtenidos de biomasa algal en el segundo experimento con *Caulerpa sertularioides*.

Acuario	Volumen del acuario (m ³)	Biomasa total inicial (g)	Biomasa total final (g)	Densidad inicial (g/m ³)	Densidad final (g/m ³)	Pérdida (-) ó Ganancia (+) total (%)
<i>Haemulon A</i>	1,87	99,17	99,07	53,03	52,98	-0,101
<i>Haemulon B</i>	1,87	101,87	101,24	54,48	54,14	-0,618
Doroteas	1,87	105,23	0	56,27	0	-100
Guitarras	3,74	197,69	197,93	52,86	52,92	+0,121

6.4.2 Temperatura del agua La temperatura para el primer experimento se mantuvo en promedio a 25,41°C ($\pm 0,13$), con un valor mínimo de 23,55°C y un máximo de 27°C, mientras que para el segundo experimento la temperatura promedio estuvo a 24,70°C ($\pm 0,18$), con valores entre los 22,80 y los 26,50°C. Los acuarios de Control 1, *Haemulon A* y *Haemulon B* tuvieron la temperatura más baja, pero en general la temperatura en el segundo experimento fue menor que en el primero (Figura 39). El análisis espacial del experimento 1 produjo 10 comparaciones, de las cuales el 60 % poseían diferencias significativas (Wilcoxon;

$n = 50$; valor $p < 0,05$), indicando una leve variación de la temperatura entre acuarios en el experimento. Mientras que para el segundo experimento el análisis mostró 15 comparaciones, de éstas el 73,33 % arrojaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 60$; valor $p < 0,05$), sugiriendo que la temperatura varió entre acuarios a lo largo del segundo experimento, siendo estos resultados muy parecidos a los obtenidos en el monitoreo.

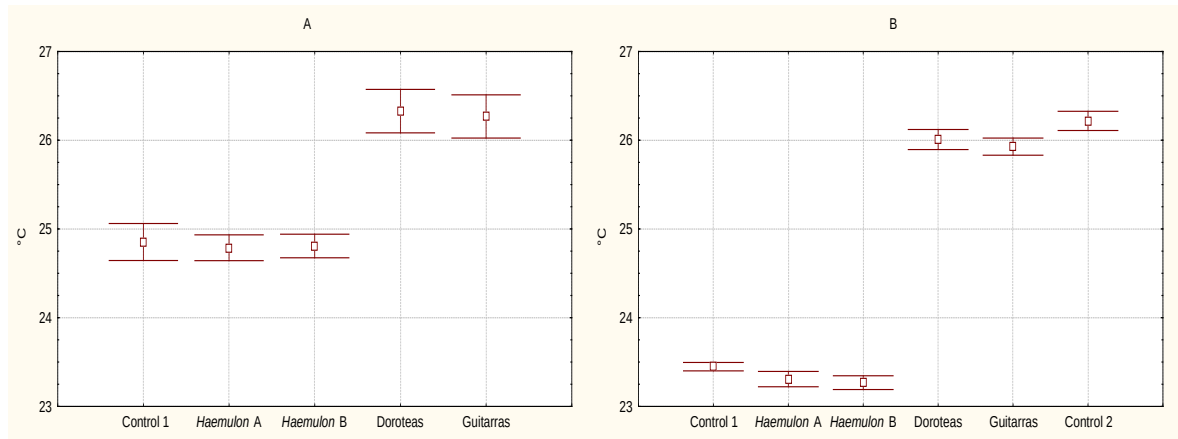


Figura 39. Temperaturas promedio de los dos experimentos realizados, por acuario (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento.

Observando el comportamiento de la temperatura a lo largo del tiempo, se observó que esta variable no cambió significativamente a lo largo de los dos experimentos, pero resalta el día 3 del primer experimento en donde se apreció una baja de temperatura en los acuarios Doroteas y Guitarras, y un alza hacia el sexto día en los acuarios Control 1, *Haemulon A* y *Haemulon B* (Figura 40).

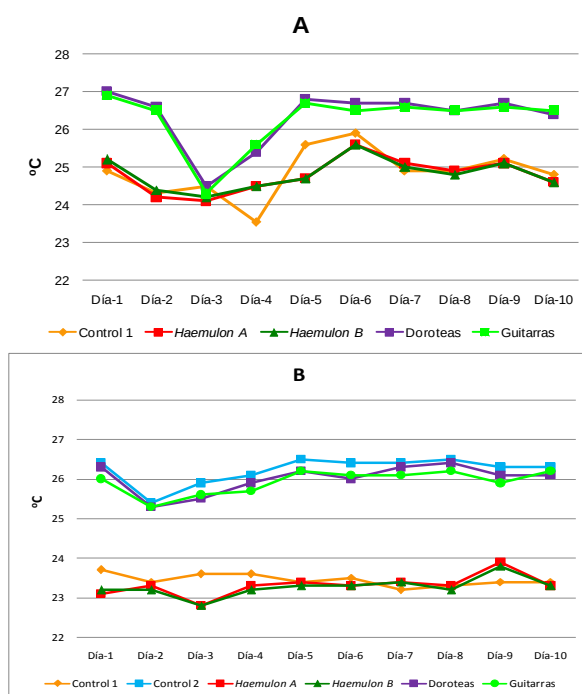


Figura 40. Comportamiento de la temperatura del agua a lo largo del tiempo por acuario, para los dos experimentos. A: primer experimento; B: segundo experimento.

6.4.3 Salinidad La salinidad para el primer experimento promedió 36,39 UPS ($\pm 0,11$), con valores que fluctuaron entre 35,10 y 37,70 UPS, Por su parte, en el segundo experimento presentó un promedio de 35,98 ($\pm 0,24$), con un valor mínimo de 33,30 UPS y un máximo de 39,70 UPS, siendo Guitarras el acuario con mayor salinidad en los dos experimentos (Figura 41). El análisis espacial para el primer experimento produjo 10 comparaciones de las cuales el 90 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 50$; valor $p < 0,05$), indicando que la salinidad en el primer experimento varió bastante entre acuarios. El análisis del segundo experimento generó 15 comparaciones, de estas el 86,66 % resultó con diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 60$; valor $p < 0,05$), expresando que, al igual que en el primer experimento, la salinidad no fue estable entre acuarios.

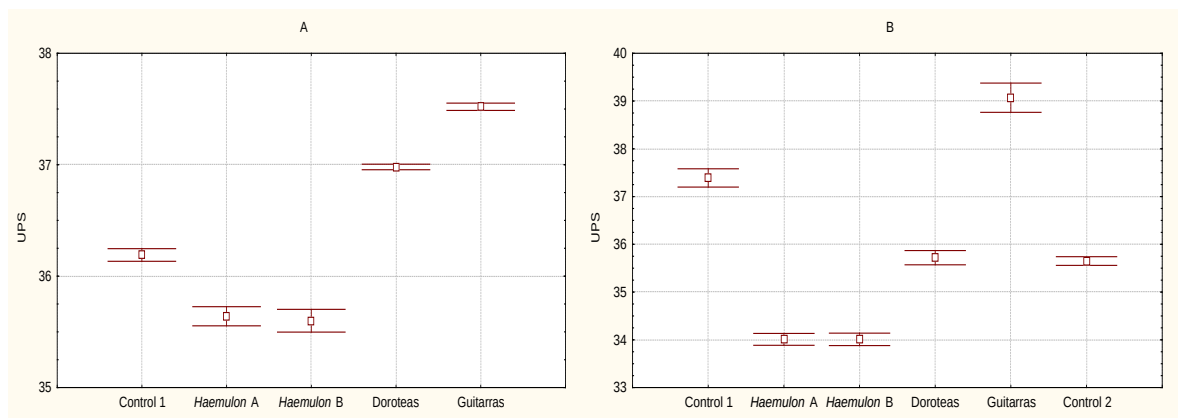


Figura 41. Salinidades promedio de los dos experimentos realizados, por acuario (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento.

La salinidad por acuario a lo largo del tiempo para el primer experimento es estable, mientras que para el segundo muestreo se observan unas bajas abruptas de salinidad, para Guitarras y Control 1 en el día 2 (Figura 42).

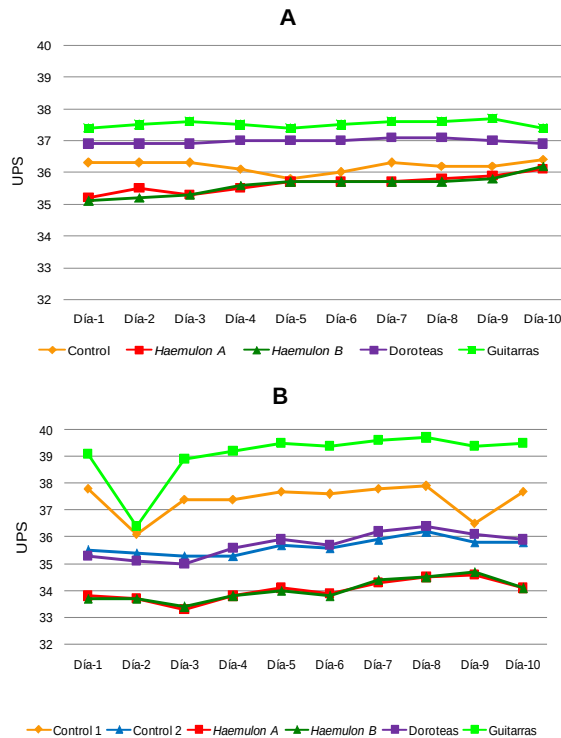


Figura 42. Comportamiento de la salinidad a lo largo del tiempo por acuario, para los dos experimentos. A: primer experimento; B: segundo experimento.

6.4.4 pH El pH en el primer experimento se comportó en promedio a 7,82 ($\pm 0,02$), con valores que variaron entre 7,56 y 8,04. En el segundo experimento, se mantuvo en promedio a 7,89 ($\pm 0,01$), con valores que se hallaban entre 7,76 y 8,03. Se observó que Guitarras presentó el menor valor de pH en ambos experimentos; mientras que Doroteas y Control 2 presentaron el mayor nivel en el primer y segundo experimento, respectivamente (Figura 43). El análisis temporal realizado para el primer experimento arrojó 10 comparaciones de las cuales el 60 % poseían diferencias significativas (Wilcoxon; $n= 50$; valor $p < 0,05$), indicando que el pH a lo largo del tiempo varió entre acuarios en el primer experimento. El mismo análisis para el segundo experimento generó 15 comparaciones, de estas, el 73,33 % presentó diferencias significativas (Wilcoxon; $n= 60$; valor $p < 0,05$), sugiriendo que el pH en el segundo experimento también presentó cambios entre acuarios.

