

## Proceso sustentable de obtención de biodiesel

BAUTISTA-VARGAS, María\*†, GARCÍA-NAVARRO, Josefina, CABRERA-CRUZ, René' y TORRES-MORENO, Ruth.

*Universidad Politécnica de Altamira, Programa Académico de Ingeniería en Energía, Dir. Nuevo Libramiento Altamira – puerto industrial km 1.5, acceso por el km 30 de la carretera Tampico – Mante, C.P. 89600  
'Centro Universitario Tampico-Madero de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.*

Recibido Julio 7, 2016; Aceptado Septiembre 13, 2016

### Resumen

La biomasa, se ha convertido en una alternativa viable para la producción de biocombustibles, como lo es el biodiesel. En la presente investigación, se muestra la producción de biodiesel a partir de los residuos de aceite usado de cocina, mediante el proceso de transesterificación con la utilización de un procesador ultrasónico y como catalizadores el hidróxido de potasio y el metanol. Para la obtención del biodiesel se trabajó en tres fases, la primera corresponde al filtrado del aceite, la segunda fase la realización de la transesterificación del mismo y la tercera fase el lavado del biodiesel con agua destilada. De acuerdo a la experimentación realizada, se determinó que en el rango de 30 segundos, de 50 a 100% de amplitud y un ciclo; en comparación, se obtuvo en promedio el 95% del volumen procesado a 60 segundos, con las mismas condiciones, pero contando con la ventaja de no precalentar el aceite antes de procesarlo. Es por ello, la necesidad de poder reutilizar los residuos de aceite de cocina, para llevar a cabo el procesamiento de estos y convertirlos en un biocombustible, impulsando así la economía, las energías renovables y la concientización ambiental.

**Energías Renovables, Proceso Sustentable, Residuo de Aceite Usado de Cocina, Biodiesel, Procesador Ultrasonico**

### Abstract

The biomass have covered in a viable alternative to biofuels production, how to it's a biodiesel. In the present investigation it's show the biodiesel's production as of residue of cooking oil by the transesterification's process with it using of the ultrasonic processor and as catalyst the potassium hydroxide and the methanol. For the obtention of biodiesel we worked in three phases, the first phase be responsible to the filter of oil, the second phase be the realization of the transesterification of the same and the third phase be the biodiesel's washed with distilled water. According to the rewarded experimentation, themselves determinate to the range of 30 seconds of 50 to 100% of amplitude and a one cycle, in a comparison, themselves got in a average of 95% from the processed volume to 60 seconds with the same conditions, but count with the advantage of it don't preheat the oil before of process it. It's therefore, the necessity of we can re-use the residue of cooking oil to carry out the prosecution of this and convert them in a biofuel, it's driving like this the economy, the renewable energy and the environmental awareness.

**Renewable Energy, Sustainable Process, Residue of Cooking Oil, Biodiesel, Ultrasonic Processor**

**Citación:** BAUTISTA-VARGAS, Marí, GARCÍA-NAVARRO, Josefina, CABRERA-CRUZ, René' y TORRES-MORENO, Ruth. Proceso sustentable de obtención de biodiesel. Revista de Sistemas Experimentales 2016, 3-8: 27-35

\*Correspondencia al Autor (Correo electrónico: esther.bautista@upalt.edu.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El Desarrollo Sustentable, según la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (2013), es el proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas. La presente investigación pretende atacar los tres criterios, desde el punto ambiental al reutilizar el Residuo de Aceite Usado Cocina (RAUC) como materia prima para la obtención de un biocombustible, disminuyendo así el daño al medio ambiente puesto que este habitualmente es vertido a las aguas y se estima que un litro de aceite contamina cerca de un millón de litros de agua (Brito *et al.*, 2007). Desde el aspecto económico, para un país en desarrollo como lo es México, la producción de biocombustibles atiende los problemas que conlleva la disminución significativa de las reservas de combustibles fósiles obteniendo en el biodiesel un sustituto viable de estos (Gonzales *et al.*, 2011). La nueva industria agroenergética, implica una cadena productiva que impacta en forma más directa a los diferentes sectores de la economía, especialmente en lo referente a la generación de empleo y desarrollo agrícola y agroindustrial (Cortés *et al.*, 2008). Y desde el componente social, al usar el aceite usado de cocina como material prima del biodiesel no se compite con el sector alimenticio, contribuyendo así con la cultura de concientización ambiental (Hernández *et al.*, 2008).

