

ISSN 2410-3950

Volumen 3, Número 9 – Octubre –Diciembre 2016

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

SERRUDO-GONZALES, Javier. BsC

Edición de Logística

PERALTA-CASTRO, Enrique. PhD

Diseñador de Edición

TREJO-RAMOS, Ivan. BsC

Revista de Sistemas Experimentales, Volumen 3, Número 9, de Octubre a Diciembre -2016, 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-2410-4000. Responsables de la última actualización de este número de la

Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda. PhD, LUNA-SOTO, Vladimir. PhD, actualizado al 31 de Diciembre 2016

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-México

POSADA-GOMEZ, Ruben. PhD
Institut National Polytechnique de la Lorraine-Francia

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

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

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

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

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

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

Consejo Arbitral

PNPI. PhD

Instituto Nacional de Neurologia y Neurocirugia-México

DAJWZ. PhD

Federal University of MatoGrosso-Brasil

PRL. PhD

Universidad Tecnologica de Culiacan-México

GTCC. PhD

Universidad Central de Venezuela-Venezuela

DFSNM. PhD

Universidad Autonoma de Coahuila-México

RLR. PhD

Universidad Autonoma de Sonora-México

ACG. PhD

Instituto Politécnico Nacional-México

PFC. PhD

Washington State University-USA

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.

En el primer número es presentado el *Tratamiento del lactosuero residual a través de un proceso electrolítico aplicando arreglos ortogonales para su reutilización en la agroindustria* por MATEO, Nicolás, PURROY, Rubén, CRUZ, Lidilia y BAUTISTA, Horacio, como siguiente artículo está *Sistema Híbrido Eólico Solar Experimental para el Desarrollo de las Competencias de Ingeniería Energética* por MORALES-IBARRA, Rodolfo, GARDUÑO-GUERRERO, Sergio, GARCÍA-MONTES, Saida, HERNÁNDEZ-CASTILLO, Karla, YANO-ANGUIANO, Ken y DÍAZ-VALENCIA, Juan, en el siguiente artículo está *Producción de biodiesel por cavitación hidrodinámica* por LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y RESENDIZ, Omar con adscripción en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco y Universidad Autónoma Chapingo, como siguiente artículo está *Producción de lípidos a partir de Chlorella protothecoides mantenida con CO₂ proveniente de la fermentación alcohólica* por HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail, HERNÁNDEZ-REYES, Mara, JIMÉNEZ-ISLS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué, como siguiente artículo está *Diseño de un sistema de secado con aprovechamiento de calor en la producción de tejas, utilizando lógica difusa apoyada con LabVIEW* por MADUJANO-VENEGAS, Claudia, VELÁZQUEZ-TRUJILLO, Sabino, ESCOBAR-GÓMEZ, Elías y RIOS-ROJAS, Carlos con adscripción en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, como siguiente artículo está *Reactor para generar biogás a partir de excretas animales* por RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor, CARDONA-MARTÍNEZ, Clara y RODRÍGUEZ-UGARTE, María, con adscripción en la Universidad Tecnológica de Querétaro, como siguiente artículo está *Producción de bioetanol a partir de suero de queso proveniente de la región central del estado de Veracruz* por DE JESÚS-ANDRADE, Esmeralda, OSORIO-GONZÁLEZ, Carlos, SANDOVAL-SALAS, Fabiola y ÁVALOS-DE LA CRUZ, Dora, como siguiente artículo está *Implementación de un deshidratador solar para la eficiente producción de chile* por RESÉNDIZ-BADILLO, Ramiro, GARCÍA-VARGAS, Eduardo, JIMÉNEZ-NAVARRETE, Arturo y MARROQUÍN-DE JESUS, Ángel, con adscripción en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río.

Contenido

Artículo	Página
Tratamiento del lactosuero residual a través de un proceso electrolítico aplicando arreglos ortogonales para su reutilización en la agroindustria MATEO, Nicolás, PURROY, Rubén, CRUZ, Lidilia y BAUTISTA, Horacio	1-7
Sistema Híbrido Eólico Solar Experimental para el Desarrollo de las Competencias de Ingeniería Energética MORALES-IBARRA, Rodolfo, GARDUÑO-GUERRERO, Sergio, GARCÍA-MONTES, Saida, HERNÁNDEZ-CASTILLO, Karla, YANO-ANGUIANO, Ken y DÍAZ-VALENCIA, Juan	8-15
Producción de biodiesel por cavitación hidrodinámica LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y RESENDIZ, Omar	16-23
Producción de lípidos a partir de <i>Chlorella protothecoides</i> mantenida con CO₂ proveniente de la fermentación alcohólica HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail, HERNÁNDEZ-REYES, Mara, JIMÉNEZ-ISLS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué	24-28
Diseño de un sistema de secado con aprovechamiento de calor en la producción de tejas, utilizando lógica difusa apoyada con LabVIEW MADUJANO-VENEGAS, Claudia, VELÁZQUEZ-TRUJILLO, Sabino, ESCOBAR-GÓMEZ, Elías y RIOS-ROJAS, Carlos	29-36
Reactor para generar biogás a partir de excretas animales RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor, CARDONA-MARTÍNEZ, Clara y RODRÍGUEZ-UGARTE, María	37-41
Producción de bioetanol a partir de suero de queso proveniente de la región central del estado de Veracruz DE JESÚS-ANDRADE, Esmeralda, OSORIO-GONZÁLEZ, Carlos, SANDOVAL-SALAS, Fabiola y ÁVALOS-DE LA CRUZ, Dora	42-50
Implementación de un deshidratador solar para la eficiente producción de chile ESÉNDIZ-BADILLO, Ramiro, GARCÍA-VARGAS, Eduardo, JIMÉNEZ-NAVARRETE, Arturo y MARROQUÍN-DE JESUS, Ánge	62-72

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Tratamiento del lactosuero residual a través de un proceso electrolítico aplicando arreglos ortogonales para su reutilización en la agroindustria

MATEO, Nicolás*†, PURROY, Rubén, CRUZ, Lidilia y BAUTISTA, Horacio.

Recibido Octubre 21, 2016; Aceptado Noviembre 15, 2016

Resumen

La generación de lactosuero en la agroindustria quesera es el principal residuo que actualmente no se le da tratamiento ni aprovechamiento alguno en México, convirtiéndolo en un contaminante del suelo y principalmente del agua, por la gran cantidad de Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno requerida para degradar la materia orgánica. La investigación aborda esta problemática para dar una alternativa a las agroindustrias de procesamiento de leche, para tratar el lactosuero con métodos electroquímicos, en este caso mediante electrólisis, y la posterior reutilización del agua en algunos procesos de lavado. El estudio se desarrolló en Tempoal, Veracruz, México, un municipio que se destaca por tener como principal actividad económica la producción de quesos y por consiguiente altos volúmenes de este residuo que puede aprovecharse industrialmente. Se realizó un experimento empleando Arreglos Ortogonales de Taguchi para determinar variables significativas en la obtención de Hidrógeno (H) y oxígeno (O) en la electrólisis, se realizaron 8 tratamientos con dos réplicas, se probó el voltaje, tipo de material, tiempo y tamaño del electrodo a dos niveles cada uno. El resultado mostró que usando aluminio como electrodos en cátodo y ánodo se genera mayor cantidad de H y O en el proceso electrolítico.

Lactosuero, Electrólisis, Arreglos Ortogonales, Tratamiento residual, Diseño Robusto

Abstract

The generation of whey in the cheese agro-industries is the main waste that currently not given treatment or use in Mexico, turning it in a contaminant of soil and water mainly, by the large amount of chemical oxygen demand and biochemical oxygen demand required to degrade organic matter. The research addresses this issue to provide an alternative to milk processing agro-industries, to treat whey with electrochemical methods, in this case by electrolysis and subsequent reuse of water in some washing processes. The study was conducted in Tempoal, Veracruz, México, a municipality that stands out for having as main economic activity cheese production and consequently high volumes of this waste that can be exploited industrially. It was performed an Taguchi's Orthogonal Arrays to determine significant variables in obtaining hydrogen (H) and oxygen (O) in electrolysis, 8 treatments with two replicates were performed, voltage, type of material, size and time tested experiment was performed electrode at two levels each. The result showed that using aluminum as cathode and anode electrodes more H and O is generated in the electrolytic process.

Cheese Whey, Electrolysis, Orthogonal Arrays, Residual treatment, Robust Design

Citación: MATEO, Nicolás, PURROY, Rubén, CRUZ, Lidilia y BAUTISTA, Horacio. Tratamiento del lactosuero residual a través de un proceso electrolítico aplicando arreglos ortogonales para su reutilización en la agroindustria. Revista de Sistemas Experimentales. 2016, 3-9: 1-7

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: paco_matthew@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer Autor.

Introducción

Investigaciones han demostrado que el lactosuero, residuo generado en las queserías, conocidas como agroindustrias, es un vertido contaminante por la alta carga orgánica de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Callejas, Prieto, Reyes, Marmolejo y Méndez (2012) tras caracterizar un lactosuero encontraron que éste puede presentar una DQO > 100 000 mg O₂/L; en cambio, Valencia y Ramírez (2009) reportan que la DQO del residuo se encuentra entre 30 000 a 50 000 mg/L. Otros autores reportan valores de DBO de 40 000- 60 000 (Ben Hassan y Ghaly, 1994) y DQO de 50 000- 80 000 mg/L (Fournier, Schwitzguébel y Péringer, 1993)

Por tal motivo, esta investigación es importante por la búsqueda y aportación que se hace en el tratamiento del lactosuero para mitigar los efectos ambientales; este trabajo es el reporte de la primera fase de la investigación, pues solo mide la cantidad de hidrógeno y oxígeno que se puede obtener de un lactosuero tras la producción de queso de aro en el municipio de Tempoal, Veracruz, México. Se aplicó la electrólisis; un método electroquímico, usando dos tipos de material para los electrodos (Al y Cu), a diferentes tamaños, tiempos de reacción y voltajes, a fin de hacer una selección del electrodo para posteriormente diseñar y construir un reactor de tratamiento de residuo. Considerando que tecnologías de tratamiento físico-químico o biológico existentes tienen alto costo, se busca el diseño y construcción de una tecnología económica que se adapte a las necesidades de las micro y pequeñas agroindustrias del municipio en estudio, esto permitirá dar un valor agregado respecto a las tecnologías actuales.

La hipótesis central del estudio se plantea: el Al usado como electrodo en un proceso electrolítico para obtener hidrógeno y oxígeno para tratar el lactosuero es más efectivo que el electrodo de Cu.

Estudios para mitigar este problema se enfocan al desarrollo de tratamientos con tecnologías y métodos físicos, químicos y biológicos.

Métodos de tratamiento y tecnologías

Callejas, *et al.* (2012) emplearon un proceso de electrocoagulación con electrodos Al y Ru₂O₃ para la remoción de la carga orgánica, logrando remover el 84%. Parra (2010) usó tratamiento anaerobio mediante un sistema de dos etapas, la primera con biofiltro anaerobio y la segunda con un reactor UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket) probando el sistema con tres cargas de DQO (5 200, 7 800 y 10 500 mg DQO/L-día) eliminando un 57% la DQO. Sánchez, Gil, Gil, Giraldo, Millán y Villada (2009), proponen una tecnología efectiva empleando Microorganismos Eficientes tipo lactobacillus que logran disminuir la DQO hasta un 98%, evitando riesgo ambiental.

Melchioris *et al.* (2016) trataron el agua residual de la industria lechera para estudiar la eficiencia de la electrofoculación y la recuperación de sólidos del lactosuero donde se usó un aparato electroquímico con dos electrodos de aluminio o hierro, encontrando que la DQO y turbidez disminuyen entre 97.0 ± 0.02% y 99.6 ± 3.00 x 10⁻⁴% final cuando se emplean electrodos de aluminio.

Bezerra *et al.* (2009) estudiaron los efectos del tiempo de alimentación, carga orgánica y cargas de choque en circulación anaerobia en tratamiento de lactosuero por un AnSBBR (Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor) cuyo resultado fue que a mayor tasa de carga orgánica de DQO pero con menor tiempo de alimentación aumenta la eficiencia de eliminación de materia orgánica en el reactor.

Los mismos autores analizaron después la variable “suplementación de alcalinidad” usando el mismo reactor, determinando que la eficiencia de éste no se ve afectado por la aplicación de cargas de choque, y la alcalinidad se puede reducir en un 50%.

Prazeres *et al.*, (2016) proponen el tratamiento de aguas residuales de alta resistencia de diferentes sueros de queso, que busca mitigar el CO₂ en la atmósfera así como la producción de biofertilizantes, usando coagulación-floculación FeCl₃, precipitación con NaOH y precipitación Ca(OH)₂ logrando una reducción del 90% de la DQO.

El uso de técnicas de ósmosis inversa de baja presión y la electrodiálisis fue usado por Zmievskii *et al.* (2014) para tratar el agua residual después del procesamiento del lactosuero.

Metodología

Factores de control y ruido en la electrólisis

Para la electrólisis, se usó el lactosuero como la solución electrolítica, al que previamente se le hizo una caracterización para conocer el Potencial de hidrógeno (pH) y la salinidad como factores de ruido, las muestras estudiadas arrojaron que el pH mas bajo fue de 4.0 y el mas alto de 5.14, estos quedaron definidos como los niveles bajo (1) y alto (2); mientras que la salinidad tuvo un nivel (1) de 3.90 y un nivel (2) de 5.30. Los factores de control (Arreglo Interno) así como de ruido (Arreglo Externo) con sus respectivos niveles 1 y 2 se muestran en la tabla 1.

Factores de control	Nivel		Factores de ruido	Nivel	
	1	2		1	2
A: Voltaje (V)	6	12	K: pH	4.0	5.14
B: Tiempo (min)	15	30	L: Salinidad	3.90	5.30
C: Tamaño del electrodo (cm)	10	15			
D: Tipo de Material	Al	Cu			

Tabla 1 Factores de control y ruido definidas en el experimento.

Las variables de respuesta fueron:

Y_H: Volumen de hidrógeno (H) obtenido.

Y_O: Volumen de oxígeno (O) obtenido. Ambas variables fueron tomadas simultáneamente en la reacción, puesto que en un electrodo se obtiene

H y en otro O. la figura 1 presenta el experimento.



Figura 1 electrólisis con lactosuero

Arreglos ortogonales

Se usaron los Arreglos Ortogonales (AO) de Taguchi en el Diseño Robusto (DR); se definieron cuatro variables de control a dos niveles usando un AO L₈; para los factores de ruido se eligió un AO L₄. La gráfica lineal elegida para el L₈ fue (gráfico 1):

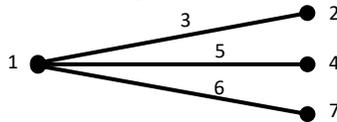


Gráfico 1 Gráfica lineal para el arreglo L₈.

El DR con el arreglo externo e interno para Y_H se presenta en la tabla 2, resultando 32 corridas o pruebas.

		Arreglo Externo (L ₄)													
		Factores de ruido		3	1	2	2	1							
		1	2	L	1	2	1	2							
		1	K	1	1	2	2	\bar{X}	σ	S/R					
		Factores controlables													
		1	2	3	4	5	6	7							
		A	B	C	D										
Arreglo Interno (L ₈)	1	1	1	1	1	1	1	1	18	18	17.8	18.1	17.98	0.13	25.09
	1	1	1	2	2	2	2	2	7.2	7.2	7.24	7.11	7.19	0.05	17.13
	1	2	2	1	1	2	2	2	13.68	14.4	14.09	14.10	14.07	0.30	22.96
	1	2	2	2	2	1	1	1	20.88	21.6	21.31	21.37	21.29	0.30	26.56
	2	1	2	1	2	1	2	2	14.4	14.76	14.75	14.54	14.61	0.17	23.29
	2	1	2	2	1	2	1	2	15.12	14.4	14.85	14.59	14.74	0.31	23.37
	2	2	1	1	2	2	1	1	32.4	36	33.47	32.95	33.71	1.59	30.53
	2	2	1	2	1	1	2	2	9	10.08	9.10	9.66	9.46	0.51	19.49

Tabla 2 Diseño con arreglos interno y externo para el estudio de H obtenido.

De acuerdo con Taguchi (1984), en un AO L₈ se deben elegir las columnas 1, 2, 4 y 7 para asignar a los factores de control (En este caso los factores A, B, C y D), y las columnas 1 y 2 del AO L₄ (factores K y L). En la tabla 2 y 3 se señalan con recuadros grises.

		Arreglo Externo (L ₄)													
		Factores de ruido		3	1	2	2	1							
		1	2	L	1	2	1	2							
		1	K	1	1	2	2	\bar{X}	σ	S/R					
		Factores controlables													
		1	2	3	4	5	6	7							
		A	B	C	D										
Arreglo Interno (L ₈)	1	1	1	1	1	1	1	1	2.52	3.6	2.60	2.65	2.84	0.51	8.82
	1	1	1	2	2	2	2	2	0.72	1.08	0.73	1.03	0.89	0.19	-1.47
	1	2	2	1	1	2	2	2	3.6	3.6	3.42	3.71	3.53	0.12	11.07
	1	2	2	2	2	1	1	1	9.72	10.8	9.72	9.94	10.05	0.51	20.01
	2	1	2	1	2	1	2	1	1.08	1.08	9.97	9.88	5.50	5.11	3.63
	2	1	2	2	1	2	1	2	2.16	0.72	1.04	1.20	1.28	0.62	0.27
	2	2	1	1	2	2	1	1	7.2	7.2	7.14	6.90	7.11	0.14	17.03
	2	2	1	2	1	1	2	2	2.52	2.88	2.78	2.72	2.73	0.15	8.68

Tabla 3 Diseño con arreglos interno y externo para el estudio de O obtenido.

Razón señal/ ruido

El cálculo de la Razón Señal/Ruido (S/R) es un estadístico de desempeño que se calcula en cada combinación de los factores controlables (Gutiérrez y de la Vara, 2012). El tipo de característica de calidad de interés es: mayor es mejor, es decir, entre mayor cantidad de H y O se obtenga en el menor tiempo de reacción de la electrólisis, es mejor; está dada por la ecuación 1:

$$-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right] \tag{1}$$

Resultados

Efectos significativos en la obtención de H

Se hizo un análisis regular, para encontrar factores que afectan a la media del proceso experimental, teniendo en cuenta que el interés se centra en el estudio de los 4 efectos individuales (A, B, C y D) en sus dos niveles, el cálculo del Análisis de Varianza (anova) en relación a la media indica que el factor significativo es D con valor F de 11.32, que es mayor a F_{Tablas} al 95% de confianza y un grado de libertad: F_{0.05,1,3}= 10.13 (tabla 4)

Factores	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
A	1	17.99	17.99	0.91
B	1	72.05	72.05	3.63
C	1	95.79	95.79	4.83
D	1	224.53	224.53	11.32
Error Residual	3	59.50	19.83	
Total	7	469.86		

Tabla 4 Análisis de varianzas de medias.

Por su parte las gráficas de efectos principales para las medias, muestra que el factor D tiene mayor inclinación (gráfico 2)

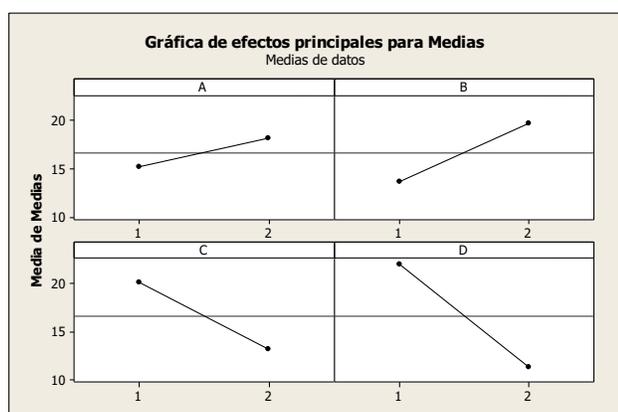


Gráfico 2 Gráfico de efectos principales para Medias en la obtención de H

También se determinaron efectos significativos que afectan a la Razón S/R, el anova arrojó que los factores C y D con valores F de 11.88 y 25.99 respectivamente, son significativos al ser mayores que F_{Tablas} al 95% de confianza y un grado de libertad: $F_{0.05,1,3}=10.13$ (tabla 5)

Factores	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
A	1	3.046	3.046	1.23
B	1	14.211	14.211	5.75
C	1	29.378	29.378	11.88
D	1	64.290	64.290	25.99
Error Residual	3	7.420	2.473	
Total	7	118.346		

Tabla 5 Análisis de varianzas de Relación Señal/Ruido.

Lo anterior indica que el tipo de material afecta tanto a la media como a la S/R, mientras que el tamaño del electrodo solo a la media para la obtención de Hidrógeno.

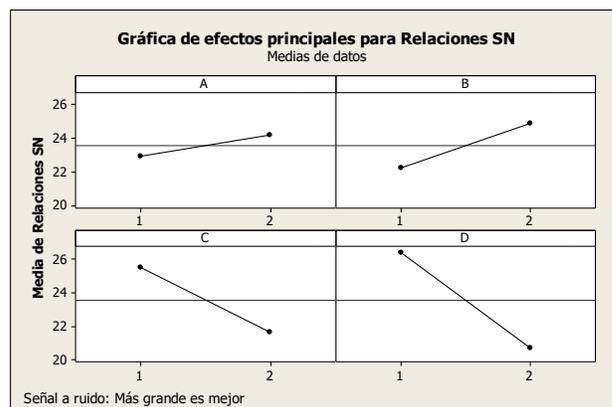


Gráfico 3 Gráfico de efectos principales para relaciones S/R para H.