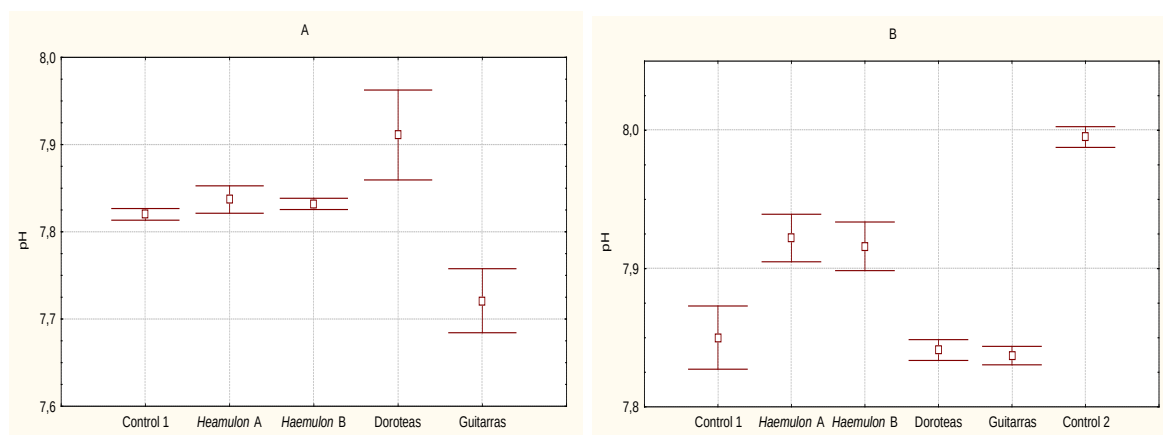


Figura 43. pH promedio para cada acuario, en los dos experimentos realizados (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento.

En el pH durante el primer experimento se evidenció un alza del día 3 al 5 en los acuarios Doroteas y Guitarras, más para los otros acuarios, no se observó esta tendencia. En el segundo experimento, se presentó un alza y baja desde el primer hasta el quinto día en Control 1 y algo similar en *Haemulon B* (Figura 44).

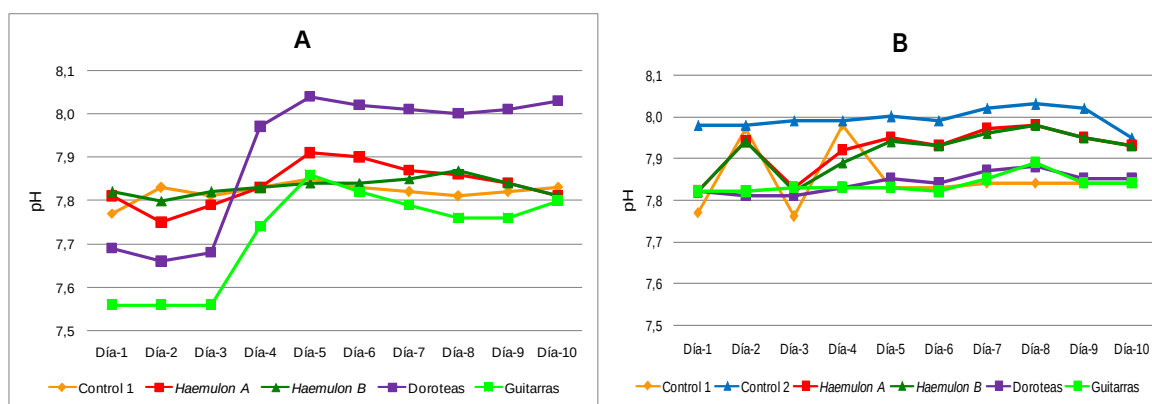


Figura 44. pH a lo largo del tiempo por acuario, para los dos experimentos. A: primer experimento; B: segundo experimento.

6.4.5 Nutrientes Los niveles de amonio para el primer experimento se determinaron en promedio a $129,95 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ ($\pm 14,62$), con valores que fluctuaron entre los 14,21 y los 436,29 $\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$. La concentración del nutriente en el segundo experimento se mantuvo en promedio a $202,50 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ ($\pm 17,29$), encontrándose valores entre los 4,63 y los 478,79 $\mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$. Se evidenció que las concentraciones de nutriente son menores en ambos experimentos para Guitarras, mientras que Control 1 presentó las mayores concentraciones de la especie química en ambos experimentos (Figura 45). El análisis espacial del nutriente para el primer experimento generó 20 comparaciones de las cuales el 50 % presentó diferencias significativas (Wilcoxon; $n=48$; valor $p < 0,05$), indicando que entre acuarios el amonio varía relativamente poco. Para el segundo experimento la prueba estadística arrojó 30 comparaciones, de éstas el 80 % poseía diferencias significativas (Wilcoxon; $n=60$; valor $p < 0,05$). Cabe resaltar que como se observó en la figura 45, los promedios entre sistemas son mayores para los dos experimentos en los acuarios control y en Doroteas, al haberse consumido las algas. Hay que tener en cuenta que en el segundo experimento la concentración del nutriente para el control 2 fue mucho menor que *Haemulon A* y *B*, sugiriendo un efecto positivo de las algas sobre el amonio.

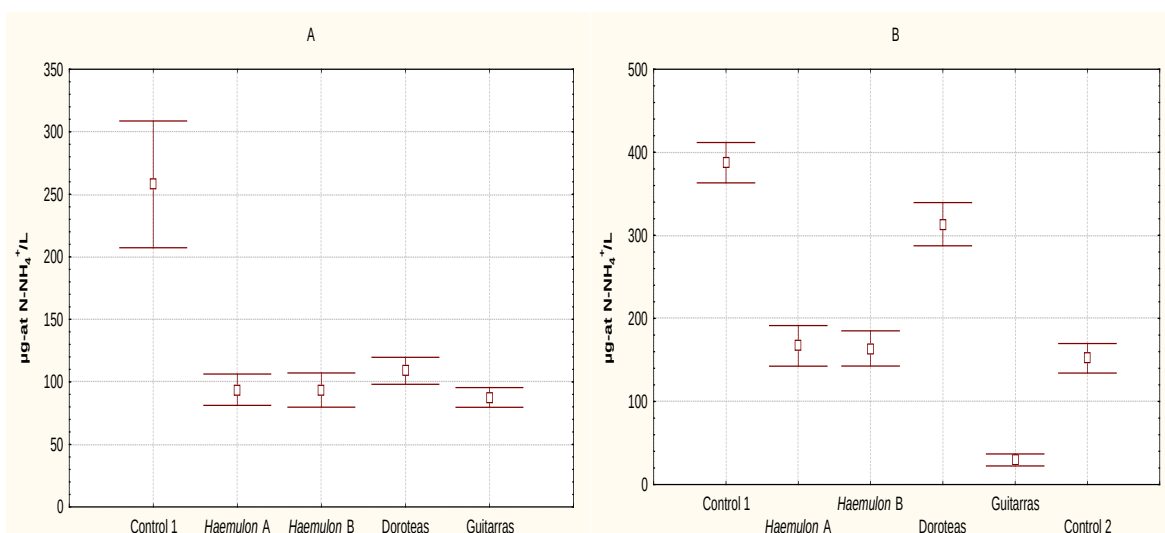


Figura 45. Amonio promedio por acuario para cada experimento realizado (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento.

Se observó que para el primer experimento la concentración de amonio para el acuario Control 1 bajó abruptamente del día 3 al 5 y comenzó a subir de nuevo; tanto para *Haemulon A* como para *Haemulon B*, las concentraciones bajaron hasta el día 5, día en que la concentración se encontró por debajo del mínimo de detección del equipo y de ahí en adelante subió pero tendiendo a estabilizarse, la reducción en la concentración del nutriente se apreció claramente en Doroteas hasta el día 7, en el que los organismos del acuario consumieron toda el alga, de ese día en adelante al parecer aumentó levemente la concentración hasta el final. Pero en Guitarras se observó una continua disminución de la concentración de amonio hasta el día 8, mientras que en los días 9 y 10 se evidenció un leve incremento en su concentración. Para el segundo experimento, se presenció un aumento continuo en la concentración del nutriente para los dos acuarios control, para Doroteas se observó un aumento conspicuo del día 1 al 2; en Doroteas, un leve descenso hasta el día 4 en el que los animales consumieron en totalidad las algas y en adelante un aumento en la concentración de amonio. Para *Haemulon A* y *Haemulon B* se evidenció una disminución continua desde el día 1 al 10 del experimento, algo parecido con Guitarras, solo que se presentó un pequeño

incremento en la concentración del nutriente hacia el día 9, que luego se redujo para el día 10 (Figura 46).

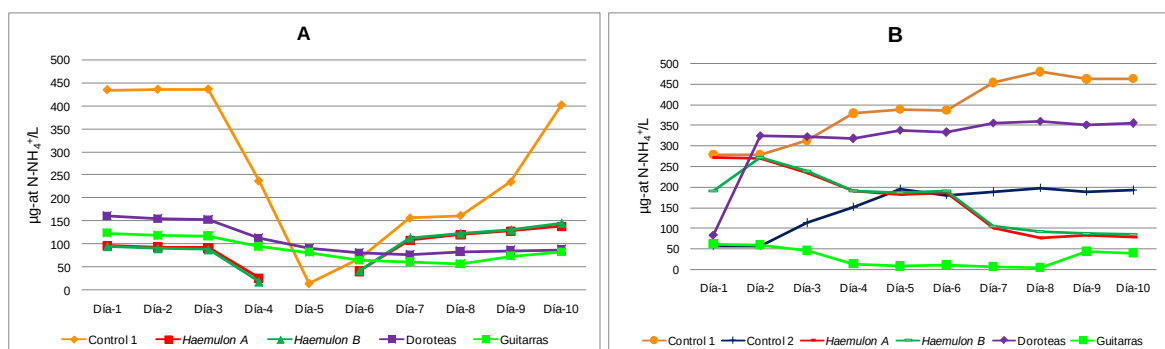


Figura 46. Concentración de amonio a lo largo del tiempo por acuario, para cada experimento realizado. A: primer experimento; B: segundo experimento.

Los nitritos por otro lado, para el primer experimento se determinaron en promedio a $23,83 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$ ($\pm 1,05$), con valores que oscilaron entre los 11,90 y $53,73 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$. El nutriente en el segundo experimento se encontró en promedio a $11,52 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$ ($\pm 0,64$), con valores que estaban entre los 6,40 y los $24,45 \mu\text{g-at N-NO}_2^-/\text{L}$. Se observó que la concentración de la especie química en general fue mayor durante el primer experimento, en éste, Doroteas presentó los menores valores, mientras Guitarras, fue el acuario que mantuvo la mayor concentración promedio. Por otro lado, *Haemulon A* y B, junto con Control 2 obtuvieron bajas concentraciones y Control 1 presentó los mayores valores en el segundo experimento. Se evidenció que Guitarras en el primer experimento obtuvo la mayor cantidad de nutriente promedio, seguido de Control 1. En el segundo experimento Control 1 mostró las mayores concentraciones. En esta especie química la acción de las algas no se evidencia tan claramente como con el amonio (Figura 47). El análisis espacial para el primer experimento arrojó 10 comparaciones, de las cuales el 50 % presentaron diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 50$; valor $p < 0,05$), indicando una pequeña variación en el nutriente por acuarios. La prueba para el segundo experimento presentó 15 comparaciones, de éstas el 93,3 % resultaron con diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 60$; valor

$p < 0,05$), lo que sugirió que las concentraciones de nitritos variaron significativamente entre acuarios.