El Biodiesel, se define como ésteres de mono alquilo constituidos por cadenas largas de ácidos grasos derivados de los aceites vegetales o animales como resultado de su transesterificación (Rivero *et al.*, 2006).

El proceso de transesterificación consiste en la conversión de los triglicéridos, ésteres de ácidos grasos y glicerol, que conforman los aceites vegetales en metil o etil ésteres de los mismos ácidos grasos. Lo cual se logra, tratando a los aceites vegetales con metanol o etanol en medio ácido o alcalino, obteniendo así la mezcla correspondiente al biodiesel, y como subproducto de la transesterificación se obtiene glicerina (Túqueres, 2015).

La glicerina se puede purificar calentándola a 65.5 °C para evaporar el metanol, esto la hace segura al contacto con la piel, o bien se puede utilizar para producir metano por pirolisis. El transporte y almacenamiento del biodiesel resulta más seguro que el de los Petroderivados, ya que posee un punto de ignición más elevado. El biodiesel puro, posee un punto de ignición de 148°C contra los escasos 51°C del gasoil. La calidad del producto acabado puede comprobarse visualmente y midiendo su pH, el cual debe ser 7, tener un color de aspecto de aceite vegetal con un matiz marrón parecido a la sidra (Meher *et al.*, 2006; Carta *et al.*, 2009).

El metanol requerido debe ser anhidro y tener 99% pureza para evitar la formación de jabones indeseables, se requiere aproximadamente del 15 al 20 % del volumen de aceite a procesar (MA y Hanna 1999; Carta *et al.* 2009; Franco 2013).

Las bases fuertes como el NaOH y el KOH son los catalizadores más usados. Estos hidróxidos presentan altas conversiones a condiciones moderadas y tiempos de reacción cortos, además requieren pequeños volúmenes de alcohol (Mittelbach *et al.*, 2004; Moser, 2009).

Para el proceso de transesterificación se utiliza un procesador ultrasónico, el UP400S (400W, 24kHz) de Reactores Hielscher ultrasónicos. Las oscilaciones ultrasónicas se transmiten a través del sonotrodo, que está en contacto directo con la zona calentada. Este equipo mejora la eficiencia del proceso de transesterificación, en un proceso de transformación convencional los porcentajes de catalizador y alcohol son mayores, así como la cantidad de energía térmica aplicada para favorecer la cinética de reacción (Carta *et al.*, 2009).

Las ondas de ultrasonido son imperceptibles para el oído humano, sin embargo son empleadas en los materiales que se utilizan para la producción de estos combustibles. Manejan pequeños pulsos y son capaces de producir altas temperaturas las cuales separan la parte más viscosa de los aceites, cuya fase es esencial en la obtención del recurso energético. La tecnología de mezclado ultrasónico continuo de Hielscher, mejora el rendimiento de biodiesel y reduce sus costos. La mezcla ultrasónica mejora la emulsificación de metanol en el aceite y genera más y más pequeñas gotitas. Esto conduce a una mejor distribución del catalizador y mayor eficiencia (Meher *et al.*, 2006, Carta *et al.*, 2009; Prafulla *et al.*, 2012).

Es por ello, la necesidad de poder reutilizar los RAUC, para llevar a cabo el procesamiento de estos y convertirlos en un biocombustible, impulsando así la economía, las energías renovables y la concientización ambiental.

