Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

Efectividad de diferentes dosis del fertilizante NPK (13-6-40) en el crecimiento de la *Nannochloropsis oculata*

Effectiveness of different doses of NPK fertilizer (13-6-40) on the growth of *Nannochloropsis oculata*

Duarte-Bonilla J. A.[1], Alemán-Gutiérrez S. M.[1], Hernández-Dimas V. M.[1], Hernández-Espinoza K. M.[1*], Cea-Navas N. E.[1].

Duarte-Bonilla J. A.
alexduartebonilla@gmail.com

Alemán-Gutiérrez S. M.
alemanscarleth23@gmail.com

Hernández-Dimas V. M.
valeria.hernandez@ev.unanleon.edu.ni

Hernández-Espinoza K. M.
karelia.hernandez@ct.unanleon.edu.ni

Cea-Navas N. E.
noelia.cea@ev.unanleon.edu.ni

***Autor de correspondencia:** karelia.hernandez@ct.unanleon.edu.ni

[1] Dirección específica de Acuícola, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua.

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua
ISSN-e: 2410-7980
Periodicidad: Semestral
Edición Especial. vol.12, núm.23, 2026
ribcc@ev.unanleon.edu.ni
Fecha de recepción: 20 de Octubre 2025
Fecha: aprobación 06 de Julio 2026
Fecha de Publiación: 11 de Septiembre 2026
URL:https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/1248
DOI: https://doi.org/10.5377/ribcc.v12i23.23716

Copyright © 2026 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), Area de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias / Dirección Especifica de Agroecología y Agronegocios / Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos cientificos.

Esta obra está bajo una Licencia internacional Creative Commons Atribución NoComercial-compartirigual 4.0

Resumen

Antecedentes: La producción de la microalga marina *Nannochloropsis oculata* se ve limitada por los altos costos que representan los medios de cultivo enriquecidos tradicionales. Por ello, resulta imperativo identificar fertilizantes alternativos rentables que no comprometan su perfil nutricional. En esta investigación se evaluó el efecto de tres dosis del fertilizante agrícola NPK 13-6-40 en la producción de la cepa de *Nannochloropsis oculata,* correlacionando el rendimiento productivo con los parámetros fisicoquímicos del cultivo. **Metodología:** El experimento duro 11 días cultivando la microalga en unidades de cultivo de 14 litros, fertilizadas con dosificaciones de 0.05, 0.10 y 0.20 g. El monitoreo de la densidad celular se realizó diariamente mediante el uso de una cámara de Neubauer, se aplicaron las pruebas estadísticas de Kruskal-Wallis, Duncan y correlaciones de Pearson para la variable densidad celular. **Resultado:** Se determinó que la dosis 0.10 g fue significativamente superior, alcanzando un pico de 3,282,363 cel/ml al quinto día, comparado con los rendimientos menores de las dosis de 0.05 g y 0.20 g. El análisis de Pearson demostró que el pH presentó una relación directa y altamente significativa con el crecimiento celular en todas las dosis, mientras que en la dosis de 0.20 g el amonio y el nitrato tuvieron una relación directa que sugiere un estrés por exceso de nutrientes. **Conclusión:** Concluyendo que la dosis de 0.10 g de NPK 13-6-40 optimiza la productividad de la *Nannochloropsis oculata,* garantizando un equilibrio nutricional, posicionando al pH como el factor fisicoquímico más determinante en su desarrollo.

Palabras clave: Microalgas marinas, biomasa, macronutrientes, parámetros fisicoquímicos, acuicultura.