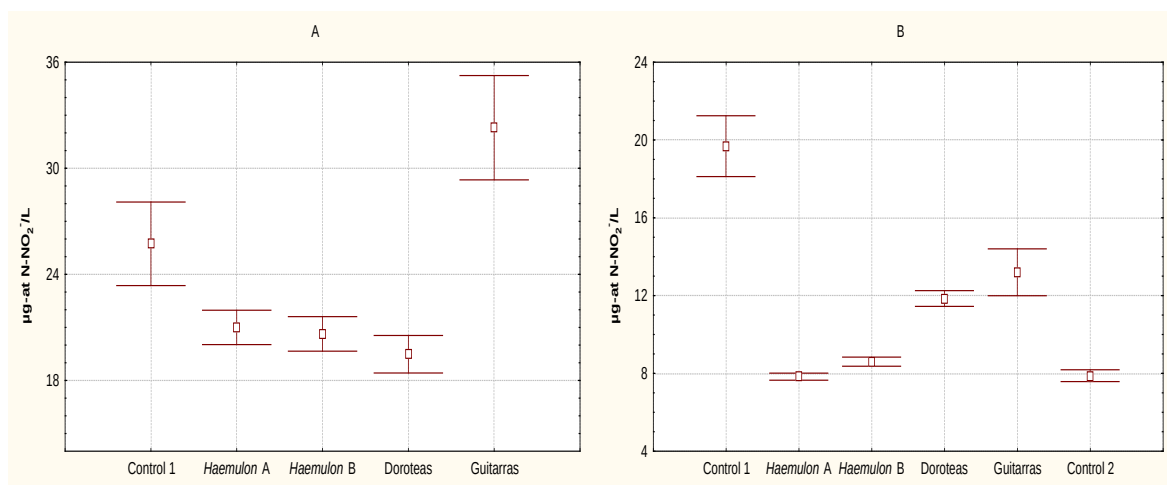


Figura 47. Nitritos promedio por acuario para cada uno de los experimentos (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento.

El primer experimento mostró que en Guitarras y Doroteas el nutriente aumentó su concentración hasta el día 8 y bajó hasta el 10, para *Haemulon A* y *Haemulon B* se observó una aparente estabilidad hasta el día 3 y luego una oscilación en la concentración del nutriente pero con tendencia al aumento; el acuario control mostró un aumento en la concentración de nitritos hasta el día 8, luego hasta el día 10 redujo su concentración. Para el segundo experimento se evidenció que en Guitarras, *Haemulon A* y *Haemulon B*, la concentración de la especie química se redujo continuamente hasta el día 8, con un ligero aumento hasta el décimo día. En Doroteas se apreció una disminución del nutriente hasta el día 4 y luego un aumento continuo hasta el 10. Los acuarios control aumentaron su concentración a lo largo del tiempo, pero Control 1 en los dos últimos días redujo un poco esta concentración (Figura 48).

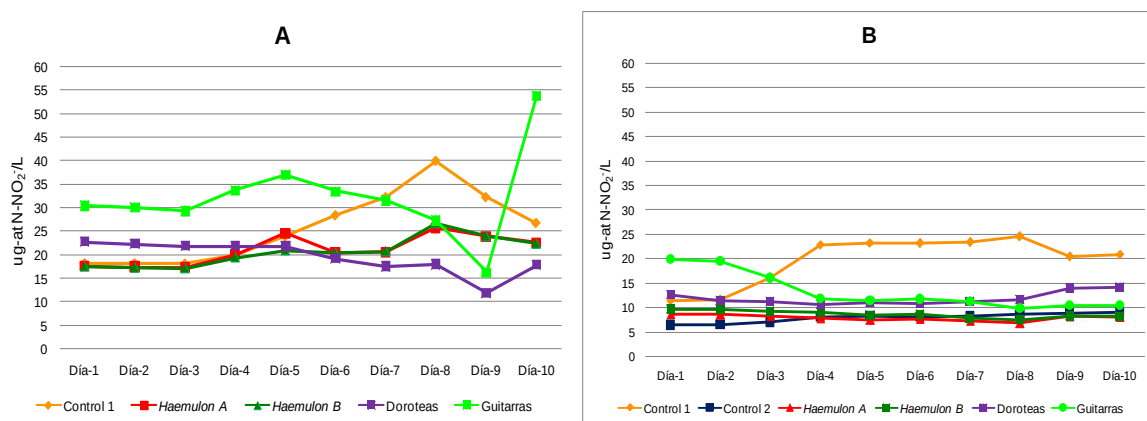


Figura 48. Concentración de nitritos a lo largo del tiempo para los dos experimentos realizados. A: primer experimento; B: segundo experimento.

Por último los ortofosfatos en el primer experimento se determinaron en $83,95 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$ ($\pm 7,54$), con valores que se hallaban entre $29,53$ y $279,28 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$. Por su parte, para el segundo experimento las concentraciones fueron en promedio $317,31 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$ ($\pm 24,45$), encontrando valores entre los $67,41$ y los $1099,82 \mu\text{g-at P-HPO}_4^-/\text{L}$. Es de resaltar que las concentraciones del nutriente fueron mayores en el primer experimento, en donde Guitarras presentó los mayores niveles, mientras que en el segundo, Doroteas obtuvo los mayores valores de ortofosfatos. Se evidenció que Guitarras presentó la mayor concentración de la especie química promedio, seguido de Control 1 en el primer experimento. Se apreció también que en el segundo experimento los acuarios Control, Doroteas y Guitarras presentaron las mayores cantidades del nutriente, pero cabe recordar que la concentración inicial fue mucho mayor en Guitarras, sugiriendo una efectiva asimilación del ortofosfatos por parte del alga (Figura 49). El análisis espacial para el primer experimento generó 10 comparaciones, de las cuales el 50 % poseían diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 49$; valor $p < 0,05$), indicando que los ortofosfatos se comportaron de diferente manera levemente entre acuarios. Para el segundo experimento el programa presentó 15 comparaciones, presentando el 84,4 % de éstas diferencias significativas (Wilcoxon; $n = 60$; valor $p < 0,05$).

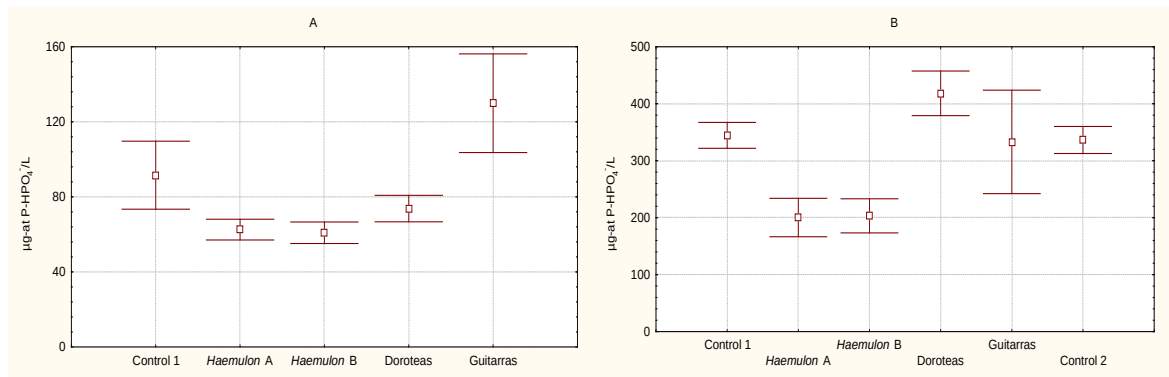


Figura 49. Ortofosfatos promedio por acuario, para ambos experimentos realizados (cuadro interno: promedio; barras verticales: error estándar). A: primer experimento; B: segundo experimento.

En general, los ortofosfatos en todos los acuarios se redujeron en el pimer experimento, siendo en Guitarras donde se presenció la reducción más conspícua. Mientras que para el segundo experimento, se observó un aumento en las concentraciones del nutriente para los dos acuarios control, en cuanto a Doroteas, se evidenció un aumento al día 2, un descenso hasta el 4, una estabilidad relativa hasta el 7, los días 9 y 10 la concentración bajó considerablemente pero se mantuvo por encima de la concentración inicial. En el resto de acuarios se observó una disminución importante de los ortofosfatos con relación a la concentración inicial (Figura 50).

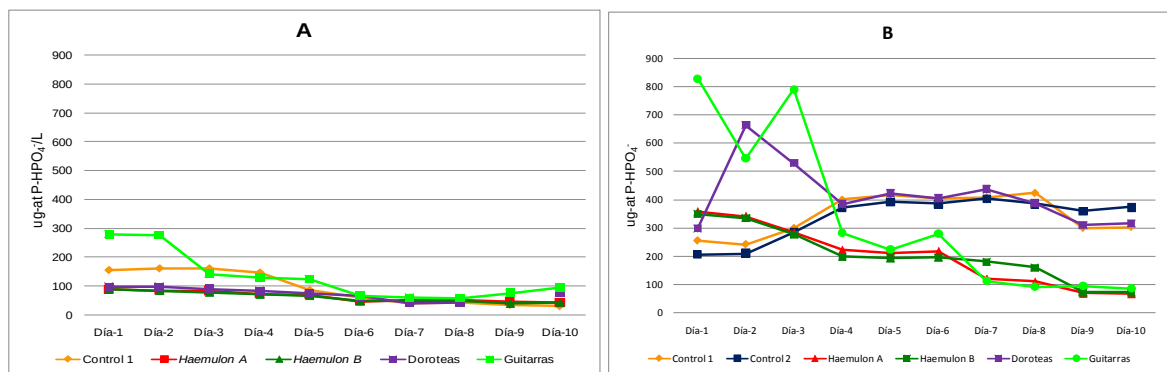


Figura 50. Ortofosfatos a lo largo del tiempo por acuario, en ambos experimentos realizados. A: primer experimento; B: segundo experimento.

En cuanto a las relaciones que presentaron las algas con respecto al aumento o disminución de las concentraciones de nutrientes, éstas no se evidenciaron en el primer experimento, ya que en el acuario control se presentó disminución en la concentración de algunos nutrientes, y en acuarios con algas hubo en algunos casos aumento en la concentración de los mismos. Guitarras fue el sistema donde mejor se apreció el efecto de las algas, ya que tanto el amonio como los ortofosfatos disminuyeron sus concentraciones con respecto al aumento en peso del alga; por su parte, los nitritos aumentaron sus concentraciones (Tabla 14).

Tabla 14. Relación entre el cambio en la concentración de los nutrientes y la cantidad y la densidad del alga, así como también la relación entre la variación en la concentración del nutriente y el cambio en la biomasa algal en el primer experimento. Δ : Variación en el tiempo; los valores positivos representan ganancia y los negativos pérdida.

