

Estudio y aplicación de fuentes alternas para el cuidado ambiental, específicamente obtención de biodiesel y fabricación de un sistema de acuaponía.

Tovar Campos Elizabeth^{1*}; Alcocer Anaya Miriam Mayela^{1*}; Castillo Suárez Darla Denisse^{2*}; Cap González Sofía del Pilar^{3*}; Nava Pérez Nallely^{1*}; González Guerra Guillermo Manuel.

1 [Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato].

2 [Escuela del Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato]
e.tovarcampos@ugto.mx; mm.alcoceranaya@ugto.mx

Resumen

En las últimas décadas, se han incrementado drásticamente la sobre explotación de los recursos naturales, así como el índice de contaminación del planeta, aunado a ello, han sido cada vez más los problemas ambientales; lo que ha llevado al ser humano a buscar e implementar alternativas sustentables para revertir el deterioro del planeta. En el presente proyecto, se presentan conjuntamente la implementación y análisis de dos de estas alternativas para el cuidado ambiental, con el objetivo de abarcar tanto la problemática de la huella de hídrica como la huella de carbono. Por un lado, se llevó a cabo el diseño y estudio de un sistema acuapónico para determinar y comparar los factores que influyen en este método; empleando especies de peces *Carassius auratus* y *Cyprinus carpio koi* para el cultivo de *Ocimum basilicum* y *Mentha*. Por otro lado, se reporta la síntesis de biodiesel a partir de aceite de soya, por el método de transesterificación; caracterizando, además, sus propiedades físicas y químicas mediante técnicas espectroscópicas (IR, UV-Visible y RMN) y métodos convencionales. Obteniéndose en ambos casos resultados satisfactorios; analizando las ventajas, desventajas y pers-

pectivas de la aplicación de estos productos como fuentes alternativas para contrarrestar el deterioro ambiental.

Abstract

In recent years, the environmental pollution index and the overexploitation of natural resources have increased dramatically. Due to this, researches have been looking for sustainable alternatives and environmental solutions. Two alternatives for environmental care have been jointly studied in the present research. These alternatives aim to cover both the problem of carbon footprint and water footprint. Firstly, an aquaponic system was designed and studied to determinate its effects in the *Mentha* and *Ocimum basilicum* cultivation by using *Carassius auratus* and *Cyprinus carpio koi* species. On the other hand, an efficient synthesis of biodiesel is reported, by the transesterification of triglycerides from soybean oil, the physical and chemical properties of biodiesel products were characterized using spectroscopy IR, UV-VIS, also NMR and conventional techniques. Satisfactory results were obtained in both cases, as alternatives sources in order to reduce environmental deterioration.

Palabras Clave

Deterioro ambiental; Alternativas sustentables; Síntesis de biodiesel; Sistemas acuapónicos.

La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), establecida en 1983 por la Organización de las Naciones Unidas; definió el concepto de sustentabilidad como el estilo de vida que tiene como principio el desarrollo sostenible; y a éste como el desarrollo que, satisfaciendo las necesidades presentes, garantizando también la satisfacción de las necesidades de generaciones futuras [1].

En la actualidad, el desarrollo de sistemas productivos, el sector industrial y el de transporte han contribuido a desencadenar e incrementar en gran medida el deterioro ambiental [1,2]. Por lo que es necesario incorporar una visión ecosistémica, incentivando la incorporación de tecnologías limpias, energías renovables y alternativas sustentables. La Agenda 2030 de las naciones unidas para el desarrollo sostenible pretende orientar a las poblaciones hacia un camino sostenible y resiliente, garantizando que todos posean las características, los conocimientos y habilidades para convertirse en ciudadanos responsables, ‘verdes’ y globales, empleando la ciencia y la tecnología como herramientas para el desarrollo de soluciones sustentables para reducir impactos en el medio ambiente [3].

