



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
UNIDAD ACADÉMICA MAZATLÁN
(QUÍMICA ACUÁTICA)

**ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON MARINO COMO UNA RESPUESTA A LAS
VARIACIONES EN LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y DISPONIBILIDAD DE
NUTRIENTES**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

IQ. TRIXIE NOEMI ZAVALA ARMENTA

TUTOR:

DR. MARTÍN FEDERICO SOTO JIMÉNEZ

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA MAZATLÁN,
UNAM

COMITÉ TUTOR:

DR. DAVID URIEL HERNÁNDEZ BECERRIL

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DRA. MAITE MASCARÓ MIQUELAJAUREGUI

FACULTAD DE CIENCIAS, U.A. SISAL, UNAM

DRA. MARÍA ESTHER MEAVE DEL CASTILLO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, UNIDAD IZTAPALAPA

DRA. MARÍA JULIA OCHOA IZAGUIRRE

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR, UAS

DRA. VANESA PAPIOL

FACULTAD DE CIENCIAS, U.A. SISAL, UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON MARINO COMO UNA RESPUESTA A LAS VARIACIONES EN LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

T E S I S

Que para obtener el grado académico de:

Maestro en Ciencias

(Química Acuática)

Presenta:

IQ. Trixie Noemi Zavala Armenta

Director de tesis: Dr. Martín Federico Soto Jiménez (ICMyL, UNAM)

Comité tutor: Dr. David Uriel Hernández Becerril (ICMyL, UNAM)

Dra. Maite Mascaró Miquelajauregui (FCIENCIAS,
UNAM)

Dra. María Esther Meave del Castillo (UAM-Iztapalapa)

Dra. María Julia Ochoa Izaguirre (FACIMAR, UAS)

Asesor externo: Dra. Vanesa Papiol (FCIENCIAS, UNAM)

Ciudad de México, Junio del 2017

**ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON MARINO COMO UNA
RESPUESTA A LAS VARIACIONES EN LAS CONDICIONES
AMBIENTALES Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES**

IQ. TRIXIE NOEMI ZAVALA ARMENTA

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

2017

Este trabajo se realizó en el laboratorio de Isotopía Estable de la Unidad Académica Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

La investigación contó con el financiamiento de la Universidad Nacional Autónoma de México a través del apoyo del proyecto 60215 de la SEP-CONACYT, a cargo del Dr. Martín Federico Soto Jiménez.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Esto puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección:

trixie.zavala@gmail.com y/o martin@ola.icmyl.unam.mx

Si el permiso se otorga deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo de la siguiente manera:

Zavala-Armenta T.N., Estructura del fitoplancton marino como una respuesta a las variaciones en las condiciones ambientales y de nutrientes. Tesis de maestría. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, ICMYL-UNAM, pp164.

Agradecimientos

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, por permitirme formar parte de esta institución reconocida mundialmente y por hacer uso de sus instalaciones, particularmente del Laboratorio de Isotopía Estable a cargo del Dr. Martin Federico Soto Jiménez.

A CONACYT por proporcionarme los recursos necesarios para la realización del posgrado, por medio de una beca de estudios.

A mi director de tesis el Dr. Martin Federico Soto Jiménez, por brindarme la oportunidad de trabajar juntos en este proyecto, por compartirme de su conocimiento y experiencia, por el apoyo, recomendaciones y tiempo dedicado durante la realización de esta tesis.

A los miembros de mi comité tutorial, integrado por el Dr. David Uriel Hernández Becerril, la Dra. Maite Mascaró Miquelajauregui, la Dra. María Esther Meave del Castillo, la Dra. María Julia Ochoa Izaguirre y la Dra. Vanesa Papiol, por el tiempo aportado a la revisión de este trabajo, por sus asesorías, comentarios y sugerencias realizadas para la mejora de este trabajo, les agradezco grandemente.

A todos los profesores con los que tuve el gusto de tomar clases y aprender más de ellos.

A Margarita Cordero, Natalia Medina, Gabriela Almaraz, Guadalupe Godoy, Diana Juárez y Chantal Ruiz por su ayuda y disponibilidad en los trámites del posgrado.

A Victoria Montes por su apoyo en la realización de este proyecto tanto en lo académico como en lo personal con sus consejos.

A Herlinda Rojas y Daniel Oviedo por su disposición y apoyo en la búsqueda de material bibliográfico.

Al Lic. Carlos Suarez y Germán Ramírez por su ayuda con la preparación de videoconferencias y lo relacionado al centro de cómputo.

A mi familia, principalmente a mis padres: Marisela y Lorenzo, gracias por su apoyo incondicional, por siempre creer en mí, por acompañarme en cada momento a pesar de la distancia, por alentarme a ser una mejor persona día a día, son un gran pilar en mi vida y sin su apoyo no fuera posible lograr esta etapa, los amo. A mis hermanas Mónica, Rubi y Audrey, que me dan la fuerza para seguir adelante con esa ternura que las caracteriza.

A mis compañeros de laboratorio de isotopía estable, Daniela Valladolid, Elena Jaffer, Roberto Velázquez, Vanessa Mercado, Roxana Navarro, Diana Laura, Sofía, Franco, Imelda, Karen, por brindarme su amistad y apoyarme en todo momento, por sus palabras de aliento, por los momentos de diversión y por ser como una familia para mí.

A mis compañeros de maestría por compartir momentos estudiando, por brindarme su ayuda y amistad. A Manuel Salas, por apoyarme con mi trabajo y compartirme su conocimiento, por enseñarme el mundo de las esponjas, y principalmente por estar conmigo en todo momento, muchas gracias.

A Dios porque sin El nada soy.

A cada persona que estuvo presente el tiempo que duró este proyecto y que compartió junto a mí los tantos altibajos de esta etapa.

Dedicatoria

A mis padres, Marisela y Lorenzo, y a mis hermanas, Monica, Rubi y Audrey...

La sabiduría comienza por honrar al *Señor*;
conocer al *Santísimo* es tener inteligencia.

Proverbios 9:10

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | | |
|---------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. | ANTECEDENTES | 3 |
| III. | PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 7 |
| IV. | HIPÓTESIS..... | 8 |
| V. | OBJETIVOS | 9 |
| | V.1. General..... | 9 |
| | V.2. Objetivos específicos | 9 |
| VI. | MÉTODOS..... | 10 |
| VI.1. | Área de estudio | 10 |
| VI.2. | Diseño experimental | 12 |
| VI.3. | Toma de datos <i>in situ</i> y de muestras..... | 16 |
| VI.4. | Análisis físico-químicos y de nutrientes..... | 16 |
| VI.5. | Análisis de variables de respuesta..... | 22 |
| | VI.5.1. Análisis de clorofila..... | 22 |
| | VI.5.2. Análisis del fitoplancton: composición y abundancia..... | 22 |
| | VI.5.3. Crecimiento de la biomasa de camarón | 23 |
| VI.6. | Procesamiento de datos | 24 |
| VII. | RESULTADOS..... | 27 |
| VII. 1. | Condiciones ambientales de experimentación | 27 |
| | VII.1.1. Irradianza | 27 |
| | VII.1.2. Temperatura..... | 28 |
| | VII. 1.3. Salinidad | 30 |

| | |
|--|----|
| VII.1.4. Oxígeno disuelto | 30 |
| VII. 1.5. pH | 31 |
| VII.1.6. Movimiento del agua | 31 |
| VII.2. Concentraciones y proporciones elementales de los nutrientes en la experimentación | 32 |
| VII.3. Comportamiento de las variables de respuesta: prueba vs control . | 38 |
| VII.3.1. Sólidos suspendidos totales | 39 |
| VII.3.2. Clorofila <i>a</i> | 40 |
| VII.3.3. Conteos fitoplanctónicos | 42 |
| VII.4. Relación entre las variables de respuesta | 43 |
| VII.5. Composición fitoplanctónica | 50 |
| VIII.6. Análisis de similitud entre control-prueba y entre temporadas | 59 |
| VII.5. Relación entre las variables de respuesta y las predictoras | 60 |
| VII. 5.1. Análisis de varianza y de regresión múltiple multivariada basada en un modelo lineal para conteo fitoplanctónico | 60 |
| VII.5.2. Análisis de PCA..... | 61 |
| VII. 5.3. Modelo de ajuste de la variación en la concentración de Chl <i>a</i> en función de los parámetros predictores | 64 |
| VII.5.4. Modelo de ajuste de la variación del conteo celular en función de los parámetros predictores | 68 |
| VII. 5.5. Variación en la estructura fitoplanctónica con respecto a la irradianza y temperatura | 69 |
| VII. 5.6. Importancia de los nutrientes en la estructura fitoplanctónica .. | 72 |
| VII. 5.7. Efecto de la predación sobre la abundancia y composición del fitoplancton | 73 |

| | |
|---|-----|
| VII. 5.8. Evaluar la importancia del Si en la abundancia de los grupos fitoplanctónicos..... | 74 |
| VII. 5.9. Importancia de las relaciones elementales sobre la estructura del fitoplancton | 75 |
| VII.5.10. Evaluación de los cambios en la proporción Diatomeas:Cianobacterias..... | 78 |
| VIII. DISCUSIONES | 81 |
| Efecto de la variación de las condiciones ambientales sobre la productividad..... | 81 |
| Efecto de la irradianza | 82 |
| Efecto de la temperatura | 85 |
| Efecto del pH..... | 87 |
| Efecto de la salinidad..... | 87 |
| Efecto del OD | 89 |
| Efecto del movimiento del agua..... | 89 |
| Efecto de la variación de las concentraciones y proporciones elementales de los nutrientes ambientales sobre la productividad | 91 |
| Importancia del nitrógeno | 94 |
| Importancia del fósforo | 96 |
| Importancia del silicio | 98 |
| Importancia de las relaciones elementales | 99 |
| Cambios en la composición | 102 |
| Importancia de la predación | 106 |
| Cambios en la proporción de diatomeas:cianobacterias (D:C) en función del N y P | 107 |

| | |
|--|-----|
| IX. CONCLUSIONES | 109 |
| X. LITERATURA CITADA | 111 |
| Páginas de internet consultadas | 136 |
| XI. ANEXOS | 137 |
| Anexo I. Características generales de los grupos del fitoplancton marino | 137 |
| Anexo II. Resumen de las prácticas manejo de la granja acuícola y cantidades de nutrientes adicionados a cada estanque | 140 |
| Anexo III. Tablas de comparación diaria de nutrientes entre control y prueba en cada periodo. | 142 |
| Anexo IV. Promedios de los factores físicos y químicos medidos en los estanques (1, 2 y 3), hora del día (mañana, mediodía y tarde) y por temporadas (P y VO)..... | 158 |
| Anexo V. Figuras de la variación de las variables predictoras. | 161 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localización geográfica de la granja camaronícola Aquastrat S.A. de C.V. y de los estanques seleccionados..... | 11 |
| Figura 2. Esquema representativo del diseño experimental..... | 14 |
| Figura 3. Esquema representativo de la estrategia de estudio, indicando los sitios de prueba y control, y una sinopsis de las variables predictoras y las respuestas medidas. | 17 |
| Figura 4. Comparativo de los SST entre el control y la prueba durante todos los periodos de las temporadas P (A, B, C, D y E) y VO (F, G y H). | 40 |
| Figura 5. Comparativo de Clorofila a entre el control y la prueba durante todos los periodos de las temporadas P (A, B, C, D y E) y VO (F, G y H). | 41 |
| Figura 6. Comparativo del conteo celular entre el control y la prueba durante todos los periodos de las temporadas P (A, B, C y D) y VO (F, G y H). | 42 |
| Figura 7. Relación entre las concentraciones de clorofila a y sólidos suspendidos totales, por periodos entre control (negro) y prueba (azul). | 43 |
| Figura 8. Relación entre las concentraciones de clorofila a y disco de Secchi, por periodos entre control (negro) y prueba (azul). | 44 |
| Figura 9. Relación entre el conteo celular y clorofila a, entre control (negro) y prueba (azul). | 45 |
| Figura 10. Variación en la composición de los grupos de fitoplancton en el control la prueba, durante las temporadas primavera y verano-otoño.. | 58 |
| Figura 11. Análisis de componentes principales en los tres sitios y en las temporadas primavera y verano-otoño. | 61 |

| | |
|--|----|
| Figura 12. Análisis de componentes principales de las variables predictoras y de respuesta en el estanque dos. | 63 |
| Figura 13. Variación en la abundancia y composición del fitoplancton con respecto de la irradianza. | 70 |
| Figura 14. Variación en la abundancia y composición del fitoplancton con respecto de la temperatura. | 71 |
| Figura 15. Variación del conteo celular de las diatomeas en el control, sin y con predación dentro del estanque. | 73 |
| Figura 16. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la concentración de silicatos presentes en la prueba. | 74 |
| Figura 17. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la relación Si:N presentes en el control y en la prueba. | 75 |
| Figura 18. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la relación N:P presentes en el control y en la prueba. | 76 |
| Figura 19. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la relación Si:P presentes en el control y en la prueba. | 77 |
| Figura 20. Variación de la relación Diatomeas:Cianobacterias en cada periodo de estudio en el control. | 79 |
| Figura 21. Variación de la relación Diatomeas:Cianobacterias en cada periodo de estudio en la prueba. | 80 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Resumen de las condiciones experimentales en los períodos de prueba, en la temporada Primavera (A, B, C, D y E) y en la temporada Verano-Otoño (F, G y H). | 15 |
| Tabla 2. Técnicas empleadas para el análisis de las variables físico-químicas. | 18 |
| Tabla 3. Resumen de las las condiciones ambientales en la prueba y el control de las variables ambientales conservativas. | 29 |
| Tabla 4. Diferencias en las variables medio-ambientales entre la bahía de Teacapán (el control) y los estanques de prueba. | 32 |
| Tabla 5. Resumen de las concentraciones de N (en sus diferentes formas químicas), P y Si para cada periodo de experimentación llevado a cabo en las dos temporadas climáticas, primavera y verano-otoño..... | 35 |
| Tabla 6. Diferencias en las concentraciones de los nutrientes y sus proporciones elementales entre la Bahía de Teacapán (el control) y los estanques de prueba. | 38 |
| Tabla 7. Concentración celular de cada periodo en el control y la prueba. ... | 47 |
| Tabla 7(continuación). Concentración celular de cada periodo en el control y la prueba. | 48 |
| Tabla 8. Diferencias en las concentraciones de las variables de respuesta entre la Bahía de Teacapán (el control) y los estanques de prueba..... | 49 |
| Tabla 9. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en la Bahía de Teacapán (control) en la temporada de primavera. | 52 |

| | |
|--|----|
| Tabla 10. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en la Bahía de Teacapán (control) en la temporada de verano-otoño. | 53 |
| Tabla 11. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en los diferentes grupos fitoplanctónicos observados en estanque de prueba durante la primavera. | 54 |
| Tabla 12. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en los diferentes grupos fitoplanctónicos observados en estanque de prueba durante la temporada verano-otoño. | 55 |
| Tabla 13. Índices de diversidad de grupos fitoplanctónicos en el control y la prueba en cada temporada (primavera y verano-otoño). | 56 |
| Tabla 14. Índices de diversidad de las especies de fitoplancton en el control y la prueba en cada temporada (primavera y verano-otoño). | 57 |
| Tabla 15. Análisis de similitud (PERMANOVA) entre los factores control-prueba y temporada..... | 59 |
| Tabla 16. Análisis de similitud (PERMANOVA), entre temporada por control-prueba. | 59 |
| Tabla 17. Resultados del modelo DISTLM de los grupos fitoplanctónicos con las variables ambientales..... | 60 |
| Tabla 18. Modelo de ajuste de la Chl a en el control y la prueba por temporada. | 65 |
| Tabla 19. Resultados del análisis de modelo de ajuste de para la Chl a por periodos de experimentación en control y prueba..... | 67 |
| Tabla 20. Resultados del modelo de ajuste de la concentración de células con respecto de los parámetros predictores y de predación en el estanque dos. | 68 |

Tabla 21. Resultados del modelo de ajuste de la concentración de células con respecto a la variación de los nutrientes en el control y la prueba por temporada. 72

Resumen

El fitoplancton forma parte de <1% de la biomasa fotosintética mundial, pero es responsable de cerca del 50% de la producción primaria global y es una de las principales fuentes de energía para los ecosistemas acuáticos. Por lo anterior, es necesario conocer los factores que controlan la composición de las comunidades y las dinámicas de estos organismos para tratar de predecir el impacto de los cambios ambientales en ecosistemas acuáticos. En este estudio se pretende evaluar los cambios en la abundancia y la composición fitoplanctónica en función de la variación de parámetros medioambientales (pH, temperatura, salinidad, irradiación, oxígeno disuelto) y de nutrientes (N y P total, NH₄, NO₃, NO₂, PO₄, SiO₄, N:Si, N:P, P:Si). Para lo cual se utilizaron 3 estanques acuícolas donde se probaron los efectos que estas variables (en lo individual y combinado) tienen sobre la dinámica de la población de fitoplancton. Se probaron múltiples variaciones medioambientales y de disponibilidad de nutrientes sobre dichos consorcios de fitoplancton estudiados diariamente durante dos temporadas de 90-100 días cada uno. Como control se utilizó la bahía de Teacapán. Se encontraron cambios significativos en la abundancia y composición del fitoplancton entre el control (bahía de Teacapán) y la prueba (estanque), teniéndose las mayores concentraciones celulares en la prueba. Las máximas tasas de producción fitoplanctónicas (~8x10⁶ vs ~3x10⁶ cel/L), se presentaron en los rangos óptimos de temperatura (30 - 33°C) e irradianza (0.75 - 0.85). El análisis multivariado mostró que los principales factores que producen las variaciones en la composición y abundancia del fitoplancton en general son: la irradianza, la temperatura y el N. Sin embargo, al momento de evaluar la importancia de los nutrientes por separado, encontramos que no siempre resultaron significativos. En particular, el N fue limitante para el control y para la prueba, el N, P y/o Si, los cuales explican mejor la productividad primaria. Lo que nos hace pensar que las variables predictoras están interrelacionados para contribuir de manera significativa en la abundancia y composición de los diferentes grupos fitoplanctónicos. La variación de la Chl a y del conteo celular en la prueba fue dada principalmente por la predación por parte del camarón, presentándose mayormente para el grupo de las diatomeas. El uso de experimentos de este tipo, los cuales simulan ecosistemas naturales, ofrece una oportunidad para el estudio de los parámetros que controlan los florecimientos microalgales.

Palabras clave: fitoplancton, florecimientos microalgales

Abstract

A significant source of energy, phytoplankton are responsible for ~50% of net primary production in aquatic ecosystems. Therefore, in order to predict the impact of environmental changes, a better understanding of the factors controlling phytoplankton community composition and dynamics is necessary. In this study, we sought to assess changes in phytoplankton community structure according to variation in nutrient availability (total N and P, NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 , SiO_4 , N:Si, N:P, P:Si) and environmental parameters (pH, temperature, salinity, irradiation, dissolved oxygen). Three aquaculture ponds were used to test the effects of these variables (individually and in combination) on the dynamics of the phytoplankton populations. The phytoplankton communities were examined under variant environmental conditions and levels of nutrient availability. Daily samples were taken during two 90-100 day seasons. Teacapán Bay was used as the control. Significantly higher cellular concentrations were found in the test ponds than in the control (Teacapán Bay). Significant differences in phytoplankton composition were identified as well. The highest phytoplankton concentrations ($\sim 8 \times 10^6$ vs. $\sim 3 \times 10^6$ cel/L) were observed during time intervals when water temperature was higher (~ 30 - 33°C) and irradiance lower (0.75-0.85). Multivariate analysis showed irradiance, temperature, and N to be the main factors affecting phytoplankton composition and abundance. Interestingly, when nutrient importance was examined separately, the effects of parameters were not consistently significant. In particular, N was limiting in control and test ponds, but P and/or silicates were to be the limiting the limiting factors in evaluating primary productivity. This result is contrary to initial expectations, prompting consideration of whether these predictor variables interact to affect the abundance and composition of the different phytoplankton groups. Variation of Chl *a* and cell concentration, was most evident in the test ponds was mainly due to predation by shrimp, affecting mainly for the group of diatoms. Experiments of this type, which simulate natural ecosystems, provide an opportunity to study the parameters that control microalgae abundance and composition.

Keywords: phytoplankton, microalgal bloom

I. INTRODUCCIÓN

El fitoplancton es un conjunto de organismos acuáticos autótrofos del plancton, que tienen capacidad fotosintética y que viven dispersos en el agua. Este representa <1% de la biomasa fotosintética mundial, pero es responsable de cerca del 50% de la producción primaria global y es una de las principales fuentes de energía para los ecosistemas acuáticos (Field *et al.*, 1998). Entre los principales grupos que forman al fitoplancton se encuentran los dinoflagelados y las diatomeas, que son los más diversos y dominantes, las cianobacterias, silicoflagelados, prasinoficeas y rafidoficeas (Anexo I) (Licea *et al.*, 1995).

De acuerdo a la importancia que tienen estos microorganismos es necesario entender los factores que controlan la composición de las comunidades y su dinámica, para tratar de predecir el impacto de los cambios ambientales sobre los ecosistemas acuáticos (Winder y Sommer, 2012). Hoy en día, el hombre ha provocado alteraciones a los ecosistemas y su funcionamiento, que afectan a las dinámicas de los productores primarios, incluyendo el fitoplancton. La principal afectación está relacionada con el proceso conocido como eutrofización. Este proceso se refiere al conjunto de condiciones dadas por el enriquecimiento de nutrientes (N y P principalmente), y que resulta en altas concentraciones de clorofila y de materia orgánica, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, y trofismo excesivo (Nixon, 1995, 1998), y que puede culminar en el desplazamiento de especies, pérdida de diversidad y hasta en grandes mortandades de especies acuáticas (OSPAR, 1998; Cloern, 2001).

Entre los efectos directos de la eutrofización al fitoplancton están los cambios producidos en la abundancia y la composición de los productores primarios en ambientes acuáticos (Turner, 2002). Tales cambios pueden

tener importantes implicaciones en los organismos fitoplanctívoros en la columna de agua, así como en los predadores que se alimentan de ellos y en el resto de la trama trófica (Olsen *et al.* 2006; Wolowicz *et al.* 2006). Por tanto, el estudio de la evolución de las comunidades de fitoplancton es de gran importancia porque permite formular la base para el pronóstico de la evolución futura de una trama trófica y de un ecosistema en su conjunto (Luo *et al.*, 2011).

El estudio de los procesos de eutrofización y de las dinámicas de los florecimientos microalgales en ambientes naturales es muy complejo, debido a que son procesos multifactoriales en los que intervienen variables físicas, químicas y biológicas, las cuales están fuertemente inter-relacionadas. Aunque los estudios a nivel de laboratorio han sido muy útiles para entender los efectos que los diferentes nutrientes y variables físico-químicas tienen sobre la productividad primaria, fallan en no integrar toda la complejidad de los sistemas naturales. Para cruzar la línea entre el medio natural y el laboratorio, utilizamos estanques acuícolas, los cuales pueden ser replicados y al mismo tiempo proveen un grado de realismo que no es posible obtener a nivel laboratorio (Botello y Rendón, 2005; González-López, 2012).

En este trabajo se estudiaron los cambios en abundancia y diversidad fitoplanctónica como una respuesta a las variaciones en las condiciones ambientales (pH, temperatura, salinidad, irradiación y oxígeno disuelto) y concentraciones de nutrientes (silicatos, fósforo total, nitrógeno y sus formas amonio, nitratos, nitritos). La manipulación controlada de algunas de estas variables nos permite tener idea de qué es lo que causa los cambios que ocurren en la abundancia y composición del fitoplancton en un sistema natural.

II. ANTECEDENTES

Florecimientos de fitoplancton

Los florecimientos de microalgas son fenómenos naturales que se han producido ocasionalmente a lo largo de la historia pero que en las últimas décadas han aumentado en frecuencia, intensidad y distribución geográfica alrededor del mundo (Smayda, 1990; Hallegraeff, 1993; Hodgkiss & Ho, 1997; Hernández-Becerril *et al.*, 2007). Se han realizado diversos estudios donde se les ha relacionado con el enriquecimiento de nutrientes (eutrofización) en los ecosistemas costeros, causados principalmente por descargas de aguas residuales urbanas, granjas acuícolas, agricultura, entre otros, tanto en el Golfo de California (Mee *et al.*, 1988; Cortés-Altamirano *et al.*, 1996; Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000; Ulloa-Pérez, 2005) como en diversas partes del mundo (Jingzhong *et al.*, 1985; Hodgkiss & Ho, 1997; Moncheva *et al.*, 2001; Anderson *et al.*, 2002; Heisler *et al.*, 2008). La mayoría de los ecosistemas costeros asociados con el Golfo de California están experimentando eutrofización alóctona y/o autóctona. Las enormes descargas de materia orgánica provenientes de aguas residuales domésticas, de efluentes de la agricultura, la ganadería y la acuicultura, y del procesamiento de alimentos son las principales causas de la eutrofización alóctona (Páez-Osuna, 2007). En tanto que el aumento en el aporte de nutrientes, y el consecuente aumento de la producción primaria (fitoplancton y macroalgas) resulta en una eutrofización autóctona dentro de los ecosistemas (Ochoa-Izaguirre & Soto-Jiménez, 2013). Las altas concentraciones de materia orgánica, alóctona y autóctona, consumen gran parte del oxígeno en lagunas costeras y estuarios (Bricker *et al.*, 1999 y 2007; Rabalais *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista económico-pesquero y de salud humana, las peores mareas rojas se han presentado en el sur-este de Asia y norte de

Europa (Okaichi, 2003; Yang & Hodgkiss, 2004). En México se han presentado proliferaciones microalgales en prácticamente todas las costas del país (Golfo de México, Mar Caribe, Pacífico y Golfo de California). Algunas de ellas han causado serios problemas de salud pública y animal, tanto en animales silvestres como de cultivo (Mee *et al.*, 1986; Sierra-Beltrán *et al.*, 1997; Gárate-Lizarraga *et al.*, 2008; Cortés-Altamirano & Alonso-Rodríguez, 2006; Hernández-Becerril *et al.*, 2007).

Factores que controlan el crecimiento fitoplanctónico

Se han realizado múltiples estudios siguiendo diversas estrategias para entender los florecimientos microalgales, con el fin de determinar qué factores los controlan y/o poder predecir la frecuencia e intensidad de estos fenómenos. Algunos de ellos argumentan que los factores más importantes son la temperatura (Winder & Sommer, 2012; Lewandowska *et al.*, 2014), la irradianza (Winder & Sommer, 2012; Bauer *et al.*, 2013; Wirtz & Sommer, 2013; Marañón *et al.*, 2014), los nutrientes (N y P, principalmente) (Hodgkiss & Ho, 1997; Hauss *et al.*, 2012; Bauer *et al.*, 2013) y la intensidad de pastoreo (Bauer *et al.*, 2013).

El dogma de que el fitoplancton de agua dulce tiende a ser limitado por fósforo, y que el fitoplancton marino y estuarino tiende a ser limitado por nitrógeno fue inicialmente establecido Carpenter y Capone (1983). La revisión de la literatura nos permite constatar que los estudios para inferir la limitación de P en el crecimiento del fitoplancton en los ambientes de agua dulce, son claros y contundentes (Carpenter & Capone, 1983; Hecky & Kilham, 1988; Elser *et al.*, 1990). Por otro lado, la mayoría de autores estudiando la limitación del N en ambientes marinos han concluido que el suministro de nitrógeno “parece” controlar la producción primaria neta en la mayoría de los sistemas costeros (Peckol *et al.*, 1994, Doering *et al.*, 1995; Valiela *et al.*, 1997; Krom *et al.*, 2004; Thornber *et al.*, 2008).

En particular, se ha establecido que el nitrógeno inorgánico disuelto limita la distribución, la productividad, y la abundancia de productores primarios (Ryther y Dunstan, 1971; Thornber *et al.*, 2008). Otros autores han concluido que los aportes de N, no solo aumentan la tasa de producción primaria en los sistemas costeros, sino que puede derivar en grandes florecimientos de fitoplancton y/o macroalgas (Fletcher, 1996; Nixon y Buckley, 2002). Por otro lado, otro grupo de autores han establecido que en las aguas tropicales “parece” ser que es el fósforo, es el nutriente limitante (Lapointe *et al.*, 1992, McGlathery *et al.*, 1994). Finalmente otros autores concluyen que hay excepciones a tales patrones generales (Fong *et al.*, 2001, Elser *et al.*, 2007, Teichberg *et al.*, 2010). Lo cierto es que aún no se establece claramente la limitación en ecosistemas marinos (Elser *et al.*, 2007).

Bioensayos

El bioensayo es una prueba operacional en el que se cuantifica el efecto que tiene una variable predictora sobre una variable de respuesta. Por conveniencia, los sistemas de prueba experimental se han clasificado en cuatro niveles de organización, desde el tubo de ensaye en el laboratorio (nivel I) en el que prácticamente todas las variables están bajo control, hasta la realización de estudios en sistemas naturales (nivel IV) donde se tiene poco control de los factores, excepto el que se estudia (Hecky & Kilham, 1988). En el primero se tiene todo bajo control, pero refleja muy poco de lo que ocurre en los ambientes naturales, y en el último, se tienen pocos factores bajo control, pero es lo más cercano a emular lo que ocurre en los ecosistemas naturales.

Los bioensayos, en sus diferentes niveles de complejidad, han sido los sistemas experimentales más útiles para responder las preguntas planteadas sobre los cambios en la abundancia y composición fitoplanctónica en función

de variables medioambientales y de nutrientes (Yamaguchi *et al.*, 1997; Yamaguchi *et al.*, 2001; Velasco *et al.*, 2009; Fukao *et al.*, 2012). Por ejemplo, experimentos rigurosamente realizados han confirmado la primera parte del dogma, que el P es limitante de los ambientes dulceacuícolas (Sakamoto, 1966; Hecky & Kilham, 1988; Elser *et al.*, 1990). Esto ha sido probado en bioensayos experimentales realizados a varios niveles de complejidad, desde cultivos de fitoplancton en tubos de ensaye (Maxwell *et al.*, 1994; Yamaguchi *et al.*, 1997; Maier-Brown *et al.*, 2006; Moronta *et al.*, 2006) hasta en lagos enteros (Jin *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2015). Sin embargo, a diferencia de los sistemas dulceacuícolas, en sistemas marinos la realización de bioensayos de nivel III y IV son difíciles de realizar, y por tanto, hay muy pocos reportes de tales experimentos. En este tipo de bioensayos solo se pueden controlar pocas variables, tanto medioambientales como de nutrientes, pero a diferencia de los de menor nivel proveen un grado de realismo muy cercano a lo que ocurre en el medio natural (Ryther & Dunstan, 1971; Hulbert, 1984; Yusoff *et al.*, 2010). Aunque se asume la preeminencia del N sobre la productividad primaria de los ecosistemas salobres y marinos, una demostración igualmente rigurosa como la realizada con el P en aguas dulces, no ha sido establecida en el caso del N en las aguas marinas. Por lo tanto, la respuesta a la pregunta sobre la limitación de N en el medio marino sigue estando inconclusa (Elser *et al.*, 2007).

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Qué variaciones en las condiciones ambientales y en las concentraciones y proporciones de nutrientes producen cambios en la abundancia y composición del fitoplancton?
2. Bajo las mismas condiciones ambientales, ¿cuál es la importancia de las concentraciones de nutrientes y de sus proporciones (N:P:Si) sobre la biomasa y composición fitoplanctónica?
3. ¿La predación presente en la prueba (estanque) produce una disminución en la abundancia del fitoplancton?
4. ¿La disponibilidad del Si resulta en cambios en la abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos (p.ej. diatomeas, silicoflagelados, dinoflagelados, ciliados y cianobacterias)?
5. ¿La proporción de diatomeas:cianobacterias (D:C) es menor en aguas enriquecidas con N y P (eutrofizadas)?

IV. HIPÓTESIS

Las variaciones en las condiciones ambientales y en las concentraciones y proporciones de nutrientes, producen cambios en la abundancia y composición del fitoplancton. Por esta razón, nos planteamos las siguientes hipótesis:

- 1) Se espera una mayor productividad primaria en el rango óptimo de temperatura, independientemente de la concentración de nutrientes.
- 2) Bajo las mismas condiciones ambientales (temperatura e irradianza), una mayor disponibilidad de nutrientes (N, P, Si) resultará en una mayor abundancia fitoplanctónica.
- 3) Debido a la mayor predación presente en la prueba (estanque) se espera tener una menor abundancia de diatomeas principalmente, y de los demás grupos fitoplanctónicos.
- 4) A menor disponibilidad de Si (proporciones de N:Si y P:Si más elevadas) habrá una menor abundancia de diatomeas y silicoflagelados, pero mayor abundancia de dinoflagelados tecados y desnudos, ciliados y cianobacterias.
- 5) La proporción de diatomeas:cianobacterias (D:C) será menor en aguas enriquecidas con N y P (eutrofizadas).

V. OBJETIVOS

V.1. General

Evaluar experimentalmente los cambios en la composición y la abundancia fitoplanctónica en función de la variación de las condiciones ambientales, y de las concentraciones y proporciones de nutrientes.

V.2. Objetivos específicos

- 1) Cuantificar los cambios en la biomasa (sólidos suspendidos totales (SST), clorofila *a*, conteo celular) relacionados a las variaciones de las condiciones físico-químicas del agua (pH, temperatura, salinidad e irradiación) y en función de las concentraciones de los nutrientes (silicatos, fósforo total, nitrógeno y sus formas amonio, nitratos, nitritos) y de sus proporciones elementales (N:P, N:SiO₂ y Si:P).
- 2) Cuantificar los cambios en la biomasa (clorofila *a*, conteo celular) y de la composición fitoplanctónica en función de la disponibilidad de nutrientes (silicatos, fósforo total, nitrógeno y sus formas amonio, nitratos, nitritos) y de sus proporciones elementales (N:P, N:SiO₂ y Si:P). Identificar los grupos de fitoplancton más sensibles a los cambios de las variables probadas.
- 3) Evaluar el efecto de la predación sobre la abundancia y composición del fitoplancton.
- 4) Evaluar la abundancia de diatomeas y silicoflagelados (dependientes de Si) y la abundancia de dinoflagelados, ciliados y cianobacterias (no dependientes de Si) en función de las concentraciones de Si y de las proporciones de N:Si y P:Si.
- 5) Evaluar los cambios en la proporción de diatomeas:cianobacterias (D:C) en función de las concentraciones de N y P.

VI. MÉTODOS

VI.1. Área de estudio

El estudio se realizó en las instalaciones de la granja de la empresa Aquastrat, S.A. de C.V., localizada en la zona sur del estado de Sinaloa, México, en el municipio de Escuinapa y dedicada a la producción de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* bajo sistema intensivo (densidad de siembra de ~60 postlarvas por m²). Esta granja se sitúa en la planicie costera del norte de Nayarit y parte sur de Sinaloa, entre los 22° 40'08" y 22°39'04" de latitud norte y 104°46'00" y 105° 45'22" de longitud oeste. El complejo acuícola tiene 42 hectáreas de cultivo intensivo de camarón distribuidas en 22 estanques de tierra. El suministro de agua de mar proviene de la Bahía de Teacapán. Con la finalidad de tener un triplicado del estudio, se seleccionaron tres estanques acuícolas de cultivo de 100x100x1.5 m. La Figura 1 muestra la ubicación de la granja y los estanques utilizados para los experimentos.



Figura 1. Localización geográfica de la granja camaronícola Aquastrat S.A. de C.V. y de los estanques seleccionados.

VI.2. Diseño experimental

Los tres estanques seleccionados fueron llenados una semana previa al arranque de los experimentos, para aclimatarse. Posteriormente se inició el cultivo de camarón con la adición de nutrientes, primero fertilizantes inorgánicos y después alimento de camarón. Mientras que la bahía de Teacapán se utilizó como control con las condiciones ambientales prevalecientes de manera natural. El Anexo II presenta las cantidades de nutrientes adicionados e información relacionada con las prácticas de manejo en la granja, tales como densidad de siembra, estrategias alimenticias, tasas de recambio de agua, fertilización, y aireación mecánica.

Para resolver las preguntas planteadas fueron utilizados estanques acuícolas (parcelas de agua de 10,000 m³) durante dos ciclos bajo condiciones monitoreadas. Tales ecosistemas reciben cargas variadas de nutrientes y están sujetos a cambios en las condiciones ambientales, mismas que fueron monitoreados con alta resolución, ofrecen una ventana de oportunidad para el estudio de los cambios en la biomasa (SST, clorofila *a* (Chl *a*) y conteo celular) y en la composición del fitoplancton en función de la concentración y proporción de nutrientes y cambios de las variables físicas y químicas. Debido a similitud de las variables medioambientales y de nutrientes entre los tres estanques para periodo de experimentación, y por motivos de reducir la carga de trabajo, en este estudio tomamos la decisión de analizar las muestras de fitoplancton solo para un estanque. Por lo que, todos los resultados relacionados con la abundancia y composición del fitoplancton, corresponden al estanque 2 (*in situ* y efluente) tomado como representativo de los tres. Mientras que los resultados de los análisis relacionados con las concentraciones de clorofila *a* y SST corresponden a los tres estanques.

En la Figura 2 se hace representación esquemática del diseño experimental de nuestro estudio. Con el propósito de tener un rango amplio de temperaturas y de irradianza, los periodos experimentales fueron realizados en dos temporadas climáticas contrastantes, en la primavera (P) con bajas temperaturas, altas irradianzas y sin lluvias, y en el verano-otoño (VO) con altas temperaturas, un rango amplio de irradianzas y lluvias. Los días naturales del año en los experimentos fueron del día 95 al 169 en primavera (74 días) y del día 218 al 310 en la temporada verano-otoño (92 días). Se corrieron cinco periodos de experimentación en primavera y tres en verano-otoño. Estos periodos de experimentación se seleccionaron de acuerdo al número de florecimientos observados a lo largo de cada temporada. Cada periodo de experimentación varió desde 9 hasta un máximo de 50 días (Tabla 1). Para entender como las variaciones en las condiciones ambientales influyen en los cambios en la abundancia y composición del fitoplancton, se analizaron los diferentes experimentos con distintas condiciones ambientales y/o concentración de nutrientes y proporciones elementales. Esto nos permitió capturar la variabilidad de tales parámetros inherente a las temporadas climáticas en la región.

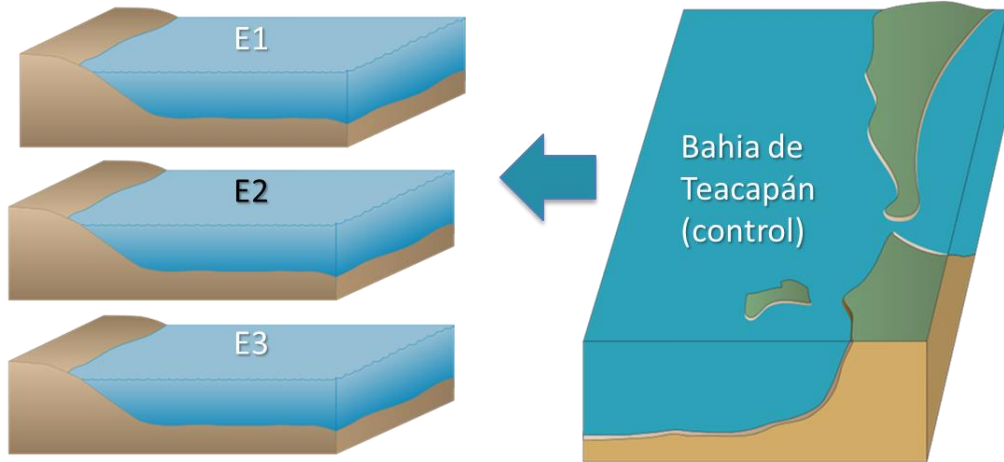
Para la obtención de los datos de irradianza se utilizó el programa MIDC SOLPOS calculator (Solar Position and intensity, RReDC), el cual calcula la irradianza basado en la posición geográfica, hora del día y fecha (National Renewable Energy Laboratory; accesada en Septiembre 2014 <https://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html>). Los datos que se presentan fueron tomados a la misma hora (2 pm.) durante todo el estudio.

Diseño experimental

Temporadas de experimentación

Primavera (70 días) Verano-Otoño (90 días)
5 periodos de experimentos 3 periodos de experimentos

Duración de cada lote de experimentación: de 10 a 50 días



PRUEBA:
Variación de la concentración de nutrientes y proporciones molares en cada lote de experimentación.

CONTROL:
Concentración de nutrientes y proporciones molares relativamente constante en cada lote de experimentación.

Variación de la temperatura y la irradianza en cada temporada de experimentación.
Salinidad constante.

Figura 2. Esquema representativo del diseño experimental.

Tabla 1. Resumen de las condiciones experimentales en los períodos de prueba, en la temporada Primavera (A, B, C, D y E) y en la temporada Verano-Otoño (F, G y H).

| Temporada | Período | Parámetro de prueba | Duración (días) | Fecha |
|---------------------|---------|--|-----------------|------------------------|
| Primavera | A | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 27 | 06-abr al 02-may |
| | B | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 16 | 03-may al 18-may |
| | C | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 10 | 19-may al 28-may |
| | D | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 13 | 29-may al 10-jun |
| | E | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 9 | 11-jun al 19-jun |
| Verano-Otoño | F | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 22 | 05-ago al 26-ago |
| | G | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 20 | 27-ago al 15-sep |
| | H | NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , NO _x , NID, NOD, NDT, NOP, NT, PO ₄ , SiO ₂ , N:P, N:Si, Si:P, OD, I y T. | 51 | 16-sep al 05-nov |

VI.3. Toma de datos *in situ* y de muestras

De acuerdo al diseño del estudio, la colecta de muestras de agua se realizó en la Bahía de Teacapán y dentro de los estanques (*in situ*). Para el monitoreo de las variables se tomaron datos *in situ* y muestras a tres horas del día: mañana, mediodía y tarde-noche.

Entre los datos tomados *in situ* se incluye la medición de oxígeno disuelto (OD), temperatura (T), potencial de hidrogeno (pH) y la salinidad (S), variables monitoreados con una sonda YSI 6600 v2 previamente calibrada. La transparencia del agua se midió con un disco Secchi blanco de 30 cm de diámetro anotando el valor promedio de las mediciones obtenidas al bajar y al subir el disco (Tyler, 1968).

Para el análisis de los nutrientes, se recolectaron muestras de agua en botellas de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1 litro previamente lavadas con HCl 2N para los análisis de nitrógeno disuelto, inorgánico y total. Las muestras de agua se guardaron en una hielera con temperatura baja hasta su transporte al laboratorio de la granja.

La colecta de muestra para el análisis cuali y cuantitativo del fitoplancton se realizó en la bahía de Teacapán, en el estanque dos y en el efluente al mediodía. Estas muestras se recolectaron en botellas de plástico transparente de 0.5 L, se etiquetaron y se fijaron con solución alcalina de Lugol al 1% (Utermöhl, 1958 modificada) y fueron almacenadas en lugar oscuro y fresco hasta su análisis (Sournia, 1978).

VI.4. Análisis físico-químicos y de nutrientes

Las técnicas de análisis de los parámetros de calidad de agua, incluyendo variables físico-químicas y nutrientes están resumidas en la Tabla 2.

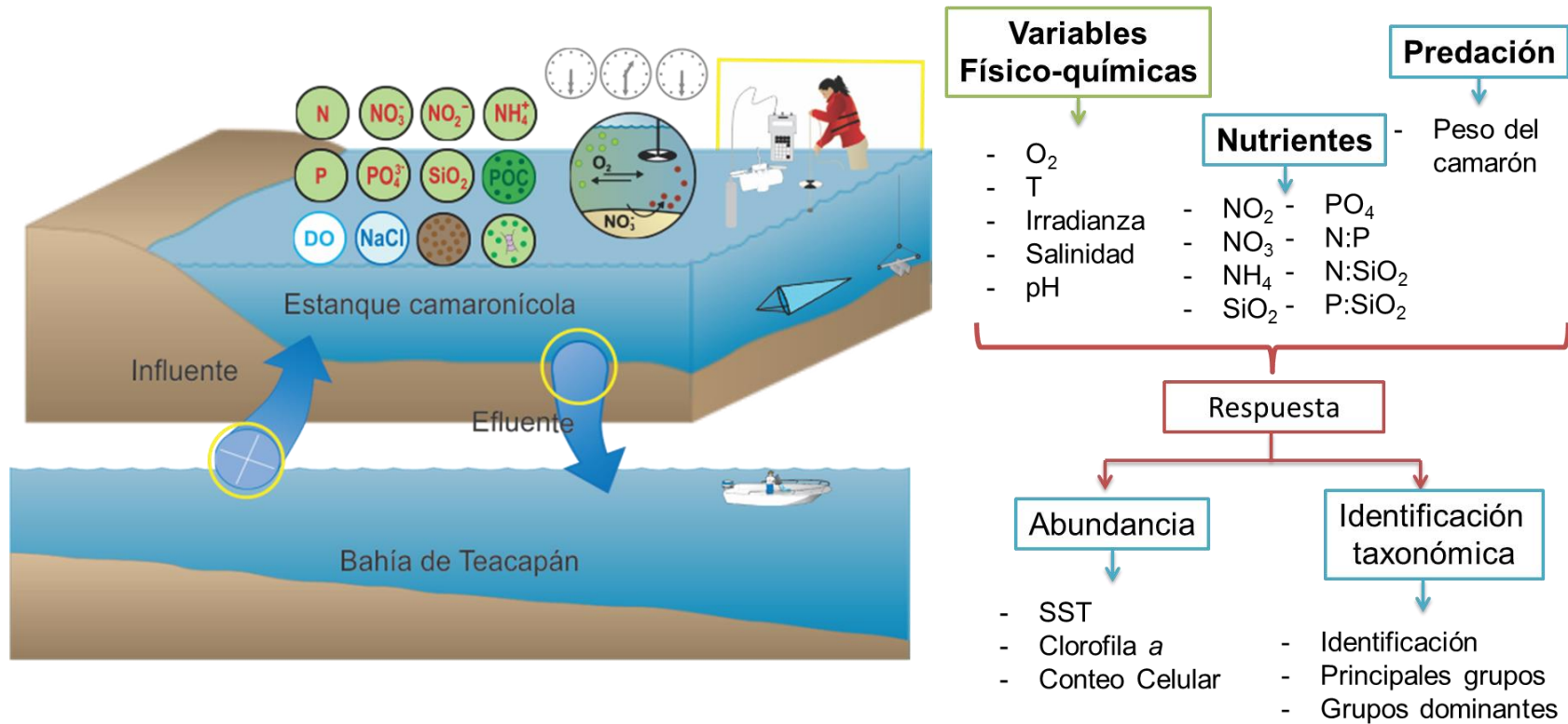


Figura 3. Esquema representativo de la estrategia de estudio, indicando los sitios de prueba y control, y una sinopsis de las variables predictoras y las respuestas medidas.

Tabla 2. Técnicas empleadas para el análisis de las variables físico-químicas.

| Análisis | Técnica | Bibliografía |
|--|--|-------------------------------|
| <i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i> | Se determinaron por diferencia entre el peso inicial y final del filtro de fibra de vidrio dividido entre el volumen de filtración de la muestra. Para el filtrado del agua se utilizaron filtros de 0.45µm, previamente secados en estufa a 55°C y pesados en una balanza analítica. Se filtraron determinados volúmenes de agua para cada filtro, dependiendo del sitio de muestreo hasta llegar a la saturación del mismo y agregando posteriormente entre 30 y 50 ml de agua destilada para remover las sales retenidas. Posteriormente se secaron las muestras en estufa y se obtuvo el peso final. | APHA-AWWA-WPCF (1989). |
| <i>Clorofila a (Chl a)</i> | Primero se efectuó una filtración de agua empleando una membrana de fibra de vidrio Whatman GF/F de 0.45 µm, con una bomba de vacío de cámara seca. La mitad de los filtros se trataron con 10 ml de solución de acetona al 90% para después medir la absorbancia en el espectrofotómetro a longitudes de onda 630, 647, 664 y 750 nm. | Parsons <i>et al.</i> (1984). |

| | | |
|---|---|---------------------------------|
| <i>Amonio total</i> (<i>N-NH₃/NH₄⁺</i>) | La concentración en muestras filtradas de agua, se determinó mediante la reacción con fenol e hipoclorito de sodio para producir el azul de indofenol, cuyo valor de absorbancia se lee en el espectrofotómetro a 640 nm. | Solórzano y Sharp (1980). |
| <i>Nitritos</i> (<i>N-NO₂⁻</i>) | Se realizaron en muestras de agua filtrada donde los nitritos de la muestra reaccionan con el reactivo sulfanilamida y <i>N</i> -1naftil-etildiamina, la cual forma un azo compuesto cuya absorbancia se lee a 543 nm en el espectrofotómetro. | Strickland y Parsons (1972). |
| <i>Nitratos</i> (<i>N-NO₃⁻</i>) | Se realizaron en muestras de agua filtrada mediante la reducción cuantitativa de nitratos a nitritos usando una columna de cadmio, en presencia de cloruro de amonio el cual produce un efecto buffer en la disolución y forma un complejo con el cadmio. | Strickland y Parsons (1972). |
| <i>Nitrógeno Total</i> (<i>NT</i>) y <i>nitrógeno disuelto total</i> (<i>NDT</i>) | Se obtuvieron muestras de agua sin filtrar y filtrada donde los compuestos orgánicos y amoniacaes se oxidaron a nitratos bajo presión con persulfato de potasio en una solución alcalina. Después de la oxidación los nitratos se redujeron a nitritos con una columna de Cd y finalmente se determinaron por medio de colorimetría. La concentración | Grasshoff <i>et al.</i> (1983). |

se midió por la absorbancia del complejo a la longitud de onda máxima de 543 nm.

Nitrógeno inorgánico orgánico disuelto (NID y NOD) El NID se determinó mediante la suma de la concentración de amonio, nitritos y nitratos. En tanto que el NOD se determinó mediante la diferencia entre el NDT y el NID. Grasshoff *et al.* (1983).

Nitrógeno orgánico particulado (NOP) El NOP se determinó como la diferencia entre el NT y NDT, mediante la confirmación del análisis de un 10% de los filtros por analizador elemental C-N Carlo Erba en la Universidad de California en Davis, CA. Barrie y Prosser (1996).

Fósforo (P-PO₄³⁺) Se realizaron en muestras filtradas y sin filtrar después de la digestión descrita para NT y NDT. En este método se agrega una disolución de molibdato de amonio en ácido sulfúrico y una disolución de ácido ascórbico a la disolución de la muestra. Normalmente la reducción es lenta, pero la adición de un catalizador, en este caso tartrato de antimonio hace que se lleve a cabo rápidamente la reducción, la cantidad de azul de molibdeno formado es proporcional a la concentración de Rosales-Hoz (1980).

fósforo como ortofosfatos presentes en la muestra.

Silicatos (SiO₃) El complejo del ácido β-silicomolibdico se redujo a un complejo azul intenso, con absorbancia máxima a 815 nm. Fanning y Pilson (1973).

VI.5. Análisis de variables de respuesta

VI.5.1. Análisis de clorofila

La clorofila *a* fue extraída del material particulado suspendido, en la porción del filtro congelado, lo cual se realizó mediante la adición de acetona al 90%, macerando, centrifugando y separando el sobrenadante del filtro para su análisis cuantitativo en un espectrofotómetro UV-Visible (Grasshoff *et al.*, 1983) (anteriormente descrito en la Tabla 2).

VI.5.2. Análisis del fitoplancton: composición y abundancia

El conteo e identificación del fitoplancton se realizó empleando un microscopio óptico invertido Leica con cámara fotográfica acoplada y equipado con condensador de apertura numérica (AN) ≥ 0.5 y objetivos con $AN \geq 0.9$. El ocular cuenta con un micrómetro calibrado y con una retícula de recuento Neubauer. Para el análisis detallado en la identificación de ciertos grupos taxonómicos se empleó un microscopio equipado con contraste de fases.

Los conteos de células fueron transformados a logaritmo base 10. Para el análisis cuantitativo del fitoplancton se tomó una alícuota de 1 ml de las muestras fijadas en solución de Lugol, previamente homogenizada (1-3 minutos de suaves giros verticales y horizontales), y se colocó 1 μL en una cámara de recuento de Neubauer (UNE-EN 15204, 2007). Previo al conteo, se realizó una pre-visualización para enlistar los taxones presentes en la muestra y tener una visión general de la densidad del fitoplancton. Después de realizar el inventario de los taxones se procedió al recuento de los individuos (especies o géneros) presentes de cada taxón. Para el recuento del fitoplancton se realizó en un barrido del área total de la cámara, a 200-400x. Para el cálculo de la concentración de fitoplancton se empleó la siguiente fórmula:

$$N = X \left[\frac{(A)(d)}{(a)(v)} \right]$$

Donde N es el número de células en la muestra (células/mL), X el número medio de células por campo (o número total de células en la cámara), A el área de la cámara, v el volumen de la cámara, a el área del campo óptico o cuadrícula y d el factor de dilución de la muestra en caso necesario.

Para la identificación de los taxones se utilizaron claves y guías así como literatura más específica tratando aspectos taxonómicos de manera más detallada (p.ej. descripciones originales de especies o revisiones a nivel genérico). Tales como el manual de identificación de fitoplancton (Verlencar & Desai, 2004) y el Catálogo de Microalgas de las Lagunas Costeras de Sinaloa (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2009). Sobre la base de estas fuentes de información se identificaron los organismos hasta el nivel taxonómico más bajo que nos fue posible. Las fotografías se compararon con dibujos e imágenes del material bibliográfico, comprobando con las descripciones de las especies y la información ecológica (distribución, hábitat y requerimientos relacionados con su establecimiento).

VI.5.3. Crecimiento de la biomasa de camarón

Para el análisis del crecimiento del camarón se midió en los tres estanques, los cuales se dividieron cada uno en cuatro cuadrantes y se realizaron lances en cada cuadrante del estanque. El tamaño de la malla varió de acuerdo a la talla del camarón, posteriormente se seleccionaron 100 individuos los cuales se sometieron a análisis biométricos. El peso del camarón fue medido en una balanza semi-analítica (± 0.1 mg). Al final de los experimentos los camarones se cosecharon, se contaron y se analizaron para características biométricas.

La biomasa del camarón fue estimada en el peso promedio de los 100 individuos seleccionados al azar. Para calcular el peso del camarón en los días de la semana en que no se midió fue necesario aplicar el modelo de crecimiento

individual de Von Bertalanffy (1934), el modelo matemático expresa la talla o peso, P , como una función a la edad del camarón, t :

$$P(t) = P_{\infty} * [1 - e^{-k(t-t_0)}]^3$$

La edad del camarón al inicio, es decir, 20 días (PL's 20), se ingresa a la ecuación como k , y t_0 sería el día 1 en que se inició la medición, y el valor de t se reemplaza por la edad deseada. Cada uno de estos valores se fue ajustando con las mediciones realizadas semanalmente.