### Metodología a Desarrollar.

En la presente investigación se utilizó el método del proceso de transesterificación, para poder determinar el punto óptimo de obtención de biodiesel utilizando el equipo de procesador ultrasónico. Las fases a desarrollar son las siguientes:

1. *Fase de Filtrado*, la cual consiste en remoción de sólidos suspendidos.
2. *Fase del proceso de Transesterificación*, se divide en tres partes: determinación de la acidez, preparación de los reactivos y la muestra, y la utilización del Procesador Ultrasónico, cuyo equipo fue proporcionado al programa académico de Ingeniería en Energía de la Universidad Politécnica de Altamira por el Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología (COTACYT).
3. *Fase de lavado*, es el sometimiento del biodiesel para la remoción de residuos.

### Resultados

La producción de biodiesel se obtuvo a partir de RAUC, con el fin de reducir el daño que este causa al medio ambiente y conocer la factibilidad de este residuo como materia prima para la producción de un biocombustible. Para la obtención de biodiesel se trabajó en tres fases: la primera el filtrado del aceite, la segunda el desarrollo del proceso de transesterificación utilizando el procesador ultrasónico y la tercera el lavado del biodiesel obtenido.

## Fase de Filtrado

Con el fin de eliminar los sólidos suspendidos, producto de los restos de alimentos, del RAUC recolectado, se diseñó un dispositivo de filtrado mecánico.

Para verificar los resultados se midieron parámetros físico – químicos a la muestra antes del filtrado y después del filtrado. Los cuales fueron el pH, que mide el grado de acidez de una solución, se basa en la cantidad de iones de hidrógeno que se encuentran en una solución dada  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ . Cuya escala es logarítmica va desde el 0 hasta el 14. El valor de medición Turbidez, es un parámetro determinante en muchas aplicaciones. Esto es cierto para el procesamiento del agua potable y las aguas residuales, para la elaboración de bebidas y en el campo químico desde la galvanización hasta la industria petroquímica. Al aumentar el número de las partículas aumenta el grado de turbidez también a simple vista. La forma, las dimensiones y la composición de las partículas influyen en el grado de turbidez. Los aparatos de medición que aplican este método se denominan nefelómetros. Los turbidímetros o nefelómetros se diferencian por la fuente de luz que utilizan. Las unidades en las que se mide la turbidez son: Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Otros parámetros más subjetivos fueron el color y el olor de la muestra.

En la Figura 1, se puede observar el procedimiento de filtración, obteniéndose las muestras excedentes de sólidos. El dispositivo para el filtrado, fue construido con un tanque de un galón, mangueras transparentes y un filtro de gasolina que se utiliza en automóviles.

Se construyó dicho dispositivo y se procedió a filtrar el RAUC minimizando al máximo los restos de comida que se pudieran encontrar.



**Figura 1** Proceso de Filtración del RAUC.

En la Figura 2, se muestra la realización de pruebas para su determinación de turbidez.



**Figura 2** Pruebas de Turbidez al RAUC filtrado.

En base a esto, en la Tabla 1, se muestran los resultados de la muestra antes del filtrado y después del filtrado, donde se pudo obtener una diferencia en cuanto a valores iniciales que presentó la muestra.

Parámetros	Antes del filtrado	Después del filtrado
Olor	Quemado	Aceite
Color	Rojo oscuro	Rojo más Claro
pH	5	6

**Tabla 1** Resultados de los parámetros de la muestra

## Fase del proceso de Transesterificación

El proceso de transesterificación se lleva a cabo en tres etapas.

1. Determinación de acidez del aceite ya filtrado.

Se disolvieron 30 ml de aceite de cocina usa en 300 ml de alcohol isopropílico a baño maría por 15 minutos, para obtener 3 muestras de 110 ml cada una, a las que se les agrego 5 gotas de fenoltaleína por igual. Dichas muestras se titularon con Hidróxido de Sodio (NaOH) al 1%. Los mililitros utilizados para cada muestra se promedian para calcular los gramos de catalizador a utilizar para un litro de aceite usado a procesar, de acuerdo a la formula (1).

$$\text{promedio de NaOH (ml)} + 3.5 = \text{catalizador requerido (gr)} \quad (1)$$

La acidez promedio que se obtuvo fue de 0.6, por lo que para cada litro de aceite usado de cocina a procesar se utilizaron 4.1 gr de catalizador, dicho catalizar fue el Hidróxido de Potasio (KOH). Puesto que de los catalizadores básicos homogéneos, el NaOH y el KOH (Túqueres, 2015), este presenta ciertas ventajas como lo son que la glicerina que queda del proceso es mucho menos tóxica que cuando se utiliza el NaOH (Abad *et al.*, 2014).

