

MEJORAMIENTO DEL BALANCE DE ENERGÍA EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL DE AGUAS MIELES DEL CAFÉ

Juan Jacobo Paredes Heller*

Profesor

Departamento Postgrado

Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC)

San Pedro Sula, Honduras

(Recibido: Julio, 2012)

RESUMEN. Esta investigación se realizó en base en un estudio desarrollado en abril de 2011 con la finalidad de obtención de etanol a partir de las aguas mieles del café de la Cooperativa San José limitada COCASJOL, ubicada en San José Colinas Santa Bárbara, Honduras. Donde se determinó producir etanol utilizando 4.5 veces más energía que la que este alcohol puede producir. Bajo una metodología con un enfoque mixto paralelo, se desarrolló una investigación experimental donde se manipularon variables con la finalidad de incrementar los °Brix por medio de fermentación de las aguas mieles en pila anaeróbica a una profundidad de 6 metros por espacio de 24 horas, para lograr de esta manera que se reduzca la energía necesaria e eficientizar el proceso de destilación del etanol, resultando un rendimiento de 3% de etanol. A nivel de laboratorio la destilación solar proporcionó datos para llevar el balance de energía a cero consumo, pues se aprovechó la energía que proporciona el sol dejando libre la energía del etanol. Se recomienda desarrollar la destilación solar a nivel industrial, así como también hacer un estudio de factibilidad económica del mismo.

ABSTRACT. This research was based on a study done on April 2011, with the purpose of obtaining ethanol from the coffee wastewater of Cooperativa San José (COCASJOL), located in San José Hills Santa Bárbara, Honduras. It was determining to produce ethanol using 4.5 times more energy than the one used to produce alcohol. An experimental research was developed to use variables and mixed methodology approach in order to increase the Brix degree by fermenting the wastewater in stack anaerobic to a depth of six meters during 24 hours, to reduce the energy required and more efficient process for ethanol distillation. As a result there was a 3% ethanol yield. A laboratory scale solar distillation provided data to bring the balance to zero energy consumption. It was recommended to develop solar distillation at industrial level, as well as an economic feasibility study.

Palabras claves: Balance de energía, destilación fraccionada o solar, etanol y fermentación.

** El autor agradece de forma especial a los alumnos de posgrado Miguel Johan Guillén Euceda y Karen Patricia Núñez Matamoros quienes realizaron su tesis de postgrado siendo asesorados por el autor y sobre la cual se basa este artículo.*

INTRODUCCIÓN

Dentro de los recursos no renovables más importantes que tienen el planeta tierra está el petróleo, cuyos productos y subproductos son los que juegan uno de los papeles más importantes en mantener en movimiento las economías y producciones mundiales. Las reservas de petróleo van en declive, esto convierte el tema de combustibles en un tema impactante y de mucho interés tanto a nivel individual, regional como mundial (Hall & Klitgaard, 2012). Dentro de estos combustibles denominados alternos se distingue el etanol, el cual se obtiene principalmente materias primas que son alimentos, como el maíz, la caña de azúcar, etc (OCDE-FAO, 2011-2010). Esto ha

traído como consecuencia la necesidad de buscar alternativas de producción de Etanol a partir de otras materias primas no tan tradicionales, como es el caso de los residuos líquidos producto del proceso de despulpado (Arias & Ruiz, 2001; Gómez & Morales, 2006; Rodríguez, 2009).

El proceso húmedo de beneficiado que realizan los caficultores de la Cooperativa Agropecuaria Cafetalera San José Limitada COCASJOL, en San José de las Colinas, Santa Bárbara, Honduras. Consume arriba de los 20,000 m³ de aguas mieles. De estas aguas de lavado, las primeras de este proceso de beneficiado poseen las propiedades químicas necesarias para llevar a cabo la fermentación y por ende la obtención del etanol, dado que tiene un pH ácido y contenido moderado de azúcares (Chinchilla & Ardón, 2011). En las pruebas de laboratorio efectuadas por Chinchilla & Ardón (2011), se determinó que la cantidad de energía para obtener etanol es 4.5 veces más que lo que este alcohol pueda ofrecer. Este procedimiento lo efectuaron por el cálculo del uso de gastaron para destilar el etanol, usando un calentador eléctrico de 115 voltios y 0.9 Amperios.

Por lo tanto, se plantea el objetivo de proponer un nuevo proceso que mejore la cantidad de energía requerida para la producción de etanol en las aguas mieles. Debido las aguas residuales del proceso de despulpado y lavado se considera como una de las mayores contaminaciones orgánicas en el sector cafetalero, un kilogramo de café genera una cantidad de agua y material contaminante equivalente a aquella producida por seis personas en un día (Del Panta et al. 2002).