VI.6. Procesamiento de datos

En este estudio, se generaron una enorme cantidad de datos como resultado del gran número de variables estudiadas y de la alta resolución del estudio. Se realizaron 8 periodos de experimentación durante 160 días: 74 días en la temporada primavera divididos en 5 periodos (A al E) y 92 días en la temporada de verano-otoño divididos en 3 periodos (F, G y H). En cada día de estudio se realizaron tres muestreos diurnos. Para el análisis de los periodos de prueba se utilizaron los tres estanques (muestreados *in situ*) y el sitio control fue la bahía de Teacapán (como se mencionó anteriormente, el análisis de los tres estanques se realizó con datos de Chl *a* y SST, mientras que el análisis de la estructura fitoplanctónica se realizó solamente en el estanque dos). En el caso de las muestras fitoplanctónicas (del estanque dos como en la bahía de Teacapán, tomadas a mediodía) se analizaron con los datos medio-ambientales y de nutrientes correspondientes a mediodía.

Primeramente se aplicaron pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianza a los datos de las variables predictoras y de respuesta. Para ello, se utilizaron las pruebas de Lilliefors y de Bartlett, respectivamente (Zar, 1984). Posteriormente realizamos un comparativo de las variables medidas a las tres horas del día, y entre estanques (triplicados) para la misma hora del día para las muestras de Chl *a* y de SST. Asimismo entre las tres horas del día para los datos

de Chl *a* y SST de la bahía de Teacapán tomada como el control del estudio. Para esta comparación se utilizó la prueba Tukey-Kramer HSD (Honestly Significant Difference).

Para establecer diferencias entre periodos de experimentación, se realizó una prueba de comparaciones múltiples de cada una de las variables predictoras y de respuesta. Para esta comparación se utilizó la prueba Tukey-Kramer HSD.

Se probaron correlaciones múltiples y análisis de regresión lineal de las variables de respuestas en función de las variables predictoras. Antes de los análisis se aplicó un Draftman plot a las variables físico-químicas para identificar aquellas que estaban fuertemente correlacionadas y que proveen información redundante. Esto con el fin de eliminar las variables redundantes ($p > 0.75$).

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para conocer cuáles eran los parámetros físicos y químicos que causan variabilidad y su importancia en nuestros datos. Para realizar este análisis los datos se normalizaron por transformación a logaritmo natural y se realizó una matriz de distancias Euclidianas.

Un diseño ANOVA factorial de dos vías fue usado para evaluar la heterogeneidad de la productividad primaria, en términos de concentración de clorofila *a*. Para este análisis se consideraron dos variables independientes o factores: Tratamiento (con dos niveles categóricos control y prueba), y temporada categorizado en primavera (P) y verano-otoño (VO). Los efectos del tipo de condición fueron anidados para prueba (tres estanques) y los de época en primavera (cinco periodos) y verano-otoño (tres periodos). Los modelos obtenidos fueron basados en la inclusión de los efectos principales de cada factor, para lo cual se incluyó condiciones ambientales (T, I, S, y/o pH), nutrientes (NH₄, NO₂, NO₃, SiO₂ y PO₄) y sus relaciones elementales (N:PO₄, P:SiO₂ y N:SiO₂) y la predación como factores principales que influyen sobre la productividad primaria en términos de clorofila *a*. Se corrió otro modelo de igual manera pero en este

caso para el estanque dos donde se evaluó el conteo de células fitoplanctónicas. Los modelos se corrieron bajo la personalidad de mínimos cuadrados estándares y con apalancamiento de los efectos, separando por control-prueba, por temporada y/o por periodo de experimentación. En todos los casos el nivel de significancia de la probabilidad (p) fue de 0.05.

Además se estudiaron las respuestas de los grupos de fitoplancton mediante un análisis multivariante de distancia para un modelo lineal usando selección aditiva. Este análisis realiza una regresión múltiple multivariante en base a una medida de distancia dada, que resulta en una selección aditiva de los conjuntos de variables predictivas con pruebas de permutaciones aleatorias (DISTLM, Distance-based multivariate multiple regression based on a linear model: McArdle and Anderson, 2001). El modelo de regresión se realizó para el estanque dos y el control sin considerar la temporada, usando matrices de distancia (Bray-Curtis), para ello se utilizó un procedimiento por permutaciones usando el criterio de información de Akaike (AIC).

Debido a las limitaciones para la identificación del fitoplancton a nivel de especie, los organismos fueron clasificados en grandes grupos tales como: Cianobacterias, Ciliados, Crisófitas, Diatomeas (central y pennada), Dinoflagelados (desnudo y tecado), Prasinoficeas, Rafidoficeas y Silicoflagelados. La biodiversidad específica y la homogeneidad entre los principales grupos fitoplanctónicos del control y la prueba para cada periodo de experimentación, fue examinada mediante los índices de diversidad de Shannon y de Pielou, respectivamente. Además, se aplicó un PERMANOVA para analizar la variabilidad de la abundancia y la composición de los grupos y especies fitoplanctónicas entre prueba y control (estanque y bahía) y temporada (P y VO) (Anderson, 2001). Para esto se utilizó la misma matriz de similitud por Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957). El valor de significancia se fijó en $p=0.05$ y los p -value se obtuvieron utilizando 9999 permutaciones.

El procesamiento de datos y los análisis estadísticos se realizaron con el software Excel 2011 (Microsoft Inc.), JMP 12.0 (SAS Institute Inc.) y con PRIMER 6.0 + PERMANOVA (PRIMER-E Ltd).

VII. RESULTADOS

VII. 1. Condiciones ambientales de experimentación

Los resultados de las variaciones en las condiciones ambientales día por día para cada corrida experimental se presentan en el Anexo III, en tanto que los promedios para cada experimento en el Anexo IV. La Tabla 3 presenta un resumen estadístico de las condiciones ambientales entre los estanques (prueba) y el control (bahía de Teacapán) para cada corrida experimental. La Tabla 4 presenta un resumen de las diferencias en las variables medio-ambientales entre la bahía de Teacapán (el control) y los estanques de prueba. Los resultados relevantes de cada variable se describen a continuación.

VII.1.1. Irradianza

En el periodo en que se realizó la investigación, la irradianza (I) varió desde 0.73 hasta 0.97 a lo largo de los días del año (Anexo V: Fig. a). Los valores más altos se presentaron durante el verano con valores cercanos a 1.0. En la primavera (P) el promedio fue de 0.903 ± 0.072 , con un valor mínimo de 0.74 en primavera (periodo E) y máximo de 0.96 presente todos los periodos excepto en el A (0.95 en la prueba). Para el verano-otoño (VO) se tuvo una mayor variación, desde un máximo de 0.97 a mediados del verano (periodo F) hasta 0.73 (periodo H), promediando 0.88 ± 0.076 . La irradianza fue la misma para la bahía de Teacapán (control) que para los estanques (prueba). Por supuesto, la irradianza presenta una mayor variabilidad diurna, por lo que estos valores fueron tomados a la misma hora del día.

VII.1.2. Temperatura

A diferencia de la irradianza, la temperatura fue medida tanto en el agua de los estanques de prueba como en la bahía de Teacapán (control) a tres horas del día. Los cambios de temperatura entre el agua de la Bahía de Teacapán y la de los estanques fue de aproximadamente 4°C en VO y de 2°C en P, mayor en el estanque que en la bahía ($p>0.0001$). La temperatura en primavera en la bahía de Teacapán varió desde 19.5°C, hasta un máximo de 30.4°C, ambas temperaturas se encontraron en el periodo A, en la prueba se presentó un mínimo de 22.1°C (periodo B) y un máximo de 32.5 (periodo C). Para la temporada verano-otoño en la bahía de Teacapán la temperatura mínima fue de 29.7°C hasta 32.3 ambas en el periodo H, en la prueba se presentaron tanto la temperatura mínima como máxima en el periodo H las cuales fueron de 26.9 y 36.9°C, respectivamente. No se encontraron diferencias entre estanques ($p<0.01$). En el Anexo V: Fig. c, se presenta las variaciones de la temperatura en los estanques para las tres horas del día, durante los días de experimentación en ambas temporadas. Se puede observar diferencias entre horas del día ($p<0.001$), siendo siempre más bajas por la mañana y más altas por la tarde. Esto ocurrió para los tres estanques en ambas temporadas. A pesar de esta variabilidad diurna, los datos fueron agrupados como promedios diurnos tanto para la prueba como para el control.

En general, se observó una tendencia a la alza desde primavera a verano (días 97 al 220) y, posteriormente un descenso hacia otoño (días 220 al 310) (Anexo V: Fig. b). Las temperaturas de experimentación más altas fueron en VO, con una diferencia promedio de 5-6°C respecto a la de primavera.

Tabla 3. Resumen de las condiciones ambientales en la prueba y el control de las variables ambientales conservativas.

| Variable | Periodo A | | Periodo B | | Periodo C | | Periodo D | | Periodo E | | Periodo F | | Periodo G | | Periodo H | | |
|-------------------|--------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-------|
| | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | |
| T (°C) | Media | 25.97 | 27.10 | 24.78 | 28.08 | 25.93 | 28.25 | 25.97 | 28.52 | 28.78 | 29.52 | 31.16 | 32.39 | 31.13 | 31.85 | 30.94 | 31.34 |
| | DE | 0.73 | 0.35 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 0.34 | 0.00 | 0.15 | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.26 | 0.00 | 0.24 | 0.00 | 0.26 |
| | Mín. | 19.50 | 22.30 | 22.10 | 23.40 | 24.40 | 24.00 | 23.50 | 26.20 | 28.20 | 26.40 | 30.70 | 29.50 | 30.00 | 28.20 | 29.70 | 26.90 |
| | Máx. | 30.40 | 30.20 | 26.80 | 30.50 | 28.90 | 32.50 | 27.70 | 30.70 | 29.30 | 31.70 | 32.00 | 35.70 | 32.20 | 35.70 | 32.30 | 36.90 |
| Irradianza | Media | 0.95 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.93 | 0.93 | 0.83 | 0.82 |
| | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| | Mín. | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.93 | 0.74 | 0.95 | 0.95 | 0.91 | 0.90 | 0.74 | 0.73 |
| | Máx. | 0.96 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.95 | 0.95 | 0.93 | 0.93 |
| OD (mg/L) | Media | 6.64 | 7.32 | 6.54 | 7.47 | 6.30 | 6.39 | 6.55 | 6.12 | 7.23 | 6.18 | 6.08 | 6.95 | 5.67 | 6.96 | 6.16 | 6.64 |
| | DE | 0.00 | 0.41 | 0.00 | 0.58 | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.25 | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 0.42 | 0.00 | 0.44 | 0.00 | 0.67 |
| | Mín. | 3.60 | 4.00 | 3.00 | 3.10 | 4.40 | 2.90 | 3.80 | 3.10 | 6.50 | 2.70 | 5.10 | 3.00 | 3.90 | 2.70 | 3.00 | 1.80 |
| | Máx. | 8.50 | 11.40 | 8.80 | 14.90 | 7.40 | 11.50 | 7.30 | 10.10 | 7.80 | 12.30 | 7.20 | 11.70 | 6.80 | 14.40 | 7.90 | 15.80 |

VII. 1.3. Salinidad

La salinidad se incrementó gradualmente desde los primeros días de primavera (35 ups a inicios de marzo) hasta alcanzar máximos de 36.5-37.0 ups en los meses junio-julio (verano). Posteriormente, presentó una tendencia a disminuir en los meses de agosto a noviembre (verano-otoño) para alcanzar promedios de 34 ups. Se observa una ligera tendencia a disminuir en <2 ups durante los meses de septiembre a noviembre, relacionados con la temporada de lluvias. El rango de prueba de la salinidad fue muy estrecho, desde 33 a 36 ups. La diferencia entre la Bahía de Teacapán y al interior de los estanques fue de <0.5 ups en la primavera y hasta de 1 ups en el verano-otoño, siempre mayor en los estanques. Durante todos los periodos de experimentación, la salinidad mostró una variación que va desde 33.5 en el periodo H (día 296, septiembre) hasta 37 ups en el periodo D (día 139, abril) (Anexo V: Fig. d).

VII.1.4. Oxígeno disuelto

El OD en la Bahía de Teacapán presentó variaciones desde 3.0 a 8.8 mg/L, con un promedio de 6.9 ± 1.80 mg/L, en la primavera se presentaron concentraciones desde 3.0 hasta 8.8 mg/L (ambas en el periodo B), para la temporada VO se presentaron menores concentraciones desde 3.0 mg/L (periodo H) hasta 7.9 mg/L (periodo F). En los estanque se observó una enorme variabilidad, con máximos de hasta 15.8 mg/L y mínimos de 1.8 mg/L. En la primavera promedió 6.50 ± 2.01 mg/L, con máximos de 14.9 mg/L (periodo B) y mínimos de 2.70 mg/L (periodo E). En el verano-otoño promedió 6.47 ± 2.03 mg/L, con máximos de 15.8 y mínimos de 1.8 mg/L. En general se observan mayores concentraciones en primavera y menores en verano-otoño, pero sin ser significativamente diferentes. Tampoco se encontraron diferencias en la concentración de OD entre los estanques (prueba) ni con la Bahía de Teacapán (control). Por otro lado, cuando se analizan los datos para una sola temporada se observan diferencias significativas según la hora del día. Los valores más bajos se registraron por la mañana (1.8 a 9.2 mg/L), incrementándose por el mediodía (4 a 10 mg/L) y las mayores concentraciones por

la tarde-noche (3.5 a 15.8 mg/L). La variabilidad del oxígeno disuelto (OD) fue muy elevada, tanto en los estanques como en la Bahía de Teacapán (Anexo V: Fig. 5), aunque sin ninguna tendencia con el tiempo. La alta variabilidad diurna del OD en los estanques y en la bahía de Teacapán resultó en un traslape de los niveles de oxígeno. A pesar de esta variabilidad diurna, los datos fueron agrupados como promedios diurnos tanto para la prueba como para el control.

VII. 1.5. pH

En la Bahía Teacapán el pH promedió 8.0 ± 0.1 . El pH en los estanques mostró una mayor variación desde 7.9 a 8.48 (Anexo V: Fig. 6), con un promedio para ambas temporadas de 8.2 ± 0.2 . Se observó una alta variabilidad en el transcurso del día al interior de los estanques, con valores en general más bajos por la mañana y más elevados por la tarde, aunque sin diferencias significativas.

VII.1.6. Movimiento del agua

En este trabajo procuramos mantener una velocidad baja pero constante de la masa de agua (Anexo V: Fig. 7), aun así se asume que tanto la velocidad de movimiento como la tasa de recambio de las masas de agua, son significativamente más elevadas en la Bahía de Teacapán (control) que en los estanques de prueba.

En general, las variables medio-ambientales que presentaron una tendencia a incrementarse en la prueba (estanques) fueron la temperatura y la salinidad, mientras que el movimiento del agua fue siempre menor en la prueba. El oxígeno disuelto fue similar tanto en el control como en la prueba excepto por E y G donde disminuyó en los estanques. El pH fue la única variable que permaneció sin cambios significativos (Tabla 4).

Tabla 4. Diferencias en las variables medio-ambientales entre la bahía de Teacapán (el control) y los estanques de prueba.

| Variable | Temporada P | | | | | Temporada VO | | |
|--------------------|-------------|---|---|---|---|--------------|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| Irradianza | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Temperatura | - | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | - | ▲ |
| Salinidad | - | - | - | - | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| pH | - | - | - | - | - | - | - | - |
| OD | - | - | - | - | ▼ | - | ▼ | - |
| Movimiento | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ | ▼ |

▲ indica un incremento de la variable en la prueba respecto al control. ▼ indica un decremento de la variable en la prueba respecto al control. – indica que no hubo cambio significativo de la variable en la prueba respecto al control.

VII.2. Concentraciones y proporciones elementales de los nutrientes en la experimentación

La Tabla 5 presenta las concentraciones de los nutrientes y de sus proporciones en ambas temporadas climáticas y para cada periodo de experimentación. En lo que respecta a las formas químicas del N en la bahía de Teacapán (control), los valores promedio de amonio variaron desde 1.16 hasta 4.2 μM . Las formas oxidadas del N, variaron desde 0.01 a 0.64 μM para nitritos, y de 0.21 a 2.24 μM para nitratos. Esto dio como resultado una concentración del DIN que varió desde 1.5 a 5.36 μM . Por otro lado, la fracción orgánica disuelta del N (NOD) varió desde 24.6 a 76.1 μM , y la orgánica particulada NOP de 7.6 a 35.2 μM . El NDT varió desde 26 a 79.6 μM . La carga de N total varió desde 16.3 a 102.2 μM en las aguas de la bahía de Teacapán. En general, las concentraciones más bajas de NT y de NOD y NOP se encontraron en la temporada VO. En cambios las formas químicas del NID no muestran ninguna tendencia.

Respecto al P total en las aguas de la bahía de Teacapán, varió desde niveles <2 μM hasta un máximo de 20 μM , con un promedio global de 6.25 μM . El P disuelto

fue de niveles <L.D. hasta máximos de 2.9 μM , promedios de 0.1-0.5 μM . Cabe mencionar que durante las primeras semanas de experimentación de la temporada de primavera, los niveles de P disuelto fueron muy bajos, incluso por debajo del L.D. Los niveles de P se incrementaron ligeramente a partir de la cuarta semana de experimentación hasta alcanzar sus valores máximos por la semana 13. Esto puede estar relacionado con la descarga de efluentes enriquecidos en P de la granja, principalmente durante la noche, los cuales se van incrementando conforme avanza el ciclo. Los silicatos en la bahía de Teacapán presentaron una variación desde 3.8 hasta 16.4 μM , con un promedio general de 8.5 μM . Las menores concentraciones se encontraron en la primavera y máximas en el verano-otoño, probablemente relacionados con las lluvias que se presentan durante esta temporada.

Las relaciones elementales presentes en las aguas de la bahía de Teacapán mostraron diferentes rangos de variación. La proporción elemental que presentó el mayor rango de variación fue la relación N:P variando desde 14.91 hasta 477.71 en el control, mientras que en la prueba varió de 31.06 a 630.81. La proporción elemental Si:P tuvo una menor variación, desde 1.46 hasta 14.27 en el control y de 4.62 a 13.61 en la prueba. Por último, la relación N:Si presentó valores promedio de 6.48 a 36.49 en el control y de 6.61 a 176.20 en la prueba (Tabla 5).

En la Tabla 5 también se resumen las concentraciones de los nutrientes y sus proporciones elementales en los estanques de prueba para cada periodo de experimentación durante las dos temporadas climáticas (primavera y verano-otoño). En la mayoría de los casos, los niveles de nutrientes fueron elevados significativamente.

El amonio varió desde la misma concentración a 6 veces más. La concentración de amonio se incrementó en la prueba con respecto del control en la mayoría de los periodos de experimentación, excepto para el periodo C y D de la temporada P donde se mantuvieron las mismas concentraciones. El NO_x (la suma de $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$)

se incrementó en la prueba en la mayoría de los periodos, excepto para el período A, B y H en los cuales no hubo cambios. Aunque en el periodo A los niveles de NO_x resultaron ser más bajos en la prueba que en control. El NDT y NOD fueron desde la misma concentración hasta 4 veces más en la prueba, y las formas oxidadas de N tales como los nitritos y nitratos desde cerca la misma cantidad hasta 6 y 11 veces más, respectivamente. El NOP de 2.2 a 8.5 veces mayor en la prueba que el control, se observó poca variabilidad en las concentraciones de NOD y NOP en la prueba (estanques). Los niveles de concentración de NT fueron desde 2 a 11 veces mayores en los estanques de prueba que en el control.

El P fue desde la misma concentración hasta 7 veces más en la prueba que en el control. El PO_4 se incrementó su concentración en los periodos B, C, D y E de la temporada P y en el periodo B de la temporada VO, en el resto de los periodos mantuvimos las mismas concentraciones entre control y prueba. Los silicatos de la misma concentración hasta 9.3 veces. Los SiO_2 se incrementaron en los periodos A, B, C y D de la temporada P, en tanto que todos los periodos de experimentación de la temporada VO no hubo cambios entre control y prueba.

Debido a las adiciones de nutrientes, las relaciones elementales fueron drásticamente modificadas, habiendo incrementos y disminuciones entre el control y la prueba. Por ejemplo, el N:P varió desde relaciones más altas en el control (e.g. N:P~195) a más bajas en la prueba (~86). Esto debido al incremento de P. La relación N:Si varió de 1.75-14.3 en el control a proporciones de 4.6 a 13.6 en la prueba. Las proporciones se disminuyeron a la mitad y se incrementaron hasta en 5 veces. La relación Si:P varió desde 6.5 a 36.5 en el control y de 6.6 a 176 en la prueba. Los cambios en la relación Si:P fueron desde una quinta parte hasta 6 veces más en el la prueba en relación al control.

Tabla 5. Resumen de las concentraciones de N (en sus diferentes formas químicas), P y Si para cada periodo de experimentación llevado a cabo en las dos temporadas climáticas, primavera y verano-otoño.

| Variable (μM) | | Periodo A | | Periodo B | | Periodo C | | Periodo D | | Periodo E | | Periodo F | | Periodo G | | Periodo H | |
|----------------------------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba |
| NH ₄ | Media | 1.23 | 4.65 | 1.16 | 4.31 | 3.20 | 2.56 | 4.20 | 5.97 | 1.64 | 2.99 | 1.62 | 9.76 | 2.97 | 10.03 | 1.36 | 7.41 |
| | DE | 0.32 | 2.02 | 0.63 | 3.17 | 1.22 | 0.89 | 3.80 | 3.16 | 0.16 | 3.00 | 0.76 | 9.72 | 0.74 | 8.27 | 0.92 | 4.76 |
| | Mín. | 0.30 | 1.00 | 0.20 | 0.02 | 0.37 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.38 | 0.06 | 0.07 | 0.12 | 0.21 | 0.02 | 0.05 | 0.03 |
| | Máx. | 3.87 | 37.97 | 4.20 | 56.38 | 10.80 | 14.13 | 27.79 | 43.16 | 5.04 | 31.17 | 6.97 | 102.81 | 6.99 | 148.02 | 6.96 | 80.77 |
| NO ₂ | Media | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.07 | 0.05 | 0.21 | 0.64 | 0.32 | 0.25 | 0.24 |
| | DE | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.09 | 0.02 | 0.09 | 0.27 | 0.13 | 0.15 | 0.13 |
| | Mín. | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| | Máx. | 0.10 | 0.14 | 0.09 | 0.12 | 0.08 | 0.18 | 0.07 | 0.12 | 0.05 | 0.77 | 0.18 | 1.30 | 2.84 | 2.00 | 1.69 | 1.98 |
| NO ₃ | Media | 2.24 | 1.64 | 1.17 | 1.07 | 0.47 | 0.80 | 0.24 | 0.56 | 0.75 | 1.63 | 0.21 | 2.31 | 1.79 | 3.70 | 0.84 | 1.45 |
| | DE | 0.64 | 0.39 | 0.18 | 0.37 | 0.24 | 0.24 | 0.06 | 0.27 | 0.04 | 0.59 | 0.08 | 1.54 | 0.49 | 2.44 | 0.74 | 1.38 |
| | Mín. | 0.70 | 0.50 | 0.12 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.19 | 0.04 | 0.05 | 0.01 | 0.08 | 0.07 | 0.04 | 0.07 |
| | Máx. | 7.81 | 6.35 | 2.07 | 5.40 | 1.76 | 3.97 | 0.87 | 5.48 | 1.63 | 4.83 | 0.96 | 21.72 | 9.01 | 38.71 | 6.42 | 18.56 |
| NO _x | Media | 2.26 | 1.67 | 1.16 | 1.11 | 0.48 | 0.83 | 0.26 | 0.59 | 0.75 | 1.71 | 0.24 | 2.52 | 2.37 | 4.02 | 1.03 | 1.66 |
| | DE | 0.64 | 0.39 | 0.22 | 0.37 | 0.25 | 0.25 | 0.06 | 0.27 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 1.58 | 0.47 | 2.48 | 0.86 | 1.46 |
| | Mín. | 0.71 | 0.51 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.20 | 0.21 | 0.09 | 0.02 | 0.14 | 0.10 | 0.05 | 0.07 |
| | Máx. | 7.83 | 6.38 | 2.07 | 5.41 | 1.84 | 3.99 | 0.92 | 5.53 | 1.63 | 4.96 | 1.02 | 22.25 | 7.19 | 39.50 | 8.11 | 19.99 |
| NID | Media | 3.49 | 6.09 | 2.10 | 5.42 | 3.29 | 3.39 | 4.47 | 6.55 | 1.50 | 4.45 | 1.64 | 12.28 | 5.36 | 14.06 | 2.11 | 8.90 |
| | DE | 0.81 | 2.06 | 0.53 | 3.26 | 0.46 | 0.94 | 3.75 | 3.14 | 0.78 | 3.04 | 0.86 | 10.14 | 0.85 | 7.74 | 1.18 | 5.38 |
| | Mín. | 1.45 | 0.52 | 0.36 | 0.13 | 0.75 | 0.17 | 0.12 | 0.29 | 0.01 | 0.13 | 0.08 | 0.30 | 0.39 | 0.30 | 0.06 | 0.10 |
| | Máx. | 9.79 | 40.39 | 4.56 | 58.07 | 6.14 | 15.72 | 27.94 | 44.25 | 4.94 | 32.76 | 7.69 | 110.54 | 11.72 | 154.61 | 9.49 | 89.75 |

Tabla 5 (continuación). Resumen de las concentraciones de N (en sus diferentes formas químicas), P y Si para cada periodo de experimentación llevado a cabo en las dos temporadas climáticas, primavera y verano-otoño.

| Variable (μM) | Periodo A | | Periodo B | | Periodo C | | Periodo D | | Periodo E | | Periodo F | | Periodo G | | Periodo H | | |
|-------------------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|--------|
| | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | |
| NOD | Media | 76.12 | 108.86 | 72.99 | 102.91 | 66.16 | 104.77 | 72.77 | 86.08 | 64.58 | 111.1 | 24.59 | 96.97 | 26.87 | 96.81 | 35.07 | 103.96 |
| | DE | 16.09 | 22.89 | 11.25 | 31.28 | 10.51 | 24.37 | 8.14 | 11.03 | 5.06 | 47.01 | 7.45 | 13.71 | 13.79 | 8.97 | 11.76 | 14.73 |
| | Mín. | 32.00 | 22.75 | 4.94 | 12.60 | 16.24 | 27.27 | 41.50 | 19.62 | 34.76 | 24.92 | 0.56 | 10.17 | 3.78 | 13.28 | 2.17 | 20.84 |
| | Máx. | 165.8 | 312.4 | 183.4 | 326.6 | 108.4 | 378.8 | 123.2 | 200.6 | 98.93 | 506.5 | 64.8 | 206.3 | 148.0 | 229.7 | 156.0 | 281.1 |
| NDT | Media | 79.61 | 109.29 | 73.95 | 106.80 | 66.80 | 104.49 | 73.26 | 91.34 | 65.20 | 118.0 | 26.02 | 106.84 | 31.72 | 108.65 | 37.35 | 111.83 |
| | DE | 16.14 | 23.96 | 11.25 | 32.31 | 10.68 | 23.33 | 8.20 | 8.24 | 5.16 | 42.73 | 6.99 | 14.81 | 13.60 | 10.91 | 11.54 | 15.40 |
| | Mín. | 33.93 | 2.14 | 5.62 | 14.15 | 16.58 | 27.54 | 42.15 | 19.83 | 34.84 | 25.10 | 7.39 | 15.88 | 7.37 | 16.77 | 7.40 | 21.68 |
| | Máx. | 169.8 | 322.9 | 184.2 | 338.8 | 108.7 | 386.7 | 123.7 | 221.9 | 98.97 | 510.9 | 69.87 | 279.7 | 151.1 | 258.0 | 156.9 | 285.1 |
| NOP | Media | 28.84 | 84.66 | 28.06 | 61.13 | 32.65 | 87.59 | 26.84 | 83.65 | 35.19 | 135.1 | 7.61 | 61.80 | 8.50 | 70.20 | 9.32 | 79.50 |
| | DE | 9.45 | 41.52 | 12.44 | 30.79 | 18.65 | 36.45 | 8.97 | 37.92 | 7.20 | 47.49 | 2.03 | 7.63 | 1.38 | 15.48 | 3.52 | 34.59 |
| | Mín. | 9.00 | 10.45 | 0.41 | 0.65 | 1.62 | 1.06 | 0.81 | 1.30 | 2.03 | 9.50 | 2.44 | 11.86 | 2.20 | 8.93 | 2.51 | 5.36 |
| | Máx. | 84.44 | 480.5 | 126.6 | 340.8 | 142.5 | 492.1 | 58.04 | 469.2 | 109.6 | 321.9 | 19.21 | 142.2 | 21.38 | 257.60 | 22.64 | 885.81 |
| NT | Media | 102.2 | 171.4 | 99.69 | 191.5 | 98.1 | 191.0 | 95.6 | 184.5 | 98.1 | 197.1 | 16.29 | 181.1 | 28.48 | 186.61 | 33.08 | 186.24 |
| | DE | 19.26 | 36.81 | 14.74 | 75.64 | 18.47 | 70.58 | 10.93 | 39.24 | 5.61 | 81.08 | 7.80 | 22.65 | 14.0 | 56.31 | 16.84 | 84.09 |
| | Mín. | 33.93 | 2.14 | 47.43 | 47.83 | 46.61 | 43.77 | 52.30 | 42.15 | 40.12 | 56.76 | 0.11 | 18.56 | 1.69 | 0.26 | 0.16 | 0.26 |
| | Máx. | 212.9 | 611.2 | 185.4 | 751.2 | 196.4 | 816.1 | 137.1 | 907.0 | 158.6 | 611.6 | 71.27 | 330.6 | 151.1 | 1112.9 | 156.9 | 1529.4 |
| PO ₄ ³⁻ | Media | 2.3 | 2.5 | 2.9 | 4.4 | 0.9 | 3.1 | 1.0 | 2.7 | 0.4 | 2.7 | 0.05 | 0.6 | 2.3 | 2.2 | 1.7 | |
| | DE | 0.4 | 0.3 | 1.0 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 1.3 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 0.00 | 0.02 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 1.1 |
| | Mín. | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.9 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.00 | 0.01 | 0.5 | 0.0 | 0.9 | 0.0 |
| | Máx. | 5.6 | 5.7 | 9.0 | 8.6 | 2.0 | 7.0 | 11.3 | 6.4 | 0.7 | 6.2 | 0.00 | 0.40 | 0.8 | 11.2 | 4.2 | 27.2 |

Tabla 5 (continuación). Resumen de las concentraciones de N (en sus diferentes formas químicas), P y Si y de las relaciones elementales para cada periodo de experimentación llevado a cabo en las dos temporadas climáticas, primavera y verano-otoño.

| Variable (μM) | Periodo A | | Periodo B | | Periodo C | | Periodo D | | Periodo E | | Periodo F | | Periodo G | | Periodo H | | |
|----------------------------|--------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|--------|
| | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | |
| SiO₂ | Media | 4.4 | 14.0 | 5.8 | 11.2 | 4.2 | 9.7 | 4.8 | 9.1 | 3.8 | 4.8 | 16.4 | 23.9 | 14.9 | 16.9 | 14.5 | 18.4 |
| | DE | 0.8 | 6.7 | 0.7 | 4.7 | 0.6 | 2.7 | 2.2 | 3.2 | 0.3 | 2.6 | 3.6 | 13.5 | 1.2 | 7.8 | 0.7 | 10.1 |
| | Mín. | 1.4 | 1.7 | 2.0 | 1.4 | 2.0 | 1.1 | 1.7 | 1.1 | 2.6 | 1.4 | 6.0 | 0.3 | 8.2 | 2.0 | 6.3 | 2.1 |
| | Máx. | 11.3 | 113.2 | 8.3 | 55.8 | 8.5 | 44.9 | 17.7 | 48.0 | 4.9 | 19.5 | 38.7 | 166.9 | 21.4 | 144.9 | 19.1 | 76.6 |
| N:P | Media | 59.85 | 119.3 | 14.91 | 31.06 | 174.01 | 78.00 | 194.79 | 86.22 | 117.32 | 46.65 | | 92.71 | 477.71 | 630.81 | 60.56 | 133.0 |
| | DE | 34.84 | 103.9 | 14.89 | 126.36 | 139.13 | 161.39 | 111.30 | 53.41 | 60.87 | 16.71 | 0.00 | 148.42 | 0.00 | 3295.32 | 0.00 | 150.7 |
| | Mín. | 15.49 | 7.00 | 0.67 | 0.03 | 15.46 | 1.89 | 3.63 | 2.62 | 1.08 | 0.46 | 0.00 | 0.66 | 477.71 | 0.47 | 5.54 | 0.25 |
| | Máx. | 353.9 | 1736.2 | 124.7 | 2054.1 | 1017.6 | 1576.3 | 977.8 | 804.6 | 362.0 | 160.5 | 0.00 | 1379.9 | 477.7 | 41903.3 | 211.0 | 1795.0 |
| N:SiO₂ | Media | 8.87 | 6.41 | 3.78 | 6.03 | 8.77 | 4.62 | 14.27 | 13.61 | 3.93 | 10.96 | 1.75 | 8.78 | 3.92 | 8.44 | 1.46 | 5.09 |
| | DE | 2.68 | 3.82 | 1.26 | 3.71 | 2.78 | 2.34 | 11.62 | 11.01 | 1.78 | 2.05 | 0.39 | 15.09 | 0.90 | 3.54 | 0.30 | 4.57 |
| | Mín. | 1.93 | 0.44 | 1.02 | 0.23 | 1.01 | 0.08 | 0.36 | 0.25 | 0.03 | 0.83 | 0.03 | 0.36 | 0.53 | 0.29 | 0.08 | 0.33 |
| | Máx. | 30.44 | 62.68 | 9.65 | 63.87 | 30.70 | 29.07 | 97.70 | 152.03 | 11.76 | 33.89 | 9.02 | 268.67 | 13.09 | 56.88 | 8.51 | 42.84 |
| Si:P | Media | 7.51 | 24.17 | 6.48 | 10.09 | 29.61 | 176.20 | 20.42 | 12.10 | 29.30 | 6.61 | | 34.75 | 36.49 | 99.13 | 17.25 | 27.54 |
| | DE | 3.30 | 23.54 | 8.12 | 13.72 | 44.91 | 686.14 | 9.18 | 6.49 | 2.88 | 2.50 | 0.00 | 40.75 | 0.00 | 368.0 | 0.00 | 20.71 |
| | Mín. | 1.62 | 7.59 | 0.13 | 0.02 | 7.75 | 1.00 | 4.81 | 0.81 | 14.78 | 1.21 | 0.00 | 0.70 | 36.49 | 1.17 | 11.69 | 0.11 |
| | Máx. | 36.42 | 90.24 | 69.17 | 178.2 | 303.3 | 6678.5 | 76.30 | 108.5 | 38.47 | 22.71 | 0.00 | 543.6 | 36.49 | 5955.3 | 22.51 | 155.5 |

Debido a los cambios anteriormente descritos, las proporciones elementales variaron. En la Tabla 6 se muestran las diferencias de los nutrientes y sus proporciones elementales entre la bahía de Teacapán y los estanques de prueba. La relación N:P se incrementó en los periodos *A* y *B* y disminuyó en los periodos *C* y *D* de la temporada P. En el resto de los periodos no se tuvieron diferencias. La relación N:SiO₂ se incrementó en los periodos *B* y *E* de la temporada P y en los tres periodos de la temporada VO, y se disminuyó en el periodo *C* de la temporada P. Los periodos *A* y *B* no tuvieron cambios significativos. La relación Si:P se incrementó en los periodos *A* y *C* de la temporada P y periodos *B* y *C* de la temporada VO, y disminuyó en los periodos *D* y *E* de la temporada P.

Tabla 6. Diferencias en las concentraciones de los nutrientes y sus proporciones elementales entre la Bahía de Teacapán (el control) y los estanques de prueba.

| Variable | Temporada P | | | | | Temporada VO | | |
|--------------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|
| | <i>A</i> | <i>B</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>E</i> | <i>F</i> | <i>G</i> | <i>H</i> |
| NH₄ | ▲ | ▲ | - | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| NO_x | ▼ | - | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | - |
| PO₄ | - | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | - | ▲ | - |
| SiO₂ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | - | ▲ | - | - |
| N:P | ▲ | ▲ | ▼ | ▼ | ▼ | - | ▲ | ▲ |
| N:SiO₂ | - | ▲ | ▼ | - | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Si:P | ▲ | - | ▲ | ▼ | ▼ | - | ▲ | ▲ |

▲ indica un incremento de la variable en la prueba respecto al control. ▼ indica un decremento de la variable en la prueba respecto al control. – indica que no hubo cambio significativo de la variable en la prueba respecto al control.

VII.3. Comportamiento de las variables de respuesta: prueba vs control

En este estudio se probaron diferentes respuestas de la productividad primaria a los cambios de una serie de parámetros medioambientales y de calidad del agua (variables predictoras). Entre las variables de respuesta se incluyeron los sólidos suspendidos totales, la clorofila *a* y la composición y abundancia fitoplanctónica.

VII.3.1. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales en el agua de la Bahía de Teacapán registraron concentraciones promedio por periodo de <30 mg/L, variando desde 15.2 hasta 46.25 mg/L (Figura 4). Las menores concentraciones se registraron hacia la parte final de la primavera e inicios del verano (15-17 mg/L, periodos C y D) y las máximas a la mitad del verano (22-30 mg/L, periodos G y H), aunque sin diferencias significativas. Las concentraciones promedio de SST en las pruebas, variaron desde 41 a 153.4 mg/L. Los cuales fueron incrementándose desde el periodo A hasta el E, y después la tendencia fue a decrecer, pero con mayor variabilidad como se observa en los periodos F y H, teniéndose en estos periodos los mayores enriquecimientos. Comparativamente con los valores obtenidos en los estanques de pruebas, la mayoría de los niveles de SST en los estanques de prueba fueron significativamente mayores a los observados en el control. La excepción fue el primer periodo (A). En general, los SST en los estanques de prueba registraron valores desde 1.6 hasta 8.3 veces más altos que en el control.

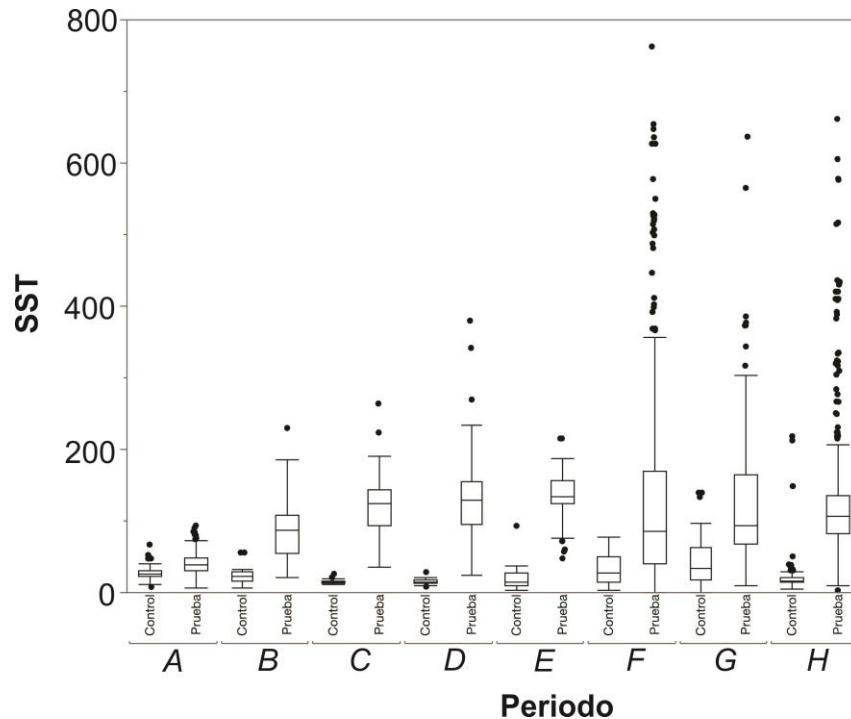


Figura 4. Comparativo de los SST entre el control y la prueba durante todos los periodos de las temporadas P (A, B, C, D y E) y VO (F, G y H).

VII.3.2. Clorofila a

La Figura 5 presenta las concentraciones de Chl a determinadas en el control y en la prueba para cada periodo de prueba durante la temporada de primavera y verano-otoño. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.0001$) en la concentración de Chl a en la bahía de Teacapán entre las temporadas de primavera (2.8 a 4.7 g/m^3) y de verano-otoño (6.2 a 9.5 mg/m^3). En los periodos realizados durante la primavera (A al E), las concentraciones en la prueba promediaron desde 7.3 hasta 61.1 mg/m^3 . A excepción del periodo A, en el resto de los periodos la concentración de Chl a fue significativamente mayor en los estanques de prueba que en el control ($p < 0.0001$). Se observó una clara tendencia a incrementarse los niveles de concentración de Chl a conforme se avanzó en los periodos de experimentación, especialmente en primavera (ej. periodo A con 22.6 mg/m^3 , periodo B con 55.6 mg/m^3 y periodo C con 107.6 mg/m^3). En los periodos de la temporada VO, siempre la prueba fue mayor al control. Sin embargo a pesar de que en la temporada VO se observó un

decremento en los valores promedio, la variabilidad fue muy alta alcanzando valores de hasta 255.77 mg/m³ (periodo H), lo que sugiere condiciones más favorables para el crecimiento del fitoplancton.

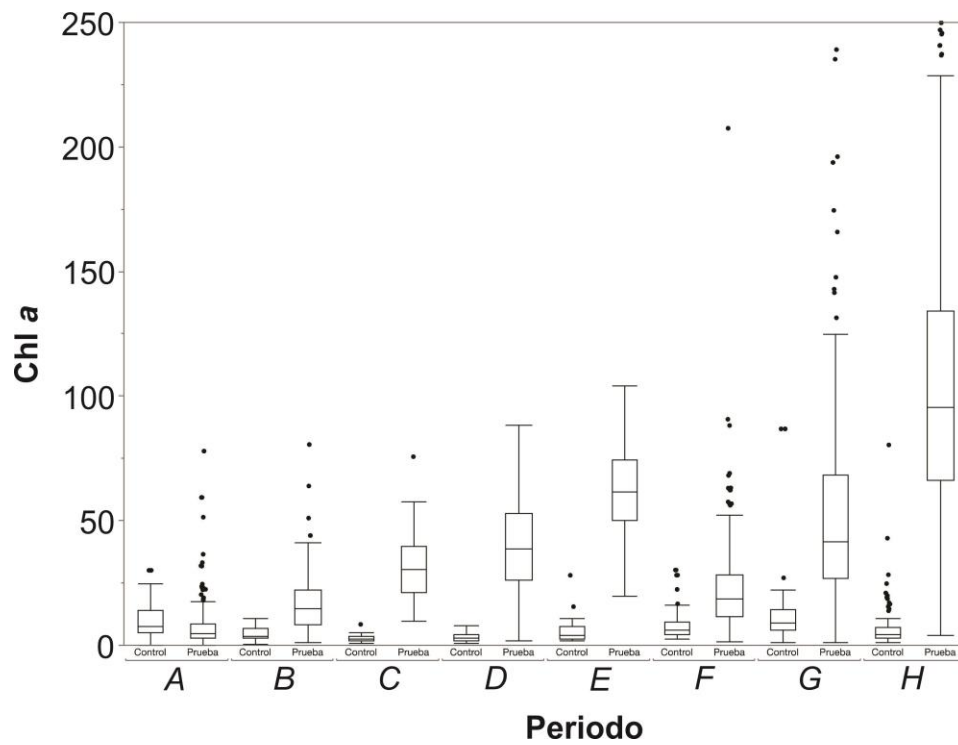


Figura 5. Comparativo de Clorofila a entre el control y la prueba durante todos los periodos de las temporadas P (A, B, C, D y E) y VO (F, G y H).

VII.3.3. Conteos fitoplanctónicos

Los conteos de células fitoplanctónicas en el agua de la Bahía de Teacapán variaron desde 3,000 hasta 650,000 células/L, incrementándose gradualmente desde el periodo A (en la primavera) al G (en el verano-otoño). Se observó una tendencia a incrementarse sustancialmente con el avance de los periodos de experimentos, menores conteos al inicio de la primavera y mayores al final del verano y principios del otoño.

En el estanque, los conteos variaron desde 2,000 células/L hasta un máximo de 78,000,000 células/L. Los conteos mínimos se tuvieron en los periodos A y B y los máximos en el periodo G y H (Figura 6). Excepto en los periodos A, B y C, donde los conteos en la prueba fueron iguales o incluso ligeramente menores al control, en el resto de los periodos los conteos en el estanque fueron significativamente mayores que en el control ($p < 0.05$). Los conteos en los periodos C al H fueron desde 4 hasta 117 veces mayores en la prueba que en el control.

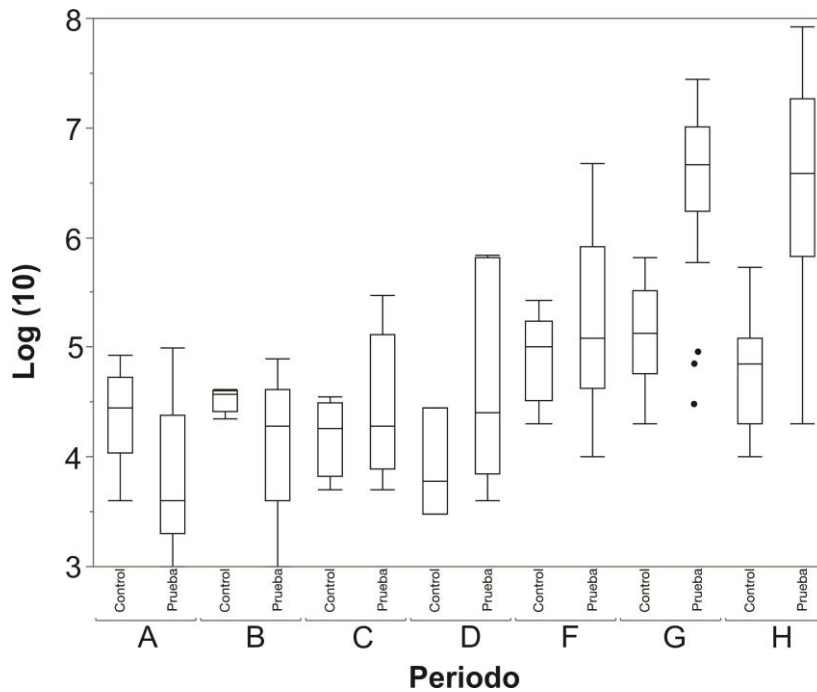


Figura 6. Comparativo del conteo celular entre el control y la prueba durante todos los periodos de las temporadas P (A, B, C y D) y VO (F, G y H).

VII.4. Relación entre las variables de respuesta

Con el propósito de evaluar la relación entre los SST con la clorofila *a*, ambas consideradas variables de respuesta, se realizó un análisis de regresión lineal entre ambas variables (Figura 7). Se puede observar que hay una asociación entre ambas variables ($\text{Chl } a = 12.92 + 0.338 \text{ SST}$), baja pero significativa ($R^2=0.2$). Se observa que las mediciones realizadas en los periodos G y H son los que presentan las mayores desviaciones, con valores de Chl *a* más altos respecto a los SST. Dado la baja correlación, se decidió no considerar a la carga de SST como indicador de la productividad primaria.

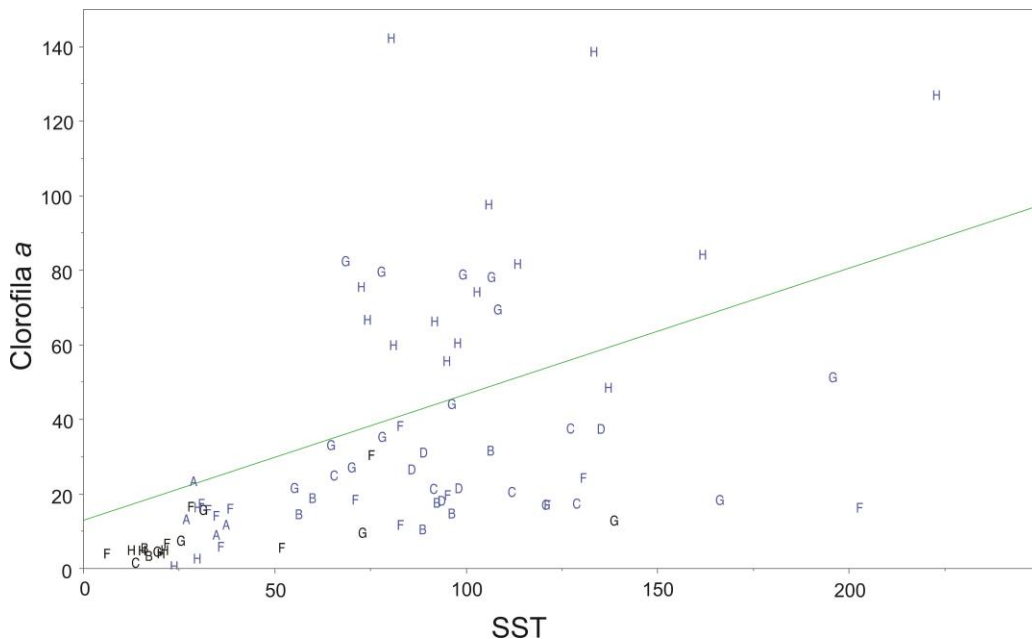


Figura 7. Relación entre las concentraciones de clorofila *a* y sólidos suspendidos totales, por periodos entre control (negro) y prueba (azul).

La relación clorofila *a* con el disco Secchi no fue significativa. Pero se puede observar que hay una relación inversa entre la Chl *a* y el DS, a mayor biomasa fitoplanctónica menor profundidad en el disco Secchi (Figura 8). La profundidad del DS fue siempre menor en el control que en la prueba. Dado que la correlación

no fue significativa, se decidió no considerar a la profundidad del disco Secchi como variable de respuesta.

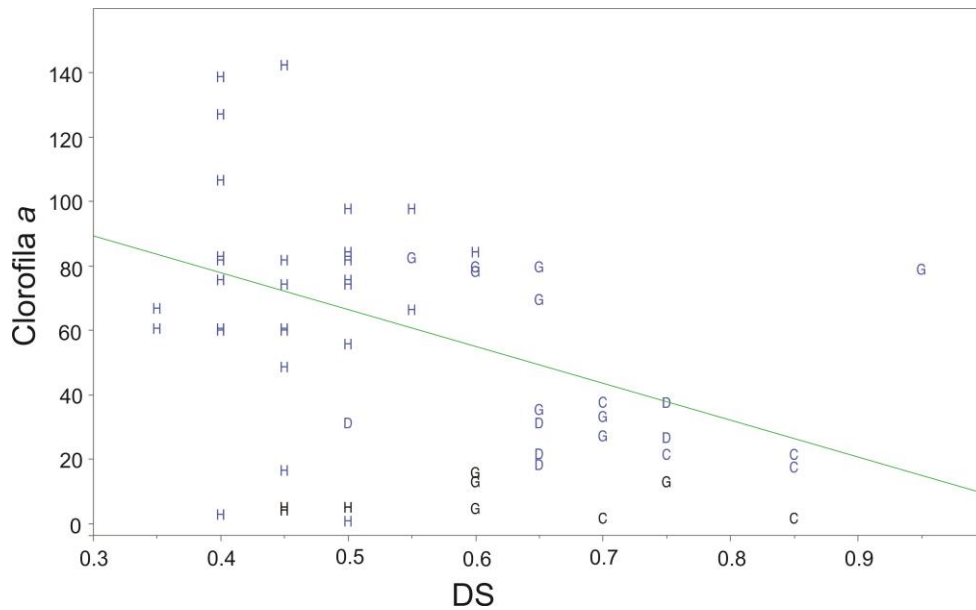


Figura 8. Relación entre las concentraciones de clorofila a y disco de Secchi, por periodos entre control (negro) y prueba (azul).

Se realizó un análisis de regresión lineal entre clorofila a y conteo celular (Figura 9). Se puede observar que hay una asociación entre ambas variables (Conteo celular= $4.74 + 0.012 \text{ Chl } a$), baja pero significativa ($R^2=0.16$). Al igual que la relación anterior los periodos G y H son los que presentaron las mayores desviaciones, con mayores concentraciones celulares respecto de las concentraciones de Chl a. A pesar de que la correlación no fue alta, estas dos variables resultaron significativas, por lo que estas se utilizaron como variables de respuesta.

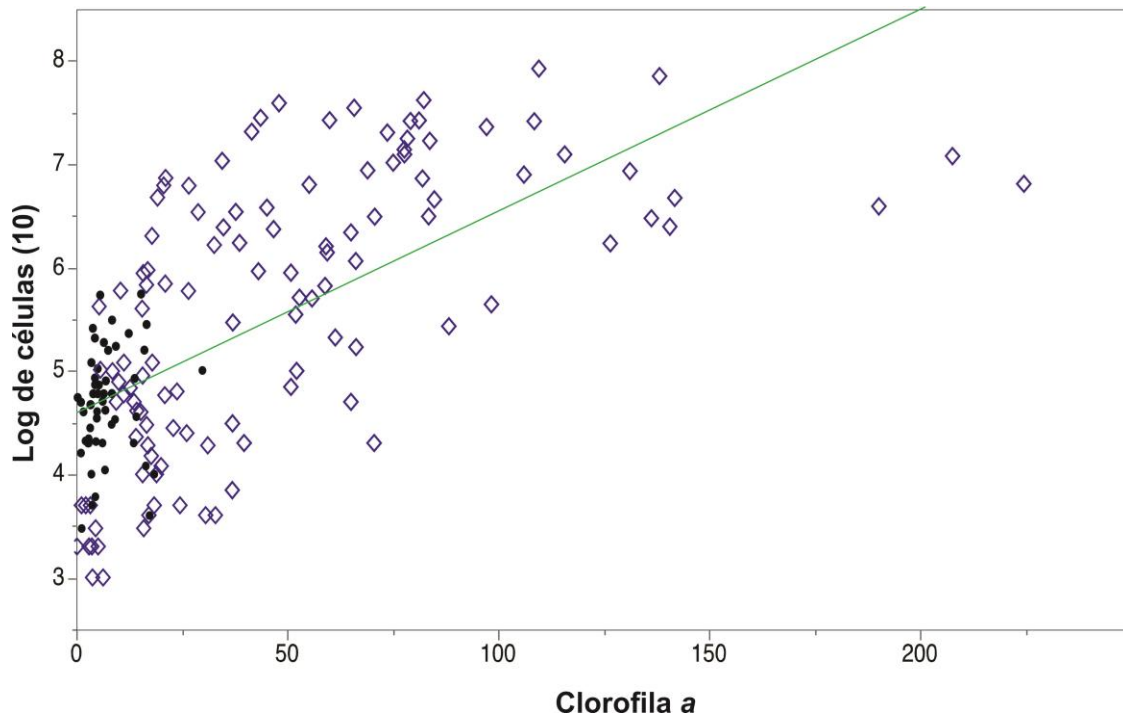


Figura 9. Relación entre el conteo celular y clorofila *a*, entre control (negro) y prueba (azul).

