

Viabilidad económica de la biomasa para la elaboración de productos comerciales en Girardot - Colombia

Economic viability of biomass for the production of commercial products in Girardot - Colombia

 <https://doi.org/10.21803/adgnosis.14.15.909>

DARIO BENAVIDES PAVA

 <https://orcid.org/0000-0002-0987-7920>

SANDRA BIBIANA VARGAS

 <https://orcid.org/0000-0002-6583-0932>

HERNÁN DARÍO FONTECHA TARAZONA

 <https://orcid.org/0000-0001-6602-4732>

DAIRO ARLEY TORRES VARGAS

 <https://orcid.org/0000-0002-8908-0259>

ELKYN RAFAEL LUGO ARIAS

 <https://orcid.org/0000-0002-7049-4451>

Cómo citar este artículo:

Benavides, D., Vargas, S., Fontecha, H., Torres, D. y Lugo, E. (2025). Viabilidad económica de la biomasa para la elaboración de productos comerciales en Girardot - Colombia. *Ad-gnosis*, 14(15). e-909. <https://doi.org/10.21803/adgnosis.14.15.909>

Resumen

Introducción: En la presente investigación se identifica la viabilidad económica, financiera y técnica para la producción microalgas a partir de las aguas residuales producidas en el distrito de riego de Barzalosa en el Alto Magdalena (Girardot Cundinamarca - Colombia); algas que se emplean como alimento para peces y, la producción de repelente con base en las semillas de 1330 árboles Neem (*Azadirachta Indica*), especie no nativa con presencia en el municipio de Girardot, aceptado por los pobladores locales quienes la emplean para atenuar la intensidad de la luz solar. Ambos recursos, abundantes en la región, presentan oportunidades para desarrollar productos sostenibles que contribuyan a la seguridad alimentaria y al control de plagas. La viabilidad económica depende de la implementación de prácticas de cultivo sostenibles y el suministro constante de materias primas.

Palabras claves: Biomasa; Microalgas; Neem; Repelente; Seguridad alimentaria; Viabilidad.

Abstract

Introduction: This research identifies the economic, financial and technical feasibility for the production of microalgae from wastewater produced in the Barzalosa irrigation district in Alto Magdalena (Girardot Cundinamarca - Colombia); algae that are used as fish food and the production of repellent based on the seeds of 1330 Neem trees (*Azadirachta Indica*), a non-native species present in the municipality of Girardot, accepted by the local inhabitants who use it to attenuate the intensity of sunlight. Both resources, abundant in the region, present opportunities to develop sustainable products that contribute to food security and pest control. Economic viability depends on the implementation of sustainable cultivation practices and a constant supply of raw materials.

Keywords: Biomass; Microalgae; Neem; Repellent; Food security; Feasibility.



1. INTRODUCCIÓN

Las microalgas y los árboles de Neem desempeñan un papel crucial en el ámbito de las fuentes de biomasa renovable, contribuyendo significativamente a las prácticas sostenibles. Las microalgas son organismos fotosintéticos que constituyen una fuente renovable y sostenible a largo plazo, de biomasa de rápido crecimiento en diversos entornos (Deviram et al., 2020). Son ideales para la producción de biocombustibles, productos bioactivos medicinales e ingredientes alimentarios, sin competir con la producción de alimentos, lo que las convierte en una opción atractiva para múltiples aplicaciones (Muhammad et al., 2018).

Las microalgas como fuente de alimento animal, tienen la capacidad de proporcionar nutrientes esenciales como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y antioxidantes, lo que a su vez puede contribuir a la seguridad alimentaria y a la mitigación del cambio climático (Kusmayadi et al., 2020).

