

ISSN 2410-3950

Volumen 4, Número 12 – Julio - Septiembre 2017

Revista de Sistemas Experimentales

ECORFAN®

Indización



ECORFAN-Bolivia

- Google Scholar
- Research Gate
- REBID
- Mendeley
- RENIECYT

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD.

Director Regional

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC.

Director de la Revista

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC.

Relaciones Institucionales

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC.

Edición de Logística

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC.

Diseñador de Edición

SORIANO-VELASCO, Jesus. BsC.

Revista de Sistemas Experimentales, Volumen 4, Número 12, de Julio a Septiembre -2017, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia.

WEB:

www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org.

Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD, Co-Editor: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. ISSN-2410-3950. Responsables de la última actualización de este número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 30 Septiembre del 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Consejo Editorial

ALEMÓN-MEDINA, Francisco Radamés. PhD
Instituto Nacional de Pediatría, Mexico

POSADA-GOMEZ, Ruben. PhD
InstitutNationalPolytechnique de la Lorraine, Francia

RUIZ-AGUILAR, Graciela. PhD
Universidad de Guanajuato, Mexico

RANGEL-VILLALOBOS, Hector. PhD
Universidad De Guadalajara, Mexico

SOTERO-SOLIS, Victor Erasmo. PhD
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Peru

CORTES-SANCHEZ, Alejandro de Jesus. PhD
Secretaria de Salud, Mexico

HERNANDEZ-MARTÍNEZ, Rufina. PhD
University of California, USA

PALOS-PIZARRO, Isidro. PhD
Universidad Autonoma de Tamaulipas, Mexico

Consejo Arbitral

PNPI. PhD

Instituto Nacional de Neurologia y Neurocirugia, Mexico

DAJWZ. PhD

Federal University of MatoGrosso, Brazil

PRL. PhD

Universidad Tecnologica de Culiacan, Mexico

GTCC. PhD

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

DFSNM. PhD

Universidad Autonoma de Coahuila, Mexico

RLR. PhD

Universidad Autonoma de Sonora, Mexico

ACG. PhD

Instituto Politécnico Nacional, México

PFC. PhD

Washington State University, U.S.

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en las áreas de: Sistemas, Experimentales.

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

Como primer capítulo tenemos, *Evaluación técnica y financiera de un sistema fotovoltaico para iluminación en aulas de Instituciones de Educación Superior*, por MELCHOR-CHÁVEZ, Pedro, REYES-ALONSO, Gonzalo, ESCAMILLA-HERNÁNDEZ, Enrique, con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, como siguiente capítulo tenemos, *Comparación de la producción de biodiesel de Chlorella Protothecoides y Scenedesmus Sp mediante la adición de CO₂ de la fermentación alcohólica*, por HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué Addiel, como siguiente capítulo tenemos, *Caracterización de un calentador solar de bajo costo y con materiales de fácil acceso*, por RESENDIZ - BADILLO, Ramiro, MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, HERNÁNDEZ - RIVERA, Jaime, SOTO – ÁLVAREZ, Sandra, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, como siguiente capítulo tenemos, *Aplicación de tecnologías para el cultivo de junco*, por CARPINTEYRO-CHAVEZ, Lina Mariana, BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María, TEÓN-VEGA, Argelia y ALFONSO-ÁLVAREZ, Juan, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Tijuana, como último artículo tenemos, *Análisis del residuo seco generado en la purificación del biodiesel*, por SARRACINO-ORTIZ, Ana, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, Verónica, ANDRADE-DURÁN, Juan, y SARRACINO-MARTÍNEZ, Omar. Con adscripción en, Instituto de Energías Renovables UNAM, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad Autónoma de Campeche F.I., Universidad Autónoma de la Chontalpa.

Contenido

| Artículo | Pág. |
|---|-------|
| Evaluación técnica y financiera de un sistema fotovoltaico para iluminación en aulas de Instituciones de Educación Superior MELCHOR-CHÁVEZ, Pedro, REYES-ALONSO, Gonzalo, ESCAMILLA-HERNÁNDEZ, Enrique | 1-10 |
| Comparación de la producción de biodiesel de <i>Chlorella Protothecoides</i> y <i>Scenedesmus Sp</i> mediante la adición de CO₂ de la fermentación alcohólica HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué Addiel | 11-17 |
| Caracterización de un calentador solar de bajo costo y con materiales de fácil acceso RESENDIZ - BADILLO, Ramiro, MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, HERNÁNDEZ - RIVERA, Jaime, SOTO – ÁLVAREZ, Sandra | 18-35 |
| Aplicación de tecnologías para el cultivo de junco CARPINTEYRO-CHAVEZ, Lina Mariana, BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María, TEÓN-VEGA, Argelia y ALFONSO-ÁLVAREZ, Juan | 36-46 |
| Análisis del residuo seco generado en la purificación del biodiesel SARRACINO-ORTIZ, Ana , DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, Verónica, ANDRADE-DURÁN, Juan, y SARRACINO-MARTÍNEZ, Omar | 47-53 |

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Evaluación técnica y financiera de un sistema fotovoltaico para iluminación en aulas de Instituciones de Educación Superior

MELCHOR-CHÁVEZ, Pedro*†, REYES-ALONSO, Gonzalo, ESCAMILLA-HERNÁNDEZ, Enrique

Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

Los paneles solares fotovoltaicos son una alternativa para generar energía eléctrica y disminuir la producción de gases de efecto invernadero CO₂. El presente proyecto se enfoca en la implementación de un sistema fotovoltaico aislado a la red eléctrica, para iluminación en un aula por medio de lámparas fluorescentes, teniendo la cantidad de trescientos luxes sobre el plano de trabajo, NOM-025-STPS-2008. La instalación eléctrica se modifica de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-2012. El sistema consta de cuatro paneles fotovoltaicos conectados en paralelo, con capacidad de 250W cada uno, así como inversores de corriente, controladores de carga y banco de baterías. El estudio sobre la energía consumida se lleva a cabo por medio de un medidor de calidad de la energía. El sistema fotovoltaico instalado tiene una vida útil de veinticinco años, después de ese periodo disminuye su eficiencia en uno por ciento anual, tomando en cuenta la inversión inicial y el ahorro generado por el sistema fotovoltaico, se proyecta un retorno de la inversión aceptable.

Ahorro energético, consumo eléctrico, energía renovable

Abstract

Photovoltaic solar panels are an alternative process to generate electricity and reduce the production of greenhouse gases CO₂. This project focuses on the implementation of a photovoltaic system isolated to the power grid, lighting a classroom by fluorescent lamps, having an amount of three hundred lux on the working plane, according to Standard NOM-025STPS-2008. The Mexican Official Standard NOM-001-SEDE-2012 is used also to modify the electrical installation. The system consists of four parallel-connected photovoltaic panels with a capacity of 250W each, as well as current inverters, charge controllers and battery bank. For the study of the electrical consumption, a meter of quality of the electric energy is used. The installed photovoltaic system has a lifespan of twenty-five years, after that period it starts to decrease its efficiency by one percent annually, in reference to the initial investment and savings generated by the photovoltaic system, the return on investment is appropriate.

Electricity consumption, energy saving, renewable energy

Citación: MELCHOR-CHÁVEZ, Pedro, REYES-ALONSO, Gonzalo, ESCAMILLA-HERNÁNDEZ, Enrique. Evaluación técnica y financiera de un sistema fotovoltaico para iluminación en aulas de Instituciones de Educación Superior. Revista de Sistemas Experimentales. 2017, 4-12: 1-10.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: pmelchor@itsoeh.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

Derivado del estilo de vida moderna y al crecimiento de la población a nivel mundial, la demanda de energía eléctrica ha aumentado de forma exponencial, de continuar con esta tendencia es posible que la demanda exceda en la capacidad de abastecimiento (Lew, 2000) (Omer, 2008). En el proceso de la generación de energía eléctrica, cada año se producen en el mundo millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global (Di Stefano, 2000).

Investigaciones recientes muestran el uso de energías limpias para el desarrollo sustentable como una alternativa a la reducción del consumo de los combustibles fósiles, sin embargo, esto representa un alto costo y un lento crecimiento en el desarrollo de estas tecnologías (Midilli & Dincer, 2006).

En México se han realizado diferentes trabajos relacionados con la puesta a punto de sistemas fotovoltaicos y es uno de los temas de investigación en área de energías de mayor interés. La importancia que tiene la implementación de este proyecto estriba en los beneficios como son, la reducción del consumo de energía eléctrica producida por combustibles fósiles contaminantes al medio ambiente, es una fuente inagotable de energía, se reduce la dependencia del petróleo y otros combustibles fósiles. Bajos costos de mantenimiento.

Son sistemas silenciosos limpios que no afectan el medio ambiente. Modularidad, los módulos pueden ser añadidos gradualmente y así incrementar la energía disponible de acuerdo a la demanda. Cabe mencionar que la inversión inicial es significativa, pero su retorno es de corto a mediano plazo, ya que después de recuperar lo invertido, el resto de la energía producida representa utilidad.

Desarrollo

En el transcurso de los últimos diez años, el índice de independencia energética, que muestra la relación entre la producción y el consumo nacional de energía, disminuyó a una tasa promedio anual de 3.2%. Los hidrocarburos aportaron el 87.2% a la producción de energía primaria, 7.4% menor respecto a lo observado en 2014. La producción de fuentes no fósiles de energía primaria aumentó su participación, pasando de 8.7% a 9.3% de 2014 a 2015 (Secretaría de Energía, 2016).

En el año 2015, en el rubro de consumo final energético, el sector transporte representó el 46.4%, el cual creció 5.1% respecto a 2014, el sector industrial representó el 31.4%. El consumo en los sectores residencial, comercial y público creció 1.4% y representó el 18.7% (Secretaría de Energía, 2016). Se reporta que alrededor del 25% del total de la electricidad en el sector comercial es consumida por los sistemas de iluminación (Bleeker, 1993). El consumo oscila mucho de un país a otro y no es sólo debido a las condiciones climáticas y de diseño, sino también culturales y hábitos.

La energía solar

Es la potencia radiante producida por el sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión, que llegan a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía. Estos son llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre (Mendieta Melchor, 2002). Son transmitidos por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía la podemos percibir en forma de luz y calor.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de electricidad en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica, pero para poder producirla se requiere la utilización de dispositivos que capten la energía solar y la transformen en otra energía compatible con la demanda que se pretende satisfacer.

La celda fotovoltaica

Es un elemento que permite la transformación directa la luz en energía eléctrica. Su composición por materiales semiconductores permite que, al chocar un fotón con estos, se genere una diferencia de potencial. Al conectar los polos opuestos de esta juntura mediante un circuito, el voltaje permitirá la circulación de corriente eléctrica.

Las celdas fotovoltaicas que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro una estructura policristalina. El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que consume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo del material semiconductor.

La versión policristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura cristalina no es uniforme, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales). Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la policristalina muestra zonas de brillo diferente.

Radiación solar

Es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida, en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el wathora por metro cuadrado (Wh/m²).

Un watt (W) es la potencia que da lugar a una producción de energía igual a 1 joule por segundo, un joule (J) es el trabajo producido por una fuerza de 1 newton, cuyo punto de aplicación se desplaza 1 metro en la dirección de la fuerza. Un newton (N) es la fuerza que, aplicada a un cuerpo que tiene una masa de 1 kilogramo, le comunica una aceleración de 1 metro por segundo cuadrado (CENAM, 2001).

La radiación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una radiación promedio de 1,000 W/m² es decir, la potencia incidente de 1000 watts por unidad de superficie. La energía útil que entrega el panel fotovoltaico es directamente proporcional a la radiación incidente. Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina radiación atenuada siendo más complejo calcularla. La radiación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan la radiación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la radiación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de radiación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15°.

Orientación de un panel fotovoltaico

La orientación e inclinación son aspectos determinantes en los arreglos fotovoltaicos para su producción eléctrica. La radiación solar que incide sobre una placa variará con el ángulo que forme la misma con la radiación.

La captación de energía solar será máxima cuando la posición de la placa solar sea perpendicular a la radiación. La inclinación de los rayos del sol respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año (máxima en verano y mínima en invierno) y, por tanto, en aquellas instalaciones cuyos paneles estén fijos, existirá un ángulo de inclinación que optimizará la colección de energía sobre una base anual. Es decir, conviene buscar el ángulo de inclinación de los paneles respecto al plano horizontal que hace máxima la potencia media anual recibida. Si se establece una orientación hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales.

Evidentemente, las pérdidas de las superficies horizontales con respecto a las que están inclinadas aumentan progresivamente a medida que nos acercamos al norte (en el hemisferio norte) o al sur (en el hemisferio sur). Es extremadamente difícil valorar las pérdidas en los climas templados ya que la proporción de luz difusa del sol es más grande debido a la presencia de polvo, vapor de agua y nubes. La orientación no ofrece ninguna ventaja en cuanto a la energía recibida desde la radiación indirecta. Por el contrario, debido a que los paneles inclinados reciben la luz de una parte del hemisferio, estos recogen menos luz difusa que los receptores horizontales.

Disponibilidad del recurso solar

México cuenta con un excelente recurso solar en casi todo su territorio. En la mayor parte del país, los días son largos y despejados durante el verano, en el campo hay una relación directa a favor del uso de la energía solar: los días con mayor necesidad de agua son aquellos en que el sol es más intenso. Existen mapas y tablas que indican la insolación mensual promedio para diferentes zonas geográficas.

La insolación es la energía proveniente del sol, la unidad común de insolación es el kWh/m². Se recomienda que los sitios para el desarrollo de proyectos de energía solar deben contar con al menos 3 kWh/m², específicamente el Estado de Hidalgo cuenta con regiones de insolación normal directa entre 6 y 7 kWh/m².

Hipótesis

Mediante la implantación de un sistema fotovoltaico aislado de la red de distribución eléctrica pública, se tendrá un correcto funcionamiento del sistema de iluminación en aulas de clases y un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Objetivo general

Implementar un sistema fotovoltaico aislado a la red de distribución pública para el ahorro de energía eléctrica en iluminación en el aula de clases.

Objetivos específicos

Medir el consumo de energía eléctrica en iluminación mediante equipo especializado. Realizar las adecuaciones necesarias para la instalación eléctrica de las lámparas instaladas en el aula. Analizar el retorno de la inversión y del ahorro económico del sistema fotovoltaico empleando mediciones y costos del consumo.

Metodología

El sistema fotovoltaico se implanta en función de la potencia eléctrica requerida por las luminarias del aula seleccionada de la institución de educación superior, con lo cual se pretende el aprovechamiento óptimo de la energía producida por el sistema. Las adecuaciones al circuito eléctrico del aula se muestran en la figura 1.

Como aspecto fundamental a tomar en cuenta es la disposición de los paneles fotovoltaicos con respecto al sol, por lo que se instalaron en un lugar donde se aprovecha la mayor cantidad de radiación solar. Se toma en cuenta los siguientes factores básicos: el espacio, la orientación, la inclinación y las posibles sombras a lo largo del año. Para la instalación del arreglo de paneles fotovoltaicos se elige un espacio de fácil acceso durante el periodo de instalación y de pruebas, así como para su mantenimiento preventivo y correctivo futuro.

El sistema aislado básico está compuesto por: Módulos fotovoltaicos, controlador de carga, baterías y en su caso un inversor. El controlador de carga se emplea para regular la cantidad de energía que se inyecta a las baterías, así como también protege de sobre cargas y descargas excesiva de las baterías.

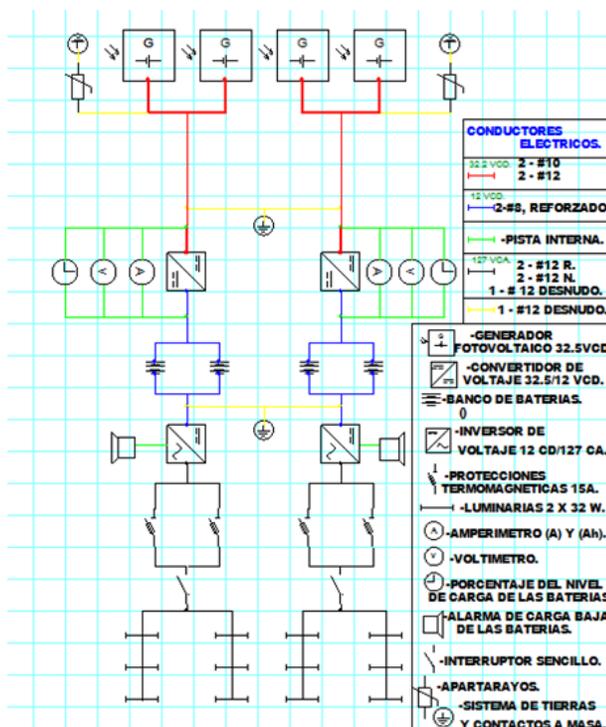


Figura 1 Diagrama unifilar de conexión

Fuente: Elaboración propia, utilizando ProfiCAD

Características específicas de la carga eléctrica del aula

Uno de los datos más críticos es la potencia eléctrica que requiere el sistema de iluminación, además del tiempo de uso por día. El aula cuenta con una superficie de cincuenta y ocho metros cuadrados, con un horario de uso de las siete a veintiún horas, por lo que en el peor de los casos se mantiene iluminada durante catorce horas y en otros, por periodos más cortos.

Cuenta con un total de doce luminarias, cada una con dos lámparas fluorescentes, dando un total de veinticuatro instaladas, cada lámpara tiene un consumo de 32W. Al multiplicar el número de horas por la potencia requerida, se obtiene la energía necesaria para alimentar las luminarias, expresada en kilo wathora diarios (kW-h). El consumo de energía en el aula es de:

$$\text{Num lámparas} * \text{consumo c/u} \quad (1)$$

$$\text{Consumo aula} = 24 * 32 \text{ W} = 768 \text{ watts. Consumo diario del aula:}$$

$$\text{Consumo aula} * \text{horas servicio} \quad (2)$$

$$768 \text{ W} * 14 \text{ horas} = 10752 \text{ W-h} = 10.752 \text{ kW-h como máximo.}$$

Para confirmar los resultados obtenidos por la formula, se utilizó un instrumento de medición marca Fluke modelo 43B, analizador eléctrico avanzado. El instrumento se conectó a la caja de fusibles térmicos de las luminarias del aula. La prueba fue realizada por un lapso de una hora en la que se registra un consumo de 0.76kW.