Efectos significativos en la obtención de O

Ningún factor fue significativo en la obtención del O respecto a la media; todos fueron menores al valor $F_{0.05,1,3}=10.13$ (tabla 6). En tanto que el factor B: Tiempo, resultó significativo respecto a S/R (Tabla7), con un valor F de 19.83.

Variable	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
A	1	0.0689	0.0689	0.01
B	1	20.9547	20.9547	1.75
C	1	2.0987	2.0987	0.18
D	1	9.1967	9.1967	0.77
Error Residual	3	35.8740	11.9580	
Total	7	68.1931		

Tabla 6 Análisis de varianzas de medias en la obtención de O.

Variable	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
A	1	9.764	9.764	0.75
B	1	259.340	259.340	19.83
C	1	21.326	21.326	1.63
D	1	73.345	73.345	5.61
Error Residual	3	39.236	13.079	
Total	7	403.011		

Tabla 7 Análisis de varianza de Relación Señal/Ruido.

Predicción

A fin de realizar una predicción y maximizar la robustez del proceso, se analiza la media y se elige el factor D en su nivel 1; mientras que en el análisis de la S/R, se eligen los factores C y D ambos en su nivel 1; lo anterior hará menos sensible a los factores de ruido (K y L); empleándose como factores de ajuste.

La ecuación para la predicción respecto a la media de H queda establecida:

$$\hat{y} = \bar{y} + (\bar{D}_2 - \bar{y}) = \bar{D}_2 \quad (2)$$

Usando la ecuación 2, se obtiene

$$\hat{y} = 21.92$$

La ecuación para la predicción respecto a S/R de H queda establecida:

$$\widehat{S/N} = \overline{S/N} + (\bar{C}_1 - \overline{S/N}) + (\bar{D}_1 - \overline{S/N}) \quad (3)$$

Usando la ecuación 3, se obtiene:

$$\widehat{S/N} = 20.09 + 21.92 - 16.63 = 35.23$$

La ecuación para la predicción respecto a S/R de O queda establecida:

$$\widehat{S/N} = \overline{S/N} + (\bar{B}_2 - \overline{S/N}) = \bar{B}_2 \quad (4)$$

Usando la ecuación 4, se obtiene $\hat{y} = 19.63$

Agradecimiento

Al Tecnológico Nacional de México por la aprobación del proyecto de investigación "Sistema de tratamiento del lactosuero para mitigar los efectos en sistemas hidrosanitarios en Tempoal, Ver.", así como al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca por el apoyo institucional.

Conclusiones

La experimentación aplicando la idea de robustez de Taguchi permitió minimizar el efecto de los factores de ruido (salinidad y pH) sin tener que controlarlos directamente; buscando minimizar la varianza. La importancia de la aplicación del método de Taguchi en este trabajo, radica en que el proyecto se encuentra en la etapa de diseño de un nuevo producto, por lo tanto tiene mayor impacto, puesto que este tipo de diseño de experimentos son aplicables a la etapa de diseño y desarrollo de nuevos productos y procesos. De tal manera, que el experimento de 8 tratamientos con dos réplicas, probando el voltaje, tipo de material, tiempo y tamaño del electrodo a dos niveles cada uno mostró que usando Al como electrodos en cátodo y ánodo se genera mayor cantidad de H y O en el proceso electrolítico.

Referencias

Bezerra, R.A., Rodrigues, J.A.D., Ratusznei, S.M., Zaiat, M. y Foresti, E. (2007). whey treatment by AnSBBR with Circulation: Effects of organic loading, shock loads, and alkalinity supplementation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 143(3) 257-275. doi: 10.1007/s12010-007-8330-1

Bezerra, R.A., Rodrigues, J.A.D., Ratusznei, S.M., Zaiat, M. y Foresti, E. (2009). Effects of feed time, organic loading and shock loads in anaerobic whey treatment by an AnSBBR with Circulation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 157-140. doi: 10.1007/s12010-008-8371-4

Callejas, J. H., Prieto, F. G., Reyes V. E., Marmolejo, y., Méndez M. A. (2012) Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta universitaria*. 22 (1) 11-18.

Escalante, E. J. (2014) *Seis Sigma: Metodología y técnicas*. México. Limusa. ISBN: 978-607-05-0448-8

Fournier, D., Schwitzguébel, J. P. y Péringer, P. (1993) Effect of different heterogeneous inocula in acidogenic fermentation of whey permeate. *Biotechnology Letters*. Vol. 15, 627-632. Doi: 10.1007/BF00138553

Gutiérrez, H. y De la Vara R. (2012) *Análisis y diseño de experimentos*. México. Mc Graw Hill. ISBN: 978-607-15-0725-9

Moeini, H., Nahvi, I., y Tavassoli, M. (2004) Improvement of SPC production and BOD removal of whey with mixed yeast culture. *Electronic journal of biotechnology*. 7(3). ISSN: 0717-3458

Melchioris, M.S., Piovesan, M., Becegato, V. R., Becegato, V. A., Tambourgi, E.B. y Paulino, A. T. (2016). Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and solid whey recovery. *Journal of Environmental Management*, 182(1), 574-580.

Parra, R. A. H. (2010) Digestión anaerobia de lactosuero: efectos de altas cargas puntuales. *Rev.Fac.Nal. Agr. Medellín* 63(1): 5385-5394.

Parra, R. A. H. y Campos, R. G. M. (2013) Tratamiento de lactosuero ácido en un reactor UASB a diferentes cargas constantes y puntuales. *Producción + Limpia*. 8 (2) 60-71.

Prazeres, A. R., Rivas, J., Paulo, U., Ruas, F., Carvalho, F. (2016). Sustainable treatment of different high-strength cheese whey wastewaters: an innovative approach for atmospheric CO₂ mitigation and fertilizer production. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(13) 13062-13075. Doi: 10.1007/s11356-016-6429-3

Sánchez, G. L. S., Gil, M. J. G, Gil M. A. G., Giraldo, F. J. R., Millán, L. J. C. y Villada M. E. R. (2009) Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante microorganismos eficientes. *Producción + Limpia*. 4(2)

Valencia, E. D. y Ramírez M. L. C. (2009) La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos* 73. 27-31

Zmievskii, Y. G., Kirichuk, I. I., Mironchuk, V. G. (2014). Membrane treatment of wastewater obtained after the whey processing. *Journal of water Chemistry and Technology*. 36(6) 309-316 DOI: 10.3103/S1063455X14060095

Sistema Híbrido Eólico Solar Experimental para el Desarrollo de las Competencias de Ingeniería Energética

MORALES-IBARRA, Rodolfo*†, GARDUÑO-GUERRERO, Sergio, GARCÍA-MONTES, Saida, HERNÁNDEZ-CASTILLO, Karla, YANO-ANGUIANO, Ken y DÍAZ-VALENCIA, Juan.

Recibido Octubre 20, 2016; Aceptado Noviembre 16, 2016

Resumen

Enmarcados en las propuestas científico-tecnológicas así como el paso que nuestro país da hacia el futuro con la Reforma Energética y en específico en la Ley de Transición Energética, a través de las Competencias Académicas entregadas a los estudiantes de nuestra facultad en el curso de Ambiente y Sustentabilidad, en el presente trabajo se propone un proyecto integrador de Sistema Híbrido Eólico-Solar apropiado para estudiantes de la disciplina de ingeniería que en principio cuenta con un carácter de desarrollo tecnológico-energético. Un sistema híbrido es un sistema basado en este caso en dos subsistemas de diferente naturaleza eólico y solar. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción y/o confiabilidad optimizando al valorar el costo económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de confiabilidad. El diseño del Sistema Híbrido Eólico-Solar y su sistema de caracterización ha sido tal que genere en el estudiante las competencias no solo de comprensión de dichos sistemas, sino también la de fabricación y construcción de los subsistemas Eólico, Solar, de Control y de Caracterización.

Sistema Híbrido, Energías Renovables, Energía Solar, Energía Eólica, Ingeniería Energética

Abstract

Taking into account the latest advances in renewable energies and the important steps that our country is taking on the Energetic Reform and namely in the Energetic Transition Bill, in the present work, an integrating academic project deployed for the development of scientific and technological competencies in engineering students is presented as a part of the academic course of Environment and Sustainability which consists of an experimental wind-solar hybrid system constructed by the students. This particular hybrid system is based on wind turbine power and solar photovoltaic panels. The design and deployment of the hybrid system is based on different configurations while monitoring the efficiency and reliability of the output; the best configuration is observed when the cost effective efficiency is reached at the same level of reliability. The students develop through this experimental project the competencies of deep comprehension of, not only the importance of renewable energies but also construction, design, control and monitoring of the hybrid wind power and photovoltaics subsystems.

Hybrid System, Renewable Energy, Solar Energy, Wind Energy, Energy Engineering

Citación: MORALES-IBARRA, Rodolfo, GARDUÑO-GUERRERO, Sergio, GARCÍA-MONTES, Saida, HERNÁNDEZ-CASTILLO, Karla, YANO-ANGUIANO, Ken y DÍAZ-VALENCIA, Juan. Sistema Híbrido Eólico Solar Experimental para el Desarrollo de las Competencias de Ingeniería Energética. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 8-15

* Correspondencia al Autor (Correo electrónico: rodolfo.moralesbr@uanl.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La gran demanda de energía que a nivel global es requerida y cuya principal fuente de alimentación es el carbono en sus diversas formas representa la causa principal de emisiones de gases tipo invernadero de carácter antropogénico, causantes del cambio climático por calentamiento global.

México participa activamente en los acuerdos internacionales contra el cambio climático; México ha ratificado el Protocolo de Kyoto y participa de manera inclusiva en las actividades de la Agenda 21. Se ha decretado la Ley General de Cambio Climático en la cual se crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; así mismo la Ley de transición energética establece las bases para un cambio hacia las energías renovables. En acciones de mitigación México se ha comprometido a reducir las emisiones de carbono negro en un 51% hacia el 2030; y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en un 22% al 2030 según lo acordado en la COP 21 y el Acuerdo de París.

Por encima de todas las áreas de oportunidad de mejora en México, identificamos una en particular que en nuestra opinión podría ser la piedra angular sobre la que se sustente el cambio positivo respecto a los impactos antropogénicos, a saber: la educación medioambiental así como su divulgación y difusión.

Es importante entender y comunicar que al día de hoy, la humanidad cuenta ya con las tecnologías necesarias para empezar a resolver el cambio climático debido a las emisiones de CO₂.



Figura 1. Soluciones tecnológicas disponibles; a) Energía Eólica; b) Energía Fotovoltaica.

En la Fig. 1. a) se muestra la tecnología de generación de energía eléctrica por medio de energía eólica. La capacidad actual está creciendo un 30% cada año lo que nos lleva a suponer que esta es una de las mejores opciones para rápidamente superar un impacto positivo de más de 1GtC/año. En la Fig. 1 b) se muestra la opción tecnológica de energía fotovoltaica, la cual, al igual que la energía eólica, se estima que se encuentra en crecimiento de más de 30% por año.

A través de las Competencias Académicas entregadas a los estudiantes de nuestra facultad en el curso de Ambiente y Sustentabilidad, en el presente trabajo se propone un proyecto integrador de Sistema Híbrido Eólico-Solar apropiado para estudiantes de la disciplina de ingeniería que en principio cuenta con un carácter de desarrollo tecnológico-energético.

El diseño del Sistema Híbrido Eólico-Solar y su sistema de monitoreo ha sido tal que genere en el estudiante las competencias no solo de comprensión de dichos sistemas, sino también la de fabricación y construcción de los subsistemas Eólico, Solar y de Control.

Sistema Híbrido Eólico-Solar Experimental

Un sistema híbrido es un sistema basado en este caso en dos subsistemas de diferente naturaleza eólico y solar.

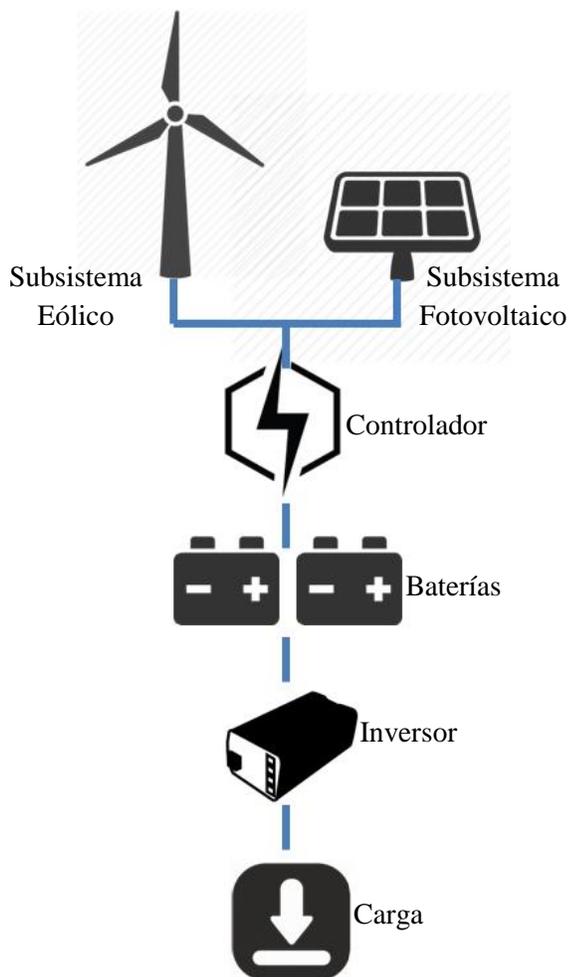


Figura 2 Diagrama Esquemático del Sistema Híbrido Eólico-Solar Experimental.

En la Fig. 2. Se muestra el diagrama esquemático del sistema híbrido eólico-solar experimental. La propuesta aquí descrita tiene como fin el presentar mediante la unidad académica de Ambiente y Sustentabilidad el reto de experimentar en sistemas de energías alternativas bajo la implementación de un sistema híbrido eólico-solar.

Los sistemas autónomos basados en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías son una opción para la alimentación de pequeñas cargas en emplazamientos remotos. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad. De todas las opciones la óptima se obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

Subsistema Eólico - La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. La Tabla 1 muestra las especificaciones eléctricas del subsistema eólico.

Subsistema Solar - Los paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (energía solar fotovoltaica). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas.

La Tabla 2 muestran las especificaciones eléctricas del subsistema solar.

Specifications	
Rated Power	400w
Nominal Voltage	DC12-24V
Service Voltage	DC12-24V
Cut-in Wind Speed	2.5m/s
Rated Wind Speed	10.5m/s
Maximum wind speed	35m/s
Rated Rotate Speed	800r/min
Battery Capacity	200AH-400AH
Output Voltage(AC)	110-220V
Wind leaf material	Fibre reinforced composite
Rotor diameter	1.2M
Tower diameter	Suggest more than 80 mm

Tabla 1 Especificaciones eléctricas del subsistema eólico.

Controlador - El controlador es un dispositivo que sumará las energías de los subsistemas eólico y solar para la correcta alimentación de la batería, combinando así las características de voltaje, corriente y potencia de ambos subsistemas.

Batería - La batería es básicamente el dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica de corriente directa proveniente directamente del controlador del sistema híbrido eólico-solar. La batería alimenta al inversor.

Inversor - El inversor es un dispositivo de transformación de energía eléctrica de modo de corriente directa a corriente alterna.

En el proceso de transformación de energía, se ven también optimizados los niveles de corriente lo que proporciona una cantidad de energía óptima para los sistemas de consumo eléctrico.

Specifications	
Rated power	160w
Voc	22.41V
Vop	17.9V
Short circuit current (Isc)	9.87A
Working current (Iop)	8.89A
Output Tolerance	±3%
Temperate coefficient of Isc	(010+/- 0.01)%/ °C
Temperate coefficient of Voc	- (0.38 +/-0.01)%/ °C
Temperate coefficient of power Voc	-0.47%/°C
Temperature range	-40°Cto +80°C
SLA Battery Voltage	12V
Dimensions (L x W x H)mm	665*1450*35mm(26.3*57.3*1.38 in)

Tabla 2 Especificaciones eléctricas del subsistema solar.

Implementación del Diseño y Armado del Sistema Híbrido Eólico-Solar Experimental.

Subsistema Eólico - El diseño y armado del subsistema eólico se basa en dos partes: 1 - La fabricación de aspas del generador en materiales compuestos por el proceso de moldeo al vacío y/o moldeo manual; 2 - El reciclaje de componentes eléctricos, específicamente, motores eléctricos, dínamos y/o alternadores eléctricos que presenten las características de factibilidad de activación por energía eólica.

Fabricación de Aspas del Generador - El proceso de manufactura comienza por el recorte de preformas de fibra de vidrio que servirán como refuerzo en el material compuesto para luego, moldear bajo vacío, inyectando la resina poliéster y/o viniléster y su posterior desmoldeo. La Fig. 3. muestra el proceso de manufactura de aspas de generador eólico.

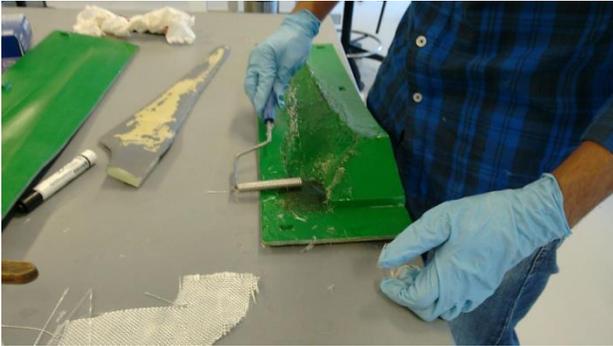


Figura 3 Proceso de Manufactura de Aspas de Generador Eólico.

Ensamblado del Generador Eólico - El armado del generador se lleva a cabo de manera simple y mecánica, ajustando las aspas fabricadas en compuestos al componente dinámico del generador. La Fig. 4. Muestra el ensamble y puesta en marcha del generador eólico.



Figura 4 Ensamble y puesta en marcha del Generador Eólico.

Subsistema Solar - El armado del panel solar se hace a partir de celdas solares realizando los trabajos de soldadura tal como se muestra en la Fig. 5. Proceso de soldadura de las celdas solares.

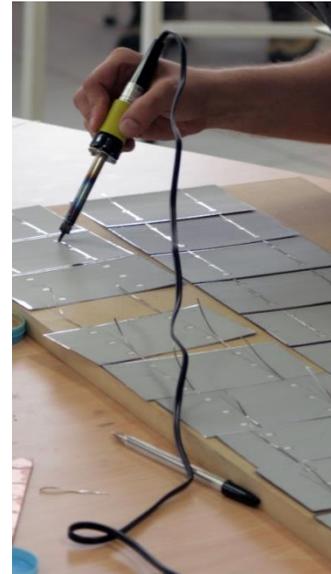


Figura 5 Ensamble y soldadura de Celdas Solares.

Posterior a la soldadura de celdas se lleva a cabo la presentación y sellado del panel tal como se muestra en la Fig. 6. Sellado de Celdas Solares.



Figura 6 Sellado de Celdas Solares

Por ultimo, se revisan las eficiencias de los subsistemas y la integración del Sistema Híbrido Experimental como se muestra en la Fig. 7. Revisión de eficiencias y armado del sistema híbrido.



Figura 7 Revisión de eficiencias y armado del sistema híbrido.

La implementación general consiste en la cátedra de la técnica de dimensionamiento, diseño y armado de los subsistemas eólico y solar para su posterior integración. Con ello, se entregan al alumno las competencias de diagnóstico y diseño de sistemas de energías renovables.

Resultados

El presente proyecto es utilizado como trabajo final en el curso Ambiente y Sustentabilidad de la formación de Ingeniería en la FIME-UANL. Dicho proyecto ha sido ya presentado por al menos 390 estudiantes en el semestre Enero-Junio 2016 en 11 Grupos con una distribución tal como se muestra en la Tabla 3. Distribución de Grupos y Estudiantes Participantes del Proyecto.

Es importante mencionar que el proyecto aquí desplegado, es un esfuerzo personal realizado por el equipo de trabajo que presenta este manuscrito por lo que no todos los alumnos de la FIME-UANL reciben la formación de competencias aquí descritas; más aún, el curso de Ambiente y Sustentabilidad es parte de la Academia de Formación General Universitaria que está implementada en todas las facultades de la universidad en los estudios de nivel superior; se espera continuar con el esfuerzo y lograr con un poco de tiempo, el permear este y otros proyectos en toda la universidad con la intención de tener un mayor impacto en la formación de profesionistas con la educación medioambiental adecuada que los problemas de cambio climático y calentamiento global exigen. Por lo pronto, ya en el semestre en curso a la fecha, Agosto-Diciembre 2016 ya está en implementación el mencionado proyecto con un número mayor de estudiantes que en el semestre anterior.

Grupo	Estudiantes
034	8
002	40
005	38
017	44
026	42
031	42
032	47
034	45
037	44
033	4
033	36

Tabla 3 Distribución de Grupos y Estudiantes Participantes del Proyecto.