Adicionalmente, las semillas de los árboles de Neem (*Azadirachta indica*), de la familia Meliaceae, son un repelente altamente eficaz, conocido por suprimir la alimentación de los insectos a concentraciones muy bajas. Esta planta de hoja perenne es resistente a la sequía y prospera en climas subhúmedos a semiáridos (Schmutterer, 1990) y contiene más de 200 aleloquímicos con diversas propiedades pesticidas (Koul & Wahab, 2004). Las semillas del neem contienen un 40% de aceite con azadiractina como principal ingrediente activo, responsable de su actividad insecticida (Isman et al., 1991). En conjunto, el neem se convierte en un biopesticida ideal sin toxicidad para los mamíferos (Chaudhary et al., 2017), aprovechando todos sus componentes para diversas aplicaciones agrícolas y terapéuticas. Esta abundancia de árboles de neem en Girardot brinda la oportunidad de aprovecharlos para diversos usos, incluyendo la producción de bio repelentes. Por otro lado, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas de la región favorecen el cultivo de microalgas con doble propósito: biorremediación de aguas residuales y producción de microalgas para alimento animal.

En Girardot, Cundinamarca, específicamente en el casco urbano, hay una alta cantidad de árboles de neem (*Azadirachta indica*) con alrededor de 1330 individuos de neem en el inventario forestal de Girardot (Guevara Ibargüen, 2020). Se han realizado estudios a nivel mundial que han demostrado el gran potencial de biomasa que tienen las microalgas y los árboles de neem para la creación de nuevos productos amigables con el medio ambiente.

Dado lo anterior, existe la necesidad de mejorar y aplicar tecnologías limpias que aumenten la producción y disminuyan los costos en Colombia para la utilización o aprovechamiento de esta biomasa de forma sostenible, para generar productos viables técnica y económicamente con el biocomercio y la bioeconomía circular, donde se sustituyan los empaques plásticos que están contaminando gravemente el medio ambiente por productos biodegradables que contribuyan al ecosistema y a la calidad de vida de las personas.

El objetivo de esta investigación es identificar la viabilidad económica de la producción de biomasa con base a microalgas y neem para la elaboración de productos comerciales en Girardot - Colombia

El propósito de este estudio es establecer el potencial productivo y económico de la biomasa microalgal y de las semillas de Neem en las condiciones de la provincia del Alto Magdalena. Desde la perspectiva productiva, el estudio se enfocará en determinar el rendimiento de la producción de alimento para peces a partir de fotogramas y el rendimiento de las semillas de Neem en la generación de repelentes. En cuanto al potencial económico, se evaluarán los costos asociados con el desarrollo de prototipos de comida a base de microalgas y la producción de repelentes, como un primer paso hacia la comercialización de estos productos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Evaluación económica de la biomasa. Dependiendo de la ubicación, el producto objetivo y el sistema del reactor, los factores críticos de costos pueden variar significativamente. Para cerrar la notable diferencia de precios entre el petróleo y el diésel a base de algas, es necesario abordar el potencial de optimización disponible en todos los diferentes pasos de la cadena de producción (Singh & Gu, 2010; Lugo-Arias et al., 2020). Algunas opciones, hasta ahora identificadas y abordadas actualmente, son la reducción de la necesidad de energía para la mezcla, la gasificación y el control de la temperatura durante el cultivo, mejorando al mismo tiempo el suministro de luz del cultivo, mediante el diseño del reactor (Balasubramanian & Jayaraman, 2012).

En lugar de la aireación atmosférica o el uso de dióxido de carbono puro, se pueden utilizar gases de combustión de plantas industriales. De este modo, además de reducir costes, se puede mejorar la huella ecológica. Siempre que sea posible debido a la ubicación y la cepa de algas, el cultivo podría realizarse utilizando agua residual, para reducir la cantidad de agua dulce necesaria (Balasubramanian & Jayaraman, 2012).

Los procedimientos de extracción sustitutivos o el acoplamiento de extracción y transesterificación mediante transesterificación in situ, ofrecen un potencial adicional para la reducción de costos y especialmente para la mejora de la huella económica (Singh & Gu, 2010). Sin embargo, hay pruebas sólidas de que los procesos que se centran en el biodiésel como único producto no serán económicamente viables en absoluto.