Cálculo del arreglo de paneles fotovoltaicos

Mediante el estudio previo realizado y tomando en cuenta el consumo eléctrico de las luminarias, se implementa un sistema fotovoltaico aislado a la red eléctrica pública tipo isla, con el cual se alimentará la energía consumida por el sistema de alumbrado del aula. Dimensionamiento del sistema:

$$Pm = \frac{Ec*Fs}{hp*ns*ni} \quad (3)$$

Dónde: Pm potencia del sistema en watts; Ec potencia de carga por tiempo de uso en W-h, se asumen 6 horas de servicio; Fs factor de sobredimensionamiento 10%; ns % de eficiencia 88%, hp horas pico de insolación 6h y ni % de eficiencia del inversor. Sustituyendo en (3):

$$Pm = (768*6*1.1)/(6*.88*.9) = 1067W$$

El sistema se compone de un arreglo de cuatro paneles fotovoltaicos, de los cuales se optó por un arreglo de dos pares de paneles conectados en paralelo, para así obtener la mayor intensidad de corriente posible. Los paneles fotovoltaicos que se utilizaron para la instalación, son del tipo policristalinos marca Solartec S60PC-250 cuyas características se muestran en la tabla 1, así como los componentes del sistema fotovoltaico en la tabla 2.

| Descripción | Cantidad |
|-------------------------------------|----------|
| Número de paneles | 4 |
| Potencia de cada panel (W) | 250 |
| Voltaje nominal de cada panel (VDC) | 36.30 |
| Corriente nominal de cada panel (A) | 8.17 |
| Potencia instalada (W) | 1000 |

Tabla 1 Características del arreglo fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia, con información del proveedor

| | Descripción | Cantidad |
|---|--|----------|
| 1 | Paquete de 1000W | |
| 2 | Panel fotovoltaico de 250W | 4 |
| 3 | Inversor de onda sinusoidal 600W | 2 |
| 4 | Sistema de montaje 4PV aluminio | 1 |
| 5 | Caja de interconexión | 1 |
| 6 | Controlador de carga 30A | 2 |
| 7 | Batería 102 A-h libre mantenimiento | 1 |
| 8 | "T" para unión paralelos de paneles FV | 1 |

Tabla 2 Componentes del sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia, con información del proveedor

El sistema requiere almacenamiento de energía, debido a que la energía generada por los paneles no se consume al mismo tiempo que se genera. Se emplean baterías recargables de ciclo profundo para almacenar la energía eléctrica. La potencia total del banco de baterías (PB) se calcula de la siguiente manera:

$$PB = \frac{AUT*Ec}{Rend*ni} \quad (4)$$

Dónde: Autonomía (AUT, tiempo sin brillo solar): 2 días (sugeridos). Demanda energética (Ec): 768 Wh/día. Eficiencia de las baterías (Rend): 80% (asumiendo que son baterías de ciclo profundo), ni % de eficiencia del inversor, 90%. Voltaje del sistema (V): 12V (se sugiere para sistemas no mayores de 1500 Wh/día).

Usando la ecuación (4) se obtiene

$$PB = 2133.33 \text{ W-h}$$

Capacidad total del banco de baterías:

$$CB = \frac{PB}{V} \quad (5)$$

Usando la ecuación (5) se obtiene

$$CB = 177.78 \text{ A-h.}$$

En este caso, por cuestiones de presupuesto, se dispuso solamente de una batería de 102 A-h.

Cálculo del ángulo de inclinación de los paneles

Para determinar el ángulo de inclinación al cual deben estar los paneles fotovoltaicos, se utiliza el valor de la latitud del lugar geográfico donde se instala el sistema, el grado de inclinación es igual al grado de latitud. El municipio de Mixquiahuala de Juárez Hidalgo lugar en el que se localiza el aula tiene como coordenadas geográficas latitud 20.206° y longitud 99.222° (SAGARPA, 2017).

Para el caso del sistema fotovoltaico del aula, los módulos fotovoltaicos están propuestos a una inclinación fija a lo largo de todo el año, como es este caso, el criterio a seguir para obtener una optimización del sistema consiste en dar un grado de inclinación tal que permita recibir la mayor cantidad de energía en el todo el año. De acuerdo a la radiación solar incidente sobre superficies inclinadas orientadas al sur, se promediaron, y la inclinación que permite recibir mayor cantidad de energía es la de 22° sobre la horizontal, ya que es la óptima para la época de mayor radiación solar del año.

Resultados

El desempeño de un sistema fotovoltaico, está en función de la energía producida y esta a su vez de la radiación solar, de la potencia y el rendimiento del mismo, así como del uso racional que se haga de esa energía.

En el caso de sistemas de iluminación, por ejemplo, apagando las luminarias en el momento en el que la luz natural sea la suficiente para desarrollo de actividades.

El reemplazo de dispositivos de iluminación, por otros de menor consumo, como son la iluminación mediante tecnología Led, también contribuye a la adopción de fuentes fotovoltaicas.

Para este caso, el sistema requiere de ajustes técnicos para cumplir con lo planteado en un principio, tanto en la configuración física del sistema, como de la adecuación de los dispositivos de iluminación. Para el desarrollo de la evaluación financiera del sistema, se consideran los parámetros descritos a continuación.

Todos los sistemas fotovoltaicos tienen pérdidas energéticas originadas por distintos factores. Éstos tienen que ver en la disminución de la energía solar incidente con respecto a la real generada por el sistema fotovoltaico proporcionada al sistema eléctrico. La energía que genera el sistema fotovoltaico durante la vida útil de los paneles, que es de 25 años y que son los años de rendimiento del sistema (Eg), se calcula tomando como referencia la siguiente formula:

$$Eg = N * Pm * hp * días * años * ns \quad (6)$$

Dónde: número de paneles (N), 4; potencia máxima de cada panel (Pm), 250W; horas solares pico en la localidad de Mixquiahuala (hp), 6h; 365 días y 25 años. Sustituyendo en (6):

$$Egen=250*4*6*365*25*0.88 = 48,180 \text{ kW-h.}$$

Se toma 0.88 como factor de reducción de capacidad normal (ns), para considera otras pérdidas del sistema, incluyendo tolerancia de producción el módulo, acoplamiento deficiente entre los módulos, pérdidas en el cableado o alambrado, pérdidas por polvo, manchas, etc. De dónde la energía diaria, mensual y anual que produce el sistema es de: 5.3, 158 y 1,927 kW-h respectivamente.

Costo del sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico se demuestra rentable a partir del hecho de que la energía del sol se considera gratuita, por lo que se puede inducir que el único costo es la inversión inicial y el mantenimiento. Para realizar el estudio económico se toma en cuenta el costo total del material utilizado en el sistema fotovoltaico tabla 2, el cual asciende a un monto de \$42,605 pesos M.N.

Costo de energía eléctrica con el sistema fotovoltaico implementado

El tipo de tarifa que se tiene es HM de acuerdo al recibo por consumo de energía eléctrica. Para el cálculo se tomó la tarifa de energía en punta que es de \$1.7605. Se calcula el pago diario de electricidad sin sistema fotovoltaico, usando la ecuación (2), con 10 horas de servicio y multiplicando por la tarifa punta, se obtiene: $(0.768 \text{ kW} * 10\text{h} * \$1.7605/\text{kW-h}) = \$13.521$

Ahorro de pago de energía eléctrica con el sistema fotovoltaico

El ahorro que se obtendrá anualmente es de: $\$13.521 * 210$ (días hábiles con requerimientos de iluminación) = \$2,839.33 pesos M.N.

Evaluación del proyecto de inversión

Cálculo de tiempo de recuperación de la inversión

$$TR = \frac{I_0}{FE} \quad (7)$$

$$\$42,605 / \$2,839.33 = 15 \text{ años}$$

Entonces, tomando en cuenta la inversión inicial y el ahorro generado por el sistema fotovoltaico, se proyecta que el tiempo de recuperación la inversión será en 15 años, por lo que el restante tiempo de vida de los paneles será de ganancia.

Este es un método muy sencillo para evaluar un proyecto de inversión pero, tiene el inconveniente que no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo.

Cálculo del Valor Presente Neto de la inversión (VPN)

Este método si toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo (Melchor-Chávez P., 2016), para lo cual se considera una inflación del 4% anual durante los 25 años.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FET}{(1+td)^t} \quad (8)$$

Donde: I_0 es la inversión inicial, costo del sistema. n es el número total de periodos, 25 años. t es el periodo incremental desde 1 hasta n . FET flujo de efectivo en el periodo t , ahorro anual. td es la tasa de descuento, en este caso la inflación anual de 4%.

Entonces: sustituyendo en la ecuación (8) se obtiene un VPN de \$1,751.31 M.N. lo que hace aceptable el proyecto de inversión. Incluso lo hace atractivo hasta con una inflación de 4.31% anual para los 25 años. Lo que convierte al 4.31% anual en la Tasa Interna de Rendimiento del proyecto (TIR), dado que es la tasa de descuento que hace cero al VPN.

Agradecimiento

Al Tecnológico Nacional de México, a su programa de “Apoyo a la Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico de los Programas Educativos de los Institutos Tecnológicos Descentralizados” por la asignación de recursos al Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo para el financiamiento del proyecto.

Conclusiones

En el presente trabajo se realizó la metodología e implantación de un sistema fotovoltaico, para uso en luminarias en el aula de clase. El Sistema fotovoltaico cumple con la generación de energía eléctrica limpia, el máximo aprovechamiento de la radiación solar así como un ahorro económico durante un periodo prolongado. Sin embargo, el sistema requiere de ajustes técnicos para cumplir con lo planteado en un principio, tanto en la configuración física del sistema, como de la adecuación de los dispositivos de iluminación.

Para la realización de los cálculos del sistema se basó en un estudio previo de consumo en iluminación, el cual fue de 0.768 kW-h. Así como también considerando los datos geográficos de la ubicación del aula para la orientación e inclinación de las estructuras de los paneles fotovoltaicos. Partiendo de estos datos se diseñó e instaló el sistema fotovoltaico aislado a la red eléctrica pública, tipo isla, con un consumo aceptable por parte de las luminarias del aula; el sistema se compone de 4 paneles y dos inversores, con una capacidad instalada de 1 kW.

El costo total del sistema fotovoltaico fue de \$42,605 M.N., del cual, el retorno de inversión se proyecta en 15 años, por lo que el resto del tiempo de vida del sistema es ganancia. Se generará un ahorro aproximado de \$ 28,393 M.N. después del tiempo de recuperación de la inversión. Si la evaluación del proyecto de inversión se hace mediante el modelo matemático del Valor Presente Neto, el proyecto sigue siendo aceptable dado que se obtiene un valor de \$19,493 tomando en cuenta una inflación anual del 4%. La Tasa Interna de Rendimiento del proyecto se calcula de 7.95% anual. Con el mantenimiento correcto el sistema mantendrá un buen resultado en la producción de energía.

Cabe mencionar que la importancia que tiene la implementación de este proyecto es que se reducirá el consumo de energía eléctrica producida por combustibles fósiles que contaminan, al utilizará la energía limpia y renovable del sol.

Referencias

Atif, M. G. (2003). Energy performance of daylight-linked automatic lighting control systems in large atrium spaces: report on two field-monitored case studies. *Energy and Buildings*(35), 441-461

Bleeker, N. C. (1993). Bene'ts of energy efficient lighting. *Energy Engineering* (90), 6-13.

CENAM (2001). El sistema internacional de unidades (SI). (CENAM, Ed.) Publicación técnica CNM-MMM-PT-003, 3, 29-30

Di Stefano, J. (2000). Energy Efficiency and the Environment: the Potential for Energy Efficient Lighting to Save Energy and Reduce Carbon Dioxide at Melbourne University. *Energy* (25), 823-839.

Fluke. (2008). <http://www.fluke.com>. (Fluke, Ed.) Retrieved from <http://en-us.fluke.com>. Ghisi, E., & Tinker, J. A. (2005). An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. *Building and Environment* (40), 51-61.

Krüger, L., & Paulo, H. (2004). Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Building and Environment*(39), 1055-1063.

Lew, D. J. (2000). Alternatives to Coal and Candles: Wind Power in China. *Energy* (28), 271-286.

Melchor-Chávez, P. (2016). Valuación de activos financieros. (UAEH, Ed.) Xikua, 4(8).

Melchor-Chávez, P., & Reyes-Alonso, G. (2015). Evaluación de un sistema fotovoltaico de suministro de agua para higiene corporal. (ITSOEH, Ed.) CONAINTE, 1(1).

Mendieta Melchor, E. (2002). Energía Solar y Arquitectura. (UNAM, Ed.) Revista Digital Universitaria, 3(2).

Midilli, A., & Dincer, I. (2006). Green Energy Strategies for Sustainable Development. Energy Policy (34), 3623-3633.

Muñoz, V. (2008). Estudio de Calidad y Ahorro de Energía Eléctrica en las Instalaciones de los Edificios Bernardo Quintana, Valdez Vallejo, DIMEI y 12 del Instituto de Ingeniería. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Omer, A. M. (2008). Energy, Environment and Sustainable Development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(9), 2265-2300.

Raya-Narváez, V. (2009). Estudio Técnico Económico de Instalación Fotovoltaica en cubierta y conectada a red en el Instituto de Enseñanza Secundaria "Francisco Salinas" de Salamanca. Salamanca, España: Universidad Internacional de Andalucía.

Reyes-Alonso, G., & Melchor-Chávez, P. (2016). Sistema de control inteligente de sombras para el confort lumínico en oficinas de edificios públicos. (I. T. Hidalgo, Ed.) Revista de Ingeniería y tecnologías para el desarrollo Sustentable, 1, 7-15.

SAGARPA. (2017). Laboratorio Nacional de Modelaje y Sensores Remotos. (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales agrícolas yPecuarías).<http://clima.inifap.gob.mx/lnmyst/Pincipal/Index>

Secretaría de Energía. (2016). Balance Nacional de Energía 2015. Secretaría de Energía, Dirección General de Planeación e Información Energéticas. México: Secretaría de Energía.

SENER. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización). Diario Oficial de la Federación.

STPS. (2008). NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. (S. D. SOCIAL, Ed.) Diario Oficial de la Federación.

Comparación de la producción de biodiesel de *Chlorella Protothecoides* y *Scenedesmus Sp* mediante la adición de CO₂ de la fermentación alcohólica

HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail†, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué Addiel*

Recibido Febrero 10, 2017; Aceptado Agosto 26, 2017

Resumen

Los combustibles fósiles, se encuentran en un estado crítico de producción y un aumento de precios considerable en sus derivados, una opción para disminuir el consumo de estos es producir biocombustibles. La producción de biodiesel a partir de microalgas es una alternativa viable debido a que su tasa crecimiento es alta, además de una eficiencia fotosintética considerable y significativa producción de biomasa comparada con otros cultivos energéticos. En el presente trabajo se evaluó el crecimiento de la especie *Chlorella protothecoides* y *Scenedesmus Sp* de manera autótrofa, usando como fuente de Carbono el CO₂ obtenido de la fermentación alcohólica. Además se llevara a cabo la comparación de la producción de biodiesel.

Microalgas, biocombustibles, biodiesel, ácidos grasos

Abstract

Fossil fuels are in a critical state of production and a considerable price increase in their derivatives, an option to reduce the consumption of these products produce biofuels. The biodiesel production of microalgae is a viable alternative due to the high grow rate, also a significant photosynthetic efficiency and high biomass production compared to other energy crops. In this paper, the rate of growing of microalgae *Chlorella protothecoides* and *Scenedesmus Sp* was evaluated in an autotrophic medium using as carbon source CO₂ from an alcoholic fermentation and CO₂ present in the atmosphere was evaluated.

Microalgae, biofuels, biodiesel, fatty acid

Citación: HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji, VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué Addiel. Comparación de la producción de biodiesel de *Chlorella Protothecoides* y *Scenedesmus Sp* mediante la adición de CO₂ de la fermentación alcohólica. Revista de Sistemas Experimentales. 2017, 4-12: 11-17

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: javenegas@iteshu.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

La necesidad de generar energía aumenta de forma exponencial debido al aumento de la población. En la actualidad se busca generar energía a través de distintas fuentes con el fin de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases contaminantes. Una forma de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es el uso de biocombustibles en lugar de combustibles fósiles y biodiesel es un tal sustituto que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.

En los últimos años han surgido investigaciones para la obtención de los mismos, particularmente biodiesel a través de microalgas, ya que son una opción viable para la obtención de lípidos transesterificables, por la cantidad de lípidos similares comparados con granos de algunos cultivos energéticos [1]. La producción de biodiesel a través de microalgas es una opción viable debido a la alta tasa de crecimiento celular que poseen las microalgas. El contenido promedio de lípidos en microalgas varía entre 20 y 40 % del peso celular seco (PS) [2].

Las microalgas constituyen un grupo muy diverso de organismos unicelulares procariotas o eucariotas fotosintético, es decir, al igual que las plantas, convierten la energía solar en energía, pero por lo general son más eficientes debido a su sencilla estructura celular y además porque sus células crecen en ambientes acuosos (agua dulce o salada), teniendo más acceso al agua, CO₂ y otros nutrientes de fácil disponibilidad [17].

El porcentaje de lípidos almacenados varía de acuerdo a las condiciones de cultivo en las que se encuentre el medio de cultivo. El proceso del crecimiento de la biomasa microalgal requiere luz, CO₂, agua y nutrientes inorgánicos, estos pueden ser nitratos, fosfatos, hierro y algunos elementos traza [4, 5,6].

Para la producción de biodiesel a través de microalgas es preciso extraer los lípidos a través de diversos métodos como el método soxhlet usando como solvente hexano. Siendo el biodiesel una mezcla de ésteres alquílicos de ácidos grasos obtenidos por transesterificación (reacción de intercambio de éster) de aceites vegetales o grasas animales.

La transesterificación es una reacción de múltiples pasos, incluyendo tres pasos reversibles en una serie, donde los triglicéridos se convierten en diglicéridos; entonces diglicéridos se convierten a monoglicéridos, monoglicéridos y se convierten luego en ésteres (biodiesel) y glicerina (subproducto). Ver figura 1. [5].

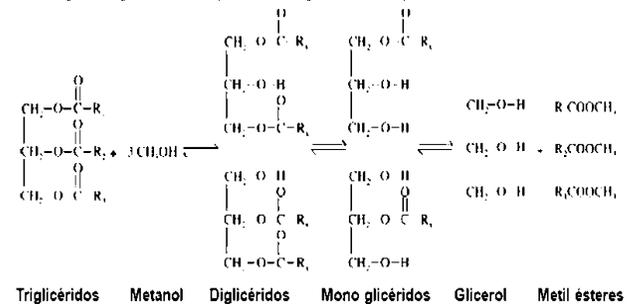


Figura 1 Reacción general de transesterificación

Existen distantes maneras de realizar la transesterificación de ácidos grasos, una de ellas es la síntesis Biodiesel a través de método de ultrasonido. Este proceso se realiza a través de la sonicación intensa de líquidos genera ondas sonoras que se propagan a los medios líquidos dando como resultado ciclos alternos de alta presión y baja presión.