En el presente proyecto, se busca llevar a cabo el estudio de dos fuentes alternativas, para determinar la factibilidad de su implementación a gran escala, e incorporarlas a la sociedad dentro del marco de desarrollo sostenible. Por un lado, se busca la disminución de la huella hídrica producida principalmente por la agricultura y el sector alimenticio. Para ello, se busca la implementación de la acuaponía, que es un sistema de producción integrado que vincula un sistema de recirculación acuícola y un sistema de producción agrícola sin suelo; en este sistema se cultivan peces y plantas de manera integral en donde los desperdicios de los peces proveen una fuente de nutrientes para las especies vegetales, promoviendo a su vez, un filtro natural en la que viven los peces [1,4], obteniendo los beneficios de ambos y disminuyendo en gran medida el consumo de agua. También, se busca la disminución de la huella de carbono, que es la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera (principalmente CO₂); esto gracias a la síntesis de biocombustibles, en particular biodiesel, que es una mezcla de ésteres alquílicos, producidos

a partir de la biomasa (aceites vegetales o animales) y que entre otras ventajas, presenta la característica de ser el único combustible alternativo en cumplir los requisitos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) sección 211(b) del “aire limpio” [5, 6].

Materiales y métodos.

•Materiales.

Para el sistema acuapónico se trabajó con las especies acuáticas *Carassius auratus* y *Cyprinus carpio koi*, conocidos comúnmente como goldfish y pez Koi, así mismo, con las especies vegetales *Ocimum basilicum*, albahaca, y *Mentha*. Por otro lado, para reacción de transesterificación se obtuvieron reactivos metanol (CH₃OH) e hidróxido de Sodio (NaOH), ambos en grado analítico (≥98% pureza), también se empleó aceite puro de soya de la marca Nutrioli. Para las técnicas de caracterización de los productos de biodiesel se usaron etanol absoluto (C₂H₅OH) y cloroformo deuterado (CDCl₃).

•Diseño del sistema acuapónico.

Se montaron dos sistemas, uno operada con *Carassius auratus* y otro con *Cyprinus carpio koi*. (Figura 1, a) ambos sistemas con ambas especies vegetales. Durante las 4 semanas, ambos sistemas fueron monitoreados, diariamente para verificar sus niveles de pH (tiras reactivas); cada tercer día para los niveles de nitratos y nitritos haciendo uso de test comerciales de la marca “Azoo” (Figura 1, b) y registrando semanalmente el crecimiento de las especies vegetales (longitud en cm).

•Reacción de transesterificación purificación y caracterización del biodiesel.



Figura 1: a) Sistemas de acuaponía, *Carassius auratus* (izq.) y *Cyprinus carpio koi* (der.) y b) Comparación colorimétrica empleando las pruebas comerciales para determinación de nitritos.

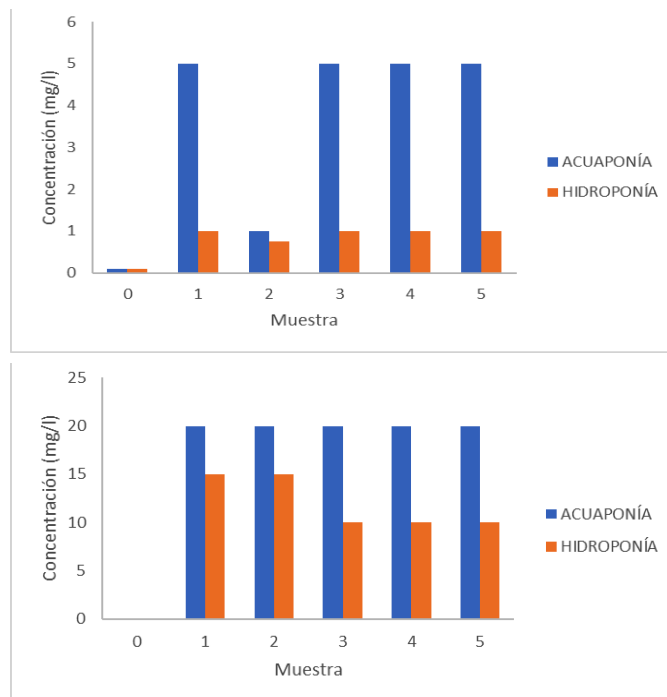
Se desarrolló un diseño de experimentos, tomando como factores de variación la temperatura (20-25°C de 50-55°C, 70-75°C y 90-95°C) y las concentraciones de la reacción, en relaciones MeOH:NaOH (1:56, 3:56 y 5:56) [5]. La reacción de transesterificación se llevó a

cabo en un sistema de reflujo, en atmósfera inerte de N₂; manteniendo la temperatura constante durante un periodo de tiempo de una hora, posteriormente, se colocó en un embudo de separación para la recolección del biodiesel y el subproducto glicerol. Se determinaron las propiedades físicas densidad, viscosidad y acidez. También se determinó la estabilidad oxidativa del biodiesel por el método de sonodegradación. Finalmente, el análisis estructural realizó por espectroscopía infrarroja IR, en un equipo Perkin Elmer Spectrum 100, con el accesorio ATR en una región de 4 000-650 cm⁻¹; y por espectroscopía de Resonancia Magnético Nuclear de protón ¹H, RMP [5, 7, 8, 9]