Abstract

Background: The production of the marine microalga *Nannochloropsis oculata* is limited by the high cost of traditional enriched culture media. Therefore, it is imperative to identify cost-effective alternative fertilizers that do not compromise its nutritional profile. This research evaluated the effect of three doses of the agricultural fertilizer NPK 13-6-40 on the production of the *Nannochloropsis oculata* strain, correlating yield with the physicochemical parameters of the culture. **Methodology:** The experiment lasted 11 days, cultivating the microalga in 14-liter culture units, fertilized with doses of 0.05, 0.10, and 0.20 g. Cell density was monitored daily using a Neubauer chamber. The Kruskal-Wallis test, Duncan's multiple range test, and Pearson correlations were applied to the cell density variable. **Results:** The 0.10 g dose was found to be significantly higher, reaching a peak of 3,282,363 cells/ml on the fifth day, compared to the lower yields of the 0.05 g and 0.20 g doses. Pearson's correlation analysis demonstrated that pH had a direct and highly significant relationship with cell growth at all doses, while at the 0.20 g dose, ammonium and nitrate levels showed a direct relationship, suggesting nutrient stress. **Conclusion:** In conclusion, the 0.10 g dose of NPK 13-6-40 optimizes the productivity of *Nannochloropsis oculata*, ensuring nutritional balance, with pH being the most determining physicochemical factor in its development.

Keywords: Marine microalgae, biomass, macronutrients, physicochemical parameters, aquaculture.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la microalga marina Nannochloropsis oculata despierta un gran interés en el ámbito biotecnológico y en el desarrollo del sector acuícola debido a su excepcional contenido lipídico, destacándose por su elevado aporte de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), tales como el ácido eicosapentaenoico (EPA), el ácido araquidónico (ARA) y el docosahexaenoico (DHA) (Hernández-Pérez & Labbé, 2014). Estos compuestos nutricionales fortalecen su relevancia para la producción de biocombustibles y nutracéuticos, y son fundamentales como alimento primario para la nutrición de rotíferos, moluscos y larvas de peces marinos (Brown, et al., 1989; Otero, 1997; Fawley & Fawley, 2007).

Sin embargo, la producción de biomasa de esta microalga se enfrenta a un obstáculo critico en virtud de su alta demanda de macronutrientes esenciales como el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Los protocolos convencionales de este cultivo exigen el uso de medios enriquecidos de alta gama (como el medio f/2), los cuales resultan sumamente costosos, limitando la rentabilidad económica y la viabilidad de las producciones a gran escala (Sánchez-Torres et al., 2008; Osorio-Urtecho et al., 2020; Delgadillo-López et al., 2023).

Ante este problema, existe una necesidad urgente de identificar fertilizantes alternativos de bajo costo que logren satisfacer las demandas nutricionales de la microalga, superando el reto de igualar la biodisponibilidad de nutrientes de los medios convencionales sin generar desequilibrios iónicos o toxicidad que inhiban el crecimiento celular. En este escenario, se justifica el uso del fertilizante agrícola comercial NPK 13-6-40, el cual figura como una opción altamente soluble, libre de contaminantes pesados y con capacidad probada para aportar los elementos básicos para el crecimiento de algas (Palacios Sánchez et al., 2022).El ritmo de crecimiento de la Nannochloropsis oculata dependerá estrechamente de encontrar la dosificación exacta de este fertilizante alternativo, garantizando que parámetros fisicoquímicos vitales en el cultivo cerrado, como el pH y la temperatura, se mantienen estables para evitar un retraso en la división celular (Qiu et al., 2017; Osorio-Urtecho et al., 2020).

La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto de diferentes dosis del fertilizante alternativo NPK 13-6-40 en la producción de Nannochloropsis oculata, cuantificando su densidad poblacional y relacionando directamente el rendimiento productivo obtenido con los parámetros fisicoquímicos del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

***Descripción del área de estudio*:** El presente estudio es de tipo experimental puro y de corte transversal. La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigaciones Marítimas y Acuícolas (LIMA), pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), León. Para evitar fluctuaciones térmicas que estresaran el cultivo se suministró iluminación artificial continua (fotoperíodo 24/7) mediante lámparas de luces LED, asegurando una disponibilidad lumínica homogénea y constante para optimizar la actividad fotosintética de las microalgas. Asimismo, la temperatura del laboratorio se mantuvo en un rango de 18- 20 grados centígrados mediante el uso de aires acondicionados, asegurando con esto la estabilidad térmica del medio para evitar retrasos en la división celular, complementado por una agitación constante de la inyección de oxígeno.