Durante el ciclo de baja presión, se crean pequeñas burbujas de vacío de alta intensidad en el líquido. Cuando las burbujas alcanzan un cierto tamaño, se derrumban violentamente durante un ciclo de alta presión. Esto se llama cavitación.

Durante la implosión se producen localmente presiones muy altas y chorros de líquido de alta velocidad. Las fuerzas cortantes resultantes rompen mecánicamente la estructura celular y mejoran la transferencia de material. Este efecto apoya la extracción de lípidos de las algas. [14].

El presente trabajo tuvo como objetivo comparar los porcentajes de ácidos grasos y obtención de biodiesel en las microalgas *Chlorella protothecoides* y *Scenedesmus Sp*, las cuales crecieron de manera autótrofa en medio Basal Bold mantenida con el CO₂ proveniente de una fermentación alcohólica y el CO₂ presente en el ambiente. Los lípidos se extrajeron en el equipo soxhlet usando como solvente hexano y posteriormente se llevó a cabo la síntesis de biodiesel a través del método en ultrasonido.

Condiciones de cultivo en microalgas

Las cepas se obtuvieron en medio sólido por medio del CINVESTAV, por lo tanto se adaptaron las cepas en medio Basal Bold (ver tabla 1). Las microalgas se mantuvieron a temperatura ambiente, en fotoperiodo 12:12 a 2500 luxes medidos con un luxómetro (MAVOLUX 5032B USB) y pH de 7.5. Se realizaron los experimentos en contenedores de 4000 ml, se les adiciono CO₂ obtenida la fermentación alcohólica y el CO₂ presente en el ambiente de manera continua (350-400 ppm).

| Reactivo | Stock | Cantidad |
|---------------------------------------|----------------------------|----------|
| NaNO ₃ | 10g/400ml H ₂ O | 30ml/L |
| CaCl ₂ -2 H ₂ O | 1g/400ml H ₂ O | 10ml/L |
| MgSO ₄ -7 H ₂ O | 3g/400ml H ₂ O | 10ml/L |
| K ₂ HPO ₄ | 3g/400ml H ₂ O | 10ml/L |
| KH ₂ PO ₄ | 7g/400ml H ₂ O | 10ml/L |
| NaCl | 1g/400ml H ₂ O | 10ml/L |
| P-IV I Solución de Metales | ver tabla 2 | 40 ml/L |
| Solución Soliwater | ver tabla 3 | 6 ml/L |

Tabla 1 Medio de cultivo Basal Bold

| Reactivo | Stock |
|---|---------------------------|
| Na ₂ EDTA-2 H ₂ O | 0.75 g/L H ₂ O |
| FeCl ₃ -6 H ₂ O | .097 g/L H ₂ O |
| MnCl ₂ -4 H ₂ O | .041 g/L H ₂ O |
| ZnCl ₂ | .005 g/L H ₂ O |
| CoCl ₂ -6 H ₂ O | .002 g/L H ₂ O |
| Na ₂ MoO ₄ -2H ₂ O | .004 g/L H ₂ O |

Tabla 2 P-IV Solución de Metales

| Reactivo | Stock |
|-------------------|----------------------------|
| CaCO ₃ | 1mg/200ml H ₂ O |

Tabla 3 Solución Soliwater

Se realizaron recuentos cada 48 horas en cámara Neubauer (.1mm Tiefe Depth Profondeup), por triplicado obteniendo cinéticas de crecimiento. Para el cálculo de crecimiento se empleó una ecuación consultada en la bibliografía [7].

$$Nb = (\Sigma \text{Cel. Cb}) / 4 * 10000 \quad (1)$$

Donde:

Na y Nb= Número de células por mL (cel/mL).

Σ Cel. Ca= Suma de células en la diagonal central de la cámara Neubauer.

Σ Cel. Cb= Suma de células en 4 cuadrantes externos de la cámara Neubauer.

Recuperación de biomasa

La biomasa microalga (peso seco) se obtuvo a través de centrifugación a 4000 rpm., durante 10 min. (Centrifugadora UNICO C8704x) separando el sobrenadante de las microalgas en caja Petri, previamente pesada, se terminó su proceso de secado en un horno a 40°C durante 24 horas. La concentración celular puede variar de acuerdo a la velocidad x.

Extracción de lípidos

La extracción de lípidos se realizó por medio del equipo soxhlet usando como solvente hexano en las cepas *Chlorella protothecoides* y *Scenedesmus Sp*, repitiendo de recirculación durante 24 horas. Se empleó biomasa microalgal pulverizada recolectada de las cepas. Posteriormente a la extracción de lípidos se usó un rota-vapor para separar el hexano empleado.

Se pesó la muestra de grasa seca obtenida y se determinó el porcentaje de grasa microalgal obtenida. Para el cálculo del porcentaje de grasa se empleó una ecuación consultada en la bibliografía [7].

$$\%G = \frac{T_2 - T_1}{w} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

$\%G$ = Porcentaje de grasa en muestra seca
 T_2 = Peso del matraz bola con la grasa seca (mg)
 T_1 = Peso del matraz bola vacío.
 w = Peso de la muestra en miligramos (biomasa microalgal).

La evaluación de la composición de ácidos grasos se realizó por Cromatografía de Gases con Detector de Ionización de Flama, previa derivatización como Metil Ésteres [CINVESTAV. Cd. De México].

Síntesis Biodiesel a través de método de ultrasonido

El aceite obtenido se calentó en el ultrasonido que funciona a una frecuencia de 40 KHz y una potencia de 70W a una temperatura de 60° C, posteriormente se mezcla con una solución hecha de metanol (relación molar de lípido: metanol 1:9) y catalizados de KOH (aceite de 9% en peso).

El proceso de transesterificación se realizó durante 3 hora a 60° C. Se mantuvo en reposo el experimento durante 24 horas donde se observó la separación de fases.

Resultados

En el grafico 1 se observa el crecimiento de *Chlorella protothecoides* adquiriendo un mayor crecimiento en los experimentos durante los días 8-10 llegando a su fase exponencial. En particular el experimento con medio BB, con adición de CO₂ proveniente de la fermentación presento 90.0x10⁶ cel. /mL, mientras que el medio BB con adición de CO₂ del medio ambiente solo presenta 25.83x10⁶ cel. /mL, esto se debe que a concentraciones más altas de CO₂ permite que el proceso de reproducción sea mayor.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Fan et al. [3], donde un cambio en las condiciones del cultivo trae consigo cambios en las fases de adaptación y crecimiento exponencial.

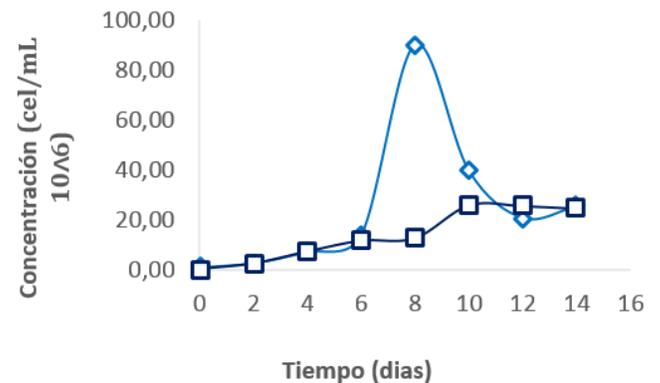


Grafico 2 Crecimiento celular de la microalga *Chlorella protothecoides* en medio BB. \diamond Con adición de CO₂ y N, Sin adición de CO₂ y con N

En el grafico 2 se muestra el crecimiento de la microalga *Scenedesmus Sp.*, mostrando que durante los días 8-10 llega a su fase exponencial en particular el experimento con medio BB, con adición de CO₂ proveniente de la fermentación obteniendo 73.20x10⁶ cel. /mL, mientras que el medio BB con adición de CO₂ del medio ambiente solo presenta 48.6 x10⁶ cel. /mL.

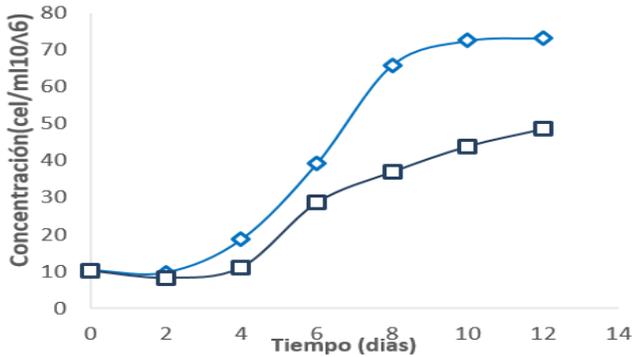


Grafico 2 Crecimiento celular de la microalga *Scenedesmus Sp* en medio BB y medio BB limitado. ◇ Con adición de CO₂ y N, □ Sin adición de CO₂ y con N

En el grafico 3 se puede observar la concentración de peso seco, mostrando mayores concentraciones en el MBB, esto se debe que en condiciones estándar la microalga se adapta con mayor velocidad aumentando su peso.

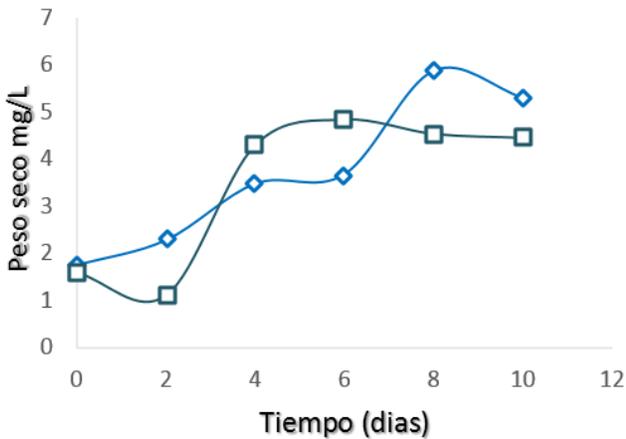


Grafico 3 Peso seco de la microalga *Scenedesmus Sp* en medio BB y medio BB limitado. Con adición de CO₂ y N, Sin adición de CO₂ y con N

En el grafico 4 se aprecia la concentración de peso seco mostrando resultados favorables en el medio de cultivo BB, que contiene CO₂ del ambiente, a razón de que al mantener la cepa en condiciones de cultivo normales su adaptación es más rápida, por lo tanto refleja mayor índice de peso seco.

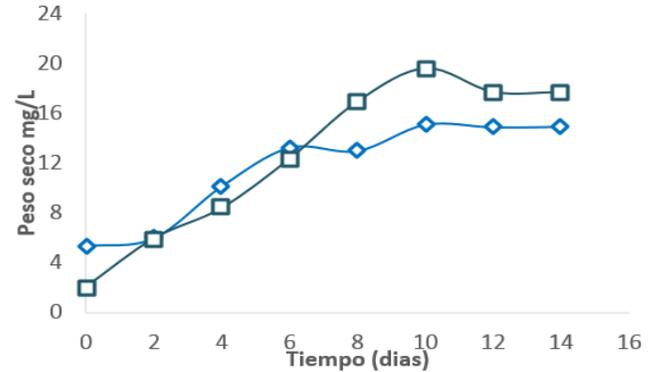


Grafico 4 Peso seco de la microalga *Chlorella protothecoides* en medio BB. ◇ Con adición de CO₂ y N, □ Sin adición de CO₂ y con N

En la tabla 4 se muestra la composición de ácidos grasos extraída la cepa *Chlorella protothecoides*, se muestra que al adicionar CO₂ del medio ambiente en combinación con el CO₂ de la fermentación alcohólica proveniente del ambiente muestran porcentajes mayores de ácido palmítico y oleico siendo ácidos grasos de saturación mejorando las propiedades del biocombustible (poder calorífico, estabilidad oxidativa) [4].

| Composición de ácidos grasos | | |
|------------------------------|---|--|
| Muestra | CO ₂ de la fermentación en medio BB 90.1mg | CO ₂ del ambiente en medio BB 68.5 mg |
| Ácidos Grasos | % | % |
| Laurico | 0.22 | ----- |
| Tidecanoico | 0.21 | ----- |
| Miristoleico | 0.45 | 1.26 |
| Palmítico | 7.95 | 6.65 |
| Cis-10-Heptadecanoico | 0.88 | ----- |
| Estearico | 3.6 | 2.63 |
| Oleico | 10.83 | 10.07 |
| Linoleico | 25.15 | 6.66 |
| α-Linolénico | 12.83 | 6.47 |

| | | |
|--------------------------|-------|-------|
| Cis-11,14-Eicosadienoico | ----- | 23.12 |
| Behenico | 1.05 | ----- |

Tabla 4 Composición de ácidos grasos de *Chlorella protothecoides*

Agradecimiento

Se agradece al CONACYT por el proyecto otorgado “Generación de fuentes alternativas de energía: bioetanol, biohidrógeno y biodiesel, año 3”.

Conclusiones

De acuerdo a los experimentos realizados si se adiciona carbono proveniente de la fermentación alcohólica (CO₂) aumenta el crecimiento de las microalgas comparado con el CO₂ que logran captar del medio ambiente, cotejando el crecimiento de ambas cepas se reportó un mayor crecimiento en *Chlorella protothecoides* con 90.0x10⁶ cel. /mL mientras que en *Scenedesmus Sp* se reportó 73.20x10⁶ cel. /mL. Ambos experimentos llegaron a su fase exponencial entre los días 8-10.

Al evaluar el peso seco se mostró una mayor concentración en *Chlorella protothecoides* que en *Scenedesmus Sp*, sin embargo cuando se alteran algunas condiciones, la ruta metabólica de la microalga cambia, viendo esto reflejado en el experimento con presencia de CO₂ captado del medio ambiente en medio BB, posee una mayor concentración de peso seco a razón que el microorganismo no fue privado de ninguna condición entonces el proceso de adaptación es más acelerado. De la evaluación de ácidos grasos por cromatografía de gases se encontró un mayor porcentaje de ácido Linoleico y α -Linolenico en condiciones de adición de CO₂ proveniente de la fermentación alcohólica comparado con la adición de CO₂ proveniente del ambiente.

Referencias

- [1]. Garibay A., Velazquez R. (2009). Biodiesel a Partir de Microalgas. *BioTecnología*, .13 (3):
- [2]. Chisti Y (2007). Biodiesel from microalgae – a review. *Biotechnol. Adv.* 1 (25): 294–306.
- [3]. Barajas A, Godoy C. y Morroy D. (2012). Improvement of CO₂ sequestration by *Chlorella vulgaris* UTEX 1803 on lab scale photobioreactors. *rev.ion*, 25(2):39-47, (2012)
- [4]. Brennan, L. y Owende P. (2010). “Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and coproducts”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 557-577, 2010.
- [5]. Angel D. González 1, Dr. Viatcheslav K., Dr. Guzmán A. (2009). Of methods of extraction of oil in the production line of biodiesel from microalgae. *Prospect.* 7 (2): 53-60
- [6]. Plata V., Dr. Kafarov V, Dr. Moreno N. Development of a methodology of transesterification of oil in the production line of biodiesel from microalgae. *Prospect.* 7 (2): 35-41 (2009)
- [7]. Aguilar C., Chang I., Tenorio L., Ynga G. (2007). Determinación de la biomasa microalgal potencialmente acumuladora de lípidos para la obtención de combustible. *FINCYT – PIBAP* (2007)
- [8]. Tacias V., Rosales A., torrestiana B. (2016). Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiesel: un caso de estudio. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 32 (3) 303-313

- [8]. Sharif H., Aischah S., Partha C., Mohd N. (2008) American Journal of Biochemistry and Biotechnology 4 (3):250-254
- [9]. Hwan Y., Sung M., You-Kwab O., Jong-in H. (2015). Lipid extraction and esterification for microalgae-based biodiesel production using pyrite (FeS₂). Bioresource Technology 0960-8524
- [10]. Bousquet O., Sellier N., Le Goffic F. (1994). Characterization and Purification of Polyunsaturated Fatty Acids from Microalgae by Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Countercurrent Chromatography. Chromatographia Vol. 39, No. 1/2
- [11]. Syed H., Iftikhar A., Qaisar M., Arshid P. (2016). Improvement in lipids extraction processes for biodiesel production from wet microalgal pellets grown on diammonium phosphate and sodium bicarbonate combinations. Bioresource Technology 214 199–209.
- [12]. Tejada L., Hernao D., Alvear M., Castillo C. (2015). Characterization and lipid profile of oil from microalgae. Revista Facultad de Ingeniería (Fac. Ing.) Vol. 24. No. 39. pp. 43-54
- [13]. Castellar G., Angulo E.R., Cardozo B.M. (2014). "Transesterification vegetable oils using Heterogeneous catalysts", Prospect, Vol 12, N° 2, 90-104.
- [14]. Kwangdinata R., Raya I., Zakir M. (2014). Producción de Biodiesel a partir de lípidos de fitoplancton *Chaetoceros calcitrans* a través método ultrasónico ScientificWorldJournal 231.361
- [15]. Cavonius L.R., Carlsson N. (2014). La cuantificación de los ácidos grasos totales en microalgas: comparación de métodos de extracción y de transesterificación. Anal Bioanal Chem. 406 (28): 7313 a 7.322.
- [16] Fuentes M., Aranda M., Gomez S. (2016). Ultrasonic waves applicates in biodiesel produced with differents vegetables oils. instituto de investigacion, FIGGMG-UNMSM 19(38):147-151.
- [17] Jungmin K., Byung-Gon R., Kyochan K., Bo-Kyong K., Jong-In H., Ji-Won Yang. (2012). continuous microalgae recovery using electrolysis: Effect of different electricle pairs and timing of polarity exchange. Bioresource Technology 123: 164-170

Caracterización de un calentador solar de bajo costo y con materiales de fácil acceso

RESENDIZ - BADILLO, Ramiro †, MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, HERNÁNDEZ - RIVERA, Jaime, SOTO – ÁLVAREZ, Sandra

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Recibido Junio 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

Este proyecto aporta los conocimientos necesarios para la construcción y uso del calentador solar de agua de cama plana. Tiene como objetivo divulgar y transferir tecnologías apropiadas a nuestra realidad social, mediante la incorporación de conocimientos, a partir de la utilización de tecnología sencilla, y de fácil acceso, teniendo como prioridad el ser humano. Está orientado a familias en emergencia social que no cuentan con agua caliente en sus hogares, y que actualmente estas familias queman leña o carbón en el interior de sus casas, afectando así la salud y el bienestar de ellas. Pudiendo sustituirlos por un sistema que no contamine que utilice la radiación solar, preserve el medioambiente y sobre todo mejore su calidad de vida y promueva la salud. Las actividades que se involucran en este proyecto están aplicadas como emprendimiento productivo, pueden colaborar a la generación de capacidades de autogestión y organización, así como construir una ayuda en el presupuesto familiar. En síntesis el proyecto está sustentado por los siguientes puntos: Utilización de materiales de bajo costo que se pueden conseguir fácilmente. Posibilidad de desarrollar variantes constructivas de los componentes del sistema. Diferentes maneras de instalación en la vivienda

Calentador solar, energía solar, rendimiento térmico, transferencia de calor metodología

Abstract

This project provides the knowledge required for the construction and use of solar water flat bed heater. It is intended to disclose and transfer appropriate technologies to our social reality, through the incorporation of knowledge, from the use of simple technology, and easy access, taking the human being as a priority. It is aimed at families in social emergency do not have hot water in their homes, and now these families burning firewood or charcoal in the interior of their homes, thus affecting the health and well-being of them. Being able to replace them with a non-polluting system that uses solar radiation, preserve the environment and above all to improve their quality of life and promote health. The activities that are involved in this project are applied as productive entrepreneurship, can contribute to the generation of capacities for self-management and organization, as well as build a help in the family budget. In synthesis project is supported by the following points: Use of low cost materials that are easily available. Possibility of developing construction variants of components of the system. Different ways of installation in the home.