METODOLOGÍA

El diseño de la investigación fue mixto para probar la hipótesis nula “El balance de energía en la obtención de etanol mediante la aplicación de un proceso de fermentación bajo tierra y destilación solar de las aguas mieles del beneficiado de café en COCASJOL será mayor o igual a 29.7 KJ/g”. El proceso cuantitativo desarrollado por medio de una investigación experimental con un diseño factorial de 3², manipulando las variables a tres distintas profundidades y a tres lapsos diferentes de tiempo obteniendo como resultado la cantidad de grados Brix de las aguas mieles. En la parte cualitativa se desarrolló una entrevista para evaluar mejor los datos obtenidos (Hernández et al, 2008).

La población involucrada en el proyecto fueron los beneficios del café de los afiliados a COCASJOL, pues son éstos los generadores de las aguas mieles. Según los informes de la cooperativa el 80% de los afiliados tienen su propio beneficio húmedo de café y los otros realizan en el beneficio húmedo, equivalente a 175 beneficios. La muestra de un 99% de probabilidad y un error de 6%, fue de 3.

Los instrumentos utilizados tanto para el muestreo como para práctica de laboratorio fueron los siguientes:

Tabla 1. Instrumentos y técnicas utilizados.

Guía	Característica medida	Técnica
Refractómetro manual.	°Brix	ASTM D4806
Papel indicador pH	pH	ASTM D4806
Montaje de destilación.	Porcentaje de etanol	ASTM D4806
Cronómetro	Tiempo	Observación
Papel filtro	Sólidos en suspensión	ASTM D4806
Termómetro	Temperatura	ASTM D4806
Papel filtro	Remoción de sólidos pesados	ASTM D4806
Teorías de fermentación y balances de energía.	Proceso descriptivo	Observación. Bibliografías.

Fuente: (ASTM, 2011)

El procedimiento, se detalla a continuación:

- 1) Toma de muestra de tres diferentes beneficios húmedos pertenecientes a los cooperativistas de COCASJOL, de las aguas mieles del primer lavado.
- 2) Toma de cada muestra es refrigerada y llevada a laboratorio.

De cada una de las muestras se preparan tres sub muestras detalladas de la siguiente manera. dado que, la metodología en la parte experimental se manipularon las variables de profundidad y tiempo de fermentación a las aguas mieles. Se presenta a continuación las diferentes muestras preparadas por cada finca a diferentes profundidades (0, 3 y 6 metros) y tiempos de fermentación (24, 36 y 48 horas). El proceso fue el siguiente:

- 1) Monitoreo del pH y °Brix de cada muestra a cada 12 horas.
- 2) Cuando cada muestra se fermentó, se procedió a la medición de los grados brix.
- 3) Antes de destilar, cada muestra fue filtrada para evitar que el tiempo de la destilación se prolongue por los sólidos presentes.
- 4) Se utilizaron dos tipos de destilación, uno con un calentador eléctrico de matraces y otro solar.
- 5) Durante todo proceso de destilación, se monitoreó la temperatura y tiempo para controlar la separación del alcohol.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

CONDICIONES DE PH.

El propósito único que tiene el pH sobre los °Brix, es indicar si el medio acuoso es el adecuado para la fermentación de los azúcares. Las mediciones de campo indicaron lo siguiente:

Tabla 2. Mediciones de pH.

PROCESO	pH del agua			
	Finca 1	Finca 2	Finca 3	Media
Agua al proceso de beneficiado.	6.8	7.0	6.5	6.77
Agua después del despulpado	5.3	5.0	5.0	5.10
Agua del primer lavado	4.0	4.0	4.0	4.00
Agua del segundo lavado	5.0	5.1	6.5	5.53

De la tabla 2, se puede observar que las aguas mantienen un nivel de pH adecuado para lo que es el proceso de fermentación del mucílago. Y así también, se puede apreciar que las aguas que van al proceso están dentro de los estándares y por ende descartar acidez previa o diferente a lo que es el proceso de fermentación (Ministerio de Salud, Acuerdo 084). La acidez en este proceso la proporciona la misma semilla de café, al desprender de la pulpa o cáscara. La diferencia en el pH de las aguas del segundo lavado de la finca 3, con respecto a las fincas 1 y 2, se atribuye a la cantidad de agua que utilizan cada una de estas fincas en el proceso de lavado del grano de café para desprender el mucílago, esto indica que la finca 3, es la que más agua hace correr por los canales de correteo para enjuagar el grano de manera de hacer que el mucílago se desprenda.