Conclusiones

Las energías renovables mostradas en el presente proyecto son soluciones tecnológicas que se encuentran en despliegue y utilización industrial en este momento, la proliferación de dichas tecnologías comienza por la buena educación, formación de competencias y la divulgación de sus beneficios lo que observamos como un primer paso para su implementación a nivel nacional. El presente análisis no se enfoca en los costos de las implementaciones ni en la observación de la normatividad para la aplicación de energías renovables, sin embargo es posible inferir que no habrá una macroeconomía que perseguir ni ganancias o utilidades en las compañías sin los beneficios del medio ambiente que sustente la actividad humana; más allá, el desarrollo y la implementación de las actividades mencionadas puede traer consigo desarrollo y crecimiento de nuevas industrias y maneras de hacer negocios prósperos que traigan satisfacción a las generaciones actuales y futuras, particularmente para los estudiantes de ingeniería, la formación de estas competencias pone un particular énfasis en el hecho de que estas actividades serán de mucha utilidad en la industria futura. El problema del calentamiento global tiene solución, es el momento para que las generaciones presentes actúen en el sentido necesario para la solución del calentamiento global; la evidencia muestra que somos, la raza humana, en gran medida los causantes del mismo.

Tenemos claro que se requiere de la información proveniente de los estudios científicos, de la voluntad de los gobiernos, de la visión de los empresarios y emprendedores para la completa y correcta implementación de las tecnologías que servirán para dar el primer paso hacia una sociedad desarrollada de manera sustentable.

Agradecimientos

Reconocemos el apoyo de la empresa ENSOLAR, quienes han proporcionado el apoyo técnico y práctico para el entrenamiento de armado de paneles solares.

Referencias

Pacala, Socolow, Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies Science, 305, 2004.

Organización de las Naciones Unidas, Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998,
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Organización de las Naciones Unidas, Agenda 21, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente,
<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=52>

Organización de las Naciones Unidas, Acuerdo de Paris COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 1998
https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf

Aspectos Institucionales del Desarrollo Sostenible en México
<http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/mexico/inst.htm>

Ley General de Cambio Climático, Diario Oficial de la Federación el 6 de Junio del 2012,
<http://www.inecc.gob.mx/lgcc>

Ley de Transición Energética, Diario Oficial de la Federación el 24 de Diciembre del 2015,
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>

United Nations, Agenda 21, Earth Summit (UN Conference on Environment and Development) 1992, Published 1993.

<http://wind-energy-facts.com/wind-farm-facts/>
<http://valhallamovement.com/link/solar-farm-approved-at-rejected-fracking-site/>

Producción de biodiesel por cavitación hidrodinámica

LIZARDI, Arturo*†, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y RESENDIZ, Omar’.

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Universidad Autónoma Chapingo

Recibido Octubre 4, 2016; Aceptado Noviembre 3, 2016

Resumen

En este trabajo se presenta la construcción y evaluación de un equipo para la obtención de biodiesel a través del método de cavitación hidrodinámica. Para ello se construyó un banco de pruebas que consta de: una bomba centrífuga con motor eléctrico de 1 HP y 2 HP (provisto de un variador de voltaje), un reactor de acero inoxidable SA 240-316 de 5.3 dm³, una placa de orificio con barrenos de 5 y 2.5 mm de diámetro, dos manómetros de 0-30 psig, una válvula de globo de 25.4 mm diámetro y un termopar tipo K. Se evaluaron tres tipos de aceite: canola, girasol y soya; a los cuales se les agregó Alcohol Etilico Absoluto (CH₃OH) e Hidróxido de Sodio (NaOH) como catalizador. El tiempo del proceso para la obtención del biodiesel fue de 15 minutos. Las pruebas de pH, densidad y viscosidad aplicadas al biodiesel resultaron satisfactorias pues cumplieron con las especificaciones de control de calidad y con las normas europea EN-14214 y americana ASTM D6751. Finalmente los resultados muestran que las bombas centrífugas y las placas de orificio empleadas presentan cualidades semejantes para producir el biodiesel.

Biodiesel, cavitación hidrodinámica

Citación: LIZARDI, Arturo, LÓPEZ, Raymundo, TERRES, Hilario y RESENDIZ, Omar. Producción de biodiesel por cavitación hidrodinámica. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 16-23

Abstract

In this work the construction and evaluation of an equipment for obtaining biodiesel through the method of hydrodynamic cavitation is presented. The built prototype is integrated by: a centrifugal pump with an electric motor of 1 HP and 2 HP (fed with a voltage regulator), a stainless steel reactor SA 240-316 with a volume of 5.3 dm³, an orifice plate with hole of 5 and 2.5 mm diameter, two pressure gauges of 0-30 psig, a globe valve of 25.4 mm diameter and a thermocouple type K. Three types of oil were evaluated: canola, sunflower and soybeans. They were mixed with Absolute Ethyl alcohol (CH₃OH) and sodium hydroxide (NaOH) as a catalyst. The process time for obtaining biodiesel was 15 minutes. Testing pH, density and viscosity of biodiesel were satisfactory and complied with the quality control specifications and with European (EN-14214) and American (ASTM D6751) standards. Finally, the results show that the centrifugal pump and orifice plates have similar qualities to produce biodiesel.

Biodiesel, hydrodynamic cavitation

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: arlr@correo.azc.uam.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los hidrocarburos han sido pieza fundamental en el desarrollo tecnológico del último siglo, la capacidad energética de éstos desplazó rápidamente el empleo de otras fuentes (humanas, animales, provenientes del agua, etc.). Recientemente, el agotamiento de los combustibles fósiles y el aumento de la conciencia ecológica han hecho que la gente comience a buscar combustibles alternativos hechos a partir de fuentes renovables [1, 2]. El biodiesel es un ejemplo de ello, pues es un combustible líquido no contaminante y biodegradable, que se puede utilizar en el sector del transporte urbano, minero, agrícola y marino, así como en calderas de calefacción, incorporándolo directamente o mezclándolo con gasóleo. El biodiesel, en comparación al diésel, disminuye las emisiones de óxidos de azufre, de monóxido de carbono, y reduce los problemas de calentamiento global, además, el biodiesel no es tóxico.

El biodiesel se prepara usualmente por transesterificación de triacilglicéridos con metanol o etanol, ácidos grasos de ésteres metílicos (FAMES) y glicerol [3]. Las materias primas del biodiesel son aceites alimenticios vegetales incluyendo aceite de soja, aceite de colza y aceite de palma [4]. En México la producción de biodiesel ha comenzado de manera discreta y quizá un poco tardía, es por esto que se requiere investigar sobre las cualidades de este combustible y el impacto que puede tener no sólo en el aspecto ambiental, sino también en el económico y social, ya que el cultivo de especies oleaginosas en zonas estratégicas pueden brindar una nueva alternativa de ingreso a comunidades que actualmente carecen de producción agrícola importante.

Para eliminar la resistencia a la transferencia de masa entre el reactivo miscible del petróleo y el alcohol, acortando el período del proceso y con menor consumo de energía, se han propuesto varias tecnologías de intensificación, por ejemplo, la condición supercrítica, microondas, ultrasonido, la cavitación hidrodinámica, giro de disco [5] y tubulares [6]. Algunos de los inconvenientes del método convencional se pueden superar con la cavitación hidrodinámica. La cavitación hidrodinámica es un proceso de cambio de fase de líquido a vapor que ocurre siempre que la presión local es menor que la presión de vapor. Las burbujas de vapor que se forman se mueven con el líquido hasta llegar a una región de alta presión, donde colapsan en forma súbita. La sobrepresión, consecuencia de este fenómeno, se propaga en el seno del fluido provocando la condensación de la burbuja siguiente y el fenómeno se repite sucesivamente. La cavitación hidrodinámica puede ser producida haciendo pasar fluido a través de una constricción, por ejemplo, una válvula de estrangulamiento, una placa de orificio o un Venturi [7]. Cuando la presión local cae por debajo de la presión de vapor del líquido se crean cavidades [8] de alta intensidad de turbulencia a nivel micro, esto es muy eficaz para eliminar la resistencia de transferencia de masa durante la reacción [9]. La cavitación hidrodinámica ha sido utilizada ampliamente en el tratamiento de aguas residuales, pero sólo unos pocos trabajos se han realizado desde 2006 en la producción de biodiesel. En la literatura publicada hay un informe [10] que trata de los efectos de los parámetros operativos (relación molar y concentración del catalizador) respecto al rendimiento de la conversión del biodiesel, pero no incluye el tiempo, la temperatura y la reacción en el proceso de transesterificación.

Además, incluso cuando se ensayaron diferentes condiciones, no se informó sobre la evaluación de la calidad del producto final. En este trabajo se emplea una tecnología reciente para la producción de biodiesel que es por cavitación hidrodinámica. En el desarrollo del mismo se pretende demostrar que es una tecnología no muy complicada de llevar a cabo y que arroja resultados satisfactorios. La producción de biodiesel a partir del método de cavitación hidrodinámica puede ser una solución a corto plazo para que la producción y el consumo de biodiesel sea una opción más de energía renovable aplicada a algunos sectores de la sociedad.

Descripción del equipo

Para producir biodiesel por el método de cavitación hidrodinámica, se diseñó y construyó un banco de pruebas que consta de los siguientes elementos:

- Un reactor químico cilíndrico (R1), de 0.15 m de diámetro por 0.3 m de altura, con una capacidad aproximada de 5.3 dm³, fabricado en Acero Inoxidable SA 240-316.
- Una bomba centrífuga (P1), con un motor eléctrico Baldor de corriente continua de 745.69 W [1 Hp] de potencia, que gira a 1750 rpm, con voltaje de entrada dual 90 V.
- Una bomba centrífuga (P2), con un motor eléctrico Baldor de corriente continua de 1491.38 W [2 Hp] de potencia, que gira a 1750 rpm, con voltaje de entrada dual 180V.
- Dos variadores de voltaje de corriente directa Baldor (BC 140) con voltaje de entrada dual (115V o 230V), 50/60 Hz.
- Dos manómetros digitales de 30 Psi (206.840 kPa) con caja de acero inoxidable con interior de bronce marca ETSA (Ma1 y Ma2). °

Los manómetros cuentan con un mecanismo tipo rotativo en bronce, conexión inferior de 1/4" en latón con ventana de cristal estándar.

- Tubo de PVC de 25.4 mm [1"] de diámetro. Tiene la función de conectar la bomba centrífuga con el reactor. Mediante esa conexión se pone en circulación el fluido.
- Una válvula de globo de 25.4 mm [1"] de diámetro (VC). Tiene como función regular el paso del fluido o si es necesario también se puede variar su velocidad.
- Un poliducto flexible de 25.4 mm [1"] de diámetro. Éste cumple la función de conectar el reactor con la bomba centrífuga para poder cerrar el circuito del sistema y así poder circular el fluido.
- Dos placas de orificio con un diámetro en el barreno interior de 5 y 2.5 mm (OC). Tienen como objetivo aumentar la velocidad del fluido por medio de la reducción del diámetro.
- Un termopar tipo K (Chromel/Alumel) con un rango de temperatura de -200 °C a +1,372 °C con una sensibilidad 41µV/°C.
- Como materia prima se preparó: 12 litros de aceite de Canola, 12 litros de aceite de Girasol, 12 litros de aceite de Soya, 3 litros de Alcohol Etílico Absoluto, 100 gramos de Hidróxido de Sodio.

El banco de pruebas se ensambla como se indica en el diagrama de la Figura 1. Una vez ensamblado el equipo, se procedieron a efectuar varias pruebas preliminares al hacer circular agua en el dispositivo, lo anterior con el fin de detectar alguna falla o fuga en el sistema. Se vertieron 5 litros de agua en el reactor de acero inoxidable y se colocó el termopar tipo K para medir la temperatura inicial y final del agua después de transcurrido el proceso. Al trabajar el equipo durante 20 minutos con la bomba de 1 HP y la placa de orificio con el barreno de 5 mm, se obtuvieron las presiones P_1 de 62.01 kPa y P_2 de 82.68 kPa, y se observó un aumento de temperatura de 16 a 25 °C. Al trabajar con la bomba de 2 HP, con el mismo tiempo y placa de orificio del caso anterior, las presiones obtenidas fueron P_1 de 77.86 kPa y P_2 de 98.53 kPa, y un incremento de temperatura 18 °C a 25°C. Cabe mencionar que la presión P_1 corresponde al manómetro colocado la salida de la bomba, la presión P_2 corresponde al manómetro colocado antes de la placa de orificio y la presión después de la placa de orificio es la atmosférica P_{atm} .

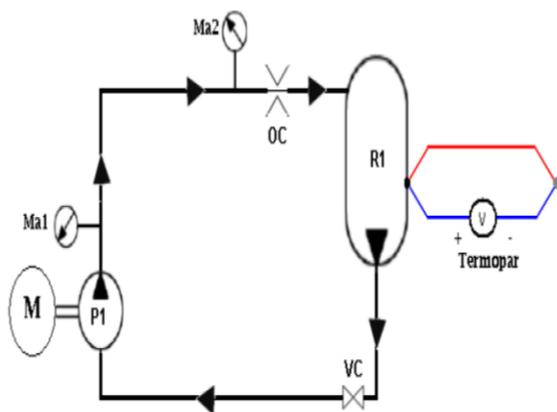


Figura 1 Diagrama de ensamble del dispositivo de pruebas

Símbolo	Descripción	
	Motor eléctrico.	M
	Bomba hidráulica.	P1
	Depósito hidráulico (Tanque de acero inoxidable).	R1
	Orificio calibrador (placa de orificio).	OC
	Manómetro 1 y 2.	Ma1 Ma2
	Válvula de cierre.	VC
	Termopar representado con los símbolos de polaridad.	Termopar

Figura 2 Símbolos gráficos de la Norma ISO 1219-1e ISO 1219-2

Desarrollo Experimental

La metodología empleada para realizar la experimentación fue la siguiente:

- Se introduce al reactor 1 litro de aceite de canola, 0.2 litros de Alcohol Etílico Absoluto (CH₃OH) y 3.55 gramos de Hidróxido de Sodio (NaOH). La mezcla de Alcohol Etílico Absoluto y el Hidróxido de Sodio, con las proporciones recomendadas, forman el metóxido de sodio.
- Se coloca en el equipo la placa de orificio de 5 mm de diámetro y la bomba centrífuga de 1 HP. Se acciona la bomba y se hace circular la mezcla de aceite vegetal y metóxido de sodio durante 15 minutos.
- Se toma la lectura de la temperatura de la mezcla, al inicio y al final de la prueba
- Se toma la lectura de los manómetros durante el proceso de circulación de la mezcla.

- Se saca el producto obtenido y se deja reposar durante un periodo de 8 horas en un dispositivo de decantación para retirar la fase sedimentada (Glicerol).

- Una vez obtenido el biodiesel se procede a su lavado para eliminar cualquier resto de Glicerina, Hidróxido de Sodio y algunas otras impurezas.

El método de lavado de biodiesel, para llevarlo a una calidad óptima y usarlo como combustible, consiste en separar los residuos sólidos del combustible, lavándolo con agua varias veces, según se requiera. En este paso también se ajusta el pH del biodiesel, que según las especificaciones de control de calidad, debe estar entre 6 y 8 [11]. El procedimiento utilizado fue:

- Se añade, en un matraz de decantación, un litro de mezcla del proceso anterior, 0.5 litros de agua y 25 mililitros de ácido acético (CH₃COOH). Con el ácido acético se consigue que el pH del biodiesel se vaya neutralizando.

- Se agita la mezcla durante 5 minutos y se deja reposar durante 6 horas. El biodiesel limpio queda en la parte superior y el agua con las impurezas disueltas se extrae con la válvula del fondo del recipiente.

- Se repite este proceso dos o tres veces para retirar todas las impurezas. El agua debe quedar completamente transparente para saber que el biodiesel está limpio. El segundo y tercer lavado pueden hacerse sólo con agua.

Una vez obtenido el biodiesel del proceso anterior, se mide su pH y se ajusta hasta el valor de 7, agregando pequeñas proporciones de ácido acético de manera directa. El biodiesel logrado contiene cierto grado de humedad debido al lavado, así que se calienta hasta 115 °C por 15 minutos, en agitación constante, para eliminar el resto de agua y alcohol etílico.

Ajustado el pH del biodiesel y sin humedad, se determina la viscosidad y la densidad del mismo.

Resultados y Discusión

El equipo construido presentó resultados semejantes en la producción biodiesel al cambiar la potencia de la bomba centrífuga o la placa de orificio. En las Tablas 1 y 2 se muestran los valores de presión y temperatura de las pruebas, para las dos bombas (1 y 2 HP) y para las placas de orificio, con barrenos de 5 y 2.5 mm. Cabe mencionar que el tiempo de la prueba se mantuvo constante en 15 minutos y que la presión atmosférica fue de 0.744 kPa.

Bomba	Aceite	Litros	P ₁ [kPa]	P ₂ [kPa]	T _{inicial} [°C]	T _{final} [°C]	pH final
1 HP	Canola	3	34.45	62.01	20	76	6.68
	Girasol	3	33.07	62.01	21	73	6.69
	Soya	3	58.56	84.75	21	75	6.70
2 HP	Canola	3	34.05	62.01	20	77	6.69
	Girasol	3	33.07	62.01	20	74	6.77
	Soya	3	58.56	84.75	21	75	6.73

Tabla 1 Valores de parámetros para placa de orificio de 2.5 mm de diámetro

Bomba	Aceite	Litros	P ₁ [kPa]	P ₂ [kPa]	T _{inicial} [°C]	T _{final} [°C]	pH final
1 HP	Canola	3	94.39	124.02	20	89	7.00
	Girasol	3	89.57	120.57	21	91	7.20
	Soya	3	118.75	146.34	21	90	6.89
2 HP	Canola	3	103.35	127.46	20	88	7.16
	Girasol	3	103.00	126.95	21	90	6.93
	Soya	3	122.41	149.18	21	89	7.11

Tabla 2 Valores de parámetros para placa de orificio de 5 mm de diámetro

Una vez obtenido el biodiesel se sometió a pruebas de lavado y se ajustó el pH de acuerdo con las especificaciones de control de calidad de Biodiesel [11]. Esta indica que para garantizar la calidad del biocombustible y ser considerado como aceptable y de buena calidad, su pH no debe ser menor de 6 ni mayor a 8.

Los valores de pH después de ajustados, de acuerdo al procedimiento experimental descrito anteriormente, se muestran en las Tablas 1 y 2. Posteriormente se procedió a eliminar la humedad y los excedentes de alcohol etílico del biodiesel. Para ello se calentó el biodiesel con agitación contante por 15 minutos. Conforme el biodiesel fue aumentando su temperatura se empezó a eliminar el agua y fue cambiando su apariencia. En la Fig. 3 se muestra el proceso de calentamiento.



Figura 3 Cambio de aspecto del biodiesel debido al calentamiento

Para obtener la densidad del biodiesel se empleó la norma europea EN-14214 y la norteamericana ASTM D6751. En ellas se indican los procedimientos para medirla y se señala que la densidad del biodiesel debe estar en un rango de 0.860 g/cm^3 y 0.900 g/cm^3 . Por lo anterior, las muestras de biodiesel se sometieron a pruebas de densidad, en donde se vertieron 600 ml de cada muestra en una probeta graduada de 100 ml. El biodiesel se llevó a una temperatura de $15 \text{ }^\circ\text{C}$, colocando las muestras dentro de un refrigerador hasta alcanzar la temperatura indicada. Se eligió un densímetro de vidrio con una graduación de $0.800\text{-}0.900 \text{ g/ml}$ con un error de medida de 0.001 g/ml . Se hicieron tres mediciones por cada muestra, los resultados se muestran en la Tabla 3.

	Canola	Girasol	Soya
Bomba y placa de orificio	Densidad promedio [g/cm³]		
1 HP 5 mm	0.895	0.892	0.886
2 HP 5 mm	0.890	0.900	0.883
1 HP 2.5 mm	0.891	0.888	0.884
2 HP 2.5 mm	0.890	0.890	0.888
Promedio por aceite	0.892	0.893	0.885
Desviación estándar	0.0021	0.0045	0.0019

Tabla 3 Densidad del biodiesel

Los resultados obtenidos en la densidad de cada muestra de biodiesel se encuentran en el rango de los valores mínimos de 0.860 g/cm^3 y máximos de 0.900 g/cm^3 que la norma europea EN-14214 y norteamericana ASTM D6751 especifican. Esto indica que cada prueba de biodiesel cumple con el requerimiento de las normas.

Para obtener la viscosidad del biodiesel se empleó la norma europea EN-14214 y la norteamericana ASTM D6751. En ellas se indican los procedimientos para medirla y se señala que la viscosidad del biodiesel debe estar en un rango de 3.5 a 5.0 cST para la norma europea y 1.9 a 6.0 cST para la americana. La viscosidad es una propiedad muy importante en los fluidos, es la resistencia que ejercen los fluidos a ser deformados cuando se le aplica una fuerza cortante. La viscosidad cinemática del biodiesel fue medida con un viscosímetro Saybolt, empleando el siguiente procedimiento:

- 1) Con ayuda de una probeta graduada se midieron 60 ml de cada muestra de biodiesel.
- 2) La temperatura del biodiesel se manejó a $40 \text{ }^\circ\text{C}$, que es la requerida por las normas.