Solar heater, solar energy, thermal performance, heat transfer methodology

Citación: RESENDIZ - BADILLO, Ramiro, MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, HERNÁNDEZ - RIVERA, Jaime, SOTO –ÁLVAREZ, Sandra. Caracterización de un calentador solar de bajo costo y con materiales de fácil acceso. Revista de Sistemas Experimentales. 2017, 4-12: 18-35.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Durante los últimos años se ha visto una notable necesidad de tener agua caliente como servicio básico, pero para tener dicho servicio tenemos que poseer algún tipo de sistema o mecanismo que sea capaz de calentar el agua u otro fluido. Hoy en día existen varios tipos de alternativas para calentar el agua, ya sea para el uso doméstico o bien para uso industrial, algunos ejemplos claros son:

- Calentamiento de agua por quema de combustibles fósiles.
- Calentamiento de agua por resistencias eléctricas.
- Calentamiento de agua por energías alternativas.

Pero la pregunta es ¿Cuál es el sistema más eficiente capaz de calentar agua que sea más económico y más ecológico?

Todos sabemos que el Planeta Tierra está sufriendo un grave problema de contaminación y de cambios en el comportamiento en las condiciones normales climáticas y meteorológicas, y los principales causantes de estos problemas es la quema de combustibles fósiles, entonces por lo tanto, se puede decir que al usar este tipo de mecanismos para calentar agua el riesgo de contribuir más con el cambio climático y la polución global es más evidente.

Por otra parte tenemos el método de calentamiento de agua por resistencias eléctricas, este método se ha usado bastante desde hace varios años, pero al analizar el gasto energético que requiere una resistencia para calentar agua, el gasto económico se eleva bastante, y por otro lado, se ha demostrado y visto que los riesgos de ocurrir un accidente por el uso de resistencias eléctricas es muy alto, por lo consiguiente este método puede poner en riesgo la integridad de las personas.

Entonces visto lo anterior se puede decir que el uso de energías alternativas es el método más ideal para calentar agua, la cuestión es que el uso de energías alternativas en nuestros días es muy costoso y no todas las familias pueden pagar un calentador solar (método de calentamiento de agua por energías alternativas).

Por lo tanto se ha diseñado en La Universidad Tecnológica De San Juan Del Río, en el Área De Energías Renovables un prototipo en cual tiene el principio de un calentador solar, pero que usa materiales de fácil acceso y económicos. Este proyecto está directamente orientado para familias de escasos recursos que quieran agua caliente para realizar sus actividades diarias; además con este proyecto se pretende fomentar el uso de energías renovables y argumentar que con cualquier cosa se puede hacer proyecto que tenga un impacto positivo para las sociedades del planeta.

El prototipo creado no cuenta con una base para el termotanque ya que el diseño que se hizo para este es vertical y se mantiene apoyado directamente a la superficie en donde se va a instalar. El calentador solar que se diseñó cuenta con una cama colectora (se compone de una superficie absorbente de la radiación solar) hecha con materiales totalmente reciclables como, por ejemplo; botellas de PET.

En este artículo se mostrarán cada paso del método ingenieril (método que se utilizó para el desarrollo del proyecto), en donde se explicarán a detalle cada fase de ejecución, aunado también de la evidencia de los resultados finales en la cuestión del diseño, cálculo y fase de experimentación del rendimiento térmico de calentador solar propuesto.

Metodología aplicada

Para poder diseñar el prototipo se utilizó las etapas del método ingenieril propuesto por DIXON, Cork (1970), ya que el proyecto se adaptaba en su mayoría a esta metodología tan eficiente para la formulación de proyectos y/o prototipos. En la figura 1 se puede observar las distintas fases de trabajo del método ingenieril, dadas las características del calentador solar que se desea desarrollar.

El método ingenieril de DIXON, Cork (1970); demuestra que, para optimizar el diseño, se requiere de las simulaciones con el modelo de diseño más promisorio y las comprobaciones de la concordancia entre las dimensiones y los materiales permiten optimizar el diseño seleccionado.



Figura 1 Etapas del método ingenieril

Fuente: DIXON, Cork (1970)

Fase 1 Identificación del problema

En el mercado se tiene en existencia un número considerable de calentadores solares, algunos calentadores solares tienen precios muy altos e inclusive en algunos lugares son escasos. El calentador solar que se desarrolló en la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río posee las siguientes características:

Posibilidad de construcción casera

Se ha desarrollado un sistema en el cual por medio de materia prima de fácil acceso se puede diseñar un calentador solar que cumpla con los datos técnicos para el calentamiento de fluidos de manera efectiva.

Utilización de materiales de bajo costo que se pueden conseguir fácilmente

Dados los problemas económicos por los cuales miles de familias a nivel mundial sufren, se adecuó en base a conocimientos técnicos, materiales que fuesen totalmente económicos y que cumplan con los requerimientos establecidos en los calentadores solares.

Posibilidad de desarrollar variantes constructivas de los componentes del sistema

El prototipo está diseñado para que los usuarios puedan comprender el funcionamiento de un sistema de calentamiento de agua por el recurso solar y por ende ajustar el prototipo a sus necesidades y requerimientos.

Diferentes maneras de instalación en la vivienda

El prototipo tiene la facultad de cumplir con las distintas formas y fases de instalación de un sistema de calentamiento de agua por medio del recurso solar, esto gracias a su diseño y sus adecuaciones técnicas que tiene.

Fase 2 Recolección de la información necesaria

Se realizaron investigaciones en diferentes fuentes de consulta para poder centrar ideas factibles que puedan hacer que las problemáticas mencionadas con anterioridad se reduzcan y así posteriormente poder empezar con el diseño previo.

Aunado a la investigación también se indagó en el estudio del estado del arte del prototipo para determinar y someter a evaluaciones distintos prototipos ya hechos, esto con el fin de retroalimentar más las ideas planteadas.

Recursos y metodologías a utilizar

- Encuestas.
- Recurso literario en formulación de proyectos.
- Recurso literario en prototipos en calentadores solares y/o deshidratadores solares.
- Tesis de proyectos.
- Uso de multimedia, videos y audios.

Fase 3 Búsqueda de soluciones creativas

En base a los estudios realizados y a una investigación, se analizó distintas soluciones las cuales podrían hacer cumplir con los objetivos planteados en este proyecto y además poder solucionar las problemáticas de falta de agua caliente en las distintas familias de la sociedad, tales soluciones son las siguiente:

- Reducción del gasto por uso de energía eléctrica.
- Reducción del gasto por el uso de combustibles derivados de petróleo.
- Eliminando el uso de métodos tradicionales de calentamiento de agua que solo afectan a la salud de los usuarios y el medio ambiente.

Recursos y metodologías a utilizar:

- Herramientas estadísticas
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de Ishikawa
- Técnicas de investigación
- Método científico

- Recurso literario
- Webgrafías
- Uso de multimedia, videos y audios.
- Tesis de proyectos

Fase 4 Paso de la idea a los diseños preliminares (incluye el modelado)

Diseño del prototipo

Se dimensionó el prototipo en un software CAD, en este caso se utilizó AutoCAD y Trimble SketchUp de modelado de piezas esto con el fin de poder tener una mayor facilidad en la realización del prototipo.

En la figura 2, se puede observar el diseño del calentador solar en vista isométrica, por lo tanto se pudo analizar que el termotanque en donde el fluido se va a depositar está de manera vertical, esto se explica porque en nuestro diseño no se tiene contemplado una base para este, ya que se pretende eliminar el gasto de un soporte para el termotanque; al posicionar el termotanque de esta manera, en base a las observaciones y experimentaciones realizadas con anterioridad, se concluye que la temperatura del fluido no se altera y se mantiene en las mismas condiciones que un termotanque con un soporte en posición horizontal.

Recursos y metodologías utilizadas

- Computadora
- Uso de software CAD
- Recurso literario para el fundamento del diseño asistido por computadora.

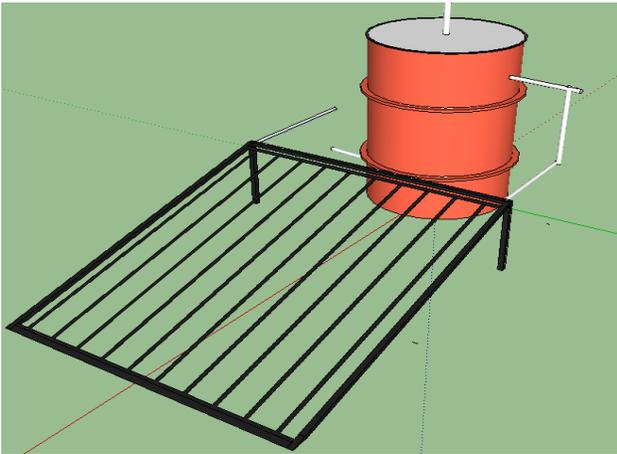


Figura 2 Diseño del calentador solar propuesto en vista isométrica

En la figura 3 se contempla la proyección policromática del diseño del calentador solar, esta vista nos sirve para apreciar las texturas y la idea técnica del proyecto, aunado también a la observación más detallada de las partes que conforman al calentador solar.



Figura 3 Diseño del calentador solar propuesto en vista Policromático

Caracterización y modelado de la cama absorbadora

Se planteó como primer paso, el armado de la parrilla de caños (superficie absorbadora) con tubo C-PVC de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y de 1.80 m de largo.

La parrilla cuenta con 10 columnas de tubular. Además se pintó de color negro mate. Para aumentar la transferencia de calor se armó la parrilla con botellas de PET de 600 ml (con esta técnica no se requiere el uso de construcción de una caja metálica). Esta variante es económica y sencilla de construir en relación a otros materiales utilizados en el mercado

A continuación, se mostrarán los materiales para el desarrollo de la cama absorbadora.

Fase de caracterización

- Tubo C-PVC y sus accesorios de conexión.
- Botellas de PER de 600 ml
- Pintura en aerosol color negro mate
- Silicona
- Pegamento para C-PVC

Construcción de la cama absorbadora

1. Se midió y cortó las piezas; 10 piezas de caño de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 180 cm de largo. 20 piezas de caño de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 12 cm. de largo.



Figura 4 Medición del tubo c-pvc para la elaboración de la cama absorbadora

2. Se lavó cada tubo con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial para cumplir con los lineamientos de higiene y seguridad.
3. Se compró codos y Tees para armar el parrillado C-PVC.
4. Se pegó cada ramal con un aditivo especial para C-PVC.
5. Como se observa en la figura 5. Para obtener un buen dimensionamiento de la cama absorbadora se trató de estar midiendo cada separación de los ramales de C-PVC.



Figura 5 Se pegaron todos los ramales con sus respectivas tees y codos (como se muestra)

6. Se unieron de igual manera las 10 piezas formando la parrilla del calentador como se muestra en la figura 6.



Figura 6 Unión de las piezas

7. Según (Manzano-Ramírez, A 2014) y las experiencias técnicas que se han visto en el estudio en cuestión, un cuerpo negro absorbe más la energía calorífica que otra textura. Por lo tanto se pintó la parrilla de color negro mate.
8. Cuando se armó la parrilla absorbadora, se realizó una recolección de botellas de Tereftalato de polietileno (PET) de 600 ml (de preferencia transparentes). De igual manera por cuestiones de higiene y seguridad se realizó un proceso de lavado en cada botella con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial. Las botellas se deberán dejar secar.
9. Para obtener un mayor efecto de transferencia de calor y evitar una cubierta de vidrio o de policarbonato, se pintó setenta botellas, (solamente se pinta a la mitad de las mismas), como se muestra en la figura 7.



Figura 7 Las botellas se deben de pintar de color mate de la mitad hacia abajo, de tal modo que la mitad hacia arriba como se muestra deberá estar transparente

Gracia a esta técnica, se logra un efecto de convección adentro de las botellas y por ende hace que los tubos se calienten y logren hacer su función.

10. Con las medidas pertinentes de seguridad, se perforaron las botellas con un soplete y un niple de $\frac{1}{2}$ ”; esto con el fin de ajustar la parrilla de tubos en las botellas. El orificio deberá estar lo más aproximado al centro de la circunferencia de la botella como se muestra en la figura 8.



Figura 8 Proceso de perforación de botellas

11. Cuando se perforaron las setenta botellas, se colocaron en la parrilla de tubos de C-PVC.

Debe de quedar como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 9 Cama absorbedora con las botellas instaladas.

En la figura 9, también se puede observar el proceso cuando se pasó a instalar las conexiones faltantes de la cama. Más adelante con mucha precaución se colocaron botellas de 350 ml en los ramales horizontales de la cama. Asegurar que todas las botellas de la cama estén en buenas condiciones y que además estén fijas.

Pruebas hidráulicas

Se realizaron una serie de pruebas hidráulicas para verificar que no haya pérdida de agua. Estas se realizan conectando una manguera en uno de los extremos del colector y cargando toda la parrilla con agua. Se debe someter la parrilla a una presión mínima equivalente al doble de la altura del tanque de acumulación. Si llegara a perder por alguna parte se deberá descargar y reparar.

Caracterización y modelado del termotanque

Se ideó el armado del tanque de acumulación, donde se realizaron los agujeros por los cuales se introducirá la cañería con botellas para la entrada y salida del agua caliente desde el colector y finalmente hacia la vivienda. La utilización de dos tanques (uno interior y otro exterior), es para evitar las pérdidas de calor del agua que se utilizará para el consumo personal.

Cabe destacar que la posición del termotanque puede ser vertical (como se muestra en el diseño en 3D), acolado a las posibilidades de construcción de cada familia. A continuación se mostraran los materiales para el desarrollo de la cama absorbedora.

Fase de caracterización

- Cilindro metálico 200 l
- Tanque plástico 130 l
- Bridas de $\frac{3}{4}$ "
- Poliestireno Expandido

Construcción del termotanque

1. Como primer paso se acondicionó el termotanque interior; en este es donde va a estar almacenado el fluido, este debe ser de algún material totalmente resistente a la oxidación y a temperaturas altas. Para el prototipo, se optó utilizar un tanque de plástico para que posteriormente fuese lavado con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial.
2. Se realizaron tres perforaciones de $\frac{3}{4}$ " en el tanque; una en la parte inferior, otra en la parte superior y la última en el centro de la tapa como se muestra en la figura 10. En cada orificio se debe poner una brida con sus respectivos empaques para que no haya fugas del fluido almacenado.



Figura 10 Perforación en el tanque interior para las conexiones de la tubería

3. Se verificó con mucho detalle que no existiera fugas, esta prueba se realizó poniendo agua en el tanque. En la siguiente figura se observa la evidencia cuando se realizó dicha prueba.



Figura 11 Verificación al termotanque interior para determinar que no existan fugas

4. Una vez que se haya realizado el acoplamiento del termotanque interior y se haya verificado que no tenga fugas, se pasó a caracterizar el termotanque exterior, el cual nos va a ayudar a aislar el termotanque interior de las condiciones meteorológicas en donde se va a instalar.

Dando lugar a que la temperatura del fluido calentado por la cama absorbidora se mantenga constante con un margen de pérdida térmica de tan solo el 3 y 5% establecido por la literatura. Como material para la elaboración del termotanque exterior se utilizó un cilindro metálico, en el cual se lavó con hipoclorito de sodio y jabón antibacterial.

- Una vez que se haya saneado el termotanque exterior se realizaron tres perforaciones de $\frac{3}{4}$ " en el tanque; una en la parte inferior otra en la parte superior y la última en el centro de la tapa. Con una lima para metal, se quitó las rebabas que se hayan formado por el proceso de perforación. Es muy importante que coincidan los agujeros del tanque interior y exterior ya que si se llegase a tener variaciones, las tuberías no entrarían y esto a su vez afectaría el sistema de circulación del fluido en cuestión. Se muestra un ejemplo de perforación en la figura 12.



Figura 12 Proceso de perforación del tanque exterior

- Cuando se realizaron las perforaciones en el termotanque exterior, con mucha precaución se ajustó el tanque interior al tanque exterior tratando de que las perforaciones de los dos tanques coincidan (se considera un margen de error de $< 3\%$).

- Se colocaron niples de C-PVC en cada brida y en cada niple una reducción de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " de C-PVC, todo se ajustó con cinta teflón.

Proceso de aislamiento del termotanque

En todo calentador solar se debe de contar con un sistema de aislamiento térmico para que el fluido adentro del termotanque interior mantenga su temperatura por más tiempo. Hoy en día existen varios materiales con muy bajo coeficiente de conductividad térmica, pero alguno con muy costosos o difíciles de adquirir, en el proyecto se optó como aislante térmico *poliestireno expandido (EPS)* que es muy fácil de conseguir y no es costoso.

Según (Santiago-Netto, R, 2011) el poliestireno expandido (EPS) cuenta con un coeficiente de conductividad térmica de entre 0.041 y 0.029 W/mK. En la figura siguiente se muestra el proceso de aislamiento de los tanques, el cual se cortó pedazos de poliestireno expandido (EPS) y se ajustaron a presión. Al final se agregó poliestireno expandido (EPS) molido para rellenar los lugares en donde no se cubrió en su totalidad.