***Descripción de los tratamientos*:** Se evaluó un diseño experimental complementa al azar compuesto tres concentraciones del fertilizante agrícola NPK (13-6-40) aplicadas por recipiente de 14 L: 0.05 g (T_1), 0.10 g (T_2) y 0.20 g(T_3), las cuales equivalen respectivamente a concentraciones de 0.0036 g/L, 0.0071 g/L y 0.0143 g/L con tres repeticiones por tratamiento, el experimento estuvo constituido por un volumen total de 126 L de agua, distribuido uniformemente en nueve unidades experimentales de plástico transparente con una capacidad de 14 L cada una, siguiendo la configuración de réplicas recomendada para el escalamiento de Nannochloropsis oculata en medios no convencionales (Osorio-Urtecho et al., 2020; Palacios-Sánchez et al., 2022).

Establecimiento del bioensayo: Previamente al montaje, todo el material experimental fue sometido a procesos de esterilización rigurosa. En condiciones de asepsia dentro del cepario, se reactivó el inóculo primario de *Nannochloropsis oculata* mediante la dilución de la cepa pura en agua estéril. De forma paralela, los recipientes experimentales se acondicionaron mediante lavado, filtración y desinfección del agua. La inoculación final se realizó transfiriendo la suspensión microalgal a las unidades experimentales, seguida de la adición directa de las dosis correspondientes de NPK 13-6-40. Los cultivos se mantuvieron bajo agitación neumática mediante aireación continua a fin de garantizar la suspensión celular, el intercambio gaseoso y la homogeneidad de los nutrientes en el medio.

Toma de datos de las variables estudiadas: El bioensayo contempló un período de monitoreo de 11 días continuos. Cada mañana, tras las primeras 24 horas de la aplicación de los tratamientos, se extrajo diariamente una muestra de 1 ml de cada una de las nueve unidades experimentales (tres tratamientos con tres réplicas cada uno), obteniendo un total de 99 muestras a lo largo del experimento. Para garantizar la exactitud en la cuantificación del crecimiento poblacional (cel/ml), las lecturas se realizaron por triplicado para cada muestra (equivalente a 297 conteos independientes), depositando la alícuota en una cámara de Neubauer y observándola bajo un microscopio óptico en los objetivos de 10x, 40x y 100x, siguiendo las técnicas estandarizadas para la evaluación cuantitativa de biomasa microalgal (Arredondo Vega & Voltolina, 2007).

Además, se recolectaron los datos diarios de los parámetros fisicoquímicos del cultivo: temperatura (°C), pH, concentración de amonio (mg/L) y concentración de nitrato (mg/L).

Análisis de datos**:** La base de datos se estructuró y organizó en Microsoft Excel 365, para luego ser exportada al software estadístico SPSS v. 27. Inicialmente, se verificaron los supuestos estadísticos mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de homogeneidad de variaciones de Levene. Al comprobarse que los datos no cumplían con dichos supuestos paramétricos, se aplicó la prueba H de Kruskal-Wallis para determinar la existencia de diferencias significativas en el crecimiento celular, complementada con la prueba de comparación de medios de Duncan con un nivel de confianza del 95%. Finalmente, para relacionar el rendimiento productivo con el entorno del cultivo, se calcularon las Correlaciones de Pearson entre la cantidad de células y los parámetros fisicoquímicos registrados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis realizado a la producción de biomasa de *Nannochloropsis oculata* evidenció que los mayores valores se obtuvieron al aplicar la dosis de 0.10 g de fertilizante NPK 13-6-40, la cual sobresalió tanto en el crecimiento promedio como en el pico poblacional máximo del cultivo (Tabla 1). En contraste, la menor concentración celular promedio se registró en el tratamiento con la dosis de 0.05 g, mientras que la dosis de 0.20 g mostró una leve mejoría frente a esta última, aunque ambos tratamientos mantuvieron rendimientos promedio significativamente bajos en comparación con la dosis óptima.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos sobre la cantidad de cel/ml por dosis de fertilizante NPK (13-6-40)