La Tabla 7 muestra las concentraciones celulares de cada grupo en cada uno de los periodos, se puede observar que los dinoflagelados tecados y las diatomeas centrales estuvieron presentes en todos los periodos tanto en primavera como en verano-otoño. No encontramos concentraciones celulares de los dinoflagelados desnudos en los periodos B, C y D tanto en prueba como en control, ni en el periodo A en la prueba. Las diatomeas pennadas estuvieron presentes en el control en los periodos A y C, mientras que en la temporada VO se presentaron en todos los periodos tanto en control como en prueba. Se encontraron concentraciones celulares de ciliados en los periodos A y C en la prueba y en los periodos F, G y H en control y prueba. Mientras que las cianobacterias estuvieron presentes en los periodos C y D en la prueba, en el periodo F en el control, en el periodo G en control y prueba y en el periodo H en la prueba, donde se presentó también el máximo conteo celular del estudio. Los silicoflagelados estuvieron presentes mayormente en el control en todos los periodos excepto por el H, además de encontrarse en el periodo A en la prueba. Los fitoflagelados estuvieron

presentes en el periodo F en la prueba y en los periodos G y H en control y prueba. Por último, las Prasinoficeas se encontraron solamente en la temporada VO, es decir, en los periodos F, G y H, tanto en control como en prueba.

Tabla 7. Concentración celular de cada periodo en el control y la prueba.

| Grupo fitoplanctónico (cel/L) | A | | B | | C | | D | | F | | G | | H | | |
|-------------------------------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|
| | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | |
| Dinoflagelado tecado | Media | 14,400 | 2,250 | 10,200 | 34,000 | 5,000 | 41,000 | 2,000 | 18,500 | 62,875 | 459,300 | 78,750 | 2,493,333.3 | 55,454.5 | 1,925,600 |
| | DE | 13,566.3 | 1,488.0 | 6,457.6 | 33,516.1 | 6,000 | 32,526.9 | 1,732.1 | 12,020.1 | 5,5424.2 | 666,355.2 | 79,899.5 | 4,702,582.1 | 61,703.1 | 1,809,127.1 |
| | Max. | 46,000 | 5,000 | 18,000 | 78,000 | 14,000 | 64,000 | 4,000 | 27,000 | 170,000 | 2,080,000 | 210,000 | 17,150,000 | 180,000 | 6,170,000 |
| | Min. | 1,000 | 1,000 | 3,000 | 2,000 | 2,000 | 18,000 | 1,000 | 10,000 | 10,000 | 23,000 | 10,000 | 100,000 | 10,000 | 50,000 |
| Dinoflagelado desnudo | Media | 4,000 | | | | | | | | 7,3333.3 | 88,000 | 207,500 | 9,886,833.3 | 111,250.0 | 6,890,650 |
| | DE | 4,242.6 | | | | | | | | 7,5718.8 | 163,920.7 | 124,465.5 | 8,878,157.1 | 139,840.5 | 913,8875.2 |
| | Max. | 7,000 | | | | | | | | 160,000 | 380,000 | 370,000 | 27,070,000 | 360,000 | 30,990,000 |
| | Min. | 1,000 | | | | | | | | 20,000 | 0 | 110,000 | 0 | 10,000 | 0 |
| Diatomea central | Media | 14,555.6 | 1,000 | 13,200 | 2,000 | 7,333.3 | 3,500 | 7,333.3 | 1,000 | 16,666.7 | 15,000 | 54,000 | 365,000 | 25,555.6 | 78,333.3 |
| | DE | 20,929.1 | 0 | 12,657.0 | 0 | 5,859.5 | 3,535.5 | 10,116.0 | 0 | 5,773.5 | 10,000 | 66,932.8 | 233,345.2 | 15,899.0 | 78,081.1 |
| | Max. | 64,000 | 1,000 | 30,000 | 2,000 | 14,000 | 6,000 | 19,000 | 1,000 | 20,000 | 30,000 | 170,000 | 530,000 | 50,000 | 220,000 |
| | Min. | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 2,000 | 3,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 200,000 | 10,000 | 10,000 |
| Diatomea pennada | Media | 2,666.7 | | 3,666.7 | 2,000 | 6,250 | | 3,000 | 2,000 | 25,000 | 5,000 | 25,000 | 32,857.1 | 17,142.9 | 24,285.7 |
| | DE | 2,081.7 | | 1,527.5 | 0 | 5,439.1 | | 0 | 0 | 21,213.2 | 7,071.06 | 7,071.1 | 24,299.7 | 14,960.3 | 29,358.2 |
| | Max. | 5,000 | | 5,000 | 2,000 | 14,000 | | 3,000 | 2,000 | 40,000 | 10,000 | 30,000 | 80,000 | 50,000 | 90,000 |
| | Min. | 1,000 | | 2,000 | 2,000 | 2,000 | | 3,000 | 2,000 | 10,000 | 0 | 20,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 |
| Ciliado | Media | | 1,000 | | | 53,500 | | | | 10,000 | 342,500 | 27,500 | 70,909.1 | 16,666.7 | 250,666.6 |
| | DE | | 0 | | | 67,175.1 | | | | 0.0 | 658,350.2 | 12,583.1 | 58,898.1 | 11,547.0 | 345,841.9 |
| | Max. | | 1,000 | | | 101,000 | | | | 10,000 | 1,330,000 | 40,000 | 180,000 | 30,000 | 1,400,000 |
| | Min. | | 1,000 | | | 6,000 | | | | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 |

Tabla 8(continuación). Concentración celular de cada periodo en el control y la prueba.

| Grupo fitoplanctónico (cel/L) | | A | | B | | C | | D | | F | | G | | H | |
|-------------------------------|-------|----------|--------|----------|--------|---------|--------|-----------|--------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| | | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba | Control | Prueba |
| Cianobacterias | Media | | | | | 128,000 | | 326,500 | | 10,000 | | 240,000 | 190,000 | | 15,169,857.1 |
| | DE | | | | | 0 | | 457,498.1 | | 0 | | 0 | 176,446.4 | | 26,027,615.5 |
| | Max. | | | | | 128,000 | | 650,000 | | 10,000 | | 240,000 | 450,000 | | 78,000,000 |
| | Min. | | | | | 128,000 | | 3,000 | | 10,000 | | 240,000 | 60,000 | | 10,000 |
| Silicoflagelados | Media | 12,500 | 1,500 | 8,400 | | 3,333.3 | | 1,500 | | 10,000 | | 10,000 | | | |
| | DE | 10,889.1 | 707.1 | 11,058.9 | | 1527.5 | | 707.1 | | 0 | | 0 | | | |
| | Max. | 28,000 | 2,000 | 28,000 | | 5000 | | 2,000 | | 10,000 | | 10,000 | | | |
| | Min. | 2,000 | 1,000 | 1,000 | | 2,000 | | 1,000 | | 10,000 | | 10,000 | | | |
| Fitoflagelado | Media | | | | | | | | | 10,000 | 13,333.3 | 90,000 | 80,000 | | 72,000 |
| | DE | | | | | | | | | 0 | 5,773.5 | 50,000 | 0.0 | | 63,007.9 |
| | Max. | | | | | | | | | 10,000 | 20,000 | 140,000 | 80,000 | | 180,000 |
| | Min. | | | | | | | | | 10,000 | 10,000 | 40,000 | 80,000 | | 20,000 |
| Prasinoficeas | Media | | | | | | | | | 30,000 | 10,000 | 583,333.3 | 90,000 | 145,000 | 72,000 |
| | DE | | | | | | | | | 0.0 | 0 | 485,214.7 | 50,000 | 134,350.3 | 63,007.9 |
| | Max. | | | | | | | | | 30,000 | 10,000 | 1,140,000 | 140,000 | 240,000 | 180,000 |
| | Min. | | | | | | | | | 30,000 | 10,000 | 250,000 | 40,000 | 50,000 | 20,000 |

La Tabla 8 muestra un resumen de la variación de los sólidos suspendidos totales, clorofila *a* y el conteo celular, en el control y la prueba. Se observa que en la mayoría de los periodos las variables de respuesta fueron mayores en la prueba que en el control. Por ejemplo, los SST incrementaron en todos los periodos de estudio en la prueba respecto al control. De igual manera, la clorofila *a* presentó incrementos significativos en la prueba, una excepción fue el periodo A, sin diferencias significativas entre control y prueba. Por otro lado, la variación del conteo celular fue muy diferente a los SST y la Chl *a*. En los periodos A y B hubo una disminución del conteo celular en la prueba respecto al control, en el periodo C no se presentaron diferencias, mientras que en el D se incrementó en la prueba. En los periodos de la temporada VO, hubo un incremento para los tres periodos en la prueba respecto al control.

Tabla 9. Diferencias en las concentraciones de las variables de respuesta entre la Bahía de Teacapán (el control) y los estanques de prueba.

| Variable | Temporada P | | | | | Temporada VO | | |
|-----------------------|-------------|---|---|---|---|--------------|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
| SST | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Chl a | - | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ |
| Conteo celular | ▼ | ▼ | - | ▲ | | ▲ | ▲ | ▲ |

▲ indica un incremento de la variable en la prueba respecto al control. ▼ indica un decremento de la variable en la prueba respecto al control. – indica que no hubo cambio significativo de la variable en la prueba respecto al control.

Dado que se observó una baja asociación entre SST y disco Secchi con el contenido de clorofila *a* y el conteo celular y que los cambios en estas primeras dos variables pueden estar relacionados no solo a la presencia de células fitoplanctónicas, sino también de todos los sólidos que se encuentren suspendidos en la columna de agua, tales variables fueron descartadas como variables indicadoras de productividad primaria. En lo sucesivo nos referiremos solo a la concentración de la clorofila *a* y al conteo celular como variables de respuesta.

VII.5. Composición fitoplanctónica

Las Tablas 9 y 10 presentan los datos de la composición fitoplanctónica observada en la bahía de Teacapán (control), para las temporadas primavera y verano, respectivamente, en tanto que la Tabla 11 y 12 para los estanque de prueba. En general, se identificaron 8 grupos fitoplanctónicos: Cianobacterias, Ciliados, Crisófitas, Diatomeas (central y pennada), Dinoflagelados (desnudo y tecado), Prasinoficeas, Rafidoficeas y Silicoflagelados, y se identificaron 74 especies de fitoplancton. Para el grupo de las Cianobacterias se encontraron 6 especies, 5 identificadas y una no identificada. Entre los Ciliados solo se presentaron 2 especies y una de ellas no fue identificada. En el caso de las Crisófitas solo se presentó la especie *Synura*. Las Diatomeas centrales tuvieron 16 especies identificadas, y las Diatomeas pennadas tuvieron 9 especies y una no identificada. Para los Dinoflagelados desnudos se encontraron 9 especies y una no identificada, y los Dinoflagelados tecados tuvieron 21 especies y una no identificada. En el grupo de los Silicoflagelados fueron 3 especies identificadas, para las Prasinoficeas solo se identificó una especie y para Rafidoficeas dos especies de las cuales una de ellas no fue identificada, sin embargo, este grupo se omitió debido a que solo se presentaron en pocas ocasiones en la prueba durante la temporada verano-otoño. De acuerdo al total de grupos fitoplanctónicos observamos que los 7 grupos de fitoplancton que analizamos estuvieron presentes en el control y en la prueba.

En la bahía de Teacapán durante la temporada de primavera se presentaron 8 especies de dinoflagelados tecados, 8 de diatomeas centrales, 4 de diatomeas pennadas, 2 de silicoflagelados y una de dinoflagelados desnudos (Tabla 9). Mientras que en la temporada VO incrementó el número tanto el número de especies como de grupos fitoplanctónicos, se presentaron 12 especies de dinoflagelados tecados, 5 de diatomeas centrales, 5 de dinoflagelados desnudos, una de Prasinoficeas, 4 de diatomeas pennadas, 2 ciliados, dos cianobacterias y tres de silicoflagelados (Tabla 10).

En el estanque en primavera se encontraron 14 especies de dinoflagelados tecados, 1 de ciliados, 1 de Rafidoficeas, 5 de dinoflagelados desnudos, 11 de diatomeas centrales, 1 de Prasinoficeas, 9 de diatomeas pennadas, 4 de cianobacterias y 2 de silicoflagelados (Tabla 11). En el caso de la temporada VO encontramos un máximo de 22 especies de dinoflagelados tecados, 2 de Rafidoficeas, 10 de dinoflagelados desnudos, 15 de diatomeas centrales, 10 de diatomeas pennadas, 2 de ciliados, 5 de cianobacterias, 3 de silicoflagelados y 1 de Prasinoficeas (Tabla 12).

Se encontró una amplia variación tanto en el número de especies como en el conteo celular, en primavera el número de especies fue menos de la mitad (34 sp.) que el número de especies encontradas en VO (70 sp.). El conteo celular en primavera varió de 1,000 a 5,300,000 cel/L y de 10,000 a 78,000,000 cel/L en VO. Dentro de estos grupos, fue posible identificar algunos géneros. Los conteos de células más altos se encontraron en el estanque de prueba, y correspondieron a una especie no identificada de Cianobacteria (78,000,000 cel/L), seguidas de *Karenia* sp. (30,930,000 cel/L), *Heterocapsa* sp. (16,920,000 cel/L) y *Pyramimonas* sp. (11,070,000 cel/L).

Tabla 10. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en la bahía de Teacapán (control) en la temporada de primavera.

| DINOFLAGELADO TECADO | Células L-1 | DIATOMEA CENTRAL | Células L-1 | DIATOMEA PENNADA | Células L-1 |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| <i>Protoperdinium</i> sp. | 18,000 | <i>Coscinodiscus</i> sp. | 57,000 | <i>Pleurosigma</i> sp. | 14,000 |
| <i>Prorocentrum</i> sp. | 26,000 | <i>Chaetoceros</i> sp. | 2,000 | <i>Amphora</i> sp. | 3,000 |
| <i>Ceratium furca</i> | 3,000 | <i>Rhizosolenia imbricata</i> | 5,000 | <i>Nitzschia</i> sp. | 1,000 |
| <i>Gonyaulax</i> sp. | 12,000 | <i>Coscinodiscus wailessi</i> | 2,000 | <i>Cylindrotheca</i> sp. | 2,000 |
| <i>Ceratium</i> sp. | 9,000 | <i>Coscinodiscus radiatus</i> | 2,000 | SILICOFLAGELADO | Células L-1 |
| <i>Dinophysis caudatum</i> | 2,000 | <i>Palaria sulcata</i> | 2,000 | <i>Dictyocha</i> sp. | 5,000 |
| <i>Oxyphysis oxytoxoides</i> | 2,000 | <i>Dytilum brightwellii</i> | 1,000 | <i>Dictyocha Californica</i> | 28,000 |
| <i>Prorocentrum mexicanum</i> | 1,000 | <i>Rhizosolenia</i> sp. | 4,000 | DINOFLAGELADO DESNUDO | Células L-1 |
| | | | | <i>Gymnodinium catenatum</i> | 7,000 |

Tabla 11. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en la Bahía de Teacapán (control) en la temporada de verano-otoño.

| DINOFLAGELADO TECADO | Células L-1 | DINOFLAGELADO DESNUDO | Células L-1 | DIATOMEA PENNADA | Células L-1 |
|--|-------------|------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| <i>Protoperidinium</i> sp. | 20,000 | <i>Cochlodinium</i> sp. | 40,000 | <i>Pleurosigma</i> sp. | 10,000 |
| <i>Protoperidinium</i> cf. <i>pellucidum</i> | 90,000 | <i>Gyrodinium</i> sp. | 70,000 | <i>Pseudonitzschia</i> sp. | 40,000 |
| <i>Ceratium</i> sp. | 10,000 | <i>Karenia</i> sp. | 370,000 | N.I. | 30,000 |
| <i>Prorocentrum mexicanum</i> | 80,000 | N.I. | 10,000 | <i>Navicula</i> sp. | 40,000 |
| <i>Scripsiella</i> sp. | 110,000 | <i>Akashiwo sanguinea</i> | 10,000 | CILIADO | Células L-1 |
| N.I. | 10,000 | DIATOMEA CENTRAL | Células L-1 | N.I. | 30,000 |
| <i>Prorocentrum minimum</i> | 70,000 | <i>Coscinodiscus</i> sp. | 20,000 | <i>Tintinido</i> sp. | 30,000 |
| <i>Heterocapsa</i> sp. | 210,000 | <i>Thalassiosira</i> sp. | 140,000 | CIANO BACTERIA | Células L-1 |
| <i>Alexandrium</i> sp. | 20,000 | <i>Skeletonema</i> sp. | 50,000 | N.I. | 240,000 |
| <i>Dinophysis</i> sp. | 20,000 | <i>Thalassionema</i> sp. | 10,000 | <i>Oscillatoria</i> sp. | 10,000 |
| <i>Heterocapsa rotundata</i> | 130,000 | <i>Paralia</i> sp. | 50,000 | SILICOFLAGELADO | Células L-1 |
| <i>Prorocentrum micans</i> | 30,000 | PRASINOFICEAS | Células L-1 | <i>Hermesinum adriaticum</i> | 10,000 |
| | | <i>Pyramimonas</i> sp. | 1,140,000 | <i>Dictyocha</i> sp. | 10,000 |
| | | | | <i>Dictyocha californica</i> | 10,000 |

Tabla 12. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en los diferentes grupos fitoplanctónicos observados en estanque de prueba durante la primavera.

| | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| DINOFLAGELADO TECADO | Células L-1 | DINOFLAGELADO DESNUDO | Células L-1 | DIATOMEA PENNADA | Células L-1 |
| <i>Protoperidinium sp.</i> | 30,000 | <i>Gymnodinium catenatum</i> | 7,000 | <i>Pleurosigma sp.</i> | 14,000 |
| <i>Prorocentrum sp</i> | 26,000 | <i>Cochlodinium sp.</i> | 50,000 | <i>Amphora sp.</i> | 11,000 |
| <i>Protoperidinium cf. Pellucidum</i> | 10,000 | <i>Gyrodinium sp.</i> | 70,000 | <i>Nitzschia sp.</i> | 1,000 |
| <i>Ceratium furca</i> | 3,000 | <i>Karenia sp.</i> | 5,300,000 | <i>Cylindrotheca sp.</i> | 28,000 |
| <i>Gonyaulax sp.</i> | 34,000 | N.I. | 10,000 | N.I. | 1,000 |
| <i>Ceratium sp.</i> | 10,000 | DIATOMEA CENTRAL | Células L-1 | <i>Navicula sp.</i> | 45,000 |
| <i>Dinophysis caudatum</i> | 2,000 | <i>Coscinodiscus sp.</i> | 57,000 | <i>Climacosphenia sp.</i> | 10,000 |
| <i>Oxyphysis oxytoxoides</i> | 12,000 | <i>Chaetoceros sp.</i> | 2,000 | <i>Entomoneis sp.</i> | 65,000 |
| <i>Prorocentrum mexicanum</i> | 5,000 | <i>Rhizosolenia imbricata</i> | 5,000 | <i>Diploneis sp.</i> | 3,000 |
| <i>Scripssiella sp.</i> | 130,000 | <i>Cosinodiscus wailessi</i> | 2,000 | CIANOBACTERIA | Células L-1 |
| N.I. | 30,000 | <i>Cosinodiscus radiatus</i> | 2,000 | N.I. | 128,000 |
| <i>Prorocentrum minimum</i> | 100,000 | <i>Palaria sulcata</i> | 2,000 | <i>Anabena sp.</i> | 3,000 |
| <i>Peridinium sp.</i> | 330,000 | <i>Dytilum brightwellii</i> | 1,,000 | <i>Astrosphaera fusiforme</i> | 654,000 |
| <i>Heterocapsa sp.</i> | 4,630,000 | <i>Meuniera sp.</i> | 2,000 | <i>Astrosphaera sp.</i> | 650,000 |
| CILIADO | Células L-1 | <i>Thalassiosira sp.</i> | 30,000 | SILICOFLAGELADO | Células L-1 |
| N.I. | 1,330,000 | <i>Rhizosolenia sp.</i> | 4,000 | <i>Dictyocha sp.</i> | 5,000 |
| RAFIDOFICEAS | Células L-1 | <i>Skeletonema sp.</i> | 50,000 | <i>Dictyocha Californica</i> | 28,000 |
| N.I. | 10,000 | PRASINOFICEAS | Células L-1 | | |
| | | <i>Pyramimonas sp.</i> | 110,000 | | |

Tabla 13. Conteo celular máximo (células/L) de los géneros y familias identificadas en los diferentes grupos fitoplanctónicos observados en estanque de prueba durante la temporada verano-otoño.

| DINOFLAGELADO TECADO | Células L-1 | DINOFLAGELADO DESNUDO | Células L-1 | DIATOMEA PENNADA | Células L-1 |
|---------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| <i>Protoperidinium sp.</i> | 260,000 | <i>Gymnodinium sp.</i> | 120,000 | <i>Pleurosigma sp.</i> | 14,000 |
| <i>Prorocentrum sp</i> | 26,000 | <i>Gymnodinium catenatum</i> | 7,000 | <i>Amphora sp.</i> | 11,000 |
| <i>Protoperidinium cf. pellucidum</i> | 510,000 | <i>Cochlodinium sp.</i> | 230,000 | <i>Nitzschia sp.</i> | 1,000 |
| <i>Ceratium furca</i> | 3,000 | <i>Cochlodinium polykrikoides</i> | 1,270,000 | <i>Cylindrotheca sp.</i> | 28,000 |
| <i>Gonyaulax sp.</i> | 12,000 | <i>Polykrikos sp.</i> | 10,000 | <i>Pseudonitzschia sp.</i> | 40,000 |
| <i>Ceratium sp.</i> | 10,000 | <i>Gymnodinium sp.</i> | 302,000 | N.I. | 70,000 |
| <i>Dinophysis caudatum</i> | 2,000 | <i>Gyrodinium sp.</i> | 750,000 | <i>Navicula sp.</i> | 140,000 |
| <i>Oxyphysis oxytoxoides</i> | 11,000 | <i>Karenia sp.</i> | 30,930,000 | <i>Climacosphenia sp.</i> | 10,000 |
| <i>Prorocentrum mexicanum</i> | 500,000 | N.I. | 70,000 | <i>Entomoneis sp.</i> | 65,000 |
| <i>Scripssiella sp.</i> | 2,570,000 | <i>Akashiwo sanguinea</i> | 10,000 | <i>Diploneis sp.</i> | 3,000 |
| N.I. | 340,000 | DIATOMEA CENTRAL | Células L-1 | CILIADO | Células L-1 |
| <i>Prorocentrum minimum</i> | 420,000 | <i>Coscinodiscus sp.</i> | 300,000 | N.I. | 1,400,000 |
| <i>Prorocentrum donhaiense</i> | 4,000 | <i>Chaetoceros sp.</i> | 10,000 | <i>Tintinido sp.</i> | 40,000 |
| <i>Peridinium sp.</i> | 330,000 | <i>Rhizosolenia imbricata</i> | 5,000 | CIANOBACTERIA | Células L-1 |
| <i>Heterocapsa sp.</i> | 16,920,000 | <i>Coscinodiscus wailesii</i> | 2,000 | N.I. | 78,000,000 |
| <i>Diplopsalis sp.</i> | 10,000 | <i>Coscinodiscus radiatus</i> | 2,000 | <i>Anabaena sp.</i> | 1,000 |
| <i>Alexandrium sp.</i> | 250,000 | <i>Paralia sulcata</i> | 2,000 | <i>Arthrospira fusiformis</i> | 654,000 |
| <i>Dinophysis sp.</i> | 20,000 | <i>Dytilum brightwellii</i> | 1,000 | <i>Oscillatoria sp.</i> | 10,000 |
| <i>Heterocapsa rotundata</i> | 1,520,000 | <i>Guinardia sp.</i> | 70,000 | <i>Espiral sp.</i> | 70,000 |
| <i>Prorocentrum micans</i> | 30,000 | <i>Thalassiosira sp.</i> | 1,300,000 | SILICOFLAGELADO | Células L-1 |
| <i>Oxytoxum sp.</i> | 110,000 | <i>Rhizosolenia sp.</i> | 60,000 | <i>Hermesinum adriaticum</i> | 220,000 |
| <i>Karlodinium sp.</i> | 250,000 | <i>Hemiaulus sp.</i> | 100,000 | <i>Dictyocha sp.</i> | 10,000 |
| RAFIDOFICEAS | Células L-1 | <i>Skeletonema sp.</i> | 80,000 | <i>Dictyocha californica</i> | 28,000 |
| N.I. | 140,000 | <i>Melosira sp.</i> | 70,000 | PRASINOFICEAS | Células L-1 |
| <i>Chattonella sp.</i> | 20,000 | <i>Thalassionema sp.</i> | 10,000 | <i>Pyramimonas sp.</i> | 11,070,000 |
| | | <i>Paralia sp.</i> | 50,000 | | |

Los índices de diversidad de los grupos fitoplanctónicos entre los diferentes sitios y temporadas se presentan en la Tabla 13. Los grupos fitoplanctónicos ($S=8$) estuvieron representados en control y prueba de la temporada verano-otoño, mientras que en primavera, se presentaron 6 para la prueba y 5 para el control. El índice de Shannon más alto fue observado en el control en la temporada VO ($H'=1.9$) y el más bajo en la prueba en la temporada primavera ($H'=1.3$). De acuerdo al índice de Pielou, el control en ambas temporadas presentaron la mayor uniformidad ($J'=0.9$), mientras que la prueba en ambas temporadas mostraron la menor uniformidad ($J'=0.7$). En general, la prueba presentó una diversidad y uniformidad menor que el control.

Tabla 14. Índices de diversidad de grupos fitoplanctónicos en el control y la prueba en cada temporada (primavera y verano-otoño).

| | S | J' | H' |
|------------|---|-----|-----|
| Prueba-P | 6 | 0.7 | 1.3 |
| Control-P | 5 | 0.9 | 1.5 |
| Prueba-VO | 8 | 0.7 | 1.5 |
| Control-VO | 8 | 0.9 | 1.9 |

Basado en la contribución porcentual global de los grupos a la comunidad fitoplanctónica en la temporada primavera en el control se presentó una dominancia por las Diatomeas centrales (31%), seguido de los dinoflagelados tecados (26%), los silicoflagelados (22%), las diatomeas pennadas (11%), entre otros. En la prueba incrementó la concentración de cianobacterias a un 82%, seguido de los ciliados con un 11%, dinoflagelados tecados con un 5%, entre otros. A la salida del estanque las cianobacterias incrementaron hasta alcanzar un 85%. En el control durante la temporada VO, se observa que está compuesta mayormente por Prasinoficeas (49%), Dinoflagelados desnudos (18%), Cianobacterias (12%), entre otros. Dicha composición cambió en la prueba dominando las Cianobacterias (53%), Dinoflagelados desnudos (31%) y el 15%

restante de Prasinoficeas, Dinoflagelados tecados, ciliados y Rafidoficeas (Figura 10).

Respecto a las especies identificadas, se observa que la prueba en verano-otoño presentó el mayor número con 48 seguido de control en verano-otoño (33 especies). En el caso de la temporada de primavera, se observó un máximo de 23 especies para control y prueba.

De igual modo se estimaron los índices de diversidad de Pielou (J') y Shannon (H') en el control y la prueba en ambas temporadas (Tabla 14). El índice de Pielou (J') nos dice que existe uniformidad de especies mayor para el control (0.9) que para la prueba (0.7-0.8). El índice de Shannon muestra que existe una mayor diversidad de especies fitoplanctónicas en el control ($H'=3.2$) en la temporada VO que en primavera ($H'=2.7$). En la prueba encontramos una menor diversidad para ambas temporadas ($H'=2.5$ y 2.7).

Tabla 15. Índices de diversidad de las especies de fitoplancton en el control y la prueba en cada temporada (primavera y verano-otoño).

| | S | J' | H' |
|------------|----|------|------|
| Prueba-VO | 48 | 0.7 | 2.5 |
| Control-VO | 33 | 0.9 | 3.2 |
| Prueba-P | 23 | 0.8 | 2.3 |
| Control-P | 23 | 0.9 | 2.7 |

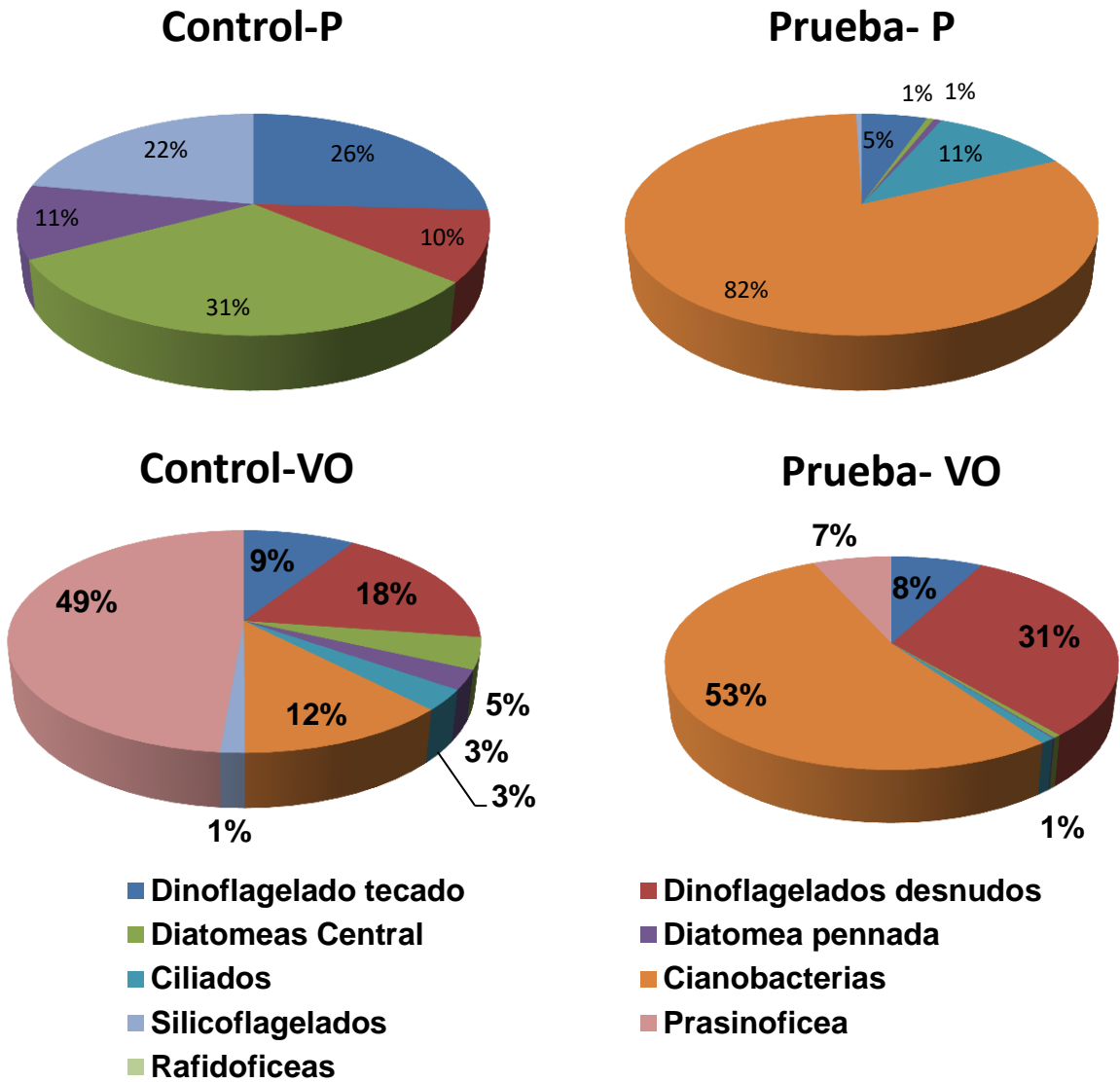


Figura 10. Variación en la composición de los grupos de fitoplancton en el control la prueba, durante las temporadas primavera y verano-otoño.

VIII.6. Análisis de similitud entre control-prueba y entre temporadas

Para verificar si existen diferencias en la composición de fitoplancton entre el control y en la prueba y entre ambas temporadas, se realizó un análisis PERMANOVA. Los resultados mostraron una separación significativa en la composición de las especies tanto en temporada como entre control-prueba (PERMANOVA $p=0.0001$; PERMANOVA, $p=0.0001$, respectivamente) (Tabla 15).

Tabla 16. Análisis de similitud (PERMANOVA) entre los factores control-prueba y temporada.

| Factor | <i>Pseudo-F</i> | <i>P(perm)</i> |
|------------------|-----------------|----------------|
| <i>Temporada</i> | 35.397 | 0.0001 |
| Control-prueba | 10.898 | 0.0001 |

La composición del fitoplancton varió entre temporadas para prueba y control, y se encontraron diferencias significativas en los puntos de monitoreo del estanque (al interior y en el efluente) (PERMANOVA, $p=0.0001$), y ambos con la B. Teacapán ($p=0.0001$) (Tabla 16).

Tabla 17. Análisis de similitud (PERMANOVA), entre temporada por control-prueba.

| Temporada | Control | | Prueba | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|
| | <i>t</i> | <i>P</i> | <i>t</i> | <i>P</i> |
| <i>P, VO</i> | 3.27 | 0.0001 | 4.58 | 0.0001 |

VII.5. Relación entre las variables de respuesta y las predictoras

VII. 5.1. Análisis de varianza y de regresión múltiple multivariada basada en un modelo lineal para conteo fitoplanctónico

Mediante in DISTLM que relaciona la variación de las variables de respuesta con las variables predictoras, se estimó que porcentaje del conteo celular es explicado por las variables predictoras. Debido a que se observaron diferencias significativas entre temporadas, se realizó un análisis de cada sitio por temporadas para prueba y control (Tabla 17).

En la prueba, las variables que más explicaron la variación del conteo celular total fue la predación por parte del camarón con un 17.55% ($p=0.0001$), la temperatura con un 10% ($p=0.0001$) y la salinidad (8%, $p=0.0001$). En el control solo la temperatura con un 12% ($p=0.0001$) y la irradianza (4%, $p=0.0236$) contribuyeron a la variabilidad de la abundancia del fitoplancton.

Tabla 18. Resultados del modelo DISTLM de los grupos fitoplanctónicos con las variables ambientales.

| Sitio | Variable | p | Fracción porcentual | Cumul. |
|--------------------|--------------------|--------|---------------------|--------|
| <i>Prueba</i> | Predación | 0.0001 | 0.1755 | 0.1755 |
| | T | 0.0001 | 0.1005 | 0.2761 |
| | S | 0.0001 | 0.08 | 0.3647 |
| <i>B. Teacapán</i> | T | 0.0001 | 0.118 | 0.1182 |
| | Irradianza | 0.0236 | 0.04 | 0.1582 |
| <i>Todo</i> | Irradianza | 0.0001 | 0.063 | 0.063 |
| | NH ₄ | 0.0009 | 0.02 | 0.084 |
| | SiO ₂ | 0.0133 | 0.013 | 0.097 |
| | P:SiO ₂ | 0.0017 | 0.02 | 0.116 |

VII.5.2. Análisis de PCA

Con el propósito de reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos, se realizó un primer análisis de componentes principales (Figura 11). Este es un análisis exploratorio que permite verificar si las variables determinadas en el control y la prueba y entre ambas temporadas de experimentación están correlacionadas entre sí. Los resultados del PCA por control-prueba indican que dos factores explican el 26.9% (control vs prueba) y 16.1% (temporada) del total de la variación. El primer factor se relaciona con la temporalidad de los periodos. La temporada VO se influye mayormente sobre las concentraciones de SiO_2 , NO_3 , NH_4 y a la relación N:P. En tanto que la temporada P asocia a los fosfatos, N: SiO_2 , P: SiO_2 e irradianza. El segundo factor es dado por el enriquecimiento de nutrientes en la prueba respecto a los niveles encontrados en el control.

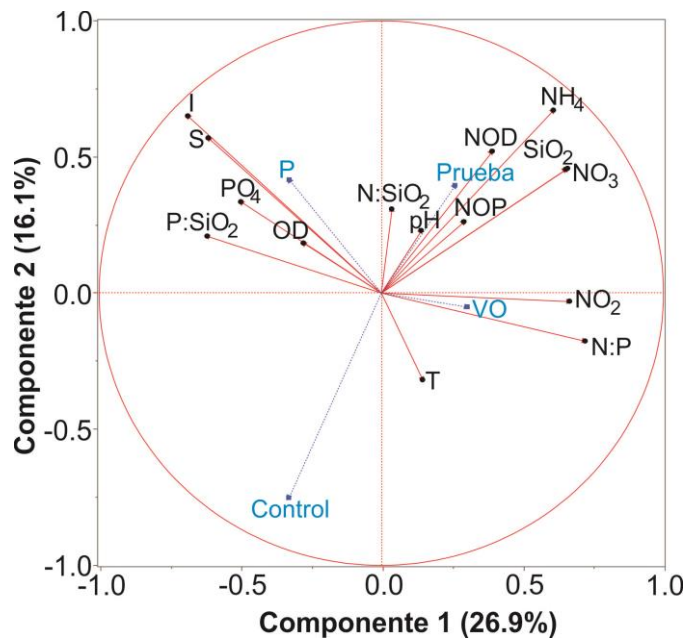


Figura 11. Análisis de componentes principales en los tres sitios y en las temporadas primavera y verano-otoño.

Para establecer las probables agrupaciones de los datos ambientales y de las variables de respuesta en función de los periodos de experimentación en el estanque 2, se realizó un segundo PCA (Figura 12). Este PCA indica que la

presencia de dos factores dominantes. El Factor 1 (24.7%) representa a los nutrientes. Del lado izquierdo se tiene las mayores concentraciones de PO_4 , en tanto que del derecho las formas químicas del N y los SiO_4 . El segundo factor (19.6%), representa a la irradianza y/o a la temperatura. Altas irradianzas en el cuadrante inferior izquierdo y bajas en la parte superior. O bien, bajas temperaturas en la parte inferior y altas en la parte superior.

Esto permite definir claramente las condiciones de experimentación: del periodo A al E, se tuvieron las mayores irradianzas y mayores concentraciones de PO_4 y más bajas concentraciones de las formas de N y Si, y las relaciones estequiométricas Si:P más bajas. Este conjunto de periodos de experimentación correspondió a la primavera. Por otro lado, los periodos F y G pertenecientes a la temporada VO, fueron caracterizados por una mayor concentración de N en sus diferentes formas químicas y Si, y bajas concentraciones de PO_4 , lo que da como resultado un incremento en las relaciones estequiometrias Si:P. En tanto, que el periodo H de la temporada VO, está caracterizado por altas temperaturas. Además se caracteriza, por altas relaciones N:P y N:Si, lo que probablemente indique altas concentraciones de N y/o bajas concentraciones de P y Si. Asociado a las condiciones del periodo H se observó la máxima concentración de clorofila a y de sólidos suspendidos totales.

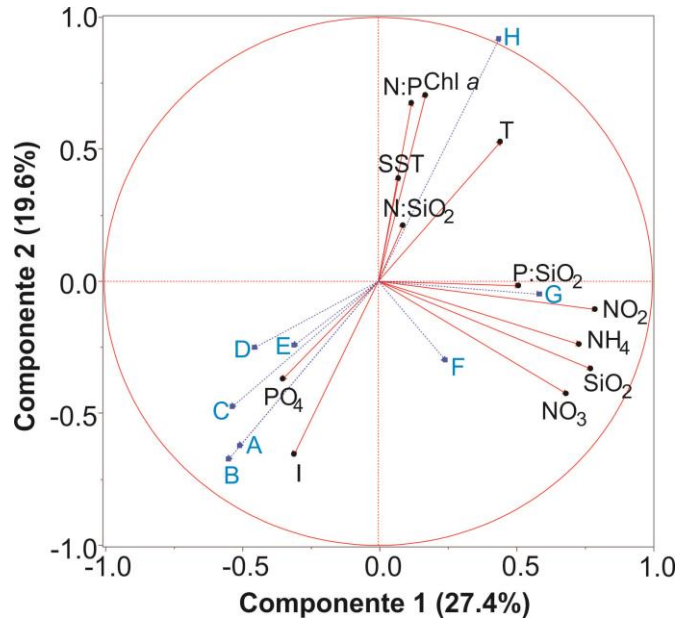


Figura 12. Análisis de componentes principales de las variables predictoras y de respuesta en el estanque dos.

VII. 5.3. Modelo de ajuste de la variación en la concentración de Chl *a* en función de los parámetros predictores

Estos análisis se realizaron con los datos de la clorofila *a* de los tres estanques estudiados. Con el propósito de evaluar el grado de influencia que tienen diferentes variables predictoras sobre la clorofila *a*. Para ello eliminamos aquellas variables interrelacionadas para evitar redundancia (NID, NOD, NOP). El modelo se corrió para Control y Prueba anidando por temporadas climáticas (Tabla 18).

En general encontramos que la variabilidad de la Chl *a* es explicada entre el 24 y 57%, siendo significativa para todos los análisis ($p < 0.001$), excepto para Control VO. La irradianza fue la variable que contribuyó significativamente en la mayoría de los análisis, excepto para control VO siendo no significativa. La manera en que la irradianza influyó a la Chl *a* fue distinta entre los diferentes casos. Para control P y prueba VO, la Chl *a* disminuyó con el incremento de la irradianza, pero en el caso de prueba P la Chl *a* se incrementó directamente con la irradianza.

Por otro lado, la temperatura contribuyó significativamente solo para prueba P. Dejando de lado las variables medio-ambientales el N, en particular sus formas oxidadas (nitritos y nitratos), es el nutriente que más contribuye a explicar la variabilidad de la Chl *a* en todos los casos. La forma reducida del N (NH_4) solo fue significativo para Control P. La influencia del N, fue en la mayoría de los casos positiva, es decir, aumenta el N aumenta la Chl *a*, excepto para la prueba P. En tanto que el PO_4 contribuyó a explicar la variabilidad de la Chl *a* solo en primavera ($p < 0.0001$), para prueba. Los silicatos no contribuyeron significativamente para ningún caso. La relación N:Si fue significativa para Control y Prueba en la temporada verano-otoño, en tanto que las relaciones N:P y Si:P no fueron importantes para explicar la variabilidad de la Chl *a*. Aumentos en la relación N:Si implicó disminuciones en la chl *a*.

Tabla 19. Modelo de ajuste de la Chl *a* en el control y la prueba por temporada.

| Sitio | Variable | <i>p</i> |
|---|--------------------|-----------------|
| Control- P $R^2 = 0.34$ $P < 0.0001$ | NO _x | <0.0001 |
| | NH ₄ | 0.007 |
| | Irradianza | 0.01 |
| Control- VO $R^2 = 0.57$ $P < 0.16$ | NO _x | 0.029 |
| | N:Si | 0.04 |
| | | |
| Prueba-P $R^2 = 0.35$ $P < 0.0001$ | Irradianza | <0.0001 |
| | PO ₄ | <0.0001 |
| | T | <0.0001 |
| Prueba- VO $R^2 = 0.24$ $P < 0.0001$ | Irradianza | <0.0001 |
| | NO _x | 0.01 |
| | N:SiO ₂ | 0.052 |

Se corrió otro modelo para los periodos, en este caso no fue necesario separar entre temporada climática, pues los periodos ya están separados, pero si se anidó por control-prueba (Tabla 19).

Tanto en control como en prueba el nutriente que explica significativamente ($p < 0.001$) la variación en varios periodos de experimentación fue la suma de las formas oxidadas de N (NO_x), la cual contribuye a la productividad natural, es decir, que a mayor concentración de nitrito y nitrato se presenta un mayor conteo celular. Otros parámetros que explican la variación de la Chl *a* fueron el NH₄, la irradianza y la temperatura, principalmente. Lo que es similar a lo encontrado anteriormente en el modelo para control-prueba por temporadas.

En el periodo A en el control los parámetros que explican significativamente la variación de la concentración de Chl *a* son el NH₄ ($p < 0.0001$), el NO_x ($p = 0.0008$) y N:SiO₂ ($p = 0.001$) esta última afectando el crecimiento celular. Mientras que en la prueba los parámetros que explican esta variación son la temperatura ($p < 0.0001$)

y el NH_4 ($p=0.0001$). En el periodo B en el control no encontramos una relación significativa. En cambio en la prueba encontramos tres parámetros que explican esta variación significativamente, la forma oxidada del N (NO_x , $p=0.025$), la relación N:SiO₂ ($p=0.04$) y la relación Si:P ($p=0.05$). En el periodo C, obtuvimos una singularidad, por lo que no fue posible realizar el análisis, en cambio en la prueba no obtuvimos resultados significativos. El periodo D en el control se caracterizó por presentar una contribución negativa de la temperatura ($p=0.0005$), mientras que las formas oxidadas del N ($p=0.01$) contribuyen al crecimiento celular. En cambio en la prueba se encontró que los silicatos ($p=0.04$) y la temperatura ($p=0.05$) son los parámetros que contribuyen significativamente al incremento en Chl *a*. En el periodo E del control se presentó una singularidad por el bajo número de observaciones. Mientras que en la prueba encontramos que el nutriente que contribuye significativamente ($p=0.04$) al aumento de Chl *a* fueron las formas oxidadas de N. En el periodo F en el control encontramos que las variables que contribuyen a la variación del fitoplancton no son significativas. En cambio en la prueba encontramos que la irradianza es el parámetro que afecta significativamente la variación en la concentración de Chl *a*, es decir, que a mayor irradianza tendremos una menor concentración de Chl *a*. En el periodo G en el control se presentó singularidad por el bajo número de observaciones. Mientras que en el periodo G en la prueba las variables que contribuyen a la variación de la Chl *a* son la irradianza ($p=0.003$) afectándolo negativamente, y las formas oxidadas de N ($p=0.02$) contribuyendo a la productividad primaria. En el periodo H en el control se presentó singularidad, mientras que en la prueba no encontramos variables significativas.

Tabla 20. Resultados del análisis de modelo de ajuste de para la Chl a por periodos de experimentación en control y prueba.

| Periodo | Control | p | Prueba | p |
|---------------------------------------|------------------------|----------|------------------------|----------|
| A $R^2= 0.34$ $P<0.0001$ | NH ₄ | <0.0001 | T | <0.0001 |
| | NO _x | 0.0008 | NH ₄ | 0.0001 |
| | N:SiO ₂ (-) | 0.001 | Irradianza (-) | 0.14 |
| B $R^2= 0.52$ $P<0.45$ | PO ₄ (-) | 0.28 | NO _x | 0.025 |
| | NH ₄ | 0.29 | N:SiO ₂ (-) | 0.04 |
| | T | 0.45 | Si:P (-) | 0.05 |
| C - | | | NH ₄ | 0.04 |
| | | | N:P (-) | 0.1 |
| | | | T (-) | 0.2 |
| D $R^2= 0.98$ $P=0.0008$ | T (-) | 0.0005 | SiO ₂ | 0.04 |
| | NO _x | 0.01 | T | 0.05 |
| | Si:P | 0.42 | PO ₄ | 0.3 |
| E - | | | NO _x | 0.04 |
| | | | T (-) | 0.06 |
| | | | N:SiO ₂ (-) | 0.7 |
| F $R^2= 0.98$ $P=0.06$ | Irradianza (-) | 0.09 | Irradianza (-) | 0.001 |
| | NO _x | 0.1 | T | 0.2 |
| | N:SiO ₂ (-) | 0.1 | SiO ₂ (-) | 0.4 |
| G - | | | Irradianza (-) | 0.003 |
| | | | NO _x | 0.02 |
| | | | T (-) | 0.3 |
| H - | | | Irradianza (-) | 0.07 |
| | | | NO _x | 0.11 |
| | | | N:SiO ₂ (-) | 0.2 |

VII.5.4. Modelo de ajuste de la variación del conteo celular en función de los parámetros predictores

Para conocer la importancia que tienen las variables ambientales (temperatura e irradiación), nutrientes (NH_4 , NO_x , SiO_2 , PO_4) y sus relaciones estequiométricas (N:P, N: SiO_2 , P: SiO_2) sobre la variación en la concentración celular dentro del estanque dos se realizó un modelo de ajuste, para control y prueba. Los resultados indican las variables introducidas explican el 53% de la variación en la concentración de células ($p=0.0005$) en el control. Dicha variabilidad es explicada principalmente por las formas oxidadas del N ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$). En la prueba los mismos parámetros explicaron un 83% ($p<0.0001$) de la variación de la concentración fitoplanctónica. Los factores que explicaron esta variación significativamente fueron la temperatura ($p<0.0001$) y la irradiación ($p=0.041$) (Tabla 20).

Tabla 21. Resultados del modelo de ajuste de la concentración de células con respecto de los parámetros predictores y de predación en el estanque dos.

| Sitio | Parámetro | Valor de p |
|-------------------------------------|---------------|--------------|
| Control ($R^2=0.53$, $p=0.0005$) | NO_x | 0.019 |
| Prueba ($R^2= 0.83$ $p<0.0001$) | Temperatura | <0.0001 |
| | Irradianza | 0.041 |

VII. 5.5. Variación en la estructura fitoplanctónica con respecto a la irradianza y temperatura

Se realizó un análisis para conocer los cambios que se producen en la composición y en la abundancia del fitoplancton con las diferentes irradianzas y temperaturas, independientemente de la concentración de nutrientes. En general se observa una gran variabilidad, pero a pesar de ello se presenta una ligera disminución en la concentración celular a partir de una irradianza de 0.97, mientras que las mayores concentraciones celulares están presentes a una irradianza menor a esta (Figura 13).

Encontramos que a diferentes irradianza se desarrollan los diferentes grupos fitoplanctónicos. Los dinoflagelados tecados (0.75 y 0.98) y las diatomeas pennadas (0.73 y 0.94) se desarrollan en un amplio rango de irradianzas. Las cianobacterias (cerca de 0.78) y las Prasinoficeas (de 0.78 y 0.80) se reproducen mejor a bajas irradianzas, mientras que los ciliados (0.9), las diatomeas centrales (0.93-0.95) y dinoflagelados desnudos (0.94 y 0.98) a más altas irradianzas.

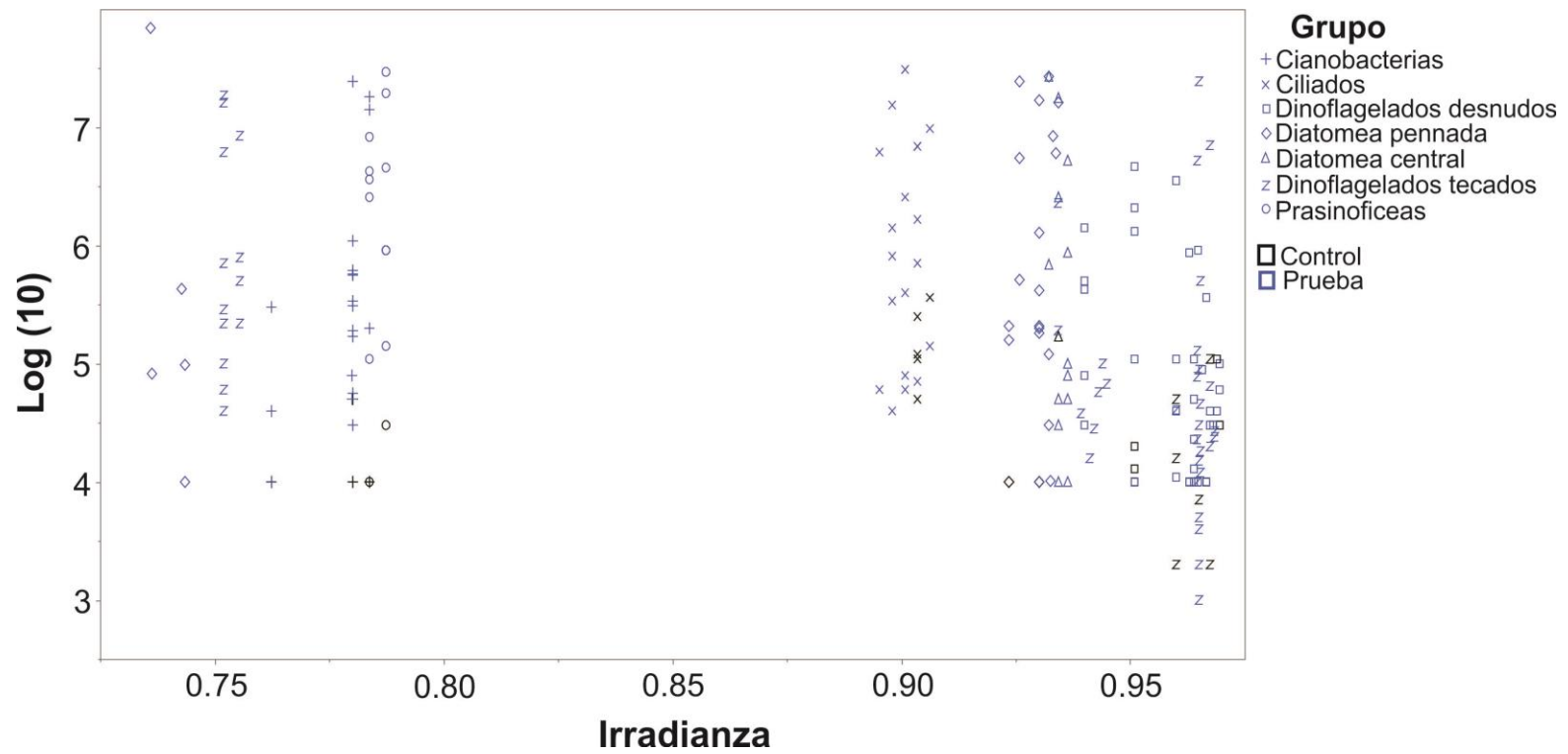


Figura 13. Variación en la abundancia y composición del fitoplancton con respecto de la irradiancia.

La abundancia y composición del fitoplancton también mostraron una variación con el incremento en la temperatura (Figura 14). Los dinoflagelados tecados fueron el único grupo presente en un rango amplio de temperatura (desde 24 hasta 31°C). Los dinoflagelados desnudos (28.5 a 34.5°C), diatomeas pennadas (30 a 32.3°C), ciliados y diatomeas centrales (29 hasta los 31°C), Prasinoficeas (31 a 32°C) y cianobacterias (31 a 33°C) tuvieron rangos de mayor abundancia más estrechos. En general se observa que las máximas concentraciones de células están presentes entre los 30 y los 33°C.