Acuario	$\Delta[\text{Nutriente}] (\mu\text{g-at/L})$			$\Delta[\text{Nutriente}] (\mu\text{g-at/L}) / \text{alga inicial (g)}$			$\Delta[\text{Nutriente}] (\mu\text{g-at/L}) / \text{Densidad alga inicial (g/m}^3\text{)}$			$\Delta[\text{Nutriente}] (\mu\text{g-at/L}) / \Delta \text{ peso alga (g)}$		
	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos
Morenas (Control)	-33,33	8,52	-126,2	Control			Control			Control		
Haemulon A	41,67	5,06	-46,22	0,69	0,08	-0,76	2,56	0,31	-2,84	-1,52	-0,18	1,69
Haemulon B	50	4,85	-45,96	0,85	0,08	-0,78	3,18	0,31	-2,92	-2,58	-0,25	2,38
Doroteas	-72,5	-4,93	-22,41	-1,613	-0,11	-0,5	-3,02	-0,21	-0,93	1,61	0,11	0,5
Guitarras	-40,83	23,32	-186,5	-65	0,37	-2,97	-2,34	1,33	-10,67	-16,14	9,22	-73,72

Sin embargo, en el segundo experimento se pudieron observar un poco más claramente éstas relaciones. En primer lugar se apreció un incremento en las concentraciones de nutrientes en los acuarios control, al igual que en Doroteas, y la disminución en la cantidad de nutrientes presente en los demás acuarios. Es de resaltar que en Guitarras todos los nutrientes bajaron sus cantidades, y se observa una importante relación de esta reducción con la cantidad de biomasa ganada por el alga, especialmente en ortofosfatos (Tabla 15).

Tabla 15. Relación entre el cambio en la concentración de los nutrientes y la cantidad y la densidad del alga, así como también la relación entre la variación en la concentración del nutriente y el cambio en la biomasa algal en el el segundo experimento. Δ : Variación en el tiempo; los valores positivos representan ganancia y los negativos pérdida.

Acuario	Δ [Nutriente] ($\mu\text{g-at/L}$)			Δ [Nutriente]($\mu\text{g-at/L}$)/alga inicial (g)			Δ [Nutriente]($\mu\text{g-at/L}$)/Densidad algal inicial (g/m^3)			Δ [Nutriente]($\mu\text{g-at/L}$)/ Δ peso algal (g)		
	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos	Amonio	Nitritos	Ortofosfatos
Morenas (Control 1)	183,75	9,37	48,72	Control			Control			Control		
Cabeza azul (Control 2)	135,42	2,64	166,43	Control			Control			Control		
Haemulon A	-191,25	-0,53	-290,91	-1,93	-0,01	-2,93	-3,61	-0,01	-5,49	1912,5	5,3	2909,07
Haemulon B	-105	-1,47	-276,38	-1,03	-0,01	-2,71	-1,93	-0,03	-5,07	166,67	2,33	438,69
Doroteas	270,42	1,57	17,95	2,57	0,02	0,17	4,81	0,03	0,32	-2,57	-0,02	-0,2
Guitarras	-22,08	-9,55	-741,87	-0,11	-0,05	-3,75	-0,42	-18	-14,04	-736,11	-318,3	-24728,87

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1 COMPONENTE FÍSICO

Tanto para los sistemas internos como para los externos, la temperatura se comportó de acuerdo a los rangos óptimos propuestos por diferentes autores para acuarios marinos tropicales (Moe, 1992; Giraldo & Jáureguí, 1995; **En:** Ortiz, 2004; Ortiz, 2004), que por lo general oscila entre los 23,90 y los 30°C. Por lo tanto se puede decir que la temperatura en los acuarios de Mundo Marino puede mantener exitosamente a los organismos que aloja y permite los diferentes procesos físicos y químicos, importantes para que los animales desarrollen sus ciclos de vida (incluyendo reproducción) naturalmente (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992; Adey & Loveland, 1998).

El análisis espacial para los sistemas internos dejó en claro que se producen diferencias significativas en el comportamiento de la temperatura entre acuarios, aún así cada acuario en promedio presenta una temperatura que se adecúa al rango óptimo, antes mencionado. Estas diferencias se deben principalmente a la ubicación de los sistemas, ya que los acuarios que promediaron temperaturas más bajas (Morenas, Mesolitoral, *Haemulon* A, *Haemulon* B, Coral A, Coral B, Langostas, *Cromis* y Carajuelos), se encuentran ubicados bajo el ducto del aire acondicionado del recinto. Mientras que los acuarios que presentaron un promedio de temperatura medio (Mojarras, Doroteas, Rémoras, Caballitos, Guitarras, Anémonas, Colombianitos, Cabeza azul, Raya redonda, Lirios, Obispos, Cangrejo reina), se encuentran dentro de otro recinto en donde el aire acondicionado no influye de igual manera que en los acuarios anteriores. La pileta de contacto presentó una temperatura menor que los sistemas anteriores, parecida a la de los primeros acuarios, ya que esté se encuentra dentro del pasillo para visitantes y este espacio se ve afectado térmicamente por el aire acondicionado. Por último, los acuarios que presentaron promedios de temperatura más altas (Sargentos,

Pulpo y Ballestas), están ubicados lejos de la influencia del aire acondicionado y se encuentran en un recinto en donde hay ventanas y llega la luz del Sol, por lo tanto hay mayor intercambio de energía y por consiguiente una mayor temperatura en éstos acuarios (Corredor *et al.*, 2000; Montoya, 2003; Londoño, 2009; Figura 51).

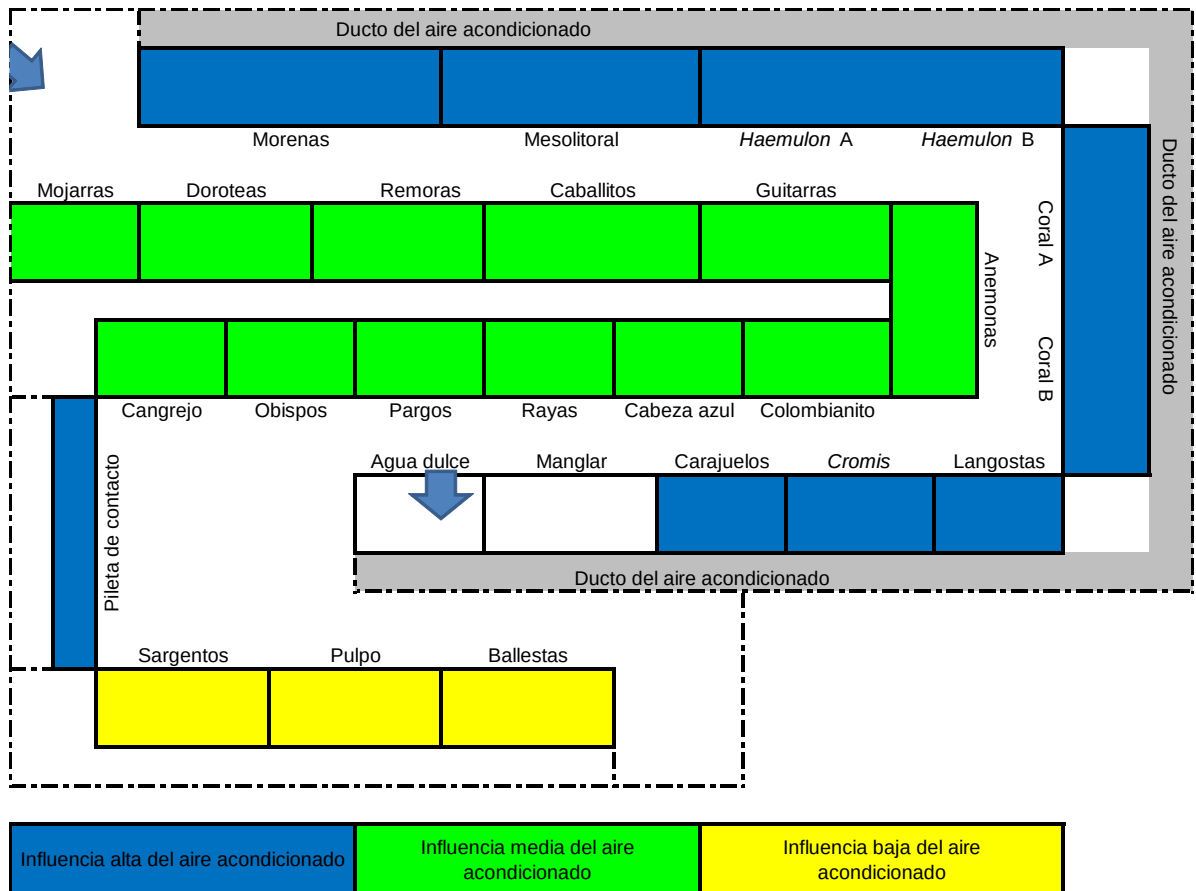


Figura 51. Distribución de la temperatura en los acuarios internos de Mundo Marino, indicando la ubicación del sistema de aire acondicionado (tomado y modificado de Londoño, 2009).

Así como en los acuarios internos, en los externos también se presentó una zonación térmica, dependiente del volumen de agua que maneja cada acuario, ya que al ser el calor específico del agua el mismo, se necesita una cantidad mayor de calor para calentar un volumen mayor de agua (Neumann & Pierson, 1966; Chávez, 1975).

El análisis temporal arrojó diferencias significativas en la variable a lo largo del tiempo para los sistemas internos, pero biológicamente éstas no afectan a los organismos, a menos que sean cambios bastante abruptos en muy poco tiempo (Spotte, 1973; Moe, 1992), lo que no es el caso en Mundo Marino. De igual manera, el promedio de la temperatura a lo largo del tiempo siempre se comportó de acuerdo a lo rangos óptimos de temperatura.

Para los acuarios externos no se presentaron diferencias significativas, probablemente debido a que la época climática en que se muestreó fue bastante estable, observandose un promedio de temperatura ambiente de 28,9 °C, una humedad relativa de 78,9 % y una precipitación que en el Caribe colombiano estuvo entre los 0 y los 38 mm (CIOH, 2009a, 2009b, 2009c, 2009d; Tabla 16). Al estar los sistemas al aire libre, se ven influenciados de manera directa por éste.

Tabla 16. Promedios mensuales de algunas variables climatológicas entre los meses de abril a agosto de 2009 para el Caribe Colombiano (Datos tomados de CIOH, 2009a, 2009b, 2009c, 2009d).

Mes	Temperatura ambiente (°C)	Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)
Abril	28,5	0 - 4,5	78,0
Mayo	28,9	0 - 15,3	75,9
Junio	28,9	0 - 10,8	78,4
Julio	29,2	0- 99,9	81,9
Agosto	29,0	0- 62,8	80,5
Promedio	28,9	0 - 38,6	78,9

Con respecto a la salinidad, el promedio de los sistemas internos, se encuentra por encima del rango óptimo sugerido por Moe (1992) de 28- 35, sin embargo, se encuentra dentro de los valores sugeridos por otros autores (Giraldo & Jáureguí, 1995; **En:** Ortiz, 2004; Ortiz, 2004) cuyo valor máximo es 37. Por lo tanto, se puede sugerir que la salinidad en los acuarios internos se encuentra dentro de los rangos óptimos, pero llegando a niveles cercanos al techo máximo recomendado.