Resultados Y Discusión

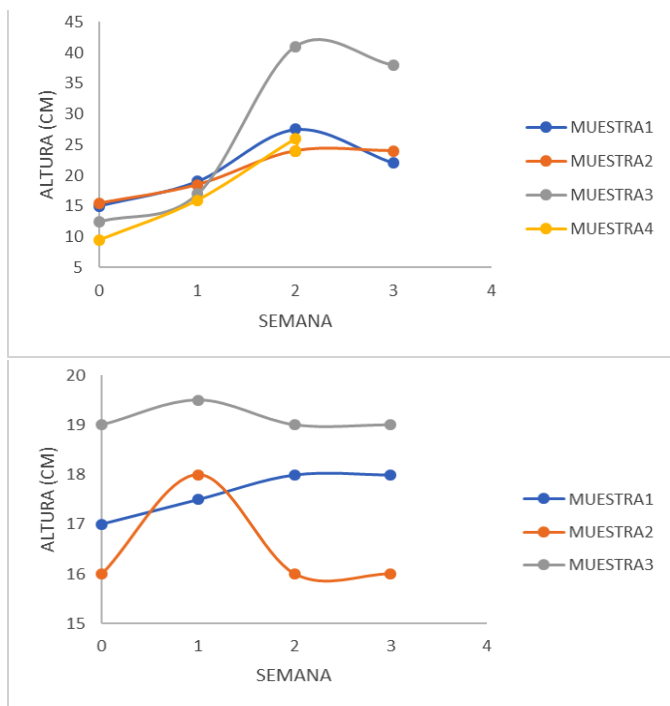
•Estudio y monitoreo del sistema acuapónico.

En los sistemas acuapónicos se lleva a cabo el proceso de biofiltración (proceso de conversión de una especie relativamente tóxica a una que no lo es) [10, 11]. El nitrato, a su vez es esencial para el crecimiento de las plantas debido a que está presente en casi todas las partes que lo conforman y en diversos procesos metabólicos que son esenciales (García, J. y Mendoza, L., 2009). Transcurrida una semana del montaje del sistema, la especie *Mentha* se transfirió del sistema acuapónico a uno hidropónico; para comparar el proceso de biofiltración de un sistema a otro y la influencia de las concentraciones de nitratos en el crecimiento de las especies. Los resultados del monitoreo de ambos sistemas se muestran en la Gráfica 1. En los dos sistemas se observó un aumento considerable en la concentración tanto de nitritos como nitratos. Al comparar los sistemas, se hace evidente que, en un sistema acuapónico, las concentraciones de estos compuestos nitrogenados son mayor especialmente en su forma de nitritos ya que, en un sistema hidropónico, al no tener una gran fuente amoníaco, las bacterias nitrificantes que intervienen en el proceso de biofiltración no tienen mucho sustrato de partida para transformarlo; en cambio, en un sistema acuapónico, debido a que el agua está en contacto con las especies acuáticas y sus desechos las bacterias nitrificantes llevan más rápidamente el proceso biológico para la reacción de oxidación del NH₃ a NO₂ y finalmente transformarlo en NO₃ [10, 11, 12].



Gráfica 1. Comparación de las concentraciones de Nitritos (izquierda), y Nitratos (derecha) entre un sistema acuapónico y un sistema hidropónico.

Dichos resultados, coinciden con los datos reportados en la Gráfica 2. En donde se muestra un mayor crecimiento de la especie vegetal *Ocimum basilicum*; y la comparación del crecimiento de ambas especies durante la primera semana, reflejan que las plantas presentan un cambio notorio cuando se modifica su entorno de un medio natural a uno mucho rico en concentración de Nitratos. Por otro lado, en los dos casos (la especie vegetal sometida a un sistema acuapónico y la sometida a uno hidropónico) mostraron crecimiento favorable a lo largo del periodo de monitoreo, por lo que se concluye que la *Mentha* (hidroponía) requiere un nivel más bajo de concentración de nitratos y nutrientes que la especie *Ocimum basilicum* (acuaponía) para su crecimiento. El anterior modelo de análisis puede ser aplicado y extrapolado a otras especies tanto acuáticas como vegetales, de ahí la importancia de la implementación en masa y a gran escala los sistemas acuapónicos como alternativas eficientes y sustentables para reducir el impacto de la industria de la agricultura y la acuicultura en el medio ambiente.