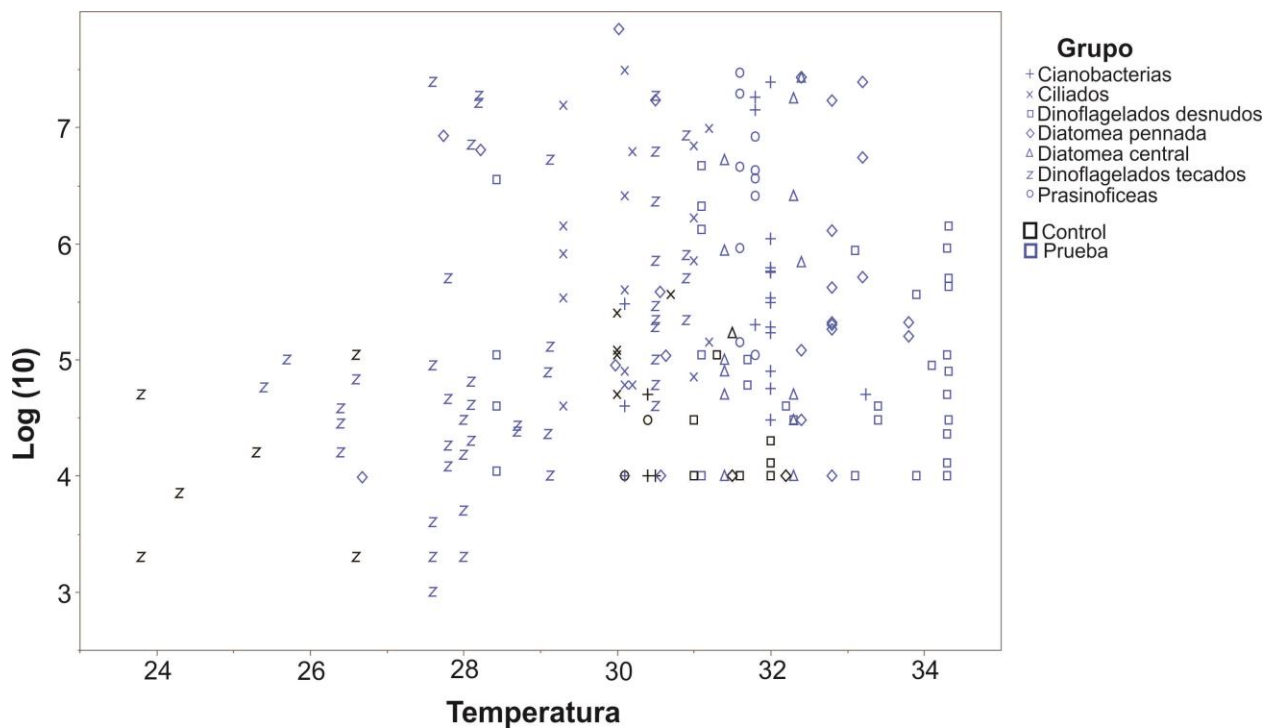


Figura 14. Variación en la abundancia y composición del fitoplancton con respecto de la temperatura.

VII. 5.6. Importancia de los nutrientes en la estructura fitoplanctónica

Se realizó un modelo de ajuste para ver la importancia de los nutrientes y de sus proporciones elementales sobre la estructura fitoplanctónica bajo mismas condiciones ambientales de temperatura e irradianza (Tabla 21). De acuerdo al modelo de ajuste realizado encontramos que los nutrientes que limitan el crecimiento del fitoplancton en el control durante la temporada P es la relación N:P, afectando el crecimiento del fitoplancton, es decir, que a una mayor relación N:P se tiene una menor concentración fitoplanctónica. En la prueba durante la temporada VO el nutriente limitante fueron los SiO₂ contribuyendo al crecimiento celular, es decir, que a mayor concentración de silicatos se tiene una mayor concentración fitoplanctónica. En el control de la temporada VO y en la prueba de la temporada P no se presentaron variables significativas.

Tabla 22. Resultados del modelo de ajuste de la concentración de células con respecto a la variación de los nutrientes en el control y la prueba por temporada.

| Sitio | Parámetro | Valor de <i>p</i> |
|------------|------------------|-------------------|
| Control -P | N:P | 0.033 (-) |
| Prueba- VO | SiO ₂ | 0.036 |

VII. 5.7. Efecto de la predación sobre la abundancia y composición del fitoplancton

Para determinar el efecto que tiene la predación sobre el fitoplancton se realizó un comparativo entre las concentraciones celulares de las diatomeas y el conteo celular, entre el control y la prueba, con y sin predación. La separación entre el conteo celular con y sin predación se realizó de acuerdo a lo establecido por Bojorquez-Mascareño y Soto-Jiménez (2013).

Encontramos que la concentración de diatomeas entre el control, la prueba con y sin predación tiene una diferencia marcada, siendo las diatomeas sin predación las que presentan un mayor conteo celular ($\log=6.3$) traslapándose con el control en los primeros días, para después disminuir su conteo a valores similares a los encontrados cuando hubo predación (Figura 15).

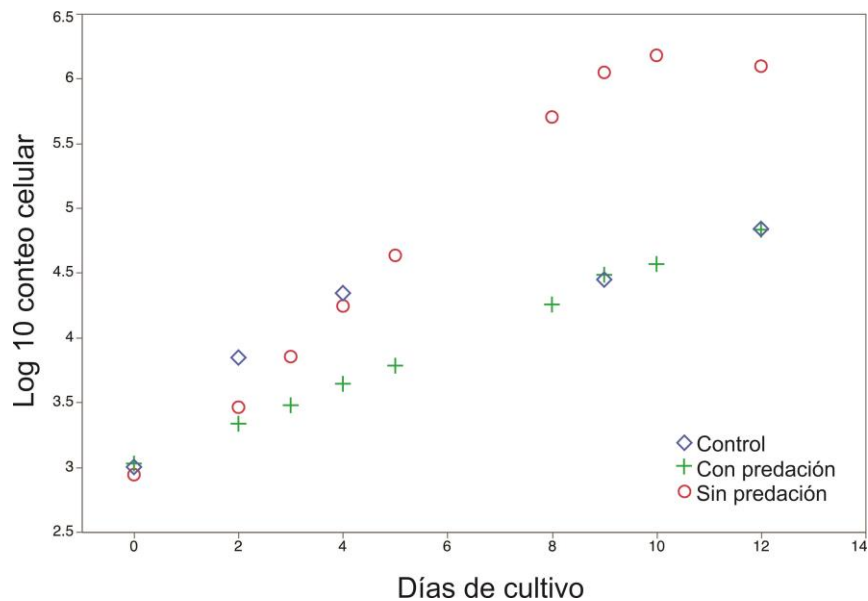


Figura 15. Variación del conteo celular de las diatomeas en el control, sin y con predación dentro del estanque.

VII. 5.8. Evaluar la importancia del Si en la abundancia de los grupos fitoplanctónicos

Se muestra una tendencia a menor concentración de silicatos se tiene una mayor concentración de células, lo que nos puede indicar que los grupos que tienen sus mayores concentraciones celulares a bajas concentraciones de silicatos no dependen de este para crecer, como sería el caso de las cianobacterias, los dinoflagelados tecados y desnudos que se encuentran presentes en concentraciones cercanas a cero y tan altas como $50\mu\text{M}$ y las Prasinoficeas y ciliados que se presentan en un rango de 6 a $30\mu\text{M}$ de SiO_2 (Figura 16).

El silicato tiene influencia sobre el incremento en la abundancia de las diatomeas principalmente, las diatomeas centrales se presentan a más de $10\mu\text{M}$ de SiO_2 , mientras que las diatomeas pennadas se presentan a partir de los $5\mu\text{M}$ y hasta cerca de los $30\mu\text{M}$.

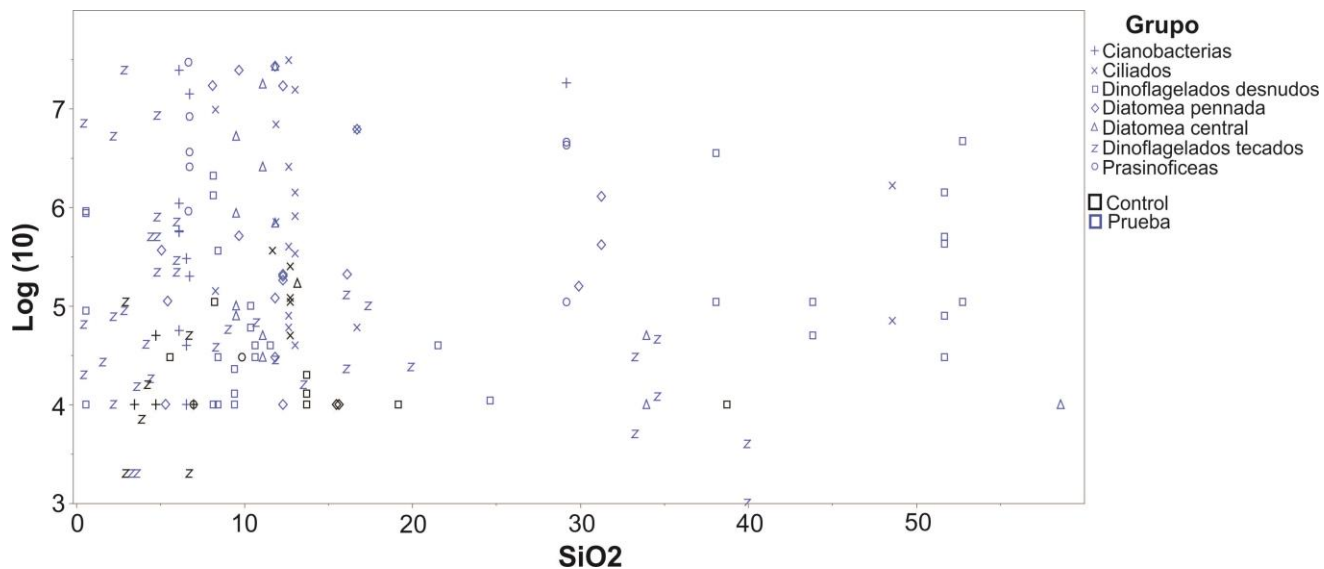


Figura 16. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la concentración de silicatos presentes en la prueba.

VII. 5.9. Importancia de las relaciones elementales sobre la estructura del fitoplancton

La relación Si:N es mayor en la prueba y menor en el control (Figura 17). Los dinoflagelados desnudos y tecados se encuentran presentes a altas relaciones Si:N en el control, las mayores concentraciones celulares están presentes a bajas relaciones dentro del estanque, el grupo con el mayor conteo fue el de los ciliados en el control. Por otro lado podemos observar que la mayoría de los grupos fitoplanctónicos se presentan a bajas relaciones menores a 10. Los grupos que se encuentran a la izquierda de la línea donde se indica la limitante (<1) de esta relación son los dinoflagelados desnudos y tecados, diatomeas pennadas y las Prasinoficeas. Cercano a la línea también se encuentran las diatomeas centrales.

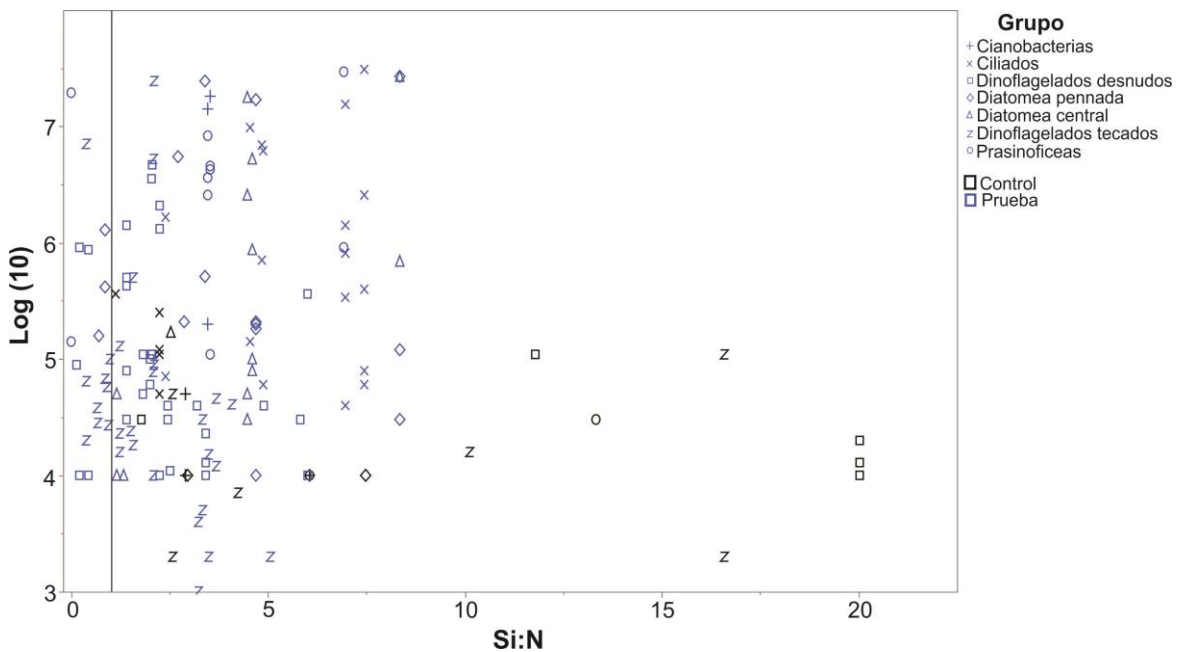


Figura 17. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la relación Si:N presentes en el control y en la prueba.

La relación N:P también marcó una diferencia entre grupos fitoplanctónicos, la mayoría de los grupos fitoplanctónicos se presentan a una baja relación N:P (<3), los grupos fitoplanctónicos que se encuentran a una alta relación (limitante de P) son las cianobacterias principalmente y las diatomeas centrales y pennadas en menor concentración. La limitación de P se presenta cuando se tiene una relación mayor a 22 (Figura 18).

Los dinoflagelados tecados y desnudos se presentan en condiciones donde no hay una limitación de P, es decir, a relaciones menores de 22. Los ciliados se encuentran en relaciones menores a 15. Las Prasinoficeas se presentan desde valores de 6 hasta 30.

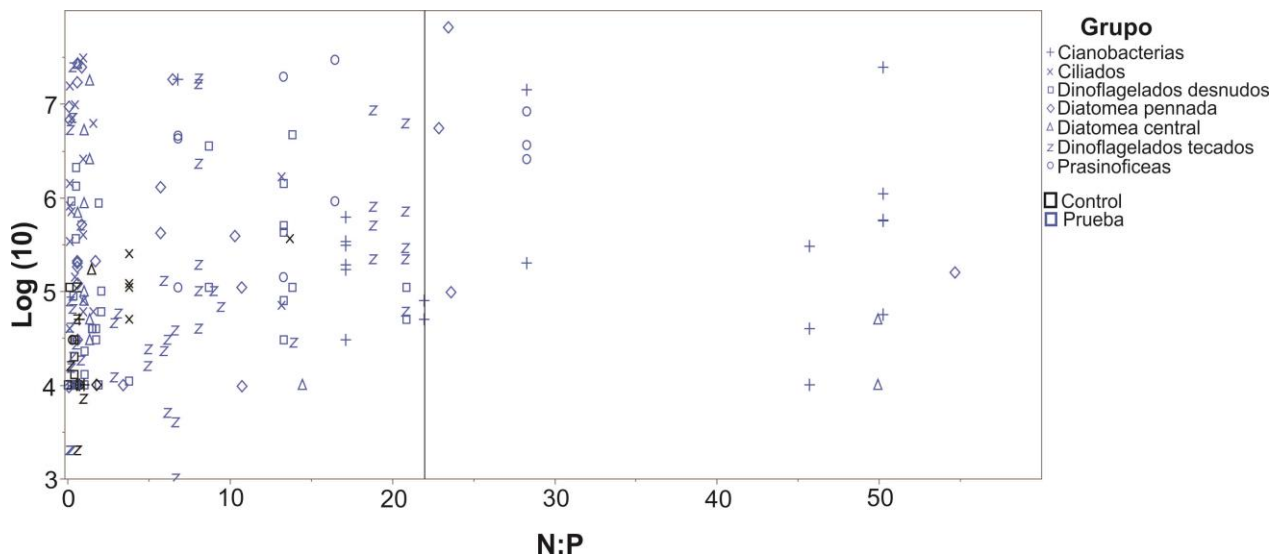


Figura 18. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la relación N:P presentes en el control y en la prueba.

La Figura 19 muestra la relación Si:P y al igual que en la relación N:P se tiene una limitante de P cuando la relación sobrepasa una proporción mayor a 22, se puede observar que después de la limitante se presentan diferentes grupos fitoplanctónicos como las cianobacterias principalmente lo que indica que el fósforo no es un nutriente limitante para éstas. Las diatomeas se presentan desde valores cercanos a 1 hasta un máximo cercano a 60, pero la mayoría de ellas se encuentran en relaciones menores a 10. Los dinoflagelados tecados y los ciliados se presentan desde valores cercanos a 0 hasta menores a 30. Los dinoflagelados desnudos se presentan hasta relaciones cercanas a 40.

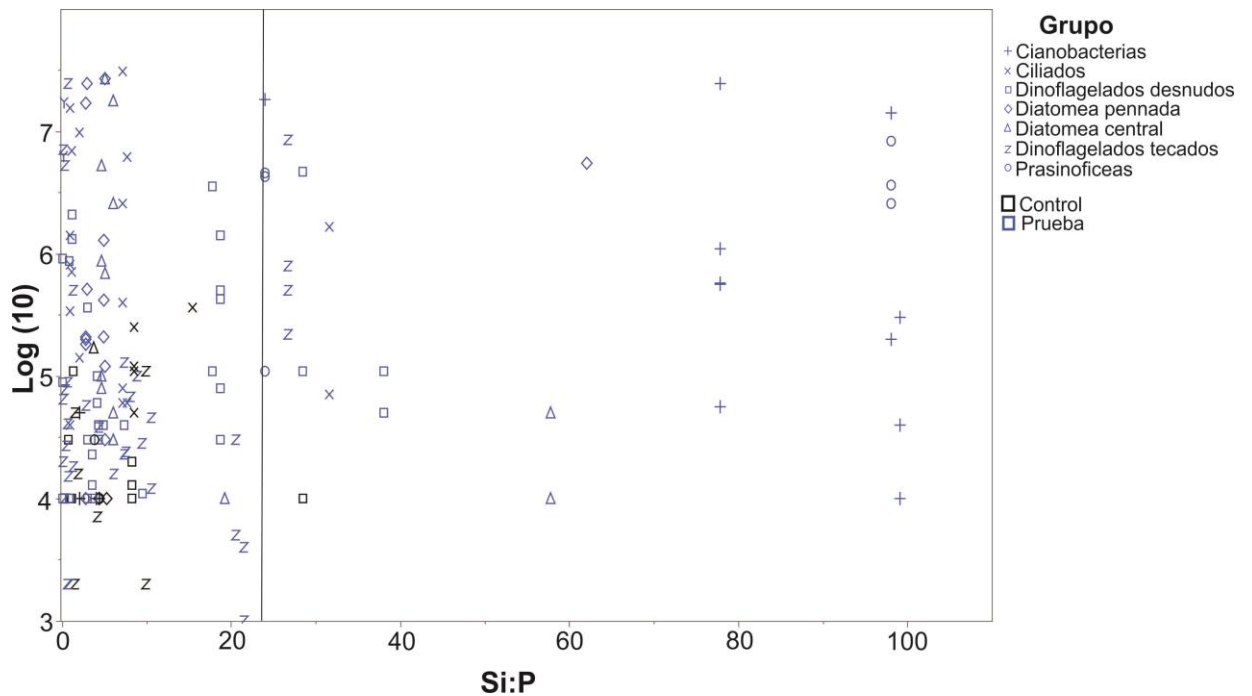


Figura 19. Variación en la estructura fitoplanctónica (abundancia y composición) con la relación Si:P presentes en el control y en la prueba.

VII.5.10. Evaluación de los cambios en la proporción Diatomeas:Cianobacterias

En general la relación diatomeas:cianobacterias es mayor en las aguas del control alcanzando relaciones máximas cercanas a 30, con un punto máximo de 69. Dentro de los estanques las relaciones fueron similares, pero en algunas ocasiones se presentaron máximos cercanos a 200. Se presentan mejores valores en la relación diatomeas:cianobacterias a bajas relaciones N:Si, sobre todo en el control.

Se analizó por separado el crecimiento de las cianobacterias y se observa que en el control y durante la temporada P se tiene una menor concentración de células, el cual tiende a ser constante con una concentración de $\log=3$, en cambio en la temporada VO en el control hay mucha variabilidad. También en esta temporada en la prueba se tiene un incremento lineal en la concentración de células de cianobacterias. Por el contrario, en el caso de las diatomeas no se observa una tendencia a incrementar, sino solo se tienen incrementos puntuales en la concentración celular.

De acuerdo al análisis realizado se encontró que la variable que más contribuye a la variación de esta relación en el control son los nitritos y nitratos (NO_x , $p<0.01$) (Figura 20), mientras que en la prueba resultó ser el PO_4 ($p<0.01$) (Figura 21).

Control

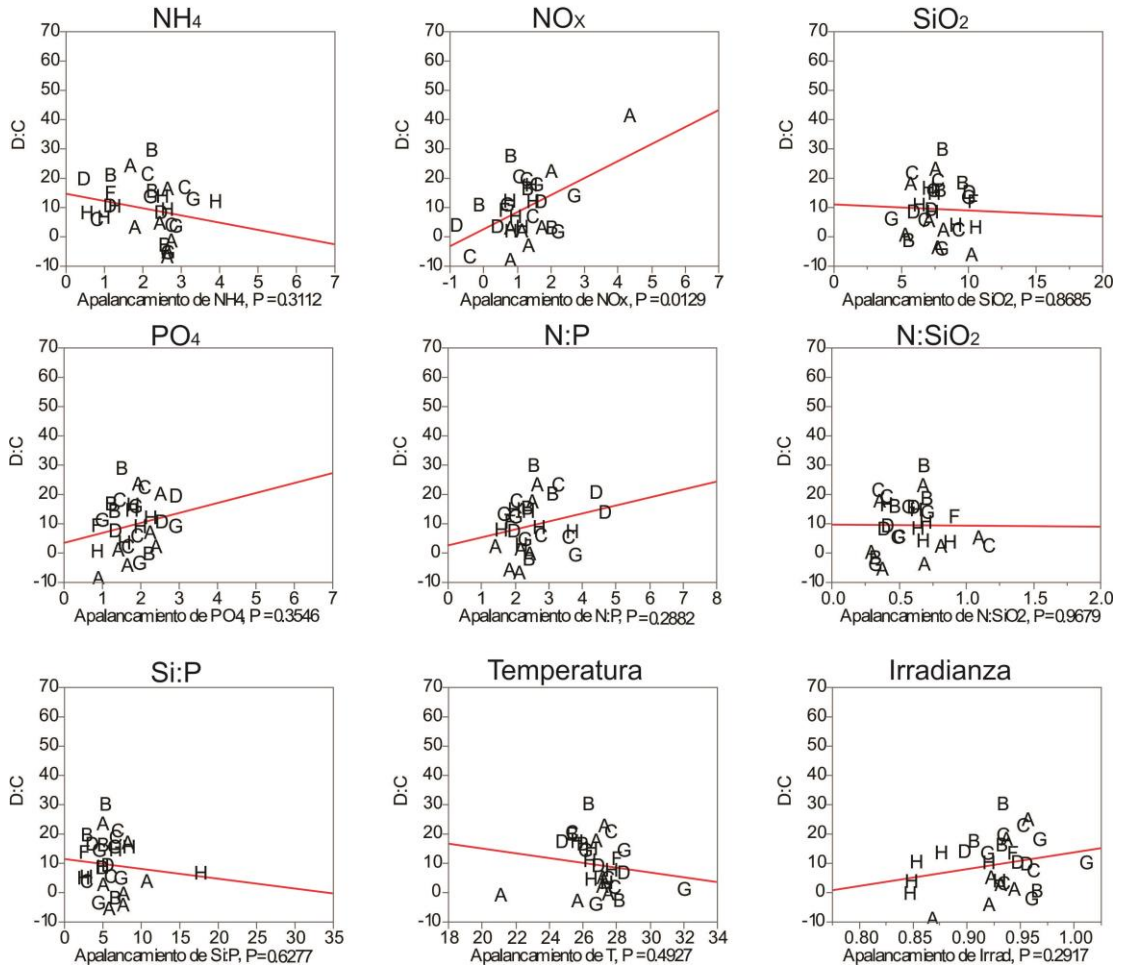


Figura 20. Variación de la relación Diatomeas:Cianobacterias en cada periodo de estudio en el control.

Prueba

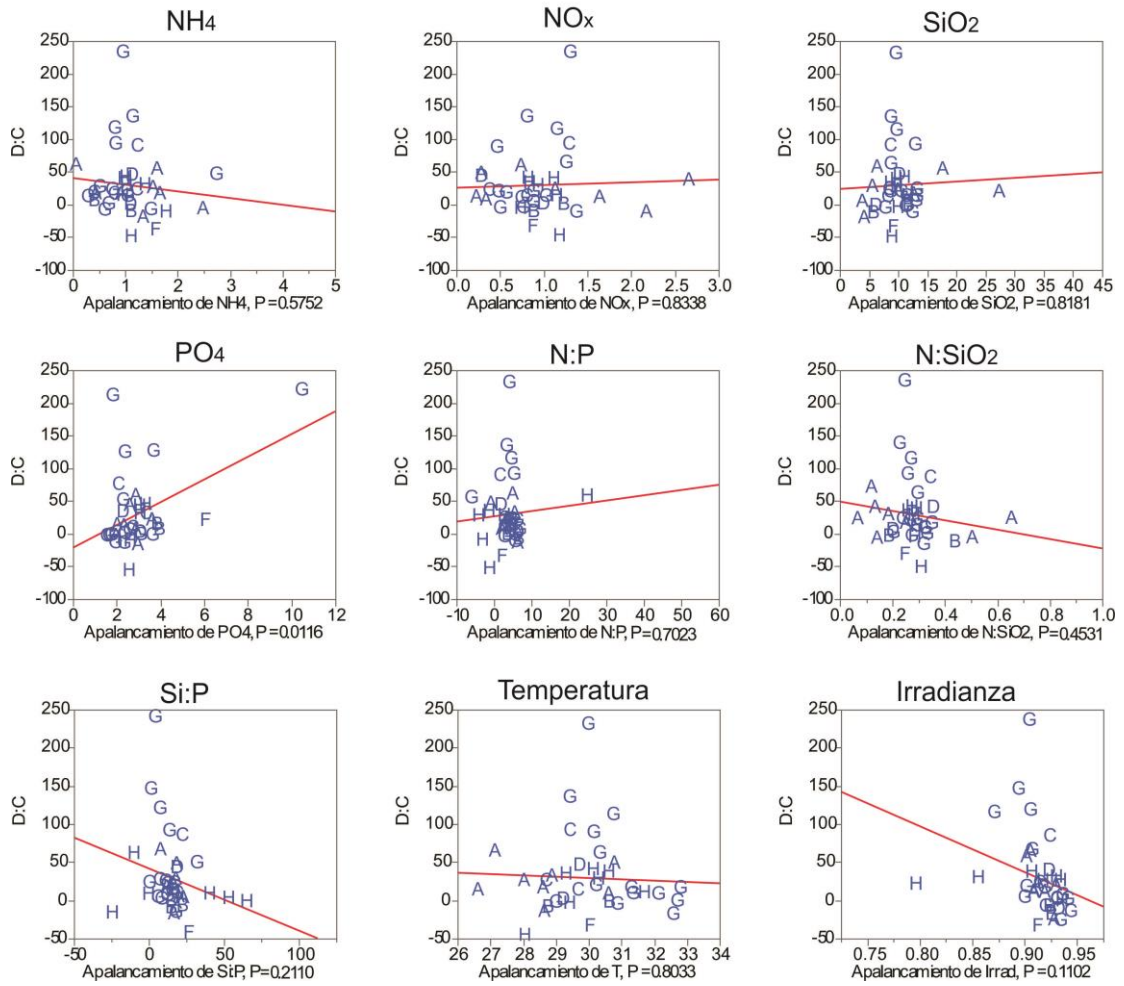


Figura 21. Variación de la relación Diatomeas:Cianobacterias en cada periodo de estudio en la prueba.

VIII. DISCUSIONES

Para responder las preguntas planteadas sobre como las variaciones en las condiciones ambientales y nutrientes, producen cambios en la abundancia de fitoplancton (en términos de SST, disco Secchi, clorofila *a*, y conteos totales) y en su composición, se recurrió al uso de mesocosmos (nivel III de los bioensayos de experimentación). Para tal propósito, tres estanques de tierra empleados para el cultivo de camarón conteniendo una masa de agua de 10 mil m³, fueron usados para probar el efecto que tiene la adición de uno o más nutrientes sobre las variables de respuesta y a la Bahía de Teacapán frente a la granja como control. En total se corrieron ocho periodos de experimentos cubriendo las épocas climáticas de primavera, verano y otoño, procurando integrar la variabilidad de la irradianza, salinidad y temperatura, de las concentraciones y disponibilidad de nutrientes, así como de los cambios estacionales de la estructura fitoplanctónica en la Bahía de Teacapán. Al interior de los estanques de prueba se realizaron variaciones controladas de las cantidades de N, P y/o Si, y no controladas de la temperatura, salinidad, pH y OD, respecto a la bahía de Teacapán (control). Independientemente del control en el cambio (variables manipuladas) o no (variables no manipuladas), cada una de las condiciones experimentales en los estanques y en la bahía, fueron cuidadosamente monitoreadas.

Efecto de la variación de las condiciones ambientales sobre la productividad

Nuestra primer pregunta de investigación fue averiguar cómo las variaciones en las condiciones ambientales producen cambios en la abundancia y composición del fitoplancton. En nuestra estrategia inicial de estudio incluimos la carga de SST y la medición del disco Secchi como variables de respuestas. Los resultados mostraron incrementos significativos entre los SST en el agua de la Bahía de Teacapán (<30 mg/L) con respecto a los

estanques de prueba (41 a 153.4 mg/L). Sin embargo, reconocimos que los cambios en los SST, y en consecuencia en el disco Secchi, podrían estar relacionados no solo a la presencia de células fitoplanctónicas, sino también de todos los sólidos que se encuentren suspendidos en la columna de agua. La resuspensión de sedimentos, alimentos no ingeridos y de heces fecales, ya sea por el movimiento del agua, por los organismos y en ocasiones por el funcionamiento del sistema de aireación del estanque, influyen sobre la concentración de SST y disco Secchi. Todo esto provoca que la concentración de SST en el estanque y la penetración de la luz medida por el disco de Secchi varíe.

De hecho un análisis de regresión lineal SST y Chl *a*, mostró coeficiente de determinación significativo, pero bajo ($R^2=0.2$), en tanto que la correlación del disco Secchi con clorofila *a* no fue significativa. Por otro lado, la relación entre Chl *a* y el logaritmo del conteo total presentó una alta correlación ($R^2=0.46$). Por tanto, tanto los SST como el disco Secchi fueron descartadas como variables indicadoras de productividad primaria y nos quedamos solo con la Chl *a* y el conteo total. En lo sucesivo nos referiremos solo a la concentración de la clorofila *a* y al conteo celular como variables de respuesta.

Efecto de la irradianza

La irradianza presentó el patrón típico de latitudes subtropicales en las que se localiza la bahía de Teacapán, lo cual se incrementa desde la primavera hasta alcanzar máximos en el verano, y disminuye hacia el invierno. En las regiones subtropicales, la variación estacional de la irradianza es menor que en regiones polares, pero mayor que en los trópicos (Raymont, 1976).

El efecto de la irradianza, en términos de intensidad y composición espectral de la luz, es sobre la actividad metabólica que se desarrolla en los cuerpos

de agua y por ende, sobre el crecimiento del fitoplancton (Murray & Donald, 1993). La irradianza provee la energía necesaria para el proceso de fotosíntesis, por tanto, cambios tanto en la calidad y la intensidad lumínica, afectan la productividad primaria. En nuestro estudio se observaron notables cambios en la productividad primaria, en términos de clorofila *a* y conteos totales, con la irradianza.

De acuerdo al modelo de ajuste realizado encontramos que la irradianza es el parámetro que más controla la productividad primaria, seguido de la temperatura. Dentro de la bahía, la variabilidad de la Chl *a* es explicada en un 24% a 58% por la época climática y en particular por la irradianza ($p < 0.001$). La manera en que la irradianza influyó a la Chl *a* fue distinta entre las épocas climáticas. En primavera la Chl *a* disminuyó con el incremento de la irradianza tanto en la bahía como en los estanques de prueba, pero en el VO la Chl *a* se incrementó directamente con la irradianza para la prueba y el control. Esto significa que a altos índices de irradianza, la productividad primaria disminuye.

Las bajas concentraciones de células en la temporada P, por un lado, asociado a bajas temperaturas, pero principalmente debido a las altas irradianzas. Esto indica el efecto nocivo de la intensa irradiación, lo cual produce un importante estrés ecológico que limita la producción primaria de fitoplancton lo que influye en su crecimiento y distribución (Holm-Hansen *et al.*, 1993; Neale, 2001). Las mayores productividades se observaron a mayores temperaturas e irradianzas más bajas, ésta condición se dio en el VO a partir de los periodos F, G y H. En nuestro estudio observamos una mayor productividad primaria en un rango óptimo de irradianza que va entre 0.75 a 0.85. Se han realizado estudios donde se ha demostrado que el fitoplancton crece y se desarrolla mejor a bajas irradianzas (0.75-0.85) (Fee, 1976; Pick *et al.*, 1984; Sand-Jensen, 1989). Lo que podría indicar que los

rangos de temperatura e irradianza obtenidos en este estudio favorecen al crecimiento fitoplanctónico.

Velasco et al. (2009) también encontró que la densidad celular de microalgas se ve afectada por la iluminación y por la interacción de esta con la temperatura. Pero al contrario de lo que nosotros encontramos, ellos indican que a mayor temperatura y mayor irradianza se tienen mayores concentraciones de microalgas. Esto se explica por tratarse de un experimento de laboratorio en los que la irradianza no llegó al límite de inhibición, en tanto que el nuestro en el medio natural la irradianza no se controló. Dubinsky *et al.* (1986) establecen que las tasas de crecimiento del fitoplancton se incrementan con la irradianza, hasta el punto de saturación. Cuando la irradianza se vuelve demasiado intensa puede ocurrir el proceso de foto-inhibición, el cual, como su nombre lo indica, inhibe las tasas fotosintéticas o de crecimiento (Sakshaug y Slagstad, 1991). Las altas irradianzas provocan que las tasas de respiración tiendan a incrementar adaptándose al incremento en la irradianza (Falkowski y Owens 1980; Langdon 1988; Sakshaug *et al.*, 1991). Esto es lo observado en nuestro estudio, donde las altas irradianzas observadas en la primavera y verano, cercanas o por encima a las de saturación, resultaron en disminución de la productividad.

Por otro lado, los cambios en la irradianza también producen cambios en la composición del fitoplancton. Se observaron diferencias entre grupos relacionados con la época climática de los periodos, y en particular, relacionados con la irradianza y temperatura. Por ejemplo, se observa una menor diversidad de grupos de fitoplancton a irradianzas >0.8 y mayor entre 0.9 y 0.95. Los ciliados solo estuvieron presentes a irradianzas cercanas a 0.9. Los dinoflagelados tecados (0.75 a 0.98) y las diatomeas pennadas (0.73 a 0.94) se desarrollan en un amplio rango de irradianzas. Las

cianobacterias (cerca de 0.78) y las Prasinoficeas (de 0.78 a 0.80) se reproducen mejor a bajas irradianzas, mientras que los ciliados (0.9), las diatomeas centrales (0.93-0.95) y dinoflagelados desnudos (0.94 a 0.98) a más altas irradianzas.

Litchman (2000) encontró que las fluctuaciones de irradianza, en promedio bajas, incrementan ligeramente las tasas de crecimiento de las diatomeas (*Nitzschia* sp.) y reduce el crecimiento de la cianobacteria (*Phormidium luridum*) y el alga verde (*Sphaerocystis Schroeteri*). A fluctuaciones en promedio altas, la irradianza en nuestro estudio no tuvo efectos significativos sobre la tasa de crecimiento de las diatomeas y algas verdes, pero si hubo un ligero incremento en las tasas de crecimiento de las cianobacterias (cuando la irradianza fluctuaba entre el nivel límite y la inhibición).

Efecto de la temperatura

La bahía de Teacapán presenta una temperatura promedio anual de 25°C con una máxima de 30.2°C y una mínima de 15.9°C (página SEMAR, 2016). La temperatura del agua de mar en la región puede ser tan baja como 15°C en invierno y llegar a ser tan alta como los 32°C en verano. En nuestro estudio, los valores de temperatura observados en la columna de agua mostraron intervalos de variación (19 a 36°C), ligeramente mayores a los registrados en estudios anteriores en la bahía (Fajer-Ávila et al., 2006; SEMAR, 2016). En todos los periodos de experimentación, se encontró una mayor temperatura dentro de los estanques que en la bahía de Teacapán. Esto está relacionado a diversos factores tales como una menor masa de agua, con menor circulación y a la menor profundidad del estanque.

Las tasas de reacción bioquímicas, las tasas metabólicas y casi todas las tasas de actividades biológicas se incrementan exponencialmente con la temperatura (Brown et al., 2004). Por tanto, la influencia de la temperatura en

las tasas de crecimiento del fitoplancton es determinante (Raven y Geider, 1988; Brown *et al.*, 2004). Nuestros resultados evidenciaron que el rango óptimo de temperatura para el crecimiento fitoplanctónico fue de 30 a 33°C. Estos valores óptimos fueron independientes de la concentración de nutrientes, pero no de la irradianza. Aunque la variación de la temperatura entre la bahía (control) y los estanques (prueba) ocurrió en un rango limitado, con una diferencia máximo 4°C, estos cambios ocurrieron alrededor de la temperatura óptima de máximo crecimiento. Como se señaló anteriormente, tanto la clorofila *a* como el conteo celular, presentaron mayores concentraciones en la temporada VO, caracterizada por mayores temperaturas y descensos de la irradianzas hacia el otoño. Los cambios de temperatura influyeron enormemente en la variación de la concentración de clorofila *a* y en el conteo total, lo cual explica parte del aumento en la productividad primaria. La temperatura óptima encontrada para los grupos de microalgas estudiados fue similar a lo reportado por Fukao *et al.* (2012) donde encontraron la máxima tasa de crecimiento a 30°C para la especie *Coscinodiscus granii*, y Yamaguchi *et al.* (1997) también encontraron las mayores tasas de crecimiento para *Heterocapsa circularisquama* a una temperatura de 30°C.

Por otro lado, cuando analizamos si los cambios en temperatura producen cambios en la composición del fitoplancton, observamos que al igual que con la irradianza se presentaron diferencias entre grupos debido a la temperatura. Destaca la presencia dominante de dinoflagelados a temperaturas menores a 29°C, aunque su distribución se dio hasta los 31°C: Por otro lado, los dinoflagelados desnudos toleran mayores temperaturas que el resto de grupos estando presentes casi exclusivamente por encima de 34°C. La mayor diversidad estuvo en el rango óptimo de 30-33°C. Los dinoflagelados tecados fueron el único grupo presente en un rango amplio de temperatura (desde 24 hasta 31°C).

Efecto del pH

El pH afecta muchos procesos asociados con el crecimiento algal y el metabolismo, incluyendo la disponibilidad y asimilación de iones (Borowitzka y Borowitzka, 1988). El pH puede ser influenciado por diversos factores como la productividad primaria, respiración, alcalinidad, adición de CO₂ al estanque, entre otras (Hernández-Pérez y Labbé, 2014; Martínez, 2008; Park *et al.*, 2011). En nuestro estudio encontramos ligeras variaciones de pH (7.9 a 8.48) promediando 8.2, valores similares a los encontrados en la literatura donde van rangos de 7.0 a 9.0 (Díaz-Cortes y Ordoñez-Valle, 2006). Sin embargo, el pH no tuvo en efecto significativo en la abundancia del fitoplancton. La razón puede ser atribuible a la gran variabilidad diurna de este parámetro en los estanques. Esta variación estuvo relacionada a los procesos de respiración y fotosíntesis que se producen al interior de los estanques. Por otro lado, la absorción del nitrógeno resulta en un incremento del pH del medio, especialmente cuando la fuente de nitrógeno son los nitratos (Fogg, 1965; Lourenço *et al.*, 2002; Velasco *et al.*, 2009).

El pH tampoco tuvo en efecto significativo en la composición del fitoplancton, aunque se reconoce que cada especie de fitoplancton necesita un rango determinado de pH que permita un crecimiento óptimo (Martínez, 2008). Por ejemplo, se ha encontrado que la especie de cianobacteria *Anabaena* sp. Produce altas densidades celulares a un pH de 8.0, y concentraciones de hasta 3 veces menos con un pH de 6.0 (Morales *et al.*, 2002). Algunos autores coinciden en que el crecimiento de las microalgas es óptimo a un pH neutro de 7.0-8.0 (Del Río *et al.*, 2007; Martin, 2010; Bermudez *et al.*, 2002). Este rango óptimo fueron los encontrados en nuestro estudio,.

Efecto de la salinidad

En nuestro estudio, la salinidad de la Bahía de Teacapán mostró ligeros cambios (<1 ups) entre épocas climáticas, con disminuciones relacionadas

con las lluvias más intensas al final del verano e inicios del otoño. Los aportes de agua dulce a la Bahía de Teacapán, una bahía abierta, con largas playas arenosas, son provenientes del río Baluarte que desemboca directamente a la línea de costa y de la descarga de aguas subterráneas. Por otro lado, la variación en la salinidad dentro de los estanques se relacionó con las tasas de evaporación debido al aislamiento y/o a la entrada de agua dulce por precipitación directa o infiltración de aguas subterráneas. Además de la temporada (lluvias), existen diversos factores que influyen en la variación de la salinidad en los estanques, tales como la tasa de recambio de agua y el tipo de cultivo (Andersen, 2005; Moronta *et al.*, 2006).

La salinidad es uno de los factores que determina tanto la composición de las microalgas como su productividad (Ruiz-Martínez, 2011), sin embargo, debido a la salinidad relativamente estable entre el control y la prueba, no se encontró ningún cambio significativo ni en la abundancia ni en la composición fitoplanctónica. El rango observado está dentro del intervalo óptimo de crecimiento de la mayoría de especies de microalga (Andersen *et al.* 2005; Bermúdez *et al.*, 2002).

Aunque la mayoría de microalgas pueden desarrollarse entre 30 y 35 ups (Andersen *et al.*, 2005), algunas especies se desarrollan mejor en rangos de salinidad inferiores o superiores. Por ejemplo, *Karenia* sp. se desarrolla mejor a salinidades altas (34 ups; Maier-Brown *et al.*, 2006). En nuestro estudio, ese grupo se desarrolló mejor entre 33-37 ups. Otros estudios han encontrado mayores concentraciones de células a una salinidad promedio de 35 ups (Bermúdez *et al.*, 2002) y, por el contrario, se encontró que a salinidades entre 27 y 35 ups no presentan efecto alguno sobre la microalga *Isochrysis galbana* (Velasco *et al.*, 2009). Se ha demostrado que *Heterocapsa circularisquama* tiene un mayor crecimiento a salinidades y temperaturas altas, de 35 ups y 30°C (Yamaguchi *et al.*, 1997; Matsuyama *et*

al., 1995; Matsuyama *et al.*, 1996), similar a lo encontrado en nuestro estudio, donde encontramos temperaturas promedio de 30°C y salinidades de 33 a 36 en el estanque en la temporada VO.

Efecto del OD

El oxígeno disuelto mostró grandes variaciones tanto dentro del estanque como en la Bahía Teacapán, lo cual es común. Esta variación diurna del OD estuvo relacionada a los procesos de respiración y fotosíntesis. No se encontraron concentraciones que provocaran una disminución en la concentración de microalgas. De hecho, no se observó ningún efecto significativo del OD sobre la abundancia y composición del fitoplancton. Por otro lado, se sabe que la abundancia del fitoplancton controla el aumento de la concentración del OD en el día y su disminución en las noches. Ciertos grupos fitoplanctónicos más que otros. Cortes-Altamirano y Licea-Duran (1999) encontraron que el florecimiento de Cianobacterias reduce la cantidad de OD hasta <1mg/L, ocasionando condiciones de anoxia, lo cual no ocurrió en el presente estudio.

Además, se ha comprobado que el nivel de saturación del OD en el agua decrece conforme la temperatura del agua incrementa (Bain y Stevenson, 1999). Ambas condiciones se dieron sobre todo en los meses de verano. Por otro lado, a mayor temperatura existe una mayor demanda de OD por parte del camarón, ya que hay un incremento en la demanda energética con el incremento de la temperatura (Bojórquez-Mascareño y Soto-Jiménez, 2013).

Efecto del movimiento del agua

El movimiento del agua tiene un efecto en el metabolismo de las algas, ya que facilita el transporte de iones desde y hacia la célula (Hurd, 2000). Junto con los nutrientes también la agitación y las corrientes pueden ser un factor determinante de la composición de la comunidad, aunque ello se debe, más

bien, a su influencia sobre la distribución espacial de los nutrientes. En nuestro estudio, consideramos que el movimiento de las masas de agua es mayor en la bahía que dentro del estanque. Esta falta de movimiento dentro del estanque no contribuye a la buena oxigenación del agua, principalmente, y a la resuspensión de nutrientes procedentes de los sedimentos. Una excepción ocurre en los periodos de tiempo en que hay una agitación mecanizada para airear los estanques, lo cual aumenta la resuspensión. En esta condición se aumenta la concentración de los nutrientes disueltos en la columna de agua del estanque, procedentes de los sedimentos, asociado a la disminución de su tasa de sedimentación y al aumento de la circulación vertical que permite la resuspensión de las esporas de resistencia que constituyen “la siembra” de muchas de estas especies en la capa superficial. En general, cuando aumenta la tasa de mezcla parece verse favorecido el crecimiento de las diatomeas.

La materia inorgánica en suspensión y la resuspensión de sedimentos que afectan también a la claridad del agua, también modifican la respuesta del fitoplancton a una mayor disponibilidad de nutrientes (Collado-Vides *et al.*, 2007; HESSING- Lewis *et al.*, 2011; Piñón-Gimate *et al.*, 2012; Cebrian *et al.*, 2014). Además de alterar significativamente los ciclos biogeoquímicos del N y P, y en menor grado el del Si. Entre los procesos más alterados son los relacionados a la mineralización de la materia orgánica y al reciclado de los elementos.

En este estudio la carga de sólidos de la fuente de agua (bahía de Teacapán) al sistema (estanque) fue relativamente constante. Por otro lado, el sedimento dentro del estanque no cambió en el tiempo, la velocidad y dirección predominante del viento de la región no se lo perturbó drásticamente. Durante el tiempo de los experimentos no se presentaron

huracanes ni tormentas que provocaran resuspensión de los sedimentos en la bahía o en los estanques.

Otra variable importante que controla la biomasa de fitoplancton es el tiempo de residencia del agua. El manejo de los estanques de camarón fue caracterizado por una tasa de recambio de alrededor del 15% del volumen por día. Bajo esta tasa de recambio, pretendíamos garantizar que la tasa de descarga fuese más lenta que la velocidad de generación de la población de fitoplancton (Valiela *et al.*, 2000; Xu *et al.*, 2010). Sin embargo, la duración de los primeros periodos (A y B), fueron relativamente cortos (7-10 días), siendo probable que el fitoplancton no tuviera tiempo para aclimatarse a las condiciones presentes en el estanque.

Efecto de la variación de las concentraciones y proporciones elementales de los nutrientes ambientales sobre la productividad

Los factores ambientales que controlan el crecimiento del fitoplancton en las zonas costeras son la temperatura, luz y salinidad (Norin y Waern 1973, Tewari y Joshi 1988). Pero además de las condiciones ambientales, los nutrientes son fundamentales para determinar el crecimiento del fitoplancton (Wang *et al.*, 2016; Smayda, 1990; Velasco *et al.*, 2009). Para determinar cómo las variaciones en las concentraciones y proporciones de nutrientes influyen en la abundancia y composición del fitoplancton, fue necesario conocer las concentraciones de nutrientes y las proporciones en la Bahía de Teacapán para luego establecer los niveles de prueba en los estanques. Las formas químicas del N en la Bahía de Teacapán variaron para amonio (1-4.2 μM), nitritos (0.01 a 0.64 μM) y nitratos (0.21-2.24 μM). Tanto la fracción orgánica disuelta (NOD 24.6-76.1 μM) y la orgánica particulada (NOP 7.6-35.2 μM), son las formas que más contribuyen al N total (16.3-102.2 μM). Hay más N presente en mediados y finales de la primavera que en el otoño. Los niveles de nitratos generalmente se correlacionan negativamente

con la temperatura del agua, y oscilan entre <0.1 y $>14 \mu\text{m}$ durante todo el año. El P disuelto ($<\text{L.D.}$ hasta máximos de $2 \mu\text{M}$) presentó niveles muy bajos, incluso por debajo del L.D., al inicio de la primavera, y se incrementó a mediados del verano. Los silicatos (1.37 a $38.7 \mu\text{M}$) presentaron menores concentraciones en primavera y máximas en el verano-otoño.

En la bahía de Teacapán la disponibilidad estacional de nutrientes resulta de la combinación de tres factores: la circulación termohalina, la mezcla vertical y las surgencias costeras. La región está influenciada por la corriente de California y parcialmente por la corriente del GC. Es una de las bahías con menor afectación por actividades humanas del estado de Sinaloa, tanto por alteración de su cuenca de captación como por la descarga directa de contaminantes. En la región, los florecimientos algales ocurren de manera estacional y están relacionadas con una elevada disponibilidad de nutrientes en la zona eufótica. En la zona ocurren episodios periódicos de surgencias, siendo más intensas en mayo y junio. En esta época, los florecimientos de microalgas, incluyendo aquellos nocivos, son resultantes de las surgencias costera, resultado natural del movimiento de determinadas corrientes oceánicas. Por otro lado, la temporada de lluvias probablemente influye en los incrementos de silicatos en el otoño.

Con el propósito de emular lo que ocurre en la columna de agua de los sistemas costeros poco profundos como bahías, lagunas y estuarios, en este trabajo se experimentó con la adición de N, P y/o Si. La adición de los nutrientes a los estanques ocurrió en pulsos, como ocurre frecuentemente en sistemas costeros. Las cantidades adicionadas a los estanques de prueba durante los periodos de experimentación fueron desde cero (no adición) hasta incrementos de 2 a 11 veces más respecto lo niveles en la bahía de Teacapán (control). Las formas inorgánicas de N (nitritos, nitratos y amonio) fueron significativamente enriquecidas y en particular el amonio. Asimismo el

P y el Si. Esto favoreció el estudio de la perturbación de la estructura del fitoplancton (abundancia y composición) en masas de agua experimentalmente eutrofizadas con las de la bahía de Teacapán. Entre las desventajas de nuestro trabajo está el hecho de no tener el control total sobre las prácticas de manejo de la granja (adición de nutrientes, predación por camarón), sin embargo, dado que tales prácticas interfieren directamente en nuestros experimentos, las mismas fueron cuidadosamente monitoreadas. Otra desventaja es que no es posible lograr imitar del todo los sistemas naturales, lo cual puede resultar en un comportamiento distinto del fitoplancton dentro del estanque con el que ocurre en su hábitat natural.

Como se esperaba, el enriquecimiento de nutrientes dentro de los estanques resultó en un mayor crecimiento de ciertos grupos de fitoplancton y en mayores biomásas respecto a las aguas no enriquecidas de la bahía de Teacapán. Nuestros resultados evidenciaron que bajo las mismas condiciones ambientales (temperatura, irradianza y salinidad), una mayor disponibilidad de nutrientes resulta en una mayor concentración de clorofila *a* y abundancia fitoplanctónica. A pesar de esta respuesta positiva del fitoplancton al aumento en la disponibilidad de nutrientes es el crecimiento, este no ocurrió de manera lineal. Es decir, ni la concentración de clorofila *a* ni el conteo total presentó una elevada correlación lineal con el incremento de la concentración de ninguno de los nutrientes. Por otro lado, no todos los grupos del fitoplancton aumentan de una manera cuantitativamente predecible con el aumento de las cargas de nutrientes. Esto indica que hay otros factores que también controlan la abundancia y composición del fitoplancton (Bruschetti *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2010).

Cuando se verificó cual nutriente, N o P, provocaba el mayor efecto sobre la productividad, observamos que fue el N en la bahía de Teacapán y el P dentro del estanque. Esto significa que con la luz solar adecuada

(temperatura e irradianza óptimas), el N regula la velocidad de crecimiento y cantidad de biomasa de los productores primarios en la bahía y el P en el estanque. Pero además, observamos que cuando se incrementó el suministro de N y P, la clorofila *a* y el fitoplancton fue más abundante. Simplemente en el agua de la bahía de Teacapán los conteos variaron desde 3,000 hasta 650,000 células/L, pero en los estanques de prueba desde 2,000 a 83,470,000 células/L. Aunque todos los grupos fitoplanctónicos que están presentes en la bahía estuvieron al interior del estanque, y viceversa, observamos que los conteos de algunos de ellos variaron enormemente. Por ejemplo, Cianobacteria (78,000,000 cel/L), *Karenia* sp. (30,930,000 cel/L), *Heterocapsa* sp. (16,920,000 cel/L) y *Pyramimonas* sp. (11,070,000 cel/L) se incrementaron muy por encima a los conteos en la bahía (<10,000 cel/L).

Importancia del nitrógeno

El nitrógeno es un nutriente esencial para las microalgas. Este se presenta de diferentes formas en el agua, incluyendo nitrógeno diatómico (N_2), amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), otros óxidos de nitrógeno y nitrógeno en compuestos orgánicos. De los principales nutrientes el nitrógeno ha mostrado ser el de comportamiento más complejo en relación a su asimilación, por la gran diversidad de formas orgánicas e inorgánicas en las cuales está presente y disponible para su utilización. El amonio normalmente es bajo en aguas oxigenadas donde las bacterias lo oxidan a nitrato (Sze, 1998). El N se incorpora a las células microalgales como NO_3^- o como NH_4^+ (Grobbelaar 2004; Martínez 2008; Hernández-Pérez & Labbé, 2014).

El nitrógeno es aceptado en las vías metabólicas de las microalgas en forma de amonio, mientras que la asimilación de nitrato requiere de la transformación de nitrato a nitrito y posteriormente a amonio mediante cuatro pasos de reducción que requieren energía, resultando más favorable para las algas usar el amonio cuando éste está disponible (Riley y Chester, 1971;

Sze, 1998). Las formas químicas de N preferenciales del fitoplancton son: amonio > urea > nitrito > nitrato y > que otros compuestos orgánicos diferentes a la urea (McCarthy *et al.*, 1977; Smayda, 1983; Lomas & Glibert, 1999). En este estudio, la forma predominante de N en la bahía (control) fue nitratos, mientras que en el estanque de prueba fue amonio que resulta de la descomposición del alimento formulado y del excretado por el camarón. La excreción de N amoniacal por el camarón se incrementa con la talla.

A pesar de que el amonio es más fácilmente asimilado por el fitoplancton, este compuesto podría ser un inhibidor para algunas especies costeras. La toxicidad al amonio ocurre para algunas especies desde 25 μM (Keller *et al.*, 1987), pero la mayoría tolera concentraciones mayores a 500 μM (Andersen *et al.*, 2005) o hasta 1,000 μM (McLachlan, 1973). En nuestro estudio tuvimos concentraciones máximas de experimentación de hasta 90 μM , por lo que no se presentan afectaciones al crecimiento del fitoplancton.