Estadísticamente lo anterior mencionado, se pudo comprobar que las fincas no eran diferentes significativamente entre sí (valor-p= 0.767). Por otra parte el análisis comparativo entre los valores de pH de los procesos se obtuvo un valor-p= 0.003, esto indica que sí hay diferencias entre los valores de pH de las aguas a medida que van pasando por diferentes procesos, es decir que la adición de agua en los procesos subsiguientes a las aguas del primer lavado muestran que se utiliza más agua para el acarreo de los granos de café en los canales de correteo.

°BRIX DE LAS AGUAS

De igual manera que se hizo medición del pH al recorrido de las aguas por todo el proceso, se monitoreó los °Brix de las aguas, tal y como se resumen a continuación:

Tabla 3. °Brix de las aguas de despulpado.

Lecturas	Finca 1	Finca 2	Finca3
1	0.2	0.4	0.1
2	0.2	0.3	0.2
3	0.3	0.2	0.2
4	0.2	0.2	0.3
5	0.3	0.3	0.2
Media	0.3	0.3	0.2

De la tabla 3, se puede apreciar que es poca el azúcar que se desprende del mucílago en el proceso de despulpado. El dato se mantiene para todas las fincas. Por otra parte, para hacer una mejor medición de las aguas del primer lavado se hizo una desviación y concentración de ellas por el canal de correteo, dado que la actual práctica de lavado hace que rápidamente estas aguas se diluyan por el exceso de agua que le aplican al canal. Esos datos de las aguas del primer lavado que se lograron desviar colocando una tabla de madera en el canal de correteo para concentrarlas, como se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. °Brix de las aguas del primer lavado con desviación del flujo.

Lecturas	Finca 1	Finca 2	Finca3
1	4.0	4.0	2.8
2	4.4	4.2	3
3	4.2	4.2	2.9
4	3.8	4.1	2.7
5	4.2	4	2.8
Media	4.12	4.10	2.84

De igual manera en el caso del pH, por el volumen de agua que aplican al canal de correteo en la finca 3, es que los datos de la tabla 4 muestran que hay una baja en los °Brix dado que se disuelven las aguas del primer lavado en las subsiguientes aguas en el canal. En la tabla 5, se muestran los °Brix de las aguas del segundo lavado:

Tabla 5. °Brix de las aguas del segundo lavado.

Lecturas	Finca 1	Finca 2	Finca 3
1	1.3	1.3	0.90
2	1.2	1.5	0.90
3	1.4	1.4	1.00
4	1.5	1.5	1.20
5	1.2	1.8	0.80
Media	1.32	1.50	0.86

Finalmente la tabla 9, muestra las aguas del segundo lavado, la diferencia de °Brix con respecto a las aguas del primer lavado es significativa para la posterior operación a la que se llevan estas aguas y que consiste en el destilado para obtención de etanol. En resumen, los promedios de los °Brix en las diferentes etapas del proceso de lavado se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resumen de los °Brix en los diferentes procesos.

Proceso de aguas	°Brix			Media	Desv. Estándar
	Finca 1	Finca 2	Finca 3		
Despulpado	0.30	0.30	0.20	0.27	0.06
Primer lavado	4.12	4.10	2.84	3.69	0.73
Segundo lavado	1.32	1.50	0.86	1.23	0.33

Se puede observar que para los °Brix entre cada finca (valor-p= 0.134), por lo tanto, se concluye que no hay una diferencia significativa entre °Brix entre cada finca. Por otra parte, el análisis de °Brix entre procesos (valor-p= 0.001), indica que sí hay diferencia entre los °Brix de cada proceso de lavado del café. Concluyendo que en las aguas del primer lavado es donde hay mayor aporte de azúcares para una fermentación.

CONDICIONES DE FERMENTACIÓN

En la tabla 7, los datos son presentados por finca según las condiciones de tiempo y profundidad establecidos en el estudio.

Tabla 7. °Brix para condiciones de fermentación en Finca 1.

Profundidad (m)	24 (horas)	36 (horas)	48 (horas)
0.0	4.15	4.18	4.14
3.0	4.17	4.18	4.17
6.0	5.00	4.90	5.00

Se puede apreciar que los °Brix a 0, 3 y 6 metros no crecen con respecto al tiempo de fermentación (valor-p= 0.827), caso contrario sucede con el análisis de la fermentación con respecto a la profundidad (valor-p= 0.0001) donde sí se observa cambio alguno hacia el crecimiento especialmente a una profundidad de 6 metros. Con esto finalmente se concluye que las mejores condiciones de fermentación son de 6 metros a 24 horas, para la finca 1.