Dosis	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar.
0.10 g	200,000	8,900.000	3,282,363.64	2,489,493.75
0.20 g	300,000	5,900,000	2,095,353.54	1,472,641.99
0.05 g	300,000	500,000	1,992,626.26	1392531.74

Autor de correspondencia: karelia.hernandez@ct.unanleon.edu.ni

La superioridad productiva de la dosis de 0,10 g se debió a que proporcionó el balance nutricional óptimo de N y P requerido para la síntesis celular activa de la microalga, alcanzando la máxima tasa de crecimiento sin generar efectos de toxicidad por exceso de nutrientes. Como señalan Boyd y Tucker (2012), las dosis intermedias de fertilizantes promueven un ambiente óptimo en la relación de nutrientes, evitando la competencia interespecífica y la inhibición. En contraste, el menor rendimiento en la dosis alta (0.20 g) posiblemente se atribuye a una saturación de sales inorgánicas (principalmente potasio), lo que genera un estrés osmótico y desequilibrio iónico celular limitante (Hargreaves, 1998). De manera inversa, la dosis de 0.05 g carece de los niveles mínimos de macronutrientes, provocando que la microalga agote rápidamente el medio y entre a la fase estacionaria de forma prematura.

Para validar estos resultados, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la cual confirmó diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilizante utilizadas en relación con la concentración celular (valor-p = 0.001) (Tabla 2).

Tabla 2: Prueba H de Kruskal Wallis para la cantidad de células / ml por dosis de fertilizante NPK (13-6-40)

Estadísticos de prueba[a,b]	Células
H de Kruskal-Wallis	14,470
gl	2
Sig. asin.	,001

a. Prueba de Kruskal Wallis

Variable de agrupación: Dosis

Estos resultados estadísticos confirman lo reportado por Palacios Sánchez et al. (2022), quienes destacan que la utilización del medio NPK 13-6-40, al contener todos los elementos necesarios para el desarrollo microalgal, afecta directamente el ritmo de división celular, requiriendo una dosificación exacta para optimizar su productividad sin alterar la calidad del agua.

Adicionalmente, el análisis de Correlación de Pearson demostró la interacción directa de los parámetros fisicoquímicos en el rendimiento productivo. En todas las dosis evaluadas (0.10 g, 0.20 g y 0.05 g), el pH presentó una correlación directa y altamente significativa ($p < 0.01$) con el crecimiento celular (Tabla 3). Por su parte, la influencia del amonio y nitrato varió según la cantidad de fertilizante; en la dosis óptima (0.10 g) no mostraron influencia significativa, pero en la dosis alta (0.20 g) presentaron correlaciones directas y significativas (Tabla 3). La temperatura solo mostró una correlación inversa y significativa en la dosis de 0.10 g.

Tabla 3: Correlaciones de Pearson de la cantidad de cel/ml de Nannochloropsis oculata y factores fisicoquímicos.

Dosis			Células	Temp.	pH	Amonio	Nitrato
0.10 g	Células	Correlación de Pearson	1	-,218*	,408**	,124	-,007
		Sig. Bilateral		,030	,000	,220	,949
		N	99	99	99	99	99
0.20 g		Correlación de Pearson	1	-,177	,454**	,300**	,370**
		Sig. Bilateral		,079	,000	,003	,000
		N	99	99	99	99	99
0.05 g		Correlación de Pearson	1	-,193	,321**	,132	,324**
		Sig. Bilateral		,056	,001	,194	,001
		N	99	99	99	99	99

La fuerte asociación del pH se justifica debido a que los valores de este parámetro regulan el metabolismo de las microalgas; en cultivos cerrados, el consumo acelerado de nutrientes genera fluctuaciones alcalinas que pueden llegar a inhibir el crecimiento celular, por lo que mantenerlo estable es fundamental para prolongar la fase exponencial (Qiu et al., 2017). Por otro lado, la correlación positiva del amonio y nitrato exclusiva en la dosis alta (0.20 g) corrobora que concentraciones elevadas de fertilizante causan una saturación de nitrógeno orgánico que deriva en toxicidad, limitando la reproducción y provocando un estancamiento celular (Fanelli et al., 2023).