En cambio, los procesos de microalgas deben establecerse en el contexto de conceptos integrados de biorrefinería. En este caso, posibles rutas para la generación adicional de valor son el uso de la fracción de proteína celular para aplicaciones de piensos y la explotación fermentativa de fracciones de biomasa residual en plantas de biogás. Aun así, lo más prometedor parece ser la coproducción de sustancias de alto valor como pigmentos o antioxidantes y materias primas para la síntesis química sostenible (Singh & Gu, 2010). Además de la ingeniería de procesos y de la cadena de valor, en la elección y optimización del propio sistema biológico reside un extraordinario potencial de optimización. Además de la productividad, la evaluación de las cepas candidatas debe llevarse a cabo con respecto a las condiciones ambientales locales como la temperatura y la intensidad de la luz, así como su dinámica (Singh & Gu, 2010). Las cepas de producción deben adaptarse aprovechando las herramientas moleculares. De este modo se pueden adaptar a las condiciones predominantes. Además, deben tenerse en cuenta los enfoques de la biología de sistemas. Estos

ofrecen oportunidades para una ingeniería metabólica racional dirigida a la optimización de los flujos metabólicos hacia una mayor productividad o la introducción de nuevas vías para la coproducción de productos valiosos (Singh & Gu, 2010).

2.2. Cinética del cultivo por lotes fototróficos. A diferencia de la nutrición heterótrofa, el metabolismo de los microorganismos fototróficos está impulsado por metabolitos energéticos extraídos de la reacción luminosa de la fotosíntesis. Los mecanismos subyacentes se han estudiado con gran detalle y se han descrito ampliamente en la literatura (Aiba, 2005; Blankenship, 2014). Además, se han desarrollado numerosos modelos empíricos y mecanicistas para cuantificar estas relaciones, como lo revisaron exhaustivamente Béchet et al. (2013). Para aplicaciones biotecnológicas, la dependencia del crecimiento de la intensidad de la luz, es de extraordinaria importancia durante la ingeniería de procesos y reactores.

2.3. Desarrollo acelerado de bioprocesos. Debido al amplio espacio de parámetros, que además incorpora interacciones dinámicas, los bioprocesos se caracterizan por una alta complejidad. A pesar de los amplios conocimientos disponibles sobre biología celular e ingeniería de procesos, hoy en día el desarrollo predictivo de procesos sigue siendo imposible en la mayoría de los casos. Como resultado, surge la necesidad de realizar numerosos experimentos para la detección de deformaciones y parámetros. Este inconveniente normalmente se soluciona mediante una serie de etapas de desarrollo que se caracterizan por un aumento incremental de escala y contenido de información (Chmiel, 2011).

2.4. Gestión del capital de trabajo y viabilidad económica en los negocios comerciales.

El objetivo final de las finanzas corporativas es hacer que el capital disponible sea lo más rentable posible. Los fondos puestos a disposición aparecen como capital o préstamos en el lado del pasivo del balance y como inversiones o activos corrientes en el lado del activo. Capital de trabajo es un término tomado de las finanzas corporativas y a menudo se utiliza para referirse a saldos de corto plazo (Meyer, 2007).

La viabilidad económica y la gestión del capital de trabajo también se convirtieron en un tema importante porque las empresas han estado explorando diferentes formas de financiar sus actividades, ya que en los últimos años el costo de la deuda a largo plazo aumentó y los nuevos niveles de costos eran difíciles de afrontar. Por lo tanto, “la gestión del capital de trabajo es relevante en la forma en que influye en la rentabilidad y el riesgo de la empresa” (Smith, 1980).

Hay varios autores que apoyan la importancia de la gestión del capital de trabajo haciendo referencia a la importancia de la gestión de las necesidades de corto plazo y la importancia de la viabilidad económica y financiera para las empresas (Weinraub & Visscher, 1998; Schaeffer, 2002; Meyer, 2007). Cuando las necesidades de capital de trabajo son positivas, es necesaria una inversión en capital de trabajo y los administradores tendrán que conseguir fondos y cubrir los mayores costos de capital. Si las necesidades de capital de trabajo son negativas, entonces las empresas obtienen crédito de los proveedores.

Las políticas de Viabilidad Económica y Gestión del Capital de Trabajo tienen un impacto di-

recto en la cadena de suministro y en las relaciones entre las empresas, proveedores y clientes. Por tanto, los directivos deben ser conscientes del impacto de dichas políticas en la rentabilidad de la empresa. Ambas estrategias se utilizan comúnmente para satisfacer las condiciones del negocio entre la empresa, los compradores y proveedores.