Gráfica 2. Comparación del crecimiento (en cm) de las especies vegetales *Mentha* (izquierda) y *Ocimum basilicum* (derecha) en sistemas hidropónico y acuapónico respectivamente.

•Rendimientos y caracterización de los productos de las reacciones de transesterificación.

Se estudiaron los efectos de los parámetros de la temperatura y la relación molar MeOH:NaOH, en los productos de las reacciones de transesterificación. Los rendimientos calculados, de acuerdo con el diseño experimental se presentan en la tabla 1. En dónde se observan rendimientos del 80.00-96.90% siendo la reacción en relación molar 5:56 y en un rango de temperatura de 70-80°C con la que se obtuvo un mejor rendimiento, aparentemente consistente con el uso de una mayor proporción molar de los precursores para una mayor transformación de reactivos a productos [5, 7].

Rendimiento (%)		Concentración MeOH:NaOH		
		1:56	3:56	5:56
Temperatura °C	20 – 30 °C	96.77	96.20	94.36
	50 – 60 °C	84.30	90.12	80.00
	70 – 80 °C	93.00	94.60	96.90

Tabla 1. Porcentaje de rendimientos de las reacciones de transesterificación.

En la figura 2, Se comparan los análisis espectrales IR de dos productos de biodiesel sintetizados a la misma temperatura (50-55°C) pero en diferentes concentraciones. En ambos casos, se observan las señales de absorción características de los grupos funcionales presentes en el biodiesel. Principalmente, dos señales entre 1300-1200cm⁻¹ pertenecientes a los ésteres metílicos que lo conforman. La señal que se encuentran entre 1460-1377cm⁻¹ indica la presencia de grupos alquilo. Por otro lado, la región de los grupos funcionales entre 1750-1730cm⁻¹ se encuentra un pico de alta intensidad correspondiente al grupo carbonilo. Además, ambos espectros presentan la señal de absorción entre 3000 y 2950 cm⁻¹, correspondientes al estiramiento de los enlaces C-H, características de los carbonos alifáticos [13]. Así mismo, se observa que la única diferencia apreciable, es la señal propia de los enlaces hidroxilo (3400-3300cm⁻¹) se hace más intensa conforme se incrementa la concentración molar del metanol; lo que indica que gran porcentaje del metanol adicionado queda sin reaccionar por lo que la concentración de grupos -OH es mayor en el producto.

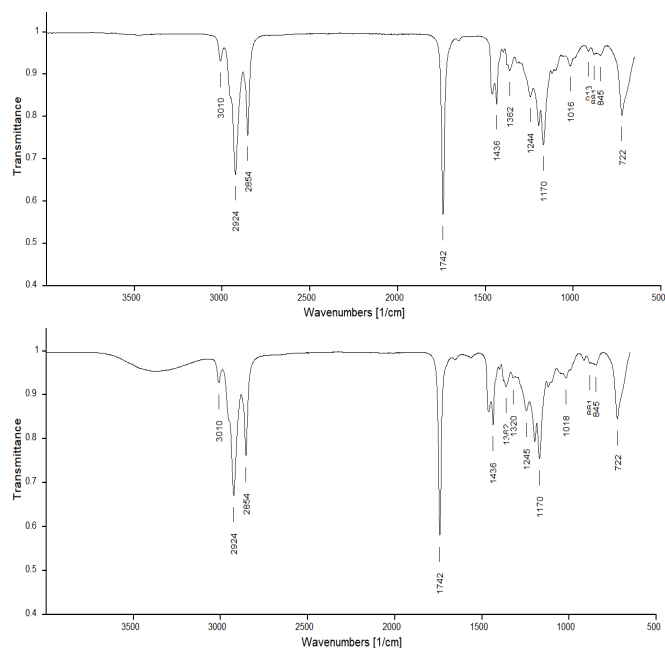


Figura 2. Espectro IR del biodiesel sintetizado a un rango de temperatura de 50 – 60 °C y a una concentración MeOH:NaOH de 1:56 (izq.), y Espectro IR del biodiesel sintetizado a un rango de temperatura de 50 – 60 °C y a una concentración MeOH:NaOH de 3:56.