### Preparación de metoxido para transesterificación

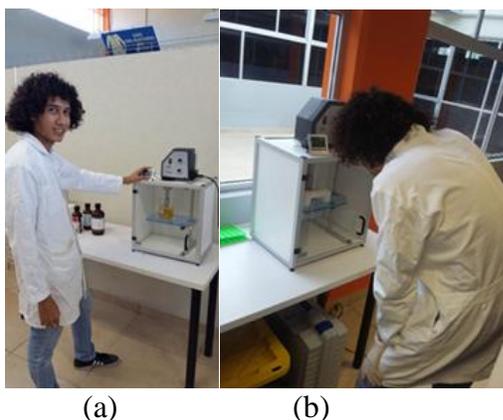
Se utiliza el 12% del volumen de aceite a procesar en metanol. El metanol y el etanol son los alcoholes comúnmente utilizados para la producción de biodiesel, otros alcoholes como propanol, isopropanol, butanol y pentanol pueden ser utilizados, pero estos son mucho más sensibles a la contaminación con agua, es decir, que la presencia de agua en mínimas cantidades impide la reacción (Túqueres, 2015).

Es por ello, que para este trabajo se utiliza el metanol como catalizador por ser el más reactivo. Se procesan un promedio de 4 litros de aceite de cocina usado, por lo que se utilizan 480 ml de metanol y 16.4 gr de KOH, los cuales se disuelven calentando a reflujo y agitación constante por 10 minutos para obtener el metoxido.

### Transesterificación en el Procesador Ultrasónico

Equipo que fue facilitado por el Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología (COTACYT), a la Universidad Politécnica de Altamira (UPALT). La característica principal de este equipo son las vibraciones sónicas, las cuales desarrollan la integración y separación de las sustancias para la obtención de biodiesel. Sin embargo, al no contar con listado del punto óptimo, se llevo a cabo la experimentación para determinar dicho punto, con el fin de eficientar el proceso de transesterificación. (Figura 3a).

Para ello, se prepararon 60 muestras con 100 ml de aceite de cocina usado y 12 ml de metoxido cada una las cuales se calientan a 40 °C antes de introducir las unas por una al procesador ultrasónico, las cuales se procesaron a 5, 10, 15 y 20 segundos en amplitudes del 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100% respectivamente y a un ciclo en todos los casos. Después de procesarse, cada muestra es vaciada a probetas de 100 ml, donde se dejan reposar por 24 horas. Se nota que la reacción de transesterificación no se completa, a amplitudes menores de 40% por lo que se procede a realizar desde la titulación hasta la preparación de muestras con otros 4 litros de aceite de cocina usado, los que procesa nuevamente pero en los rangos de 50 a 100% de amplitud en tiempos de 10 a 60 segundos, en intervalos de 10 en cada caso (Figura 3b).



**Figura 3** Procesador Ultrasonico, COTACYT –UPALT.

### Fase de lavado

Después de dejarlo reposar 24 horas se observa en las probetas dos capas, la glicerina abajo y el biodiesel arriba (Figura 4), las cuales son separadas y el biodiesel sometido a un lavado con agua destilada.



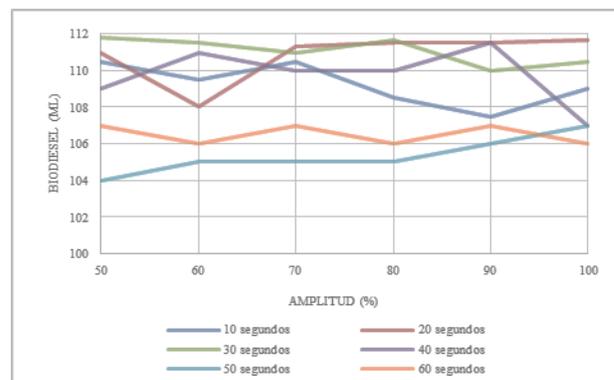
**Figura 4** Capas de biodiesel y glicerina.