En lo que se refiere a estas políticas, García y Martínez (2007) explican dos grandes estrategias de gestión del capital de trabajo, “las políticas agresivas y conservadoras se diferencian en el equilibrio entre el peso de los activos corrientes y los pasivos de corto plazo”. García y Martínez (2007) definen las estrategias concluyendo que una gestión agresiva de activos da como resultado que se minimice el capital en activos corrientes versus inversiones a largo plazo.

3. METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis. La implementación de equipos y materiales hacen viable técnica y económicamente la producción de biomasa con base a microalgas y neem para la elaboración de productos comerciales en Girardot - Colombia.

3.2. Tipo y enfoque de Investigación. El tipo de investigación es de tipo descriptivo y de enfoque cuantitativo. El enfoque de investigación es cuantitativo y de carácter experimental sobre el potencial productivo y económico de la biomasa microalgal y de las semillas de Neem en las condiciones de la provincia del Alto Magdalena, que contribuya a la creación de bienes amigables con el medio ambiente con el fin de prevenir la contaminación con productos degradables tradicionales.

3.3. Datos de variables y procedimiento Metodológico. Para caracterizar el potencial de biomasa de semillas de neem y la biomasa microalgal, se evaluó la disponibilidad y rendimiento de compuestos bioactivos del neem y el potencial como alimento animal de la biomasa microalgal. Con las tecnologías disponibles para la generación de biomasa microalgal y para el procesamiento de extractos naturales con acción bio repelente, se analizaron los costos de capital y operativos.

Para determinar la productividad de las microalgas se utilizaron 10 fotobiorreactores estáticos y agua residual agroindustrial (drenaje del distrito de riego Barzalosa) en donde se analizó la producción de fotogránulos durante 8 días en promedio. Los fotogránulos se producen espontáneamente cuando una fuerza de corte baja es aplicada, en este caso agitación de 50 rpm. La densidad que los fotogránulos alcanzan es suficiente para que se precipiten, facilitando su remoción de los fotobiorreactores y por ende reduciendo costos en energía. El efluente de salida se sometió análisis de cianotoxinas y análisis bromatológico estándar.

La productividad de semillas de Neem en la ciudad de Girardot se determinó a partir de herramientas de información geográfica, empleando metodologías de geoprocésamiento y segmentación de las comunas para cuantificar la biomasa presente. Por otro lado, los frutos recolectados se secaron durante dos semanas a temperatura ambiente y la semilla fue separada de la fruta, luego la corteza con la semilla se secó durante otras dos semanas a 25°C y se trituró con procesador de alimentos hasta la formación de gránulos (Wannang et al., 2015). Luego se obtuvieron los ex-

tractos a partir de procesos de maceración en frío con etanol al 96% (v/v) durante un periodo de cuatro semanas, así como extracción por soxhlet con etanol durante 8 horas por una semana, los extractos se llevaron a evaporación reducida (rotaevaporador DLAB, model RE100-pro, PEK, China) para su concentración y se secaron para determinar su rendimiento de acuerdo con la muestra de biomasa recolectada (Tesfaye et al., 2020; Subramanian et al., 2019).

La investigación evaluó los costos de producción del repelente natural a partir de semillas de Neem y de producción de microalgas para alimento animal. Se analizaron los costos experimentales de procesamiento de biomasa, la inversión necesaria para una planta prototipo, y la viabilidad social, ambiental y comercial del proyecto. Se realizaron experimentos controlados y se evaluaron los impactos sociales y ambientales mediante la caracterización de la población Girardoteña.

3.4. Consideraciones Éticas. El desarrollo de la presente investigación se realizó bajo los principios de la bioética; beneficencia, eficiencia y justicia; cumpliendo con el código de Helsinki y por consiguiente con el respeto necesario hacia los mismos, los cuales comprenden a las personas que se les realizó el estudio y la persona evaluadora.