Figura 13 Proceso de aislamiento térmico

Al final se cerró el termotanque exterior y se selló con silicona de alto contacto.

Fase 5 Evaluación y selección de la solución

Una vez terminado el prototipo se pasó a instalarlo directamente para estudiar su comportamiento, se verificaron algunos aspectos que se requieren para determinar la eficiencia del mismo. Las pruebas se realizaron el día 24 de abril de 2017 en las instalaciones de La Universidad Tecnológica De San Juan Del Río.

Como primer objetivo del estudio, fue analizar las condiciones climáticas de la Universidad, para ello se utilizó la estación meteorológica de la institución de marca y modelo "DAVIS VANTAGE PRO2 6152". Esta estación meteorológica está dada de alta en el sistema de estaciones meteorológicas automáticas (EMA'S) por la Comisión Estatal de Agua del ESTADO de Querétaro en coordinación con el Servicio Meteorológico Nacional y la agencia meteorológica Weather Underground. En la siguiente figura se muestra la estación meteorológica "DAVIS VANTAGE PRO2 6152" utilizada en el análisis.



Figura 14 Estación meteorológica Davis Vantage Pro2 6152

Características técnicas de la estación meteorológica "DAVIS VANTAGE PRO2 6152"

La consola meteorológica Vantage Pro2 exhibe y registra los datos meteorológicos, proporciona gráficos y funciones de alarma, se interconecta a la computadora utilizando nuestro software WeatherLink opcional. La estación inalámbrica transmite los datos de los sensores exteriores desde el ISS a la consola mediante un sistema de radiofrecuencia de baja potencia. Además, las estaciones inalámbricas pueden registrar datos de los sensores opcionales Vantage.

Especificaciones técnicas:

- Consola Temperatura de funcionamiento: -10° a $+60^{\circ}\text{C}$ ($+14^{\circ}$ a $+140^{\circ}\text{F}$)
- Temperatura de la pantalla: 0° a $+60^{\circ}\text{C}$ ($+32^{\circ}$ a $+140^{\circ}\text{F}$)
- Temperatura de no funcionamiento: -5° a $+158^{\circ}\text{F}$ (-20° a $+70^{\circ}\text{C}$)
- Adaptador de corriente: 5 VCC, 900 mA
- Batería de respaldo: 3 pilas C Vida útil de la batería (sin corriente CA):
- Inalámbrica: hasta 9 meses;
- Conectores: Modular RJ-11
- Material de la carcasa Plástico ABS resistente a UV
- Tipo de pantalla de la consola: LCD transreflectiva
- Luz de fondo de la pantalla: LEDs
- Dimensiones: Consola (con antena): 264 mm x 156 mm x 38 mm
- Consola (sin antena): 244 mm x 156 mm x 38 mm
- Pantalla: 51 mm x 86 mm Peso (con pilas): 0,85 k

Evaluación de las condiciones meteorológicas

A continuación, se muestra el comportamiento de condiciones meteorológicas del día 21 de abril de 2017, en las instalaciones de la Universidad Tecnológica De San Juan Del Río y que servirán para el cálculo de la eficiencia del calentador solar.

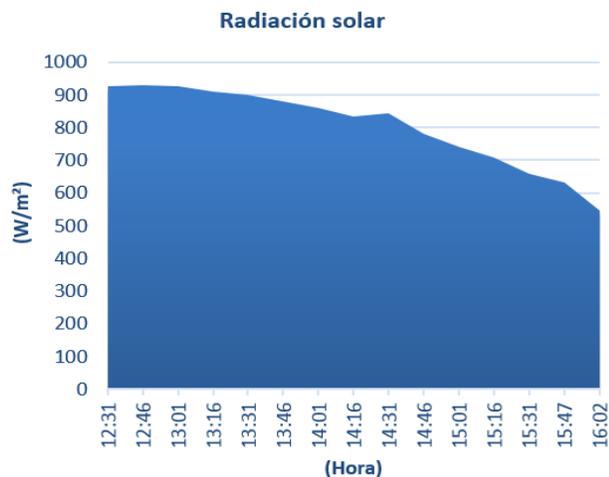


Gráfico 1 Comportamiento de la radiación solar directa

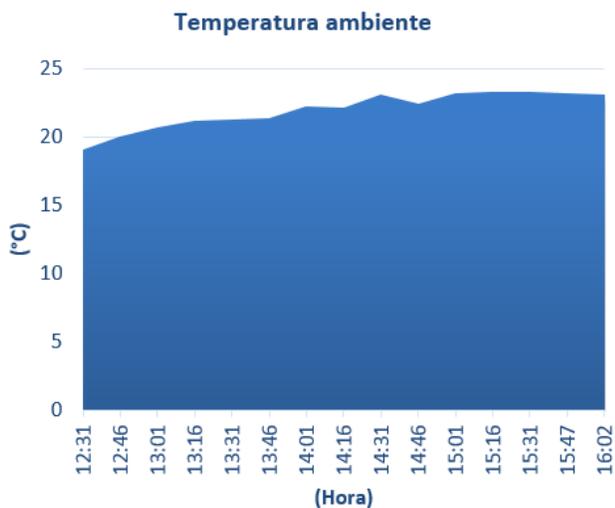


Gráfico 2 Comportamiento de la temperatura ambiente



Gráfico 3 Comportamiento de la velocidad del viento

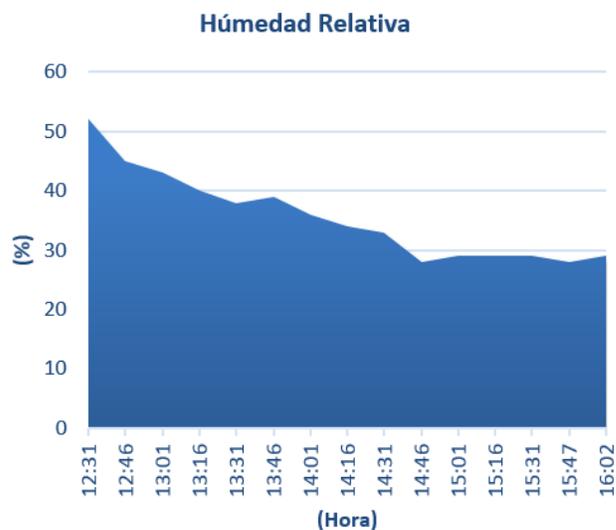


Gráfico 4 Comportamiento de la humedad relativa

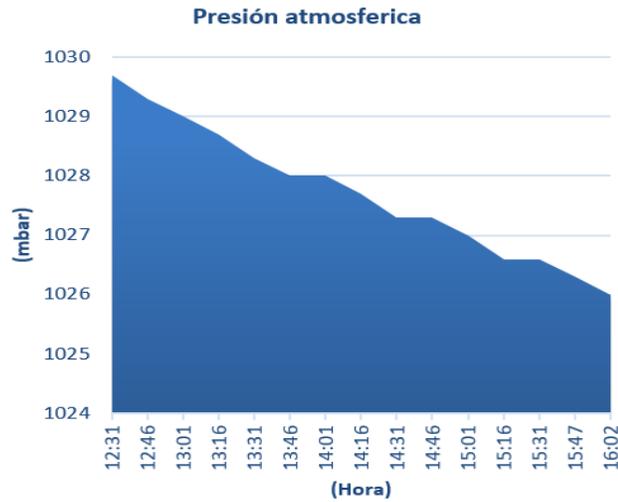


Grafico 5 Comportamiento de la presión atmosférica

Evaluación y obtención del rendimiento térmico o eficiencia térmica del calentador solar propuesto

Como se puede observar, las mediciones de las variables meteorológicas se realizaron solamente en un cierto intervalo de tiempo, de las 12hr00 hasta las 16hr00 del día 21 de abril de 2017.

Cuando se obtuvieron las mediciones climáticas se efectuó el cálculo matemático para obtener el rendimiento térmico del calentador solar.

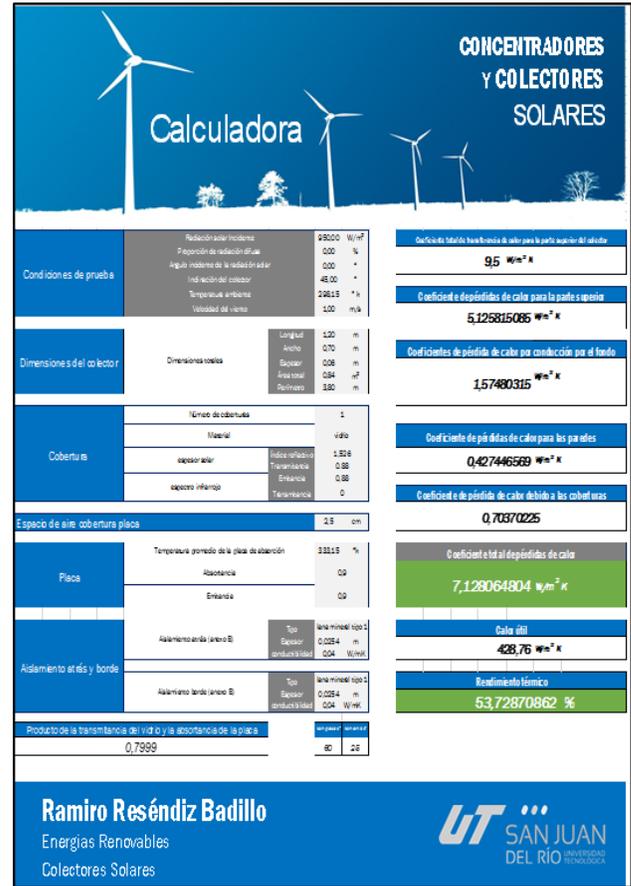


Figura 15 Captura de pantalla de la hoja de cálculo para obtener el rendimiento térmico del calentador solar de cama plana

El calentador solar que se desarrolló pertenece a la categoría de calentadores solares de cama plana por lo tanto, según (Hermsillo-Villalobos, J.J, 2003) para obtener la eficiencia del calentador solar de cama plana se tiene que realizar las siguientes ecuaciones.

$$U_L = U_t + U_b + U_e \tag{1}$$

$$U_t = \left(\frac{N}{(344 / T_p)(T_p - T_a) / (N + f)^{0.31}} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \left(\frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\epsilon_p + 0.0425N(1 - \epsilon_p)]^1 + \frac{(2N + f - 1) - N}{\epsilon_c}} \right)^{-1} \tag{2}$$

Donde, por otro lado,

$$U_b = \frac{k_a}{l} \quad (3)$$

$$U_e = \frac{k_a M P}{l' A_c} \quad (4)$$

$$f = (1 - 0.04 h_w + 0.0005 h_w^2)(1 + 0.058 N) \quad (5)$$

$$h_w = 5.7 + 3.8(v) \quad (6)$$

$$Q_{abs} = H_T A_c (\tau \alpha) \quad (7)$$

$$Q_u = m C_p dT/dt \quad (8)$$

$$Q_L = U_L A_c (T_{p,m} - T_a) \quad (9)$$

Donde, para la ecuación (7)

$$(\tau \alpha) = \frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho d} \quad (10)$$

Sustituyendo las ecuaciones anteriores se obtienen el cálculo del calor útil que del calentador solar:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{p,m} - T_a)] \quad (11)$$

Ahora por lo tanto se calcula directamente el rendimiento térmico o la eficiencia del calentador solar con la siguiente ecuación matemática:

$$\eta_c = \frac{Q_u}{H_T A_c} \quad (12)$$

Nomenclatura

η_c = rendimiento térmico del calentador solar (%)

A_c = área efectiva del colector (m^2).

f = factor de eficiencia del colector.

h_t = calor útil. ($W/m^2 K$)

H_T = energía solar incidente (W/m^2).

h_w = Coeficiente de pérdidas de calor por convección debida a la velocidad del viento.

k_a = conductividad térmica del aislante. (W/mK).

l y l' = espesores del aislante por el fondo y lados respectivamente. (m)

M = altura de colector. (m)

mC_p = la capacidad calorífica del fluido de trabajo ($J/^\circ C$).

N = número de cubiertas de vidrio.

P = el perímetro del colector. (m)

Q_{abs} = calor total incidente absorbido por unidad de tiempo en el colector (W).

Q_u = calor útil que finalmente se transfiere al fluido de trabajo (W).

S = energía absorbida en el colector por unidad de área.

T_a = temperatura ambiente. (k)

T_p = temperatura promedio de la placa de absorción. (k)

$T_{p,m}$ = temperatura media de la placa de absorción ($^\circ C$).

U_b y U_e = son los coeficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo y lados respectivamente. ($W/m^2 K$)

U_L = es la suma de varios coeficientes de pérdidas de calor. ($W/m^2 K$)

U_t = es el coeficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector. ($W/m^2 K$)

v = velocidad del viento. (m/s)

ϵ_C = emitancia de las cubiertas en el infrarrojo.

ϵ_P = emitancia de la placa de absorción en el infrarrojo.

ρd = reflectancia difusa.

$\tau \alpha$ = producto de la transmitancia del vidrio y la absorptancia de la placa.

Resultados de la evaluación del rendimiento térmico del calentador solar

Antes de que se obtuviera el cálculo del rendimiento térmico del calentador solar se diseñó una hoja de cálculo en el software Microsoft Excel el cual permite calcular el rendimiento térmico de los distintos tipos de calentadores solares de caja y/o cama plana, en la figura siguiente se muestra una captura de pantalla de la hoja de cálculo en Microsoft Excel en donde se obtiene el rendimiento térmico de calentadores solares de cama plana.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra los resultados finales de la evaluación del rendimiento térmico del calentador solar propuesto, sometido a pruebas el día 21 de abril de 2017.

| | |
|--|--------------------------------|
| Coefficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector | 9,5 W/m ² K |
| Coefficiente de pérdidas de calor para la parte superior | 5,615964797 W/m ² K |
| "Coefficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo" | 1,052631579 W/m ² K |
| Coefficiente de pérdidas de calor para las paredes | 0,542857143 W/m ² K |
| Coefficiente de pérdida de calor debido a las coberturas | 0,70370225 |
| Coefficiente total de pérdidas de calor | 7,211453519 W/m ² K |
| Calor útil | 341,05 W/m ² K |
| Rendimiento térmico | 43,89329779 % |

Tabla 1 Resultados de la evaluación del rendimiento térmico de calentador solar propuesto

Como se puede observar el rendimiento térmico de nuestro calentador solar es de 43,89% esto según (Hermosillo-Villalobos, J.J, 2003) posee un margen de perdida de calor, pero es aceptado en el rango.

Evaluación del comportamiento de la temperatura del ruido en el calentador solar

Se evaluó la temperatura de salida del fluido, este estudio es de suma importancia ya que en base a esto se puede afirmar que el funcionamiento del calentador solar es eficiente y por ende el periodo de almacenamiento térmico del fluido es más largo. Para esta evaluación se tomó el valor de temperatura de salida del fluido en el calentador solar durante 24 horas. Los valores de temperatura fueron cuantificados por un multímetro con termopar; en la siguiente figura se muestra la hoja de datos del instrumento que se utilizó.



Figura 56 Hoja de datos del instrumento que se utilizó para cuantificar la temperatura de salida del fluido del calentador solar

Resultados de la evaluación del comportamiento de la temperatura del ruido en el calentador solar

En la siguiente tabla se muestra los resultados finales de la evaluación del comportamiento de la temperatura del fluido en el calentador solar, nótese en la tabla que el intervalo de tiempo de cada medición es de una hora dicha evaluación se efectuó el día 22 de abril de 2017.

| Hora | Temperatura En °C |
|--------|-------------------|
| 7hr00 | 69.5° |
| 8hr00 | 69.5° |
| 9hr00 | 69.5° |
| 10hr00 | 69.5° |
| 11hr00 | 69.5° |
| 12hr00 | 69.5° |
| 13hr00 | 69.4° |
| 14hr00 | 69.5° |
| 15hr00 | 69.3° |
| 16hr00 | 69.2° |
| 17hr00 | 69.1° |
| 18hr00 | 69.2° |
| 19hr00 | 69.0° |
| 20hr00 | 68.5° |
| 21hr00 | 68.3° |
| 5hr00 | 63.9° |
| 6hr00 | 63.5° |
| 7hr00 | 63.2° |

Tabla 2 Resultados de la evaluación del comportamiento de la temperatura de salida

Según la evaluación la temperatura más alta que se registró en la salida de agua caliente del calentador solar fue de 69.5°, este resultado según (Hermosillo-Villalobos, J.J, 2003), quiere decir que el sistema está cumpliendo con el principio de absorción de radiación solar y de transferencia de calor.

El promedio de temperatura del fluido a la salida del termotanque es de 68,2833333 °C, y una con una pérdida de temperatura de alrededor de 6,3 °C, esto se traduce a que la temperatura en el interior de termotanque se mantiene caliente después de varias horas. En la siguiente figura se muestra la evidencia de la medición del calentador solar.



Figura 17 Medición de la temperatura en la salida del calentador solar

Fase 6 Preparación de reportes, planos y especificaciones

Se desarrolló un manual de operación, instalación y mantenimiento del calentador solar en la cual fundamenta los principios, objetivos, alcances, metas, análisis, resultados, tipos de instalaciones, anexos y conclusiones del proyecto esto con el fin de poderse implementar y empezar a solucionar las problemáticas mencionadas con anterioridad.

Recursos y metodologías a utilizar

- Computadora
- Paquetería office
- Recurso literario
- Instrumentos de medición eléctrica y electrónica.
- Gráficos
- Histogramas

- Climogramas
- Herramientas de calidad.

En la siguiente imagen se muestra la portada del manual de usuario del calentador solar.



Figura 18 Manual del usuario del calentado solar diseñado

Fase 7 Implementación del diseño

Se realizaron mediciones aparte para conocer las dimensiones del calentador solar tales como:

- Alto
- Ancho
- Área
- Capacidad del termotanque.
- Largo
- Peso con agua
- Peso total

En la siguiente figura se muestra el prototipo terminando e instalado las instalaciones de la universidad tecnológica san juan del rio.



Figura 19 Prototipo terminado

Conclusión

Después de haberse diseñado y desarrollado este calentador solar, se puede afirmar que aunque fuese totalmente económico y hecho manualmente, los resultados del análisis matemático para obtener el rendimiento térmico estuvieron alrededor del 43,89329779 % este resultado es regularmente favorable y aceptable y nos da referencia para mejorar el calentador solar en el futuro, esto con el fin de que no tenga perdidas de calor; como por ejemplo, estudiar más a fondo el comportamiento del aislante térmico y si se pudiese hacer una interacción con otro de fácil acceso.