Pero contrario a los sistemas internos, la salinidad en los acuarios externos presentó un promedio mayor a lo recomendado por los diferentes autores, siendo la causa más probable el hecho que estos sistemas se encuentren al aire libre, ya que al haber un intercambio de energía directa con la atmósfera, la evaporación es mayor, aumentando la salinidad (Lalli & Parsons, 1997; Cognetti *et al.*, 2001). Sin embargo, este aumento ha sido paulatino y sus valores se han mantenido relativamente estables a lo largo del tiempo (Figura 36), siendo lo anterior muy importante para evitar el stress y por consiguiente enfermedades y/o muerte de los organismos que los componen (Spotte, 1973; Moe, 1992).

El análisis espacial concluyó que en los sistemas internos existen leves diferencias entre acuarios, lo cual se puede explicar gracias a que no se hace un recambio de agua ó se le agrega agua dulce para bajar la salinidad a todos los acuarios al mismo tiempo, es decir, se hacen mediciones periódicas de salinidad, y si ésta se encuentra alta o el nivel ha bajado considerablemente debido a evaporación se le agrega más líquido, o se llena con agua dulce para reducir la salinidad y regresarla a valores normales (Fundación Museo del Mar, 1999). Es por esta causa que no todos los acuarios presentan la misma salinidad promedio.

El análisis temporal sugiere también diferencias a lo largo del tiempo tanto en los sistemas internos como externos, lo cual es lógico ya que la salinidad dentro de un acuario tiende a aumentar debido a la evaporación y baja cuando se le agrega agua dulce (Adey & Loveland, 1998), sustentándose así los ascensos y descensos en la salinidad a lo largo del tiempo.

El porcentaje de saturación de O₂, por el contrario, se encontró por debajo de lo que se pretende en el acuario (80 %). Esta variable depende por completo de la temperatura, la salinidad, la demanda biológica, la iluminación y la aireación (Moe, 1992), pero al ser la temperatura y la salinidad óptimas, es muy probable que la

alta concentración de nutrientes que se presentó sea la causante de la baja en la saturación de O_2 , ya que las bacterias que oxidan estos nutrientes, necesitan del gas tanto para realizar esta transformación química como para obtener energía (Spotte, 1973; Coll, 1986; Moe, 1992). Sin embargo, el descenso de esta variable puede ser resultado de la poca presencia fitoplanctónica en los acuarios, los cuales por medio de sus procesos fotosintéticos aumentan la concentración del gas en el medio (Lalli & Parsons, 1997; Cognetti *et al.*, 2001). Por último, la aireación presente en los acuarios crea una turbulencia, la cual maximiza la superficie de agua en contacto con el aire y así optimiza el intercambio gaseoso (Spotte, 1973; Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992; Fundación Museo del Mar, 1999), lo cual ha sido la estrategia instaurada para obtener y mantener alta la concentración de oxígeno en los acuarios, y así suplir la demanda tanto de la macrofauna presente en los acuarios, como los requerimientos de la comunidad microbiológica encargada de la oxidación de los compuestos orgánicos. Así mismo, el poseer una circulación óptima y constante de agua, asegura que la totalidad del agua presente en el acuario este en contacto con el aire atmosférico y se cargue de oxígeno homogéneamente (Moe, 1992). Entre acuarios no se presentaron diferencias significativas en Mundo Marino, lo cual es producido por el sistema de aireación, que es similar en todos los acuarios, el cual busca, como se mencionó anteriormente crear una turbulencia que maximice el intercambio gaseoso, al hacer interactuar toda la masa de agua con el aire (Fundación Museo del Mar, 1999). En general se puede afirmar que, aunque el porcentaje de saturación de O_2 sea un poco bajo, puede mantener sin problemas tanto a los organismos exhibidos, como a los microorganismos presentes en los filtros.

El análisis temporal para todos los sistemas mostró diferencias significativas entre muestreos, siendo el muestreo 9 mucho más bajo que los demás. A lo largo del monitoreo, no se pudo determinar el porcentaje de saturación en tres ocasiones, ya que el equipo se encontraba dañado y a la espera de un repuesto. Se cree que

el noveno muestreo presentado (una semana después de repararse el equipo), contiene datos poco confiables debido a la posibilidad de que el equipo se encontrara descalibrado al momento de tomar las mediciones.

El pH promedio presentado por los acuarios internos se comportó según lo sugerido por Spotte (1973), Moe (1992) y Giraldo & Jáuregui (1995; **En:** Ortiz, 2004), cuyos rangos oscilan entre 7,6 y 8,4. Pero el pH obtenido en el actual monitoreo, es un poco bajo para lo recomendado por otros autores (Tullock, 1997; Fenner, 1998; Ortiz, 2004), cuyos valores más bajos son entre 8 y 8,1. Se puede decir que el pH de los acuarios se encuentra entre los rangos óptimos, tendiendo a estar un poco bajo; cabe resaltar que los filtros están compuestos en su mayoría por material calcáreo como caracolejo (Fundación Museo del Mar, 1999), lo cual controla el pH, ya que al estar compuesto por carbonato de calcio (CaCO_3), mantiene equilibrada la ecuación que determina la acidez o basicidad del agua (Spotte, 1973).

Los análisis espaciales de todos los sistemas y el análisis temporal de los acuarios internos indicaron que en cuanto a la variable, se presentan diferencias significativas, pero estas diferencias matemáticas no representan ningún peligro para los organismos ya que el pH en todos los acuarios se encuentra ubicado en los rangos óptimos propuestos anteriormente, ya que como en otras variables, estos cambios no son bruscos, y suceden a una escala que no afecta a los organismos ya que si bien los valores cambian siguen encontrándose entre los rangos óptimos sugeridos por Spotte (1973), Moe (1992) y Giraldo & Jáuregui (1995; **En:** Ortiz, 2004), cuyo valor como se mencionó anteriormente varía entre 7,6 y 8,4.

7.2 NUTRIENTES

Los nutrientes como lo indican los resultados presentaron la fluctuación más alta entre las variables estudiadas. En primer lugar el amonio para todos los sistemas de Mundo Marino se presentó en un promedio mucho más alto que lo recomendado para sistemas cerrados, cuyo valor mínimo puede ser de $2,77 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ (Ortiz, 2004) ó $5,55 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ (Moe, 1992), hasta $27,77 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ (Ortiz, 2004) ó $55,55 \mu\text{g-at N-NH}_4^+/\text{L}$ (Moe, 1992). La alta concentración del nutriente puede deberse a la carga biológica que sostiene cada acuario, ya que los acuarios que presentaron una mayor concentración de amonio fueron aquellos con una densidad mayor de animales o que exhibían individuos relativamente grandes, mientras que acuarios que exhiben pocos animales o de tamaño pequeño, presentaron concentraciones de amonio mucho más bajas. Lo anterior se produce debido a que un mayor número de individuos u organismos de mayor tamaño, en este caso peces, producen una mayor cantidad de amoniaco, el cual es liberado directamente al medio por medio de las branquias (*i.e.* amoniotélicos; Evans, 1997). Gran cantidad de amoniaco que entra al sistema es rápidamente transformado en amonio cuando entra en contacto con el agua. Este amonio es oxidado a nitrito y posteriormente a nitrato por acción de las bacterias, lo cual se lleva a cabo en acuarios marinos en aproximadamente 30 días (Moe, 1992; Figura 52).

La oxidación de amonio en nitritos tarda alrededor de 10 días en adelantarse completamente, periodo en el que continuamente se genera más amonio por parte de los organismos aumentando las concentraciones del nutriente. Pero así como se elimina el exceso de nitratos por recambios de agua, las concentraciones de todos los compuestos nitrogenados así como los ortofosfatos son eliminados gracias a estos, ya que se retira agua con altas concentraciones de nutrientes y se reemplaza con agua previamente filtrada y tratada, que se encuentra

relativamente libre de estas especies químicas (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992; Adey & Loveland, 1998), explicando las diferencias significativas encontradas en el análisis temporal realizado a todos los acuarios. Dichos recambios son efectuados por el personal del acuario aproximadamente cada 15 días (Polania P. com. per., 6 de Octubre de 2009).

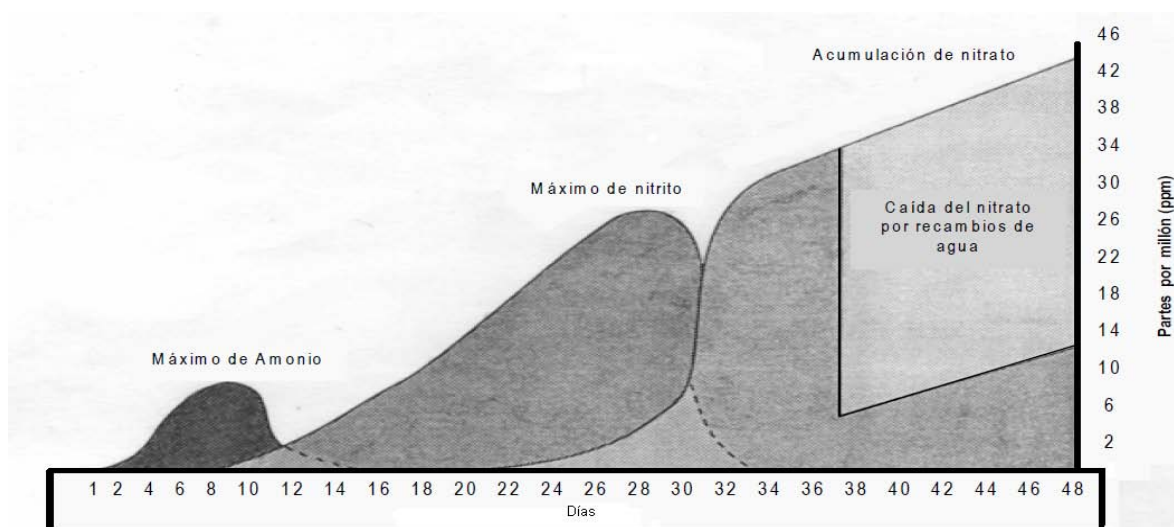


Figura 52. Patrón que sigue el nitrógeno en un acuario marino típico (tomado y modificado de Moe, 1992).

Otra hipótesis que se plantea es que la alta concentración de esta especie química se deba también a la poca abundancia de fitoplancton (ver numeral 7.3), ya que estos organismos se encargan de asimilar principalmente amonio como base para la síntesis de proteínas resultado de sus procesos fotosintéticos (Balech, 1977; Álvarez, 1981).

Cabe resaltar también el caso de la pileta de contacto, ya que presentó uno de los valores más altos tanto en amonio como en nitritos. Cabe la posibilidad que cuando los visitantes introducen sus manos al sistema, también pueden aportar amoníaco del medio que se encontraba adherido a su piel, o por sudoración, ya que cuando se realizaban las determinaciones de estos nutrientes, era necesario tener mucha precaución con las muestras ya que estas se podían contaminar fácilmente por alguna sustancia que contenía amoníaco, o por el presente en la

atmósfera (INVEMAR, 2003), así que cabe preguntarse si la periodicidad con que los funcionarios del acuario entran en contacto directo con el agua, ya sea para alimentación o mantenimiento, tiene o no que ver significativamente con las altas concentraciones de los nutrientes en los acuarios.