3) Se introduce la muestra de biodiesel en uno de los cilindros contenedores, el cual consiste de un recipiente cilíndrico de bronce en cuyo fondo hay un orificio de dimensiones específicas (de 1/8 o 1/16”).

4) El fluido se deja escurrir a través del orificio y se mide el tiempo. Para las sustancias poco viscosas se usa el orificio de 1/16” y el tiempo medido es denominado Segundos Saybolt Universal (SSU). Para los fluidos más viscosos se utiliza el orificio de 1/8” y el tiempo cuantificado es llamado Segundos Saybolt Furol (SSF).

La unidad de medida es el tiempo en segundos requeridos para que 60 ml de biodiesel a una temperatura de 40 °C fluyan por un orificio. Las ecuaciones que relacionan la viscosidad cinemática (ν) y los segundos Saybolt (t), según el equipo empleado, son:

	Tiempo θ [s]	ν [cStokes]
Saybolt universal	32< θ <100	$(0.00226 \theta^2 - 1.92)/\theta$
	$\theta > 100$	$(0.00220 \theta^2 - 1.35)/\theta$
Saybolt furol	32< θ <100	$(0.02240 \theta^2 - 1.84)/\theta$
	$\theta > 100$	$(0.02160 \theta^2 - 0.60)/\theta$

Tabla 4 Ecuaciones para la viscosidad

En la tabla 5 se presentan los resultados de las mediciones de la viscosidad cinemática de las muestras, se hicieron tres mediciones por cada muestra.

	Canola	Girasol	Soya
Bomba y placa de orificio	Viscosidad promedio [cStokes]		
1 HP 5 mm	4.64	4.42	4.38
2 HP 5 mm	4.33	4.29	4.22
1 HP 2.5 mm	4.39	3.95	4.40
2 HP 2.5 mm	4.36	4.23	4.29
Promedio por aceite	4.43	4.22	4.32
Desviación estándar	0.123	0.172	0.072

Tabla 5 Viscosidad cinemática del biodiesel

Los resultados de la viscosidad cinemática obtenidos en cada muestra de biodiesel cumplen con los estándares de las normas EN-14214 y ASTM D6751. Finalmente, se puede decir que las pruebas realizadas de pH, densidad y viscosidad cumplen con el control de calidad y con las normas EN-14214 y ASTM D6751. En general, los resultados obtenidos por cada prueba son de buena calidad, ya que los parámetros marcados por las normas en ningún resultado salen de lo requerido. Lo anterior muestra que se puede emplear la bomba de 1 o 2 HP o la placa de orificio de 5 o 2.5 mm diámetro, ya que los resultados del producto fueron muy parecidos. Sin embargo, para propósitos de ahorro de energía el sistema que trabajaría mejor es el de la bomba de 1 HP junto con la placa de orificio de 2.5 mm de diámetro.

Conclusiones

Se ha construido y evaluado un prototipo para la producción de biodiesel por el método de cavitación hidrodinámica. Se emplearon tres tipos de aceite (canola, girasol y soya) que junto con el metóxido de sodio se hicieron circular en el equipo por un tiempo de 15 minutos.

Para las pruebas se emplearon dos bombas de diferente capacidad (1 y 2 HP) y dos placas de orificio (5 y 2.5 mm de diámetro) con el objeto de ver el efecto que tienen sobre la producción del biodiesel. Del producto obtenido en cada prueba se obtuvieron algunas propiedades termofísicas (pH, densidad y viscosidad), para verificar que cumpliera la especificación de control de calidad y con las normas europeas EN-14214 y americanas ASTM D6751. Los resultados indicaron que para todas las muestras los valores de pH, densidad y viscosidad cumplieron con la normatividad, por lo que el uso de cualquiera de las bombas o de las placas de orificio generarán resultados satisfactorios. Finalmente, se puede decir que el biodiesel obtenido puede ser empleado en motores estacionarios y vehículos diesel con las proporciones marcadas en la normatividad.

Referencias

- [1] F. Zhang, Z. Fang, Y. T. Wang, (2015), Biodiesel production directly from oils with high acid value by magnetic $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}$ catalyst and ultrasound, *Fuel*, 150, pp 370–377.
- [2] J. M. Restrepo-Flórez, A. Bassi, L. Rehmman, M. R. Thompson, (2014), Investigation of biofilm formation on polyethylene in a diesel/biodiesel fuel storage environment, *Fuel*, 128, pp 240–247.
- [3] V. C. McNeff, C. L. McNeff, B. Yan, D. T. Nowlan, M. Rasmussen, A. E. Gyberg, (2008), A continuous catalytic system for biodiesel production, *Appl. Catal. A. Gen.*, 343, pp. 39–48.
- [4] J. M. Dias, J. M. Araújo, J. F. Costa, M. C. M. Alvim-Ferraz, M. F. Almeida, (2015), Biodiesel production from raw castor oil, *Energy*, 53, pp 58–66.
- [5] K. J. Chen, Y. S. Chen, (2014), Intensified production of biodiesel using a spinning disk reactor, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 78, pp 67–62.
- [6] E. Santacesaria, M. Di Serio, R. Tesser, M. Tortorelli, R. Turco, V. Russo, (2011), A simple device to test biodiesel process intensification, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 50, pp 1085–1094.
- [7] P. R. Gogate, (2008), Reactores de cavitación para la intensificación de procesos de aplicaciones de procesamiento de productos químicos: una revisión crítica, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 47, pp 515-527.
- [8] G. L. Maddikeri, A. B. Pandit, P. R. Gogate, (2012), Intensificación enfoques para la síntesis de biodiesel a partir de aceite de cocina usado: una revisión, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45, pp 14610-14628.
- [9] V. L. Gole, P. R. Gogate, (2012), Una revisión sobre la intensificación de la síntesis de biodiesel a partir de materia prima de alimentación sostenible utilizando reactores sonochemical, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 53, pp 1-9.
- [10] V. L. Gole, K. R. Naveen, P. R. Gogate, (2013), Cavitación hidrodinámica como un enfoque eficaz para la intensificación de la síntesis de ésteres metílicos de materia prima sostenible, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, 71, pp 70-76.
- [11] A. Méndez Vilas, (2015) *Materials and Technologies for Energy Efficiency*, Brown Walker Press, 1, pp 34-36.

Producción de lípidos a partir de *Chlorella protothecoides* mantenida con CO₂ proveniente de la fermentación alcohólica

HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail*†, HERNÁNDEZ-REYES, Mara, JIMÉNEZ-ISLS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué.

Recibido Octubre 7, 2016; Aceptado Noviembre 14, 2016

Resumen

Las microalgas son microorganismos con altas tasas de crecimiento y no son utilizadas para consumo humano. Por lo tanto, el uso de cultivos de microalgas no compete con los costos relacionados a los insumos alimenticios y pueden ser empleadas para la producción de biocombustibles. En el presente trabajo, el crecimiento de la especie *Chlorella protothecoides* cultivada de manera autótrofa, usando como fuente de Carbono el CO₂ producido de la fermentación alcohólica en adición con el CO₂ presente en el ambiente fue evaluada. Las microalgas se cultivaron en contenedores con volúmenes de 4 000 ml, con aireación constante, fotoperiodo 12:12 con 2500 luxes, temperatura ambiente y pH de 7.5. Se comparó el crecimiento de la biomasa de la cepa por el método de conteo en cámara de Neubauer y peso seco. El Nitrógeno (N) Se inhibió del medio de cultivo, para evaluar el efecto del nutriente resultando en ambos casos que la biomasa en los cultivos no limitados de nitrógeno tuvieron un mayor índice de crecimiento. La biomasa en los cultivos que contenían nitrógeno tuvieron un mayor índice de crecimiento, para el cultivo con y sin adición de CO₂ a partir de la fermentación alcohólica fueron 25.83x10⁶ cel. /mL y 90.0x10⁶ cel. /mL respectivamente. La composición de ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases, dando como resultado que la concentración de ácido palmítico tiene una mayor concentración de los casos estudiados

Microalgas, fotoperiodo, cromatografía de gases

Abstract

Microalgae are microorganism with high growing rates and they are not use for human consume. Therefore, the use of microalgae does not compete with the costs related to food supplies and can be used for the production of biofuels. In this paper, the rate of growing of microalgae *Chlorella protothecoides* cultured in autotrophic medium using as carbon source CO₂ from an alcoholic fermentation and CO₂ from the atmosphere was evaluated. Microalgae were grown in containers with volumes of 4000 ml, with constant aeration, photoperiod 12:12, and light intensity of 2500 lux, room temperature and pH of 7.5. The biomass growth was evaluated by the method of counting in Neubauer chamber and dry weight. Nitrogen (N) was inhibited culture medium to evaluate the effect of the nutrient, resulting in both cases, in that biomass crops without nitrogen inhibition had a higher growth rate. Biomass cultures containing nitrogen had a higher growth rate for cultivation with and without addition of CO₂ from alcoholic fermentation were 25.83x10⁶ Cel / ML and 90.0x10⁶ cells / mL respectively. The fatty acid composition was determined by gas chromatography, resulting that palmitic acid concentration has a higher concentration for the studied cases.

Microalgae, photoperiod, gas chromatography

Citación: HERNÁNDEZ-ROJO, Abigail, HERNÁNDEZ-REYES, Mara, JIMÉNEZ-ISLS, Donaji y VENEGAS-SÁNCHEZ, Josué. Producción de lípidos a partir de *Chlorella protothecoides* mantenida con CO₂ proveniente de la fermentación alcohólica. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 24-28

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

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La baja en los precios de los combustibles fósiles ha reducido considerablemente la economía del país, además debido a las grandes emisiones de contaminantes que producen estos han deteriorado considerablemente el medio ambiente. Derivado de ello ha crecido el interés por el estudio de nuevas fuentes de energía, la biomasa es una alternativa viable en la producción de biocombustibles tanto sólidos como líquidos. 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]. El contenido promedio de lípidos en microalgas varía entre 20 y 40 % del peso celular seco (PS) [2].

Cuando un cultivo se pueden extraer porciones considerables de lípidos además de un aumento en el crecimiento celular considerable [3]. 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]. Además es importante mencionar que se deben de tomar en cuenta condiciones de temperatura, iluminación, pH.

El presente trabajo tuvo como objetivo comparar los parámetros cinéticos de crecimiento, así como la recuperación de biomasa (peso seco) y el contenido de lípidos totales en la cepa *Chlorella protothecoides*, la cual creció de manera autótrofa mantenida con el CO₂ proveniente de una fermentación alcohólica y el CO₂ presente en el ambiente.

Metodología a desarrollar

La cepa se adquirió del CINVESTAV en placa de agar, la adaptación de la cepa se llevó en medio Basald Bold (ver tabla 1). Los experimentos se llevaron a cabo en contenedores 4000 mL, a los cuales se les burbujeo de manera continua CO₂ del medio ambiente. Para estudiar el efecto de la adición de CO₂ se añadió a la corriente el CO₂ producto de una fermentación alcohólica. Así mismo, se limitó la presencia de Nitrógeno, analizando el efecto de nitrógeno presente en el medio cultivo BB modificado. 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.

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 Solución de Metales	1 de ver tabla 2	40 ml/L
Solución Soliwater	ver tabla 3	6 ml/L

Tabla 1 Medio de cultivo Basald Bold

Reactivo	Stock
Na ₂ EDTA-2 H ₂ O	0.75 g/L H ₂ O
FeCl ₃ -6 H ₂ O	0.097 g/L H ₂ O
MnCl ₂ -4 H ₂ O	0.041 g/L H ₂ O
ZnCl ₂	0.005 g/L H ₂ O
CoCl ₂ -6 H ₂ O	0.002 g/L H ₂ O
Na ₂ MoO ₄ -2H ₂ O	0.004 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 obtuvo la cinética de crecimiento por conteo en cámara de Neubauer (.1mm Tiefe Depth Profondeup). Las mediciones se realizaron cada 48 horas por triplicado.

La biomasa microalga (peso seco) se obtuvo a través de centrifugación a 4000 rpm., durante 10 min. (Centrifugadora UNICO C8704x) separando el supernatante de las microalgas

La extracción de lípidos, se llevó a cabo la extracción por el método Bligh & Dyer [7]. El cual consiste en adicionar una mezcla de solventes cloroformo: metanol (1:2). Las muestras se incubaron por 24h en refrigeración y protegidas de la luz (favoreciendo la extracción de ácidos grasos). Subsiguientemente se centrifugaron continuamente a 4000 rpm en intervalos de tiempo de 10-20 min., agregando cloroformo: metanol, agua y cloroformo respectivamente. Finalmente se separó la fase orgánica lipídica en un tubo previamente pesado, llevando el proceso de secado con gas de Nitrógeno. La evaluación de la composición de ácidos grasos se realizó por Cromatografía de Gases con Detector de Ionización de Flama, previa derivatización como Metil Esteres [CINVESTAV. Cd. De México].

Resultados

Los resultados obtenidos en los experimentos con la adición de ambos elementos (CO₂ y N), el crecimiento es mayor. Al limitar la presencia de Nitrógeno en el medio, la ruta metabólica del microorganismo es modificada, causando una disminución en el crecimiento celular, pero aumentando la producción de lípidos [3].

En el gráfico 1 se observa mayor crecimiento en los experimentos en 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. Por otro lado en los medios limitados presento un mayor crecimiento al que se le suministro CO₂ de una fermentación el cual indico 32.167x10⁶ cel. /mL mientras que solo con el CO₂ presente en el ambiente mostro 20.37 x10⁶ cel. /mL. 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.

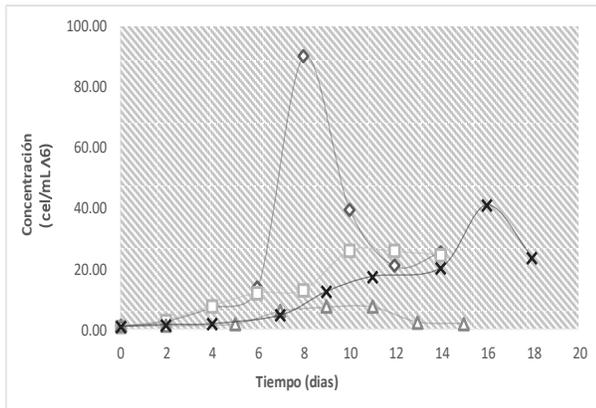


Gráfico 1 Crecimiento celular de la microalga *Chlorella protothecoides* en medio BB y medio BB limitado. ◇ Con adición de CO₂ y N, □ Sin adición de CO₂ y con N, Δ Sin adición de CO₂ y sin N, × Con adición de CO₂ y sin N.

En el gráfico 2 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.

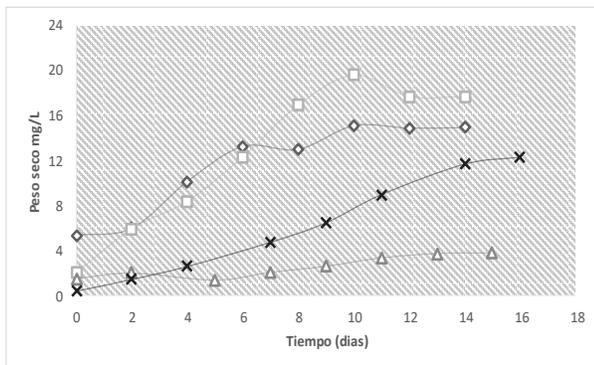


Gráfico 2 Peso de la microalga *Chlorella protothecoides* en medio BB y medio BB limitado. ◇ Con adición de CO₂ y N, □ Sin adición de CO₂ y con N, Δ Sin adición de CO₂ y sin N, × Con adición de CO₂ y sin N.

En la tabla 4 se muestra la composición de ácidos grasos de extractos de microalgas, en las cuales se puede observar 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].

Agradecimiento

Se agradece al CONACYT por el proyecto otorgado "Proyecto de fomento a las vacaciones Científicas y tecnología en niños y jóvenes mexicanos", con código C-291045.33/2016

Conclusiones

Cuando se regula tanto la cantidad de Carbono como de nitrógeno se está cambiando la ruta metabólica de la cepa aumentando la producción de biomasa comparada con los medios en condiciones estándar. Los experimentos llegaron a su fase exponencial entre los días 8-10 teniendo un mayor incremento celular, el experimento que refleja un mejor resultado el cual en condiciones de adición de CO₂ de la fermentación alcohólica en medio BB, sin embargo cuando se alteran algunas condiciones la ruta metabólica de la microalga cambia, viendo esto reflejado 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.

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	-----
Esteárico	3.6	2.63
Oleico	10.83	10.07
Linoleico	25.15	6.66
α-Linolenico	12.83	6.47
Cis-11,14-Eicosadienoico	-----	23.12
Behenico	1.05	-----

Tabla 4 Composición de ácidos grasos de *Chlorella protothecoides*

Referencias

[1]. Garibay A., Velazquez R., Biodiesel a Partir de Microalgas. *BioTecnología*, .13 (3): (2009).

[2]. Chisti Y. Biodiesel from microalgae – a review. *Biotechnol. Adv.* 1 (25): 294–306. (2007).

[3]. Barajas A, Godoy C. y Morroy D. 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. “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. Of methods of extraction of oil in the production line of biodiesel from microalgae. *Prospect.* 7 (2): 53-60 (2009)

[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. Determinación de la biomasa microalgal potencialmente acumuladora de lípidos para la obtención de combustible. *FINCyT – PIBAP* (2007)

Diseño de un sistema de secado con aprovechamiento de calor en la producción de tejas, utilizando lógica difusa apoyada con LabVIEW

MADUJANO-VENEGAS, Claudia*†, VELÁZQUEZ-TRUJILLO, Sabino, ESCOBAR-GÓMEZ, Elías y RIOS-ROJAS, Carlos.

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carr. Panamericana Km.1080, Terán, 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chis., México

Recibido Octubre 18, 2016; Aceptado Noviembre 23, 2016

Resumen

En algunas industrias alfareras, que utilizan métodos tradicionales, se observan problemas relacionados con el entorno y las características de la materia prima; siendo uno de los principales problemas el excesivo tiempo de producción debido a un deficiente control del proceso de secado. Se ha observado que los cambios climatológicos (variación de la temperatura y la precipitación pluvial), los desgastes de los moldes de la extrusora y la asignación de tareas afectan el proceso de secado, incrementando el tiempo de producción y en consecuencia las pérdidas. En este artículo se presenta el diseño de un sistema de secado con aprovechamiento del calor en la producción de tejas, con un control difuso; obteniéndose un sistema automatizado capaz de controlar el secado de las tejas que actualmente es difícil de tratar. El método propuesto consta de tres etapas importantes: determinar los parámetros que afectan al método tradicional (temperatura del horno, el tiempo del proceso, temperatura del entorno); diseñar un control difuso considerando los parámetros determinados y calcular la cantidad de calor máxima generada por el horno de cocción (incluyendo la pérdida de calor a través de los ductos); determinar el comportamiento del sistema de secado propuesto. Como resultado se logró reducir al menos un 50% del tiempo de secado con respecto al método tradicionalmente empleado.

Aprovechamiento de Calor, Transferencia de Calor, Alfarería, Lógica Difusa

Abstract

In some pottery industries, using traditional methods, problems related to the environment and the characteristics of the raw material are observed; It is one of the main problems excessive production time due to poor control of the drying process. It has been observed that climatological changes (variation in temperature and rainfall), the wear of the molds from the extruder and assignments affect the drying process, increasing production time and consequently losses. This article presents the design of a drying system with waste heat in the production of tiles, with a fuzzy control; obtaining an automated system capable of controlling the drying of the tiles it is currently difficult to treat. The proposed method consists of three major stages: determining the parameters affecting the traditional method (oven temperature, process time, temperature environment); design a fuzzy control considering certain parameters and calculate the maximum amount of heat generated by the oven cooking (including heat loss through pipelines); determine the behavior of the proposed drying system. As a result it was possible to reduce at least 50% of the drying time compared to traditionally used method.

Harnessing Heat, Heat Transfer, Potteries, Fuzzy Logic

Citación: MADUJANO-VENEGAS, Claudia, VELÁZQUEZ-TRUJILLO, Sabino, ESCOBAR-GÓMEZ, Elías y RIOS-ROJAS, Carlos. Diseño de un sistema de secado con aprovechamiento de calor en la producción de tejas, utilizando lógica difusa apoyada con LabVIEW. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 29-36

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: ecinereb-7@hotmail.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

A través de la historia se ha visto la importancia adquirida del ladrillo y las tejas como un material indispensable en la construcción (Afanador García & J., 2013), la materia prima en la elaboración de las piezas de mampostería es la arcilla, como un material plástico natural en presencia de agua que permite moldearse para luego adquirir una dureza que aumenta considerablemente después de la cocción; existen diferentes tipos de arcillas y sus características de superficie específica, plasticidad, tixotropía y capacidad de absorción dependen del tamaño o la estructura de sus componentes.

La arcilla en su fase de preparación requiere de las etapas: trituración, amasado, moldeo, secado y cocción; la etapa crítica es el secado, debido a que se elimina el 75% por ciento de humedad incorporada, para llevar a cabo la cocción con resultados satisfactorios.