Sin embargo, existen normas ASTM, DIN e ISO que describen los parámetros y características fisicoquímicas (densidad, viscosidad, acidez, entre otras) que debe poseer un producto de transesterificación para que sea considerado un biodiesel de calidad (Frangrui & Milford, 1999). En la tabla 2, se reportan los valores de las propiedades fisicoquímicas de cada producto obtenidas experimentalmente; así mismo, los rangos permitidos para cada ensayo y la norma que lo determina [6]. En la cual, es evidente que únicamente cinco productos de transesterificación cumplen satisfactoriamente con las normas de calidad. La estabilidad oxidativa, es una propiedad del biodiesel, que está relacionada con el tiempo de vida útil del producto y se define en términos del tiempo de inducción (Orozco, F.D. A., 2015). Bibliográficamente, se reportan valores para el tiempo de inducción de los biodiesel menores en relación con la norma ASTM D2274. Lo anterior debido a que el biodiesel comercial pasa por un proceso de refinado en el cual le son adicionados antioxidantes naturales o sintéticos con el fin de hacer más extensa la vida útil del producto [6, 7].

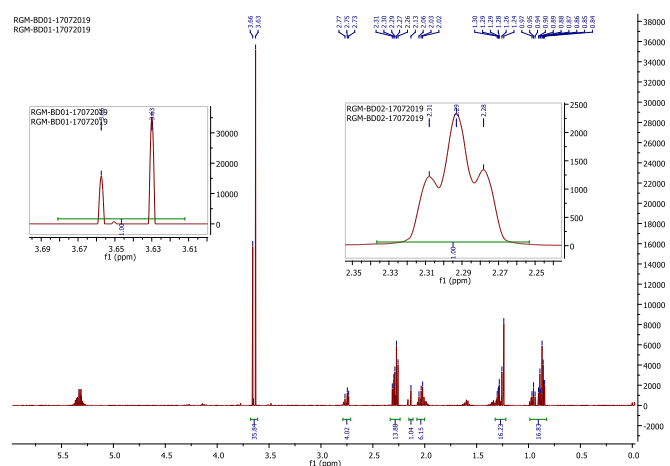
PROPIEDAD	Ensayo (límite máx.)	Producto de transesterificación (relación molar, rango de temperatura °C)								
		1:56, 20-25	3:56, 20-25	5:56, 20-25	1:56, 50-55	3:56, 50-55	5:56, 50-55	1:56, 70-75	3:56, 70-75	5:56, 70-75
Densidad @15°C	ASTM D1288 (0.86-0.90 g/cm³)	0.936	0.871	0.887	0.839	0.867	0.867	0.869	0.857	0.849
Viscosidad @40°C	ASTMmD445 (4.0-6.0 mm²/s)	21.64	5.125	8.871	5.250	4.683	4.634	10.87	4.921	4.319
Valor de Acidez	ASTM D2274 (0.5 máx. mg de NaOH/g)	**	0.106 ± 0.014	**	0.149 ± 0.022	0.192 ± 0.014	0.124 ± 0.012	**	0.117 ± 0.012	**
Estabilidad oxidativa	ASTM D2274 65-49* minutos Min.	**	5.6	**	4.7	4.1	5.9	**	6.0	**

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas reportadas por ensayo y experimentalmente para un biodiesel de calidad.

Norma EN 14214. Establece un límite de tiempo de inducción para el biodiesel mediante termodegradación no mínimo a 6 horas a 110°C.

**Determinación de características no realizada, debido a que los productos no cumplen con las principales propiedades de calidad (Densidad @15°C y Viscosidad @40°C)

El porcentaje de conversión de la reacción de transesterificación se determinó mediante espectroscopía RMN 1H. Yogesh-Sharma y Bhaskar [14] reportaron las señales esenciales en resonancia (figura 3) para calcular, mediante integración de la curva el porcentaje de conversión, %C de los ácidos grasos a metil éteres; aplicando la ecuación (1) y la integral de las señales de los grupos metoxi de los FAME's (3.6 ppm, singulete) y de los protones presentes en los grupos α-CH2 (2.3 ppm, triplete). Con lo que se obtuvo un %C igual a 59.83%, en promedio para las síntesis reportadas es la metodología.



$$\% C = 100 \times (2\text{AME} / 2\text{A}\alpha\text{-CH}_2) \quad (1)$$

Figura 3. Espectro de RMN, H1 del biodiesel sintetizado en un rango de temperatura de 50-55°C y una concentración MeOH: NaOH de 1:56.