Los nitritos por otra parte, se determinaron en promedio dentro de los rangos establecidos por Moe (1992), pero por encima de lo sugerido por Giraldo & Jáuregui (1995; **En:** Ortiz, 2004), Fenner (1998) y Ortiz (2004). Sus concentraciones no son tan altas debido a que la saturación de oxígeno disuelto no es suficiente como para poder soportar la oxidación de la cantidad de esta especie química presente en los acuarios, o bien que la comunidad bacteriana presente en los filtros de los sistemas no es lo suficientemente grande como para poder reducir eficazmente el amonio a nitrito; pero según lo reportado por Londoño (en curso), los filtros del acuario están maduros y son eficientes a la hora de oxidar los compuestos nitrogenados. Según Franco (2005) el compuesto nitrito es altamente inestable, por lo que es rápidamente oxidado a nitrato; puesto a que no se posee información acerca de la concentración de nitrato en los sistemas que componen el Acuario Mundo Marino, no se puede establecer si las valores de nitrito son menores a las de amonio debido al poco oxígeno o porque este compuesto es rápidamente oxidado a nitrato reduciendo sus cantidades, por lo tanto es necesario realizar un seguimiento a las concentraciones de nitrato para corroborar una de las dos hipótesis.

Por último, los ortofosfatos se determinaron por encima de lo sugerido por autores como Moe (1992) y Ortiz (2004). Así mismo históricamente los valores reportados del nutriente han sido también altos (Corredor *et al.*, 2000; Montoya, 2003; Londoño, 2009). Lo anterior debido principalmente a las características acumulativas del nutriente en el sedimento, puesto que para este compuesto no existen un grupo de bacterias que lo oxiden, ni lo regresen a la atmósfera en forma

de gas como en los compuestos nitrogenados (Álvarez, 1981). Al no presentarse esta fase en el ciclo natural del fósforo y ya que el principio de un sistema cerrado como el acuario, se basa en la recirculación del agua, no hay ningún lugar en el cual se puedan depositar las concentraciones de fósforo reactivo. Es importante buscar otros medios que puedan disminuir estas concentraciones, debido a que los tratamientos químicos implementados anteriormente por Corredor *et al.* (2000), no lograron disminuir la concentración de ortofosfatos y un recambio total de agua es muy dispendioso y puede llegar a ser estresante para los individuos en cautiverio. Aunque no se consideran tóxicos, sus valores se han encontrado a lo largo del tiempo por encima de lo propuesto por la literatura.

7.3 PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS

Los pigmentos fotosintéticos reflejaron una biomasa muy baja de microorganismos autotróficos en todos los sistemas de Mundo Marino, los cuales son, en caso de incrementarse sus poblaciones, indeseadas tanto por las personas encargadas del acuario como por los observadores, ya que en grandes números reducen la visibilidad del agua y se adhieren a las paredes del sistema restándole belleza al mismo (Hunnam *et al.*, 1991).

De acuerdo con lo propuesto por Adey & Loveland (1998) y Rojas & Roper (2002), los principales grupos fitoplanctónicos presentes en el acuario, son las cianófitas, las diatomeas y los dinoflagelados, justificando así las concentraciones de clorofila *c* y carotenoideos, puesto que los últimos dos grupos poseen estos pigmentos, siendo además de gran importancia ya que participan en el proceso de transferencia de energía y protegen el centro de reacción contra la autooxidación (Margalef, 1991). Sin embargo, ninguno de los grupos principales de fitoplancton presentes en el acuario poseen clorofila *b* (Dawes, 1991), siendo necesaria una

caracterización del plancton, para determinar que taxa está haciendo esta contribución.

Estas bajas concentraciones de pigmentos fotosintéticos no se deben a falta de nutrientes, que puede llegar a ser un factor crítico en el aumento poblacional de estos organismos (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992; Adey & Loveland, 1998). Ya que como se mencionó anteriormente los nutrientes en el acuario se encuentran por encima de lo sugerido por la literatura, es posible que la baja en la biomasa de fitoplancton en los sistemas se deba a que la iluminación de los acuarios no abastece de luz suficiente a los microorganismos como para que estos puedan realizar sus procesos fotosintéticos (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992). Pero lo anterior es poco probable ya que en Mundo Marino se utilizan lámparas actínicas de referencia MarineGLO[®] (utilizadas en Coral y en *Cromis*) y lámparas de referencia PowerGLO[®] (utilizadas en el resto de acuarios) de la marca Hagen[®], generando la primera referencia una intensidad lumínica de 90 lux y la segunda 180 lux, las cuales según el fabricante son ideales para el crecimiento de todo tipo de plantas (Hagen[®], sin año), refutando así lo propuesto por Montoya (2003), quien establece que la intensidad lumínica por parte de las lámparas que iluminan los acuarios, junto con una mayor disponibilidad de CO₂ (proveniente de procesos oxidativos y respiración), inhiben el proceso fotosintético al desnaturalizar la clorofila. Cabe resaltar que en el acuario Mundo Marino se han usado este tipo de lámparas desde que abrió sus puertas en 1999. De igual manera en los sistemas externos al estar al aire libre, utilizan la luz natural como fuente de iluminación, aunque se usa un conjunto de polisombras que reducen la intensidad lumínica alrededor del 90 %, evitando así afloramientos fitoplanctónicos, aumento en la temperatura y evaporación de los acuarios externos. Lo que sugiere que la filtración llevada a cabo por los filtros de Mundo Marino es eficiente al capturar mecánicamente microorganismos fitoplanctónicos usando para tal fin guata (fibra

utilizada generalmente como material de relleno) principalmente (Fundación Museo del Mar, 1999).

Los resultados menores de ambos índices de actividad fotosintética (Chl a/ Feopigmento a y Chl a/ Carotenoides) en los sistemas internos, indican según Margalef (1991), que la comunidad es senescente o vieja, ya que la Chl a se metaboliza más rápido y por lo tanto su degradación se produce a una mayor velocidad que los demás pigmentos, aumentando gradualmente cuando no se dan las condiciones necesarias para la producción de Chl a, las concentraciones de feopigmento a y de los otros pigmentos presentes en el organismo.

Por el contrario, en los acuarios externos el IAF (Chl a/ Feopigmento a) solo fue menor a 1 en el muestreo 8, sugiriendo que en estos sistemas la comunidad fitoplanctónica presente se encuentra fisiológicamente bien (Margalef, 1991). Pero cabe mencionar también que los bajos IAF (Chl a/ Carotenoides), pueden ser resultado de la composición de la comunidad autotrófica, que como se ha mencionado anteriormente en su mayoría se compone de cianófitas, diatomeas y dinoflagelados, en donde los carotenoides son de suma importancia como se mencionó anteriormente y de gran concentración (Adey & Loveland, 1998; Rojas & Roper, 2002).

7.4 COMPARACIÓN DE MONITOREOS

El análisis estadístico de los datos reveló diferencias significativas en todas las variables entre el actual monitoreo y el realizado por Londoño (2009), lo mismo pasa con el monitoreo realizado por Corredor *et al.* (2000), excepto para temperatura del agua y salinidad. Lo anterior posiblemente debido a la alta variabilidad intrínseca que presentaron cada uno de los monitoreos, que pudieron matemáticamente generar tales diferencias. Pero si se observan históricamente

los promedios tanto de temperatura del agua, salinidad y pH, se aprecia que son muy parecidos y se encuentran todos en los rangos óptimos propuestos por los diferentes autores (Moe, 1992; Ortiz, 2004), lo que sugiere que aunque las variables cambien un poco con el tiempo, éstas se han mantenido dentro de los rangos óptimos y así mantienen a los animales exhibidos en buenas condiciones. Cabe recordar que estos análisis se realizaron con todo el conjunto de datos, por lo que la alta salinidad de los sistemas externos, que se mencionaron anteriormente, puede estar enmascarada por los datos restantes de los sistemas internos que tienden a ser más bajos y homogéneos.

En cuanto al porcentaje de saturación de O₂ se observa que los valores registrados por Corredor *et al.* (2000), son mucho mayores a los registrados en los demás monitoreos, debido, posiblemente a que se cometieron fallas durante el desarrollo del método Winkler, ya que Parsons *et al.* (1984), afirman que aunque pueden darse fenómenos de sobresaturación, estos son raros y muy pocas veces superan el 120 % de saturación y cabe recordar que el promedio de Corredor *et al.* (2000) para la variable en mención fue de 282,86% y estos porcentajes mayores a 120% según (Evans, 1997), son muy peligrosos para los organismos ya que se pueden formar burbujas de aire en los ojos o en el sistema circulatorio, impidiendo el flujo de sangre, matando al individuo. Cabe recordar que el procedimiento seguido por Corredor *et al.* (2000) fue diferente al utilizado por Londoño (2009) y el presente trabajo, debido a que en estos últimos se utilizaron sondas digitales y no el método volumétrico mencionado.

Los altos valores de amonio encontrados en el presente estudio comparado con los anteriores, pueden deberse posiblemente y como se mencionó anteriormente, a un aumento en la producción de amonio por parte de los organismos (introducción de nuevos organismos, nacimientos o crecimiento). En la tabla 17, se evidencia un aumento notable en la cantidad de organismos exhibidos (sin

mentonar el crecimiento natural de los juveniles), los cuales al producir una mayor cantidad de amonio, aumentan también la concentración del nutriente en el agua (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992; Adey & Loveland, 1998), sumado a la baja densidad de organismos fitoplanctónicos los cuales asimilan el amonio principalmente para la síntesis de proteínas (Balech, 1977; Álvarez, 1981).

Tabla 17. Número total de organismos exhibidos a lo largo del periodo de muestreo, tanto en los sistemas internos como en los externos (Datos facilitados por Polanía P. com. per., 24 de Septiembre de 2009).

Mes	Total individuos sistemas internos	Total individuos sistemas externos
Abril	392	313
Mayo	451	314
Junio	420	314
Julio	435	314
Agosto	462	314

Así como con el amonio, los ortofosfatos también presentaron una concentración mayor a los otros monitoreos, debido a como se mencionó anteriormente, las características acumulativas del nutriente en el sedimento, sumado a la falta de organismos autótrofos encargados de absorber del sedimento directamente el nutriente (e.g. algas; Álvarez, 1981).

En cuanto a la clorofila a, durante el monitoreo realizado por Corredor *et al.* (2000) se observó una mayor concentración comparado a los otros dos monitoreos, debido posiblemente a que ese estudio se realizó cuando el Acuario Mundo Marino no cumplía todavía el año de ser fundado, razón por la cual el filtro no estaba maduro y la filtración no era todavía eficiente como lo es actualmente, ya que la maduración del filtro puede tardar de 2 a 4 meses (acuarios pequeños) hasta 1-2 años (acuarios grandes; Hunnam *et al.*, 1991), como fue el caso de Mundo Marino.