(Martínez López & Lira Cortés, 2016) Estudia el secado de ladrillos de forma experimental, por no existir un modelo universal de secado, aplicando el modelo de Luikov, derivado de la termodinámica de procesos irreversibles para alcanzar los perfiles de humedad en el secado de muestras de ladrillo a diferentes temperaturas, donde se realizó una evaluación de los factores de influencia que afectan al perfil obtenido. Validando el modelo experimentalmente con muestras de ladrillo, secados a temperaturas de 60°C y 80°C; comparando resultados teóricos y experimentales que coincidan en la región del secado, es útil en la determinación del contenido de humedad.

Los cambios evolutivos de los sistemas de control se dividen en tres etapas: el sistema de control on/off (encendido/apagado), el control PID y el control inteligente. El más utilizado actualmente es el Control Lógico Difuso, que se basa en la lógica difusa para desarrollar estrategias de control lingüística a partir del conocimiento experto (Elnour A/Alla Mohammed, 2013).

Para el proceso de secado de las tejas se utilizan métodos automatizados y/o convencionales; los primeros son manipulados mayormente por la industria alfarera con gran disponibilidad de recursos económicos; el segundo es el utilizado tradicionalmente en las localidades donde existe la materia prima.

(Stojanovski & Stankovski, 2011) proponen un sistema de control difuso simulado en MATLAB Simulink de un modelo de fábrica para la producción de ladrillos de arcilla "KIK" en Kumanovo, logrando una automatización adecuada e inteligente que ahorra energía y costos.

Metodología desarrollada

En la figura 1 se presenta la metodología a seguir, dividiéndose en 5 fases; explicadas a continuación con los resultados obtenidos.

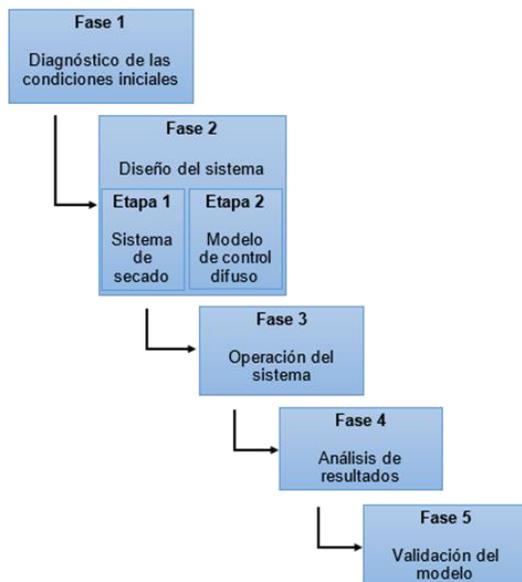


Figura 1 Metodología del diseño de un sistema de secado con aprovechamiento de calor

Fase 1. Diagnóstico de las condiciones iniciales

Esta fase se desarrollo mediante visitas frecuentes a la planta, identificando al clima y el tiempo de secado como factores que interrumpen el proceso de producción.

Las mediciones desarrolladas en la planta permiten identificar la ubicación de cada proceso delimitando el área del sistema de secado a diseñar identificado en la **figura 2**. Considerando dos secciones (zona sombreada A y B), cada sección cuenta con un horno de cocción, por ejemplo; la zona A con el horno este (H_{est}) y la zona B con el horno oeste (H_{oest}) y las mediciones son 40m de longitud y 10m de ancho; debido al proceso de producción y uso no simultaneo de los hornos, para trabajar con un sistema de secado de la distribución del área seleccionada en indistinta utilizar cualquiera de las dos.

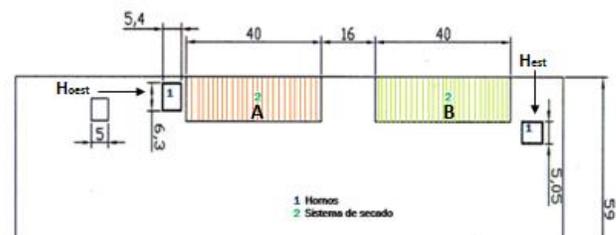


Figura 1. Diagrama del área del sistema de secado

Fase 2 Diseño del sistema

En esta fase se consideran dos etapas como se aprecia en la **figura 1**.

Etapa 1. Sistema de secado

Aplicando la ecuación $Q = mC_p\Delta T$ de la conservación de la energía para el flujo de un fluido, siendo Q = la transferencia de energía al sistema (J), m = Masa del aire (Kg), C_p = Calor específico del aire (J/Kg*°C), ΔT = Diferencial de temperatura (°C) y apoyado de la transferencia de calor se lleva a cabo el análisis termodinámico que permite realizar el cálculo correspondiente para la determinación del tamaño de los ductos mediante el método de caída de presión constante --método de igual fricción--.

Apoyado con el software EES (*Engineering Equation Solver*), se obtienen las dimensiones de los tramos en forma de reducción de los ductos del sistema de secado, que permiten la uniformidad del calor incorporado del horno de cocción al sistema de secado como se observa en la **tabla 1**.

Tramo	W ¹ (metros)	H ² (metros)
a-c	1.213	0.2022
c-e	1.158	0.193
e-g	1.103	0.1838
g-i	0.9925	0.1654
i-k	0.8822	0.147
k-m	0.7719	0.1287
m-ñ	0.6065	0.1011

Tabla 5 Determinación de las dimensiones de los ductos del sistema de secado

Al realizar el análisis termodinámico se identifica el calor máximo generado (168.616KJ) por el horno de cocción, que permite elegir los accesorios; el ventilador centrífugo modelo CLT18 con una capacidad de 11529 m³/hr a velocidad de 1850 RPM y los ventiladores murales modelo SB13 con una capacidad de 3600 PCM a velocidad de 1600 RPM. Ambos ventiladores se identifican en la **figura 3**, uno para la inducción del calor generado por el horno de cocción, y otro para eliminar la humedad y reducir temperatura del sistema cuando el secado y proceso del horno es finalizado.



Figura 2 Accesorios del sistema de secado

El diseño del sistema se apoyo en el software SolidWorks para su identificación, diseñando una cabina de control para realizar un monitoreo constante del sistema y facilitar la detección de fallas; apreciado en la **figura 4**.

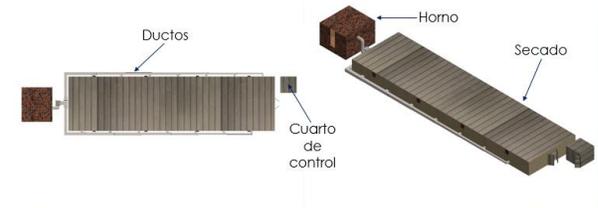


Figura 3. Diseño del sistema de secado

Etapa 2. Modelo de control

Con la finalidad de lograr un control de la temperatura y un sistema funcional se diseña un modelo de control difuso en el que se determinan las variables difusas (entrada y salida) junto con el arreglo de las reglas difusas; determinadas a través del diagnóstico de las condiciones iniciales y la experiencia del experto en la producción de tejas. Enseguida se presentan las variables contempladas y el juego de reglas para el modelo de control difuso a utilizar.

Se contemplaron tres variables de entrada:

1. **La temperatura de horno de cocción** se mide de 27°C a 1000°C, considerando tres conjuntos difusos de tipo trapezoidal (determinado por el comportamiento del horno de cocción en operación); “baja” de 27°C hasta 350°C, “media” de 250°C hasta 850°C y “alta” de 750°C a 1000°C (Rodríguez Ramírez, Diego Nava, Martínez Alvarez, Méndez Lagunas, & Aguilar Lescas, 2004).

¹ Ancho del ducto

² Largo del ducto

2. La **temperatura del sistema de secado** se mide de 27°C a 130°C considerando cinco conjuntos difusos; “muy baja” tipo triangular de 27°C a 40°C, “baja” tipo trapezoidal de 30°C a 80°C, “media” tipo trapezoidal de 70°C a 110°C, “alta” tipo triangular de 105°C a 125°C y “muy alta” tipo triangular de 120°C a 130°C, las funciones triangulares son debido a los puntos críticos del sistema y las trapezoidales para a los momentos de temperatura estándares. Determinado a partir del experto en el área.

3. El **tiempo** se mide de 0 a 60 horas, con un conjunto difuso “encendido” la función es de tipo trapezoidal de 20 a 60 horas; se considera como variable de entrada con el fin de obtener resultados del secado después del tiempo de operación del horno de cocción (no se incorpora más calor). Debido que los extractores siguen su operación y se requiere observar en que momento establecer una temperatura ambiente en el sistema para retirar el producto.

En las Variables de salida, se contemplaron:

1. La **velocidad del motor** se mide desde 0V hasta 10V, considerando seis conjuntos difusos, “apagado (A)” de tipo triangular de 0V a 1V, “despacio (D)” tipo trapezoidal de 1V a 4V, “media (M)” tipo trapezoidal de 3V a 6V, “un poco rápido (PR)” tipo trapezoidal de 5V a 8V, “rápido (R)” tipo trapezoidal de 7V a 10V y “super rápido (SR)” tipo triangular de 9 a 10 V, las funciones triangulares para los momentos arranque-paro y trapezoidales para lograr el control proporcional del ventilador.

2. La variable **extractor (Ex)** se mide de 0 a 1, considerándose a partir del comportamiento y características de los ventiladores comunes que se miden por niveles, considerando un conjunto “Encendido (E)” de tipo singleton para determinar simplemente si está funcionando o no.

Se desarrolla el arreglo de las reglas difusas con base a la interpretación del experto, las cuales se muestran en la **tabla 2**.

		T_sistema de secado				
		Muy bajo	Bajo	Media	Alta	Muy alta
T_Horno	Baja	A				
	Media	SR	R	M	M	A
	Alta	R	PR	M	D	A y Ex:E
Si “Tiempo” es “Encendido” entonces “Extractor” es “Encendido”						

Tabla 2 Juego de reglas difusas

Fase 3. Operación del sistema

En esta fase se obtiene el modelo de control difuso a través del *tools* de “control y simulación” en NI LabVIEW, a partir de la distribución de los ductos, el análisis termodinámico y el modelo difuso. Localizado en el cuadrante B de la **figura 5** que corresponde a la simulación del sistema de secado.

En el cuadrant D son ecuaciones características de los fluidos a diversas temperaturas, factores que se involucran y afectan durante la transferencia de calor realizada entre el horno de cocción y el sistema de secado.

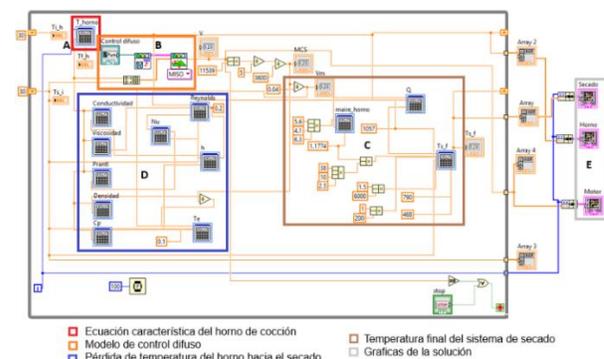


Figura 5 Diagrama del sistema de secado en LabVIEW

Se determina la ecuación característica del funcionamiento del horno de cocción Según (Salazar Rodríguez, López Carranza, & M. Vreeland, 1993), a través del toolbox de Matlab “Curve Fitting Tool” obteniendo una ecuación de tipo gaussiana con siete variables declarada en la ecuación 1 y esta localizado en el cuadrante A de la simulación del sistema general.

$$f(x) = 361.1 * \exp\left(-\left(\frac{x-15.36}{0.6702}\right)^2\right) + 73.49 * \exp\left(-\left(\frac{x-16.42}{0.461}\right)^2\right) + 49.14 * \exp\left(-\left(\frac{x-3.344}{4.905}\right)^2\right) + 1613 * \exp\left(-\left(\frac{x-12.1}{1.895}\right)^2\right) + 1059 * \exp\left(-\left(\frac{x-12.91}{2.621}\right)^2\right) + 485.4 * \exp\left(-\left(\frac{x-13.71}{5.437}\right)^2\right) - 2690 * \exp\left(-\left(\frac{x-12.27}{2.084}\right)^2\right) \quad (1)$$

En el cuadrante C se involucran las posibles pérdidas debido a los sólidos y factores del sistema de secado que interrumpan o disminuyan el calor transportado, con el fin de involucrar el mayor de los factores posibles que interfieren y lograr la mayor acertación en los resultados.

Fase 4. Análisis de resultados

En la **figura 6** se presenta el funcionamiento del ventilador que es proporcional al aumento de la temperatura en el sistema de secado; cuando llega a su velocidad máxima y disminuye lentamente la velocidad sin cambios repentinos, logra la máxima eficiencia y pérdidas mínimas.

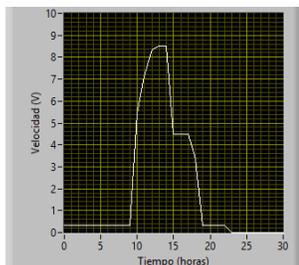


Figura 6 Comportamiento del ventilador durante el proceso en LabVIEW

En la **figura 7** se obtiene el comportamiento del sistema de secado observando que entre la hora 15 y 20 del proceso se logra la temperatura de 125°C, como ideal para lograr el secado de las piezas. Y entre la hora 45 y 50 se vuelve a la temperatura inicial, aprovechando el tiempo para retirar las piezas del sistema de secado y preparar el proceso de cocción.

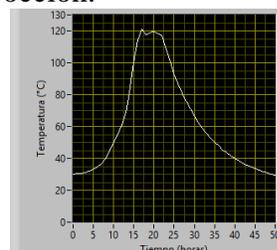


Figura 7 Diagrama del sistema de secado en LabVIEW

Fase 5. Validación del modelo

Con base en los datos obtenidos a través de la simulación del Sistema de secado y los datos del tiempo de secado del método tradicional se obtiene la **tabla 3**, datos que son necesarios para llevar a cabo la validación.

Mes (2016)	Secado del Método Tradicional	Secado del Método Propuesto
Ene	100 horas	47 horas
Feb	100 horas	49 horas
Mar	100 horas	46 horas
Abr	100 horas	45 horas
May	100 horas	46 horas
Jun	175 horas	49 horas
Jul	175 horas	50 horas
Ago	180 horas	50 horas
Sep	180 horas	50 horas
Oct	200 horas	50 horas
Nov	200 horas	50 horas
Dic	200 horas	50 horas

Tabla 3 Tiempo de secado del Método Tradicional VS el Método Propuesto

Para realizar la prueba de hipótesis se basa en los resultados que se obtienen aplicando el programa MINITAB versión 14 indicado en la **figura 8**, obteniendo el valor del estadístico $t=7.74$.

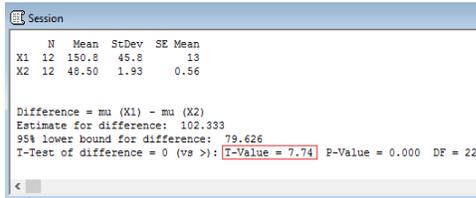


Figura 8 Obtención de Tcalculada con MINITAB 14

Se considera que la hipótesis nula (H_0) asume que el tiempo de secado para el método tradicional (μ_1) y el método propuesto (μ_2) son iguales contra la alternativa (H_1) de que el método tradicional es mayor al método propuesto, quedando el planteamiento de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2$$

Para comparar con la T_{tablas} , considerando un valor de significancia de 5%, localizado en la tabla de distribución t de Student se tiene lo siguiente:

$$t_{tablas} = t_{0.05, 12+12-2} = t_{0.05, 22} = 1.717$$

Con los datos mostrados en la **figura 9** se concluye que existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y en consecuencia no rechazar la hipótesis alternativa.

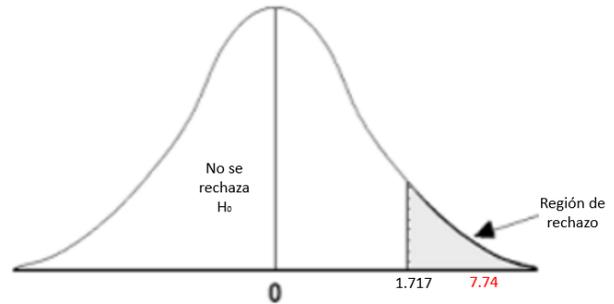


Figura 9 Prueba de hipótesis

De lo anterior se concluye que el tiempo promedio de secado del método tradicional en la empresa CERAMITEX es mayor al tiempo promedio del sistema de secado propuesto; implicando que la decisión es inversa al planteamiento, porque la medición es el tiempo y solamente se minimiza, conllevándonos a que el método propuesto es mejor.

Resultados

Las corridas de la simulación del sistema de secado se realizan considerando las temperaturas promedios mensuales del año 2016 del municipio de Jiquipilas, Chiapas, México; para los meses de enero a junio son datos reales, para los meses restantes del año se pronosticaron basados en AccuWeather (AccuWeather.com, 2016). Que están indicados en la **tabla 4**.

En la columna 4 de la tabla siguiente se muestran las temperaturas máximas obtenidas en el sistema de secado, oscilando entre los 120°C y 125°C quedando dentro de las reglas difusas establecidas en la fase 2; en la columna 3 se localiza el tiempo en horas donde se alcanzan dichas temperaturas y en la columna 5 el tiempo cuando el sistema restablece la temperatura inicial.

Mes	T_prom	Tie_sec	T_max	Tie_rest
Ene	22.7°C	20 horas	121.25°C	47 horas
Feb	23°C	20 horas	121.44°C	49 horas
Mar	27.7°C	20 horas	124.61°C	46 horas
Abr	28.9°C	17 horas	120.18°C	45 horas
May	30.48°C	20 horas	121.18°C	46 horas
Jun	23.9°C	20 horas	120.01°C	49 horas
Jul	22.75°C	20 horas	121.28°C	50 horas
Ago	22.79°C	17 horas	121.3°C	50 horas
Sep	25°C	20 horas	122.7°C	50 horas
Oct	24.7°C	20 horas	122.5°C	50 horas
Nov	24°C	20 horas	122.07°C	50 horas
Dic	23°C	20 horas	121.44°C	50 horas

Tabla 4 Resultados del tiempo de secado del sistema

Conclusiones

Al simular el sistema de secado el rango de temperatura a emplear esta entre 120°C y 125 °C, controlada entre las 17 y 20 horas del proceso mientras que el proceso completo del sistema de secado es posible realizarlo en 50 horas; reduciéndolo al menos en un 50% con respecto al método tradicional.

En consecuencia, el diseño del sistema de secado propuesto; permite coadyuvar en las medianas industrias alfareras que no cuentan con la suficiente dimensión territorial y recurso económico para obtener sistemas que sean competitivos con la gran empresa, basado en la proporción de costos de la producción obtenida y logrando en consecuencia un secado uniforme de las tejas sin interrupciones.

Referencias

AccuWeather.com (25 de marzo de 2016). Obtenido de AccuWeather.com: <http://www.accuweather.com/es/mx/jiquipilas/236959/month/236959?monyr=6/01/2016>

Afanador García, N., & J., I. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Epsilon*, 101-119.

Martínez López, E., & Lira Cortés, L. (2016). Evaluación de los factores de influencia en el modelo de Luikov. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 35-44.

Rodríguez Ramírez, J., Diego Nava, F., Martínez Alvarez, C., Méndez Lagunas, L., & Aguilar Lescas, M. (2004). Perfiles de Temperatura en un Horno Ladrillero. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 209-217.

Salazar Rodríguez, J., López Carranza, E., & M. Vreeland, J. (1993). Medida de las Temperaturas de un Horno Artesanal de Mórrope, Departamendo de Lambayaque, Utilizado para la Fabricación Tradicional de Alfarería. *Bull. Ins. ff. études andines*, 685-699.

Stojanovski, G., & Stankovski, M. (2011). Advanced Industrial Control Using Fuzzy-Model Predictive Control. *IFAC*, 10733-10738.

Reactor para generar biogás a partir de excretas animales

RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor*†, CARDONA-MARTÍNEZ, Clara y RODRÍGUEZ-UGARTE, María.

Universidad Tecnológica de Querétaro, Av. Pie de la Cuesta No. 2501, Querétaro, Querétaro. C.P. 76148, México

Recibido Octubre 10, 2016; Aceptado Noviembre 18, 2016

Resumen

Este artículo presenta los resultados de la digestión anaerobia de estiércol de vaca fresca obtenida de un establo. Un digestor anaeróbico a escala laboratorio de 5 l de volumen, se ha desarrollado, para operar bajo condiciones de proceso por lotes. Las características del reactor permiten probar la producción de metano de una manera sencilla. El seguimiento de la generación de biogás se realizó por un periodo de 20 días. La producción de biogás se llevó a cabo de manera eficiente los primeros 10 días generando 1.2 l, los días posteriores la producción fue disminuyendo. Los resultados obtenidos del digestor desarrollado, mostraron que hay un buen potencial para la producción de biogás. Debido a sus dimensiones se facilita su transporte y la realización de pruebas directamente in situ, evaluando diferentes residuos orgánicos o mezclas de ellos, lo que facilitará la investigación de cuales son las combinaciones de residuos que producen más eficientemente biogás.

Residuo orgánico, biogás, digestión anaerobia

Abstract

This article presents the results of the anaerobic digestion of manure fresh cow. An anaerobic digester to 5 l laboratory scale volume, has been developed to operate under batch. The features allow test reactor methane production in a simple manner. Monitoring of biogas generation was conducted for a period of 20 days. Biogas production was carried out efficiently generating the first 10 days 1.2 l, subsequent days was decreasing. The results of the developed digester, showed that there is good potential for biogas production. Due to its dimensions facilitates transport and testing directly in situ, evaluating different organic residues or mixtures thereof, which will facilitate the investigation of combinations which are produced more efficiently waste biogas.