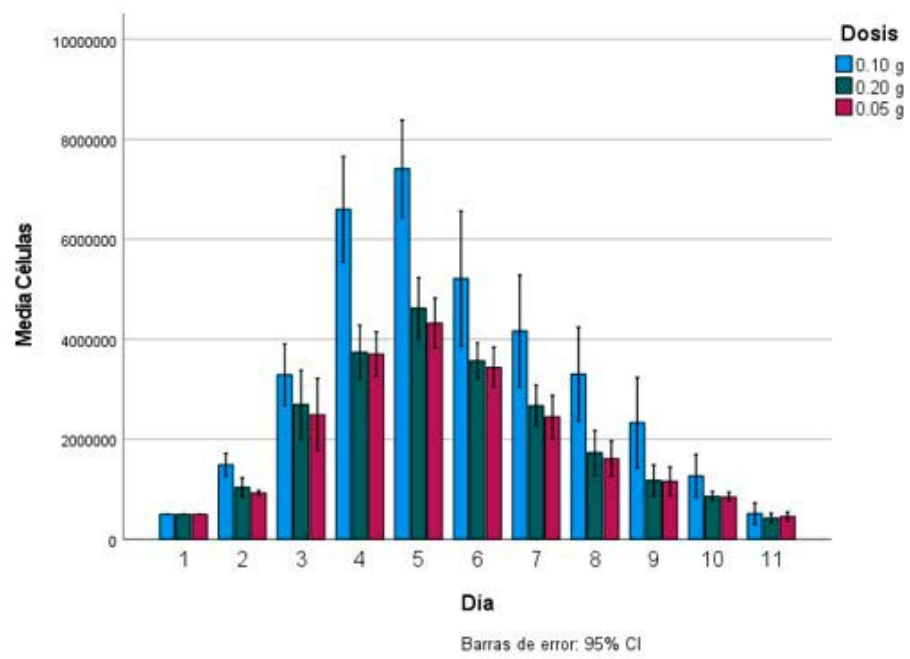

Figura 1. Promedio de cel/ml de microalgas de Nannochloropsis oculata en las diferentes dosis de fertilizante NPK (13-6-40)

El crecimiento típico de las microalgas en todas las dosis alcanzó su fase estacionaria a los cinco días de iniciado el experimento (Figura 1). La concentración de proporcionaron la relación estequiométrica nitrógeno-fósforo óptima para estimular la biosíntesis de proteínas y pigmentos fotosintéticos durante la fase exponencial (días 2 a 5), acelerando la división celular sin exceder el umbral de tolerancia osmótica (Osorio-Urtecho et al., 2020). A partir del día seis, todas las curvas mostraron un declive progresivo. La muerte celular acelerada hacia el día 11 se atribuye posiblemente al agotamiento completo de las fuentes de nitrógeno disuelto en los recipientes afectando la densidad de las microalgas (Richmond & Hu, 2013).

CONCLUSIONES

En respuesta al objetivo de la investigación, se concluye que el fertilizante alternativo NPK 13-6-40 tiene un efecto directo y altamente significativo sobre el crecimiento de la microalga *Nannochloropsis oculata*. El mayor hallazgo de este estudio demuestra que la dosis de 0.10 g es la concentración óptima para el cultivo, ya que proporciona el equilibrio exacto de macronutrientes (nitrógeno y fósforo) que maximiza la producción de biomasa. El uso de esta dosificación específica es fundamental, ya que logra evitar la rápida deficiencia de nutrientes que provocan las dosis menores y, al mismo tiempo, previene el estrés osmótico y el desequilibrio iónico por saturación de sales que ocurre al aplicar dosis más altas.