4. RESULTADOS

En la generación de fotogranulos como alimento animal, no se requirieron insumos adicionales más allá del agua residual agroindustrial. Los fotogranulos son fáciles de recolectar debido a su alta densidad, lo que provoca que se precipiten Al fondo de los fotobiorreactores. Estos fotobiorreactores consistieron en recipientes transparentes con agitación constante. En las condiciones de Girardot, con una temperatura promedio de 35°C y una agitación constante de 50 rpm, se logró producir hasta 4900 g semanales de foto granulos en peso húmedo a partir de 1000 litros de agua residual agroindustrial. Según análisis bromatológicos, por cada 100 g de foto granulos, 12,03 g corresponden a proteínas, 4,39 g a grasas y menos de 2 g a carbohidratos. Además, los análisis para la detección de cianotoxinas (microcistinas, cilindrospermopsina, anatoxinas) resultaron negativos, lo que indica la ausencia de estos compuestos tóxicos.

4.1. Viabilidad económica y rendimiento en la producción de biomasa. Para el caso de las semillas de Neem, se recolectaron 5 kg de semillas de Neem para la elaboración de un extracto, de las cuales, tras el proceso de secado, se obtuvo una biomasa residual de 1,328 g. Luego, se realizó la maceración en frío con etanol al 96%, obteniéndose 110,709 g de extracto, lo que representa un rendimiento del 8.33%. El rendimiento de la biomasa fue del 26%. Con este extracto, se pueden producir 92 repelentes, dado que se necesitan 1.2 g de extracto por cada 120 g de repelente. Si se trabaja con la biomasa producida en Girardot en un año, estimada en 29,028.45 g, se podrían fabricar 6,290 repelentes

4.1.1. Costos de pruebas de laboratorio. Los costos asociados a las pruebas de laboratorio se desglosan en costos de insumos y operativos por prueba. Para el caso de los fotogranulos el insumo es de valor cero ya que el agua residual agroindustrial no tiene un valor comercial, sin embargo, se consideró su transporte, el uso de floculadores con capacidad para 10 litros de agua funcionando 24

horas al día y mano de obra. Para la recolección de las semillas de Neem, se consideraron reactivos y materiales especializados para la extracción de los compuestos repelentes, mantenimiento constante y mano de obra (Tabla 1).

Tabla 1.

Costos por cada experimento en la producción de alimento para peces a partir de foto gránulos y repelente a partir de las semillas Neem

	Actividad	Costos por prueba
1	Costos de insumos y operativos semanales	\$ 650.000
2	Sistematización de la información	\$ 763.504
3	Investigación de mercado	\$ 1.090.720
4	Transporte y viáticos	\$ 1.199.793
5	Imprevistos 10% del total	\$ 338.123
	Total	\$ 3.719.356

Nota. Autores con base en los diferentes proveedores de la Universidad.

A continuación, se detallan los costos para la puesta en funcionamiento de una planta prototipo que permita precisar con mayor detalle el valor del proyecto final. La tabla detalla los costos asociados a la fase de implementación de un proyecto, distribuidos en tres categorías principales: gastos preoperativos, inversiones en activos fijos, y capital de trabajo. Los gastos pre operativos incluyen los costos relacionados con la elaboración de la minuta, el registro y la legalización de la empresa ante las autoridades correspondientes, como la DIAN, además de la obtención de la licencia de funcionamiento necesaria para operar. También se contemplan los gastos asociados a reparaciones locativas para acondicionar el espacio físico del proyecto. Estos gastos incluyen un valor base y el correspondiente IVA, que se suma al total de esta categoría.

4.1.2. Capital de Trabajo. Las inversiones en activos fijos comprenden la adquisición de equipos, junto con otros elementos necesarios. Cada uno de estos ítems considera el costo de compra y el IVA aplicable, lo que contribuye al total de las inversiones en esta sección.

Tabla 2.