### Análisis de Resultados

En la primera parte del proyecto, se nota que a bajas amplitudes y poco tiempo, la reacción de transesterificación no se completa, observando 3 capas en las muestras procesadas: aceite, biodiesel y glicerina. En la segunda parte, donde se procesa a mayores amplitudes y tiempos, todas las muestras completaron la reacción.

En el Grafico 1, se observa la relación de mililitros promedio en el rango de tiempo obtenidos de biodiesel con respecto a la amplitud en que se procesaron.

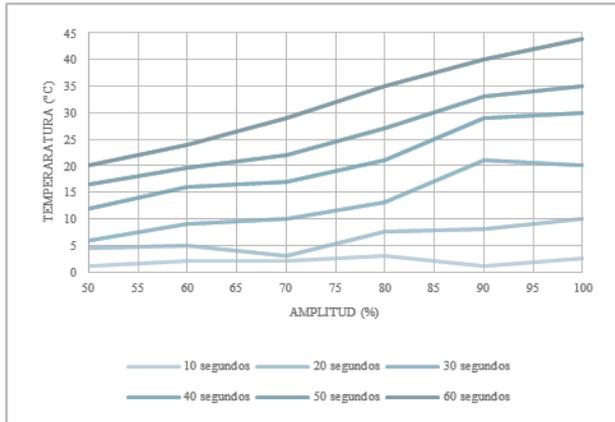
Se observa que a los tiempos de 20 y 30 segundos la producción de biodiesel es la máxima de los ensayos.



**Grafico 1** Biodiesel obtenido.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que en la transesterificación no solo se obtiene biodiesel, sino también glicerina; por lo tanto, contar con una cantidad inferior de glicerina después de la conversión nos puede significar una reacción inconclusa; además de que a 20 y 30 segundos se precalienta antes de procesar, caso que no ocurre a los 60 segundos, dado que aún con la amplitud más baja, la temperatura se eleva 20°C en este rango de tiempo (Grafico 2) y aumenta de manera proporcional conforme la amplitud se incrementa de manera proporcional conforme la amplitud se incrementa.

Teniendo en cuenta que la temperatura idónea para que se lleve a cabo la transesterificación es alrededor de los 64° C, por lo tanto se determina que en 60 segundos y 100% de amplitud son las variables más idóneas para procesar, por esta razón se disminuyó la temperatura a la que las muestras entraban al procesador, reduciendo así los tiempos y haciendo más eficiente el proceso.



**Gráfico 2** Medición de temperatura.

Aunque a 60 segundos no se obtuvo la mayor cantidad de biodiesel, es la más óptima, ya que como se observa de 10 a 40 segundos tenemos la mayor producción de biodiesel y a 50 segundos decae, sin embargo, a 60 segundos se incrementa nuevamente y como se había mencionado con anterioridad, el hecho de contar con una poca cantidad de glicerina después de la reacción de transesterificación no siempre nos refleja una buena reacción sino una reacción inconclusa.

Por lo tanto, una mayor cantidad de glicerina asegura que el triglicérido original se transformo paulatinamente en diglicérido, y monoglicérido, para formar el éster metílico de ácido graso conocido como biodiesel. Es así que se determina que 60 segundos, es el rango óptimo para la transformación de biodiesel de acuerdo a los ensayos realizados en este trabajo.

### Agradecimiento

Se agradece al COTACYT por el apoyo con el equipo *Procesador Ultrasonico*, material clave para la realización de esta investigación. De igual manera se agradece las atenciones y las facilidades prestadas en el Almacén y el Laboratorio de Energía Renovable a cargo de la Ing. Elida Liliana Ríos Vázquez.