En general se acepta que el nitrógeno es el nutriente limitante en las aguas costeras (Peckol *et al.*, 1994, Valiela *et al.*, 1997), aunque este papel no siempre es claro. En nuestros resultados se observó una fuerte correlación entre la biomasa de fitoplancton y la media de NT (nitrógeno total). El N, en particular sus formas oxidadas (suma de nitritos+nitratos), fue el nutriente que más contribuye a explicar la variabilidad de la Chl a en todos los casos. Moronta *et al.* (2006) también encontró que la mayor producción de Chl a en cultivos estuvo relacionada con el aporte de nutrientes ricos en fuentes nitrogenados. Esta fuerte relación entre producción algal y disponibilidad de nitrógeno es coherente con lo reportado por Guildford y Hecky (2000) y Smith (2006) y con la mayoría de los modelos empíricos de biomasa y productividad que aparecen en la literatura de ecosistemas marinos (Nielsen *et al.*, 2002). Trott & Alongi (2000) encontraron concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto de 15 μM , 3.8 μM de NH_4 y 4.0 μM de NO_2+NO_3 . Valores

similares a los encontrados en nuestro estudio. Las menores concentraciones de nitrito presente en el sistema se explican por el hecho de ser un producto intermedio del proceso de nitrificación (Ramos *et al.*, 2010). Matsuyama *et al.* (1997) encontraron una marea roja en la bahía de Hiroshima a concentraciones de 7.8 a 12.1 μM de nitrógeno inorgánico disuelto, similar a las concentraciones encontradas en nuestro estudio, lo que sugiere que se tuvieron concentraciones suficientes para sostener un florecimiento fitoplanctónico.

Importancia del fósforo

El fósforo es uno de los macronutrientes esenciales en el crecimiento de las microalgas y fundamental en muchos procesos celulares, desde la formación de ácidos nucleicos hasta la transferencia de energía (Grobbelaar, 2004). Este elemento es asimilado por el fitoplancton preferentemente en forma de ortofosfatos (P-PO_4^{-3}). Aunque el contenido de fósforo de las microalgas es menor al 1%, su deficiencia en el medio de cultivo es una de las mayores limitaciones al crecimiento. Existen factores que afectan la toma de fosfatos por parte de las algas, como un pH excesivamente alto o bajo y la ausencia de iones como potasio, sodio o magnesio (Ruiz- Martínez, 2011; Grobbelaar 2004).

A pesar del control en la adición de P al estanque, observamos una enorme variabilidad de los niveles en la columna de agua. Entre otros motivos, como resultado de múltiples procesos ocurriendo simultáneamente y que incluye a la adsorción/desorción de P en la superficie de las partículas de sedimentos, la asimilación biológica y remineralización y de la disolución de las partículas de fósforo por medio de reacciones redox (Howarth *et al.*, 1995). Además, la excreción del camarón que adiciona fósforo orgánico que es transformado a fosfatos.

Guildford & Hecky (2000) examinaron la relación entre la biomasa de fitoplancton y la disponibilidad de fósforo en sistemas marinos (Smith, 2006). Ambos grupos de trabajo demostraron una covarianza positiva entre clorofila *a* y el fósforo total. De acuerdo a Riley & Chester (1971), a partir de concentraciones de fosfato superiores a 10 $\mu\text{g P/L}$ (0.32 μM), la tasa de crecimiento de muchas especies de fitoplancton es independiente de la concentración de fosfato. Sin embargo, si la concentración decrece bajo ese nivel crítico, la división celular se ve cada vez más inhibida, las células serán deficientes en fósforo, y por lo tanto la fotosíntesis cesa. Si esas células reciben un aporte de fosfato, lo asimilarán rápidamente. Una vez en el interior de la célula, el ortofosfato pasa a formar parte, o bien de los cúmulos de reserva intracelulares o de elementos estructurales y funcionales. Matsuyama *et al.*, (1997) encontraron una marea roja *Heterocapsa circularisquama* a una concentración relativamente baja de PO_4 de $<0.14\mu\text{M}$. Sin embargo, es probable que las células tuvieran importantes reservas del nutriente. En nuestro estudio, los niveles de concentración de fósforo disuelto dentro de los estanques de prueba fueron muy por encima del límite crítico. En este estudio encontramos altas concentraciones de hasta $27\mu\text{M}$ en la temporada VO y de $11\mu\text{M}$ en la temporada P, y las menores concentraciones variaron de 1 a 3 μM . Por lo que podemos decir que no se tiene una limitación de PO_4 en nuestros sitios de estudio. Al explorar la importancia del PO_4 como nutriente limitante observamos que la contribución nutriente en explicar la variabilidad de la Chl *a* fue significativo en las aguas de la bahía en los diferentes de periodos experimentales en ambas épocas climáticas ($p<0.0001$). Al interior de los estanques el incremento de PO_4 resultó en incrementos de la Chl *a* solamente en los periodos de primavera, en el verano su incremento no benefició al contenido de Chl *a*. Esto debido a sus muy elevadas concentraciones.

Importancia del silicio

A diferencia del N y P que son nutrientes esenciales para todos los productores primarios, el Si es requerido solamente por ciertos grupos fitoplanctónicos. En particular, las diatomeas, silicoflagelados y algunas crisófitas. En estos grupos el Si tiene un rol biológico, lo necesitan para la formación de sus frústulos (Barsanti & Gualtieri, 2006; Sze, 1998; Lagus, 2009; González-González, 2010; Andersen, 2005). Las diatomeas poseen un esqueleto compuesto de formas no cristalinas de sílice hidratado (Riley & Chester, 1971). Por tanto, éstas pueden absorber y almacenar el silicio. El transporte del ácido orto-silícico al interior de las células se realiza mediante un sistema de transporte ligado a la membrana celular. El almacenamiento intracelular puede aumentar la concentración de silicio de 30 a 250 veces superior a la del agua. Cuando los organismos silicados mueren, la regeneración del Si no sigue las mismas rutas del N y P energizado por la degradación orgánica, pero sigue procesos químicos mucho más lentos (Dugdale & Wilkerson, 2001). Por tanto, en los estanques de prueba, las tasas de disolución de silicio se consideran prácticamente nulas.

En general, los silicatos no contribuyeron significativamente a la variación de la Chl *a*, en ningún caso. Aunque si se observó varios grupos de fitoplancton (p.ej. las cianobacterias, los dinoflagelados tecados y desnudos) que no dependen de este para crecer, están presentes un amplio rango de este nutriente, desde valores casi cercanos a cero hasta máximos de 50 μM de SiO_2 . La presencia de diatomeas centrales, que si dependen del Si, se presentan a concentraciones $>10\mu\text{M}$ de SiO_2 y la diatomeas pennadas a partir de los 5 μM . En la bahía, los niveles variaron enormemente (0.6-144.88 μM). Se sabe que el silicato reactivo (SiO_4) presentan enormes variaciones temporales (White *et al.*, 2004). Se ha encontrado que la tasa de disolución del Si aumenta con la temperatura y disminuye por la presencia de los cationes Fe^{2+} y Al^{3+} que estabilizan el Si biogénico. En muchos estuarios,

el Si aportado por la regeneración en verano (mayor temperatura) excede el aportado por las aguas continentales. Esto mismo ocurrió en nuestra área de estudio.

Importancia de las relaciones elementales

Redfield en su modelo propuso una relación constante de consumo de oxígeno y producción de nutrientes, donde el consumo de 276 átomos de oxígeno produce 106 átomos de carbono, 16 de nitrógeno y 1 de fósforo (Redfield *et al.*, 1963). El agua con una relación N:P superior a la de Redfield (15-16) tiene limitación de P, en tanto que una relación de Redfield más baja, indica que el N es el nutriente limitante (Correll, 1998). En general, el fitoplancton requiere una proporción molar aproximada de 106:16:1:16 en átomos de carbono, nitrógeno, fósforo y sílice para el balance adecuado de los procesos fisiológicos de crecimiento. Desviaciones de esta proporción pueden sugerir limitación de nutrientes (Lagus, 2009), o por lo contrario, cuanto más próxima este a esta composición, mayor crecimiento y toma de nutrientes tendrá lugar (Parsons *et al.*, 1984; Burford, 1997). La mayoría de los medios no equilibran las concentraciones de macronutrientes necesarios para el crecimiento algal. Sin embargo, las microalgas son capaces de adaptarse al medio de cultivo y tomar uno de los nutrientes en una proporción mayor que la presente en principio, en su composición celular (Ruiz- Martínez, 2011).

Justic *et al.* (1995) establece que existe limitación de P para las relaciones $Si:P > 22$ y $NID:P > 22$. Por otro lado, existe limitación de N cuando $NID:P < 10$ y $Si:NID > 1$. Finalmente existirá limitación de Si cuando $Si:P < 10$ y $Si:NID < 1$. Sin embargo, aunque estas guías son útiles, presuponen que las células fitoplanctónicas absorben los nutrientes en proporciones atómicas aproximadamente constantes y similares a las que se encuentran en los organismos vivos (N:P:Si = 16:1:16). Por otro lado, hay que tener presente

que no todas las especies poseen estas proporciones, y que además estas relaciones pueden variar dentro de una misma especie dependiendo del ciclo diario y de las condiciones nutricionales previas.

Debido a las adiciones de nutrientes, las relaciones elementales fueron drásticamente modificadas en ambos sentidos, a la alza y a la baja con respecto a la bahía. En general en nuestro estudio, la relación N:P se redujo de ~195 en la bahía a ~86 en la prueba, por adición de P. Esta proporción elemental presentó el mayor rango de variación al interior del estanque, desde 1-5 hasta cerca de 1000. En ningún caso hubo limitación de N. La relación N:Si se mantuvo cercanamente constante entre el control y la prueba (1.75-14.3 y 4.6-13.6, respectivamente), pero su rango de variación fue desde cerca de cero hasta 13-100. El incremento en la entrada de nutrientes provoca un incremento en la relación N:Si (Aure *et al.*, 1998), particularmente en áreas donde el recambio de agua es restringido, como es el caso de nuestro estudio (Smayda, 1990). El aumento de la relación N:Si por encima de 1:1, sin duda, da lugar a una limitación de Si (Levasseur y Therriault, 1987; Dortch y Whittedge, 1992). Esto indica eventos de limitación por Si. En tanto que la relación Si:P variaron desde 6.5-36.5 en el control a 6.6-176 en la prueba. También se observa eventos de limitación por P. En ningún caso se observa limitación por N. Mientras que la proporción elemental Si:P tuvo una menor variación, desde <1-11 hasta 36-303. La producción de fitoplancton raramente parece estar limitada por deficiencia de nutrientes en aguas confinadas (Fisher *et al.*, 1992; Vila & Masó, 2005), en particular en los estanques acuícolas con altas entradas de nitrógeno y fosforo.

La pregunta sobre si la disponibilidad del nutriente (N, P o Si) y/o los cambios de sus relaciones estequiométricas resultaría en cambios en la abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos fue realmente difícil de responder.

Encontramos que la relación N:Si fue significativa para explicar la variabilidad de la Chl *a* en la bahía (control) y en los estanques de prueba en la temporada verano-otoño. En tanto que las relaciones N:P y Si:P no fueron importantes y por lo contrario aumentos en la relación N:Si implicó disminuciones en la Chl *a*.

En general podemos establecer que, bajo las mismas condiciones ambientales, la disponibilidad del N, P y Si resultó en cambios en la abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos, pero que la composición fitoplanctónica también depende de las proporciones elementales (N:P:Si). Por ejemplo, encontramos que varios grupos fitoplanctónicos se desarrollan mejor a relaciones bajas (<22) tales como Ciliados, Diatomeas centrales, Dinoflagelados tecados, mientras que las Cianobacterias presentan sus máximas concentraciones a relaciones altas (>45). Cambios en esta relación podría causar un cambio de limitación de N:Si en el crecimiento de la diatomea, lo que podría afectar potencialmente a la población de diatomeas tanto cuanti como cualitativamente (Roberts *et al.*, 2003; Davidson and Gurney, 1999). En este estudio encontramos que las máximas concentraciones de diatomeas centrales y pennadas se presentan en relaciones 8:1, igual a la relación óptima establecida por Aslan y Kapdan (2006) para el N y P. Cambios en esta relación podría causar un cambio de limitación de N:Si en el crecimiento de la diatomea, lo que podría afectar potencialmente a la población de diatomeas tanto cuanti como cualitativamente (Roberts *et al.*, 2003; Davidson and Gurney, 1999).

En relación a la pregunta sobre disponibilidad del Si afecta a la abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos, debemos remarcar que las diatomeas son el único grupo de los estudiados que necesitan cantidades significativas de silicatos para su crecimiento. Por tanto, la biomasa total del fitoplancton cuando está conformada por otros grupos no puede ser limitada

por los silicatos, pero su disponibilidad dará forma a las comunidades fitoplanctónicas. En nuestro análisis encontramos que a menor disponibilidad de Si (proporciones de Si:N y Si:P bajas, <10 y <20, respectivamente) se presentó una menor abundancia de diatomeas y silicoflagelados y mayor abundancia de aquellos grupos que no dependen del Si. Esto principalmente debido al exceso en la carga de nutrientes (N y P) que favorece el crecimiento de todos estos grupos fitoplanctónicos que no dependen de los silicatos. Por otro lado, se sugiere que la eutrofización de las aguas costeras por residuos domésticos relativamente pobres en Si, podría conducir a un agotamiento del Si y a la eliminación de las diatomeas de las comunidades fitoplanctónicas (Officer & Ryther, 1980).

Cambios en la composición

La composición fitoplanctónica observada en este estudio es similar a lo reportado previamente para otras zonas costeras del estado de Sinaloa (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2003) y para granjas acuícolas para el cultivo de camarón (Cortés-Altamirano, 1999). Los grupos que predominaron en los estanques de prueba fueron las Cianobacterias, los Dinoflagelados desnudos y las Prasinoficeas. Las Prasinoficeas predominaron en el ambiente natural, las Diatomeas tuvieron concentraciones mucho menores a las de estos dos grupos, lo cual podría deberse a que estas requieren de una mejor calidad del agua para poder reproducirse, ya que son indicadoras de calidad de agua, además de que necesitan de más tiempo para crecer y formar sus ornamentas, mientras que los dinoflagelados desnudos no requieren de mucho tiempo para su reproducción, y por otro lado las Cianobacterias se reproducen rápidamente además de ser de menor tamaño (Peña *et al.*, 1990).

En el medio natural encontramos una composición o abundancia diferente a la que se encuentra en los estanques acuícolas. Los grupos fitoplanctónicos

más abundantes en el Golfo de California son las diatomeas seguidos de los dinoflagelados (Licea *et al.*, 1995). Mientras que en los estanques acuícolas del estado de Sinaloa el grupo dominante fueron las cianobacterias, seguido de los dinoflagelados y las diatomeas (Cortés-Altamirano, 1994). Esto se debe principalmente a que las cianobacterias son los organismos que mejor se adaptan a las condiciones presentes en los estanques, tales como altas concentraciones de nutrientes, cambios de temperatura y exceso de materia orgánica. Además de presentar una gran capacidad para asimilar nutrientes y vivir en condiciones de eutrofia y poca intensidad luminosa (Cortés-Altamirano & Licea-Durán, 1999).

Los grupos que presentaron una mayor variación relacionada con los cambios ambientales y de nutrientes en este estudio se presentan a continuación de mayor a menor sensibilidad: Cianobacterias, Dinoflagelados desnudos, Dinoflagelados tecados, Prasinoficeas, Ciliados, Diatomea central, Silicoflagelados y por ultimo Diatomea pennada. Como ya lo habíamos mencionado anteriormente el grupo de las Cianobacterias es el que mejor se adapta a las condiciones eutróficas presentes en los estanques, además de presentar una gran capacidad para asimilar nutrientes y vivir en condiciones de bajas y altas intensidades luminosas (Cortés-Altamirano & Licea-Durán, 1999), es por ello que les resulta más fácil predominar en este ambiente. Los Dinoflagelados tienen una alta velocidad de reproducción y las tasas de división de estos se ven afectadas por factores similares que también afectan a las Diatomeas. Pero, por otro lado, se ha encontrado que en la mayoría de las aguas tropicales el número de Diatomeas tiende a disminuir, por lo que los Dinoflagelados se convierten en el constituyente más importante del fitoplancton (Raymont, 1963), esto nos explica la disminución en la concentración celular de las Diatomeas una vez dentro del estanque, ya que se tienen temperaturas ligeramente más elevadas en el estanque con respecto de la bahía Teacapán (diferencia de 4°C en VO y 2°C en P). En la

temporada P en la prueba no fue posible encontrar dinoflagelados desnudos lo que nos lleva a la conclusión de que como es sabido diferentes especies de dinoflagelados son formadores de quistes los cuales tienen diferentes "ventanas de temperatura" para la germinación, lo que también explica la sucesión estacional de las respectivas poblaciones (Anderson & Rengefors, 2006). Los Silicoflagelados presentaron bajas concentraciones debido a que este grupo se desarrolla en lugares más fríos, además se piensa que no contribuyen grandemente a la biomasa comparada con otros grupos (Raymont, 1963).

La variación de las especies de fitoplancton se dio principalmente por la Cianobacteria N.I., seguida de *Karenia sp.*, *Heterocapsa sp.*, *Scrippsiella sp.*, Ciliado N.I. y *Coscinodiscus sp.* Encontramos que *Scrippsiella sp.* incrementó su concentración celular una vez en el estanque, lo que puede ser por el incremento en los nutrientes que se encuentra en el estanque, algo similar a lo que paso con *Scrippsiella trochoidea* en cabo Catoche en el Golfo de México en 1994, Licea *et al.*, (2004) encontraron un florecimiento de *Scrippsiella* es una zona de surgencia, por lo que el florecimiento se atribuyó a la alta concentración en los niveles de minerales y sustancias orgánicas disueltas.

La influencia de la concentración de nutrientes sobre la composición de la comunidad fitoplanctónica se traduce en variaciones temporales de ésta. Las mayores proliferaciones de diatomeas y dinoflagelados se dieron dentro de los estanques en los primeros periodos. Pero sin que necesariamente sus conteos disminuyeran, aunque sí ocurrió en ciertos días, los porcentajes de contribución de ambos grupos tienden a disminuir al interior de los estanques conforme se avanzó en los periodos de experimentación, respecto a la bahía, siguiendo patrones similares a como lo hacen los distintos nutrientes. Estas variaciones condicionadas por la concentración de nutrientes pueden

observarse si comparamos las densidades de dinoflagelados en la prueba vs control.

Bulit *et al.*, 2011 realizaron una investigación donde estudiaron la variación de los ciliados encontrando que la mayor variación se produce entre épocas, en épocas de secas se encuentra una mayor homogeneidad en la variación de los ciliados con respecto de la época de lluvias que es donde se tienen las mayores variaciones, lo que produce una mayor variabilidad en los factores físicos, químicos y biológicos. En nuestro estudio también encontramos las mayores variaciones tanto físicas como químicas en épocas de lluvia, además de las mayores concentraciones celulares a pesar de que el Ciliado N.I. no presentó un porcentaje importante.

Coscinodiscus sp. fue la especie que mostró poca variación entre la B. Teacapán y el estanque, pero las condiciones del efluente no le favorecieron y se observó una disminución considerable en la concentración celular, esto podría deberse al incremento en las concentraciones de NH_4 presentes en el estanque, inhibiendo el crecimiento de esta especie (McLachlan, 1973). Por otro lado, Fukao *et al.*, (2012) encontraron que *Coscinodiscus granni* muestra su máxima tasa de crecimiento ($1.63 \text{ divisiones } \text{dia}^{-1}$) y de conteo celular a la temperatura de 30°C , temperatura similar a la presentada en este estudio.

Además, se observó que ocurren cambios en la composición del fitoplancton con el cambio en estas variables ambientales. A más altas irradianzas se observan mayores concentraciones de dinoflagelados, tanto desnudos como tecados, en tanto que a irradianzas más bajas, la abundancia aumenta siendo más abundantes los grupos de las diatomeas, los dinoflagelados tecados, cianobacterias y Prasinoficeas. En cambio la distribución que se observa con la temperatura es un poco diferente, encontramos que a más altas temperaturas se presentan los dinoflagelados desnudos, las diatomeas, Prasinoficeas, ciliados y cianobacterias, mientras que a bajas temperaturas

se encuentran principalmente los dinoflagelados tecados. La proliferación de dinoflagelados en ambientes en confinamiento y con altas concentraciones de materia orgánica y amonio, como la de los estanques, ha sido reportada previamente (López-Flores *et al.*, 2006).

Importancia de la predación

Además de las condiciones ambientales de irradianza y temperatura, afectados por la estación del año, y de la concentración y tipo de nutriente, otros factores que limitan el crecimiento del fitoplancton en ambientes costeros (abundancia), incluye la naturaleza del sustrato sedimentario y el tiempo de residencia del agua, e incluso de factores biológicos como la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica y de la intensidad del pastoreo. Un pastoreo intenso puede eliminar grandes cantidades de biomasa fitoplanctónica, lo cual resulta en aguas claras a pesar del enriquecimiento de los nutrientes (Bruschetti *et al.*, 2008). En nuestro estudio, el intenso pastoreo ocurrido durante los periodos experimentales A y B por parte de las larvas de camarón, resultó en el consumo de grandes cantidades de biomasa de fitoplancton disminuyendo incluso la concentración de células con respecto de las que se tenía en la bahía de Teacapán. Este pastoreo mantuvo la biomasa en niveles con pocos cambios, aunque los nutrientes se hayan enriquecidos.

Se sabe que la producción natural puede complementar la alimentación del camarón (Moss, 2002; Decamp *et al.*, 2002). Se han realizado estudios donde se ha encontrado que entre el 44 y 86% del crecimiento del camarón (*L. vannamei*) puede ser debido a la productividad natural dentro del estanque (Dittel *et al.*, 1997; Browdy *et al.*, 2001; Godoy *et al.*, 2012; Bojórquez-Mascareño & Soto-Jiménez, 2013; Brito *et al.*, 2015). El fitoplancton forma parte importante en la alimentación del camarón principalmente en sus primeros estadios (postlarva y juveniles menores).

Las diatomeas centrales han sido clasificadas como el grupo fitoplanctónico más deseable en aguas costeras y dentro del estanque, debido a su importancia en la cadena alimenticia, y a que no son especies nocivas y sus floraciones no son tóxicas (Officer & Ryther, 1980). En nuestro estudio trabajamos desde PL´20s hasta juveniles mayores de *Litopenaeus vannamei*, y la predación se dio principalmente para el grupo de las diatomeas, debido a que el camarón a pesar de ser oportunista presenta una preferencia hacia las diatomeas. Gamboa-Delgado *et al.*, (2003) analizaron el contenido estomacal del camarón *L. vannamei* cultivado en estanques acuícolas, encontrando que los camarones mayores a 6 gramos contienen más del 30% de materia vegetal en su contenido estomacal, y el mayor porcentaje está compuesto por fragmentos de plantas vasculares y de diatomeas, lo cual fue reportado en el 40%, 15% y 29% de los estómagos analizados en camarones de 6, 8 y 10 gr, respectivamente. Wasielesky *et al.*, (2006) confirma el beneficio de la productividad natural en la producción del camarón blanco *L. vannamei*.

El efecto de la predación sobre las diatomeas, pero no sobre los ciliados y cianobacterias, juega un papel muy importante sobre la abundancia y composición del fitoplancton. Como hemos observado se tienen diferencias en la composición fitoplanctónica entre el control y la prueba, estos se deben principalmente a que existe una gran variabilidad tanto en los grupos de fitoplancton como en las condiciones ambientales y de nutrientes, pero un factor adicional es la predación presente en el estanque.

Cambios en la proporción de diatomeas:cianobacterias (D:C) en función del N y P

En respuesta a la pregunta sobre si los cambios en la proporción de diatomeas:cianobacterias (D:C) están en función del grado de enriquecimiento de las aguas con N y P, podemos concluir que si. En nuestro estudio observamos que ante el enriquecimiento del N y P en las aguas de los estanques, se tuvo inicialmente una mayor producción de diatomeas,

mismas que disminuyeron conforme se avanzó en el tiempo. La razón de la disminución fue un doble efecto del consumo de las diatomeas por las larvas de camarón y por otro lado, por la sobreproducción de cianobacterias. En tanto que las cianobacterias se incrementaron exponencialmente en los estanques, en la bahía las diatomeas seguían siendo el grupo dominantes. Esto ha sido previamente reportado en aguas eutrofizadas de estanques de camarón (Casé *et al.*, 2008; Yusoff *et al.*, 2010).

En general, en este estudio encontramos que el grupo dominante fueron las cianobacterias en la prueba, y las diatomeas en el control. Así también la abundancia de cianobacterias se incrementó notablemente respecto a las diatomeas dentro de los estanques en cada periodo. Una excepción fue observada en el periodo H en que ocurrió un incremento inesperado de diatomeas lo que provocó que la relación diatomeas:cianobacterias tuviera altos valores en la prueba, lo que se atribuye a que en este periodo se encontraron las condiciones óptimas de temperatura (30-31°C), irradianza (0.82-0.83) y de nutrientes para este grupo fitoplanctónico y a la ausencia de predación. En esta etapa los camarones habían dejado de ser planctónicos y convertidos en bentónicos y alimentados básicamente de alimento formulado. Debido al florecimiento inesperado de diatomeas la proporción diatomeas:cianobacterias (D:C) fue menor en aguas enriquecidas con N y P (eutrofizadas) que en aquellas presentes en un ambiente natural. Por lo que nuestra cuarta hipótesis no se cumplió del todo.

IX. CONCLUSIONES

- 1.** De acuerdo al propósito de este estudio encontramos que efectivamente se tienen cambios positivos y negativos de acuerdo a las preferencias de cada grupo o especie estudiados, es decir, a los cambios en las condiciones ambientales, de nutrientes y a la predación (según fue el caso).
- 2.** Confirmamos nuestra primera hipótesis que cambios en las condiciones ambientales resultan en cambios en la abundancia y en la composición del fitoplancton. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio nosotros encontramos que la irradianza y la temperatura son los principales factores que contribuyen a la producción primaria. Las concentraciones celulares más altas se presentaron en un rango de temperatura óptimo el cual va de los 30 a los 33°C. A mayores intensidades de irradianza (>0.90) se presentaron menores concentraciones celulares. El rango óptimo de irradianza donde se encontraron los mayores conteos fitoplanctónicos fue de 0.75 a 0.85.
- 3.** Además de estas variables, una mayor disponibilidad de nutrientes resulta en un alza en la Chl *a* y en la concentración de células fitoplanctónicas tanto en los estanques de prueba como en la bahía. El análisis multivariado nos mostró que los principales factores que producen las variaciones en la composición y abundancia del fitoplancton en general son: la irradianza, la temperatura y el N. Sin embargo, al momento de evaluar la importancia de los nutrientes por separado en cada uno de los periodos, encontramos algo particular, no siempre resultaron ser significativos los mismos. En particular, el N fue limitante para la bahía y estanques (prueba), pero también resultó ser el P y/o los silicatos para la prueba las que mejor explican la productividad primaria. Contrario a lo que esperábamos, lo que nos hace pensar que las variables predictoras están

interrelacionados para contribuir de manera significativa en la abundancia y composición de los diferentes grupos fitoplanctónicos.

4. Aunque las concentraciones de SST y disco Secchi correlacionaron positivamente con la Chl *a*, no siempre resultaron ser significativos, esto se debe a la contribución a la carga de sólidos provenientes de otras fuentes y no necesariamente derivados de productividad primaria.
5. En los periodos en los que ocurrió predación, la variación de la Chl *a* y del conteo celular dentro de los estanques de prueba fue dada principalmente por la predación por parte del camarón ($P < 0.0001$), temperatura ($P < 0.0001$) y la salinidad ($P = 0.0236$). Comparativamente, en la bahía de Teacapán la variación se produjo por los cambios en la temperatura ($P < 0.0001$) y la irradianza ($P = 0.0236$). Y a la salida (efluente) fue dada por SiO_2 ($P < 0.0001$), irradianza ($P < 0.0001$) y NO_3 ($P = 0.0309$). Al analizar cuidadosamente, observamos que la predación se dio principalmente para el grupo de las diatomeas (centrales y pennadas).
6. A menor disponibilidad de Si (proporciones de N:Si y P:Si más elevadas) se encontraron menores concentraciones celulares de diatomeas y silicoflagelados, y una mayor abundancia de Cianobacterias principalmente, Dinoflagelados tecados y desnudos. Los ciliados no presentaron una variación considerable con respecto de los demás grupos.
7. En general, la proporción D:C fue menor en aguas eutrofizadas del estanque y el efluente que en la Bahía de Teacapán. El grupo de las Cianobacterias fue el predominante muy por encima del conteo de las Diatomeas, obteniéndose relaciones D:C menores a 0.1 en la prueba y en el control, y máximos de 242 y 69 en la prueba y el control, respectivamente. En la prueba se presentaron las relaciones menores, excepto en 4 días de la temporada VO donde se presentó un florecimiento de diatomeas.

X. LITERATURA CITADA

- Alonso-Rodríguez, R., F. Páez-Osuna & R. Cortés-Altamirano, 2000. Trophic conditions and stoichiometric nutrient balance in subtropical waters influenced by municipal sewage effluents in Mazatlan Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*. 40, 331–339.
- Alonso-Rodríguez, R. & F. Páez-Osuna, 2003. Nutrientes, fitoplancton y florecimientos algales nocivos en estanques de camarón: revisión con una referencia especial a la situación del Golfo de California. *Aquaculture* 219: 317-336.
- Alonso-Rodríguez, R., D.U. Hernández-Becerril & I. Garate-Lizárraga, 2009. Catálogo de microalgas de lagunas costeras de Sinaloa. Serie Lagunas Costeras de Sinaloa (Ed. Federico Páez Osuna). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 198 pp.
- Andersen, R. A., 2005. *Algal culturing techniques*. Elsevier Academic Press.
- Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*. 26:32-46.
- Anderson, D.M., P.M., Glibert & J.M., Burkholder, 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*. 25, 704–726.
- Anderson, D.M. & K. Rengerfors, 2006. Community assembly and seasonal succession of marine dinoflagellates in a temperate estuary: The importance of life cycle events. *Limnology Oceanography*. 51(2), 2006, 860-873.

- APHA-AWWA-WPCF, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th ed. American Public Health Association, American Works Association and Water Pollution Control Federation. Washington, DC.
- Aslan, S., & I.K., Kapdan, 2006. Batch Kinetics of Nitrogen and Phosphorous Removal from Synthetic Wastewater by Algae. *Ecological Engineering*, 28, 64-70.
- Aure, J., D., Danielssen, & E., Svendsen, 1998. The origin of skagerrak coastal water off arendal in relation to variations in nutrient concentrations. *ICES Journal of Marine Science*, 55(4), 610-619.
- Bain, M.B. & N.J. Stevenson, 1999. Aquatic habitat assessment: common methods. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Balech, E., 1977. Introduccion al fitoplancton marino. Buenos Aires, EUDEBA, 1977, 195-211 pp.
- Barsanti, L. & P., Gualtieri, 2006. Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology. CRC Press, Taylor and Francis Group. 301 pp.
- Barrie, A. & S. J., Prosser, 1996. Automated analysis of light element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In *Mass Spectrometry of Soils*. (T. W. Boutton, S.I. Yamasaki, Eds) Marcel Dekker, 1-46.
- Bauer, B., U. Sommer & U. Gaedke, 2013. High predictability of spring phytoplankton biomass in mesocosmos at the species, functional group and community level. *Freshwater Biology*. 58:588-596.

- Bermudez, J.L., C. Lodeiros & E. Morales, 2002. Producción de biomasa de la microalga marina *Chroomonas* sp., en función del pH, intensidad luminosa y salinidad. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. 31: 167-185.
- Bertalanffy L. Von, 1934. Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeiten des Wachstums. 1. Allgemeine Grundlagen der Theorie [Los estudios sobre las regularidades de crecimiento. 1. Principios generales de la teoría]. Roux' Arch. Entwicklungsmech Org., 131:613-653
- Bojórquez-Mascareño E.I. & M.F. Soto-Jiménez, 2013. Effects of natural diet on growth White-leg shrimp *Litopenaeus vannamei* under experimental mesocosms emulating an intensive culture system. Aquaculture Research Development. 4:1.
- Borowitzka, M., & L. Borowitzka, 1988. Dunaliella. In: Microalgal Biotechnology. Cambridge University Press. Pp 27-52.
- Botello A.V. & J. RendonVonOsten, 2005. Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: Diagnostico y tendencias. 2da Edición.
- Bray, J. R. & J. T., Curtis. 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. Ecological Monographs 27:325-349.
- Bricker, S.B., C.G., Clement, D.E., Pirhalla, S.P., Orlando & D.R.G., Farrow, 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science. Silver Spring, MD.
- Bricker, S., B., Longstaff, W., Dennison, A., Jones, , K., C., BoicourtWicks & J., Woerner, 2007. Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: a

decade of change, national estuarine eutrophication assessment update. NOAA coastal ocean program decision analysis series no. 26. National centers for coastal ocean science, silver spring, MD.

Brito L. J., I. G. Sobral dos Santos, J. Lima de Abreu, M. Trajano de Araújo, W. Severi & A. Olivera Gálvez, 2015. Effect of the addition of diatoms (*Navicula spp.*) and rotifers (*Brachionus plicatilis*) on water quality and growth of the *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in biofloc system. *Aquaculture Research*, 2015, 1-8

Browdy, C.L., D., Bratvold, A.D., Stokes, & R.P., McIntosh, 2001. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, pp. 20–34

Brown, J. H., J.F., Gillooly, A.P., Allen, V. M. Savage & G.B., West, 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 85: 1771–1789.

Bruschetti C.M., E., Fanjul, A., Rosenthal, T.A., Luppi & O., Iribarne, 2008. Grazing effect of the invasive reef-forming polychaete *Ficopomatus enigmaticus* (Fauvel) on phytoplankton biomass in a SW Atlantic coastal lagoon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 354, 212–219.

Bulit C., C. Díaz-Ávalos & D. J.S. Montagnes, 2011. Estructura espacial de la abundancia y diversidad de los ciliados del microplancton en una laguna costera. *Interciencia [en línea]* 2011, 36 (Agosto) : [Fecha de consulta: 2 de octubre de 2016] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921395006> ISSN 0378-1844

- Burford, M., 1997. Phytoplankton dynamics in shrimp ponds. *Aquaculture Research*. 1997, 28: 351-360.
- Burrows, E.M., 1991. *Seaweeds of the British Isles. Volume 2 Chlorophyta*. Natural History Museum, London. ISBN 0-565-00981-8
- Carpenter, E.J. & D.G., Capone, 1983. *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press Inc., 1983.
- Casé, M., E. E., Leça, S. N., Leitão, E. E., Sant'Anna, R. Schwamborn, & A.T.M., Junior, 2008. Plankton community as an indicator of water quality in tropical shrimp culture ponds. *Marine Pollution Bulletin*, 56: 1343–1352.
- Cebrian, J., D., Corcoran, & J., Lartigue, 2014. Eutrophication-driven shifts in primary producers in shallow coastal systems: Implications for system functional change. *Estuaries and Coasts*, 37(S1), 180-197.
- Cloern, J. E., 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problema. *Marine Ecology Progress Series*. 210:223-253.
- Collado-Vides, L., V., Caccia, J.N., Boyer & J.W., Fourqurean, 2007. Spatiotemporal distribution of macroalgal groups in relation to water quality in the Florida Keys National Marine Sanctuary. *Estuarine Coastal Shelf Science*. 73: 680–694.
- Correl, D.L., 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. *Environmental Quality*. 27:261-266.
- Cortés-Altamirano, R. & H. C. Agraz, 1994. Presencia de *Prorocentrum minimum* (Pav.) Schiller en estanques de cultivo de camarón. *Ciencias del Mar-UAS*, 13: 11-16.

- Cortés-Altamirano, R., D. U. Hernández-Becerril & R. Luna-Soria, 1996. Red tide in Mexico: A review. In: T. Yasumoto, Y. Oshima & Y. Fukuyo (Eds.). Harmful and Toxic Algal Blooms. IOC-UNESCO. Sendai, Japón. pp. 101-104.
- Cortés Altamirano R. & S. Licea Duran, 1999. Florecimientos de microalgas nocivas en estanques para cultivo semi-intensivo de camarón en México. Revista Latinoamericana de Microbiología 41:157-166
- Cortés-Altamirano R., R., Alonso-Rodriguez & A., Sierra-Beltrán, 2006. Fish mortality associated with *Chattonella marina* and *C. cf. ovata* (Raphidophyceae) blooms in Sinaloa (Mexico). Harmful algae news. No 31, pp. 7-8
- Davidson, K. & W.S.C., Gurney, 1999. An investigation of non steady state algal growth II. Mathematical modelling of co-nutrient limited algal growth. J. Plankton Research. 21, 839– 858.
- Davis T. W., G.S. Bullerjahn, T. Tuttle, R.M. McKay & S.B., Watson, 2015. Effects of increasing nitrogen and phosphorus concentrations on phytoplankton community growth and toxicity during *Planktothrix* blooms in Sandusky Bay, Lake Erie. Environmental science & technology. 2015, 49: 7197-7207.
- Decamp, O., L., Conquest, I., Forster & A.G.J., Tacon, 2002. The nutrition and feeding of marine shrimp within zero-water exchange aquaculture production system: role of Eukaryotic microorganisms. In: Lee, C.S., O'Bryen, P. (Eds.), Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems. World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, pp. 79–86
- Del Río E., G., Acien, G., Garcia-Malea, J., Rivas, E., Molina-Grima & M.G., Guerrero, 2007. Efficiency assessment of the one-step production of

astaxanthin by the microalga *Haematococcus pluvialis*. *Biotechnology and Bioengineering* 74: 397-402.

Díaz-Cortes, V. & C. Ordoñez-Valle, 2006. Evaluación del pH y la agitación del medio mas adecuado para el crecimiento de *Dunaliella salina* en condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Pp 84.

Dittel A. I., C. E. Epifanio, L.A. Cifuentes & D.L. Kirchtman, 1997. Carbon and nitrogen sources for shrimp postlarvae fed natural diets from a tropical mangrove system. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 45:629-637.

Doering, P. H., C. A. Oviatt, B. L. Nowicki, E. G. Klos, & L.W. Reed, 1995. Phosphorus and nitrogen limitation of primary production in a simulated estuarine gradient. *Marine Ecology Progress Series* 124:271–287.

Dortch, Q. & T.E., Whittedge, 1992. Does nitrogen or silicon limit phytoplankton production in the Mississippi River plume and nearby regions?. *Continental Shelf Research*. 12, 1293 – 1309.

Dubinsky Z., P. G. Falkowski & K. Wyman, 1986. Light harvesting and utilization by phytoplankton. *Plant and Cell Physiology*. 27(7): 1335-1349.

Dugdale, R. C. & F. P., Wilkerson, 2001. Sources and fates of silicon in the ocean: the role of diatoms in the climate and glacial cycles. *Science Marina* 65 (Supl. 2), 141-152.

Elser J.J., E.R., Marzolf & C.R., Goldman, 1990. phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton growth in the freshwaters of North America: a review and critique of experimental enrichments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 47:1468-1477.

- Elser, J.J., M.E.S., Bracken, E.E., Cleland, D.S., Gruner, W.S., Harpole, H., Hillebrand, & J. E., Smith, 2007. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10(12), 1135-1142.
- Fajer-Ávila E.J., A., García-Vásquez, H. Plascencia-González, J., Ríos-Sicairos, L.M., García-De la Parra & M., Betancourt-Lozano, 2006. Copepods and larvae of nematodes parasiting the white mullet *Mugil curema* (Valenciennes, 1836): indicators of anthropogenic impacts in tropical coastal lagoons?. *Environmental Monitoring and Assessment*. 122: 221-237.
- Falkowski, P. G. & T. G., Owens, 1980. Light-shade adaptation: two strategies in marine phytoplankton. *Plant Physiology* 66: 592-595.
- Fanning, K.A. & M.E.Q., Pilson, 1973. On the spectrophotometric determination of dissolved silica in natural waters. *Anal. Chem.* 45(1): 136-140
- Fee, E.J., 1976. The vertical and seasonal distribution of chlorophyll in lakes of the Experimental Lakes Area, Northwestern Ontario: Implication for primary production. *Limnology and Oceanography*., 21: 767-783.
- Field, C.B., M.J. Behrenfeld, J.T. Randerson & P. Falkowski, 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281:237-242.
- Fisher T. R., E.R. Peele, J.W., Ammerman & L.W., Harding Jr., 1992. Nutrient limitation of phutoplankton in Chesapeake bay. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 82:51-63 pp.

- Fletcher, R.L., 1996. The occurrence of 'green tides' -a review. In: Schramm W, Nienhuis PH (eds) Marine benthic vegetation-recent changes and the effects of eutrophication. Springer-Verlag, Berlin, p 7-44.
- Fogg, G. E., 1965. Algal cultures and phytoplankton ecology. The University of Wisconsin Press. Madison. 175 p.
- Fong, P., K., Kamer, K.E., Boyer & K.A., Boyle, 2001. Nutrient content of macroalgae with differing morphologies may indicate sources of nutrients to tropical marine systems. Marine Ecology Progress Series. 220:137-152.
- Fukao, T., K., Kimoto & Y., Kotani, 2012. Effect of temperature on cell growth and production of transparent exopolymer particles by the diatom *Coscinodiscus granii* isolated from marine mucilage. Journal of Applied Phycology, 24(2), 181-186.
- Gamboa-Delgado, J., C. Molina-Poveda, & C. Cahu, 2003. Digestive enzyme activity and food ingesta in juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei* (boone, 1931) as a function of body weight. Aquaculture Research, 34(15), 1403-1411.
- Gárate-Lizárraga, I. Pérez-Cruz, B. Díaz-Ortíz, J.& C. Band-Schmidt, 2008. Microalgas y biotoxinas marinas en las costas mexicanas. *Conversus*. 9:22-26
- Godoy L.C., C. Odebrecht, E. Ballester, T. G. Martins & W. Wasielesky Jr., 2012. Effect of diatom supplementation during the nursery rearing of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in a heterotrophic culture system. *Aquaculture International* 20:559-569.

- González-González L.N., 2010. Influencia de la deficiencia de nitrógeno y fosforo en las interacciones competitivas entre *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*. Tesis Maestria. Universidad nacional de Colombia.
- González-López W.A., 2012. Evaluación del crecimiento y desarrollo larvario de *Strombus gigas* en mesocosmos, una alternativa para su cultivo.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt, & K. Kremling. 1983. Methods of seawater analysis. Grasshoff, K., Ehrhardt, M. y K., Kremling (eds.) VerlagChemie 2a ed. 419 pp.
- Grobbelaar J.U., 2004. Algal nutrition: mineral nutrition. In: Richmond A (ed). Handbook of microalgal culture: Biotechnology and applied phycology, pp. 97-115. Blackwell Science, Iowa.
- Guildford, S. J. & R.E., Hecky, 2000. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? *Limnology and Oceanography*. 45, 1213– 1223.
- Hallegraeff, G.M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase, 1993. *Phycologia* 1993, 32, 79–99.
- Hauss H., J. M. Franz & U. Sommer, 2012. Changes in N:P stoichiometry influence taxonomic composition and nutritional quality of phytoplankton in the Peruvian upwelling. *Journal of Sea Research* 73: 74-85.
- Hawser, S. P., J. M. O'Neil, M. R. Roman & G. A. Codd. 1992. Toxicity of blooms of the cyanobacterium *Trichodesmium* to zooplankton. *Journal of Applied Phycology* 4: 79-86.
- Hecky R.E. & P. Kilham, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnology and Oceanography*. 33(4, part 2) 1988, 796-822.

- Heisler, J., P. M., Glibert, J. M., Burkholder, D. M., Anderson, W., Cochlan, W. C., Dennison, . . M., Suddleson, 2008. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*, 8(1), 3-13.
- Hernández-Becerril, D. U., Alonso-Rodríguez, R., Álvarez-Góngora, C., Barón-Campis, S. A., Ceballos-Corona, G., Herrera-Silveira, J., . . . Rodríguez-Salvador, R. (2007). Toxic and harmful marine phytoplankton and microalgae (HABs) in mexican coasts. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 42(10), 1349-1363.
- Hernández-Becerril, D.U., 2014. Biodiversidad de algas planctónicas marinas (Cyanobacteria, Prasinophyceae, Euglenophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Eustigmatophyceae, Parmophyceae, Raphidophyceae, Bacillariophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Dinoflagellata) en México. *Prevista Mexicana de Biodiversidad*, supl. 85: S44-S53.
- Hernández-Pérez, A. & J.I. Labbé, 2014. Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol 49, N° 2: 157-173.
- Hessing-Lewis, M., S. D. Hacker, B. A. Menge, & S. Rumrill, 2011. Context-dependent eelgrass-macroalgae interactions along an estuarine gradient in the Pacific Northwest, USA. *Estuaries Coasts* 34: 1169–1181.
- Hodgkiss I.J. & K.C. Ho, 1997. Are changes in N:P ratios in coastal waters the key to increased red tide blooms?. *Hydrobiologia* 352: 141-147.
- Holm-Hansen, O., D., Lubin & E.W., Helbin, 1993. Ultraviolet radiation and its effects on organisms in aquatic environments. *Environmenta UV Photobiology*. A.R. Young, L.O. Björn, J. Moan and W. Nultsch.pp 379-425. Plenum Press. New York

- Howarth, R.W., H.S., Jensen, R., Marino & H., Postma, 1995. Transport to and processing of P in nearshore and oceanic waters. In: Tiessen, H. Ed., Phosphorus in the Global Environment. Wiley, New York, pp. 323–328.
- Hulbert, S.H., 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*. 54:187-211.
- Hurd, C.L., 2000. Water motion, marine macroalgal physiology and production. *Journal of Phycology*. 36:453-472.
- Jin L., W. Hongjuan & C. Mengqiu, 2011. Effects of nitrogen and phosphorus on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China. *Limnologica* 41(2011) 48-56.
- Jingzhong, Z., D., Liping, & Q., Baoping, 1985. Preliminary studies on eutrophication and red tide problems in bohai bay. *Hydrobiologia*, 127(1), 27-30.
- Justic, D., N.N. Rabalais, R.E. Turner & Q., Dortch, 1995. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 40(4), 339-356.
- Keller, M. D., Selvin, R. C., Claus, W., and Guillard, R. R. L. 1987. Media for the culture of oceanic ultraphytoplankton. *Journal of Phycology*. 23:633–8.
- Kooistra, W. H. C. F., R. Gersonde, L. K. Medlin & D. G. Mann, 2007. The origin and evolution of the diatoms: their adaptation to a planktonic existence. In *Evolution of primary producers in the sea*, P. G. Falkowsky y A. H. Knoll (eds.). Elsevier Academic Press. p. 207-249.

- Krom, M.D., B., Herut & R.F.C., Mantoura, 2004. Nutrient budget for the Eastern Mediterranean: implications for P limitation. *Limnology and Oceanography* 49, 1582–1592
- Lagus, A. 2009. Role of nutrients in regulation of the phytoplankton community in the archipelago sea, Northern Baltic sea. *Painosalama Oy - Turku, Finland*.
- Langdon, C. 1988: On the causes of interspecific differences in the growth-irradiance relationship for phytoplankton. 11. A general review. *Jornal Plankton Res.* 10, 1291-131.
- Lapointe, B. E., M. M. Littler & D. S. Littler, 1992. Nutrient availability to marine macroalgae in siliciclastic versus carbonate-rich coastal waters. *Estuaries* 15: 75-82.
- Levasseur, M.E. & J.C. Therriault, 1987. Phytoplankton biomass and nutrient dynamics in a tidally induced upwelling: the role of $\text{NO}_3:\text{SiO}_4$ ratio. *Marine Ecology Progress Series.* 39: 87–97.
- Lewandowska A.M., H. Hillebrand, K. Lengfellner, U. Sommer, 2014. Elsevier *Journal of Sea Research.* 85 (2014) 359-364.
- Licea S., J.L. Moreno, H. Santoyo, G. Figueroa, 1995. *Dinoflageladas del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. SEP-FOMES, PROMARCO.
- Licea S., M.E. Zamudio, R. Luna, Y. B. Okolodvok & S. Gómez-Aguirre, 2004. Toxic and harmful Dinoflagellates in the Southern Gulf of México. Steidinger, K. A., J. H. Landsberg, C. R. Tomas, and G. A. Vargo (Eds.). 2004. *Harmful Algae 2002*. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida

Institute of Oceanography, and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.

Litchman E., 2000. Growth rates of phytoplankton under fluctuating light. *Freshwater Biology*. 44: 223-235.

Lomas, M.W. & P.M., Glibert, 1999. Interactions between NH_4^+ and NO_3^- uptake and assimilation: comparison of diatoms and dinoflagellates at several growth temperatures. *Marine Biology*. 133(3), 541-551.

Lopez-Flores, R., E., Garcés, D., Boix, A., Badosa, S., Brucet, M., Masó & X.D., Quintana, 2006. Comparative composition and dynamics of harmful dinoflagellates in Mediterranean salt marshes and nearby external marine waters. *Harmful Algae* 5, 637-648.

Lourenço, S.O., E. Barbarino, J. Mancini-Filho, K.P. Schinke & E. Aidar. 2002. Effects of different nitrogen sources on the growth and biochemical profile of 10 marine microalgae in bath culture: an evaluation for aquaculture. *Phycologia* 41: 158-168.

Luo Y., K. Ogle, C. Tucher, S. Fei, C. Gao & S. LaDeau, 2011. Ecological forecasting and data assimilation in a data-rich era. *Ecological Applications*, 21: 1429-1442

Maier- Brown A. F., Q. Dortch, F. M. Van Dolah, T.A. Leighfield, W. Morrison. A.E. Thessen, K. Steidinger, B. Richardson, C.A. Moncreiff & J.R. Pennock, 2006. Effect of salinity on the distribution, growth, and toxicity of *Karenia* spp. *Harmful Algae*. 2: 273-281 pp.

Marañón, E., P., Cermeño, M., Huete-Ortega, D. C., López-Sandoval, B., Mouriño-Carballido, & T., Rodríguez-Ramos, 2014. Resource supply overrides

temperature as a controlling factor of marine phytoplankton growth. PLoS ONE, 9(6).

Martin, F. P. H., 2010. Optimization of photobioreactor for astaxanthin production in *Chlorella zofingiensis*. Tesis de Maestría en Ingeniería. National University of Singapore.

Martínez L. 2008. Eliminación de CO₂ con microalgas autóctonas. Tesis Doctoral, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León, León, 226 pp.

Matsuyama Y, A. Kimura, H. Fujii, H. Takayama & T. Uchida, 1997. Occurrence of a *Heterocapsa circularisquama* red tide and subsequent damages to shellfish in western Hiroshima Bay, Seto Inland Sea, Japan in 1995. Bulletin of Nansei National Fisheries Research Institute 30: 189-207.

Matsuyama Y., T. Uchida, K. Nagai, M. Ishimura, A. Nishimura, M. Yamaguchi & T. Honjo, 1996. Biological and environmental aspects of noxious dinoflagellate red tides by *Heterocapsa circularisquama* in west Japan. In Yasumoto, T., Oshima, Y. and Fukuyo, Y. (Eds.), Harmful and Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris. 247-250 pp.

Matsuyama Y., K. Nagai, T. Mizuguchi., M. Fujiwara, M. Ishimura, M. Yamaguchi, T. Uchida, & T. Honjo, 1995. Ecological features and mass mortality of pearl oysters during red tides of *Heterocapsa* sp. in Ago Bay in 1992. Nippon Suisan Gakkaishi, 61: 35-41

Maxwell D.P., S. Falk, C. H. Trick & N.P.A. Huner, 1994. Growth at low temperature mimics high-light acclimation in *Chlorella vulgaris*. Plant Physiology. 105:535-543.

- McArdle, B.H. & M.J. Anderson, 2001. Fitting multivariate models to community data: a comment on distance-based redundancy analysis. *Ecology* 82, 290–297.
- McCarthy, J.J., W.R., Taylor & J.L., Taft, 1977. Nitrogenous nutrition of the plankton in the Chesapeake Bay. 1. Nutrient availability and phytoplankton preferences. *Limnology and Oceanography*, 22,996-1011.
- McGlathery, K. J., R. Marino, & R. W. Howarth, 1994. Variable rates of phosphate uptake by shallow marine sediments: Mechanisms and ecological significance. *Biogeochemistry* 25: 127–146
- McLachlan, J. 1973. Growth media—marine. In: Stein, J., ed. *Handbook of Phycological Methods: Culture Methods and Growth Measurements*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 25–51.
- Meave-del Castillo, M. E., M. E. Zamudio-Resendiz, J. Aké-Castillo, S. Guerra-Martínez & I. F. Barbosa-Ledezma, 2003. Biodiversidad de diatomeas (Bacillariophyta) en la columna de agua del Pacífico mexicano. In *Planctología Mexicana*, M. T. Barreiro, M. E. Meave, M. Signoret y M. G. Figueroa (eds.). Sociedad Mexicana de Planctología (SOMPAC) y Universidad Autónoma Metropolitana, 43-84
- Mee, L.D., G., Díaz-González, M., Espinosa-Damián, 1986. Paralytic shellfish poisoning with *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific coast of México. *Marine Environmental Research*. 19, 77–92.
- Mee, L.D., 1988. A definition of “critical eutrophication” in the marine environment. *Revista de Biología Tropical*. 36 (1): 159-161.
- Moncheva S., O., Gotsis-Skretas, K., Pagou & A., Krastev, 2001. Phytoplankton blooms in Black Sea and Mediterranean coastal ecosystems subjected to

anthropogenic eutrophication: similarities and differences. *Estuarine Coastal and Shelf Science* , 53:281-295.

Morales, E., M. Rodríguez, D. García, C. Loreto, & E. Marco, 2002. Crecimiento, producción de pigmentos y exopolisacáridos de la cianobacteria *Anabaena* sp. pcc 7120 en función del pH y CO₂. *Interciencia*, 27(7), 373-378.

Moronta, R., R. Mora & E. Morales, 2006. Respuesta de la microalga *Chorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperature en condiciones axénicas y no axénicas. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 23:27-41.

Moss, S.M., 2002. Dietary importance of microbes and detritus in Penaeid shrimp aquaculture. In: Lee, C.S., O'Bryen, P. (Eds.), *Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, pp. 1–18.

Murray D. & J.R. Donald, 1993. *Ecology of the Southern California Bight: A Synthesis and Interpretation*. University of California Press.

Neale, P.J., 2001. Modelling the effects of ultraviolet radiation on estuarine phytoplankton production: impact of variations in exposure and sensitivity to inhibition. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 62, 1-8.

Nielsen, S.L., L., Sand-Jensen, J.O. Borum & O., Geertz-Hansen, 2002. Phytoplankton, nutrients, and transparency in Danish coastal waters. *Estuaries* 25, 930–937

- Nixon, S.W., 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41, 199 – 219.
- Nixon, S. W., 1998. Enriching the sea to death. *Scientific American* magazine. 9(3):48-53 pp.
- Nixon, S. W., and B. A., Buckley, 2002. “A strikingly rich zone” nutrient enrichment and secondary production in coastal marine ecosystems. *Estuaries*, 25: 782–796.
- Norin, L. & M. Waern, 1973. The zone of algal low standing crop near Stockholm. The nutrients and their influence on the algae in the Stockholm archipelago during 1970. *Oikos Supplement*. 15: 179-184.
- Ochoa-Izaguirre M.J. & M.F. Soto-Jiménez, 2013. Evaluation of nitrogen sources in the Urías lagoon system, Gulf of California, based on stable isotopes in macroalgae. *Ciencias Marinas*, 39(4): 413–430 pp.
- Officer, C. B., & J. H. Ryther. 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Marine Ecology Progress Series*. 3: 83-91.
- Okaichi T., 2003. *Red Tides*. Terra Scientific Publishing Company. Japan. 24-27 pp.
- Olsen, Y., S., Agusti, T., Andersen, C.M., Duarte, ...M. Vidal, 2006. A comparative study of responses in planktonic food web structure and function in

contrasting European coastal waters exposed to experimental nutrient addition. *Limnology and Oceanography*. 51: 488–503

OSPAR, 1998. Commission for international cooperation on the protection of the marine environment of the North-East Atlantic. (<http://www.ospar.org/>)

Páez-Osuna F., G., Ramírez-Reséndiz, A.C., Ruiz-Fernández & M.F., Soto-Jiménez, 2008. La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. Serie Laguna Costeras de Sinaloa. UNAM, México (2008) p. 304

Park J., R. Craggs & A. Shilton, 2011. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology* 102: 35-42.