Inversión para la puesta en funcionamiento de una planta prototipo de producción de fotos gránulos y repelente a partir de las semillas Neem

	Costo	IVA 19%	Total
Gastos preoperativos			
Elaboración de minuta	\$ 23.995		
Registro	\$ 179.968		
Legalización de empresa en la DIAN ¹	\$ 46.901		
Licencia de funcionamiento	\$ 27.268		
Reparaciones locativas	\$ 923.840	\$ 175.529	\$ 1.099.369
Sub -Total	\$ 1.201.972	\$ 175.529	\$ 1.377.501

Inversiones en Activos fijos			
Maquinaria	\$ 46.216.030	\$ 8.781.045	
	\$ 54.997.075		
Mesón	\$ 128.705	\$ 24.453	\$ 153.158
Portátil	\$ 1.386.306	\$ 263.398	\$ 1.649.704
Despesa	\$ 230.142	\$ 43.727	\$ 273.869
Impresora	\$ 277.043	\$ 52.638	\$ 329.681
Mobiliario	\$ 277.043	\$ 52.638	\$ 329.681
Escritorio	\$ 461.374	\$ 87.661	\$ 549.035
Sub - Total	\$ 48.976.643	\$ 9.305.560	\$ 58.282.203
Capital de trabajo			\$ 61.952.952
Total			\$ 121.612.656

1. Dian, Dirección de impuestos y aduanas nacionales

Nota. Autores con base en los diferentes proveedores de la Universidad

Finalmente, el capital de trabajo representa los fondos necesarios para cubrir los gastos operativos del proyecto una vez esté en marcha, asegurando la capacidad de funcionamiento inicial. Dado lo anterior, se puede avanzar a la fase de implementación de tecnologías limpias y se cumplirá con la producción que el mercado encargó, haciendo rentable la inversión de este bionegocio sosteniblemente.

5. DISCUSIÓN

La productividad de las microalgas a pequeña escala puede ser baja, sin embargo, el proceso de biorremediación que estas realizan tiene un valor significativo, ya que permite tratar el agua y prevenir la eutrofización de los cuerpos de agua. Esta biomasa puede utilizarse como suplemento para alimento de peces ya que en los análisis bromatológicos presentó un porcentaje de proteínas del 12% y no existió de presencia de cianotoxinas, proporcionando una fuente natural, renovable y segura de nutrientes para la acuicultura (Viegas et al., 2021).

Por otro lado, el rendimiento obtenido del Neem permite la producción de 92 repelentes a partir de 5 kg de semillas, lo cual es un buen rendimiento, ya que con una pequeña cantidad de materia prima se logra generar una cantidad significativa de producto final. Además, al considerar la biomasa anual estimada en Girardot, que permitiría la producción de aproximadamente 6.290 repelentes, se demuestra que el proceso es eficiente y escalable, lo que lo hace viable tanto a pequeña como a gran escala (Boursier et al., 2011). Este nivel de producción sugiere que el método es adecuado para satisfacer la demanda del mercado, aprovechando de manera óptima los recursos disponibles.

Además, las condiciones ambientales del bosque seco tropical, donde se encuentran aproxi-

madamente 180,000 habitantes de la provincia del Alto Magdalena y 150,000 más en municipios aledaños del Tolima, favorecen la presencia y propagación de vectores de enfermedades como el dengue y la malaria (Jiménez et al., 2023). En este contexto, los productos derivados del procesamiento de la semilla de Neem y sus subproductos tienen un gran potencial para garantizar la sostenibilidad económica y financiera del proyecto.

En términos de mercado se puede asegurar que existen los componentes que satisfacen ampliamente las condiciones de éxito, por una parte, la existencia de materia prima abundante, es decir individuos de árbol de Neem en volumen suficiente para pensar en su industrialización y posteriormente su comercialización (Ahmed & Grainge, 1986) y, por otra la sentida necesidad de cerca de 330.000 habitantes del territorio de contar con una fuente de alimentos para eventuales emprendimientos pesqueros que posibiliten su sostenibilidad alimentaria (Yarnold et al., 2019).