Con respecto al análisis de temperatura del fluido en la salida del calentador solar, los resultados fueron favorables ya que solamente se perdió 6°C de temperatura durante la noche y se alcanzó una temperatura máxima de 69°C, esta temperatura se considera muy alta en un calentador solar de cama plana.

Como meta a mediano plazo, el prototipo será instalado en el hogar de una familia en San Juan Del Río, que no tiene el recurso económico necesario para comprar un calentador de gas o en su caso de adquirir un calentador solar convencional.

Como seguimiento a la mejora continua del proyecto se considera factible en realizar más análisis, tales como los que se realizan en el MEXOLAB, tales análisis son los siguientes:

- Choque térmico externo
- Choque térmico interno
- Penetración de lluvia
- Resistencia a alta temperatura
- Resistencia a heladas
- Resistencia a la presión hidrostática
- Resistencia a la presión positiva
- Resistencia al impacto
- Resistencia al sobrecalentamiento

Y dados esos análisis, y con un cumplimiento favorable a los mismos, es factible que se gestione ante la Universidad Tecnológica de San Juan del Río un análisis de negocios para que se comience con el proceso de venta del proyecto.

Agradecimiento

Agradecemos al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (Conacyt), al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, a los organizadores del Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento, Mecatrónica e Informática, CIERMMI 2017 y a la Universidad Tecnológica de San Juan Del Rio, por los apoyos brindados durante el desarrollo del presente proyecto.

Referencias

ALEJANDRO MANZANO RAMÍREZ, ÁNGEL MARROQUÍN DE JESÚS, JUAN MANUEL OLIVARES RAMÍREZ. (2014). Diseño y Construcción de Un Calentador Solar Para Agua. México, DF: Editorial Académica Española.

AYOMPE, L. M., DUFFY, A., MCCORMACK, S. J., & CONLON, M. (2011). Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heating systems. *Applied Thermal Engineering*, 31(8- 9), 1536-1542. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.01.046>

BELLOS, E., TZIVANIDIS, G., & ALEXOPOULOS, I. (2015). Energetic, exergetic and financial evaluation of. Athens, Greece: Department of Thermal Engineering, National Technical University of Athens, Zografou, Heron Polytechniou.

BOUZENADA, S., MCNEVIN, C., HARRISON, S., & KAABI, A. (1 de abril de 2016). Performance of a liquid desiccant air-conditioner driven by evacuated-tube, flat-plate, or hybrid solar thermal arrays. *Energy and Buildings*, 117, 53- 62. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.002>

BRENNENDORFER, B., KENNEDY, C., BATEMAN, C. O., Mrema, G., & Werekobrobby, C. (1995). *Solar Dryers. Their Role In post Harvest Processing*. Londres, Reino Unido: Commonwealth Secretariat Publications.

CARLBERG, C. (2010). *Administración de Datos con Excel*. México: Prentice Hall.

CEA QUERETARO. (2017). CEA-UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA IQUERETA29. 2017, de Weather Undergraound Sitio web: <https://www.wunderground.com/personalweatherstation/dashboard?ID=IQUERETA29#history/tdata/s201>

CFE, (2008). “Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico”. Haga clic aquí para escribir texto.

DUFFIE AND BECKMAN, (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes* Wiley/Interscience, New York.

GUDIÑO, A. D., (2001) *Calibración de Piranómetro*. Reporte de Proyecto No. 22, Unidad.

HERMOSILLO, J. J., (1999) *Destilación Solar*. Cuaderno Huella #16, ITESO.

JAMAR, A., MAJID, Z., AZMI, W., NORHAFANA, M., & RAZAK, A. (agosto de 2016). A review of water heating system for solar energy applications. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 178-187. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>

KALOGIROU, S. (2009). *Solar Energy Engineering*. Cambridge, Massachusetts, United States: Academic Press.

LUNDE P.J. (1999) *Solar Thermal Engineering: Space Heating and Hot Water Systems*. Pp 70-109. Wiley, New York.

MANRIQUE, J. A., (2003). *Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas*. Ed. Halla.

VERGARA, J. C., & QUESADA, I. (2007). *Estadística Básica con Aplicaciones en Microsoft Excel*. Madrid: Editorial Emes - Universidad de Cartagena.

Aplicación de tecnologías para el cultivo de junco

CARPINTEYRO-CHAVEZ, Lina Mariana^{†*}, BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María, TEÓN-VEGA, Argelia y ALFONSO-ÁLVAREZ, Juan

Universidad Tecnológica de Tijuana, carretera libre Tijuana-Tecate km.10, fracc. El Refugio Quintas Campestre. C.P. 22253 Tijuana, B.C. México

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

El proyecto “Aplicación de un sistema de captación de humedad para el riego de cultivos de junco” se realizó en la comunidad de San José de la Zorra. Como objetivo se planteó elaborar un prototipo que aprovechara el rocío de la zona así como el poliacrilato para retención de humedad, y emplearlo para el riego de cultivos de junco. La metodología se basó en cuatro etapas. La primera corresponde a la observación de las variables significativas como la temperatura, humedad relativa, altitud, tipo de terreno, tipo de suelo, entre otros. La siguiente etapa se refiere al diseño del prototipo, especificando las dimensiones del sistema. Posteriormente, se procedió a la elaboración del prototipo en conjunto con los habitantes de la comunidad de San José de la Zorra. La cuarta etapa corresponde a la implementación, ubicando el prototipo de acuerdo a las condiciones y parámetros analizados previamente, y por último, se evaluó el prototipo para determinar la eficiencia de la aplicación y posterior reproducción en la comunidad. La contribución de este trabajo es optimizar los cultivos de junco proporcionando una parte del agua que requieren para su crecimiento, ya que este constituye la principal materia prima que los kumiai emplean para la elaboración de sus artesanías, y éstas representan su mayor sustento económico

Captador de humedad, poliacrilato, junco, artesanos kumiai

Abstract

The project “Application of technologies for rushes cultivation” was made in San José de la Zorra community. The objective was elaborate a prototype that includes the use of dew and polyacrylate for use in rushes cultivation. The methodology is developed in five stages. The first stage corresponds to the observation of significant variables such as temperature, relative humidity, altitude, land type, soil type, among others. The next stage refers to the design of the prototype through software; specifying the system dimensions. Subsequently, the elaboration of the prototype together with the inhabitants of the community of San José de la Zorra. In the fourth stage that corresponds to the implementation, placing the prototype according to the conditions and parameters previously analyzed. Finally, it was evaluated to determine the app's efficiency of and subsequent reproduction in the community. Currently, the climatic conditions of the area have affected the availability of rushes, due to the drought. The implementation of the prototype aims to improve the current state of the cultivation of the species, which is used for the production of handicrafts; Economic sustenance of the ethnic group Kumiai of San José de la Zorra.

Humidity collector, polyacrylate, rushes and craftman kumiai

Citación: CARPINTEYRO-CHAVEZ, Lina Mariana, BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María, TEÓN-VEGA, Argelia y ALFONSO-ÁLVAREZ, Juan. Aplicación de tecnologías para el cultivo de junco. *Revista de Sistemas Experimentales*. 2017. 4-12: 36-46.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: lina.carpinteyro@uttijuana.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los kumiai son un grupo cultural que radica en Baja California (México) y sur de California (Estados Unidos de América). Ellos han habitado dicha región por cientos de años, incluso se tiene registro de su presencia desde la expedición encabezada por Juan Rodríguez Cabrillo a la Bahía de San Diego, actualmente San Diego, CA., entre los años de 1542 al 1543 (Lazcano, 2000) Este grupo étnico era seminómada; conocían el territorio y se movían dependiendo la estación del año. Según fueran sus necesidades, se dedicaban a la caza, pesca, e incluso elaboraban sus propias herramientas, adornos y cestas con lo que tuvieran a su alcance, conocían muy bien la vegetación de las zonas donde radicaban.

Con el paso del tiempo los kumiai se volvieron sedentarios y fijaron su residencia en lugares donde tuvieran acceso al agua y vegetación que les permitiera alimentarse: San Antonio Necua, Juntas de Nejí, La Huerta, San José Tecate, Peña Blanca y San José de la Zorra, fueron las comunidades que erigieron (Olmos, 2013) Para subsistir comenzaron a emplearse como capataces o campesinos de algún rancho, sin embargo muchos otros siguieron preservando las técnicas ancestrales para elaborar cestería, adornos, herramientas, entre otros objetos.

Con respecto a la comunidad de San José de la Zorra, ellos conocían la labor artesanal, incluso su asentamiento estaba rodeado de juncos, el cual se convirtió en la materia prima esencial para realizar sus artesanías. Sabían la época del año y el lugar donde se encontraban los mejores materiales para su trabajo. También poseían conocimiento de la cantidad que debía ser recolectada por temporada para hacer sus productos sin provocar un desequilibrio en el entorno.

Esos saberes fueron transmitidos generación a generación y aún es posible encontrar personas que se desempeñan como artesanos.

Problemática

El junco es una planta que requiere mucha agua para su crecimiento, de hecho su hábitat común es en las riberas de ríos y/o arroyos. Uno de los principales problemas que afecta a San José de la Zorra es la escasez de agua en la región (Meraz, Valderrama, & Maldonado, 2012). Esto ha disminuido considerablemente la cantidad de junco en los alrededores, provocando que los artesanos ya no puedan conseguirlo (figura 1) de manera natural en sus riberas, y se ven en la necesidad de comprarlo en otras localidades, generando un gasto que muchas veces no pueden solventar.



Figura 1 Junco comprado en La Misión, Ensenada, B.C

Fuente: Elaboración propia

Objetivo

Partiendo de la problemática presente en la zona, implementar tecnologías que favorezcan la recuperación del recurso, en este caso el agua, es de gran beneficio. Por ello se planteó como objetivo elaborar un prototipo que aprovechara el rocío de la zona, mismo que sirva para el riego de tierra preparada con poliacrilato para retención de humedad, y emplearlo para el cultivo de junco.

Justificación

Una alternativa para disminuir el problema de la escasez de agua consiste en la implementación de un sistema de captación de rocío y retención de humedad con poliacrilato, pues aprovecha las condiciones ambientales de la comunidad, puede elaborarse con materiales de bajo costo y permite su almacenamiento así como posterior uso en el cultivo del junco. Por otra parte este sistema permite estudiar las variables de temperatura y humedad en la localidad de San José de la Zorra y emplear esa información en proyectos posteriores.

Metodología

El sistema de captación de humedad que se realizó está basado en los captadores tipo cuadro, los cuales tienen una pantalla rectangular hecha de malla raschel, y para que tengan una mejor retención de la humedad del ambiente se colocan a una altitud de 400 m.s.n.m., orientados en dirección del viento.

Este modelo es de los más empleados y eficientes (Sánchez, 2014) Para realizar el prototipo de sistema de captación de rocío y aprovechamiento de poliacrilato se ejecutaron cuatro etapas (figura 2).

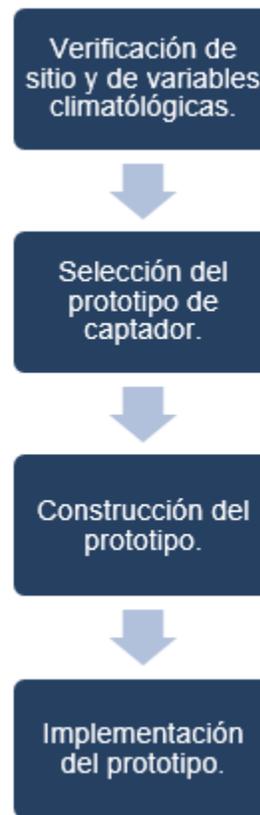


Figura 2 Etapas del desarrollo del prototipo

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una verificación del sitio para el reconocimiento de las áreas más altas, y de esta manera determinar cuáles serían los sitios de instalación del prototipo. También se revisaron los datos de temperatura, altitud, precipitación promedio anual y la velocidad del viento. Se seleccionó el modelo de captador, el cual debía ser fácil de construir con materiales de reúso para poder ser replicado posteriormente por los habitantes, además, se le incorporó un conducto que drenara el agua captada al contenedor con poliacrilato.

El prototipo de captador seleccionado es el de tipo cuadro, pues reunía los requisitos antes mencionados además de ser funcional en alturas de 400 m.s.n.m. (Martos, 2009).

Posteriormente, se procedió a la construcción del prototipo, realizando previamente un plano de las dimensiones del mismo y la disposición de sus componentes. Finalmente se realizó la implementación del prototipo y se hizo una evaluación de la funcionalidad del sistema.

Resultados

Para que un captador pueda retener la niebla del ambiente, debe ser instalado en zonas muy altas, ya que la niebla son nubes bajas, y “como la niebla se presenta a altitudes superiores, generalmente a partir de los 500 m, y las caletas se encuentran al nivel del mar, los atrapanieblas se ubican en las montañas de la cordillera de la Costa que enmarcan dichos poblados; de este modo el agua escurre por gravedad” (Cereceda, 2008). Asimismo, algunos autores proponen que desde los 400 m.s.n.m. también se obtienen buenos resultados (Martos, 2009).

La selección de los puntos de instalación del prototipo se hizo mediante una revisión de imágenes satelitales (figura 3), con ayuda de *google earth*, de manera que se tuviera un panorama más completo de la zona. También se hizo la verificación *in-situ* para reconocer el perímetro con el que cuenta la zona así como identificar los lugares donde serían instalados los prototipos.

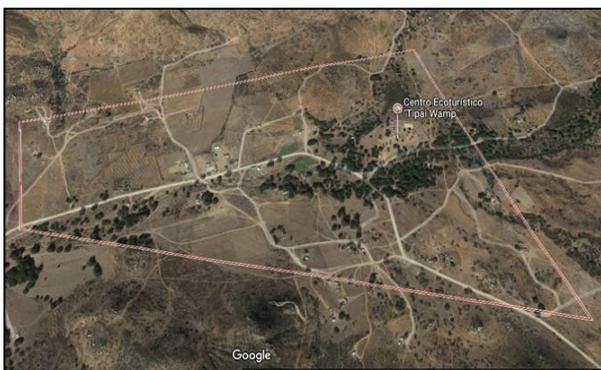


Figura 3 Imagen satelital de San José de la Zorra
Fuente: *Google earth*

Por lo tanto, se seleccionaron tres lugares que cumplieran con la altitud así como con otras condiciones: estar en una zona libre de vegetación y contar con acceso para poder subir y hacer los muestreos pertinentes (figura 4).



Figura 4 Selección de los sitios para instalar los prototipos.

Fuente: *Google earth*

Una vez elegida la zona donde se implementó el prototipo, el terreno del sitio era bastante irregular, lo que dificultó la instalación de los prototipos y en consecuencia el tiempo de monitoreo (figura 5).



Figura 5 Predio en el que se instaló el prototipo

Fuente: *Elaboración propia*

Para la verificación de las variables climatológicas se consultaron dos fuentes: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y AccuWeather.

CARPINTEYRO-CHAVEZ, Lina Mariana, BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María, TEÓN-VEGA, Argelia y ALFONSO-ÁLVAREZ, Juan. Aplicación de tecnologías para el cultivo de junco. Revista de Sistemas Experimentales. 2017.

En la tabla 1 se concentran los promedios obtenidos durante el periodo de aplicación del proyecto; enero-abril 2017.

| Variable | Promedio del periodo enero-abril, 2017 |
|----------------------------------|--|
| Precipitación anual | 273 mm |
| Velocidad del viento | 0.5 m/s |
| Distancia de cercanía a la costa | 62.76 km |
| Temperatura | 12°C |
| Humedad relativa | 88% |

Tabla 6 Relación de variables climatológicas y promedios obtenidos de enero-abril 2017
Fuente: *Pronóstico.cicese.mx*

En la tabla 1 se observa que la velocidad del viento es de 0.5 m/s y la humedad relativa es de 88%, esto refleja “el efecto de la velocidad del viento sobre la captación de agua” (Sánchez, 2014) pues a menor velocidad del viento las nubes no se mueven y por lo tanto existe una mayor captación por parte del prototipo.

Posteriormente se realizó el plano del prototipo en Autocad 21.2, el cual es una estructura similar a un letrero caminero, compuesto de dos postes, una malla raschel, una canaleta para que recolecte el agua, cimientos de concreto y un contenedor con poliacrilato para el agua (Cereceda, 2008).

Las dimensiones de la estructura del sistema son de 1 m de ancho por 1.5 m de largo, se le instaló una malla plástica tipo raschel para atrapar la humedad, y permitir que ésta resbale por gravedad (Cereceda, Hernández, Leiva, & Rivera, 2014) para que sea conducida hacia el contenedor con poliacrilato. Los cimientos de concreto quedaron bajo tierra, para darle estabilidad a la estructura. (Figura 6)

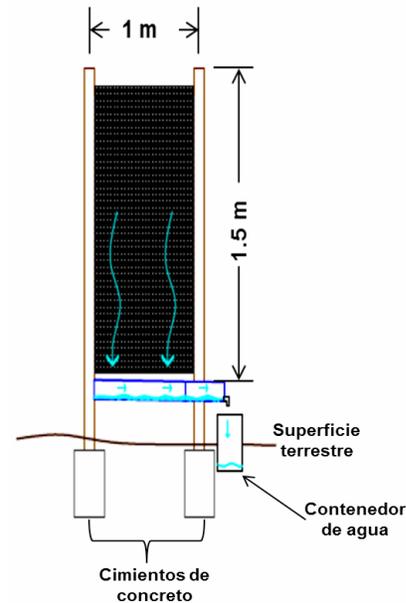


Figura 6 Plano del prototipo
Fuente: *Elaboración propia*

Una vez desarrollado el plano, se adquirieron los materiales para su construcción. Como parte de un proyecto que promueve tanto la sustentabilidad como el aprovechamiento de recursos y materiales disponibles en la región, algunos de éstos fueron de reúso, tales como clavos, barrotes, entre otros (figura 7). Este punto fue importante, ya que una de las intenciones del proyecto es que los habitantes de la comunidad puedan replicar el prototipo con insumos que tengan a su alcance.



Figura 7 Material para la construcción del prototipo
Fuente: *Elaboración propia*

El resto de los materiales: malla raschel (figura 8), cemento, tubo para canaleta, contenedor de agua, fueron adquiridos en comercios cercanos a la región.



Figura 8 Malla para captación de humedad
Fuente: Elaboración propia

En la fase de implementación, se instaló el prototipo en uno de los lugares designados. En las figuras 8, 9 y 10 se muestra parte del proceso de instalación.