### Conclusiones

En la presente investigación, se determinó en base a experimentación el punto óptimo en el proceso de obtención de un biocombustible en el equipo Procesador Ultrasonico. Se demostró que en el rango de 30 segundos, de 50 a 100% de amplitud y un ciclo, se obtuvo el 99% del volumen procesado, sin embargo, a 60 segundos con las mismas condiciones se obtuvo el 95% del volumen procesado, teniendo la ventaja de no precalentar la muestra antes de procesarlo, determinándolo como el punto óptimo puesto que al no precalentar, se gasta menos electricidad y esto fomenta la sustentabilidad del proceso además de estar utilizando un residuo como materia prima del biocombustible.

Se demuestra la necesidad de determinar las variables óptimas para eficientar el proceso de obtención de un biocombustible, en este caso la transesterificación para la obtención de biodiesel; el procesador ultrasónico es un equipo que facilita la obtención de biodiesel a partir del residuo. Se determinó, que a partir de los ensayos realizados, que a 60 segundos, 100% de amplitud y un ciclo es el punto óptimo, ya que del volumen procesado no más del 7% se transformó en glicerina y lo restante en biodiesel. Además se observó que durante el proceso de transesterificación en el procesador ultrasónico la temperatura se eleva, por lo cual ya no es necesario calentar previamente la mezcla aceite-metóxido antes de procesar, reduciendo el tiempo de procesamiento y aumentando la eficiencia del proceso de esta manera, ya que se está utilizando un residuo perjudicial al medio ambiente.

Es por ello, que el punto óptimo en el proceso utilizando el procesador ultrasónico minimiza el tiempo y gasto de consumibles para el procesamiento del residuo y la conversión del mismo, impulsando así de una manera sustentable la obtención del biocombustible.

## Referencias

- Abad Medina, E., Acosta Palacios, A., Burgos Arrascue, A., Cristantino Palacios, B., Eyzaguirre Yañez, J, Rivera Lopez, J. (2014). Analisis y Diseño de un Sistema de Recolección y Tratamiento de Aceites Domésticos Usados para la Producción de Biodiesel en la Ciudad de Piura y Castilla. Universidad de Piura. Ingeniería. Ingeniería Industrial y de Sistemas. Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Proyectos. Piura, España, 104 pp. Dirección de internet: <http://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1713>
- Carta González J. A., Calero Pérez R.; Colmenar Santos A. y Castro Gil M. A. (2009). Centrales de Energías Renovables, Generación Eléctrica con Energías Renovables, Pearson, Prentice Hall, 728pp. Dirección de internet: <http://www.hielscher.com>
- Cortés, M. E., Mahecha, H. S., & Carrasco, S. P. (2009). Biocombustibles Y Autosuficiencia Energética Bio-Fuels And Energy Self-Sufficiency. *Dyna*, 76(158), 101-110.
- Franco M. (2013). Simulación del proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales en condiciones súper-criticas. Tesis de Maestría. Universidad de Politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 79 pp.
- González, A., & Castañeda, Y. (2011). Biocombustibles, Estados Unidos, su estrategia hegemónica competitiva y la influencia en la política energética de México. *Sociedades Rurales*, 11(21).
- Hernández, M., & Hernández, J. (2008). Verdades y mitos de los biocombustibles. *Elementos*, 71, 15-18.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, México, 28 de enero de 1988. Última reforma publicada DOF 07-06-2013.
- Ma, F. & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, vol. 70, no 1, p. 1-15.
- Meher, L. C., Sagar, D. V., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 10, No.3, 248-268pp.
- Mittelbach, M., Remschmidt, C. (2004) Biodiesel - The comprehensive handbook. 1st ed. Graz: Mittelbach, M. p.
- Moser, B. (2009) Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 45 (3): p. 229-266.
- Santamaría, L. M. R., & Molano, M. Á. (2006). Trasesterificación del aceite de palma con metanol por medio de una catalisis heterogénea empleando un catalizador ácido (Doctoral dissertation, Uniandes).
- Túqueres Oña, R.C. (2015). Análisis de Viabilidad Técnica del Uso de Biodiesel en Centrales Termoeléctricas. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador, 118 pp.

Zeolite, Y. (2007). as a Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Fuel Production from Used Vegetable Oil Brito, A.; Borges, ME. Otero, N. Energy & Fuels, 21(6), 3280-3283.