Sin embargo, para lograr la industrialización de los productos derivado del Neem de manera sostenible se debe garantizar el suministro constante de las materias primas, es decir la biomasa para la producción de microalgas, fuente de alimento para peces y abonos y, las semillas para producción del repelente natural; se sugiere cultivar técnicamente la planta en los espacios territoriales donde se evidencien los impactos ambientales por deforestación provocada seguramente por el pastoreo y siembra de cultivos industriales

6. CONCLUSIONES

El análisis del potencial productivo y económico de las microalgas y las semillas de Neem en la región del Alto Magdalena revela oportunidades significativas para el desarrollo de productos sostenibles. La producción de fotosintetizados a partir de microalgas ofrece una fuente renovable y eficiente de alimento para peces, con un rendimiento adecuado en términos de calidad y seguridad. Por otro lado, el extracto de semillas de Neem demuestra un rendimiento favorable, con la capacidad de producir un número considerable de repelentes, aprovechando la abundancia de árboles en la región. Estos resultados sugieren que tanto la producción de alimentos a base de microalgas como la fabricación de repelentes a partir de Neem son viables y sostenibles, contribuyendo al bienestar económico y ambiental de la región. Sin embargo, para una industrialización exitosa, es crucial garantizar un suministro constante de materias primas y considerar prácticas de cultivo sostenibles.

7. Referencias

- Ahmed, S. & Grainge, M. (1986). Potential of the neem tree (*Azadirachta indica*) for pest control and rural development. *Economic Botany*, 40, 201-209. <https://doi.org/10.1007/BF02859144>.
- Aiba, S. (2005). Growth kinetics of photosynthetic microorganisms. In A. Fiechter (Ed.), *Advances in Biochemical Engineering* (pp. 85-156). Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.
- Balasubramaniyan, B. & Jayaraman, J. (2012). Integrated dairy plant effluent treatment and production of biomass and lipids using micro algae - "*Chlorella vulgaris*". *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 10 (1). <https://doi.org/10.1515/1542-6580.2658>
- Béchet, Q., Shilton, A. & Guieysse, B. (2013). Modeling the effects of light and temperature on algae growth: State of the art and critical assessment for productivity prediction during outdoor cultivation. *Biotechnology Advances*, 31(8), 1648-1663.
- Blankenship, R. E. (2014). *Molecular mechanisms of photosynthesis*. WileyBlackwell
- Boursier, C., Bosco, D., Coulibaly, A. & Nègre, M. (2011). Are traditional neem extract preparations as efficient as a commercial formulation of azadirachtin A? *Crop Protection*, 30 (3), 318-322. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2010.11.022>
- Chaudhary, S., Kanwar, R. K., Sehgal, A., Cahill, D. M., Barrow, C. J., Sehgal, R. & Kanwar, J. R. (2017). Progress on *Azadirachta indica* based biopesticides in replacing synthetic toxic pesticides. *Frontiers in plant science*, 8, 226969. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00610>
- Chmiel, H. (2011). *Bioprozesstechnik*. Spektrum Akademischer Verlag.
- Deviram, G., Mathimani, T., Anto, S., Ahamed, T. S., Ananth, D. A. & Pugazhendhi, A. (2020). Applications of microalgal and cyanobacterial biomass on a way to safe, cleaner and a sustainable environment. *Journal of Cleaner Production*, 253, 119770.
- García-Teruel, P. J., & Martínez-Solano, P. (2007). Effects of working capital management on SME profitability. *International Journal of Managerial Finance*, 3(2), 164-177. <https://doi.org/10.1108/17439130710738718>
- Guevara Ibargüen, L. F. (2020). Análisis del potencial que presenta los residuos de poda del árbol neem (*azadirachta indica*) en el casco urbano de GIRARDOT (Cundinamarca) para la producción de biochar y su aplicación en el tratamiento de aguas. Editorial Universidad de Cundinamarca. <https://www.ucundinamarca.edu.co/selloeditorial/>
- Hernandez Belaidés, H. J. (2025). Beneficios de la energía solar en la conservación del medio ambiente mediante su uso en centros comerciales de Barranquilla. *Sapiendus*, 1(1), e-1. <https://doi.org/10.70335/sapiendus.1.1.1>
- Isman, M. B., Koul, O., Arnason, J. T., Stewart, J. & Salloum, G. S. (1991). Developing a neem-based insecticide for Canada. *The Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 123(S159), 39-46.
- Jay Vanegas, W., Mugno Noriega, A., & Luis López, J. (2021). Educación financiera, un enfoque al crecimiento y desarrollo social. *Ad-Gnosis*, 10(10), 43-55. <https://doi.org/10.21803/adgnosis.10.10.468>
- Jiménez, A. D., Cárdenas Carrillo, C., Ariza Tello, A., Echeverri, J. A., González, A. D., Gutiérrez,