Figura 9 Excavación para la construcción del prototipo
Fuente: Elaboración propia

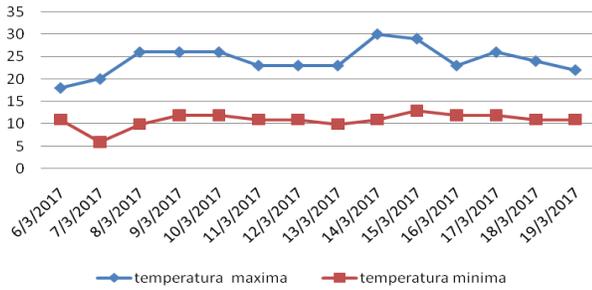


Figura 10 Anclaje del prototipo
Fuente: Elaboración propia



Figura 11 Prototipo instalado
Fuente: Elaboración propia

Ya instalado el prototipo se procedió a monitorear su funcionalidad. Lo primero que se tomó en consideración fue la temperatura, por lo que se obtuvieron los datos de dos semanas de monitoreo (gráfica 1).



Gráfica 1 Temperatura máxima y mínima obtenidas durante la semana de monitoreo al prototipo
Fuente: *Elaboración propia con base en Accuweather*

En la gráfica 1 se observa que la temperatura más alta fue registrada el 15 de marzo, mientras que la más baja el día 7 del mismo mes. Los días de mayor humedad fueron el 7, 14, 15 y 16 de marzo, la razón fue el brusco cambio de temperatura. El promedio mensual de humedad registrado en el mes de marzo fue de 64 % (SIMARBC, 2017) esto indica que la presencia de humedad favorece la recuperación a través del sistema. Otro factor a estudiar fue la cantidad de agua captada por el sistema. Para ello, los primeros tres días se observó y cuantificó el nivel del agua captada alrededor de las 10 de la mañana, sin embargo el envase de almacenamiento del agua estaba seco. Revisando el interior del recipiente se pudo constatar la marca de agua que se había recolectado pero que se había secado por estar a la intemperie (ver figura 12).



Figura 12 Envase de recolección de agua del prototipo
Fuente: *Elaboración propia*

Después de haber observado que el prototipo no había retenido el agua, se decidió hacer una reestructuración al modelo. En el nuevo diseño únicamente cambió el recipiente donde se capta el agua. Éste se enterró y se le colocó una tapadera para evitar pérdidas de agua por evaporación. La canaleta que se tiene en el captador se conectó al recipiente mediante una manguera para guiar el agua al recipiente y de esta manera poder sellar las salidas. Se le colocó otra manguera para la salida del agua para favorecer su conservación (figura 13).

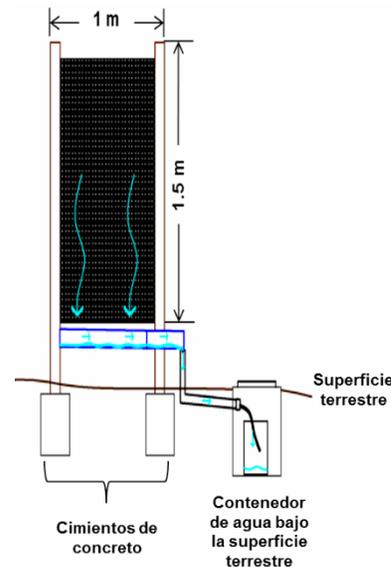


Figura 13 Reestructuración del sistema captador
Fuente: *Elaboración propia*

Se procedió a realizar los cambios al prototipo anterior y se instaló nuevamente. Se decidió llevar una bitácora para registrar lo captado en el sistema. En esta ocasión sí se colectó 30 mL de agua en el recipiente, por lo tanto se comprobó que el envase enterrado retiene el agua pues evita su evaporación (Tabla 2). Por lo que para cubrir la demanda semanal de 1 L el sistema necesitaría tener las siguientes dimensiones:

| Fecha | Agua captada (mL) | Responsable de monitoreo |
|------------|-------------------|--------------------------|
| 06/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 07/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 08/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 09/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 10/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 11/03/2017 | 0 | Jessaeli Lugo |
| 12/03/2017 | 0 | Jessaeli Lugo |
| 13/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 14/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 15/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 16/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 17/03/2017 | 0 | Janet Salazar |
| 18/03/2017 | 0 | Jessaeli Lugo |
| 19/03/2017 | 30 | Jessaeli Lugo |

Tabla 2 Bitácora del volumen captado por el prototipo instalado

Fuente: *Elaboración propia*

Cuando el captador comenzó a funcionar fue posible pasar a la otra fase del proyecto: utilizar el agua captada del sistema para riego del huerto de junco. Para esto se tenía planeado usar el poliacrilato por su capacidad de retención de la humedad.

A partir de la captación registrada durante la implementación del prototipo se realizó una proyección del dimensionamiento para poder cubrir la demanda hídrica (tabla 3).

| Características | Valor |
|--|--------------------|
| Área disponible para la captación | 1.5 m ² |
| Volumen captado | 30 mL/día |
| Volumen requerido por semana | 1L |
| Área proyectada para captación del volumen de agua | 7.5 m ² |

Tabla 3. Demanda semanal del captador

Fuente: *Elaboración propia*

Se buscó información para poder montar esta etapa y se decidió trabajar con el proyecto tecnológico “Lluvia sólida” el cual está “basado en una fórmula cuyo componente principal es un polímero llamado poliacrilato de potasio, el cual permite gelatinizar los líquidos y rehidratarlos repetidas veces durante su vida útil, ciclo que se puede repetir de ocho a diez años”. (Corral, 2014) Existen algunos experimentos donde se ha usado este material como parte de un sistema de riego, aportando resultados favorecedores.

Para trabajar con el poliacrilato en el proyecto, se decidió comprar pañales y romperlos hasta obtener el material pues no se tenía contemplado hacer, en esta primera etapa de experimento, los análisis correspondientes a los desechos de los pañales usados y el comportamiento de las plantas con éstos.

Para proceder con esta etapa se delimitó un área donde se sembró girasoles y junco (ver figura 14). Una vez delimitada el área se comenzó a preparar la tierra, para ello se realizaron cajetes para agregar las semillas de girasol y los tallos del junco.



Figura 14 Delimitación y preparación del área para sembrar girasoles y junco

Fuente: *Elaboración propia*

Posteriormente se añadió el poliacrilato humedecido con el agua captada por el sistema solamente en la mitad del terreno. Luego se taparon los huecos con tierra húmeda verificando que las semillas y las raíces no estuvieran expuestas (ver figura 15).

El método que se siguió fue regar las semillas cada seis días utilizando un litro de agua, mientras que la otra parte la cual no contenía el polímero se regaba cada tercer día empleando 600 ml.



Figura 15 Preparación de la tierra con el poliacrilato
Fuente: *Elaboración propia*

Se pudo observar durante el proceso, que el poliacrilato se compacta cambiando su forma física, es decir, de polvo a gel (Polanco, Espinosa, Delfín, & Turpin, 2005), de esta manera se retiene un mayor porcentaje de humedad en el suelo facilitando el crecimiento de las plantas sin necesidad de regarlo continuamente (ver figura 16). Un factor que también se observó es que la humedad persiste hasta 30 días en el poliacrilato (Corral, 2014)



Figura 16 Poliacrilato húmedo con tierra
Fuente: *Elaboración propia*

Otro resultado derivado de esta etapa fue que donde se tenía el poliacrilato germinó más rápido la semilla de girasol.

Éste ya se mostraba con hojas mientras que el otro, que estaba solo con tierra no se obtuvo rastro de la planta (ver figura 17).



Figura 17 Semillas de girasol germinadas en tierra con poliacrilato
Fuente: *Elaboración propia*

A partir de este resultado se puede percibir que la “lluvia sólida” es factible para la siembra de girasoles y disminuye el consumo de agua, ya que normalmente se riegan cada dos o tres días dependiendo el tiempo. Por último se realizó la prueba con el junco. Éste se colocó en dos macetas; una con poliacrilato y otra sin ése, pues si se dejaba en la tierra, como se hizo con los girasoles, no podría crecer ya que no retendría la humedad suficiente.

Con el junco se obtuvieron resultados diferentes pues no se observó crecimiento en ninguna de las macetas. Según los residentes de San José de la Zorra, esta planta se desarrolla más lento a comparación de los girasoles.

Conclusiones

El uso del sistema captador de rocío en la comunidad de San José de la Zorra representa una oportunidad de aprovechamiento de las condiciones ambientales de la localidad.

El sistema “permite la obtención de una fuente adicional de agua, de forma sostenible, y con un elevado potencial de autoconstrucción y autogestión” (Pascual, Naranjo, Payano, & Medrano)

El prototipo funciona con la adaptación realizada, es decir, enterrando el recipiente y dejando sólo el orificio para vaciar el agua captada. El recipiente necesita ser vaciado en las primeras horas de la mañana, es decir de 6 a 8, para evitar que se evapore el agua captada.

El uso de poliacrilato mantuvo hidratada las semillas de girasol promoviendo el crecimiento de éstas. Sin embargo se piensa que en una segunda fase de este proyecto se pueda utilizar dicho material proveniente de los residuos de pañales de la comunidad de San José de la Zorra. Para ello se procedería a realizar las pruebas necesarias y observar las posibles reacciones de las plantas con el poliacrilato impregnado de orina y/o excreta.

En el caso del junco, el prototipo en este experimento, no pudo proporcionar el agua suficiente para mantener hidratada la planta. Se piensa que un segundo sistema, colocado a una altura igual o mayor de 400 m, puede servir para alimentar una maceta de 45 cm de altura y 20 cm de diámetro aproximadamente.

También se concluye que este tipo de sistemas, con las condiciones de operación óptimas, puede llegar a ser una opción para que los artesanos kumiai siembren su propia materia prima cuando haya sequía o poco junco en las riberas.

Agradecimientos

Aprovechamos este espacio para agradecer a Janet Salazar Carrillo, por permitirnos trabajar en su terreno y por su ayuda. También al maestro Luis Eduardo Vargas Gurrola y a Jessaeli Lugo Saucedo por su apoyo durante la ejecución del proyecto. A Luis Edgar Portillo López por la traducción del resumen de este artículo.

Referencias

Cereceda, P. (2008). "Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural". Medio ambiente y Desarrollo, Cipma, 51-56.

Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, J., & Rivera, J. d. (2014). Agua de niebla. Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas. Santiago, Chile: CORFO.

Corral, D. (2 de mayo de 2014). academiapanamericanaingenieria. Obtenido de http://www.academiapanamericanaingenieria.org/Solo_Ingenieros/docs/193.pdf

Lazcano, C. (2000). PA-TAI. La Historia Olvidada de Ensenada. Ensenada, Baja California: Seminario de Historia de Baja California y Museo de Historia de Ensenada.

Martos, D. (14 de 07 de 2009). aula.aguapedia.org. Obtenido de http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/10799/mod_resource/content/1/CAPTACIO%CC%81N%20AGUA%20DE%20NIEBLA%20DAVID%20SIMON%20MARTOS_1.pdf

Meraz, I., Valderrama, J., & Maldonado, S. (Mayo de 2012). La ruta del vino en el Valle de Guadalupe, Baja California, México. Perspectiva frente al cambio climático: Una primera aproximación. . Saltillo, Coahuila, México.

Olmos, M. (2013). Los pueblos indígenas yumanos de Baja California. Estado en Movimiento, p. 5-6.

Polanco, G., Espinosa, R., Delfín, I., & Turpin, S. (2005). Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/polanco.pdf>

Sánchez, A. (febrero de 2014). <http://www.pincc.unam.mx>. Obtenido de http://www.pincc.unam.mx/INFORMES%20PROYECTOS/19_Informe_final.pdf

SIMARBC. (2017). Obtenido de <http://www.simarbc.gob.mx/clima2.htm>

Análisis del residuo seco generado en la purificación del biodiesel

SARRACINO-ORTIZ, Ana†, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, Verónica, ANDRADE-DURÁN, Juan*, y SARRACINO-MARTÍNEZ, Omar.

Instituto de Energías Renovables UNAM, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Universidad Autónoma de Campeche F.I., Universidad Autónoma de la Chontalpa

Recibido Febrero 15, 2017; Aceptado Agosto 29, 2017

Resumen

Objetivo: Evaluar la toxicidad aguda en lombriz de tierra *Eisenia foetida* del residuo proveniente de la etapa de lavado en seco del biodiesel.

Metodo: Se evaluó toxicidad aguda mediante el método de contacto en papel filtro de acuerdo a la Guía para Pruebas de Sustancias Químicas, No. 207 de la OCDE y se determinó la Concentración Letal 50 (CL₅₀) por la ecuación de regresión lineal mediante el software estadístico R® a las 24 y 48 h. La composición química elemental del residuo se determinó mediante Espectrometría de Energía Dispersa.

Resultados: El residuo presenta alto contenido de carbono con más del 50% en su composición, presenta Concentraciones Letales 50 de 112.59 mg.mL⁻¹ para las 24 h y 81.64 mg.mL⁻¹ a las 48 h, se observaron efectos toxicológicos en los organismos a partir de concentraciones mayores a 91.6 mg.mL⁻¹.

Conclusion: De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda evaluar la disposición alternativa de este residuo como mejorador de suelo debido a su alto contenido orgánico.

Gusano de tierra, biodiesel, purificación en seco, residuos, silicato de magnesio

Abstract

Purpose: To assess the acute toxicity to *Eisenia foetida* earthworm by the residue generated in the dry-purification stage of biodiesel.

Methods: Acute toxicity was assessed by the filter paper contact method according to the OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 207; Lethal Concentration 50 (LC₅₀) was determined by the linear regression equation using the statistical software R® after 24 and 48 h; and the elemental chemical composition of the residue was examined with Energy-Dispersive Spectrometry.

Results: The residue has high carbon content with more than 50% in its composition, the median Lethal Concentration 50 is of 112.59 mg.mL⁻¹ after 24 h, and of 81.64 mg.mL⁻¹ after 48 h, toxicological effects were observed in the organisms starting at concentrations higher than 91.6 mg.mL⁻¹.

Conclusion: According to the results, it is recommended to study an alternative disposal of this residue as a soil improver due to its high organic content.

Earthworm, biodiesel, dry-purification, residue, magnesium silicate

Citación: SARRACINO-ORTIZ, Ana, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, Verónica, ANDRADE-DURÁN, Juan, y SARRACINO-MARTÍNEZ, Omar. Análisis del residuo seco generado en la purificación del biodiesel. *Revista de Sistemas Experimentales*. 2017. 4-12: 47-53.

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: jeandrad@uacam.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La no adecuada utilización de las reservas de combustibles fósiles, los altos costos de producción que representan las fuentes no renovables de energía, así como el impacto ambiental han impulsado la búsqueda de fuentes alternas que ayuden a satisfacer la demanda energética mundial y cumplan con los principios del desarrollo sustentable.

Una de las fuentes de energía alternativa más utilizadas desde la antigüedad y que ha sido objeto de intensas investigaciones en los últimos años es la biomasa, término que se refiere a cualquier material orgánico proveniente de las plantas (incluyendo vegetación arbórea, algas y cultivos), siendo considerada una fuente importante al liberar energía química almacenada cuando los enlaces entre sus moléculas adyacentes de carbono, hidrógeno y oxígeno se rompen por digestión, combustión o descomposición (McKendry, 2002).

Los lípidos vegetales como el aceite de soya, canola, girasol, jatropha o la combinación de éstos inclusive como residuos del sector alimentario, son materia prima para la obtención de biodiesel, un combustible alternativo al diésel derivado del petróleo; biodegradable, de baja toxicidad y libre de sulfuros o compuestos aromáticos que puede ser utilizado en máquinas de ignición con poca o ninguna modificación (Dahiya A, 2015).

Las investigaciones en esta área se enfocan principalmente a la calidad y eficiencia del producto final, mas no en las sustancias desconocidas que se liberan durante el proceso, por lo que son necesarios estudios que provean una mejor base para procesos de obtención de biocombustibles con bajo impacto ambiental negativo (Bluhm K & Seiler Thomas-Benjamin, 2012).

Dentro del proceso de obtención de biodiesel, se realiza una etapa de lavado del producto crudo proveniente de la etapa de transesterificación, la finalidad es retirar los contaminantes que pudieron quedar de dicha etapa, tales como trazas de catalizador, glicerol, metanol, metales, humedad, entre otros, que pueden alterar la calidad del producto (Bryan T, 2005). Existen dos métodos de purificación, el método tradicional es el “húmedo” que consiste en un lavado de los metilésteres con agua hasta arrastrar la mayor cantidad de contaminantes presentes, este método puede ser reemplazado por un lavado en seco, utilizando absorbentes o resinas de intercambio iónico (Duran E & Sebastián P, 2014), evitando la generación y el tratamiento de aguas residuales, reduciendo costos y tiempo de proceso (Bryan T, 2005).

Al final de la etapa de lavado, se obtiene un residuo sólido que necesita ser dispuesto o dirigido a otras aplicaciones como composta, alimento para animales o combustible, (Schmitt C, & Espinosa M, 2011), de tal forma que en el presente trabajo se evaluaron las características de composición y toxicidad del residuo derivado de la etapa de purificación del biodiesel con silicato de magnesio sintético comercial (Magnesol®), considerando también que no existe antecedente para el manejo de este material después de cumplir su función, se caracterizó dicho residuo mediante análisis químico semicuantitativo y se determinó la toxicidad aguda en lombriz de tierra *Eisenia foetida*, organismo indicador de la matriz suelo.

El residuo presenta propiedades tóxicas sobre la lombriz de tierra a partir de concentraciones de 91.6 mg.mL⁻¹ en solución acuosa y alto contenido de carbono con más del 50% en su composición por lo que podría ser evaluado como fertilizante o mejorador de suelo debido a su alto contenido orgánico.

Experimental

Para la obtención del residuo se procesaron 25 litros de aceite comestible residual en un prototipo de planta piloto con capacidad de proceso de 40 litros por lote y eficiencia del 94%, para la obtención de metilésteres de ácidos grasos se empleó el método de transesterificación alcalina utilizando metóxido de sodio como catalizador (Duran E & Sebastián P, 2014). La purificación del biodiesel crudo se realizó mediante un lavado en seco, para ello se adicionó 2% p/v de absorbente sintético (Magnesol[®]) manteniendo la recirculación durante 5 min (Bryan T, 2005), finalmente se extrajo el residuo de la etapa de purificación seca mediante un filtro comercial marca Rotoplas[®].