Autor de correspondencia: karelia.hernandez@ct.unanleon.edu.ni

Declaraciones
***Fondos*:** Esta investigación fue autofinanciada.
***Conflicto de intereses*:** Los autores no revelaron conflictos de intereses.
Cumplimiento de estándares éticos: No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.
***Contribuciones de Autores*:** Todos los autores contribuyeron en: conceptualización, metodología, redacción, análisis de datos, borrador original, redacción, revisión y edición.
***Disponibilidad de datos*:** Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

Arredondo Vega, B. O., & Voltolina, D. (2007). *Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de la biomasa microalgal*. Centro de Investigaciones Biológicas Del Noroeste, S.C. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/539.

Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science & Business Media.

Brown, M. R., Jeffrey, S. W., & Garland, C. D. (1989). *Nutritional aspects of microalgae used in mariculture: A literature review*. CSIRO Marine Laboratories. https://doi.org/10.25919/5bbb9b2e71b6e.

Delgadillo-López, A. E., González-Escamilla, E., & Guipzot-Ibarra, J. (2023). *Estudio comparativo de dos medios de cultivo de la microalga Nannochloropsis oculata. Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad, 2*(1), 288–295.

Fanelli, F., Montemurro, M., Michela, V., Garbetta, A., Bavaro, A., Chieffi, D., & Fusco, V. (2023). *Evaluación del potencial probiótico y la seguridad de cepas tipo de especies de Weissella y Periweissella. Microbiology Spectrum, 11*(2), Artículo e03047-22. https://doi.org/10.1128/spectrum.03047-22.

Fawley, K. P., & Fawley, M. W. (2007). *Observaciones sobre la diversidad y ecología de Nannochloropsis (Eustigmatophyceae) de agua dulce, con descripciones de nuevos taxones. Protist, 158*(3), 325–336. https://doi.org/10.1016/j.protis.2007.03.003.

Hargreaves, J. A. (1998). *Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. Aquaculture, 166*(3–4), 181–212.

Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 49*(2), 157–173. https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001.

Osorio-Urtecho, K., Palacios-Sánchez, K. M., Lumbi-Ortega, D. M., Hsieh, P., Zúñiga-González, C. A., & Aguilar, A. J. (2020). Capacidad reproductiva de *Nannochloropsis oculata* en diferentes concentraciones de salinidad y fertilizante: Una contribución a la bioeconomía acuícola. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático, 6*(12), 1440–1455. https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i12.9977.

Otero, A., García, D., & Fábregas, J. (1997). Factors controlling eicosapentaenoic acid production in semicontinuous cultures of marine microalgae. *Journal of Applied Phycology, 9*(5), 465–469. https://doi.org/10.1023/A:1007930804367.

Palacios Sánchez, K. M., Aguilar, A. J., & Hsieh, P.-Y. (2022). *Ritmo de crecimiento de Nannochloropsis oculata usando diferentes concentraciones de salinidad y F/2 Guillard en 10 y 23 días de cultivo* [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional UNAN-León. http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/9727?mode=full.

Qiu, R., Gao, S., Lopez, P. A., & Ogden, K. L. (2017). Effects of pH on cell growth, lipid production and CO2 addition of microalgae Chlorella sorokiniana. *Algal Research, 28*, 192–199. https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.11.004.

Richmond, A., & Hu, Q. (Eds.). (2013). *Handbook of microalgal culture: Applied phycology and biotechnology* (2.ª ed.). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781118567166.

Sánchez-Torres, H., Juscamaita-Morales, J., Vargas-Cárdenas, J., & Oliveros-Ramos, R. (2008). Producción de la microalga Nannochloropsis oculata (Droop) Hibberd en medios enriquecidos con ensilado biológico de pescado. *Ecología Aplicada, 7*(1-2), 111–118. http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a18v7n1-2.pdf.

Autor de correspondencia: karelia.hernandez@ct.unanleon.edu.ni