- H. R., Matta, N., Rojas, T., R., Tiquidimas, D. R., Venegas, C. S., Vengoechea, C. & Keller, C. (2023). Indigenous ecological calendars and seasonal vector-borne diseases in the Colombian Amazon: an intercultural and interdisciplinary approach. *Acta Amazonica*, 53(2). <https://doi.org/10.1590/1809-4392202200910>.
- Koul, O. & Wahab, S. (2004). *Neem: today and in the new millennium*. Kluwer Academic Publishers. <https://landportal.org/organization/kluwer-academic-publishers>
- Kusmayadi, A., Leong, Y. K., Yen, H-W., Huang, C. Y. & Chang, J-S. (2020). Microalgae as sustainable food and feed sources for animals and humans—Biotechnological and environmental aspects. *Chemosphere*, 271(4), 129800.
- Lugo-Arias, J., Burgos-Vergara, J., Lugo-Arias, E., Gould, A. & Ovallos-Gazabon, D. (2020). Evaluation of low-cost alternatives for water purification in the stilt house villages of Santa Marta's Ciénaga Grande. *Heliyon*, 6(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03062>
- Meyer, C.A. (2007). *Working Capital and Corporate Value*. Editorial Springer Verlag.
- Mosquera Castro, A. L. ., Leal Céspedes, J. C. ., & Montoya Monsalve, J. N. . (2021). El bienestar como práctica de alto rendimiento en la Organización. Una mirada desde el modelo de Ryff. *Ad-Gnosis*, 10(10), 83-101. <https://doi.org/10.21803/adgnosis.10.10.471>
- Muhammad, I., Shin, J. H. & Kim, J. D. (2018). The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>
- Schaeffer, M. S. (2002). *Essentials of Accounts Pa-*
- yable (1st edition). Editorial Wiley.
- Schmutterer, H. (1990). Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Annual review of entomology*, 35(1), 271-297. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001415>
- Singh, J. & Gu, S. (2010). Commercialization potential of microalgae for biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2596-2610. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.014>
- Smith, K.V. (1980). *An Overview of Working Capital Management*. (2nd ed.). Editorial McGraw-Hill.
- Subramanian, S., Salleh, A. S., Bachmann, R. T. & Hossain, M. S. (2019). Simultaneous extraction and separation of oil and azadirachtin from seeds and leaves of *Azadirachta indica* using binary solvent extraction. *Natural Product Sciences*, 25(2), 150–156. <https://doi.org/10.20307/nps.2019.25.2.150>
- Tesfaye, B., Tefera, T., Misikir, O. & Tsegaye G. (2020). Extraction and comparison of essential oil from neem seed by using soxhlet extraction and simple distillation methods. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 5(9), 74–81. <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v5.i9.2018.291>
- Viegas, C., Gouveia, L. & Gonçalves, M. (2021). Aquaculture wastewater treatment through microalgal. Biomass potential applications on animal feed, agriculture, and energy. *Journal of environmental management*, 286, 112187 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112187>
- Wannang, N. N., Ajayi, V. F., Ior, L. D., Dapar, L. M. P., Okwori, V. A. & Ohemu, T. (2015). Mosquito Repellent Property of *Azadirachta Indica* Extract (Fruit Bark and Seed Kernel). *Scientific Research*

Journal (SCIRJ), 3(6). <https://www.scirj.org/papers-0615/scirj-P0615257.pdf>

Weinraub, H. J. & Visscher, S. (1998). Industry Practice Relating to Aggressive Conservative Working Capital Policies. *Journal of Financial and Strategic Decisions*, 11(2), 11-18.

Yarnold, J., Karan, H., Oey, M. & Hankamer, B. (2019). Microalgal aquafeeds as Part of a Circular Bioeconomy. *Trends in plant science*, 24(10). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.06.005>