Parsons, T. R., Y. Maita & C. M. Lalli, 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.

Peckol, P., B. DeMeo-Anderson, J. Rivers, I. Valiela, M. Maldonado, & J. Yates, 1994. Growth, nutrient uptake capacities and tissue constituents of the macroalgae, *Cladophora vagabunda* and *Gracilaria tikvahiae*, related to site-specific nitrogen loading rates. *Marine Biology* 121:175-185.

Peña M. A., M. R., Lewis and W. G., Harrison, 1990. Primary productivity and size structure of phytoplankton biomass on a transect of the equator at 135°W in the Pacific Ocean. *Deep-sea Research*, 37,295-315.

Pick, F.R., Nalewajko, C. and Lean, D.R., 1984. The origin of a metalimnetic peak. *Limnology and Oceanography*. 29: 125-134.

Piñon-Gimate, A., F. Paez-Osuna, E. Serviere-Zaragoza, & M. CasasValdez, 2012. Macroalgal blooms in coastal lagoons of the Gulf of California eco-region: A summary of current knowledge. *Botanica Marina* 55: 129–142.

- Rabalais, N. N., R. E., Turner, R. J., Díaz, & D., Justic, 2009. Global change and eutrophication of coastal waters. – ICES Journal of Marine Science, 66: 1528–1537.
- Ramos R., L. Vinatea, J. Santos, & R. Da Costa, 2010. Tratamiento de efluentes de cultivo de *Litopenaeus vannamei* mediante procesos de sedimentación, filtración y absorción. Latin American Journal of Aquatic Research. 38(2): 188-200.
- Raven, J. A., & R. J. Geider, 1988. Temperature and algal growth. New Phytology. 4: 441–461.
- Raymont, J. E. G., 1963. Plankton and productivity in the oceans. Pergamon Press, Oxford. International series of monographs on pure and applied biology: zoology division, 18, 660pp.
- Raymont, J. E. G., 1976. Plankton and productivity in the oceans (Second edition). Pergamon Press, Oxford Ltd. 489pp.
- Redfield, A.C., B.H., Ketchum, & F.A., Richards, 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. In The Sea (M.N. Hill, editor) vol. 2, 26–77. Interscience.
- Riley, J.P. & R., Chester, 1971. Introduction to marine chemistry. Academic Press, London.
- Roberts E. C., K. Davidson & L. C. Gilpin, 2003. Response of temperate microplankton communities to N:Si ratio perturbation. Journal of plankton research. Vol 25. No. 12: 1485-1495.
- Rosales-Hoz, M.T.L, 1989. Manual de Laboratorio de Oceanografía Química. México, D.F. UNAM, Centro de Ciencias del Mar y Limnología, 170 p.

- Round, F.E., M. Crawford & D.G. Mann, 1990. The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press. 747 pp.
- Ruiz-Martínez A., 2011. Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Valencia. 102 pp.
- Ryther, J. H., & W. M., Dunstan, 1971. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment 1008-1013. *Science*, 171(3975), 1008-1013.
- Sakamoto, M., 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Archiv für Hydrobiologie*. 62:1-28 pp.
- Sakshaug, E., G. Johnsen, K. Andresen & M. Vernet, 1991. Modeling of light-dependent algal photosynthesis and growth: Experiments with the Barents Sea diatoms *Thalassiosira nordenskioeldii* and *Chaetoceros furcellatus*. *Deep Sea Res* 38. 415-430.
- Sakshaug, E. & D. Slagstad, 1991. Light and productivity of phytoplankton in polar marine ecosystems: a physiological view. *Polar Research* 10 (1), 69-85.
- Sand-Jensen, K., 1989. Environmental variables and their effect on photosynthesis of aquatic plant communities. *Aquatic Botany*. 34: 5-25.
- Sierra-Beltrán, Á. P., M. Palafox-Uribe, J. Grajales-Montiel, Á. Cruz-Villacorta & J. L. Ochoa, 1997. Sea bird mortality at Cabo San Lucas, Mexico: evidence that toxic *Pseudonitzschia* sp. is spreading. *Toxicon* 35: 447-453.

- Smith, V.H., 2006. Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment. *Limnology and Oceanography*. 51(2), 377-384.
- Smayda, T.J., 1983. The phytoplankton of estuaries. Chapter 4 In B.H. Ketchum (ed). *Estuaries and Enclosed Seas*. Elsevier, New York, pp 65-102.
- Smayda, T.J., 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic. In: Graneli, et al. (Eds.), *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier, New York, pp. 29 – 40.
- Solórzano, L., & J. H. Sharp. 1980. Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus in natural waters. *Limnology and Oceanography*. 25: 754–758.
- Sournia, A., 1978. *Phytoplankton Manual (Monographs on Oceanographic Methodology, 6)*. *Phytoplankton manual: Monographs on Oceanographic Methodology*. 6 pp.
- Sournia, A., 1995. Red tide and toxic marine phytoplankton of the world ocean: an inquiry into diversity In *Harmful Marine Algal Blooms*, P. Lassus, G. Arzul, E. Erand, P. Gentien y C. Marcaillou (eds.). Lavoisier, Intercept Ltd. 103-112 pp.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons, 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries research board of Canada. Bulletin 167, 310 pp.
- Sze, P., 1998. *A Biology of the Algae*. Third edition. WCB/McGraw-Hill, Boston, Massachusetts, 278 pp.

- Teichberg, M., Fox, S.E., Olsen, Y.S., Valiela, I., Martinetto, P., Iribarne, O., Muto, E.Y., Petti, M.A.V., Corbisier, T.N., Soto-Jimenez, M., Paez-Osuna, F., Castro, P., Freitas, H., Zitelli, A., Cardinaletti, M., and Tagliapietra, D. 2010. Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: Nutrient experiments with *Ulva* spp. *Global Change Biology* 16: 2624-2637.
- Tewari, A. & H.V., Joshi, 1988. Effect of domestic sewage and industrial effluents on biomass and species diversity of seaweeds. *Botania Marina*. 389–397 pp.
- Thornber C.S., P., DiMilla, .W., Nixon & R.A., SMcKinney, 2008. Natural and anthropogenic nitrogen uptake by bloom-forming macroalgae. *Marine Pollution Bulletin*. 2008;56:261–269
- Trott L.A., & D.M. Alongi, 2000. The impact of shrimp pond effluent on water quality and phytoplankton biomass in a tropical mangrove estuary. *Marine pollution bulletin*. 40(11) 947-951 pp.
- Turner, R.E., 2002. Element ratios and aquatic food webs. *Estuaries* 25 (4B), 679-703.
- Tyler, J. E., 1968. The Secchi disc. *Limnol. Oceanogr.*, 13: 1-6.
- Ulloa-Pérez A.E., 2005. Influencia de la Disponibilidad de Nutrientes sobre los Cambios Espacio Temporales de la Comunidad de Fitoplancton en el Litoral del Municipio de Guasave, Sinaloa. Tesis. CIIDIR. Instituto Politécnico Nacional. México. 101 pp.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik . *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 9:1-38.

- Valiela, I., J., McClelland, J., Hauxwell, P.J. Behr, D. Hersh, & K., Foreman, 1997. Macroalgal blooms in shallow estuaries: controls and ecophysiological and ecosystem consequences. *Limnology and Oceanography*. 42, 1105-1118.
- Valiela, I., M. Geist, J. McClelland & G. Tomasky, 2000. Nitrogen loading from watersheds to estuaries: Verification of the Waquoit Bay nitrogen loading model. *Biogeochemistry* 49: 277–293.
- Velasco, L. A., J. Barros-Gómez, G. H. Ospina-Salazar & C. A. Trujillo, 2009. Efecto de la intensidad lumínica, temperatura y salinidad sobre el crecimiento de la microalga *Isochrysis galbana* (CLON T-ISO). *Revista Entropica*. 4: 93-99.
- Verlencar X.N. & Somshekar Desai, 2004. *Phytoplankton Identification Manual*. First Edition, National Institute of Oceanography Dona Paula, Goa. 403004
- Vila, M., & M., Masó, 2005. Phytoplankton functional groups and harmful algal species in anthropogenically impacted waters of the NW Mediterranean Sea. *Scientia Marina*. 69, 31–45.
- Wang, C., Z., Wang, P., Wang, & S., Zhang, 2016. Multiple effects of environmental factors on algal growth and nutrient thresholds for harmful algal blooms: Application of response surface methodology. *Environmental Modeling and Assessment*, 21(2), 247-259.
- Wasielesky Jr., W., Atwood, H., Stokes, A., & Browdy, C. L., 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258(1-4), 396-403.

- Werner, D., 1977. Introduction with a note on taxonomy. In: D. Werner. (Ed.) The biology of Diatoms: Botanical Monographs. Berkeley. 13: 1-18 pp.
- Winder M. & U. Sommer, 2012. Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia*. 698:5-16.
- White D.L., D.E. Porter & A.J. Lewitus, 2004. Spatial and temporal analyses of water quality and phytoplankton biomass in an urbanized versus a relatively pristine salt marsh estuary. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 298: 255–273.
- Wirtz, K. W., & U., Sommer, 2013. Mechanistic origins of variability in phytoplankton dynamics. part II: Analysis of mesocosm blooms under climate change scenarios. *Marine Biology*, 160(9), 2503-2516.
- Wolowicz, M., A., Sokolowski, A., S., Bawazird & R., Lasota, 2006. Effect of eutrophication on the distribution and ecophysiology of the mussel *Mytilus trossulus* (Bivalvia) in southern Baltic Sea (The Gulf of Gdansk). *Limnology and Oceanography*. 51 (1, part 2), 2006, 580-590.
- Xu, H., W. H., Paerl, B. Q., Qin, G. W., Zhu, & G., Gao, 2010. Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China. *Limnology and Oceanography*, 55(1), 420-432.
- Yamaguchi M., S. Itakura, K. Nagasaki, Y. Matsuyama, T. Uchida & I. Imai, 1997. Effects of temperature and salinity on the growth of the red tide flagellates *Heterocapsa circularisiquama* (Dinophyceae) and *Chanttonella verruculosa* (Raphidophyceae). *Journal of Plankton Research*. 19(8), 1167-1174 pp.

- Yamaguchi, M., S. Itakura & T. Uchida, 2001. Nutrition and growth kinetics in nitrogen- or phosphorus-limited cultures of the 'novel red tide' dinoflagellate *heterocapsa circularisquama* (dinophyceae). *Phycologia*, 40(3), 313-318.
- Yang Z.B. & I.J. Hodgkiss, 2004. Hong Kong's worst "red tide"-causative factors reflected in a phytoplankton study at Port Shelter station in 1998. *Harmful Algae*. 3:149–161.
- Yusoff, F. M., Matias-Peralta, H., & Shariff, M., 2010. Phytoplankton population patterns in marine shrimp culture ponds with different sources of water supply. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 13(4), 458-464.
- Zar .J H., 1984. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 718 P.

Páginas de internet consultadas

- <https://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html> (Febrero, 2015)
- <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioMazatlan.pdf> (Agosto, 2016)
- <http://www.gob.mx/semar> (Agosto, 2016)

XI. ANEXOS

Anexo I. Características generales de los grupos del fitoplancton marino

Las **diatomeas** son un grupo taxonómico de eucariotas unicelulares, se ubican dentro de la división Bacillariophyta (Round *et al.*, 1990) su característica principal es la silicificación de su pared celular (frústulo) que puede tener multitud de variaciones morfológicas, representan el grupo de autótrofos más exitoso en el ambiente pelágico, tanto por su gran diversidad de formas y especies, y por su alta producción de cerca del 20% de la producción primaria total (Werner 1977; Kooistra *et al.*, 2007). Se han listado 864 taxones de diatomeas planctónicas marinas en el Pacífico mexicano (Meave *et al.*, 2003).

Los **dinoflagelados** son protistas alveolados (Alveolata) unicelulares, se encuentran en la clase Dinophyceae dentro de la división Dinophyta, pueden formar cadenas, cenocitos o filamentos, en general poseen 2 flagelos de forma y función diferente. Pueden ser tecados o atecados (desnudos), en los primeros la pared celular está constituida por placas celulósicas que presentan estructuras para su clasificación, como espinas, bordes, alas, etc., y en los segundos la pared celular o anfiesma es lisa y de menor ornamentación. Algunas especies planctónicas marinas producen altas proliferaciones poblacionales y/o toxinas que causan padecimientos a la fauna marina y a los humanos. (Hernández-Becerril, 2014)

Las **Cyanobacterias** de la división Cyanophyta en la clase Cyanophyceae, son organismos procariotas ancestrales, se distinguen de los demás grupos por poseer una estructura protoplasmática procarionta que las relaciona con las bacterias pero difieren en su sistema fotosintético (Balech, 1977), son unicelulares de vida libre o forman colonias de formas irregulares o filamentosas (tricomas), cadenas de células cocoides o células esféricas.

Contribuyen de manera importante a la productividad planctónica marina y a los ciclos de carbono y nitrógeno. Algunas especies producen toxinas de interés en la salud humana y la fauna marina (Hawser *et al.*, 1992).

Las **Clorofitas** son algas unicelulares que presentan una gran diversidad morfológica y que pueden vivir libremente o arregladas en colonias formando parte del plancton, algunas de sus especies son flageladas. Son más abundantes en regiones tropicales y subtropicales. Contienen clorofilas a y b, y almacenan las sustancias de reserva como almidón en su plastos. (Burrows, 1991).

Los **silicoflagelados** son algas unicelulares fotosintéticas ubicadas en la clase Dictyochophyceae, son un grupo relativamente pequeño comparado con otros grupos (diatomeas y dinoflagelados), contienen pseudópodos y un único flagelo. Presentan cloroplasto de color café-dorado, flagelos simples de tipo heteroconta muy delicados y esqueleto externo sólido, tridimensional y constituido de sílice. El citoplasma está soportado internamente por un armazón silíceo de forma variable de delicadas barras huecas (Hernandez-Becerril, 2014).

Las **Prasinophyceae** son organismos unicelulares, coloniales, fotosintéticos, con una gran variedad de formas y tallas, con o sin flagelos, pueden llegar a tener hasta 16, los flagelos pueden ser lisos o pennados, pueden presentar mancha ocular conectada al exterior expulsando un líquido gelatinoso donde su papel principal es de protección, se distribuye mayormente en ambientes marinos donde se encuentra el mayor número de especies y géneros representativos. Los géneros *Pyramimonas* y *Tetraselmis* son los más abundantes en la naturaleza. Se han reconocido unas 103-136 especies en el fitoplancton marino (Sournia, 1995).

Las **Raphidophyceae** son microalgas del filo Heterokontophyta, son flageladas, unicelulares, móviles, de gran tamaño y desprovistas de pared celular. Son fotosintéticas, usan pigmentos accesorios como el B-caroteno y no presentan orgánulos foto-receptores (mancha ocular), algunas especies pueden producir grandes proliferaciones poblacionales y toxinas que afectan a peces. Se reconocen 11-12 especies del grupo (Sournia, 1995).

Anexo II. Resumen de las prácticas manejo de la granja acuícola y cantidades de nutrientes adicionados a cada estanque

| Ingresado al estanque | E1-VO | E2-VO | E3-VO | E1-P | E2-P | E3-P |
|----------------------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Total alimento (kg) | 7,198.7 | 13,324.0 | 10,714.0 | 10,600.6 | 13,724.7 | 11,066.8 |
| N en alimento (kg) | 64.3 | 64.2 | 67.0 | 64.3 | 63.9 | 64.2 |
| Total N (kg) | 407.0 | 752.4 | 631.8 | 599.9 | 771.3 | 625.4 |
| P en alimento (kg) | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.8 |
| Total P (kg) | 42.8 | 79.1 | 63.6 | 63.0 | 81.5 | 65.7 |
| Densidad de siembra | Este estudio se realizó bajo un sistema intensivo de siembra de camarón lo que corresponde a 60 pL/m ² . | | | | | |
| Recambio de agua | El agua de mar fue bombeada en los estanques incrementando desde cero hasta el 30% de recambio. Al inicio, el agua de mar bombeada a los estanques fue solo para reponer niveles perdidos por infiltración y evaporación (0-10% al día), después de la tercer semana la tasa de intercambio de agua incrementó de 10-15% por día hasta un máximo del 30% en la sexta semana. | | | | | |
| Aireación mecánica | La aireación se realizó con aireadores de aspas y de inyección de OD al sistema, con aproximadamente 6 hp/ha. | | | | | |
| Fertilización | Se fertilizaron los estanques dos semanas antes de cada siembra en ambas temporadas con una | | | | | |

combinacion de nutrientes inorganicos (Si, N y P), con el fin de promover la productividad natural en los estanques.

Anexo III. Tablas de comparación diaria de nutrientes entre control y prueba en cada periodo.

| Periodo A | Días | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | |
|-----------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NH4 | Control | Media | 0.51 | 0.77 | 0.30 | 0.47 | 1.51 | 0.73 | 1.17 | 1.06 | 0.71 | 0.94 | 0.84 | 1.88 | 1.08 | 0.83 | 2.30 | 1.88 | 1.24 | 1.63 | 1.33 | 0.83 | 1.34 | 1.27 | 2.40 | 1.06 | 2.43 | 1.85 | 0.94 |
| | | DE | 0.24 | 0.44 | | 0.13 | 0.53 | 0.27 | 0.74 | 0.10 | 0.29 | 0.20 | 0.23 | 0.99 | 0.61 | 0.46 | 1.00 | 0.91 | 0.59 | 0.80 | 0.54 | 0.33 | 0.80 | 0.90 | 1.11 | 0.78 | 0.69 | 0.64 | 0.73 |
| | Prueba | Media | 4.25 | 5.11 | 3.88 | 2.91 | 4.25 | 3.75 | 3.23 | 4.69 | 4.07 | 5.99 | 5.04 | 4.31 | 5.10 | 9.78 | 5.66 | 4.96 | 6.51 | 5.06 | 5.49 | 5.16 | 3.55 | 4.23 | 3.92 | 3.98 | 4.00 | 3.30 | 3.34 |
| | | DE | 3.87 | 4.89 | 2.96 | 1.78 | 3.89 | 3.50 | 2.95 | 5.28 | 4.72 | 7.14 | 3.56 | 3.97 | 4.57 | 10.97 | 5.26 | 4.56 | 6.93 | 4.61 | 5.06 | 4.30 | 2.39 | 3.63 | 3.34 | 3.07 | 3.43 | 1.75 | 2.09 |
| NO2 | Control | Media | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| | | DE | | 0.01 | | 0.01 | | 0.01 | 0.01 | | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | Prueba | Media | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| | | DE | 0.06 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.03 |
| NO3 | Control | Media | 1.18 | 1.66 | 2.05 | 2.18 | 2.63 | 1.29 | 2.02 | 2.43 | 2.13 | 2.60 | 5.48 | 3.12 | 1.85 | 2.70 | 2.07 | 2.20 | 4.17 | 2.17 | 2.18 | 2.24 | 1.55 | 2.17 | 1.40 | 1.85 | 1.35 | 1.68 | 2.03 |
| | | DE | 0.13 | 0.55 | 0.83 | 0.80 | 0.38 | 0.10 | 0.48 | 1.14 | 0.99 | 0.38 | 2.62 | 0.99 | 0.85 | 1.20 | 0.22 | 1.31 | 2.88 | 0.86 | 0.74 | 0.54 | 0.65 | 0.82 | 0.70 | 0.50 | 0.52 | 1.01 | 0.72 |
| | Prueba | Media | 1.56 | 1.67 | 1.56 | 1.58 | 2.03 | 2.10 | 2.29 | 2.29 | 1.54 | 1.57 | 1.66 | 1.30 | 1.22 | 1.12 | 1.41 | 1.89 | 1.56 | 1.18 | 1.45 | 2.65 | 1.95 | 1.47 | 1.48 | 1.36 | 1.49 | 1.28 | 1.57 |
| | | DE | 0.81 | 1.18 | 0.99 | 0.78 | 1.08 | 1.19 | 1.36 | 1.33 | 0.57 | 0.84 | 1.30 | 0.58 | 0.56 | 0.47 | 0.77 | 1.45 | 1.07 | 0.47 | 0.88 | 2.04 | 1.28 | 1.14 | 1.05 | 0.88 | 0.82 | 0.69 | 1.05 |
| Nox | Control | Media | 1.19 | 1.68 | 2.06 | 2.20 | 2.63 | 1.30 | 2.04 | 2.44 | 2.16 | 2.63 | 5.56 | 3.19 | 1.89 | 2.73 | 2.08 | 2.22 | 4.20 | 2.19 | 2.21 | 2.27 | 1.57 | 2.19 | 1.43 | 1.86 | 1.37 | 1.70 | 2.04 |
| | | DE | 0.13 | 0.55 | 0.83 | 0.79 | 0.37 | 0.10 | 0.48 | 1.14 | 0.99 | 0.39 | 2.64 | 1.00 | 0.83 | 1.20 | 0.22 | 1.30 | 2.87 | 0.86 | 0.74 | 0.54 | 0.65 | 0.83 | 0.70 | 0.50 | 0.54 | 1.02 | 0.71 |
| | Prueba | Media | 1.57 | 1.69 | 1.59 | 1.60 | 2.05 | 2.11 | 2.31 | 2.32 | 1.57 | 1.60 | 1.69 | 1.32 | 1.25 | 1.14 | 1.43 | 1.93 | 1.59 | 1.21 | 1.49 | 2.68 | 1.98 | 1.50 | 1.51 | 1.40 | 1.52 | 1.31 | 1.60 |
| | | DE | 0.82 | 1.20 | 0.99 | 0.79 | 1.09 | 1.21 | 1.37 | 1.34 | 0.57 | 0.85 | 1.32 | 0.59 | 0.57 | 0.49 | 0.79 | 1.46 | 1.09 | 0.50 | 0.91 | 2.06 | 1.29 | 1.17 | 1.08 | 0.91 | 0.86 | 0.73 | 1.07 |
| DIN | Control | Media | 1.70 | 2.45 | 2.36 | 2.67 | 4.14 | 2.03 | 3.20 | 3.51 | 2.87 | 3.56 | 6.41 | 5.06 | 2.97 | 3.55 | 4.38 | 4.11 | 5.44 | 3.82 | 3.53 | 3.10 | 2.91 | 3.46 | 3.83 | 2.92 | 3.80 | 3.55 | 2.99 |
| | | DE | 0.17 | 0.40 | 0.83 | 0.67 | 0.83 | 0.25 | 0.33 | 1.05 | 1.21 | 0.59 | 2.87 | 1.85 | 0.33 | 1.55 | 1.18 | 2.03 | 3.46 | 0.82 | 0.38 | 0.44 | 1.39 | 1.56 | 1.57 | 1.00 | 0.85 | 1.65 | 0.65 |
| | Prueba | Media | 5.69 | 6.59 | 5.37 | 4.47 | 6.10 | 5.69 | 5.45 | 6.74 | 4.87 | 7.30 | 6.52 | 5.45 | 6.12 | 10.45 | 6.87 | 6.69 | 7.76 | 6.02 | 6.74 | 7.61 | 5.40 | 5.52 | 5.26 | 5.00 | 5.37 | 4.48 | 4.82 |
| | | DE | 4.16 | 4.98 | 3.67 | 2.23 | 4.75 | 4.70 | 4.12 | 6.54 | 3.61 | 7.89 | 4.65 | 4.56 | 5.08 | 11.61 | 5.70 | 5.18 | 7.56 | 5.00 | 5.78 | 5.78 | 3.33 | 4.71 | 4.34 | 4.00 | 4.23 | 2.35 | 3.10 |
| NOD | Control | Media | 41.00 | 40.34 | 107.0 | 108.5 | 138.2 | 49.50 | 66.27 | 106.7 | 78.43 | 115.6 | 65.56 | 71.60 | 53.15 | 65.49 | 76.37 | 59.09 | 49.73 | 92.54 | 68.52 | 87.85 | 52.87 | 71.59 | 80.99 | 77.69 | 82.37 | 65.10 | 83.20 |
| | | DE | 10.49 | 5.30 | 43.50 | 47.56 | 7.07 | 14.25 | 21.49 | 16.03 | 25.30 | 48.54 | 12.43 | 22.34 | 9.56 | 16.02 | 11.78 | 11.07 | 16.15 | 54.42 | 27.44 | 37.48 | 8.52 | 34.18 | 32.74 | 7.81 | 33.86 | 13.41 | 57.40 |
| | Prueba | Media | | 94.82 | 137.0 | 114.8 | 146.2 | 124.7 | 130.5 | 108.9 | 135.4 | 120.7 | 113.2 | 86.9 | 76.5 | 71.3 | 76.8 | 71.8 | 80.8 | 135.0 | 128.1 | 115.0 | 131.5 | 119.7 | 103.0 | 102.8 | 85.4 | 102.8 | 116.9 |
| | | DE | | 45.57 | 46.89 | 52.94 | 73.40 | 82.34 | 55.97 | 51.27 | 93.94 | 31.31 | 50.84 | 57.15 | 33.01 | 17.93 | 41.10 | 49.41 | 23.62 | 70.50 | 43.79 | 79.56 | 66.42 | 26.53 | 31.17 | 26.95 | 38.07 | 44.49 | 26.84 |
| NDT | Control | Media | 42.70 | 42.79 | 109.4 | 111.1 | 142.3 | 51.53 | 69.47 | 110.2 | 81.30 | 119.1 | 71.97 | 76.66 | 56.12 | 69.04 | 80.75 | 63.20 | 55.17 | 96.35 | 72.05 | 90.95 | 55.78 | 75.05 | 84.81 | 80.61 | 86.17 | 68.65 | 86.18 |
| | | DE | 10.47 | 5.29 | 42.81 | 46.97 | 6.26 | 14.08 | 21.71 | 15.18 | 25.02 | 49.12 | 14.14 | 23.90 | 9.37 | 14.71 | 10.95 | 10.37 | 14.53 | 54.93 | 27.17 | 37.34 | 9.41 | 32.78 | 33.28 | 6.87 | 33.43 | 12.36 | 56.75 |
| | Prueba | Media | | 71.77 | 133.3 | 119.3 | 134.0 | 130.8 | 135.7 | 102.1 | 130.8 | 112.9 | 119.7 | 81.45 | 77.88 | 63.89 | 83.69 | 69.53 | 78.48 | 141.0 | 134.8 | 122.6 | 136.9 | 125.2 | 108.2 | 107.8 | 90.78 | 107.3 | 121.7 |
| | | DE | | 59.53 | 58.72 | 53.73 | 84.97 | 87.17 | 59.29 | 61.00 | 100.70 | 48.24 | 54.23 | 62.77 | 39.98 | 26.97 | 45.81 | 52.91 | 32.49 | 74.53 | 48.72 | 84.79 | 68.92 | 28.52 | 34.87 | 30.20 | 41.79 | 46.26 | 28.52 |
| NOP | Control | Media | 16.25 | 48.75 | 24.63 | 16.00 | 14.08 | 33.19 | 20.20 | 22.69 | 22.03 | 17.37 | 29.23 | 24.00 | 18.47 | 30.37 | 38.83 | 34.66 | 16.17 | 70.96 | 37.13 | 60.43 | 55.17 | 18.35 | 13.97 | 17.41 | 16.63 | 46.06 | 15.75 |
| | | DE | 1.06 | 23.47 | 21.10 | 3.46 | 5.26 | 8.75 | 9.24 | 4.57 | 8.66 | 5.01 | 18.70 | 16.45 | 3.25 | 19.50 | 27.34 | 16.59 | 6.12 | 23.35 | 22.33 | 32.41 | 18.33 | 0.78 | 1.76 | 3.48 | 4.17 | 14.82 | 0.21 |
| | Prueba | Media | | 101.0 | 116.1 | 114.3 | 100.9 | 114.5 | 100.6 | 108.1 | 146.4 | 97.84 | 77.43 | 79.90 | 78.28 | 51.11 | 34.05 | 62.84 | 105.6 | 121.5 | 42.47 | 73.94 | 41.99 | 51.85 | 61.84 | 67.36 | 46.00 | 111.7 | 93.34 |
| | | DE | | 62.87 | 80.93 | 116.39 | 70.35 | 152.27 | 79.91 | 121.36 | 70.05 | 122.15 | 45.24 | 67.21 | 61.01 | 15.43 | 11.23 | 33.69 | 86.98 | 134.10 | 17.47 | 52.87 | 26.04 | 27.61 | 30.82 | 29.98 | 31.08 | 84.44 | 74.48 |
| NT | Control | Media | 50.83 | 91.53 | 134.0 | 127.1 | 156.4 | 68.12 | 89.67 | 132.9 | 97.83 | 132.2 | 93.89 | 94.66 | 69.97 | 91.82 | 119.6 | 89.19 | 67.29 | 149.6 | 99.90 | 136.3 | 97.15 | 84.23 | 95.29 | 93.67 | 98.64 | 103.2 | 94.06 |
| | | DE | 16.16 | 25.85 | 52.20 | 43.53 | 7.37 | 12.24 | 13.35 | 12.97 | 32.79 | 58.24 | 25.12 | 32.92 | 12.84 | 26.32 | 22.48 | 22.93 | 16.92 | 70.06 | 45.41 | 70.95 | 39.60 | 43.38 | 39.67 | 15.88 | 41.60 | 37.23 | 65.84 |
| | Prueba | Media | | 141.2 | 212.1 | 183.6 | 222.3 | 230.8 | 219.5 | 142.6 | 207.2 | 168.0 | 187.5 | 156.4 | 131.7 | 99.0 | 105.0 | 128.4 | 157.7 | 232.2 | 169.3 | 187.3 | 165.7 | 157.6 | 154.6 | 162.5 | 131.0 | 205.3 | 197.6 |
| | | DE | | 98.25 | 99.08 | 100.94 | 87.25 | 129.99 | 130.13 | 93.49 | 107.48 | 119.62 | 67.46 | 83.48 | 66.18 | 38.73 | 44.50 | 64.76 | 94.45 | 146.08 | 53.57 | 76.88 | 69.92 | 30.78 | 37.77 | 44.73 | 45.93 | 59.05 | 60.85 |
| PO4 | Control | Media | 1.305 | 0.9575 | 1.0825 | 2.385 | 1.595 | 1.38 | 1.585 | 2.09 | 2.7875 | 2.015 | 2.25 | 1.605 | 2.015 | 2.04 | 2.7725 | 2.1975 | 2.7775 | 2.295 | 2.525 | 3.625 | 1.635 | 1.91 | 3.205 | 2.975 | 3.875 | 3.5 | 3.07 |
| | | DE | 0.72 | 0.48 | 0.32 | 0.19 | 0.87 | 0.49 | 0.06 | 0.27 | 0.53 | 0.66 | 0.32 | 1.16 | 0.16 | 0.52 | 0.54 | 0.66 | 0.53 | 0.39 | 0.56 | 1.55 | 0.70 | 0.81 | 0.63 | 1.27 | 0.52 | 0.81 | 0.89 |
| | Prueba | Media | 2.29 | 1.98 | 1.45 | 1.65 | 1.81 | 1.88 | 1.79 | 2.02 | 2.58 | 2.34 | 2.08 | 1.79 | 1.97 | 2.19 | 2.86 | 2.94 | 3.43 | 2.99 | 3.21 | 2.92 | 3.07 | 3.16 | 2.56 | 2.65 | 3.35 | 3.49 | 3.56 |
| | | DE | 1.07 | 1.28 | 1.09 | 0.81 | 1.03 | 0.89 | 0.57 | 0.79 | 0.70 | 0.59 | 0.70 | 0.56 | 0.93 | 0.70 | 0.90 | 0.86 | 1.12 | 0.70 | 0.74 | 1.29 | 1.07 | 0.73 | 1.15 | 1.26 | 1.38 | 1.50 | 1.31 |
| SiO2</ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo III. Continuación

| Periodo A | Días cultivo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | | | | |
|-------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| N:P | Control | Media | 64.44 | 113.0 | 67.00 | 35.31 | 126.3 | 49.84 | 62.58 | 54.30 | 32.44 | 59.54 | 88.65 | 166.8 | 45.92 | 53.18 | 48.81 | 60.75 | 56.94 | 53.84 | 45.13 | 30.32 | 67.78 | 57.60 | 40.52 | 35.63 | 30.84 | 35.06 | 33.50 | | | |
| | | DE | 62.54 | 99.70 | 8.93 | 11.90 | 119.5 | 16.44 | 7.00 | 24.89 | 12.56 | 23.58 | 41.83 | 140.5 | 6.21 | 12.91 | 7.17 | 27.11 | 27.65 | 20.35 | 12.87 | 13.27 | 56.93 | 17.48 | 25.37 | 18.75 | 8.66 | 24.56 | 16.36 | | | |
| | Prueba | Media | 95.34 | 120.4 | 145.8 | 108.3 | 155.4 | 131.7 | 107.9 | 146.9 | 56.47 | 112.7 | 123.5 | 128.6 | 191.4 | 244.0 | 123.2 | 102.7 | 73.68 | 77.42 | 81.56 | 176.7 | 75.59 | 66.82 | 196.9 | 126.9 | 102.0 | 72.55 | 77.38 | | | |
| | | DE | 73.06 | 73.14 | 99.47 | 98.98 | 197.8 | 142.7 | 107.0 | 187.0 | 32.95 | 138.3 | 121.7 | 150.6 | 315.3 | 369.8 | 210.9 | 135.1 | 65.83 | 82.40 | 93.30 | 348.6 | 85.37 | 72.75 | 432.5 | 207.1 | 150.6 | 88.77 | 117.8 | | | |
| N:Si | Control | Media | 4.21 | 6.70 | 6.23 | 6.35 | 13.20 | 5.05 | 4.71 | 5.29 | 6.45 | 8.28 | 11.04 | 10.83 | 5.78 | 7.01 | 9.95 | 12.28 | 13.61 | 12.15 | 8.69 | 7.24 | 10.96 | 16.45 | 16.98 | 7.70 | 7.73 | 6.64 | 8.09 | | | |
| | | DE | 0.94 | 1.83 | 1.29 | 1.13 | 5.92 | 2.11 | 1.52 | 1.69 | 1.69 | 0.64 | 3.61 | 3.21 | 2.19 | 1.45 | 1.15 | 6.00 | 11.85 | 4.65 | 4.30 | 3.15 | 5.78 | 3.36 | 9.37 | 1.35 | 3.49 | 3.88 | 1.62 | | | |
| | Prueba | Media | 3.84 | 4.01 | 3.15 | 3.12 | 4.70 | 2.86 | 3.32 | 5.17 | 5.83 | 5.92 | 6.61 | 4.03 | 4.66 | 7.98 | 6.00 | 3.88 | 5.95 | 3.94 | 3.56 | 7.52 | 17.72 | 22.25 | 19.41 | 6.23 | 3.59 | 3.14 | 4.58 | | | |
| | | DE | 1.70 | 2.34 | 1.43 | 1.62 | 4.55 | 2.29 | 3.25 | 6.02 | 5.49 | 4.98 | 4.43 | 2.01 | 2.26 | 7.27 | 4.09 | 2.47 | 6.09 | 1.42 | 1.62 | 4.04 | 10.52 | 16.17 | 13.95 | 6.77 | 1.48 | 1.80 | 1.82 | | | |
| Si:P | Control | Media | 15.20 | 15.78 | 11.02 | 5.70 | 9.05 | 10.47 | 14.57 | 11.31 | 4.92 | 7.20 | 7.64 | 13.49 | 8.88 | 7.82 | 5.02 | 5.15 | 5.30 | 4.46 | 6.14 | 4.18 | 5.57 | 3.46 | 2.40 | 4.50 | 4.22 | 5.13 | 4.30 | | | |
| | | DE | 14.17 | 9.83 | 2.24 | 2.10 | 5.66 | 1.98 | 5.83 | 6.00 | 0.78 | 2.76 | 1.75 | 9.19 | 3.26 | 2.27 | 1.25 | 2.09 | 1.93 | 0.23 | 2.79 | 0.55 | 1.68 | 0.35 | 0.81 | 2.08 | 0.91 | 0.82 | 2.54 | | | |
| | Prueba | Media | 25.96 | 26.78 | 46.09 | 42.40 | 28.09 | 35.51 | 48.82 | 34.90 | 14.78 | 16.79 | 16.31 | 25.37 | 29.95 | 21.28 | 16.69 | 25.19 | 12.92 | 16.62 | 28.53 | 19.34 | 4.31 | 2.53 | 7.21 | 24.04 | 30.66 | 23.50 | 28.13 | | | |
| | | DE | 18.34 | 11.35 | 24.47 | 45.46 | 17.10 | 12.87 | 36.00 | 29.96 | 11.58 | 11.64 | 5.93 | 19.17 | 35.15 | 18.33 | 21.62 | 29.27 | 6.77 | 12.31 | 42.91 | 34.14 | 4.23 | 1.37 | 14.70 | 41.51 | 44.30 | 35.24 | 49.80 | | | |
| Irradianza | Control | Media | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | Prueba | Media | 0.93 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| OD | Control | Media | | | 8.10 | 7.40 | 7.20 | 7.20 | 6.80 | 5.50 | 7.00 | 6.00 | | 6.50 | 6.80 | 7.40 | 3.60 | 8.50 | 8.10 | 8.00 | 7.30 | 7.10 | 7.40 | 7.60 | 4.10 | | | 4.20 | 3.80 | 7.10 | | |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | | 7.18 | 8.26 | 8.46 | 7.82 | 7.39 | 6.76 | 7.16 | 7.28 | 7.28 | 7.58 | 7.93 | 7.64 | 6.97 | 7.03 | 7.22 | 7.31 | 7.21 | 7.21 | 6.77 | 6.93 | 7.24 | 7.39 | 7.33 | 7.22 | 6.91 | 6.72 | | | |
| | | DE | | 1.70 | 1.40 | 1.47 | 1.27 | 1.07 | 0.90 | 1.11 | 0.81 | 0.93 | 0.87 | 1.11 | 1.04 | 1.01 | 1.08 | 1.02 | 0.86 | 0.84 | 1.19 | 0.85 | 1.11 | 1.30 | 1.39 | 1.53 | 1.58 | 1.36 | 1.74 | | | |
| T | Control | Media | 25.68 | 25.86 | 26.04 | 27.03 | 27.14 | 26.64 | 26.18 | 25.04 | 25.68 | 25.34 | 25.48 | 25.20 | 25.06 | 25.58 | 25.13 | 26.08 | 26.45 | 26.90 | 27.03 | 26.64 | 27.50 | 25.73 | 25.25 | 25.43 | 25.16 | 25.93 | 26.03 | | | |
| | | DE | 2.66 | 2.88 | 2.57 | 2.56 | 2.33 | 2.23 | 2.04 | 3.19 | 2.15 | 2.89 | 3.01 | 3.34 | 3.70 | 3.20 | 4.00 | 3.03 | 3.32 | 2.82 | 2.71 | 3.33 | 2.71 | 2.49 | 3.07 | 3.10 | 3.85 | 2.88 | 2.74 | | | |
| | Prueba | Media | 26.88 | 26.78 | 26.40 | 27.75 | 27.93 | 27.56 | 27.32 | 26.18 | 26.60 | 26.55 | 26.67 | 26.87 | 26.42 | 27.04 | 26.81 | 27.28 | 27.64 | 28.01 | 28.12 | 27.97 | 28.53 | 26.67 | 26.46 | 26.58 | 26.65 | 26.97 | 27.12 | | | |
| | | DE | 0.93 | 1.41 | 1.10 | 1.71 | 1.27 | 1.03 | 0.94 | 1.18 | 1.00 | 1.05 | 1.03 | 1.03 | 1.12 | 1.39 | 1.31 | 0.99 | 1.23 | 1.14 | 1.01 | 1.19 | 1.07 | 2.26 | 1.20 | 1.12 | 1.32 | 1.17 | 0.88 | | | |

| Periodo B | Días de cultivo | | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 |
|-----------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|--------|--------|
| NH4 | Control | Media | 0.33 | 2.29 | 0.35 | 0.36 | 0.26 | 0.81 | 2.13 | 0.52 | 1.53 | 2.31 | 0.85 | 2.42 | 1.09 | 1.13 | 1.17 | 1.01 |
| | | DE | 0.00 | 1.91 | 0.12 | 0.15 | 0.06 | 0.00 | 0.58 | 0.00 | 0.64 | 1.58 | 0.04 | 1.28 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 1.77 | 2.70 | 2.47 | 1.90 | 2.81 | 3.76 | 7.41 | 5.42 | 7.71 | 7.92 | 3.30 | 4.60 | 4.41 | 4.91 | 4.82 | 3.07 |
| DE | | 1.81 | 2.78 | 2.46 | 2.32 | 4.82 | 5.47 | 7.32 | 5.54 | 8.70 | 14.13 | 3.51 | 5.91 | 2.41 | 2.77 | 2.97 | 4.03 | |
| NO2 | Control | Media | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.04 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 |
| | Prueba | Media | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| DE | | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | |
| NO3 | Control | Media | 0.74 | 0.24 | 1.96 | 0.63 | 1.26 | 0.94 | 1.29 | 1.20 | 1.40 | 1.10 | 1.47 | 0.93 | 1.45 | 1.49 | 1.53 | 1.08 |
| | | DE | 0.00 | 0.11 | 0.10 | 0.51 | 0.49 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.22 | 0.08 | 0.36 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 |
| | Prueba | Media | 0.82 | 0.70 | 1.24 | 1.23 | 0.91 | 1.00 | 1.31 | 1.06 | 1.17 | 1.23 | 1.47 | 1.05 | 1.13 | 1.13 | 1.10 | 0.64 |
| DE | | 0.44 | 0.57 | 0.77 | 1.44 | 0.75 | 0.58 | 0.87 | 0.08 | 0.86 | 0.63 | 0.99 | 0.31 | 0.13 | 0.14 | 0.22 | 0.37 | |
| Nox | Control | Media | 0.75 | 0.25 | 1.97 | 0.65 | 1.27 | 0.96 | 0.70 | 1.21 | 1.44 | 1.14 | 1.50 | 0.96 | 1.52 | 1.56 | 1.60 | 1.12 |
| | | DE | 0.00 | 0.11 | 0.10 | 0.50 | 0.48 | 0.13 | 0.68 | 0.00 | 0.13 | 0.23 | 0.09 | 0.39 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.42 |
| | Prueba | Media | 0.85 | 0.73 | 1.28 | 1.27 | 0.94 | 1.04 | 1.34 | 1.09 | 1.21 | 1.27 | 1.50 | 1.07 | 1.16 | 1.17 | 1.13 | 0.66 |
| DE | | 0.45 | 0.60 | 0.77 | 1.43 | 0.75 | 0.59 | 0.88 | 0.08 | 0.89 | 0.64 | 1.01 | 0.32 | 0.13 | 0.14 | 0.22 | 0.38 | |
| DIN | Control | Media | 1.07 | 2.54 | 2.31 | 1.01 | 1.53 | 1.76 | 2.83 | 1.73 | 2.96 | 1.64 | 2.35 | 2.10 | 2.60 | 2.69 | 2.77 | 1.77 |
| | | DE | 0.00 | 2.02 | 0.23 | 0.65 | 0.42 | 0.14 | 0.10 | 0.00 | 0.78 | 0.46 | 0.06 | 0.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.89 |
| | Prueba | Media | 2.62 | 3.44 | 3.74 | 3.17 | 3.75 | 4.80 | 8.75 | 6.51 | 8.91 | 9.19 | 4.80 | 5.67 | 5.57 | 6.07 | 5.95 | 3.74 |
| DE | | 2.01 | 3.23 | 2.55 | 2.43 | 4.65 | 6.00 | 7.65 | 5.57 | 9.46 | 14.36 | 4.13 | 5.92 | 2.39 | 2.72 | 2.97 | 3.90 | |
| NOD | Control | Media | | 36.67 | 96.79 | 87.56 | 146.4 | 102.0 | 59.60 | | 67.21 | 76.27 | 43.63 | 63.75 | | | | 22.96 |
| | | DE | | 3.61 | 13.50 | 22.62 | 36.94 | 21.65 | 7.10 | | 0.00 | 0.00 | 15.13 | 3.29 | | | | 18.03 |
| | Prueba | Media | 138.49 | 113.13 | 102.89 | 121.36 | 106.59 | 91.51 | 90.65 | | 105.91 | 89.35 | 97.91 | 71.17 | | | | 105.96 |
| DE | | 112.19 | 68.33 | 45.06 | 60.55 | 51.04 | 60.72 | 65.43 | | 64.16 | 32.67 | 40.40 | 35.65 | | | | 35.33 | |
| NDT | Control | Media | | 37.08 | 98.76 | 88.21 | 146.9 | 102.6 | 59.80 | | 68.94 | 77.46 | 45.19 | 64.67 | | | | 23.89 |
| | | DE | | 3.86 | 13.60 | 22.12 | 37.34 | 21.10 | 7.11 | | 0.00 | 0.00 | 15.22 | 3.05 | | | | 18.27 |
| | Prueba | Media | 140.77 | 115.54 | 99.07 | 123.76 | 104.72 | 93.05 | 95.50 | | 111.80 | 108.74 | 101.67 | 78.07 | | | | 108.94 |
| DE | | 115.90 | 71.37 | 44.67 | 62.49 | 41.69 | 59.12 | 65.95 | | 63.54 | 66.29 | 44.35 | 38.57 | | | | 38.59 | |
| NOP | Control | Media | | 70.62 | 9.13 | 6.29 | 2.44 | 17.05 | 21.10 | | 57.22 | 3.65 | 22.32 | 18.26 | | | | 80.56 |
| | | DE | | 7.31 | 5.48 | 5.48 | 1.22 | 0.00 | 20.70 | | 0.00 | 0.00 | 15.42 | 17.45 | | | | 46.06 |
| | Prueba | Media | 66.34 | 86.14 | 87.24 | 74.32 | 41.05 | 57.10 | 45.11 | 18.54 | 89.88 | 57.40 | 43.50 | 57.41 | 22.40 | | | 109.3 |
| DE | | 31.65 | 57.84 | 86.73 | 52.01 | 38.22 | 30.38 | 37.88 | 4.74 | 94.94 | 63.18 | 34.36 | 43.86 | 0.00 | | | 82.20 | |
| NT | Control | Media | | 107.7 | 107.9 | 94.50 | 149.3 | 94.10 | 80.91 | | 126.2 | 81.11 | 67.51 | 82.94 | | | | 104.5 |
| | | DE | | 3.45 | 8.12 | 16.64 | 36.12 | 46.67 | 13.60 | | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 14.41 | | | | 27.80 |
| | Prueba | Media | 203.88 | 260.76 | 211.89 | 210.07 | 189.61 | 173.24 | 186.39 | | 202.15 | 194.92 | 139.93 | 136.98 | | | | 187.91 |
| DE | | 143.63 | 231.94 | 166.20 | 170.79 | 137.75 | 142.11 | 179.48 | | 171.03 | 167.28 | 79.53 | 105.25 | | | | 124.11 | |
| PO4 | Control | Media | 0.08 | 0.06 | 0.02 | 0.08 | 0.07 | 0.19 | 0.06 | 0.12 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.07 |
| | | DE | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.02 | 0.10 | 0.03 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 |
| | Prueba | Media | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.13 |
| DE | | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.01 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | |
| SiO2 | Control | Media | 0.49 | 0.48 | 0.62 | 0.51 | 0.42 | 0.44 | 0.53 | 0.61 | 0.71 | 0.69 | 0.81 | 0.46 | 0.67 | 0.68 | 0.69 | 0.49 |
| | | DE | 0.00 | 0.04 | 0.02 | 0.16 | 0.23 | 0.11 | 0.10 | 0.00 | 0.09 | 0.06 | 0.02 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 |
| | Prueba | Media | 1.28 | 1.35 | 1.52 | 1.21 | 0.80 | 1.07 | 1.58 | 1.27 | 1.21 | 1.04 | 0.93 | 0.65 | 1.24 | 1.23 | 1.23 | 1.08 |
| DE | | 1.27 | 1.03 | 1.24 | 1.27 | 1.31 | 1.19 | 1.57 | 0.00 | 1.03 | 1.24 | 0.63 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.40 | |

Anexo III. Continuación.