Tanto la clorofila **b** como la **c** son similares en promedio con las registradas por Londoño (en curso), indicando que no se han presentado grandes cambios en la composición taxonómica del fitoplancton presente en el Acuario Mundo Marino, ya que estos pigmentos no se encuentran en todos los grupos, y su aumento o disminución sugeriría que las poblaciones de cierto tipo de microalgas han cambiado (Schnetter, 1978; Littler & Littler, 2000).

El aumento evidenciado en las concentraciones tanto en carotenoides como de feopigmento **a**, observado en el actual estudio comparado con el realizado por Londoño (2009), significa según Margalef (1991), que la comunidad fitoplanctónica del Acuario Mundo Marino ha pasado de estar fisiológicamente saludable a estar en senescencia, evidenciando un envejecimiento de la comunidad. Esto es posible debido a que la continúa filtración, no permite la renovación natural de la comunidad, llevándola gradualmente a este estado de senescencia. Lo anterior aplica únicamente para los sistemas internos, ya que como se mencionó anteriormente, los IAF para los sistemas externos, son mayores a 1, lo que significa que las comunidades fitoplanctónicas de estos acuarios se encuentran fisiológicamente bien (Margalef, 1991).

7.5 EXPERIMENTOS CON ALGAS

Tanto en el primer como en el segundo experimento se observa que las únicas algas que aumentaron de peso fueron las que se encontraban en el acuario Guitarras. Lo anterior se debe a que en *Haemulon* A y B, se presentó un blanqueamiento algal en ambos experimentos, debido principalmente a una iluminación deficiente (Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992). Como se mencionó anteriormente, en este acuario se usan lámparas actínicas MarineGLO[®] que generan una intensidad lumínica de 90 lux, es probable que *Caulerpa*

sertularioides al encontrarse usualmente en la zona intermareal y máximo a una profundidad de 10 m (Schnetter, 1978; Littler & Littler, 2000), necesite una mayor cantidad de intensidad lumínica, tal como las producidas por las lámparas PowerGLO® presentes en los demás acuarios, las cuales generan 180 lux, ya que en Guitarras no se evidenciaron signos de blanqueamiento fortaleciendo esta hipótesis. Otra razón por la cual solo en Guitarras se presentó un aumento en peso, es debido a que los individuos del acuario no consumieron el alga. Ya que en el acuario Doroteas, los organismos exhibidos se alimentaron de ésta en un lapso de 4 a 6 días en ambos experimentos. En ese acuario, en el momento de los experimentos, se encontraban 6 organismos pertenecientes a la especie *Chaetodipterus faber*, cuya dieta es extremadamente generalizada, consumiendo una gran variedad de animales y plantas bentónicas, así como organismos encontrados en toda la columna de agua. Su dieta diversa incluye esponjas, poliquetos, tunicados, corales suaves, algas, anfípodos, varios equinodermos, gusanos sabélidos y varias larvas de crustáceos (Manooch, 1984).

En cuanto a la temperatura del agua esta presentó una diferenciación espacial muy marcada, la salinidad y el pH mostraron oscilaciones en el tiempo, por lo que se puede afirmar que estas variables se comportaron muy parecido a lo presentado en el monitoreo, debido a que ambos experimentos se realizaron simultáneamente al mismo y en los mismos acuarios, llegando a veces a tomarse una medición para ambos estudios.

En cuanto a nutrientes, se puede afirmar que los resultados obtenidos en el primer experimento son diferentes a los del segundo. En el primero, la disminución de amonio y ortofosfatos en el acuario Control, se debió probablemente a un recambio de agua realizado en el día 5 del primer experimento (Mayo 11; Polanía, P. com. per., 6 de octubre de 2009), el cual como se ha dicho, reduce las concentraciones de los compuestos nitrogenados (Hunnam *et al.*, 1991; Moe,

1992). Por otro lado el aumento tanto en amonio como nitrito, pudo deberse al blanqueamiento antes mencionado, o a que la producción de compuestos nitrogenados superara la asimilación por parte del alga. Con respecto a lo anterior, Larned (1998), realizó un trabajo con el alga en el que concluye que el nutriente limitante de este autótrofo es el amonio, confirmando que el alga toma directamente el nutriente del medio, pero no indica los valores máximos de asimilación del alga, por lo tanto la hipótesis anterior no se puede probar. En general el efecto de las algas sobre las concentraciones de nutrientes solo se pudo observar en Guitarras.

Pero en el segundo experimento, este efecto se hizo más evidente, ya que el aumento en los valores de los nutrientes en los dos acuarios control, resultó evidente, así como la disminución continua de los mismos en los acuarios con el alga, o por lo menos en el caso de Doroteas, mientras las algas estuvieron presentes. En *Haemulon* A y B, la reducción en la concentración de los nutrientes, combinado con una leve pérdida de peso, debido muy posiblemente a que *C. sertularioides* fue consumida por un ejemplar de *Panulirus argus*, presente en el acuario, cuya dieta ocasionalmente incluye materia vegetal (Herrnkind *et al.*, 1975), el cual también pudo causar la disminución de peso en el primer experimento. Se cree que las diferencias entre ambos tratamientos se deben principalmente a la diferencia en la densidad algal que se introdujo, al ser mucho mayor en el segundo, aunque su tasa de asimilación sea la misma, una mayor cantidad del autótrofo aumenta considerablemente la absorción de las especies químicas reduciendo eficazmente sus concentraciones (Dawes, 1986; Hunnam *et al.*, 1991; Moe, 1992; Wrobel & Meyers, 1997; Adey & Loveland, 1998).

La eficacia de las macroalgas al asimilar nutrientes demostró ser alta en los acuarios, mientras éstas se encuentren en condiciones favorables de luminosidad (Hunnam *et al.*, 1991) y alejadas de organismos herbívoros. Bajo este marco de

referencia, no es posible implementar algas en todos los acuarios de Mundo Marino, ya que no todos reúnen estas características, así que es muy importante buscar medios que permitan la utilización de algas y que sirvan a todos los acuarios. Uno de estos métodos es la creación de un “refugio de algas”, el cual es un acuario o recinto que contiene algas, o en algunos casos también mangles pequeños, mantenido en las mejores condiciones para fomentar el crecimiento de los autótrofos, que recibe agua del acuario de exhibición y luego de que las plantas hayan asimilado los nutrientes, el agua es regresada al acuario de exhibición por medio de un sistema de recirculación (Figura 53).

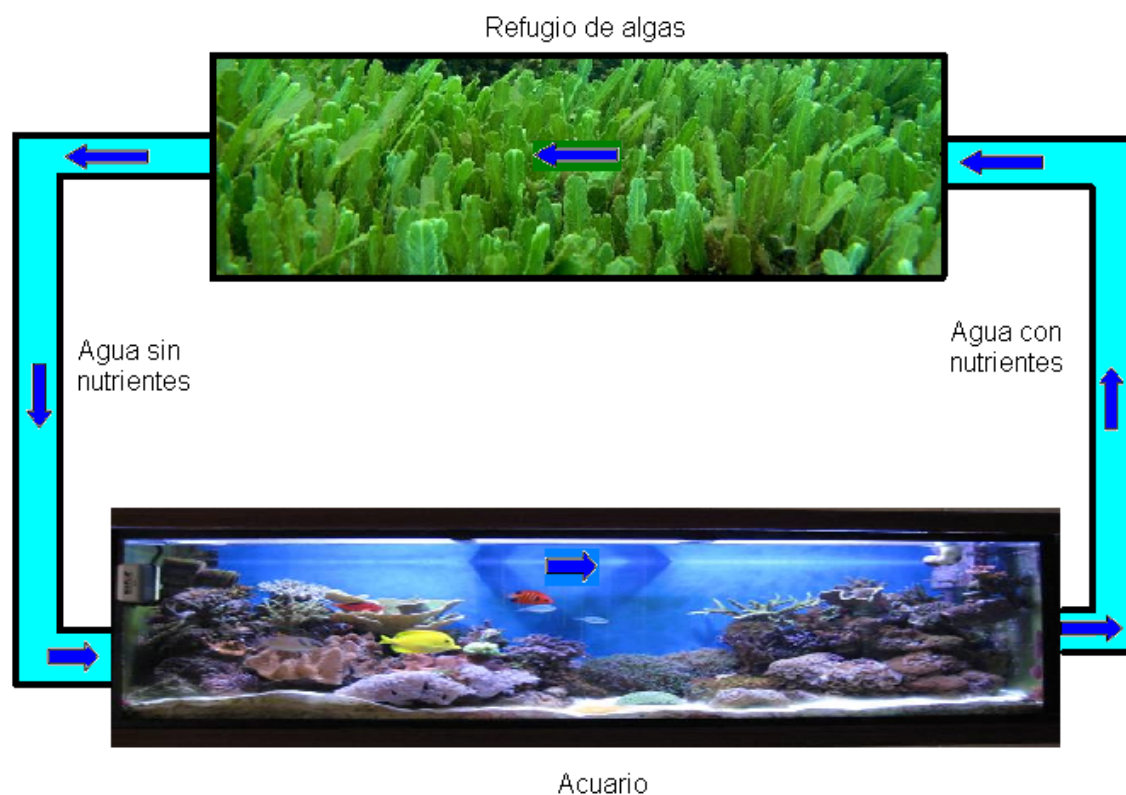


Figura 53. Esquema general de un refugio de algas, las flechas indican la dirección del agua.

Wrobel & Meyers (1997) recomiendan especialmente algas del género *Caulerpa* y *Chaetomorpha*, ya que asimilan muy bien los nutrientes y son de rápido crecimiento. Otra ventaja del refugio consiste en que se generan algas constantemente para la alimentación de los organismos herbívoros, disminuyendo

los costos de alimentación y aumentando la rentabilidad de un acuario investigativo, recreativo y educativo como lo es Mundo Marino (Fundación Museo del Mar, 1999).

8. CONCLUSIONES

- La temperatura del agua, la salinidad (para los sistemas internos) y el pH se encuentran entre los rangos óptimos sugeridos para acuarios marinos tropicales. Manteniéndose en ese rango a lo largo del tiempo. El porcentaje de saturación de O₂, aunque un poco bajo, puede mantener la demanda de oxígeno tanto de los animales como de las bacterias presentes en cada sistema.
- La salinidad en los acuarios externos está sobre el rango óptimo, por lo tanto esta variable en esos sistemas debe ser cuidadosamente monitoreada, ya que si sigue aumentando puede poner en peligro la vida de los organismos exhibidos.
- La baja concentración de pigmentos fotosintéticos, conlleva a que en el acuario Mundo Marino se presenten concentraciones altas de nutrientes, lo cual puede llegar a ser perjudicial para los animales presentes en los acuarios.
- El estado fisiológico de las comunidades fitoplanctónicas en los sistemas internos muestra indicios de senescencia, mientras que en los sistemas externos, estas comunidades se mantienen fisiológicamente saludables.
- Contrario a lo que se pensaba en un principio, la alta concentración de nutrientes no aumenta la población fitoplanctónica en los acuarios gracias al eficiente sistema de filtración que posee el Acuario Mundo Marino.