Organic waste, biogas, anaerobic digestion

Citación: RAMÍREZ-COUTIÑO, Víctor, CARDONA-MARTÍNEZ, Clara y RODRÍGUEZ-UGARTE, María. Reactor para generar biogás a partir de excretas animales. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 37-41

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: victor.ramirez@uteq.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad la generación y el uso de energía es una de las áreas que más impacto tiene en las actividades industriales y cotidianas de los seres humanos. Dicha energía comúnmente se obtiene a partir de combustibles fósiles. Sin embargo, debido al grado de contaminación que estos generan por emitir gases tóxicos de efecto invernadero y derrames accidentales que contaminan suelo, agua, sedimentos, aunado a su disminución por su alto consumo Mundial, se hace necesaria la exigencia de alternativas para la generación de energía económicamente viable y amigable con el medio ambiente. Hoy en día, una de las opciones que ha tomado mayor relevancia para disminuir el consumo de combustibles fósiles son las tecnologías para generar bioenergía mejor conocidas como energías renovables.

El biogás, que en general se refiere al gas generado en reactores por la digestión anaerobia de residuos orgánicos, es un medio prometedor para hacer frente a las necesidades energéticas mundiales y proporcionar múltiples beneficios ambientales.

Desde un punto de vista socioeconómico, el biogás no sólo reduce de manera significativa los costos de tratamiento de residuos (Holm-Nielsen et al., 2009) sino también tiene la materia prima utilizada es de bajo costo. Además, el biogás tiene un precio de venta más bajo en comparación con el gasóleo y la gasolina. Estos beneficios ilustran que el biogás es ampliamente viable como una fuente renovable.

Por ejemplo Estados Unidos estima que al menos el 25% de la bioenergía puede ser producida por biogás, en Italia durante el 2011 gran parte de la electricidad se produjo a partir de biogás (Bacenetti et al., 2013), en Alemania se operaron aproximadamente 4,000 unidades de producción de biogás agrícola en las granjas a finales del 2008, en China 26.5 millones de plantas de biogás fueron construidos antes del 2007 (Deng et al., 2014).

Dentro de los residuos orgánicos utilizados se encuentran los residuos agrícolas, desechos industriales, sólidos municipales, domésticos, estiércol de animales y mezclas de residuos orgánicos.

El proceso para la generación de biogás representa un sistema fisiológico microbiano y transformación de materia prima en condiciones específicas. Sin embargo, los consorcios microbianos son sensibles a variaciones de las condiciones en el funcionamiento, por lo que si el proceso no se realiza adecuadamente, la producción de biogás podría verse reducida. Dentro de las variables a considerar se encuentran la Temperatura, el pH, sólidos volátiles y tipo de residuo orgánico.

Se han hecho muchos intentos para aumentar la producción de biogás, incluida la introducción de acelerantes, como aditivos biológicos y/o químicos con el propósito de favorecer las condiciones para el crecimiento de microbios y la rápida producción de gas en un reactor.

Sin embargo falta más investigación sobre nuevas técnicas para hacer más eficientes los procesos en la producción de biogás mediante el estudio de materias primas y evaluación de las condiciones de trabajo. En el presente trabajo, se evalúa la producción de biogás mediante un reactor por lote empleando como residuo orgánico excreta de ganado vacuno.

Materiales y Desarrollo Experimental

Dispositivo experimental

El digestor diseñado es un reactor por lote de para 5 l de volumen, (Fig. 1) fue construido de una manera para facilitar su transporte.

El sistema se puede dividir en tres partes diferentes: la alimentación del sistema, sistema digestor y el gasómetro.

- 1) El sistema de alimentación está en la parte superior del reactor. Para la carga de biomasa se cuenta con un orificio de 25.4 mm de diámetro. El sistema de suministro se realiza con una tubería y válvula subsiguiente.
- 2) El digestor es cilíndrico tiene una altura de 50 cm y un diámetro de 20 cm tiene un orificio de salida por la parte superior por donde sale el gas producido, el flujo de salida es controlado por una válvula.

- 3) El gasómetro tiene forma cilíndrica y esta graduado para poder medir el volumen producido de biogás mediante el desplazamiento de una solución de H₂SO₄ y NaCl al 10% que se encuentra en su interior y que está conectada a una tubería de salida. El propósito de que la solución sea de H₂SO₄ es que no se reproduzcan microorganismos, algas o moho en el contenedor y captar el CO₂ y H₂S generado junto con CH₄, en la parte superior cuenta con una salida controlada por una válvula para regular la salida del biogás.

Biomasa alimentada

La biomasa empleada para la alimentación del reactor se compone de estiércol de vaca fresca, la cual se obtuvo de un establo ganadero ubicado en la localidad de Montenegro, Municipio de Querétaro, México. El sustrato fue caracterizado mediante análisis de pH, sólidos volátiles.

Métodos analíticos

Para la evaluación del proceso se tomaron las muestras de sustrato al inicio y al final del experimento, para el pH se tomó directamente la medición mediante el medidor de pH Marca Hanna Modelo HI8424 y los sólidos volátiles se analizaron por el método gravimétrico mediante calcinación de la muestra a 550 °C de acuerdo al método de medición de la NOM-004-SEMARNAT-2002- SM2540BE para sólidos volátiles en muestras de lodos, suelos y biosólidos.

Metodología experimental

El digestor se alimentó con 3 l de estiércol de vaca y 0.5 l de agua, posteriormente se realizó el sellado de cada válvula. La producción de gas se comprobó después de 5, 10, 15 y 20 días.

Resultados

Caracterización del sustrato

Los resultados de la caracterización del sustrato al inicio y finalización del proceso de digestión mostrada en la Tabla 1, indican como el pH y el contenido de sólidos volátiles disminuyeron, lo cual es ocasionado por la rápida degradación de la materia orgánica, la cual se hidroliza y es convertida a los ácidos grasos.

Parámetro	Inicio	Final
Sólidos volátiles	10.5	9.8
pH	8.64	8.25

Tabla 1 Caracterización del sustrato al inicio y final del proceso de digestión.

Los resultados obtenidos en la fase de digestión anaerobia son normales de acuerdo al intervalo óptimo de trabajo. (Prasad et al, 2007; Macias-Corral et al., 2008).

Producción de biogás

En el Grafico 1. Se puede observar como se llevó a cabo la producción de biogás durante los 20 días de digestión. Podemos notar que la mayor producción se obtuvo en los primeros 5 y 10 días (0.8-1.2 l respectivamente), ya que en los posteriores días la producción fue disminuyendo alcanzando al día 20 un volumen de 1.6 l.

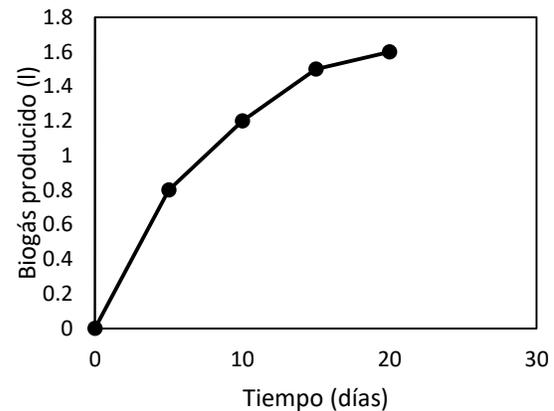


Grafico 1. Producción de biogás durante 20 días.

Braun (1982), en su artículo sobre la producción de biogás a partir de estiércol de ganado, reporto similares resultados mostrando que la mayor producción se genera en los primeros 15 días y posterior a este se debe agregar una nueva carga de sustrato. Comino et al. (2009) en su investigación para generar biogás a través de la mezcla de residuos de excreta de vaca y suero de leche coincide en que los primeros 15 días son los mas importantes en la producción de biogás, de ahí la importancia de tomar este tiempo como un parámetro para el cambio de sustrato.

Agradecimiento

A la Universidad Tecnológica de Querétaro por el apoyo a los investigadores participantes. Al CONCyTEQ por el apoyo bajo el programa de “Nuevos talentos científicos y tecnológicos”

Conclusiones

El digester desarrollado a escala laboratorio es bastante innovador para sus dimensiones y por la facilidad de su transporte, dando la posibilidad de llevar a cabo pruebas directamente in situ con diferentes residuos orgánicos o mezclas de ellos, lo que facilitara la investigación de cuales son las combinaciones de residuos que producen mas eficientemente biogás, pudiendo en un futuro construir un biodigester a escala piloto con resultados prometedores e instalarlos de manera permanente en los lugares donde se generen cantidades grandes de residuos orgánicos, obteniendo energía renovable útil para las actividades que así convengan.

Referencias

- Bacenetti, J., Negri, M., Fiala, M., Gonzalez-Garcia, S., 2013. Anaerobic digestion of different feedstocks: impact on energetic and environmental balances of biogas process. *Sci Total Environ* 463–464:541–51.
- Braun, R., 1982. *Biogas – Methangärung Organischer Abfallstoffe: Grundlagen und Anwendungsbeispiele* (Innovative Energietechnik). Springer, Wien, New York, ISBN 3-211-81705-0.
- Comino, E., Rosso, M., Riggio, V., 2009. Development of a pilot scale anaerobic digester for biogas production from cow manure and whey mix. *Bioresource Technol.* 100, 5072–5078.
- Deng, Y., Xu, J., Liu, Y., Mancl, K., 2014. Biogas as a sustainable energy source in China: regional development strategy application and decision making. *Renewable Sustainable Energy Rev* 35:294–303
- Holm-Nielsen, JB., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P., 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresour Technol* 100, 5478–84.
- Macias-Corral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H., Longworth, J., 2008. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technol.* 99, 8288–8293.
- Prasad, K., Immaculada, B., Lars, E., Irimi, A., 2007. Effects of mixing on methane production during thermophilic anaerobic digestion of manure: lab-scale and pilot-scale studies. *Bioresource Technol.* 99, 4919–4928.

Producción de bioetanol a partir de suero de queso proveniente de la región central del estado de Veracruz

DE JESÚS-ANDRADE, Esmeralda*†, OSORIO-GONZÁLEZ, Carlos, SANDOVAL-SALAS, Fabiola y ÁVALOS-DE LA CRUZ, Dora.

Recibido Octubre 5, 2016; Aceptado Noviembre 2, 2016

Resumen

La producción de bioetanol se considera una alternativa energética que contribuye a la reducción de impactos ambientales negativos, provocados por el uso de combustibles fósiles. Con el fin de evaluar la producción de bioetanol a partir de suero de leche de bovinos (dulce y ácido) se optimizó el proceso de hidrólisis de la lactosa y la fermentación del hidrolizado. Los sueros se caracterizaron física y químicamente y se probaron dos tratamientos de hidrólisis: química con ácido clorhídrico al 0.01, 0.1 y 1M (30 y 90 minutos) y enzimática con 0.45, 0.9 y 1.8 mL/L de lactasa (15, 20 y 25 minutos). La eficiencia de la hidrólisis se cuantificó con el contenido de azúcares reductores por DNS y de glucosa por la técnica GOD-GOP (Trinder) y mediante fermentación de los mejores tratamientos. Los sueros (ácido y dulce) hidrolizados con la concentración de solución de HCl al 0.1 M, crudos y suplementados al 6 y 12 % fueron fermentados con una concentración de inóculo de 1×10^7 cel/mL a una temperatura 28°C, bajo condiciones anaerobias, durante 92 horas. En estas condiciones, se obtuvieron 28.44 g/L en suero dulce suplementado (12% de azúcar total) y 30.02 g/L de bioetanol en suero ácido suplementado.

Bioetanol, residuos agroindustriales, lactosuero, fermentación

Abstract

The production of bioethanol is considered an energy alternative that contributes to the reduction of negative environmental impacts caused by the use of fossil fuels. In order to evaluate the production of ethanol from whey of bovine (sweet and acid) the process of lactose hydrolysis and fermentation of the hydrolyzate was optimized. The sera were characterized physically and chemically and two hydrolysis treatments were tested: chemical with hydrochloric acid to 0.01, 0.1 and 1 M (30 to 90 minutes) and enzyme with 0.45, 0.9 and 1.8 mL / L lactase (15, 20 and 25 minutes). The efficiency of hydrolysis was quantified with the content of reducing sugars by DNS and glucose by the GOD-GOP (Trinder) technique and by fermentation of the best treatments. Sera (sour and sweet) hydrolyzed with the concentration of HCl solution 0.1 M, raw and supplemented to 6 and 12% were fermented at a concentration of inoculum of 1×10^7 cel/mL at a temperature 28 ° C under anaerobic conditions for 92 hours. Under these conditions, 28.44 g / L were obtained in fresh serum-supplemented (12% total sugar) and 30.02 g / L in serum supplemented bioethanol acid.

Bioethanol, agro-industrial waste, whey fermentation

Citación: DE JESÚS-ANDRADE, Esmeralda, OSORIO-GONZÁLEZ, Carlos, SANDOVAL-SALAS, Fabiola y ÁVALOS-DE LA CRUZ, Dora. Producción de bioetanol a partir de suero de queso proveniente de la región central del estado de Veracruz. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 42-50

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: investiga.itspe@gmail.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Actualmente los altos índices de contaminación ha llevado a los gobiernos de todo el mundo a exigir a las industrias una producción limpia, lo cual hace que las empresas planteen soluciones para disminuir sus cargas contaminantes (Panesar *et al.*, 2007; Koutinas *et al.*, 2009; Carvalho *et al.*, 2013), mediante la mejora de sus procesos o a través del aprovechamiento de los subproductos. El principal residuo que genera la industria láctea es el suero de leche, la producción mundial de este residuo por año es de 160 millones de ton, con un crecimiento de 1-2 % anual (Dragone *et al.*, 2009; Valencia y Ramírez, 2009; Guimaraes *et al.*, 2010; Ramírez Navas, 2012; Das *et al.*, 2015). Lo anterior provoca un daño al medio ambiente debido que contiene una alta concentración de sustancias orgánicas disueltas (Mukhopadhyay *et al.*, 2003), mismas que provocan una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 35-45 mg/L, así como una alta demanda química de oxígeno (DQO) 80,000mg/L (Ergüder *et al.*, 2001; Ozmihci and Kargi, 2007; Dragone *et al.*, 2009; Das *et al.*, 2015), las variaciones en la demanda están determinadas directamente por el tipo de leche y del contenido de lactosa (Mukhopadhyay *et al.*, 2003; Das *et al.*, 2015). En la actualidad se han propuesto estudios con el fin de transformarlo en un producto útil de alto valor agregado, el cual representa una oportunidad para el desarrollo de nuevos productos (Bansal *et al.*, 2008; Bertin *et al.*, 2013).

Dragone *et al.*, 2011; Hernández-Ledesma *et al.*, 2010), debido a sus características, a la nueva cultura en la valorización de desechos agroindustriales y a la creciente combinación de nuevas metodologías, se podría aprovechar en otros procesos para la obtención de compuestos de interés industrial (Koutinas *et al.*, 2009), generando una oportunidad para el desarrollo de nuevos productos tales como biogás (Bertin *et al.*, 2013), enzimas (Bansal *et al.*, 2008), etanol Sin embargo a pesar de los múltiples usos del suero, el 47 % es descargado en el suelo, drenajes y cuerpos de agua, tornándose en un serio problema para el ambiente (Carrillo, 2006).

El estado de Veracruz ocupa el sexto lugar a nivel nacional en la producción de leche de bovino, con una producción de 695, 762 litros para el año 2015, (SAGARPA, 2016). Considerando que una parte de esta leche se destina a la producción de quesos, SAGARPA (2016), reporta una producción de 363,271 mil toneladas de queso para el mismo año, el cual genero una considerable cantidad de suero que no fue aprovechado, si se toma en cuenta que a partir de 10 litros de leche de vaca se puede producir de 1 a 2 kg de queso y un promedio de 8 a 9 kg de suero de leche (Parra, 2009; Guerra *et al.*, 2013).

Los sueros se caracterizaron física y químicamente y se probaron dos tratamientos de hidrólisis, ácida y enzimática. La eficiencia de la hidrólisis se cuantificó mediante el contenido de azúcares reductores y glucosa. La fermentación de los mejores tratamientos y la obtención de bioetanol se optimizo mediante la adición de suplemento (melaza) al 6 y 12% con la obtención de 28.44 g/L y 30.02 g/L de bioetanol para suero dulce y ácido suplementado respectivamente.

Materiales y métodos

a) Obtención del suero de queso

El suero fue colectado de dos diferentes micro queserías en la región centro del estado de Veracruz. El suero dulce fue obtenido de la coagulación de caseína vía enzimática (renina) y el suero ácido por la mezcla de renina y cultivos lácticos.

b) Material biológico y medio de cultivo

Se utilizó una cepa etanolgenica de *Saccharomyces cerevisiae* ITPE01, aislada de caña de azúcar. La cepa fue conservada en medio agar papa-dextrosa a 4°C.

c) Composición química

La composición química del suero ácido y dulce fue determinada bajo los siguientes criterios: la material seca se evaluó por secado en una estufa RIOSSA H-33 a 60°C hasta peso constante (A.O.A.C., 2005), la cenizas se realizaron por incineración en mufla (FURNACE 1300) a 550°C por 5 horas; la cuantificación de proteína se realizó por espectrofotometría (Lowry, *et al.*, 1951); la grasa butírica se realizó por el método de Gerber (NMX-F-155-SCFI-2003), el pH se determinó por medición directa con un potenciómetro Hanna modelo HI-8424 (NMX-F-317-S-1978); para la demanda química de oxígeno (DQO) se utilizó un kit HACH® basado en el método 800 para agua y aguas residuales, finalmente el contenido de lactosa se realizó utilizando un equipo Lactoscan. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

d) Pre-tratamientos del suero de queso

-Hidrolisis enzimática de suero queso

Se utilizó una enzima en forma líquida (β -galactosidasa) obtenida de ENMEX con el nombre comercial de Lactoset®, la cual fue almacenada a 4°C hasta el momento de su utilización. La actividad de la enzima es de 10,000 u/g de enzima (1 mol de o-nitrofenol/min, en condiciones óptimas). La hidrolisis de lactosa se realizó bajo los siguientes parámetros: temperatura (35-40 °C), pH (6.5-7.5), tiempo (10-20 min) y concentración de enzima (0.46, 1, 1.5 μ L/L).

-Hidrolisis química de suero de queso

La hidrolisis química se realizó bajo las siguientes condiciones: autoclave a 120°C/15 psi y 100°C/1 atm, por 30 y 90 minutos y una concentración de ácido de 0.01, 0.1 y 1 M respectivamente.

e) Producción de alcohol

Una vez hidrolizadas las muestras se centrifugaron a 10 000 rpm por 10 minutos a 4°C, el sobrenadante fue filtrado en papel filtro Whatman No. 1, el pH se ajustó a 4.5 y la cuantificación de azúcares reductores en el hidrolizado se realizó mediante el método de DNS (Miller, 1959). Se inocularon matraces de 1000 mL con un volumen de trabajo de 500 mL de suero hidrolizado, con una concentración de inóculo de 1×10^7 cel/mL, la temperatura y el tiempo de la fermentación fueron de 28°C y 92 horas como tiempo máximo. Las muestras fueron destiladas y el porcentaje de etanol se estimó con base a la ecuación de Gay-Lussac para fermentación alcohólica.

f) Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de los diferentes parámetros en la hidrólisis química se utilizó un factorial de dos niveles y tres factores (2^3) así como un análisis de varianza (ANOVA) y un comparativo de medias (LSD). La evaluación de la hidrólisis enzimática se realizó utilizando un diseño de optimización (Box-Benkhen), todas las corridas se hicieron por duplicado, (Cuadro 1). Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico Minitab® 17.1.0.

Corrida	Tiempo	Enzima	Temperatura
1	15	0.45	40
2	25	0.45	40
3	15	1.8	40
4	25	1.8	40
5	15	1.125	35
6	25	1.125	35
7	15	1.125	45
8	25	1.125	45
9	20	0.45	35
10	20	1.8	35
11	20	0.45	45
12	20	1.8	45
13	20	1.125	40
14	20	1.125	40
15	20	1.125	40

Tabla 1 Diseño de Box-Benkhen

Resultados

Composición química

Los resultados obtenidos para la composición química se presentan en el Cuadro 2. Para materia seca y pH del suero dulce son similares a los reportados por Boudjema *et al.* (2015), la cantidad de cenizas presente en ambos sueros es menor respecto a lo reportado por Yadav *et al.* (2015), lo anterior se debe principalmente a la cantidad adicionada de cloruro de calcio en cada uno de los diferentes procesos de elaboración del queso (Malcata *et al.*, 2001); la cantidad de proteína es menor, y la cantidad de ácido láctico es mayor a lo reportado por Anand *et al.* (2013), el contenido de lactosa es mayor a la reportada por Panesar *et al.* (2007), la cantidad grasa presente es menor a lo reportado por Yadav *et al.* (2015), esto se debe principalmente a las características física y químicas de la leche, a la especie bovina específica, la época estacional en la que se recolecta la leche, en la alimentación proporcionada al animal y al proceso de coagulación utilizado para la separación de la caseína (Park *et al.*, 2007), la demanda química de oxígeno es similar a lo reportado por Smithers *et al.* (2015), lo cual se debe principalmente a la composición física y química de la leche (Navas 2015).