| Periodo <i>B</i> | Días cultivo | | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 |
|-------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N:P | Control | Media | 13.04 | 6.41 | 63.62 | 6.02 | 6.68 | 3.15 | 18.92 | 14.19 | 10.15 | 8.40 | 17.91 | 7.11 | 18.21 | 18.38 | 18.53 | 7.76 |
| | | DE | 0.00 | 4.15 | 61.07 | 5.01 | 5.45 | 2.48 | 15.76 | | 7.12 | 7.62 | 16.73 | 7.72 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.78 |
| | Prueba | Media | 14.13 | 18.16 | 19.73 | 22.23 | 13.99 | 12.91 | 17.82 | 14.30 | 16.16 | 181.8 | 18.73 | 64.54 | 14.99 | 18.39 | 19.24 | 29.75 |
| | | DE | 39.00 | 48.10 | 42.05 | 52.95 | 34.01 | 26.49 | 30.69 | 19.00 | 20.07 | 527.3 | 42.20 | 177.9 | 22.08 | 26.01 | 26.78 | 77.52 |
| N:SiO2 | Control | Media | 2.19 | 5.00 | 3.73 | 1.74 | 5.68 | 4.13 | 5.62 | 2.84 | 4.08 | 2.45 | 2.91 | 4.65 | 3.87 | 3.95 | 4.01 | 3.56 |
| | | DE | 0.00 | 3.84 | 0.22 | 0.72 | 3.97 | 0.70 | 1.27 | 0.00 | 0.58 | 0.86 | 0.14 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.44 |
| | Prueba | Media | 1.66 | 2.46 | 2.77 | 4.26 | 9.33 | 5.25 | 7.95 | 4.56 | 8.42 | 9.01 | 5.29 | 11.72 | 5.20 | 6.52 | 6.88 | 5.24 |
| | | DE | 1.04 | 1.35 | 0.76 | 3.77 | 15.63 | 4.29 | 6.15 | 2.27 | 4.28 | 6.64 | 2.94 | 9.37 | 3.26 | 3.44 | 3.45 | 2.62 |
| Si:P | Control | Media | 5.94 | 4.67 | 16.16 | 2.74 | 3.61 | 0.68 | 2.88 | 4.99 | 2.78 | 10.11 | 5.89 | 4.58 | 4.70 | 4.66 | 4.62 | 24.66 |
| | | DE | 0.00 | 4.41 | 15.43 | 1.74 | 3.49 | 0.49 | 2.16 | 0.00 | 2.14 | 5.26 | 5.46 | 3.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 31.53 |
| | Prueba | Media | 16.88 | 10.01 | 15.93 | 15.55 | 7.07 | 8.23 | 2.91 | 8.72 | 4.25 | 17.69 | 7.28 | 9.16 | 8.20 | 8.11 | 8.04 | 13.43 |
| | | DE | 26.88 | 14.51 | 25.87 | 29.20 | 16.95 | 14.50 | 1.75 | 0.06 | 3.30 | 45.73 | 13.35 | 23.46 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 26.61 |
| Irradianza | Control | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O2 | Control | Media | 7.10 | 8.80 | 7.70 | 7.70 | 7.90 | 7.40 | 7.30 | | 5.90 | 3.00 | 5.10 | 5.10 | 5.80 | 6.70 | 7.00 | 5.60 |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 7.08 | 7.75 | 8.01 | 9.40 | 10.03 | 8.47 | 8.01 | 8.58 | 8.14 | 7.18 | 6.08 | 6.93 | 6.14 | 6.24 | 5.72 | 5.72 |
| | | DE | 1.60 | 2.50 | 2.58 | 2.86 | 3.21 | 2.55 | 2.91 | 3.36 | 3.18 | 2.71 | 2.16 | 2.15 | 1.80 | 1.89 | 1.75 | 1.79 |
| T | Control | Media | 22.10 | 24.20 | 24.40 | 25.00 | 25.30 | 25.30 | 26.80 | 26.60 | 25.50 | 25.30 | 22.80 | 23.90 | 23.80 | 25.50 | 25.70 | 24.30 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 27.32 | 27.89 | 27.55 | 27.21 | 27.57 | 27.70 | 27.60 | 27.99 | 27.53 | 28.25 | 28.55 | 29.01 | 28.99 | 29.02 | 28.81 | 28.33 |
| | | DE | 1.03 | 0.95 | 0.92 | 1.49 | 0.90 | 0.79 | 1.02 | 0.82 | 0.83 | 0.98 | 1.15 | 1.00 | 0.98 | 1.00 | 0.93 | 0.52 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo C | Días de cultivo | | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 |
|-----------|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NH4 | Control | Media | 3.96 | 2.81 | 2.26 | 3.01 | 2.91 | 4.01 | 4.81 | 2.67 | 4.53 | 0.99 |
| | | DE | 2.03 | 0.90 | 1.20 | 0.68 | 0.62 | 0.63 | 4.40 | 0.49 | 1.31 | 0.21 |
| | Prueba | Media | 4.20 | 3.58 | 2.48 | 2.19 | 2.05 | 1.60 | 1.76 | 2.66 | 2.78 | 2.35 |
| | | DE | 4.34 | 3.18 | 3.33 | 2.59 | 2.33 | 2.16 | 1.42 | 1.53 | 1.92 | 2.48 |
| NO2 | Control | Media | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | | DE | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | | |
| | Prueba | Media | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| | | DE | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.04 |
| NO3 | Control | Media | 0.95 | 0.56 | 0.49 | 0.52 | 0.45 | 0.50 | 0.32 | 0.30 | 0.50 | 0.10 |
| | | DE | 0.81 | 0.42 | 0.20 | 0.29 | 0.21 | 0.04 | 0.03 | 0.01 | 0.25 | 0.09 |
| | Prueba | Media | 0.88 | 0.74 | 0.68 | 0.94 | 0.86 | 0.80 | 0.59 | 0.70 | 0.59 | 1.26 |
| | | DE | 0.63 | 0.50 | 0.58 | 0.49 | 0.25 | 0.61 | 0.45 | 0.48 | 0.34 | 1.16 |
| Nox | Control | Media | 0.99 | 0.57 | 0.42 | 0.54 | 0.47 | 0.51 | 0.33 | 0.32 | 0.51 | 0.11 |
| | | DE | 0.85 | 0.43 | 0.20 | 0.30 | 0.21 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.25 | 0.10 |
| | Prueba | Media | 0.92 | 0.77 | 0.70 | 0.96 | 0.89 | 0.83 | 0.62 | 0.72 | 0.61 | 1.29 |
| | | DE | 0.64 | 0.50 | 0.59 | 0.49 | 0.25 | 0.63 | 0.48 | 0.49 | 0.36 | 1.19 |
| DIN | Control | Media | 4.96 | 3.38 | 2.19 | 3.55 | 3.38 | 4.52 | 1.81 | 2.99 | 5.04 | 1.10 |
| | | DE | 1.18 | 1.32 | 1.40 | 0.39 | 0.41 | 0.67 | 1.24 | 0.50 | 1.06 | 0.11 |
| | Prueba | Media | 5.12 | 4.35 | 3.18 | 3.15 | 2.94 | 2.43 | 2.38 | 3.38 | 3.39 | 3.64 |
| | | DE | 4.68 | 3.20 | 3.76 | 2.45 | 2.48 | 2.65 | 1.68 | 1.67 | 2.00 | 2.65 |
| NOD | Control | Media | 62.99 | 56.80 | 77.31 | | | 34.84 | 74.67 | 78.91 | 50.65 | 93.11 |
| | | DE | 20.20 | 3.75 | 7.97 | | | 18.60 | 1.98 | 29.47 | 2.28 | 0.33 |
| | Prueba | Media | 80.59 | 91.55 | 113.45 | 114.16 | | 91.45 | 149.14 | 101.22 | 92.23 | 109.17 |
| | | DE | 38.97 | 26.74 | 88.39 | 52.01 | | 54.57 | 64.00 | 39.93 | 40.87 | 69.15 |
| NDT | Control | Media | 64.27 | 57.57 | 78.07 | | | 35.25 | 75.43 | 79.08 | 51.48 | 93.29 |
| | | DE | 20.90 | 3.25 | 7.92 | | | 18.67 | 1.62 | 29.63 | 2.44 | 0.41 |
| | Prueba | Media | 85.71 | 94.47 | 109.59 | 111.16 | 105.46 | 85.27 | 145.61 | 102.62 | 93.39 | 111.65 |
| | | DE | 41.54 | 29.36 | 82.58 | 54.64 | 0.00 | 43.78 | 65.93 | 41.58 | 41.51 | 71.40 |
| NOP | Control | Media | 11.57 | 13.80 | 26.58 | | | 70.82 | 12.38 | 29.02 | 85.02 | 11.97 |
| | | DE | 2.24 | 0.00 | 24.96 | | | 28.21 | 10.35 | 24.96 | 57.43 | 5.08 |
| | Prueba | Media | 132.2 | 67.42 | 74.58 | 52.18 | | 79.22 | 107.1 | 68.45 | 115.2 | 91.94 |
| | | DE | 128.85 | 38.92 | 66.85 | 18.08 | | 60.98 | 61.05 | 33.87 | 78.70 | 80.84 |
| NT | Control | Media | 75.83 | 60.62 | 104.7 | | | 106.1 | 87.81 | 108.1 | 136.5 | 105.3 |
| | | DE | 23.14 | 14.01 | 32.87 | | | 9.54 | 11.98 | 4.67 | 59.86 | 5.48 |
| | Prueba | Media | 198.19 | 163.73 | 213.31 | 182.00 | 138.74 | 151.07 | 260.53 | 187.09 | 184.43 | 230.67 |
| | | DE | 188.49 | 107.07 | 195.89 | 141.37 | 0.00 | 111.23 | 215.59 | 146.40 | 103.93 | 245.32 |
| PO4 | Control | Media | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.01 |
| | | DE | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| | Prueba | Media | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.12 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.10 |
| | | DE | 0.07 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| SiO2 | Control | Media | 0.54 | 0.66 | 0.42 | 0.46 | 0.43 | 0.39 | 0.46 | 0.32 | 0.27 | 0.29 |
| | | DE | 0.07 | 0.20 | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.20 | 0.09 | 0.08 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 5.66 | 5.03 | 4.90 | 5.39 | 2.70 | 2.76 | 2.20 | 2.81 | 4.94 | 3.12 |
| | | DE | 10.29 | 10.39 | 9.85 | 7.98 | 3.68 | 3.68 | 3.69 | 3.62 | 10.07 | 4.25 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo C | Días cultivo | | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 |
|-------------------|----------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N:P | Control | Media | 131.8 | 66.80 | 76.38 | 115.3 | 122.1 | 141.1 | 85.13 | 275.6 | 183.6 | 542.2 |
| | | DE | 38.62 | 7.03 | 46.72 | 27.43 | 31.73 | 15.88 | 68.56 | 83.25 | 54.33 | 475.4 |
| | Prueba | Media | 187.2 | 169.2 | 119.1 | 110.2 | 28.80 | 25.25 | 25.16 | 35.07 | 30.24 | 49.82 |
| | | DE | 408.2 | 399.4 | 214.7 | 236.7 | 19.50 | 31.42 | 20.48 | 15.91 | 16.44 | 45.22 |
| N:SiO2 | Control | Media | 9.49 | 5.00 | 5.35 | 8.06 | 8.29 | 11.74 | 5.26 | 9.71 | 21.01 | 3.75 |
| | | DE | 3.30 | 0.54 | 3.37 | 2.13 | 2.26 | 0.85 | 4.35 | 0.93 | 9.69 | 0.40 |
| | Prueba | Media | 4.51 | 3.30 | 2.90 | 6.41 | 4.61 | 2.69 | 4.32 | 7.01 | 6.10 | 4.35 |
| | | DE | 3.97 | 1.91 | 2.55 | 7.64 | 5.61 | 2.25 | 4.10 | 7.56 | 8.10 | 3.79 |
| Si:P | Control | Media | 14.18 | 13.37 | 13.86 | 14.41 | 14.77 | 12.19 | 16.23 | 27.80 | 9.58 | 159.7 |
| | | DE | 0.85 | 0.02 | 2.78 | 0.41 | 0.18 | 2.24 | 0.88 | 5.92 | 1.83 | 143.6 |
| | Prueba | Media | 574.0 | 570.7 | 220.7 | 248.1 | 7.58 | 9.12 | 20.22 | 6.99 | 71.46 | 33.27 |
| | | DE | 1708.9 | 1721.0 | 579.5 | 633.1 | 7.21 | 11.54 | 27.92 | 7.58 | 176.2 | 41.68 |
| Irradianza | Control | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O2 | Control | Media | 5.00 | 4.40 | 5.80 | 5.70 | 7.00 | 7.20 | 6.60 | 6.80 | 7.40 | 7.10 |
| | | DE | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 6.26 | 7.39 | 6.67 | 6.10 | 6.30 | 6.23 | 6.32 | 5.58 | 6.57 | 6.52 |
| | | DE | 1.51 | 2.40 | 1.90 | 1.89 | 2.06 | 1.93 | 1.58 | 1.55 | 1.83 | 1.75 |
| T | Control | Media | 25.90 | 24.60 | 24.40 | 25.00 | 26.10 | 26.90 | 26.20 | 28.90 | 24.70 | 26.60 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 27.58 | 27.84 | 28.16 | 28.70 | 29.01 | 28.92 | 29.04 | 28.32 | 27.53 | 27.42 |
| | | DE | 0.59 | 1.22 | 1.22 | 1.24 | 1.14 | 1.13 | 1.57 | 1.01 | 0.52 | 1.49 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo D | Días de cultivo | | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | |
|-----------|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| NH4 | Control | Media | 11.03 | 2.82 | 2.82 | 2.53 | 1.45 | 0.19 | 11.41 | 1.60 | 5.85 | 8.62 | 1.30 | 1.33 | 3.71 | |
| | | DE | 11.91 | 2.64 | 1.36 | 1.79 | 1.71 | 0.03 | 10.56 | 1.08 | 3.60 | 2.79 | 0.16 | 0.21 | 1.75 | |
| | Prueba | Media | 5.85 | 5.09 | 4.03 | 4.80 | 3.44 | 1.27 | 6.30 | 7.80 | 13.58 | 13.83 | 4.79 | 3.93 | 2.87 | |
| | | DE | 7.80 | 5.77 | 4.45 | 5.64 | 4.38 | 1.42 | 8.81 | 9.05 | 12.88 | 10.06 | 6.43 | 4.96 | 2.67 | |
| NO2 | Control | Media | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| | | DE | 0.01 | | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | | 0.01 | 0.01 | 0.01 | |
| | Prueba | Media | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.02 |
| | | DE | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| NO3 | Control | Media | 0.22 | 0.25 | 0.27 | 0.22 | 0.16 | 0.50 | 0.18 | 0.19 | 0.17 | 0.16 | 0.23 | 0.26 | 0.33 | |
| | | DE | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.09 | 0.12 | 0.28 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.05 | 0.01 | 0.07 | |
| | Prueba | Media | 0.69 | 0.39 | 0.50 | 0.38 | 0.45 | 1.25 | 0.59 | 0.79 | 0.60 | 0.40 | 0.31 | 0.44 | 0.45 | |
| | | DE | 0.41 | 0.22 | 0.21 | 0.24 | 0.26 | 1.23 | 0.49 | 0.50 | 0.35 | 0.31 | 0.34 | 0.28 | 0.34 | |
| Nox | Control | Media | 0.25 | 0.26 | 0.29 | 0.26 | 0.18 | 0.53 | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.17 | 0.24 | 0.28 | 0.34 | |
| | | DE | 0.09 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.12 | 0.29 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.05 | 0.01 | 0.06 | |
| | Prueba | Media | 0.71 | 0.40 | 0.53 | 0.40 | 0.48 | 1.29 | 0.62 | 0.81 | 0.63 | 0.43 | 0.34 | 0.49 | 0.48 | |
| | | DE | 0.42 | 0.22 | 0.21 | 0.24 | 0.26 | 1.23 | 0.49 | 0.51 | 0.37 | 0.32 | 0.35 | 0.29 | 0.34 | |
| DIN | Control | Media | 11.28 | 3.08 | 3.11 | 2.78 | 1.63 | 0.72 | 11.63 | 1.81 | 6.04 | 8.79 | 1.55 | 1.62 | 4.05 | |
| | | DE | 11.83 | 2.56 | 1.30 | 1.80 | 1.75 | 0.28 | 10.49 | 1.11 | 3.56 | 2.76 | 0.17 | 0.20 | 1.78 | |
| | Prueba | Media | 6.56 | 5.49 | 4.56 | 5.20 | 3.92 | 2.56 | 6.92 | 8.61 | 14.21 | 14.26 | 5.13 | 4.41 | 3.35 | |
| | | DE | 7.95 | 5.80 | 4.46 | 5.73 | 4.47 | 1.85 | 8.77 | 9.33 | 12.96 | 10.14 | 6.56 | 5.05 | 2.65 | |
| NOD | Control | Media | 63.56 | 59.36 | 56.10 | 51.44 | 55.92 | 86.45 | 61.91 | 81.24 | 78.24 | 88.93 | 90.93 | 90.20 | 81.78 | |
| | | DE | 0.00 | 9.01 | 0.00 | 9.94 | 11.78 | 15.44 | 12.16 | 3.06 | 31.87 | 10.75 | 10.99 | 14.99 | 14.63 | |
| | Prueba | Media | 77.42 | 77.90 | 83.52 | 69.91 | 80.38 | 94.12 | 80.87 | 97.19 | 92.47 | 96.62 | 74.00 | 105.67 | 88.93 | |
| | | DE | 30.05 | 24.18 | 14.65 | 34.74 | 39.40 | 32.70 | 38.97 | 36.44 | 49.71 | 11.82 | 23.68 | 44.05 | 37.32 | |
| NDT | Control | Media | 65.69 | 59.74 | 56.35 | 51.89 | 55.95 | 86.93 | 62.71 | 81.31 | 78.68 | 89.63 | 91.12 | 90.31 | 82.06 | |
| | | DE | 0.00 | 9.10 | 0.00 | 9.74 | 11.77 | 15.79 | 12.96 | 3.05 | 31.98 | 10.47 | 11.11 | 14.99 | 14.56 | |
| | Prueba | Media | 80.64 | 79.12 | 85.78 | 76.06 | 85.61 | 96.09 | 85.20 | 99.10 | 100.22 | 115.30 | 83.71 | 109.39 | 91.26 | |
| | | DE | 31.20 | 31.48 | 18.20 | 35.54 | 43.06 | 34.11 | 40.45 | 34.73 | 50.28 | 34.78 | 33.59 | 48.61 | 39.84 | |
| NOP | Control | Media | 51.14 | 31.25 | 53.57 | 12.99 | 30.03 | 10.69 | 26.92 | 13.19 | 17.32 | 28.81 | 10.55 | 53.57 | 8.93 | |
| | | DE | 0.00 | 17.90 | 0.00 | 2.84 | 28.01 | 10.46 | 18.47 | 5.48 | 16.54 | 15.15 | 3.65 | 0.00 | 4.60 | |
| | Prueba | Media | 55.71 | 72.10 | 18.21 | 83.34 | 95.26 | 79.70 | 78.77 | 34.22 | 154.0 | 89.28 | 92.01 | 150.4 | 84.46 | |
| | | DE | 33.36 | 42.38 | 18.03 | 53.90 | 77.48 | 75.65 | 57.27 | 25.69 | 134.76 | 113.87 | 114.14 | 71.66 | 114.15 | |
| NT | Control | Media | 116.8 | 90.99 | 109.9 | 64.88 | 85.98 | 97.61 | 89.63 | 94.50 | 95.99 | 118.4 | 92.47 | 94.10 | 90.99 | |
| | | DE | 0.00 | 22.88 | 0.00 | 12.58 | 16.23 | 20.03 | 5.51 | 2.44 | 30.80 | 23.32 | 24.10 | 30.34 | 12.65 | |
| | Prueba | Media | 177.80 | 163.70 | 158.83 | 151.56 | 160.15 | 192.58 | 171.41 | 164.88 | 242.84 | 201.27 | 199.89 | 210.24 | 203.67 | |
| | | DE | 157.13 | 114.53 | 148.29 | 109.97 | 127.99 | 168.46 | 148.53 | 122.02 | 244.72 | 134.87 | 160.67 | 155.09 | 220.06 | |
| PO4 | Control | Media | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | |
| | | DE | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.16 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | |
| | Prueba | Media | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | |
| | | DE | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | |
| SiO2 | Control | Media | 0.38 | 0.40 | 0.47 | 0.32 | 0.30 | 0.45 | 0.79 | 1.36 | 0.72 | 0.21 | 0.28 | 0.35 | 0.29 | |
| | | DE | 0.14 | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 0.03 | 0.22 | 0.03 | 0.57 | 0.71 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.10 | |
| | Prueba | Media | 1.07 | 0.74 | 0.56 | 0.68 | 0.85 | 0.97 | 1.40 | 2.27 | 1.44 | 0.27 | 0.38 | 0.55 | 0.58 | |
| | | DE | 1.19 | 0.69 | 0.45 | 0.83 | 0.98 | 0.78 | 0.73 | 1.05 | 1.29 | 0.21 | 0.31 | 0.67 | 0.63 | |

Anexo III. Continuación.

| Periodo D | Días cultivo | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | |
|-------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| N:P | Control | Media | 433.9 | 117.3 | 76.11 | 75.18 | 48.07 | 33.39 | 395.2 | 47.40 | 263.6 | 494.3 | 108.5 | 160.6 | 278.9 |
| | | DE | 386.5 | 97.26 | 28.53 | 29.08 | 48.07 | 18.23 | 276.3 | 46.15 | 155.6 | 121.07 | 39.57 | 28.49 | 143.0 |
| | Prueba | Media | 69.46 | 70.00 | 55.43 | 67.14 | 67.45 | 34.56 | 94.64 | 150.8 | 171.5 | 175.85 | 58.90 | 53.65 | 51.37 |
| | | DE | 72.26 | 72.62 | 52.09 | 60.02 | 108.5 | 35.14 | 120.0 | 207.5 | 159.9 | 140.23 | 53.43 | 54.44 | 33.41 |
| N:SiO2 | Control | Media | 36.93 | 8.17 | 7.27 | 8.56 | 5.90 | 1.72 | 15.25 | 2.41 | 27.50 | 43.69 | 5.60 | 4.99 | 17.54 |
| | | DE | 42.98 | 6.96 | 3.73 | 4.89 | 6.41 | 0.42 | 14.09 | 2.57 | 19.96 | 15.21 | 0.81 | 1.68 | 10.65 |
| | Prueba | Media | 9.13 | 8.25 | 11.63 | 10.66 | 7.98 | 3.24 | 5.58 | 3.78 | 21.45 | 58.35 | 18.69 | 9.67 | 8.54 |
| | | DE | 12.97 | 7.13 | 9.36 | 7.47 | 6.57 | 1.98 | 5.37 | 3.67 | 23.70 | 34.29 | 33.64 | 8.54 | 5.16 |
| Si:P | Control | Media | 20.78 | 14.60 | 13.28 | 10.09 | 10.18 | 18.95 | 32.75 | 28.90 | 31.61 | 12.36 | 19.98 | 33.88 | 18.08 |
| | | DE | 11.47 | 0.58 | 6.32 | 2.88 | 2.06 | 10.28 | 7.41 | 25.06 | 31.61 | 3.34 | 7.81 | 5.30 | 4.32 |
| | Prueba | Media | 14.14 | 8.51 | 6.14 | 8.28 | 11.70 | 11.34 | 19.28 | 34.95 | 18.37 | 3.24 | 6.51 | 6.64 | 8.25 |
| | | DE | 17.18 | 8.55 | 4.94 | 8.95 | 15.74 | 8.39 | 13.53 | 25.73 | 17.74 | 2.48 | 7.00 | 6.27 | 7.56 |
| Irradianza | Control | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| O2 | Control | Media | | 6.70 | 6.90 | 3.80 | 7.30 | | 5.50 | 6.70 | 7.00 | 7.10 | 7.00 | 6.90 | 7.10 |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 6.42 | 6.39 | 6.03 | 6.32 | 5.20 | 6.79 | 6.28 | 5.71 | 6.68 | 6.01 | 6.03 | 5.52 | 6.20 |
| | | DE | 1.79 | 1.72 | 2.04 | 2.29 | 1.33 | 2.10 | 1.91 | 1.80 | 2.25 | 1.88 | 1.80 | 1.73 | 1.94 |
| T | Control | Media | | 26.20 | 26.00 | 23.50 | 25.40 | | 24.80 | 25.10 | 25.80 | 26.60 | 27.10 | 27.50 | 27.70 |
| | | DE | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 27.83 | 27.92 | 28.18 | 28.45 | 27.70 | 28.44 | 28.57 | 28.50 | 28.60 | 29.01 | 28.99 | 29.35 | 29.19 |
| | | DE | 1.00 | 1.10 | 1.07 | 1.04 | 0.61 | 0.93 | 0.87 | 0.77 | 1.09 | 0.98 | 0.85 | 0.74 | 0.90 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo E | Días de cultivo | | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 |
|-----------|-----------------|-------|--------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NH4 | Control | Media | 1.07 | 1.56 | 1.56 | 2.62 | 4.61 | 1.30 | 0.38 | 0.40 | 1.26 |
| | | DE | 0.26 | | | | 0.43 | | | | |
| | Prueba | Media | 2.26 | 1.11 | 1.12 | 8.94 | 4.57 | 3.12 | 1.71 | 2.44 | 1.66 |
| | | DE | 1.84 | 1.16 | 1.16 | 10.54 | 1.87 | 3.47 | 1.34 | 3.40 | 1.38 |
| NO2 | Control | Media | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | |
| | | DE | | | | | 0.02 | | | | |
| | Prueba | Media | 0.02 | 0.06 | 0.06 | 0.19 | 0.04 | 0.07 | 0.11 | 0.09 | 0.03 |
| | | DE | 0.01 | 0.01 | | 0.30 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.02 |
| NO3 | Control | Media | 0.19 | 0.27 | 0.74 | 0.74 | 0.89 | 1.21 | 0.78 | 0.33 | 1.63 |
| | | DE | | | | | 0.12 | | | | |
| | Prueba | Media | 0.39 | 1.08 | 1.30 | 1.67 | 2.49 | 1.95 | 2.11 | 2.60 | 1.12 |
| | | DE | 0.37 | 0.55 | 0.57 | 1.13 | 2.14 | 1.57 | 1.51 | 1.35 | 0.77 |
| Nox | Control | Media | 0.20 | 0.28 | 0.75 | 0.76 | 0.76 | 1.23 | 0.78 | 0.34 | 1.63 |
| | | DE | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 0.68 | 1.13 | 1.36 | 2.27 | 1.94 | 1.97 | 2.21 | 2.69 | 1.14 |
| | | DE | 0.44 | 0.54 | 0.57 | 1.59 | 2.01 | 1.65 | 1.69 | 1.49 | 0.81 |
| DIN | Control | Media | 0.47 | 1.84 | 2.31 | 1.13 | 2.38 | 1.93 | 0.61 | 0.56 | 2.31 |
| | | DE | 0.77 | | | 1.95 | 2.23 | 0.86 | 0.80 | 0.27 | 0.83 |
| | Prueba | Media | 2.62 | 2.23 | 2.48 | 9.97 | 5.99 | 4.90 | 3.92 | 5.13 | 2.80 |
| | | DE | 1.96 | 1.50 | 1.29 | 10.78 | 3.47 | 4.83 | 2.54 | 3.82 | 0.90 |
| NOD | Control | Media | 52.07 | | | 55.53 | 70.94 | 57.88 | 98.93 | 69.38 | 47.32 |
| | | DE | 12.40 | | | 0.00 | 10.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 117.46 | | | 51.72 | 110.40 | 133.11 | 104.11 | 111.79 | 148.91 |
| | | DE | 147.47 | | | 19.01 | 41.63 | 81.02 | 52.72 | 43.62 | 84.38 |
| NDT | Control | Media | 52.16 | | | 55.54 | 71.78 | 59.19 | 98.97 | 69.75 | 49.05 |
| | | DE | 12.41 | | | 0.00 | 10.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 106.59 | | | 90.75 | 114.52 | 138.07 | 107.90 | 116.69 | 151.18 |
| | | DE | 134.43 | | | 73.24 | 47.22 | 86.79 | 55.66 | 48.24 | 85.75 |
| NOP | Control | Media | 24.76 | | | 11.36 | 23.54 | 22.32 | 2.03 | 52.76 | 109.58 |
| | | DE | 21.51 | | | 0.00 | 6.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 121.6 | | | 80.29 | 92.61 | 216.6 | 118.3 | 161.6 | 155.0 |
| | | DE | 90.46 | | | 31.62 | 55.67 | 116.10 | 105.33 | 95.19 | 116.63 |
| NT | Control | Media | 60.95 | | | 66.91 | 95.31 | 81.52 | 101.0 | 122.5 | 158.6 |
| | | DE | 16.74 | | | 0.00 | 4.88 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 162.18 | | | 175.97 | 142.91 | 257.65 | 182.38 | 212.71 | 245.88 |
| | | DE | 145.82 | | | 155.69 | 70.96 | 192.85 | 168.42 | 141.40 | 226.75 |
| PO4 | Control | Media | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| | | DE | 0.00 | | | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.08 | 0.09 |
| | | DE | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.02 |
| SiO2 | Control | Media | 0.33 | 0.49 | 0.39 | 0.38 | 0.37 | 0.36 | 0.38 | 0.45 | 0.29 |
| | | DE | 0.09 | | | 0.05 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.28 | 0.30 | 0.46 | 0.51 | 0.66 | 0.68 | 0.50 | 0.49 | 0.40 |
| | | DE | 0.24 | 0.18 | 0.00 | 0.47 | 0.74 | 0.78 | 0.31 | 0.27 | 0.30 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo E | Días cultivo | | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 |
|-------------------|---------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N:P | Control | Media | 36.00 | 130.4 | 185.42 | 80.39 | 158.44 | 168.55 | 31.91 | 32.14 | 232.7 |
| | | DE | 54.98 | | | 137.4 | 176.51 | 74.93 | 42.41 | 15.21 | 83.36 |
| | Prueba | Media | 23.85 | 37.60 | 53.09 | 67.49 | 71.97 | 37.73 | 37.74 | 63.68 | 26.70 |
| | | DE | 19.66 | 26.90 | 49.62 | 52.71 | 53.63 | 46.25 | 29.67 | 61.96 | 15.88 |
| N:SiO2 | Control | Media | 1.11 | 3.73 | 5.86 | 2.58 | 6.15 | 5.31 | 1.57 | 1.24 | 7.85 |
| | | DE | 1.66 | | | 4.41 | 4.97 | 2.35 | 2.09 | 0.59 | 2.81 |
| | Prueba | Media | 10.37 | 8.93 | 5.42 | 22.59 | 14.95 | 8.59 | 9.05 | 9.93 | 8.84 |
| | | DE | 5.42 | 7.52 | 2.80 | 8.87 | 8.48 | 6.21 | 6.03 | 4.62 | 3.93 |
| Si:P | Control | Media | 31.05 | 34.92 | 31.66 | 36.03 | 22.20 | 31.77 | 20.37 | 26.06 | 29.65 |
| | | DE | 3.22 | | | 4.23 | 8.06 | | | | |
| | Prueba | Media | 3.72 | 4.80 | 9.65 | 5.57 | 8.40 | 8.30 | 7.46 | 6.74 | 4.89 |
| | | DE | 2.40 | 2.48 | 6.62 | 4.36 | 8.66 | 9.16 | 6.04 | 3.59 | 4.07 |
| Irradianza | Control | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |
| O2 | Control | Media | 6.50 | 7.60 | 7.20 | 7.80 | 6.90 | 6.80 | 7.80 | 7.20 | |
| | | DE | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 5.87 | 5.67 | 7.02 | 7.20 | 5.93 | 5.46 | 6.81 | 5.86 | 5.83 |
| | | DE | 1.91 | 2.14 | 2.84 | 2.68 | 2.21 | 2.27 | 2.36 | 1.65 | 1.85 |
| T | Control | Media | 28.50 | 28.40 | 28.20 | 28.80 | 29.20 | 29.20 | 29.30 | 28.60 | |
| | | DE | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 29.42 | 29.65 | 30.16 | 30.25 | 30.31 | 30.10 | 30.11 | 28.63 | 27.06 |
| | | DE | 0.95 | 1.06 | 0.92 | 0.87 | 0.91 | 0.84 | 0.72 | 0.28 | 0.38 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo F | Días de cultivo | 1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 2 | 20 | 21 | 22 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
|-----------|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| NH4 | Control | Media | 2.95 | 0.07 | 0.19 | 0.16 | 0.38 | 1.34 | 1.87 | 2.03 | 5.74 | 4.17 | 4.00 | 4.28 | 0.60 | 0.32 | 0.38 | 0.70 | 1.55 | 1.12 | 1.25 | 0.08 | 0.63 | 1.87 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 2.97 | 2.20 | 0.01 | 0.00 | 0.26 | 0.15 | | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 7.31 | 9.29 | 11.56 | 13.68 | 18.66 | 12.01 | 8.06 | 12.42 | 15.91 | 20.31 | 17.94 | 7.55 | 10.66 | 6.25 | 6.63 | 5.68 | 3.66 | 5.45 | 4.72 | 5.01 | 4.17 | 7.77 |
| | | DE | 7.38 | 12.55 | 20.01 | 20.65 | 30.64 | 15.76 | 8.33 | 18.10 | 24.20 | 32.74 | 28.22 | 6.45 | 17.36 | 6.67 | 4.99 | 4.26 | 2.84 | 3.77 | 3.94 | 3.73 | 2.43 | 8.31 |
| NO2 | Control | Media | 0.03 | 0.10 | 0.04 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.17 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.09 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.04 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.21 | 0.20 | 0.21 | 0.26 | 0.23 | 0.22 | 0.24 | 0.24 | 0.30 | 0.20 | 0.29 | 0.24 | 0.27 | 0.27 | 0.31 | 0.15 | 0.12 | 0.14 | 0.14 | 0.10 | 0.11 | 0.18 |
| | | DE | 0.07 | 0.12 | 0.19 | 0.21 | 0.20 | 0.18 | 0.15 | 0.26 | 0.23 | 0.16 | 0.25 | 0.12 | 0.16 | 0.38 | 0.32 | 0.10 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.13 |
| NO3 | Control | Media | 0.17 | 0.11 | 0.20 | 0.13 | 0.10 | 0.07 | 0.20 | 0.11 | 0.13 | 0.70 | 0.35 | 0.28 | 0.33 | 0.18 | 0.27 | 0.29 | 0.11 | 0.17 | 0.19 | 0.13 | 0.29 | 0.20 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.19 | 0.08 | 0.21 | 0.10 | 0.15 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 1.10 | 1.22 | 2.62 | 2.26 | 2.48 | 4.35 | 3.84 | 3.07 | 2.77 | 1.67 | 1.62 | 3.54 | 2.87 | 2.86 | 3.03 | 2.08 | 1.94 | 2.02 | 1.48 | 1.16 | 1.52 | 1.38 |
| | | DE | 1.48 | 2.10 | 4.45 | 3.58 | 4.04 | 7.63 | 6.27 | 4.74 | 3.39 | 2.64 | 1.67 | 4.07 | 4.14 | 4.54 | 5.09 | 3.55 | 3.26 | 3.20 | 2.46 | 1.91 | 2.02 | 2.14 |
| Nox | Control | Media | 0.20 | 0.21 | 0.24 | 0.18 | 0.09 | 0.09 | 0.24 | 0.12 | 0.15 | 1.02 | 0.31 | 0.36 | 0.13 | 0.29 | 0.16 | 0.23 | 0.15 | 0.19 | 0.18 | 0.13 | 0.34 | 0.24 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 1.31 | 1.42 | 2.83 | 2.52 | 2.71 | 4.56 | 4.08 | 3.31 | 3.06 | 1.87 | 1.91 | 3.78 | 3.14 | 3.13 | 3.34 | 2.23 | 2.06 | 2.15 | 1.62 | 1.26 | 1.63 | 1.56 |
| | | DE | 1.53 | 2.20 | 4.64 | 3.73 | 4.23 | 7.79 | 6.41 | 4.90 | 3.56 | 2.73 | 1.91 | 4.14 | 4.27 | 4.87 | 5.40 | 3.61 | 3.32 | 3.22 | 2.48 | 1.94 | 2.06 | 2.24 |
| DIN | Control | Media | 3.15 | 0.29 | 0.42 | 0.34 | 0.39 | 0.78 | 2.10 | 1.13 | 5.89 | 4.92 | 4.51 | 3.14 | 0.98 | 0.34 | 0.68 | 0.72 | 0.90 | 1.31 | 0.82 | 0.22 | 0.98 | 2.10 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.64 | 0.00 | 1.01 | 0.00 | 0.17 | 3.18 | 2.74 | 0.25 | 0.27 | 0.41 | 0.46 | 0.80 | 0.00 | 0.61 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 8.62 | 10.71 | 14.39 | 16.20 | 21.37 | 16.57 | 12.13 | 15.72 | 18.97 | 22.19 | 19.85 | 11.32 | 13.80 | 9.38 | 9.98 | 7.91 | 5.72 | 7.60 | 6.34 | 6.28 | 5.80 | 9.33 |
| | | DE | 8.43 | 14.64 | 24.42 | 23.11 | 34.72 | 22.62 | 14.57 | 22.77 | 26.96 | 35.44 | 30.03 | 9.12 | 20.82 | 10.87 | 9.87 | 6.50 | 5.96 | 6.02 | 5.07 | 4.96 | 4.03 | 10.39 |
| NOD | Control | Media | | | | 14.81 | 21.26 | 28.50 | | 15.36 | | 45.76 | 36.57 | 9.33 | 18.81 | 12.40 | 35.55 | 16.93 | 39.85 | | | | | |
| | | DE | | | | 0.00 | 13.93 | 11.44 | | 4.96 | | 19.02 | 26.17 | 8.77 | 0.00 | 4.28 | 11.39 | 0.00 | 0.00 | | | | | |
| | Prueba | Media | 130.39 | 98.75 | 117.23 | 100.97 | 92.02 | 90.86 | 94.38 | 101.89 | 62.60 | 112.76 | 83.56 | 83.66 | 93.42 | 95.74 | 104.99 | 93.35 | 103.33 | 100.47 | 107.51 | 90.69 | 89.89 | 84.81 |
| | | DE | 0.00 | 36.42 | 31.36 | 37.76 | 40.42 | 34.69 | 35.10 | 49.81 | 21.45 | 33.47 | 38.39 | 61.19 | 47.06 | 44.96 | 40.17 | 65.01 | 41.90 | 54.95 | 50.68 | 49.11 | 46.68 | 52.04 |
| NDT | Control | Media | | | | 14.98 | 21.45 | 28.59 | | 15.48 | | 50.69 | 41.09 | 13.87 | 19.43 | 12.75 | 36.23 | 17.66 | 39.97 | | | | | |
| | | DE | | | | 0.00 | 14.06 | 11.39 | | 4.96 | | 19.19 | 23.00 | 6.47 | 0.00 | 4.01 | 10.98 | 0.00 | 0.00 | | | | | |
| | Prueba | Media | 145.23 | 110.36 | 125.49 | 121.52 | 101.50 | 100.54 | 105.25 | 109.20 | 69.30 | 127.27 | 97.36 | 97.76 | 106.48 | 103.80 | 113.89 | 100.87 | 108.66 | 107.15 | 114.15 | 96.21 | 94.82 | 93.74 |
| | | DE | 0.00 | 45.65 | 40.13 | 51.81 | 47.59 | 38.93 | 42.57 | 57.57 | 26.75 | 53.46 | 56.23 | 70.06 | 60.95 | 54.53 | 49.26 | 69.48 | 46.87 | 59.59 | 52.00 | 51.46 | 50.29 | 61.55 |
| NOP | Control | Media | 13.33 | | | 3.72 | 7.87 | 10.68 | | 6.78 | 5.19 | 4.19 | | 6.28 | 3.44 | | 8.81 | 8.78 | | 7.27 | 2.62 | | 17.61 | |
| | | DE | 0.00 | | | 0.00 | 5.02 | 7.69 | | 2.33 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | | 1.76 | 3.78 | | 0.00 | 0.18 | | 1.60 | |
| | Prueba | Media | 81.82 | 55.16 | 61.32 | 72.77 | 69.25 | 81.41 | 88.16 | 70.80 | 55.75 | 64.71 | 53.91 | 60.69 | 74.50 | 49.80 | 50.67 | 65.42 | 55.50 | 45.13 | 55.93 | 67.36 | 30.88 | 48.59 |
| | | DE | 23.57 | 23.22 | 32.87 | 26.84 | 32.34 | 38.51 | 31.29 | 29.64 | 16.87 | 24.34 | 22.76 | 34.71 | 25.99 | 14.22 | 11.20 | 34.27 | 34.16 | 35.70 | 30.00 | 40.82 | 31.78 | 31.71 |
| NT | Control | Media | 7.57 | 0.29 | | 16.22 | 24.07 | 32.15 | | 17.74 | 7.62 | 51.38 | 41.09 | 10.05 | 10.90 | 12.75 | 39.17 | 8.30 | 20.04 | 2.61 | 1.07 | 0.13 | 6.33 | |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 15.74 | 13.95 | | 5.73 | 0.00 | 19.89 | 23.00 | 9.22 | 8.53 | 4.01 | 11.57 | 6.65 | 19.93 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.07 | |
| | Prueba | Media | 140.0 | 220.5 | 192.0 | 216.5 | 222.8 | 177.0 | 172.1 | 148.6 | 152.9 | 184.5 | 184.4 | 213.6 | 201.4 | 141.2 | 158.6 | 209.5 | 201.5 | 175.5 | 169.7 | 195.6 | 134.9 | 171.5 |
| | | DE | 140.18 | 50.52 | 51.00 | 58.37 | 58.90 | 69.93 | 45.10 | 27.26 | 83.26 | 37.81 | 54.52 | 36.68 | 68.83 | 54.84 | 35.54 | 56.01 | 57.37 | 63.49 | 43.17 | 56.72 | 40.92 | 58.80 |
| PO4 | Control | Media | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | | 0.02 | | 0.05 | 0.02 | 0.03 | | | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.11 | | | | | | | |
| | | DE | | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | | | | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | | | | | | | |
| SiO2 | Control | Media | 0.60 | 3.87 | 1.64 | 0.76 | 3.87 | 3.17 | 1.57 | 2.31 | 1.32 | 1.02 | 1.69 | 0.76 | 1.26 | 1.15 | 1.37 | 0.82 | 0.74 | 1.55 | 1.92 | 1.76 | 1.32 | 1.67 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 0.00 | 1.56 | 0.00 | 0.00 | 0.46 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.18 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 1.72 | 2.75 | 3.13 | 3.02 | 2.92 | 3.23 | 2.96 | 3.83 | 2.91 | 2.78 | 1.79 | 1.65 | 1.96 | 2.64 | 2.11 | 1.84 | 2.20 | 1.87 | 1.84 | 1.89 | 1.73 | 1.80 |
| | | DE | 1.19 | 3.68 | 4.70 | 4.17 | 4.22 | 3.67 | 3.96 | 5.45 | 4.27 | 3.78 | 1.59 | 1.31 | 2.07 | 4.19 | 2.08 | 1.46 | 2.27 | 1.51 | 1.62 | 1.73 | 1.64 | 1.82 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo F | Días cultivo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | |
|-------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N:P | Control | Media | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 53.46 | 0.73 | | | | | | | 15.61 | 1.13 | 5.50 | 14.51 | 71.82 | | | 126.0 | 141.6 | 36.03 | 453.2 | 217.2 | 68.48 | |
| | | DE | 60.41 | 0.00 | | | | | | 0.00 | 0.00 | 5.58 | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | 0.00 | 26.95 | 633.4 | 332.1 | 60.33 | | |
| N:SiO2 | Control | Media | 5.29 | 9.02 | 1.21 | 2.30 | 0.84 | 0.47 | 0.12 | 0.74 | 1.26 | 0.07 | 0.26 | 0.45 | 0.12 | 0.31 | 1.34 | 1.43 | 4.45 | 5.00 | 2.34 | 0.59 | 0.31 | 0.55 |
| | | DE | | | 0.18 | | | 0.38 | | | | | | | | 0.27 | | 1.41 | | | 1.25 | | 0.24 | 0.37 |
| | Prueba | Media | 12.41 | 11.12 | 5.20 | 3.25 | 4.72 | 11.15 | 18.20 | 25.75 | 6.39 | 4.45 | 5.22 | 8.65 | 9.28 | 4.76 | 5.96 | 4.92 | 8.65 | 6.78 | 9.15 | 9.89 | 7.98 | 9.36 |
| | | DE | 23.74 | 12.88 | 4.72 | 2.71 | 3.42 | 20.98 | 37.03 | 68.63 | 3.65 | 2.85 | 3.22 | 9.76 | 13.24 | 2.78 | 4.70 | 4.31 | 7.63 | 5.38 | 7.78 | 10.20 | 13.46 | 10.59 |
| Si:P | Control | Media | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 16.70 | | | | | | | | 2.61 | | 13.71 | 40.48 | 35.19 | | | 29.45 | 22.06 | 8.84 | 67.14 | 97.74 | 48.35 | |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | | | | 4.44 | 102.4 | 151.8 | 81.07 | | | |
| Irradianza | Control | Media | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | Prueba | Media | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| O2 | Control | Media | 5.10 | 6.90 | 6.70 | 6.80 | 5.40 | 5.40 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | | 6.70 | 7.20 | 5.20 | | 6.10 | |
| | | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba | Media | 7.43 | 7.27 | 7.66 | 7.36 | 7.40 | 6.60 | 6.88 | 7.50 | 7.14 | 7.58 | 7.10 | 7.22 | 7.04 | 6.13 | 5.90 | 7.06 | 6.88 | 6.48 | 7.18 | 6.38 | 5.92 | 6.73 |
| | | DE | 1.82 | 1.57 | 1.37 | 1.40 | 1.41 | 1.49 | 1.95 | 1.97 | 1.78 | 2.26 | 1.98 | 1.85 | 2.10 | 1.53 | 1.29 | 2.31 | 2.35 | 2.37 | 2.61 | 2.38 | 1.98 | 2.67 |
| T | Control | Media | 30.70 | 31.00 | 31.30 | 31.70 | 31.40 | 31.60 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | | 31.00 | 31.30 | 31.10 | | 32.00 | |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | |
| | Prueba | Media | 32.47 | 31.93 | 32.13 | 32.69 | 33.52 | 33.86 | 34.16 | 34.22 | 33.86 | 32.79 | 32.14 | 32.20 | 32.31 | 31.91 | 31.03 | 31.21 | 31.17 | 31.19 | 32.46 | 32.43 | 31.53 | 31.35 |
| | | DE | 1.23 | 0.84 | 0.99 | 1.18 | 1.26 | 1.06 | 0.91 | 0.90 | 1.08 | 1.09 | 1.17 | 1.28 | 1.20 | 0.95 | 0.58 | 0.86 | 1.02 | 1.32 | 1.86 | 1.00 | 0.67 | 1.15 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo G | Días de cultivo | | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
|-----------|-----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NH4 | Control | Media | 0.51 | 2.60 | 0.39 | 4.75 | 3.18 | 1.49 | 3.19 | 3.63 | 0.74 | 5.16 | 2.69 | 4.03 | 6.45 | 2.14 | 3.28 | 3.31 | 6.66 | 1.79 | 2.15 | 1.31 |
| | | DE | 0.31 | 1.40 | | 0.71 | | 0.97 | 0.83 | 2.65 | 0.09 | | 0.63 | 0.72 | 0.55 | 1.69 | 1.87 | | 0.05 | 1.52 | 1.00 | 1.02 |
| | Prueba | Media | 10.26 | 8.63 | 7.97 | 17.52 | 12.46 | 5.35 | 6.69 | 6.43 | 9.36 | 9.03 | 9.39 | 12.84 | 14.66 | 10.76 | 7.19 | 8.06 | 10.25 | 18.66 | 8.91 | 6.20 |
| | | DE | 15.90 | 13.38 | 12.09 | 30.01 | 24.26 | 6.39 | 7.74 | 8.75 | 10.51 | 10.91 | 13.82 | 14.08 | 21.04 | 13.46 | 6.24 | 8.12 | 11.02 | 37.49 | 12.17 | 5.39 |
| NO2 | Control | Media | 0.03 | 0.89 | 1.02 | 0.03 | 0.80 | 1.02 | 2.06 | 0.08 | 0.17 | 0.12 | 0.81 | 0.36 | 0.88 | 0.07 | 0.17 | 0.64 | 0.17 | 0.69 | 1.64 | 1.12 |
| | | DE | 0.02 | 0.08 | | 0.02 | | 0.38 | 1.00 | 0.04 | 0.08 | | 0.76 | 0.28 | 0.37 | 0.02 | 0.01 | | 0.11 | 0.05 | 0.25 | 0.03 |
| | Prueba | Media | 0.22 | 0.34 | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.21 | 0.25 | 0.36 | 0.35 | 0.53 | 0.44 | 0.32 | 0.21 | 0.24 | 0.32 | 0.42 | 0.37 | 0.31 | 0.46 | 0.36 |
| | | DE | 0.25 | 0.50 | 0.31 | 0.26 | 0.39 | 0.27 | 0.36 | 0.51 | 0.48 | 0.57 | 0.56 | 0.31 | 0.24 | 0.32 | 0.35 | 0.56 | 0.44 | 0.33 | 0.66 | 0.46 |
| NO3 | Control | Media | 0.20 | 1.89 | 2.44 | 0.51 | 2.01 | 2.72 | 0.96 | 0.90 | 1.18 | 0.63 | 0.44 | 1.69 | 2.52 | 0.13 | 0.56 | 1.67 | 0.59 | 3.79 | 6.58 | 4.42 |
| | | DE | 0.03 | 0.59 | | 0.23 | | 0.76 | 0.71 | 0.12 | 0.03 | | 0.13 | 1.27 | 0.97 | 0.06 | 0.08 | | 0.18 | 0.18 | 1.72 | 0.71 |
| | Prueba | Media | 2.49 | 4.50 | 2.85 | 3.98 | 4.63 | 3.70 | 6.43 | 4.78 | 3.77 | 3.60 | 2.40 | 2.14 | 2.33 | 2.47 | 2.94 | 6.11 | 3.13 | 4.35 | 4.99 | 2.43 |
| | | DE | 3.29 | 7.28 | 4.86 | 4.21 | 6.81 | 5.94 | 11.8 | 7.57 | 4.40 | 3.99 | 3.14 | 3.34 | 3.77 | 4.62 | 4.89 | 10.6 | 5.18 | 7.87 | 8.25 | 4.22 |
| Nox | Control | Media | 0.23 | 2.78 | 3.45 | 0.54 | 2.82 | 3.74 | 2.70 | 0.98 | 1.35 | 0.75 | 1.47 | 2.05 | 3.40 | 0.20 | 0.73 | 2.31 | 0.76 | 4.48 | 7.18 | 5.54 |
| | | DE | 0.06 | 0.52 | 0.00 | 0.25 | 0.00 | 1.14 | 0.39 | 0.16 | 0.05 | 0.00 | 0.67 | 1.55 | 1.33 | 0.07 | 0.10 | 0.00 | 0.29 | 0.13 | 0.01 | 0.68 |
| | Prueba | Media | 2.71 | 4.84 | 3.07 | 4.24 | 4.90 | 3.91 | 6.69 | 5.15 | 4.13 | 4.13 | 2.84 | 2.46 | 2.54 | 2.71 | 3.26 | 6.53 | 3.50 | 4.66 | 5.45 | 2.79 |
| | | DE | 3.54 | 7.78 | 5.17 | 4.46 | 7.18 | 6.20 | 12.13 | 8.07 | 4.72 | 4.42 | 3.65 | 3.59 | 4.00 | 4.86 | 5.15 | 11.11 | 5.53 | 8.11 | 8.76 | 4.67 |
| DIN | Control | Media | 0.75 | 5.38 | 3.84 | 5.28 | 6.00 | 5.23 | 5.41 | 4.61 | 2.09 | 5.91 | 3.94 | 6.08 | 9.84 | 2.34 | 4.01 | 5.62 | 7.42 | 6.27 | 10.36 | 6.85 |
| | | DE | 0.36 | 1.92 | 0.00 | 0.46 | 0.00 | 0.17 | 0.21 | 2.49 | 0.04 | 0.00 | 1.26 | 0.84 | 1.88 | 1.76 | 1.96 | 0.00 | 0.24 | 1.65 | 1.25 | 1.70 |
| | Prueba | Media | 12.97 | 13.47 | 11.04 | 21.76 | 17.36 | 9.26 | 13.38 | 11.59 | 13.49 | 13.16 | 12.23 | 15.30 | 17.20 | 13.47 | 10.45 | 14.60 | 13.75 | 23.32 | 14.36 | 8.99 |
| | | DE | 19.11 | 19.77 | 16.68 | 33.79 | 29.92 | 12.33 | 18.86 | 16.72 | 14.34 | 13.70 | 16.78 | 16.89 | 24.41 | 18.10 | 10.24 | 18.70 | 16.13 | 40.71 | 19.46 | 9.04 |
| NOD | Control | Media | 25.78 | 20.09 | | 19.98 | 28.24 | 59.68 | 37.01 | 25.54 | 22.74 | 26.47 | 60.59 | 35.63 | 20.30 | 21.51 | 32.32 | | 22.26 | 14.82 | 3.78 | 6.99 |
| | | DE | 0.93 | 11.51 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.28 | 0.00 | 0.00 | 61.82 | 0.00 | 4.38 | 4.02 | 0.00 | | 5.58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 76.73 | 94.06 | 89.22 | 66.83 | 97.49 | 99.91 | 83.90 | 77.58 | 89.59 | 113.76 | 90.06 | 83.21 | 124.58 | 96.81 | 106.66 | 86.65 | 115.96 | 121.88 | 125.84 | 95.46 |
| | | DE | 31.68 | 35.35 | 30.60 | 27.73 | 40.17 | 45.04 | 30.13 | 43.29 | 40.28 | 40.63 | 54.26 | 36.99 | 21.16 | 27.91 | 53.64 | 37.57 | 41.26 | 47.44 | 42.24 | 50.93 |
| NDT | Control | Media | 26.12 | 25.47 | | 24.81 | 31.05 | 65.07 | 42.21 | 30.15 | 24.79 | 32.38 | 64.52 | 40.87 | 30.15 | 21.94 | 38.29 | | 29.48 | 19.44 | 10.95 | 13.20 |
| | | DE | 0.88 | 9.60 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.79 | 0.00 | 0.00 | 61.23 | 0.00 | 6.25 | 3.86 | 0.00 | | 6.03 | 0.00 | 3.58 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 88.76 | 107.41 | 101.38 | 77.69 | 106.40 | 109.64 | 91.26 | 86.08 | 98.39 | 127.35 | 101.21 | 106.36 | 135.86 | 104.47 | 115.31 | 109.80 | 128.50 | 131.90 | 139.78 | 105.50 |
| | | DE | 44.96 | 48.23 | 45.07 | 39.55 | 46.59 | 56.40 | 31.91 | 50.99 | 54.84 | 56.51 | 65.38 | 58.68 | 28.95 | 33.97 | 63.58 | 59.70 | 53.88 | 56.95 | 61.70 | 63.68 |
| NOP | Control | Media | | 11.39 | 5.06 | 11.01 | 21.38 | 4.25 | 6.97 | | 4.83 | 8.93 | 2.71 | 14.69 | 2.20 | 4.19 | 9.60 | | 13.65 | | 10.45 | 4.67 |
| | | DE | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 1.98 | 0.00 | 0.51 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.95 | | 0.00 | | 0.00 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 87.50 | 68.16 | 67.60 | 78.39 | 79.01 | 79.41 | 63.34 | 59.72 | 96.51 | 86.89 | 61.19 | 79.96 | 60.23 | 75.64 | 52.07 | 92.07 | 59.50 | 38.35 | 53.69 | 64.74 |
| | | DE | 29.07 | 17.31 | 18.71 | 36.54 | 25.08 | 40.63 | 22.01 | 31.13 | 81.61 | 53.04 | 42.97 | 31.26 | 30.43 | 26.94 | 20.53 | 48.94 | 26.56 | 16.98 | 19.59 | 38.77 |
| NT | Control | Media | 26.12 | 27.37 | 1.69 | 17.11 | 38.18 | 66.48 | 22.27 | 30.15 | 15.07 | 35.35 | 65.12 | 45.77 | 30.51 | 22.64 | 23.37 | | 31.75 | 19.44 | 12.79 | 9.96 |
| | | DE | 0.88 | 11.49 | 0.00 | 11.37 | 0.00 | 0.00 | 19.95 | 1.79 | 11.99 | 0.00 | 60.81 | 0.00 | 6.62 | 4.56 | 20.11 | | 8.30 | 0.00 | 1.25 | 4.81 |
| | Prueba | Media | 179.85 | 150.51 | 163.06 | 171.62 | 166.30 | 194.26 | 151.23 | 155.99 | 185.09 | 195.49 | 198.95 | 173.11 | 155.45 | 155.54 | 199.10 | 185.19 | 315.77 | 298.64 | 149.94 | 187.05 |
| | | DE | 42.99 | 55.99 | 46.70 | 67.96 | 76.79 | 55.59 | 40.11 | 47.19 | 49.06 | 55.92 | 65.26 | 102.09 | 98.57 | 38.54 | 69.39 | 69.83 | 245.69 | 222.35 | 49.22 | 53.71 |
| PO4 | Control | Media | | | | | | | 0.01 | | | | | | | | | | | | 0.02 | |
| | | DE | | | | | | | 0.00 | | | | | | | | | | | | | 0.00 |
| | Prueba | Media | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.13 |
| | | DE | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.02 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0.13 |
| SiO2 | Control | Media | 2.09 | 1.54 | 1.59 | 1.01 | 1.31 | 1.18 | 1.07 | 1.61 | 1.56 | 1.58 | 1.21 | 1.68 | 1.79 | 1.75 | 1.76 | 1.82 | 1.89 | 1.79 | 1.41 | 1.27 |
| | | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.37 | 0.25 | 0.06 | 0.07 | 0.03 | 0.23 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 0.00 | 0.41 | 0.00 |
| | Prueba | Media | 1.33 | 1.07 | 1.18 | 2.10 | 2.15 | 1.73 | 2.04 | 1.53 | 1.87 | 1.39 | 2.57 | 1.74 | 1.38 | 1.35 | 1.61 | 1.29 | 1.57 | 1.93 | 1.87 | 2.05 |
| | | DE | 1.14 | 0.57 | 0.68 | 2.81 | 2.62 | 1.27 | 1.82 | 0.97 | 1.18 | 0.77 | 3.67 | 1.07 | 1.00 | 0.95 | 1.39 | 0.99 | 1.52 | 1.01 | 1.63 | 1.66 |

Anexo III. Continuación.

| Periodo G | Días cultivo | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | |
|-------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--|
| N:P | Control Media | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba Media | 144.4 | 115.4 | 119.7 | 334.4 | 418.5 | 192.7 | 532.8 | 161.4 | 98.6 | 254.4 | 190.7 | 1365.0 | 351.8 | 177.5 | | | 217.9 | 582.2 | | 107.7 | |
| | DE | 220.9 | 200.1 | 207.5 | 637.8 | 887.6 | 383.6 | 1298.4 | 341.8 | 126.8 | 572.5 | 361.0 | 3812.4 | 576.5 | 191.2 | | | 329.4 | | | 125.5 | |
| N:SiO2 | Control Media | 0.53 | 2.26 | 2.42 | 4.77 | 4.62 | 4.82 | 5.40 | 2.93 | 1.34 | 3.68 | 3.25 | 3.59 | 6.54 | 2.34 | 3.39 | 3.09 | 4.03 | 4.42 | 8.36 | 6.71 | |
| | DE | | | | | | 1.35 | 1.45 | 1.66 | 0.08 | | 0.68 | 0.21 | | | | | 0.68 | | 3.54 | | |
| | Prueba Media | 8.40 | 10.14 | 7.09 | 10.33 | 7.59 | 5.61 | 5.27 | 8.69 | 8.25 | 10.06 | 6.06 | 8.23 | 12.74 | 10.77 | 8.25 | 12.55 | 9.10 | 9.31 | 6.24 | 4.09 | |
| | DE | 8.16 | 10.71 | 8.59 | 11.58 | 9.07 | 6.75 | 5.02 | 14.42 | 8.13 | 9.25 | 6.06 | 5.67 | 13.29 | 13.64 | 8.40 | 14.34 | 9.17 | 14.12 | 6.07 | 1.66 | |
| Si:P | Control Media | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 36.49 | |
| | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba Media | 26.27 | 17.15 | 23.75 | 43.87 | 76.61 | 48.20 | 84.53 | 32.99 | 33.78 | 35.06 | 84.88 | 113.9 | 38.35 | 29.83 | 520.7 | 300.2 | 70.72 | 151.3 | 209.4 | 41.21 | |
| | DE | 16.72 | 7.88 | 17.08 | 76.13 | 171.80 | 66.06 | 154.85 | 41.46 | 47.36 | 50.45 | 174.40 | 248.3 | 37.21 | 22.14 | | 802.4 | 125.1 | 354.38 | 541.56 | 38.97 | |
| Irradianza | Control Media | 0.95 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | |
| | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | Prueba Media | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.90 | |
| | DE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| O2 | Control Media | | | | 3.90 | | | | | | 6.00 | 6.60 | | 5.20 | 6.70 | | | 6.80 | 5.20 | 5.20 | 5.40 | |
| | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Prueba Media | 5.11 | 6.21 | 8.81 | 8.64 | 5.04 | 5.69 | 6.79 | 6.53 | 7.00 | 7.62 | 8.51 | 7.58 | 6.93 | 6.70 | 7.63 | 6.99 | 6.89 | 7.87 | 6.70 | 6.00 | |
| | DE | 1.64 | 2.48 | 3.10 | 2.50 | 1.94 | 2.07 | 2.42 | 2.48 | 3.09 | 3.19 | 3.02 | 2.52 | 2.47 | 2.53 | 2.42 | 2.08 | 2.62 | 2.23 | 1.93 | 1.81 | |
| T | Control Media | | | | 31.10 | | | | | | 31.50 | 32.20 | | 32.00 | 31.50 | | | 30.60 | 30.60 | 30.70 | 30.00 | |
| | DE | | | | 0.00 | | | | | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | Prueba Media | 31.57 | 31.51 | 31.61 | 32.87 | 32.32 | 31.80 | 32.53 | 32.84 | 33.18 | 33.16 | 33.62 | 33.96 | 32.82 | 30.79 | 30.22 | 30.27 | 29.71 | 30.60 | 30.81 | 30.82 | |
| | DE | 0.71 | 0.92 | 1.35 | 0.84 | 1.11 | 1.09 | 1.26 | 1.06 | 0.84 | 1.17 | 1.32 | 0.83 | 1.22 | 0.72 | 0.98 | 1.14 | 0.74 | 1.47 | 0.99 | 0.65 | |