- Variables como la temperatura del agua, la salinidad, Oxígeno disuelto y pH, se han mantenido históricamente en los rangos sugeridos por diversos autores, mientras que las concentraciones de nutrientes han aumentado con respecto a otros monitoreos.
- El alga *Caulerpa sertularioides* disminuye de manera eficiente las concentraciones de nutrientes, especialmente el amonio, siendo mayor a medida que su densidad aumenta. Pero debido a que en algunos acuarios hay presentes animales herbívoros, o las condiciones lumínicas no son las adecuadas, la introducción del alga no es posible en todos los acuarios.

9. RECOMENDACIONES

- Es importante continuar realizando un monitoreo continuo con el fin de controlar el comportamiento de cada variable y así tomar medidas correctivas a tiempo, si se llegara a presentar algún problema.
- Hay que tener especial cuidado con la salinidad en los acuarios externos, la saturación de O_2 y los nutrientes. Buscando métodos que, ya sea mecánica o biológicamente, ayuden a llevar estas variables a valores deseados.
- Es necesario determinar nitratos, ya que conociendo sus concentraciones, es posible identificar si el oxígeno disuelto es un limitante o no del proceso de oxidación del amonio.
- Es recomendable hacer un estudio de composición y abundancia de fitoplancton en el Acuario Mundo Marino, con el fin de conocer mejor la comunidad y determinar que taxa aportó Clorofila c a las determinaciones.
- Es de vital importancia la creación del refugio de algas, tanto para que regule las concentraciones de nutrientes, como para aumentar el porcentaje de saturación de O_2 , así como también reducir costos al cultivarse algas, que servirán como alimento para los organismos herbívoros.

10. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, J. & Cañón, M. 1998. Influencia de algunas características meteorológicas sobre la variación espacio-temporal de las características oceanográficas en la Bahía de Gaira, Caribe colombiano. Seminario de investigación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. sin paginación.

Adey, W. & Loveland, K. 1998. Dynamic Aquaria, building living ecosystems. 2nd edition. Academic Press. San Diego. 498 p.

Álvarez, F. 1981. Introducción a la Ecología del Mar. Fascículos de Ecología II. Mejoras. Barranquilla. 90 p.

Balech, E. 1977. Introducción al Fitoplancton Marino. Universitaria. Buenos Aires. 211 p.

Bidwell, R., McLachlan, N. & Loyd, N. 1985. Tank cultivation of Irish moss, *Chondrus crispus*. Botánica Marina (28): 87-97.

Castro, G., Daza, A., Rodríguez, M. & Romero, P. 2002. Aspectos físico-químicos y océano-atmosféricos de la surgencia del Caribe centro en la región del Rodadero, entre febrero – abril del 2002. Seminario de investigación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. sin paginación.

Chapman, V & Chapman, D. 1980. Seaweeds and their uses. Third edition. Chapman and Hall. New York. 497 p.

Chávez, G. 1975. Elementos de oceanografía. Compañía editorial continental, S.A. México. 256 p.

CIOH. 2009 a. Boletín meteomarinero mensual del Caribe colombiano No 165. (En línea). (Citado el 29 de Octubre de 2009) Disponible en Internet: http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_content&Itemid=185&task=view&id=61

CIOH. 2009 b. Boletín meteomarinero mensual del Caribe colombiano No 166. (En línea). (Citado el 29 de Octubre de 2009) Disponible en Internet: http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_content&Itemid=185&task=view&id=61

CIOH. 2009 c. Boletín meteomarinero mensual del Caribe colombiano No 167. (En línea). (Citado el 29 de Octubre de 2009) Disponible en Internet: http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_content&Itemid=185&task=view&id=61

CIOH. 2009 d. Boletín meteomarinero mensual del Caribe colombiano No 168. (En línea). (Citado el 29 de Octubre de 2009) Disponible en Internet: http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_content&Itemid=185&task=view&id=61

Cognetti, G., Sará, M. & Magazzú, G. 2001. Biología Marina. Ariel, S.A. Barcelona. 619 p.

Coll, J. 1986. Acuicultura marina animal. 2 edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 670 p.

Corredor, I., Montoya, M., Polanía, P. & Vélez, C. 2000. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y la biomasa fitoplanctónica en los acuarios de Museo Mundo Marino-UJTL (El Rodadero, Santa Marta) durante el segundo semestre del año 2000. Seminario de investigación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. sin paginación.

Dawes, C. 1986. Botánica Marina. Limusa Wiley. México. 673 p.

Evans, D (ed). 1997. The physiology of fishes. 2 edición. CRC Marine Science Series. Washington D.C. 519 P.

Fenner, R. 1998. The conscientious marine aquarist: A commonsense handbook for successful saltwater hobbyists. Shelbourne: Microcosms. Shelbourne. 432 p.

Franco, A. 2005. Oceanografía de la Ensenada de Gaira: El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. 1 edición. Servigraphichs. Bogotá D.C. 56 p.

Fundación Museo del Mar. 1999. Plan de Manejo Acuario Mundo Marino. Santa Marta. 77 p.

Fundación Museo del Mar. 2009. Informe general año 2008. Santa Marta. 50 p.

Gil, D., Hernández, C., Vides, M. & Gonzales, C. 1996. Comparación de tres sistemas de filtración de acuarios marinos con base en algunos parámetros fisicoquímicos. Seminario de investigación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. sin paginación.

Gutiérrez, M. & Malone, R. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering* (34): 163 – 171.

Hagen®. sin año. Manual de instrucciones sistema de iluminación fluorescente lineal GLO® T5 HO de alto rendimiento.

Herrnkind, W., Vanderwalker, J & Barr, L. 1975. Population dynamics, ecology and behavior of spiny lobster *Panulirus argus*, of St. John, U.S.V.I.: Habitation and patterns of movements. *Natural History Museum Los Angeles City. Science. Bulletin* (20): 31- 45.

Hunnam, P., Milne, A. & Stebbing, P. 1991. El acuario vivo: Agua dulce y salada. 2 edición. Josmar S.A. Madrid. 240 p.

INVEMAR. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. 1a edición. Santa Marta. 148 p.

Lalli, C. & Parsons, T. 1997. *Biological Oceanography: An introduction*. 2nd edition. Butterworth-Heinemann. Oxford. 314 p.

Larned, S. 1998. Nitrogen versus phosphorus limited growth and sources of nutrients for coral reef macroalgae. *Marine Biology* (132): 409-421.

Levinton, J. 2001. *Marine biology: function, biodiversity, ecology*. Second edition. Oxford University Press. New York. 528 p.

Littler, D. & Littler, M. 2000. Caribbean reef plants. OffShore Graphics, Inc. Whashington, D.C. 542 p.

Londoño, F. 2009. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos y biomasa fitoplanctónica en acuarios marinos (Acuario Mundo Marino) Santa Marta – Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta.

Manooch, C. 1984. Fisherman's guide, fishes of the Southwestern United States. NorthCarolina State Museum of Natural History. Raleigh. 372 p.

Margalef, R. 1991. Ecología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 951 p.

McHugh, D. 1987. Production and utilization of products from comercial seaweeds. FAO. Fisheries Technical Paper (288): 189-194.

Moe J. 1992. The marine aquarium reference: Systems and invertebrates. Green Turtle Publications. Islamorada. 512 p.

Montoya, M. 2003. Evaluación de variables fisicoquímicas y biológicas en sistemas cerrados marinos (Acuario-Museo Marino, Santa Marta – Caribe colombiano). Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. 128 p.

Mora, A., Cid, L. & Valenzuela, H. 1996. Probabilidades y estadística. Universidad de Concepción. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Concepción. 427 p.

Morris, A. & Bale, A. 1975. The accumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by *Fucus vesiculosus* in the Bristol Channel. *Estuarine & Coastal Marine Science* (3): 153-163.

Neori, A., Krom, M. & Rijn, J. 2007. Biogeochemical processes in intensive zero-effluent marine fish culture with recirculating aerobic and anaerobic biofilters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* (349): 235–247.

Neumann, G. & Pierson, W. 1966. *Principles of physical oceanography*. Prentice-Hall, Inc. London. 545 p.

Ortiz, F. 2004. Dinámica fisicoquímica de un microcosmos y los posibles efectos sobre el crecimiento y clorofila c en *Acropora cervicornis* (Lamarck, 1816) Acuario Mundo Marino Santa Marta. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. 147 p.

Ortiz, F., Gámez, L. & Gómez, P. 1999. Comparación de la eficiencia de dos sistemas de filtración externa (biológica y química) en acuarios marinos, con base en adiciones de amonio. Seminario de investigación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. 45 p.

Parsons, T., Lalli, C. & Maita, Y. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. First edition. Pergamon Press. New York. 173 p.

Polanía, P (funcionaria del acuario Mundo Marino). 2009. Entrevista realizada el día 6 de Octubre en la ciudad de Santa Marta.

Polanía, P (funcionaria del acuario Mundo Marino). 2009. Entrevista realizada el día 24 de Septiembre en la ciudad de Santa Marta.

Rojas, E. & Roper, R. 2002. Evaluación de la tasa de filtración y de respiración biológica de *Mytilopsis sallei* (Recluz, 1849) (Bivalvia: Dreissenidae) en el acuario Mundo Marino, Rodadero, Santa Marta. Trabajo de grado (Biólogo Marino). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. 93 p.

Schnetter, R. 1978. Algas marinas de la costa Atlántica de Colombia. Strauss & Cramer. Hirschberg. 198 p.

Serna, A. & Vallejo, F. 1996. Descripción de algunos parámetros fisicoquímicos de la Bahía de El Rodadero durante el periodo de agosto a noviembre de 1996. Seminario de investigación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. 50 p.

Spotte, S. 1973. Marine aquarium keeping: the science, animals and arts. John Wiley & Sons. New York. 101 p.

Steemann-Nielsen, E. 1975. Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam. 141 p.

Tigreros, P., Vanegas, T., Vargas, D., Walteros, Y. & Betancur, S. 1999. Evaluación de la composición espacial de las larvas de la clase Stellerioidea y Echinoidea (Echinodermata), considerando algunas condiciones fisicoquímicas de la columna del agua en la Bahía de Gaira, Caribe colombiano. Seminario de investigación. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santa Marta. 71 p.

Tullock, J. 1997. Natural reef aquariums, simplified approaches to create living saltwater microcosms. Shelburne: Microcosms. Shelbourne. 336 p.

Wrobel, D. & Meyers, R. 1997. The Living Reef Aquarium Manual. 2nd Edition. Aquarium Systems, Inc. Mentor. 336 p.

WTW. 1997. Instruction Manual pH/mV Hand-Held Meter pH 330, pH 340.

WTW. 2000. Manual de instrucciones. Medidor manual de la conductividad LF 330 SET, LF 340 SET.

WTW. 2004. Instrucciones de operación: Oxi 330i, Oxi 340i.

11. ANEXOS

11.1 Anexo A. Datos brutos tanto del monitoreo como de los dos experimentos (Formato digital).

- **Archivo 1:** Curvas de calibración usadas en cálculo de nutrientes
- **Archivo 2:** Datos brutos del monitoreo
- **Archivo 3:** Datos brutos del experimento con *Caulerpa sertularioides*