Conclusiones

Se llevó a cabo la implementación y el análisis de dos alternativas sustentables para el medio ambiente. Primero, el estudio de un sistema de acuaponía empleando *Cyprinus carpio koi* (Pez Koi) y *Ocimum basilicum* (Albahaca); en donde al compararlo con un sistema de hidroponía se observa la diferencia significativa en los niveles de nitrato, fundamentales para el óptimo crecimiento de la especie vegetal. Por otro lado, se reportó la síntesis de biodiesel por el método de transesterificación, a partir de aceite de soya. Caracterizando las propiedades fisicoquímicas y estructurales de los productos; determinando al menos cinco síntesis efectivas para un biodiesel de calidad, y obteniendo un porcentaje de conversión a ésteres metílicos del 59.83%. En ambos casos se determinó la factibilidad, fiabilidad y eficiencia como fuentes alternativas. En perspectiva, la aplicación de un sistema acuapónico a gran escala permitiría la reducción del consumo de agua para cultivo, así

mismo la producción de peces para consumo humano. Por su parte, el diseño experimental de la síntesis de biodiesel tiene como objetivo específico el análisis cuantitativo de los productos para la formulación de un modelo cinético, que permita la aplicación del método sintético para la obtención eficiente de biodiesel a partir de cualquier fuente de ácido grasos vegetales o animales.

Agradecimientos

El grupo de trabajo agradece al Dr. Ricardo Navarro Mendoza y al laboratorio del Q. Francisco de J. Amézquita López por brindar los equipos y herramientas necesarios para la caracterización de los productos obtenidos en el presente proyecto.

Referencias

[1] Estrella-Suárez, M. V. & González-Vázquez, A. (2017) Desarrollo sustentable: Un nuevo mañana. (2ª ed.) México, Tlanepantla. Grupo Editorial Patria. pp.: 4-7.

[2] Bañuelos, J. R. (2017). Acuaponía: Parámetros básicos de diseño. Universidad Autónoma Agraria.

[3] Bokova, I. (2017). La UNESCO avanza: La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. [Online] Recuperado del sitio: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>. Fecha de consulta: 13 agosto de 2019.

[4] Rakocy, J. (2010). Aquaponics: Integrating fish and plant culture. California. 1-78

[5] Ma, F. & Hanna, M. A., (1999) Biodiesel: A review. 1(10), pp. 1-15.

[6] Adriana, I. & Medina, S. (2012) Obtención y caracterización de biodiesel a partir de semillas *Reinus commun's* (huerilla) modificados genéticamente. Tesis de doctorado. Universidad de Tecnológica de Pareira.

[7] Orozco, F. D. A., (2015) Biodiesel: estudios analíticos de métodos de análisis para el control de calidad. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur. Buenos Aires, Argentina. pp. 63-96.

[8] Silva-Reynoso, Y. Q., (2013) Desarrollo de membranas catalíticas para la producción de biodiesel. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química. Toluca, Estado de México. pp. 68-76.

[9] Dorín, J. & Tellez-Girón, V. L., (2008) Caracterización de aceite de deshecho para la producción de biodiesel, mediante espectroscopía infrarroja. Zacatecas, México.

[10] Candarle, P. (2006). Técnicas de acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura, pp. 14-20.

[11] García, J. L. G., Mendoza, M. D. L. N. R., García, P. S., & Acuña, E. A. G. (2009). Relación amonio/nitrato en la producción de hierbas aromáticas en hidroponía. *Agricultura Técnica en México*, 35(1), pp. 5-11.

[12] Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (589), I.

[13] Cross, A. & Jones, R. An introduction to practical infra-red spectroscopy. (3rd ed.)

[14] Sharma, Y. C., Singh, B., & Korstad, J. (2009). High yield and conversion of biodiesel from a nonedible feedstock (*Pongamia pinnata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 242-247.