Anexo III. Continuación.

| Periodo # | NH4 | | NO2 | | NO3 | | Nox | | DIN | | NOD | | NDT | | NOP | | NT | | PO4 | | SIO2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|------|--------|-------|---------|------|--------|------|---------|------|--------|------|---------|------|--------|------|---------|------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | 1.23 | 0.77 | 6.82 | 8.19 | 0.67 | 0.10 | 0.42 | 0.42 | 2.43 | 0.39 | 4.24 | 6.77 | 3.09 | 0.52 | 4.66 | 7.16 | 4.32 | 1.29 | 10.35 | 13.95 | 7.77 | 7.91 | 96.92 | 57.58 | 12.08 | 6.62 | 108.3 | 70.0 | 3.12 | 56.38 | 39.07 | 12.60 | 7.35 | 166.7 | 66.20 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.93 | 0.42 | | | | | |
| 44 | 0.48 | 0.35 | 7.63 | 8.38 | 0.37 | 0.09 | 0.40 | 0.59 | 1.71 | 0.20 | 3.63 | 5.57 | 2.08 | 0.30 | 3.99 | 6.05 | 2.55 | 0.50 | 11.61 | 13.51 | 21.39 | | 78.30 | 78.16 | 23.45 | | 89.9 | 91.59 | 14.94 | 67.40 | 25.04 | 11.34 | 10.84 | 120.0 | 72.73 | 0.05 | 0.13 | 0.26 | 0.99 | 0.45 | | | | | |
| 45 | 3.73 | 2.23 | 9.72 | 16.94 | 0.15 | | 0.33 | 0.50 | 1.00 | 1.06 | 2.32 | 2.39 | 1.05 | 1.15 | 2.56 | 2.74 | 3.48 | 2.77 | 12.10 | 19.40 | 5.70 | | 115.38 | 60.03 | 11.40 | | 126.1 | 73.85 | 7.84 | 3.03 | 71.04 | 64.73 | 7.12 | 7.22 | 165.0 | 77.32 | | 0.06 | 0.04 | 1.54 | 0.31 | 0.78 | 1.60 | | |
| 46 | 2.59 | 0.80 | 10.69 | 15.47 | 0.03 | | 0.35 | 0.40 | 2.97 | 3.07 | 0.98 | 0.84 | 2.99 | 3.09 | 1.24 | 0.82 | 7.19 | | 11.64 | 15.58 | 18.02 | | 91.57 | 63.23 | 25.21 | | 103.1 | 76.49 | | | 71.56 | 18.13 | 25.21 | | 186.3 | 51.16 | | 0.07 | 0.04 | 1.84 | 1.71 | 1.60 | | | |
| 47 | 1.01 | | 12.55 | 17.46 | 0.16 | 0.11 | 0.32 | 0.38 | 0.74 | 0.67 | 3.02 | 4.52 | 0.90 | 0.52 | 3.31 | 4.86 | 1.40 | 1.23 | 14.29 | 21.56 | 17.14 | 3.83 | 117.5 | 45.27 | 18.54 | 5.06 | 130.4 | 60.61 | 13.37 | | 71.78 | 51.39 | 20.77 | 8.21 | 216.4 | 82.24 | | 0.08 | 0.07 | 1.91 | 1.85 | 2.38 | | | |
| 48 | | | 7.52 | 7.05 | 0.06 | 0.07 | 0.30 | 0.42 | 0.17 | 0.08 | 3.16 | 4.37 | 0.25 | 0.16 | 3.46 | 4.75 | 0.18 | 0.06 | 10.35 | 10.51 | 29.29 | 6.59 | 103.8 | 35.56 | 29.46 | 6.65 | 112.7 | 43.27 | | | 61.84 | 32.37 | 29.46 | 6.65 | 180.4 | 65.58 | | 0.06 | 0.04 | 1.76 | 1.59 | 2.01 | | | |
| 49 | | | 10.97 | 12.56 | 0.16 | 0.11 | 0.21 | 0.16 | 0.44 | 0.29 | 1.83 | 2.91 | 0.56 | 0.42 | 2.04 | 3.04 | 0.55 | 0.45 | 13.02 | 15.25 | 23.40 | 8.32 | 102.5 | 56.51 | 23.95 | 8.77 | 114.6 | 69.76 | 6.69 | | 58.41 | 23.51 | 25.07 | 7.19 | 174.8 | 90.06 | | 0.07 | 0.06 | 1.63 | 1.04 | 0.44 | | | |
| 50 | | | 17.57 | 25.30 | 0.05 | 0.01 | 0.21 | 0.22 | 0.33 | 0.11 | 2.45 | 2.82 | 0.37 | 0.10 | 2.67 | 2.96 | 0.37 | 0.10 | 20.24 | 28.08 | 15.87 | | 117.2 | 35.95 | 16.31 | | 130.3 | 50.23 | 10.74 | | 59.79 | 24.93 | 10.10 | 13.85 | 190.8 | 66.79 | | 0.05 | 0.04 | 1.50 | 1.91 | 1.37 | | | |
| 51 | 1.97 | | 3.07 | 2.59 | 0.05 | 0.03 | 0.20 | 0.19 | 0.35 | 0.18 | 0.84 | 0.82 | 0.39 | 0.21 | 1.04 | 0.86 | 1.05 | 1.35 | 4.06 | 3.08 | 31.12 | 3.10 | 115.4 | 47.33 | 42.43 | 19.24 | 119.5 | 49.69 | 11.35 | 7.04 | 96.35 | 44.65 | 24.92 | 20.23 | 205.6 | 47.65 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 1.71 | 2.63 | 2.20 | | | |
| 52 | 0.41 | 0.25 | 14.60 | 24.19 | 0.11 | 0.09 | 0.28 | 0.41 | 0.15 | 0.06 | 2.06 | 3.35 | 0.27 | 0.06 | 2.33 | 3.76 | 0.68 | 0.32 | 16.93 | 27.39 | 62.73 | 1.90 | 97.4 | 37.82 | 63.40 | 1.58 | 114.3 | 43.83 | | | 66.70 | 14.30 | 63.40 | 1.58 | 179.3 | 43.82 | | 0.10 | 0.08 | 1.80 | 0.16 | 2.84 | 2.91 | | |
| 53 | 1.26 | 0.67 | 3.76 | 4.08 | 0.06 | 0.03 | 0.17 | 0.18 | 0.42 | 0.24 | 2.43 | 3.15 | 0.48 | 0.27 | 2.61 | 3.27 | 2.06 | 1.06 | 6.60 | 6.81 | 47.56 | 8.65 | 126.5 | 64.89 | 49.62 | 9.71 | 131.3 | 70.04 | | | 72.51 | 28.95 | 49.62 | 9.71 | 191.1 | 41.56 | 0.08 | 0.04 | 0.02 | 1.69 | 0.23 | 1.90 | 1.60 | | |
| 54 | 2.59 | 1.82 | 5.92 | 8.86 | 0.16 | 0.12 | 0.20 | 0.23 | 0.32 | 0.11 | 2.00 | 1.74 | 0.48 | 0.07 | 2.20 | 1.82 | 3.07 | 1.84 | 7.54 | 10.3 | 41.66 | 15.74 | 120.8 | 52.36 | 44.14 | 13.40 | 128.4 | 57.03 | 4.20 | 1.02 | 67.17 | 28.79 | 45.07 | 13.17 | 203.5 | 72.85 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 1.85 | 0.08 | 2.52 | 1.96 | | |
| 55 | 2.90 | 1.81 | 6.98 | 9.79 | 0.18 | 0.09 | 0.21 | 0.25 | 0.98 | 0.53 | 2.09 | 2.16 | 1.16 | 0.64 | 2.29 | 2.38 | 4.06 | 1.21 | 9.26 | 11.9 | 46.22 | 20.03 | 125.9 | 42.78 | 50.28 | 20.93 | 134.6 | 50.25 | 12.20 | 10.15 | 68.56 | 31.31 | 52.99 | 23.90 | 201.0 | 62.11 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 1.66 | 0.13 | 2.28 | 2.39 | | |
| 56 | 0.27 | 0.08 | 3.47 | 4.83 | 0.02 | 0.01 | 0.14 | 0.10 | 0.29 | 0.16 | 1.26 | 0.41 | 0.31 | 0.16 | 1.40 | 0.46 | 0.57 | 0.07 | 4.81 | 4.98 | 37.56 | | 106.9 | 44.55 | 38.18 | | 111.7 | 45.99 | 4.20 | | 87.52 | 57.39 | 20.05 | 25.64 | 221.5 | 57.00 | | 0.08 | 0.03 | 1.24 | 2.42 | 2.02 | | | |
| 57 | 0.92 | 0.79 | 5.40 | 6.73 | 0.42 | 0.54 | 0.22 | 0.23 | 1.50 | 2.25 | 1.62 | 2.22 | 1.92 | 2.91 | 1.84 | 2.42 | 2.84 | 3.70 | 7.17 | 8.65 | 38.97 | 13.00 | 97.6 | 43.93 | 41.81 | 13.74 | 106.0 | 48.03 | 4.51 | | 90.63 | 45.90 | 42.31 | 12.90 | 193.0 | 96.73 | 0.03 | 0.07 | 0.02 | 1.12 | 1.08 | | | | |
| 58 | 0.70 | 0.57 | 3.70 | 4.49 | 0.75 | 0.66 | 0.30 | 0.27 | 2.86 | 3.08 | 1.80 | 1.22 | 3.61 | 3.90 | 2.09 | 1.36 | 4.07 | 3.81 | 5.80 | 5.01 | 24.89 | 15.02 | 112.7 | 66.74 | 28.96 | 11.65 | 118.7 | 70.67 | 3.73 | | 46.01 | 20.07 | 29.38 | 12.33 | 161.8 | 53.69 | 0.04 | 0.07 | 0.02 | 1.69 | 2.82 | 1.96 | | | |
| 59 | 0.84 | | 7.65 | 7.86 | 0.09 | 0.03 | 0.19 | 0.16 | 0.59 | 0.40 | 0.94 | 1.05 | 0.45 | 0.48 | 1.13 | 1.18 | 0.45 | 0.48 | 8.71 | 8.75 | 16.47 | 5.39 | 92.4 | 43.50 | 17.00 | 4.73 | 101.5 | 50.82 | | | 42.75 | 20.61 | 11.43 | 10.20 | 163.0 | 52.83 | | 0.06 | 0.03 | 1.90 | 4.27 | 4.79 | | | |
| 60 | 3.55 | 4.18 | 11.30 | 16.32 | 0.07 | 0.03 | 0.22 | 0.17 | 0.25 | 0.19 | 1.62 | 1.55 | 0.24 | 0.23 | 1.84 | 1.63 | 3.88 | 4.42 | 13.5 | 18.2 | 2.19 | | 74.8 | 34.30 | 9.18 | | 86.2 | 50.39 | 3.44 | | 62.59 | 10.14 | 5.54 | 5.15 | 199.6 | 78.57 | 0.08 | 0.07 | 0.05 | 4.52 | 0.96 | | | | |
| 61 | 1.20 | 0.95 | 9.01 | 12.75 | 0.11 | 0.08 | 0.21 | 0.20 | 0.58 | 0.46 | 0.67 | 0.46 | 0.68 | 0.50 | 0.88 | 0.58 | 1.48 | 1.19 | 9.82 | 13.3 | 16.69 | | 96.6 | 45.87 | 17.66 | | 106.0 | 54.66 | 8.62 | 5.95 | 52.12 | 26.07 | 8.34 | 8.23 | 164.1 | 58.13 | 0.08 | 0.05 | 0.03 | 1.79 | 3.05 | 1.71 | | | |
| 62 | 0.23 | 0.25 | 7.51 | 9.45 | 0.09 | 0.04 | 0.34 | 0.49 | 0.24 | 0.03 | 1.48 | 2.24 | 0.33 | 0.01 | 1.82 | 2.73 | 0.56 | 0.24 | 9.33 | 10.3 | 34.22 | | 99.8 | 47.65 | 34.61 | | 108.2 | 55.83 | 15.69 | 2.27 | 79.81 | 39.25 | 22.90 | 24.71 | 187.5 | 77.99 | | 0.07 | 0.03 | 1.61 | 0.01 | 1.89 | 0.91 | | |
| 63 | 0.33 | 0.09 | 6.26 | 7.43 | 0.53 | 0.35 | 0.24 | 0.19 | 0.81 | 0.73 | 1.11 | 0.61 | 1.24 | 1.06 | 1.35 | 0.65 | 1.52 | 1.20 | 7.61 | 7.81 | 26.04 | 12.21 | 87.9 | 48.26 | 27.46 | 12.50 | 93.9 | 52.30 | 8.88 | | 76.56 | 23.28 | 28.44 | 11.05 | 166.9 | 51.85 | 0.07 | 0.06 | 0.04 | | | | | | |
| 64 | 0.49 | 0.14 | 3.95 | 4.64 | 0.35 | 0.19 | 0.20 | 0.15 | 1.42 | 0.37 | 1.22 | 0.61 | 1.77 | 0.62 | 1.42 | 0.68 | 2.26 | 0.76 | 5.37 | 4.40 | 33.35 | | 100.8 | 59.32 | 35.07 | | 106.2 | 61.33 | 6.75 | 2.36 | 59.16 | 16.35 | 21.19 | 22.03 | 168.9 | 71.73 | | 0.05 | 0.04 | 1.41 | | | | | |
| 65 | 0.36 | 0.27 | 6.66 | 7.31 | 0.13 | 0.03 | 0.24 | 0.20 | 0.43 | 0.42 | 0.88 | 0.69 | 0.56 | 0.44 | 1.12 | 0.85 | 0.76 | 0.73 | 7.79 | 7.88 | 17.36 | 8.53 | 100.2 | 43.54 | 17.71 | 8.76 | 109.0 | 47.87 | 11.74 | 7.78 | 64.45 | 24.04 | 14.94 | 8.37 | 182.0 | 37.44 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | | | | | | |
| 66 | 0.78 | 0.23 | 4.23 | 3.98 | 0.25 | 0.11 | 0.20 | 0.15 | 1.54 | 1.73 | 0.82 | 0.59 | 1.79 | 1.58 | 1.02 | 0.69 | 2.56 | 1.81 | 5.26 | 4.45 | 20.96 | | 97.3 | 54.43 | 24.81 | | 101.2 | 56.09 | 2.99 | | 60.79 | 16.67 | 13.54 | 17.34 | 153.2 | 38.51 | | 0.08 | 0.05 | | | | | | |
| 67 | 2.25 | 1.47 | 6.91 | 8.00 | 0.40 | 0.30 | 0.24 | 0.21 | 0.95 | 0.38 | 0.67 | 0.60 | 1.35 | 0.62 | 0.90 | 0.60 | 3.36 | 1.28 | 7.68 | 8.54 | 58.04 | 8.24 | 94.7 | 42.03 | 61.40 | 8.92 | 100.3 | 44.88 | | | 76.47 | 27.51 | 61.40 | 8.92 | 353.9 | 522.2 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | | | | 2.67 | | |
| 68 | 1.57 | 1.48 | 7.52 | 7.14 | 0.10 | 0.02 | 0.19 | 0.15 | 0.18 | 0.06 | 1.27 | 1.40 | 0.28 | 0.03 | 1.47 | 1.41 | 1.85 | 1.46 | 8.99 | 8.18 | 48.33 | 25.17 | 105.6 | 41.08 | 49.57 | 25.16 | 113.9 | 45.32 | | | 76.69 | 23.42 | 49.57 | 25.16 | 165.9 | 66.32 | | 0.09 | 0.06 | | | | 1.52 | 1.41 | |
| 69 | 0.29 | 0.23 | 4.71 | 6.19 | 0.10 | 0.04 | 0.17 | 0.11 | 0.18 | 0.15 | 0.91 | 0.56 | 0.29 | 0.17 | 1.09 | 0.60 | 0.54 | 0.37 | 5.46 | 6.48 | 27.20 | 16.68 | 87.6 | 46.75 | 27.73 | 16.91 | 93.1 | 51.41 | 17.40 | 1.92 | 75.17 | 31.72 | 31.60 | 18.89 | 205.8 | 45.36 | 0.14 | 0.09 | 0.08 | 1.06 | 0.11 | 1.92 | 1.26 | | |
| 70 | 0.73 | 0.02 | 4.75 | 6.61 | 0.17 | 0.04 | 0.12 | 0.10 | 0.27 | 0.21 | 2.18 | 2.78 | 0.38 | 0.30 | 2.29 | 2.77 | 1.11 | 0.27 | 7.04 | 7.05 | 42.91 | 28.31 | 102.0 | 51.72 | 44.02 | 28.54 | 108.0 | 57.30 | 9.17 | 9.11 | 91.92 | 54.32 | 46.05 | 26.18 | 169.2 | 46.97 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | | | 0.99 | 0.41 | | |
| 71 | 3.85 | | 7.17 | 8.42 | 0.18 | | 0.22 | 0.21 | 0.19 | | 1.03 | 1.10 | 0.36 | | 1.23 | 1.30 | | | 8.41 | 9.68 | | | 121.8 | 49.27 | | | 128.8 | 56.36 | | | 64.60 | 20.70 | | | 186.6 | 46.94 | | 0.07 | 0.05 | | | | 0.88 | 0.40 | |
| 72 | 4.47 | 3.52 | 16.29 | 17.91 | 0.18 | 0.09 | 0.20 | 0.24 | 1.30 | 1.92 | 0.89 | 0.80 | 1.47 | 2.00 | 1.09 | 1.04 | 4.45 | 3.80 | 16.8 | 19.2 | 27.07 | 16.07 | 99.6 | 27.53 | 29.04 | 18.62 | 111.3 | 39.35 | 2.96 | | 99.93 | 49.00 | 22.16 | 17.75 | 174.4 | 69.88 | 0.12 | 0.04 | 0.03 | | | 1.07 | | | |
| 73 | 0.12 | | 7.29 | 7.99 | 0.07 | 0.02 | 0.16 | 0.15 | 0.18 | 0.07 | 0.74 | 0.58 | 0.25 | 0.06 | 0.90 | 0.72 | 3.31 | 0.02 | 8.18 | 8.66 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo III. Continuación.

| Periodo H | N:P | | | | N:SiO2 | | | | Si:P | | | | Irradianza | | | | O2 | | | | T | | | | | | |
|-----------|---------|----|--------|--------|---------|------|--------|-------|---------|----|--------|-------|------------|------|--------|------|---------|------|--------|----|---------|------|--------|----|-------|-------|------|
| | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | Control | | Prueba | | | | |
| | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | Media | DE | | | |
| 43 | | | 66.63 | 98.53 | | | 1.18 | 0.20 | | | 24.85 | | | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 6.70 | | | 5.52 | 2.17 | 29.70 | | | 29.82 | 0.47 |
| 44 | 67.70 | | 254.5 | 355.5 | | | 13.28 | 17.22 | | | 29.47 | 41.13 | | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | | | | 6.92 | 2.68 | | | 29.54 | 0.94 | |
| 45 | | | 85.71 | 91.09 | 3.41 | 1.30 | 10.39 | 11.45 | | | 48.43 | 13.22 | | 0.90 | 0.00 | 0.90 | 0.00 | 6.90 | | | 6.88 | 2.72 | 30.00 | | 30.57 | 1.36 | |
| 46 | | | 59.15 | 26.41 | 3.92 | | 8.30 | 6.70 | | | 16.04 | 2.25 | | 0.90 | 0.00 | 0.89 | 0.00 | 4.70 | | | 6.00 | 3.23 | 30.30 | | 31.39 | 1.40 | |
| 47 | | | 312.6 | 683.5 | 0.28 | | 6.29 | 6.71 | | | 24.18 | 36.29 | | 0.89 | 0.00 | 0.89 | 0.00 | 4.30 | | | 6.83 | 3.10 | 30.50 | | 31.64 | 1.15 | |
| 48 | | | 78.80 | 98.08 | 0.08 | | 9.89 | 10.38 | | | 8.95 | 10.72 | | 0.89 | 0.00 | 0.89 | 0.00 | | | | 6.49 | 2.68 | | | 31.67 | 0.91 | |
| 49 | | | 115.4 | 148.6 | 0.14 | | 5.50 | 3.51 | | | 16.93 | 15.58 | | 0.89 | 0.00 | 0.88 | 0.00 | 5.60 | | | 6.28 | 2.77 | 31.20 | | 31.64 | 1.19 | |
| 50 | | | 306.1 | 552.4 | 0.29 | | 5.00 | 3.99 | | | 40.28 | 53.98 | | 0.88 | 0.00 | 0.88 | 0.00 | 6.50 | | | 5.79 | 1.92 | 31.50 | | 31.27 | 0.78 | |
| 51 | 65.21 | | 55.37 | 54.24 | 0.13 | | 1.96 | 1.83 | | | 17.95 | 18.11 | | 0.88 | 0.00 | 0.88 | 0.00 | 7.40 | | | 5.93 | 2.36 | 31.20 | | 31.57 | 0.93 | |
| 52 | | | 192.5 | 390.9 | 0.37 | 0.14 | 5.95 | 4.55 | | | 36.96 | 42.91 | | 0.88 | 0.00 | 0.87 | 0.00 | 6.90 | | | 6.10 | 3.38 | 32.30 | | 31.77 | 1.45 | |
| 53 | 34.38 | | 82.27 | 54.76 | 1.33 | 0.90 | 2.23 | 1.64 | 17.56 | | 42.18 | 34.26 | | 0.87 | 0.00 | 0.87 | 0.00 | 6.60 | | | 6.82 | 3.44 | 31.10 | | 32.29 | 1.11 | |
| 54 | 31.08 | | 48.14 | 28.66 | 1.84 | 1.24 | 5.01 | 3.51 | | | 0.50 | | | 0.87 | 0.00 | 0.87 | 0.00 | 6.90 | | | 7.48 | 3.98 | 31.60 | | 32.17 | 1.47 | |
| 55 | 66.96 | | 61.16 | 50.27 | 2.38 | 0.84 | 2.90 | 1.55 | 22.51 | | 14.77 | 17.50 | | 0.87 | 0.00 | 0.86 | 0.00 | 6.00 | | | 6.76 | 3.43 | 31.60 | | 32.48 | 1.03 | |
| 56 | | | 64.32 | 69.34 | 0.50 | | 1.83 | 1.16 | | | 41.69 | 13.22 | | 0.86 | 0.00 | 0.86 | 0.00 | 6.40 | | | 7.09 | 3.69 | 32.10 | | 32.77 | 0.99 | |
| 57 | 205.83 | | 118.9 | 153.8 | | | 3.03 | 1.15 | | | 31.59 | | | 0.86 | 0.00 | 0.86 | 0.00 | 4.50 | | | 7.74 | 3.77 | 31.00 | | 32.54 | 0.93 | |
| 58 | 210.99 | | 62.71 | 61.58 | 0.73 | | 2.40 | 2.13 | | | 2.63 | 2.84 | | 0.86 | 0.00 | 0.85 | 0.00 | 4.80 | | | 6.91 | 4.57 | 31.20 | | 32.80 | 1.09 | |
| 59 | | | 191.4 | 302.0 | 0.52 | | 2.44 | 0.59 | | | 49.66 | 58.03 | | 0.85 | 0.00 | 0.85 | 0.00 | 4.90 | | | 6.84 | 4.52 | 31.10 | | 32.64 | 0.88 | |
| 60 | 85.48 | | 65.00 | 81.33 | | | 8.27 | 1.75 | | | 87.92 | 76.61 | | 0.85 | 0.00 | 0.85 | 0.00 | 5.80 | | | 6.02 | 3.62 | 31.20 | | 32.56 | 0.93 | |
| 61 | 36.66 | | 129.7 | 135.4 | 0.54 | | 4.86 | 4.35 | | | 90.44 | 69.84 | | 0.85 | 0.00 | 0.85 | 0.00 | 7.20 | | | 6.02 | 3.11 | 32.20 | | 32.34 | 0.86 | |
| 62 | | | 148.4 | 192.1 | 0.35 | 0.15 | 4.56 | 4.64 | | | 23.55 | 16.01 | | 0.93 | 0.00 | 0.87 | 0.04 | 6.50 | | | 6.54 | 2.51 | 31.90 | | 32.21 | 1.05 | |
| 63 | 20.76 | | 87.02 | 111.38 | | | | | | | | | | 0.93 | 0.00 | 0.86 | 0.04 | 6.50 | | | 6.13 | 2.96 | 32.00 | | 32.32 | 1.16 | |
| 64 | | | 87.05 | 133.14 | | | | | | | | | | 0.93 | 0.00 | 0.86 | 0.04 | 6.10 | | | 6.94 | 3.38 | 31.50 | | 32.22 | 1.06 | |
| 65 | 20.34 | | 273.2 | 496.2 | | | | | | | | | | 0.92 | 0.00 | 0.85 | 0.04 | 6.90 | | | 7.30 | 4.12 | 31.40 | | 31.80 | 0.80 | |
| 66 | | | 80.04 | 90.88 | | | | | | | | | | 0.83 | 0.00 | 0.83 | 0.00 | | | | 7.48 | 3.76 | | | 32.11 | 2.02 | |
| 67 | 63.84 | | 152.1 | 218.9 | | | 0.36 | | | | 2.99 | | | 0.83 | 0.00 | 0.82 | 0.00 | 5.70 | | | 7.39 | 4.31 | 31.60 | | 31.28 | 1.08 | |
| 68 | | | 123.4 | 173.0 | | | 7.81 | 0.76 | | | 5.20 | | | 0.82 | 0.00 | 0.82 | 0.00 | 6.10 | | | 5.76 | 2.36 | 31.30 | | 31.31 | 0.67 | |
| 69 | 5.54 | | 63.74 | 71.78 | 0.38 | 0.38 | 6.61 | 7.23 | | | 26.88 | 24.33 | | 0.82 | 0.00 | 0.82 | 0.00 | 6.70 | | | 5.17 | 2.22 | 31.50 | | 31.10 | 0.65 | |
| 70 | 18.68 | | 90.69 | 150.8 | | | 4.85 | 6.11 | | | 6.73 | 9.21 | | 0.82 | 0.00 | 0.81 | 0.00 | | | | 5.91 | 3.07 | | | 31.13 | 0.92 | |
| 71 | | | 160.2 | 259.5 | | | 3.37 | 2.82 | | | 0.51 | | | 0.81 | 0.00 | 0.81 | 0.00 | | | | 6.82 | 3.22 | | | 30.68 | 0.85 | |
| 72 | 48.13 | | 300.6 | 582.4 | | | 0.33 | | | | 58.92 | | | 0.81 | 0.00 | 0.81 | 0.00 | 4.30 | | | 6.23 | 2.83 | 30.70 | | 30.54 | 1.05 | |
| 73 | | | 149.6 | 197.7 | | | 1.09 | | | | 74.90 | | | 0.81 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 5.80 | | | 6.32 | 3.10 | 30.70 | | 30.69 | 1.34 | |
| 74 | 99.46 | | 103.0 | 77.12 | 8.51 | | | | 11.69 | | | | | 0.80 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | 6.00 | | | 6.26 | 3.01 | 30.70 | | 30.97 | 1.03 | |
| 75 | | | 107.1 | 165.5 | | | 4.05 | 1.50 | | | | | | 0.80 | 0.00 | 0.80 | 0.00 | | | | 5.52 | 2.54 | | | 31.24 | 0.95 | |
| 76 | 19.59 | | 206.1 | 439.8 | 1.45 | | 2.49 | | | | 7.29 | | | 0.80 | 0.00 | 0.79 | 0.00 | 6.10 | | | 6.92 | 3.11 | 30.50 | | 31.67 | 1.02 | |
| 77 | | | 162.2 | 314.2 | | | | | | | | | | 0.79 | 0.00 | 0.79 | 0.00 | 6.20 | | | 6.77 | 3.04 | 30.40 | | 31.63 | 0.71 | |
| 78 | 60.32 | | 144.6 | 202.0 | 0.71 | | 5.60 | 3.73 | | | 12.15 | 11.37 | | 0.79 | 0.00 | 0.78 | 0.00 | 6.50 | | | 5.01 | 1.95 | 30.10 | | 31.83 | 0.78 | |
| 79 | 46.38 | | 87.82 | 73.34 | | | 7.48 | 0.96 | | | 8.94 | 2.44 | | 0.78 | 0.00 | 0.78 | 0.00 | 5.10 | | | 6.79 | 3.47 | 30.40 | | 31.93 | 0.92 | |
| 80 | 110.15 | | 127.8 | 164.6 | | | | | | | | | | 0.78 | 0.00 | 0.78 | 0.00 | 6.80 | | | 6.31 | 4.12 | 31.90 | | 32.02 | 0.85 | |
| 81 | 28.04 | | 102.1 | 127.9 | | | 5.79 | 0.75 | | | 34.58 | 48.59 | | 0.78 | 0.00 | 0.77 | 0.00 | 6.40 | | | 6.20 | 3.58 | 30.90 | | 31.51 | 0.93 | |
| 82 | 44.08 | | 90.32 | 77.25 | | | 1.10 | | | | | | | 0.77 | 0.00 | 0.77 | 0.00 | 7.00 | | | 5.49 | 3.21 | 30.40 | | 30.08 | 1.44 | |
| 83 | | | 95.80 | 123.2 | | | | | | | | | | 0.77 | 0.00 | 0.77 | 0.00 | 6.80 | | | 8.53 | 4.45 | 30.60 | | 29.17 | 1.27 | |
| 84 | 20.64 | | 87.21 | 132.4 | | | | | | | | | | 0.77 | 0.00 | 0.76 | 0.00 | 7.10 | | | 8.32 | 3.87 | 30.50 | | 30.40 | 1.21 | |
| 85 | 144.65 | | 84.22 | 186.0 | | | | | | | | | | 0.76 | 0.00 | 0.76 | 0.00 | 6.20 | | | 6.86 | 3.83 | 30.40 | | 30.80 | 0.86 | |
| 86 | 39.09 | | 62.40 | 101.9 | | | | | | | | | | 0.76 | 0.00 | 0.76 | 0.00 | 7.20 | | | 7.87 | 4.37 | 30.40 | | 30.91 | 1.16 | |
| 87 | 56.28 | | 95.49 | 105.7 | | | | | | | | | | 0.76 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 6.80 | | | 6.97 | 3.34 | 30.30 | | 30.72 | 1.01 | |
| 88 | | | 114.1 | 150.9 | | | 4.39 | 4.74 | | | 24.93 | | | 0.75 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 6.60 | | | 7.11 | 3.07 | 30.40 | | 30.47 | 0.75 | |
| 89 | 24.53 | | 326.6 | 253.1 | | | | | | | | | | 0.75 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 7.90 | | | 8.00 | 4.00 | 30.50 | | 30.43 | 1.09 | |
| 90 | | | 130.2 | | | | | | | | | | | 0.75 | 0.00 | 0.74 | 0.00 | 3.00 | | | 7.36 | 3.13 | 30.50 | | 30.58 | 1.08 | |
| 91 | | | 68.86 | 91.55 | 2.82 | | 7.21 | 11.04 | | | 7.98 | 7.04 | | 0.74 | 0.00 | 0.74 | 0.00 | 6.10 | | | 5.73 | 3.38 | 30.30 | | 30.58 | 0.95 | |
| 92 | 20.85 | | 307.2 | 297.2 | | | 17.74 | 22.00 | | | 42.14 | 50.02 | | 0.74 | 0.00 | 0.74 | 0.00 | 6.30 | | | 6.33 | 2.93 | 30.60 | | 30.40 | 0.86 | |
| 93 | | | 212.5 | 230.3 | | | 2.93 | | | | 0.84 | | | 0.74 | 0.00 | 0.73 | 0.00 | 6.20 | | | 7.99 | 4.29 | 30.10 | | 30.23 | 0.86 | |

Anexo IV. Promedios de los factores físicos y químicos medidos en los estanques (1, 2 y 3), hora del día (mañana, mediodía y tarde) y por temporadas (P y VO).

| Variable | P-1 | | | P-2 | | | P-3 | | | VO-1 | | | VO-2 | | | VO-3 | | | |
|------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | |
| NH4 | Media | 2.20 | 1.86 | 3.38 | 1.68 | 2.21 | 2.21 | 1.86 | 2.85 | 2.21 | 2.12 | 2.37 | 1.22 | 1.52 | 1.93 | 1.76 | 3.11 | 3.01 | 2.44 |
| | D.E. | 2.27 | 2.11 | 5.21 | 1.92 | 3.43 | 3.10 | 1.92 | 4.98 | 3.09 | 2.27 | 2.66 | 1.26 | 1.84 | 2.24 | 1.70 | 3.70 | 4.13 | 5.19 |
| | Mín. | 0.02 | 0.08 | 0.10 | 0.09 | 0.17 | 0.11 | 0.04 | 0.10 | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.01 |
| | Máx. | 11.08 | 11.80 | 27.79 | 8.32 | 21.30 | 16.53 | 8.29 | 27.67 | 14.37 | 8.33 | 9.72 | 5.12 | 9.78 | 9.76 | 7.60 | 17.77 | 17.19 | 32.20 |
| NO2 | Media | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.12 | 0.13 | 0.10 | 0.11 |
| | D.E. | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.13 | 0.13 | 0.08 | 0.13 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.07 |
| | Mín. | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.01 | 0.02 |
| | Máx. | 0.05 | 0.07 | 0.12 | 0.14 | 0.14 | 0.08 | 0.12 | 0.08 | 0.07 | 0.76 | 0.67 | 0.53 | 0.86 | 0.35 | 0.38 | 0.59 | 0.35 | 0.28 |
| NO3 | Media | 0.87 | 0.79 | 0.71 | 0.67 | 0.76 | 0.86 | 1.08 | 0.95 | 0.74 | 0.64 | 0.67 | 0.66 | 0.92 | 0.68 | 0.65 | 0.77 | 0.72 | 0.67 |
| | D.E. | 0.73 | 0.79 | 0.53 | 0.71 | 1.07 | 0.78 | 1.38 | 1.32 | 0.96 | 0.83 | 0.79 | 0.75 | 1.88 | 0.85 | 0.79 | 1.01 | 0.93 | 1.35 |
| | Mín. | 0.10 | 0.06 | 0.06 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.04 |
| | Máx. | 3.19 | 4.55 | 2.52 | 3.07 | 6.03 | 3.51 | 6.13 | 6.35 | 3.97 | 5.05 | 4.58 | 4.26 | 13.65 | 5.76 | 5.28 | 7.53 | 4.82 | 11.77 |
| DIN | Media | 0.77 | 0.72 | 0.70 | 0.63 | 0.68 | 0.72 | 0.85 | 0.84 | 0.70 | 2.27 | 2.94 | 5.62 | 2.18 | 3.39 | 3.68 | 2.90 | 3.32 | 3.15 |
| | D.E. | 0.73 | 0.77 | 0.57 | 0.70 | 0.98 | 0.74 | 1.22 | 1.18 | 0.88 | 1.88 | 2.08 | 3.26 | 1.49 | 2.25 | 2.56 | 2.82 | 2.07 | 2.33 |
| | Mín. | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.25 | 0.28 | 0.91 | 0.29 | 0.72 | 0.72 | 0.16 | 0.72 | 0.76 |
| | Máx. | 3.63 | 4.68 | 2.60 | 3.27 | 6.07 | 3.52 | 6.27 | 6.45 | 4.02 | 7.63 | 10.29 | 13.38 | 6.65 | 10.50 | 11.17 | 19.41 | 11.34 | 12.76 |
| NOD | Media | 84.8 | 80.8 | 78.6 | 81.5 | 81.6 | 79.6 | 84.1 | 81.2 | 84.0 | 84.4 | 76.6 | 65.8 | 84.9 | 77.6 | 76.6 | 83.7 | 81.0 | 85.7 |
| | D.E. | 30.2 | 29.7 | 29.9 | 33.0 | 36.3 | 38.5 | 29.3 | 29.0 | 27.3 | 32.6 | 32.4 | 24.5 | 23.6 | 34.2 | 24.3 | 30.5 | 32.3 | 23.6 |
| | Mín. | 31.0 | 24.8 | 1.1 | 23.1 | 19.6 | 3.1 | 23.7 | 24.9 | 31.5 | 25.5 | 10.2 | 15.4 | 27.7 | 10.6 | 13.3 | 28.3 | 24.8 | 30.4 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Máx. | 193.8 | 184.2 | 136.5 | 200.0 | 215.6 | 237.4 | 178.9 | 189.1 | 135.0 | 144.2 | 136.8 | 137.2 | 137.5 | 140.8 | 133.6 | 139.5 | 140.1 | 145.3 |
| | Media | 85.1 | 81.5 | 79.3 | 82.1 | 82.3 | 80.6 | 85.1 | 82.2 | 84.7 | 86.5 | 79.2 | 71.2 | 87.0 | 80.9 | 80.1 | 86.7 | 84.2 | 88.3 |
| NDT | D.E. | 29.8 | 29.7 | 29.9 | 33.0 | 36.3 | 38.1 | 29.7 | 28.9 | 27.2 | 32.9 | 32.1 | 23.6 | 23.6 | 33.9 | 24.4 | 30.2 | 32.0 | 24.0 |
| | Mín. | 31.6 | 25.1 | 1.2 | 23.5 | 19.8 | 3.2 | 24.3 | 25.1 | 35.3 | 26.1 | 16.0 | 25.7 | 30.6 | 15.9 | 16.8 | 31.0 | 27.5 | 36.0 |
| | Máx. | 193.9 | 184.6 | 137.9 | 200.0 | 216.3 | 237.4 | 178.9 | 189.5 | 135.9 | 149.2 | 138.6 | 142.9 | 140.9 | 142.6 | 137.0 | 142.2 | 141.7 | 146.2 |

Anexo IV. Continuación.

| Variable | P-1 | | | P-2 | | | P-3 | | | VO-1 | | | VO-2 | | |
|-------------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | Tarde | Mañana | M-día | |
| <i>NOP</i> | Máx. | 193.9 | 184.6 | 137.9 | 200.0 | 216.3 | 237.4 | 178.9 | 189.5 | 135.9 | 149.2 | 138.6 | 142.9 | 140.9 | 142.6 |
| | Media | 88.3 | 68.3 | 65.6 | 86.1 | 89.9 | 90.1 | 90.2 | 60.9 | 74.1 | 59.0 | 76.3 | 74.3 | 62.0 | 82.6 |
| | D.E. | 160.9 | 58.5 | 72.3 | 74.5 | 93.9 | 81.3 | 92.8 | 55.8 | 81.4 | 29.2 | 99.4 | 29.9 | 32.6 | 49.8 |
| | Mín. | 1.95 | 2.15 | 3.25 | 3.17 | 1.06 | 2.11 | 2.60 | 0.65 | 0.65 | 12.3 | 16.1 | 19.4 | 12.1 | 10.7 |
| <i>NT</i> | Máx. | 1143.5 | 264.9 | 420.8 | 378.8 | 340.8 | 326.1 | 469.2 | 252.6 | 480.5 | 132.4 | 885.8 | 141.5 | 194.3 | 282.6 |
| | Media | 129.8 | 113.6 | 114.4 | 108.4 | 106.7 | 109.4 | 126.0 | 106.8 | 121.8 | 169.4 | 141.9 | 193.3 | 164.9 | 177.1 |
| | D.E. | 110.7 | 48.0 | 54.2 | 38.3 | 39.3 | 54.7 | 61.7 | 36.9 | 56.5 | 50.7 | 64.4 | 158.3 | 44.2 | 160.0 |
| | Mín. | 42.1 | 47.0 | 42.6 | 26.7 | 38.9 | 19.4 | 55.9 | 43.8 | 58.8 | 79.7 | 0.3 | 92.0 | 61.0 | 65.0 |
| <i>PO4</i> | Máx. | 908.6 | 350.2 | 368.9 | 214.6 | 235.7 | 350.2 | 450.8 | 198.4 | 428.1 | 334.4 | 319.1 | 1529.4 | 300.4 | 1112.9 |
| | Media | 3.85 | 3.58 | 3.66 | 3.64 | 3.54 | 3.51 | 2.43 | 2.68 | 2.52 | 1.58 | 1.70 | 1.64 | 2.96 | 1.74 |
| | D.E. | 1.80 | 1.59 | 1.67 | 1.41 | 1.38 | 1.14 | 1.18 | 1.30 | 1.14 | 0.94 | 1.30 | 1.23 | 4.09 | 2.10 |
| | Mín. | 0.31 | 0.24 | 0.08 | 0.06 | 1.18 | 0.95 | 0.50 | 0.89 | 0.35 | 0.45 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| <i>SiO2</i> | Máx. | 8.59 | 7.24 | 7.24 | 6.69 | 7.76 | 7.20 | 5.60 | 6.48 | 5.81 | 4.83 | 6.12 | 5.93 | 27.18 | 10.27 |
| | Media | 6.82 | 6.86 | 6.67 | 8.39 | 6.78 | 6.95 | 6.26 | 7.86 | 6.32 | 16.41 | 15.69 | 16.97 | 9.29 | 8.94 |
| | D.E. | 4.98 | 4.85 | 3.96 | 13.30 | 5.89 | 5.53 | 5.28 | 8.98 | 4.92 | 6.13 | 6.34 | 7.16 | 4.06 | 3.21 |
| | Mín. | 1.61 | 1.35 | 1.49 | 1.31 | 1.39 | 1.14 | 1.38 | 1.48 | 1.37 | 5.44 | 6.63 | 6.63 | 0.58 | 0.58 |
| <i>O2</i> | Máx. | 26.4 | 26.9 | 21.9 | 92.0 | 31.5 | 25.6 | 30.6 | 50.4 | 28.8 | 27.2 | 27.6 | 25.9 | 14.9 | 14.7 |
| | Media | 4.87 | 7.31 | 9.00 | 4.67 | 6.93 | 8.27 | 4.72 | 6.76 | 9.49 | 4.04 | 7.67 | 10.06 | 3.57 | 6.92 |
| | D.E. | 1.41 | 1.27 | 1.71 | 1.32 | 1.47 | 1.67 | 1.30 | 1.10 | 1.54 | 1.04 | 1.88 | 1.92 | 0.87 | 1.62 |
| | Mín. | 2.70 | 4.20 | 6.00 | 2.70 | 4.00 | 5.00 | 2.90 | 4.10 | 6.80 | 2.30 | 3.20 | 4.10 | 1.80 | 4.00 |
| <i>T</i> | Máx. | 8.20 | 10.3 | 14.9 | 9.20 | 13.2 | 14.9 | 8.40 | 9.30 | 14.5 | 6.60 | 14.4 | 14.4 | 7.90 | 11.7 |
| | Media | 27.0 | 28.1 | 29.5 | 26.8 | 28.0 | 29.3 | 26.7 | 27.6 | 29.3 | 30.8 | 31.7 | 32.8 | 30.8 | 31.7 |
| | D.E. | 1.21 | 1.12 | 1.06 | 1.24 | 1.24 | 1.00 | 1.28 | 1.13 | 1.26 | 1.18 | 1.26 | 1.42 | 1.27 | 1.20 |
| | Mín. | 24.1 | 25.8 | 27.2 | 22.4 | 23.4 | 27.3 | 22.3 | 25.1 | 24.0 | 26.9 | 28.8 | 29.6 | 27.2 | 28.8 |
| | Máx. | 29.5 | 30.7 | 32.5 | 29.3 | 30.5 | 31.6 | 29.5 | 29.9 | 31.7 | 33.4 | 34.6 | 35.7 | 36.9 | 35.5 |

Anexo V. Figuras de la variación de las variables predictoras.

Irradianza

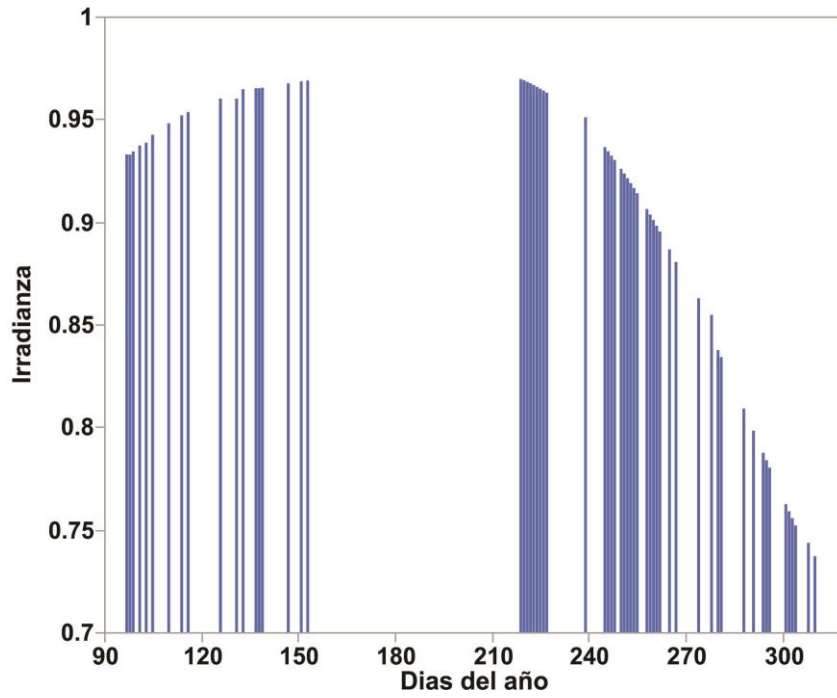


Figura a. Variación de la irradianza a lo largo de los días del año.

Temperatura

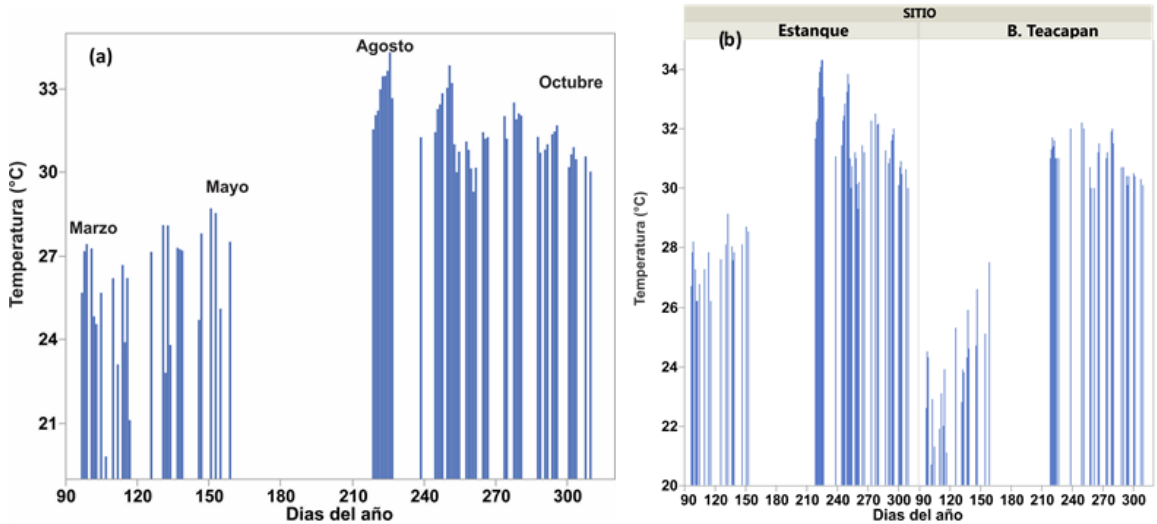


Figura b. Variación de la temperatura promedio en el año, durante los periodos primavera y verano-otoño. (ba) Comparación de la variación de la temperatura en el estanque (prueba) y en la B. Teacapan (Control) Fig. bb.

Salinidad

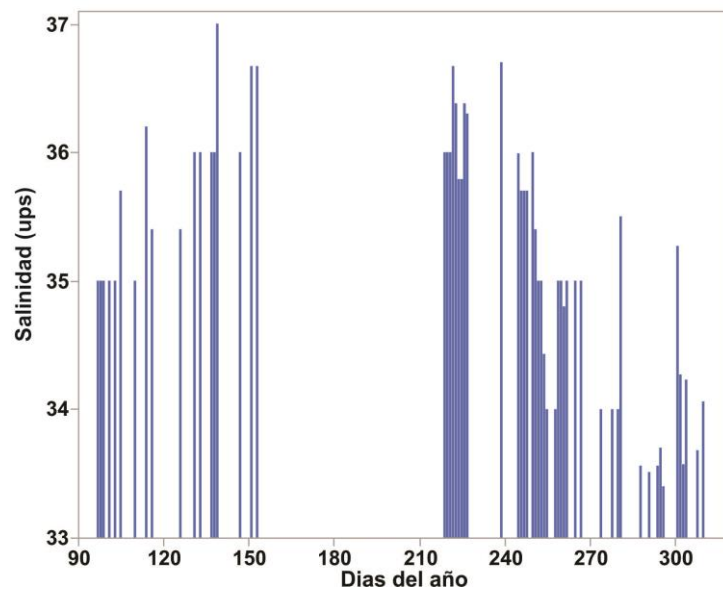


Figura c. Variación promedio de la salinidad en el estanque (prueba).

pH

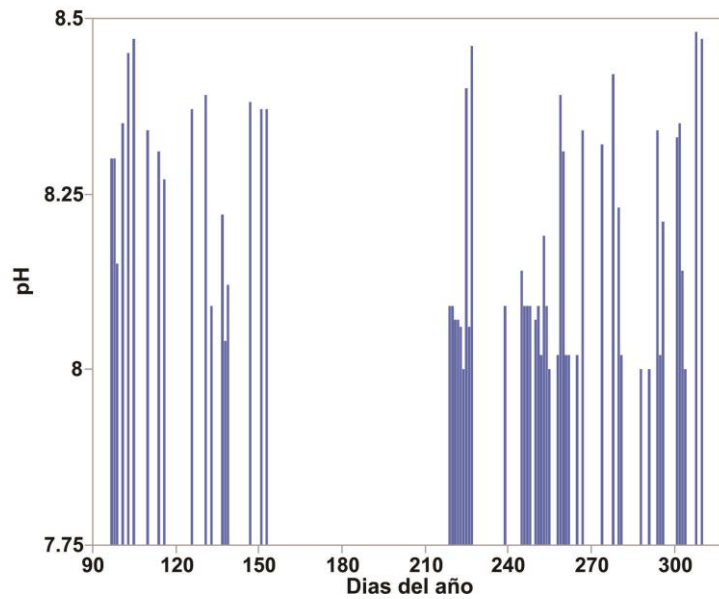


Figura d. Variación promedio de la salinidad con los días del año en el estanque (prueba).

Oxígeno disuelto

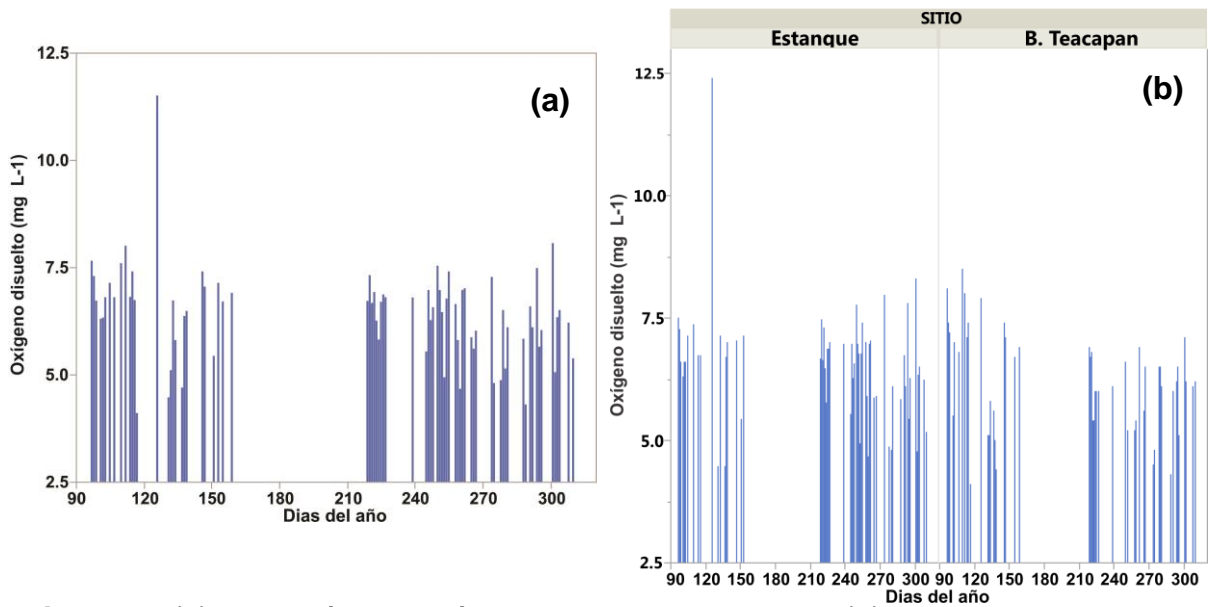


Figura e. (a) Variación del oxígeno disuelto promedio y (b) un comparativo entre las masas de agua del estanque y la B. Teacapán a lo largo del año.

Movimiento del agua

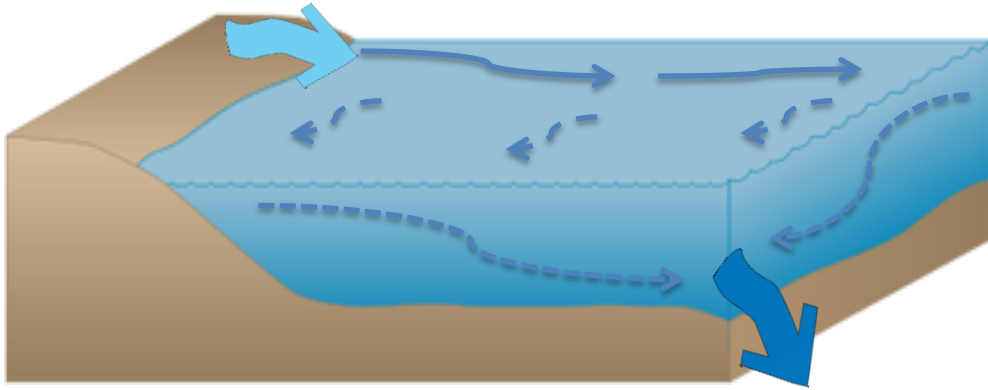


Figura f. Movimiento del agua en los estanques.