Parámetro	Dulce	Ácido
Materia seca	7.44±1.27	6.80±0.20
Grasa	0.4±0.00	0.86±0.05
Proteína	0.19±0.59	0.18±0.64
Cenizas	1.18±0.03	0.87±0.03
Lactosa	4.215±0.078	3.525±0.148
pH	6.60±0.02	4.42±0.18
Ácido láctico	0.50±0.00	5.03±1.24
DQO (g/L)	56.76±0.00	74.58±0.02

Tabla 2 Composición química (%) de suero de queso bovino (dulce y ácido).

Pre-tratamientos del suero de queso

Hidrólisis enzimática

El resultado de la optimización de la hidrólisis enzimática por Box-Benhken no mostró diferencia significativa ($P=0.208$ y 0.709 respectivamente) para ambos sueros (ácido y dulce). Después del tratamiento de hidrólisis en suero dulce y ácido, el análisis indica que no hubo un cambio significativo en el contenido de azúcares reductores, lo cual se debe principalmente a la inhibición competitiva que ejercen los productos de reacción, glucosa y galactosa, ya que van en incremento y la galactosa ocupa el sitio activo de la enzima evitando que la lactosa se una al mismo (Beltrán y Acosta, 2014).

Hidrólisis química

En el ANOVA, los factores evaluados, concentración de la solución de HCl y el contenido de azúcares reductores (P -Value: 0.502) señala que no existe diferencia significativa entre dichos factores (Gráfico 1), por lo que se procedió a utilizar, la concentración más baja de la solución de HCl para efectuar la hidrólisis.

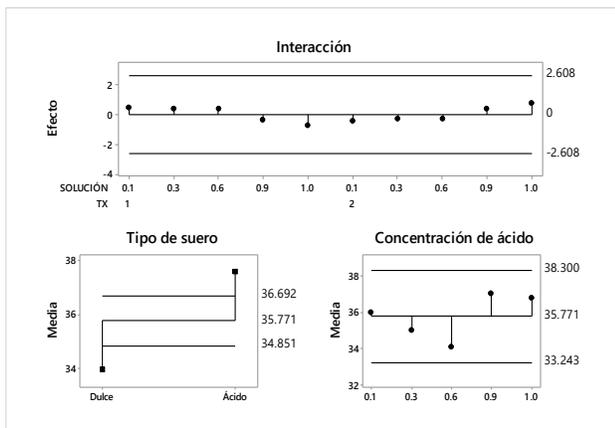


Gráfico 1 Gráfico de efectos principales, tipo de suero y concentración de ácido.

Fermentación de los hidrolizados de suero

El monitoreo de los azúcares reductores presentes en el medio de fermentación del tratamiento de suero suplementado con melaza (12%; gráfico 2 y 3) mostró consumo acelerado de azúcares durante las primeras 12 horas (50%) y una reducción notable después de este periodo con tendencia a un comportamiento asintótico para ambos tipos de suero (dulce y ácido). Se observó que a pesar de haber mantenido la fermentación hasta 92 horas, a partir de las 40 horas el consumo es prácticamente nulo, lo que indica la posibilidad de que se esté agotando otro nutriente que actúa como sustrato limitante. Cruz *et al.* (2003) encontraron que la concentración y tipo de la fuente de nitrógeno afecta el consumo de galactosa cuando se usan cepas de panificación y cerveceras.

El consumo de azúcar en el tratamiento de suero suplementado al 6% de azúcares mostro un comportamiento lineal hasta las 40 horas, equivalente a 6 g/h. Al igual que el tratamiento de 12% la curva tiende hacerse asintótica.

El consumo de azúcares en el sustrato no suplementado con melaza fue mínimo (12 g/L) hasta las 92 horas.

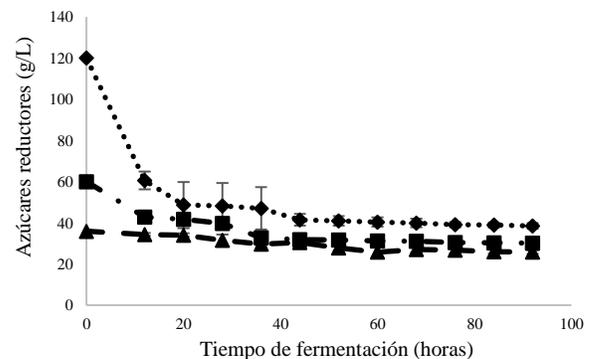


Gráfico 2 Cinética de consumo de azúcares reductores en suero ácido de bovino. Suero crudo (▲), suero suplementado al 6% (■), suero suplementado al 12% (◆).

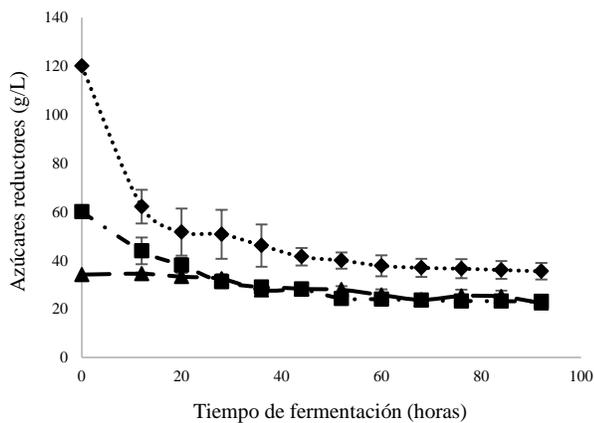


Gráfico 3 Cinética de consumo de azúcares reductores en suero dulce de bovino. Suero crudo (▲), suero suplementado al 6% (■), suero suplementado al 12% (◆).

Producción de alcohol

Los rendimientos de alcohol obtenidos de las tres diferentes fermentaciones (suero crudo y suero suplementado con melaza en 6 y 12%) se muestran en la tabla 3.

Tipo de suero	Suero dulce		Suero Ácido	
	Etanol (g/L)	Rendimiento teórico	Etanol (g/L)	Rendimiento teórico
Suero hidrolizado	0.316±0.00	18.35±0.00	0.632±0.00	17.45±0.00
Suero suplementado (6%)	15.8±0.00	30.66±0.00	15.8±0.00	30.66±0.00
Suero suplementado (12%)	28.44±0.129	61.33±0.00	30.02±0.129	61.33±0.00

Tabla 3 Rendimiento de alcohol obtenido a partir de suero de queso

La producción de bioetanol en suero ácido y dulce hidrolizado sin suplementar es acorde a lo esperado considerando que el contenido de azúcar (lactosa) es cercano al 40%, y coincide con estudios previos donde se utilizó suero solo para la producción de etanol, en los que se encontraron bajos rendimientos (Coughlin y Charles, 1980; Moulin y Galzy, 1984; Parashar, *et al.* 2016).

La evaluación de la producción de bioetanol en suero ácido y dulce suplementado con melaza al 6 y 12% muestra un rendimiento del 50% con respecto al rendimiento teórico, en el que 1 mol de glucosa produce 2 mol de etanol, 2 moles CO₂ y energía (Sánchez y Cardona, 2005). Los resultados obtenidos coinciden con lo esperado, ya que se detectó que la levadura solo consume una parte del sustrato principal (fuente de carbono y energía-azúcares), lo que indica la posibilidad de que se esté agotando otro nutriente y que actúe como sustrato limitante. Sin embargo en este trabajo no se evaluó la evolución de otros nutrientes. Trigueros *et al.* (2016) encontraron que *S. cerevisiae* consume rápido la glucosa y metaboliza con mayor lentitud la galactosa, debido a que célula está lista para metabolizar glucosa. Ocasionado que su sistema de síntesis enzimática, necesario para asimilar la segunda fuente de carbono dependa de su estado de energía asociado con la concentración de glucosa en el medio. Regulando el sistema en diferentes mecanismos tales como la represión de catabolitos y la inactivación catabólica, lo que resulta, en fermentaciones prolongadas. No obstante *S. cerevisiae* posee una buena capacidad fermentativa y tolerancia al etanol, lo que permite producir hasta 20% (v / v) (Antoni *et al.*, 2007; Cot *al.*, 2007; Guimarães *et al.*, 2010), convirtiéndola en la levadura más usada para la generación de este producto.

Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos del suero dulce y ácido de bovino provenientes de la región central del estado de Veracruz se encuentran dentro de los intervalos aceptables, con respecto a la de otros autores.

La optimización de la hidrólisis enzimática mediante el diseño de Box-Benken no mostró diferencia significativa en el contenido de azúcares, mientras que la aplicación de tratamiento termo-ácidos (hidrólisis química) incremento el rendimiento de azúcares totales mediante la adición soluciones de HCl a bajas concentraciones, permitiendo llevar a cabo procesos fermentativos.

La concentración de azúcares totales en suero de queso hidrolizado ejerció gran influencia en la producción de etanol por *Saccharomyces cerevisiae* ITPE01 siendo la formación de producto máxima de 28.44 y 30.02 para suero dulce y ácido respectivamente, cuando se utiliza una concentración de suplemento (melaza) al 12 %. Por último, el uso de suero de leche como sustratos representa una oportunidad importante que puede permitirnos mejorar el valor añadido de los procesos agroindustriales, reduciendo temporalmente los costos de eliminación ayudando a mitigar la contaminación, de cuerpos de agua y suelos.

Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Tecnológico Nacional de México (TNM) por brindar los fondos para la realización de esta investigación.

Referencias

- Anand, S., Som Nath, K., & Chenchaiiah, M. (2013). Whey and whey products. *Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health*, 477-497.
- Beltran, L. J., & Acosta, A. (2014). Empleo de una β -galactosidasa comercial de *Kluyveromyces lactis* en la hidrólisis de lactosuero. *Hechos Microbiológicos*, 3(2), 25-35.
- Bertin, L., Grilli, S., Spagni, A., & Fava, F. (2013). Innovative two-stage anaerobic process for effective codigestion of cheese whey and cattle manure. *Bioresource technology*, 128, 779-783.
- Boudjema, K., Fazouane-Naimi, F., & Hellal, A. M. I. N. A. (2015). Optimization of the Bioethanol Production on Sweet Cheese Whey by *Saccharomyces cerevisiae* DIV13-Z087C0VS using Response Surface Methodology (RSM). *Romanian Biotechnological Letters*, 20(5), 10814-10825.
- Carrillo, A. J. L. (2006). Tratamiento y reutilización del suero de leche. *Rev Mundo Lácteo y Cárnico* (6), 28-30.
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: characterization and treatment. *Science of the total Environment*, 445, 385-396.
- Cruz, S. H., Batistote, M., & Ernandes, J. R. (2003). Effect of sugar catabolite repression in correlation with the structural complexity of the nitrogen source on yeast growth and fermentation. *Journal of the Institute of Brewing*, 109(4), 349-355.

- Das, B., Roy, A. P., Bhattacharjee, S., Chakraborty, S., & Bhattacharjee, C. (2015). Lactose hydrolysis by β -galactosidase enzyme: optimization using response surface methodology. *Ecotoxicology and environmental safety*, 121, 244-252.
- Dragone, G., Mussatto, S. I., e Silva, J. B. A., & Teixeira, J. A. (2011). Optimal fermentation conditions for maximizing the ethanol production by *Kluyveromyces fragilis* from cheese whey powder. *Biomass and bioenergy*, 35 (5), 1977-1982.
- Guerra, Á. V. A., Castro, L. M. M., & Tovar, A. L. Q. (2013). Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental/Utilization of whey as a source of nutritional energy to minimize the problem of environmental pollution/Aproveitamento do soro de leite coalhado como fonte de energia nutricional para minimizar o problema de contaminação ambiental. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 55.
- Guimarães, P. M., Teixeira, J. A., & Domingues, L. (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology Advances*, 28(3), 375-384.
- Koutinas, A. A., Papapostolou, H., Dimitrellou, D., Kopsahelis, N., Katechaki, E., Bekatorou, A., & Bosnea, L. A. (2009). Whey valorisation: A complete and novel technology development for dairy industry starter culture production. *Bioresource Technology*, 100(15), 3734-3739.
- Lowry, O.H., Rosenborough, N.J., Farr, A.L., Randall, R.J (1951). Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. *J Biol chem.* Pp 256-275.
- Malcata, F. X., Macedo, A. C., & Pintado, M. E. (2001). Technology, chemistry and microbiology of whey cheeses: Review. *Food science and technology international. Ciencia y tecnología de alimentos internacional*, 7(2), 105-116.
- Miller, G.L. (1959). Determination of reducing sugar by DNS method. *Analytical Chemistry*, 31, 426-428.
- Mukhopadhyay, R., Talukdar, D., Chatterjee, B. P., & Guha, A. K. (2003). Whey processing with chitosan and isolation of lactose. *Process Biochemistry*, 39(3), 381-385.
- Navas, J. S. R. (2015). Aprovechamiento Industrial de Lactosuero Mediante Procesos Fermentativos. *Publicaciones e Investigación*, 6, 69-83.
- NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. Determination of pH in foods. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- NOM-155-SCFI-2012. Leche-denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- Padín González, C., & Díaz Fernández, M. (2009). Fermentación alcohólica del lactosuero por *Kluyveromyces marxianus* y solventes orgánicos como extractantes. *Rev. Soc. Venez. Microbiol*, 29(2), 110-116.
- Panesar, P. S., Kennedy, J. F., Gandhi, D. N., & Bunko, K. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry*, 105(1), 1-14.
- Park, Y. W., Juárez, M., Ramos, M., & Haenlein, G. F. W. (2007). Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small ruminant research*, 68 (1), 88-113.

Parashar, A., Jin, Y., Mason, B., Chae, M., & Bressler, D. C. (2016). Incorporation of whey permeate, a dairy effluent, in ethanol fermentation to provide a zero waste solution for the dairy industry. *Journal of dairy science*, 99 (3), 1859-1867.

Sánchez, Ó. J., & Cardona, C. A. (2005). Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas. *Interciencia*, 30(11), 671-678. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2016. Boletín de leche (abril-junio 2016). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consultado el 7 de septiembre del 2016).

Smithers, G. W. (2015). Whey-ing up the options—Yesterday, today and tomorrow. *International Dairy Journal*, 48, 2-14.

Trigueros, D. E. G., Fiorese, M. L., Kroumov, A. D., Hinterholz, C. L., Nadai, B. L., & Assunção, G. M. (2016). Medium optimization and kinetics modeling for the fermentation of hydrolyzed cheese whey permeate as a substrate for *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. *Biochemical Engineering Journal*, 110, 71-83.

Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology advances*, 33 (6), 756-774.

Implementación de un deshidratador solar para la eficiente producción de chile

RESÉNDIZ-BADILLO, Ramiro*†, GARCÍA-VARGAS, Eduardo, JIMÉNEZ-NAVARRETE, Arturo y MARROQUÍN-DE JESUS, Ángel.

Universidad Tecnológica de San Juan del Río. División de Química Industrial y Energías Renovables, Cuerpo Académico de Energías Renovables. Av. La Palma no. 125, Col. Vista Hermosa, San Juan del Río, Qro. C.P. 76800

Recibido Octubre 25, 2016; Aceptado Noviembre 22, 2016

Resumen

El siguiente proyecto se fundamentará en el diseño, creación e implementación de un deshidratador que por medio de la radiación del sol pueda deshidratar diferentes plantas comestibles en este caso la deshidratación de variedades de chile. Otro punto importante en este proyecto además de deshidratar las variedades de chile por medio de la radiación solar, es poder aumentar la producción de este producto en la comunidad de "La Fuente" ubicada en el municipio de Tequisquiapan, en el estado de Querétaro, la cual hoy en día se siguen utilizando las rudimentarias metodologías tradicionales para el deshidratado del chile las cuales ocasionan perturbaciones en las producciones, pérdidas y sobre todo las condiciones negativas de ergonomía hacia los trabajadores que realizan dicha actividad. Las pérdidas económicas de esta actividad se ven reflejadas gracias a que varios estados del país dedicados a la misma actividad de deshidratar el chile para diferentes usos, están utilizando mecanismos y/o prototipos que elevan hasta un 50% la producción total y por ende ocasionan que los productores de la comunidad de "La Fuente" tenga su mercado por debajo de estos estados.

Deshidratador, energía solar, producción, chile, metodología

Abstract

The next project based on the design, creation and implementation of a dehydrator which by means of the radiation from the Sun can dehydrate different edible plants in this case dehydration of varieties of chile. Another important point in this project as well as dehydrated varieties of chile by means of solar radiation, is to increase the production of this product in the "La Fuente" community located in the town of Tequisquiapan, in the State of Querétaro, which today are still used rudimentary traditional methodologies for the dried chili which cause disturbances in the productions losses and especially the negative conditions of ergonomics to workers who perform such activity. The economic losses from this activity are reflected thanks to several States of the country engaged in the same activity of dehydrated chili for different uses, are using mechanisms and/or prototypes which rise up to 50% the production total and therefore cause the producers of the community of "La source" have its market under these States.

Dehydrator, solar energy, production, chile, methodology

Citación: RESÉNDIZ-BADILLO, Ramiro, GARCÍA-VARGAS, Eduardo, JIMÉNEZ-NAVARRETE, Arturo y MARROQUÍN-DE JESUS, Ángel. Implementación de un deshidratador solar para la eficiente producción de chile. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-9: 62-72

*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: dr.ramirorb96@hotmail.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Sin duda vivimos en un mundo que cada día requiere satisfacer más necesidades a ritmos jamás vistos y gracias a esta situación los recursos que tenemos se están agotando, por ejemplo; el carbón, el petróleo, el agua (potable), etc. Se están agotando y además están desarrollando grandes problemas ambientales-ecológicos que están afectando directamente en porcentajes muy elevados a los procesos, ciclos ambientales y sobre todo a la humana.

Es por ello que se deben de crear alternativas para mitigar el problema que se está afectando el ser humano, por ello una de las alternativas viables es la utilización del recurso solar.

Por esta razón el siguiente el proyecto de "La Implantación De Un Deshidratador Solar Para Le Eficiente Producción De Chile", tiene como objetivo primordial el diseño, creación e implementación de un mecanismo de alto rendimiento que por medio de la radiación pueda deshidratar diferentes plantas comestibles, en este caso Chile.

También en base al proyecto se comprenderá y analizará en un 100%, los temas del funcionamiento de un deshidratado solar para el cumplimiento de la formulación de un proyecto de giro ecológico y tecnológico de la carrera de T.S.U en Energías Renovables.

Gracias a los datos que se tienen y aunado al control de proyectos, se pretenderá desarrollar el proyecto de manera más técnica y profesional posible, para poder así, poder cumplir con lo establecido en los objetivos y metas al alcanzar para este prototipo.

Mediante una investigación teórica, el proyecto, está basando en tres antecedentes que cumplen con los requisitos requeridos.

Otro punto importante en este proyecto además de deshidratar las variedades de Chile por medio de la radiación solar, es poder aumentar la producción de este producto en la comunidad de "La Fuente" ubicada en el municipio de Tequisquiapan, en el estado de Querétaro, la cual hoy en día se siguen utilizando las rudimentarias metodologías tradicionales para el deshidratado del Chile y sobre todo las condiciones negativas de ergonomía hacia los trabajadores que realizan dicha actividad. Las pérdidas económicas se ven reflejadas gracias a que varios estados del país dedicados a la misma actividad están utilizando mecanismos y/o prototipos que elevan hasta un 50% la producción total.

Particularmente este proyecto cuenta con un control de variables climáticas, en este caso: análisis de temperatura interior del deshidratador, análisis de humedad. Esta particularidad nos ayuda a poder

El proyecto cuenta con varias etapas de seguimiento, fundamentadas por el "método ingenieril".

Para la elaboración del deshidratador solar se dispuso del software AUTOCAD® para la realización del dimensionado X y Y. A su vez se utilizó Trimble SketchUp como herramienta de integración y representación en tres dimensiones.

Materiales y métodos

El entorno del DS se diseñó de acuerdo con las etapas del método ingenieril propuesto por DIXON, Cork (1970), ya que el proyecto se adaptaba en su mayoría a esta metodología. La figura 1 muestra las etapas de la metodología, debido a las características del DS que se desea desarrollar.