Análisis químico semicuantitativo y potencial hidrógeno

Se realizó un análisis químico semicuantitativo para conocer la proporción de elementos presentes en el residuo mediante Espectrometría de Energía Dispersa, en un Microscopio Electrónico de Barrido marca Hitachi modelo SUI510, EDS Marca Oxford Instruments X-ACT. Además, se midió el potencial hidrógeno del residuo en solución acuosa en proporción 1:2, basado en el método 9040C: Medición electrométrica del pH para la evaluación de residuos sólidos de características desconocidas, (Environmental Protection Agency. 2004).

Determinación de la Concentración Letal 50

La toxicidad se evaluó mediante el método de contacto con papel filtro establecido por la Prueba de Toxicidad Aguda con Lombriz de Tierra No. 207 de la OECD. Se realizaron soluciones del residuo en agua destilada a diferentes concentraciones (Tabla 1.), éstas se determinaron mediante una prueba preliminar donde se establecieron las cantidades de aplicación respecto al área del papel filtro.

| Cantidad aplicada al papel filtro | Concentración de la solución aplicada |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 mg cm ⁻² | 45.8 mg mL ⁻¹ |
| 2 mg cm ⁻² | 91.6 mg mL ⁻¹ |
| 2.5 mg cm ⁻² | 114.5 mg mL ⁻¹ |
| 3 mg cm ⁻² | 137.4 mg mL ⁻¹ |

Tabla 1 Concentraciones aplicadas en la prueba

Fuente: *Elaboración propia*

Los organismos de prueba fueron lombrices de tierra de la especie *Eisenia foetida* en etapa adulta, con peso en el rango de 300–350 mg y clitelio desarrollado, fueron obtenidas de un cultivo establecido en el Laboratorio de Remediación de Suelos en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, antes del inicio de la prueba se colocaron en inanición durante tres horas sobre papel filtro humectado sin permitir el paso de la luz para la evacuación del material contenido en los intestinos (OECD, 1984).

El papel filtro con área de 22.9 cm² se colocó en el fondo de viales de 7 cm de ancho por 9 cm de alto cubiertos con papel para evitar la exposición del organismo a la luz, se adicionaron 500 µL de la solución prueba procurando cubrir el área total del papel y se agregó 1 mL de agua destilada para mantener la humedad. Posteriormente se colocó un organismo en cada vial y se cubrió con una tela que permitiera el paso del aire, por cada concentración se realizaron 10 réplicas.

Análisis estadístico

Los resultados se procesaron mediante el software estadístico R[®], calculando la CL₅₀ mediante la ecuación de regresión lineal, para ello se seleccionaron los conjuntos de datos que presentaban un comportamiento lineal y mostraban representatividad estadística con $p < 0.05$, para las 24 h se consideró la mortalidad a los 91.6, 114.5, 137.4 mg.mL⁻¹ y 45.8, 91.6, 114.5 mg.mL⁻¹ para las 48 h.

Resultados

En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis EDS, el mayor contenido elemental en la composición del residuo corresponde al carbono y oxígeno con 54.07 y 38.47 % en peso respectivamente, en menor proporción se encuentran el silicio, sodio y magnesio con porcentajes menores al 3%. El pH del residuo se mostró alcalino con valor de 9.58.

| C | O | Na | Mg | Si |
|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 54.07 ± 1.59 | 38.47 ± 2.46 | 2.82 ± 0.53 | 1.69 ± 0.26 | 1.63 ± 0.48 |

Tabla 2 Porcentaje en peso de los elementos presentes en el residuo.

Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 1 y 2 se presentan los cambios morfológicos de los organismos durante el bioensayo en las diferentes concentraciones. En cantidad de 1 mg.cm⁻² el 100% de los organismos mostraron movimientos ligeramente lentos en comparación con los testigos. Se presentaron cambios morfológicos como constricción en la parte posterior del cuerpo en el 40% de las lombrices a las 24 h de exposición en la aplicación de 2 mgcm⁻² y la fragmentación *in vivo* del 10% a las 48 h (Fig. 1c y 2c).

Los mayores porcentajes de organismos muertos se observaron en las unidades de 2.5 y 3 mgcm⁻² a las 24 h con el 60 y 100% de mortalidad respectivamente, donde las lombrices expuestas presentaron rompimiento de la pared corporal desarrollando /heridas sangrantes (Fig. 1d y 1e), expulsión de fluido celómico al contacto con la solución prueba, mientras que en el porcentaje /sobreviviente se notó disminución en el movimiento de los organismos ante el estímulo llegando a ser casi nulo.



Figura 1 Efectos toxicológicos en los organismos durante el bioensayo, de a) a e) las respuestas observadas en cantidades de 0, 1, 2, 2.5 y 3 mg.cm⁻² a las 24 h

Fuente: Imágenes Propias

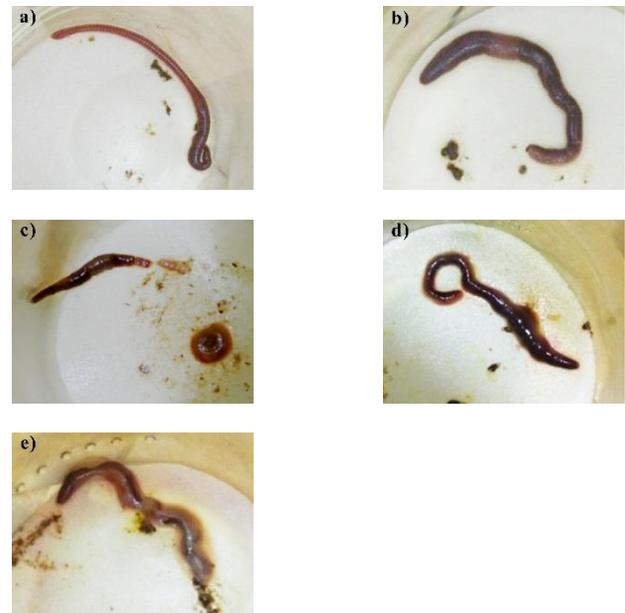


Figura 2 Efectos toxicológicos en los organismos durante el bioensayo, de a) a e) las respuestas observadas en cantidades de 0, 1, 2, 2.5 y 3 mg.cm⁻² a las 48 h

Fuente: Elaboración propia

Los Graficos. 1 y 2 muestran la mortalidad a las 24 y 48 h en las diferentes cantidades de aplicación. El efecto del residuo sobre los organismos resultó en la disminución de la sobrevivencia conforme aumentó la concentración. La mortalidad mostró un comportamiento lineal a partir de 91.6 mg.mL⁻¹ (24 h) y 45.8 (48 h) mg.mL⁻¹, se calcularon las CL₅₀ obteniendo valores de 112.59 mg.mL⁻¹ para las 24 h y 81.64 mg.mL⁻¹ a las 48 h.

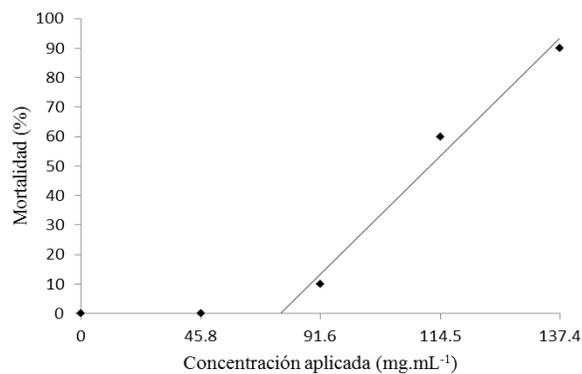


Gráfico 1 Porcentaje de mortalidad a las 24 h de exposición.

Fuente: Elaboración propia

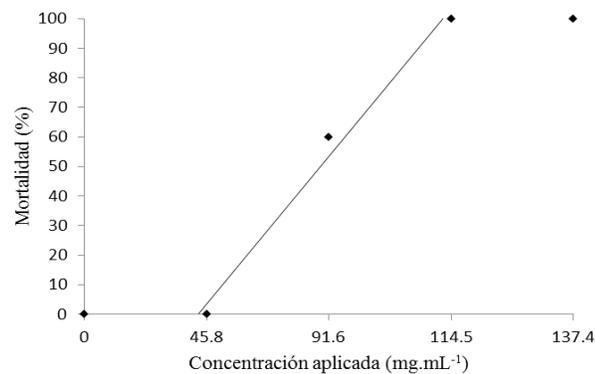


Gráfico 2 Porcentaje de mortalidad a las 48 h de exposición

Fuente: Elaboración propia

Discusion

El silicato de magnesio es un compuesto formado por SiO₂ y MgO (Rashid *et al.*, 2011), ambas especies fueron identificadas mediante el análisis EDS como posibles compuestos cristalinos que contienen magnesio y silicio en su composición química elemental, además se observó la presencia del catalizador (NaOH) en el residuo, con un contenido del 1.68% de sodio.

La presencia de carbono y oxígeno en el residuo en porcentajes altos, se relaciona con la fracción orgánica que ha sido removida del biodiesel crudo por el absorbente, la superficie del silicato de magnesio (Magnesol[®]) se compone de grupos hidroxilo libres, los grupos más reactivos en la superficie que proporcionan los sitios para la adsorción física de partículas orgánicas (Rashid *et al.*, 2011), permitiendo así la remoción de metanol, jabones y glicerol en un 67–92% , 98% y 15%-55% respectivamente en aplicaciones de 1% p/v (Berrios *et al.*, 2011).

Dichos compuestos podrían estar directamente relacionados con los comportamientos presentes en el bioensayo, debido a que el glicerol es considerado un solvente capaz de disolver una gran variedad de compuestos orgánicos (Díaz-Álvarez, 2013), posiblemente esta propiedad sea la causante de la degeneración de la epidermis y los signos y síntomas de toxicidad observados; liberación de fluido celómico al contacto con la solución prueba a partir de 2, 2.5 y 3 mg.cm⁻² en respuesta ante la irritación química (Edwards & Bolhen, 1996), éste comportamiento no fue observado en las lombrices testigo. A dichas concentraciones se observó también la constricción en la parte posterior del cuerpo (Fig. 1c) lo que indica un mecanismo de defensa conocido como autólisis, el cual consiste en mantener las reservas energéticas necesarias para la sobrevivencia del organismo (Chakra & Venkateswara, 2008).

Este proceso se confirmó a las 48 h con la fragmentación total de los organismos (Fig. 2c). Reacciones similares han sido observadas en estudios realizados con otras sustancias prueba como insecticidas organofosforados, donde las lombrices expuestas a cantidades de 0.46 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (Venkateswara, 2004), carbamatos a concentraciones de 1.2 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (carbaryl) y 0.09 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (carbofuran) presentaron cambios degenerativos indicativos de autólisis a las 48 h, sin fragmentación de los organismos (Saxena *et al.*, 2013).

Se apreció una disminución considerable en el movimiento de los organismos ante el estímulo, llegando a ser casi nulo en el porcentaje sobreviviente. Los organismos presentaron heridas sangrantes o laceraciones probablemente ocasionadas por el contenido de hidróxido de sodio en la solución prueba (Fig. 1e), el cual produce daños en membranas mucosas, ya que disuelve las grasas y proteínas en la superficie de las células, desencadenando la desintegración de tejidos (Harte *et al.*, 1995).

El efecto del residuo sobre los organismos mostró una dependencia directa de la mortalidad respecto al incremento la concentración, se registró mortalidad a las 24 y 48 h en cantidades de aplicación de 2, 2.5 y 3 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$. En el año 2012 Tamada *et al.* evaluaron la toxicidad del biodiesel, del aceite de soya refinado y residual sobre la lombriz de tierra *Eisenia andrei*, observaron la mortalidad del 100% de los organismos entre los 0 y 60 días de exposición, siendo el biodiesel el único compuesto tóxico entre los tratamientos, esta propiedad tóxica del biodiesel podría ser un factor influyente en la mortalidad observada durante el bioensayo, ya que es uno de los componentes presentes en el residuo posiblemente en mayores proporciones.

Conclusión

El residuo del proceso de purificación base seca del biodiesel, presenta propiedades tóxicas sobre la lombriz de tierra *Eisenia foetida* a partir de concentraciones mayores a 91.6 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ en solución acuosa, probablemente debido a las propiedades corrosivas de los componentes presentes como el glicerol y catalizador.

Esta propiedad se puede ver modificada dependiendo de las características del proceso que se emplee para la obtención de metilésteres, así como de la calidad del aceite empleado en el proceso. De acuerdo con () los resultados obtenidos, se recomienda evaluar la disposición alternativa de este residuo como fertilizante debido a su alto contenido orgánico, procurando mantener concentraciones de aplicación por debajo de la CL_{50} reportada en este trabajo. 112.59 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ para las 24 h y 81.64 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste S. A. (CCGSS) por el financiamiento de esta investigación, al Laboratorio de Remediación de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por las instalaciones prestadas para el desarrollo de este proyecto, y al Instituto de Energías renovables (IER) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por las facilidades para la realización de pruebas EDS.

Referencias

Alba E. Díaz-Álvarez † and Victorio Cadierno Glycerol. (2013). A promising Green Solvent and Reducing Agent for Metal-Catalyzed Transfer Hydrogenation Reactions and Nanoparticles Formation.

Berrios M, Martín M, Chica A, Martín A. (2011). Purification of biodiesel from used cooking oils. *Applied Energy*. 88:3625–3631.

Bluhm K, Heger S, Seiler Thomas-Benjamin, V. Hallare A, Schäffer A, Hollert H. (2012). Toxicological and ecotoxicological potencies of biofuels used for the transport sector: A literature review. *Energy Environ. Science*. 5:7381.

Bryan T. (2005). Absorbing It All. *Biodiesel Magazine*. 3:40-43.

Dahiya A. (2015). Introduction to biodiesel and glossary of terms. *Bioenergy*. 37-40.

Duran E, Tinoco R, Pérez A, Berrones R, Eapen D, Sebastián P. (2014). A Comparative Study of Biodiesel Purification with Magnesium Silicate and Water. *J. New Mat. Electrochem. Systems.*;17:1-7.

Environmental Protection Agency. (2004). SW-846 Test Method 9040C: pH Electrometric Measurement. 5 pp.

Edwards, C. A.; Bohlen P. J. (1996). *Biology and Ecology of earthworms*. 3th. Ed. E.E.U.U.: Chapman & Hall.

McKendry P. *Energy* (2002). Production from biomass: Overview of biomass. *Bioresource Technology* 83 (Pt 1):37–46.

Magnesium Silicate. *Profiles of Drug Substances, Excipients, and Related Methodology*. 36:241-284.

OECD. *Guideline for Testing of Chemicals*. (1984). No. 207, Earthworm Acute Toxicity. Paris, France. 9 pp.

Rashid I, Daraghme N, Al Omari M, Chowdhry B, Leharne S, Hodali H, Badwan. (2011). A.

Saxena P, Gupta S, Murthy R. (2014). Comparative toxicity of carbaryl, carbofuran, cypermethrin and fenvalerate in *Metaphire posthuma* and *Eisenia fetida*: A possible mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 100:218–225.

Schmitt C, Espinosa M, Aranda M, Krause L, Manique M, Rodrigues M, Benvenuti E, Caramão E. (2011). Dry washing in biodiesel purification: A comparative study of adsorbents. *J. Braz. Chem. Soc.*;22(3):558-563.

Tamada I, Montagnolli R, Lopes R, Bidoia E. (2012). Toxicological evaluation of vegetable oils and biodiesel in soil during the biodegradation process. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2012;1576-1581

Venkateswara J, Kavitha P. (2004). Toxicity of azodrin on the morphology and acetylcholinesterase activity of the earthworm *Eisenia foetida*. *Environmental Research*. 96:323–327.

[Título en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envío:Mes,Dia, Año); Aceptado(Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Título

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keyword

**Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman
y Negritas No.11**

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Título del Paper.
Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Título en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Artículos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Gráficos, Figuras y Tablas- Editables

En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el título en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]

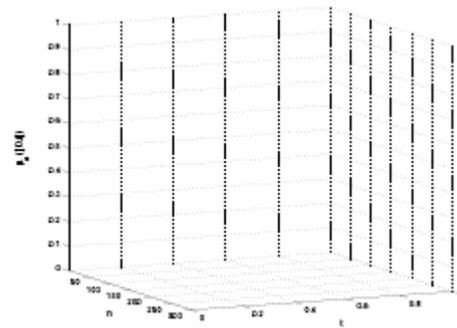


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

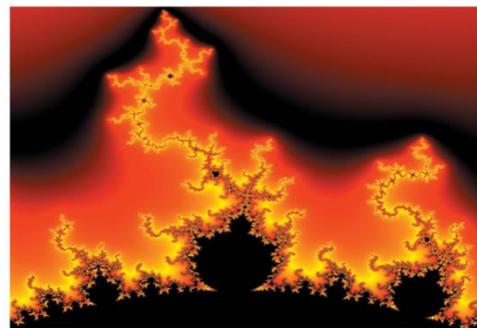


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Titulo del Paper. Titulo de la Revista. 2015- [Redactado en Times New Roman No.9]

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

Ficha Técnica

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor
Referencia

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Sistemas Experimentales

"Evaluación técnica y financiera de un sistema fotovoltaico para iluminación en aulas de Instituciones de Educación Superior"

MELCHOR-CHÁVEZ, Pedro, REYES-ALONSO, Gonzalo, ESCAMILLA-HERNÁNDEZ, Enrique

Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

"Comparación de la producción de biodiesel de *Chlorella Protothecoides* y *Scenedesmus Sp* mediante la adición de CO₂ de la fermentación alcohólica"

HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail, JIMÉNEZ-ISLAS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué Addiel

"Caracterización de un calentador solar de bajo costo y con materiales de fácil acceso"

RESENDIZ - BADILLO, Ramiro, MARROQUÍN- DE JESÚS, Ángel, HERNÁNDEZ - RIVERA, Jaime, SOTO – ÁLVAREZ, Sandra

Universidad Tecnológica de San Juan del Río

"Aplicación de tecnologías para el cultivo de junco"

CARPINTEYRO-CHAVEZ, Lina Mariana, BALDERAS-LÓPEZ, Silvia María, TEÓN-VEGA, Argelia y ALFONSO-ÁLVAREZ, Juan

Universidad Tecnológica de Tijuana

"Análisis del residuo seco generado en la purificación del biodiesel"

SARRACINO-ORTIZ, Ana, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ, Verónica, ANDRADE-DURÁN, Juan, y SARRACINO-MARTÍNEZ, Omar.

Instituto de Energías Renovables UNAM

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Universidad Autónoma de Campeche

Universidad Autónoma de la Chontalpa