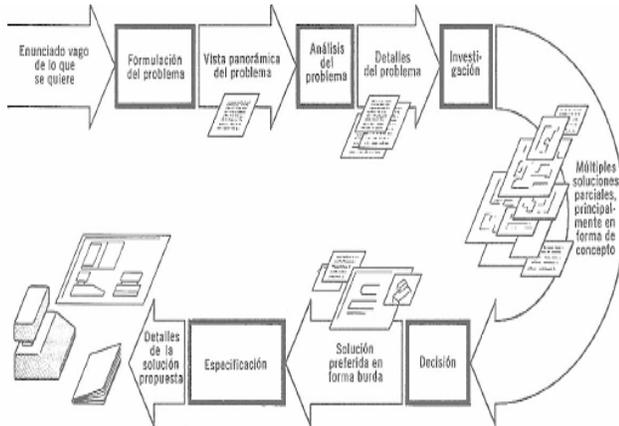


Figura 1 Etapas de las metodologías para el desarrollo de un deshidratador solar

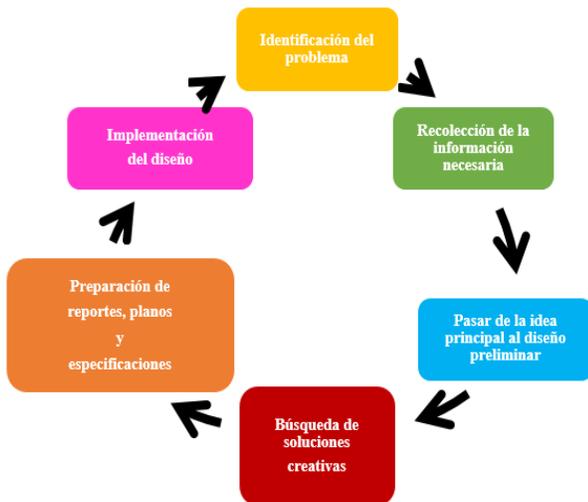


Figura 2 Etapas de las metodologías para el desarrollo de un deshidratador solar.

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.

Tales actividades permiten detectar cuando se producen equivocaciones, fallas, accidentes, reparaciones, y cambios si las decisiones se han basado en predicciones que no son precisas.

Identificación de problemas, oportunidades y objetivos

Observación directa del entorno

En esta fase se realizó la observación directa del entorno en donde se va a desarrollar un DS, haciendo un análisis sistemático, se permitió identificar los (objetivos, alcances, metodologías y estudios) para la solución de la problemática.

Los habitantes de la comunidad de La Fuente, su mayor actividad que realizan son la producción de chile y el secado del mismo para venderse.

A lo largo de la investigación se observó que el procedimiento del secado del chile no es higiénico y aunado también que utilizan técnicas y métodos que limitan la producción considerablemente.



Figura 3 Técnicas rudimentales empleadas para el secado del chile en la comunidad de "La Fuente", Tequisquiapan, Qro.

Objetivos técnicos del proyecto

Desarrollar un sistema de secado y deshidratado eficiente para variedades de legumbres, hortalizas, frutas etc. (en este caso, chiles), para aumentar la producción hasta de un 50% en la comunidad de "La Fuente" en el municipio de Tequisquiapan, estado de Querétaro.

Objetivos específicos del proyecto

- I. Mitigar en porcentajes altos el uso de combustibles que contaminen el medio ambiente.
- II. Recuperar el mercado del deshidratado y secado del chile, en la comunidad "La Fuente".
- III. Facilitar el trabajo en las labores del campo.
- IV. Integrar el uso de energías de usos renovables.

Sintetizar la información recolectada para el desarrollo de un DS

La localidad de "La Fuente" está situada en el Municipio de Tequisquiapan (en el Estado de Querétaro) sus coordenadas son; 20° 32' 51.98" N y -100° 02'.01"O, NASA MSFC EARTH SCIENCE (2015), cuenta con un clima bastante benigno para el cultivo de plantas en especial gran variedad de chiles.

Tipo de clima:

Estepa local, BSh por el sistema Köppen-Geiger

Análisis de precipitación

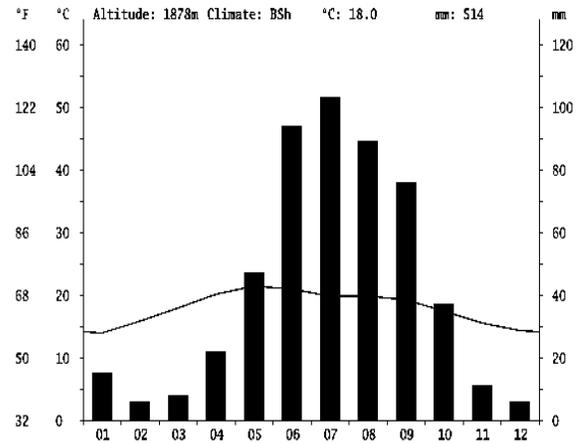


Gráfico 1 Distribución de precipitación promedio anual en la comunidad de la Fuente, Tequisquiapan, Qro.

Análisis de temperatura

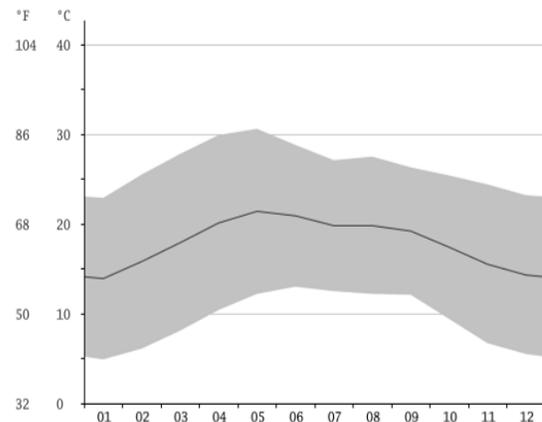


Gráfico 2 Distribución de temperatura promedio anual en la comunidad de la Fuente, Tequisquiapan, Qro

Análisis general climatic

Mes	Temperatura	Humedad relativa	Radiación día-horizotal	Presión atmosférica	Velocidad del viento
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s
Enero	13.9	74.1	4.17	87.4	3.3
Febrero	15.8	68.3	5.00	87.2	3.5
Marzo	17.9	59.1	5.85	87.1	3.9
Abril	20.1	58.2	6.15	87.0	3.8
Mayo	21.4	63.6	6.26	87.0	3.5
Junio	20.9	71.9	5.73	87.0	3.2
Julio	19.8	70.5	5.58	87.2	3.1
Agosto	19.8	71.0	5.53	87.2	2.9
Septiembre	19.2	77.1	4.75	87.1	2.8
Octubre	17.4	79.1	4.52	87.2	2.9
Noviembre	15.5	77.0	4.35	87.3	3.1
Diciembre	14.3	77.0	4.00	87.4	3.1
Anual	18.2	70.6	5.16	87.2	3.3

Tabla 1 Variables climatológicas para la comunidad de la Fuente, Tequisquiapan, Qro.

Con este análisis sistemático se evaluó si en la comunidad de La Fuente, es factible implementar tecnología DS para satisfacer las necesidades de los productores de la población. Se determinó en base a investigaciones en la literatura que las condiciones climáticas en la región son muy favorables para poder formular el proyecto del DS.

El recurso solar es el factor primordial para el desarrollo de la tecnología DS; véase en la tabla 1 y la figura 4, la radiación solar medida en kWh/m²/día, muestra valores excelentes para justificar el desarrollo tecnológico – científico de un DS en la comunidad de La Fuente.



Figura 4 Mapa de Irradiación Solar, México, kWh/m² al día.

Alcance del proyecto

Metas a corto plazo	<p>Diseñar un deshidratador solar en un software CAD que cumpla con las características que se requieren en este caso poder ayudar a las personas de la comunidad de "La Fuente" para aumentar la producción.</p> <p>Cotizar materiales en base a una investigación previa para formular el proyecto y cumplir con lo establecido.</p>
Metas a mediano plazo	<p>Desarrollar de manera práctica el deshidratador solar integrando los conocimientos de cada integrante del equipo de trabajo y con los materiales e instrumentos adecuados para la ejecución de este proyecto.</p>
Metas a largo plazo	<p>Someter a pruebas científicas y a estudios estadísticos para formular conclusiones y además integrar el proyecto al equipo de trabajo del secado y deshidratado de chiles en la comunidad de "La Fuente".</p> <p>Realizar un estudio más a fondo para determinar con exactitud las fortalezas y las áreas de oportunidad del proyecto en base a <i>la producción del secado y deshidratado de chiles</i> y así poder contribuir a la mejor continua.</p>
Alances	<p>Desarrollar las competencias genéricas y profesionales que establece el plan de estudio de la carrera de T.S.U en Energías Renovables de la Universidad Tecnológica de San Juan Del Río Contemplando la capacidad de formular investigaciones y proyectos de índole tecnológico – ecológico y así cumplir con los lineamientos y dimensiones de competencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Conceptual ✓ Procedimental ✓ Actitudinal

Desarrollo y documentación de la metodología científica**Pasos del método ingenieril****Identificación del problema:**

Se ha visto en la producción del secado y deshidratado de chiles en la comunidad de La Fuente, en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro; una pérdida en el mercado muy considerable y aunado a que dichas actividades hoy en día se efectúan con las rudimentarias metodologías tradicionales, los trabajadores se ven afectados por la falta de ergonomía de dichas técnicas. Otra problemática que se ve reflejada es el uso de combustibles que contaminan el medio ambiente y a su vez cada día se van agotando.

Recursos y metodologías a utilizar:

- Estudio de mercado previo.
- Encuestas.
- Uso de herramientas estadísticas.
- Entrevistas.
- Recurso literario.
- Recurso investigativo.

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.

Se consideró el estado del arte del proyecto para evaluar prototipos ya establecidos para retroalimentar más las ideas planteadas.

Recursos y metodologías a utilizar

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

Búsqueda de soluciones creativas

Respecto a las investigaciones realizadas, se están observando varias soluciones en la cuales podrían hacer cumplir con las metas planteadas en este proyecto y además poder solucionar las problemáticas que los trabajadores de la comunidad de La Fuente se están enfrentado, tales soluciones son las siguiente:

- Reducción del gasto por uso de energía eléctrica.
- Reducción del gasto por el uso de combustibles derivados de petróleo.
- Aumento hasta de un 50% de la producción del secado y deshidratado de chiles.
- Eliminando el uso de métodos tradicionales que solo afectan a la salud de los usuarios responsables.

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

Pasar de la idea principal al diseño preliminar.

Para la formulación del proyecto, se deberá desarrollar el prototipo del deshidratador solar en software CAD, en este caso se utilizará AutoCAD® y Trimble SketchUp® de modelado de piezas y así poder tener una mayor facilidad en la realización del prototipo.

Recursos y metodologías a utilizar:

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

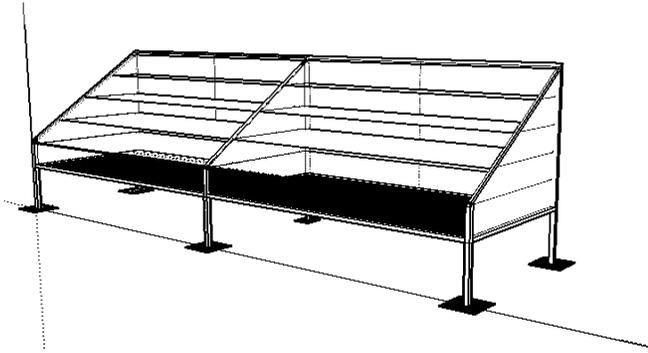


Figura 5 Creación de estructura del DS en 3D, proyección isométrica.

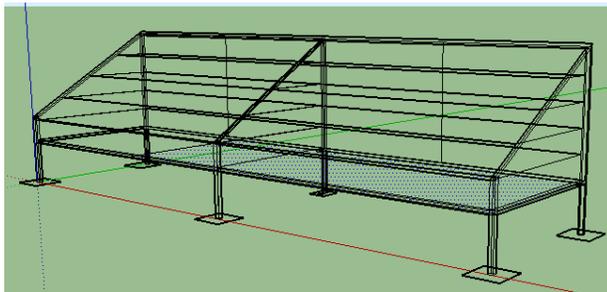


Figura 6 Estructura del DS en 3D, proyección isométrica tipo alambre.

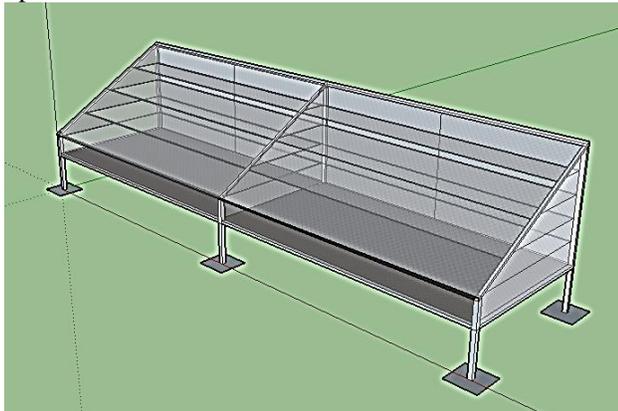


Figura 7 Estructura del DS en 3D, proyección isométrica texturizado.

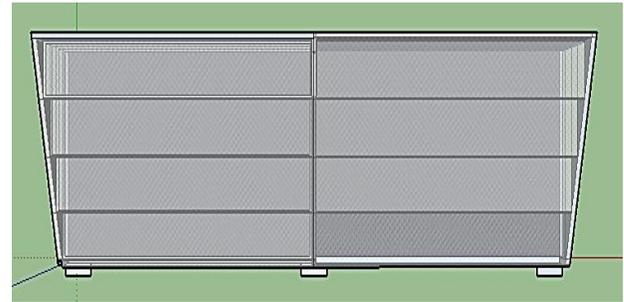


Figura 8 Estructura del DS en 3D, proyección de planta texturizado.

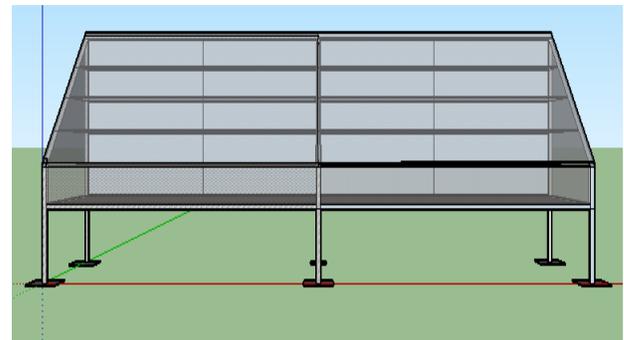


Figura 8 Estructura del DS en 3D, proyección frontal texturizado.

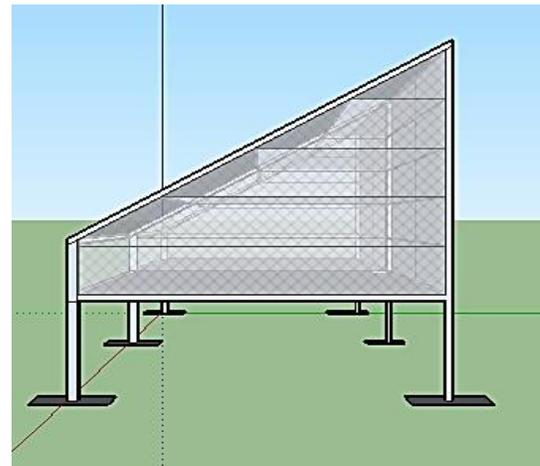


Figura 9 Estructura del DS en 3D, proyección derecha texturizado.

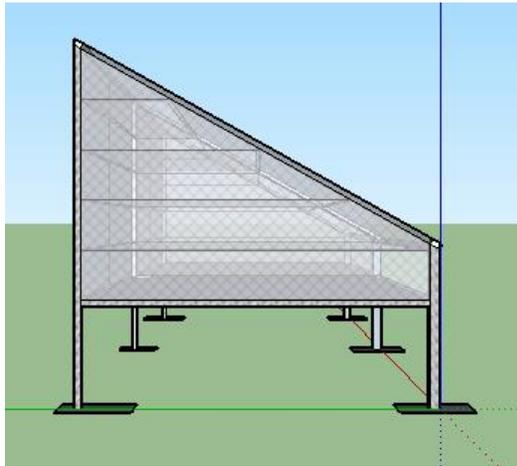


Figura 10 Estructura del DS en 3D, proyección izquierda texturizado.

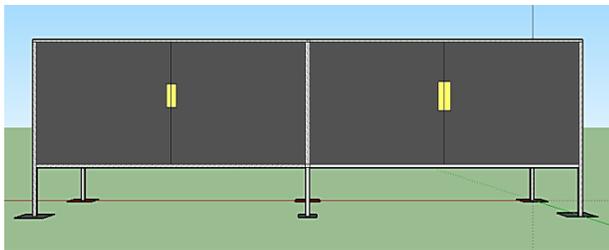


Figura 11 Estructura del DS en 3D, proyección posterior texturizado.

Evaluación y selección de la solución

En bases al marco teórico fundamentado se estableció el diseño, realización e implementación de un deshidratador solar tipo, el cual contará con los siguientes aspectos:

- Sistema de control automatizado.
- Sistema de aislamiento contra factores climáticos
- Diseño fácil de manipular y operar.

- Cámara de secado para almacenar varios kilogramos de chile y/o alimento.
- Cronometro e indicador para volteo de chiles.

Recursos y metodologías a utilizar:

- Recurso literario en secadores y/o deshidratadores solares.
- Tesis de proyectos.
- Uso de multimedia, videos y audios.
- Programa Arduino.
- Computadora.
- Dispositivos electrónicos.
- Dispositivos eléctricos.
- Sensores de magnitudes. Climáticas y metrológicas.

Preparación de reportes, planos y especificaciones

Se desarrolló una documentación teórica en la cual fundamente por medio del método científico; los principios, objetivos, alcances, metas, análisis, resultados y conclusiones del proyecto y así poder implementarlo y poder empezar a solucionar las problemáticas mencionadas con anterioridad. También se especificaron de manera de manual el proceso de operación del deshidratador solar.

Recursos y metodologías a utilizar:

- Computadora
- Paquetería office

- Recurso literario
- Instrumentos de medición eléctrica y electrónica.
- Gráficos
- Histogramas
- Climogramas
- Herramientas de calidad.

Implementación del diseño

Teniendo los análisis, resultados del proyecto, su respectiva valoración y validación, se pasaría a implementarlo.

Recursos y metodologías a utilizar:

- Recurso literario.
- Computadora.

Conclusión

El proyecto se basó en la metodología del método ingenieril y unificando ciertos pasos del método para proyectos, se logró acoplar el diseño del DS a las necesidades, realizándolo en periodos de tiempo de corto, mediano y largo plazo. Esto aunado a la agilidad y flexibilidad del método por prototipos, permitió realizar una investigación previa, así como el desarrollo del proyecto en general para cada de las etapas con las que se trabajó, además de incluir retroalimentación y una posterior reingeniería del sistema.

Se debe dejar en claro que las modificaciones a la metodología solo se han realizado para el trabajo presente, por la cual pueden aparecer puntos débiles sobre los cuales trabajan, estando sujeto a evaluaciones o modificaciones.

Se pretende que este proyecto se instale directamente en la comunidad de "La Fuente", capacitando a las personas que van a estar secando el chile. Cabe señalar que este proyecto va a cambiar el trabajo de las personas de la localidad, ya que su producción del secado de chile va a aumentar y además se va a establecer el uso de alternativas que ayuden al cuidado del medio ambiente.

Agradecimiento

Los autores desean externar su agradecimiento al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, y a la Universidad Tecnológica de San Juan del Río, por los apoyos brindados durante el desarrollo del presente proyecto.

Referencias

ALMANZA R. y Muñoz F. (1994) Ingeniería de la Energía Solar. El Colegio Nacional, México.

ALMAZAR, R., & MUÑOZ, F. (1994). Ingeniería de la Energía Solar. México: El Colegio Nacional.

AYENSU A., (1997) Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. Solar Energy, 59, 121-126.

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

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

COOK E. (1991) Process Drying Practice. pp 12-80. McGraw-Hill, Washington.

DIXON, Cork. (1970). Diseño en Ingeniería. Inventiva, análisis y toma de decisiones. Limusa. Wiley. México, 2, 93-102.

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

LUNDE P.J. (1980) Solar Thermal Engineering: Space Heating and Hot Water Systems. Pp 70- 109. Wiley, New York.

NONHEBEL G. (1971). Drying of Solids in the Chemical Industry. Essex, Great Britain.

PÉREZ J. Y HERNÁNDEZ G. (2002) Natural convection solar dryer with biomass back-up heater Payback, Solar Energy, 72, 75-83.

RUIZ HERNÁNDEZ, Valeriano. (2006) “Las energías renovables: La energía solar”. Temas para el debate, , nº 143, p. 41-46 (Ejemplar dedicado a: El futuro de la energía).

WEIDER S. (1982) An Introduction to Solar Energy for Scientists and Engineers. Wiley, New York.

Instrucciones para Autores

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

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

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

Keyword

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

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Instrucciones para Autores

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]

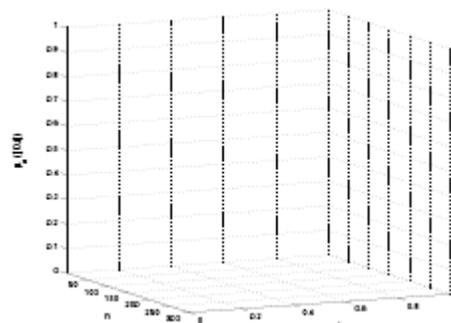


Gráfico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

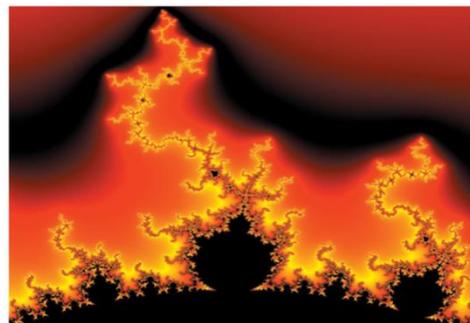


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberán 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.

Instrucciones para Autores

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

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

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