En la finca 2, según se aprecian en la tabla siguiente:

Tabla 8. Condiciones de fermentación para finca 2.

Profundidad (m)	24 (horas)	36 (horas)	48 (horas)
0.0	4.12	4.14	4.14
3.0	4.18	4.36	4.38
6.0	4.90	4.90	4.90

La fermentación a 6 metros es la que mayor grados brix proporciona (valor- $p= 0.0001$), tal como se observa en la Tabla 8, siempre las mayores profundidades son las que mejoran los grados brix. Por otra parte, el tiempo de fermentación no influyó en el crecimiento de los grados brix (valor - $p= 0.357$). En la finca 3, según se aprecian en la tabla siguiente:

Tabla 9. Condiciones de fermentación para finca 3.

Profundidad (m)	24 (horas)	36 (horas)	48 (horas)
0.0	2.88	2.90	2.90
3.0	2.90	2.90	3.00
6.0	3.50	3.60	3.55

Indican que la profundidad a la que fueron expuestas las muestras sí tienen diferencia significativa en los resultados de la obtención de grados brix (valor- $p= 0.000$). Se aprecia que la fermentación a 6 metros es la de mayor grados y el tiempo de fermentación no influyó en el crecimiento de los grados brix (valor - $p= 0.329$).

DESTILACIÓN DE AGUAS MIELES

Basados en la teoría consultada y la definición de destilación, se aplicaron dos métodos de destilación, uno es por medio de la destilación fraccionada y otro por el método solar (Balcázar, 2008), ambos métodos para extraer el etanol de las aguas mieles fermentadas en condiciones de 6 metros de profundidad a 24 horas, la cual tuvo como procedimiento de destilación a nivel de laboratorio, cuyos datos se presentan a continuación por ambos métodos.

DESTILACIÓN FRACCIONADA

A nivel de laboratorio la destilación fraccionada se realiza haciendo por triplicado una destilación sencilla, teniendo el cuidado de filtrar las aguas previo la destilación y el constante monitoreo de la temperatura del punto de ebullición del etanol para lograr una óptima separación de este alcohol de las aguas mieles.

Tabla 10. Tiempos de destilación fraccionada.

Prueba	1 ^{er} destilación (horas)	2 ^{da} destilación (horas)	3 ^{er} destilación (horas)	Tiempo total (horas)
1	0.45	0.30	0.18	0.94
2	0.47	0.32	0.16	0.96
3	0.46	0.34	0.19	0.99
Media	0.46	0.32	0.18	0.96

De la tabla 10, se puede apreciar que los tiempos de destilación fueron cortos, para tiempos totales de alrededor de casi una hora en promedio. Las muestras destiladas con este método fueron previamente filtradas lo que hizo que los tiempos de destilación no fueran muy prolongados. Las cantidades de etanol obtenidas en cada uno de los pasos de la destilación fraccionada, se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 11. Cantidad de etanol obtenido en la primera destilación.

Prueba	Cantidad (mL)	Etanol obtenido en 1er destilación (mL)	Rendimiento 1er destilación (%)
1	100.00	42.7	42.7
2	100.00	40.3	40.3
3	100.00	40.9	40.9
Media	100.00	41.3	41.3

La tabla 11, muestra una buena cantidad de etanol obtenido en el primer paso de esta destilación, alrededor del 41.3% se pudo extraer en este paso. Como es necesario destilar hasta tres veces para simular las etapas de las columnas de destilación fraccionada, se toman esta vez, para la segunda destilación los mililitros obtenidos en este paso para volverlos a destilar, cuyos datos se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Cantidad de etanol obtenido en la segunda destilación.

Prueba	Cantidad (ml)	Etanol obtenida 2da destilación (ml)	Rendimiento 2da destilación (%)
1	42.7	18.0	42.2
2	40.3	16.9	41.9
3	40.9	16.7	40.8
Media	41.3	17.2	41.6

De esta tabla 12, se puede apreciar que, nuevamente la destilación fue muy efectiva proporcionando alrededor de 41.6% de etanol a partir de la muestra obtenida en la primera destilación, finalmente los mililitros obtenidos en esta segunda etapa, se llevan a la tercera y última destilación, donde se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 13. Cantidad de etanol obtenido en la tercera destilación.

Prueba	Cantidad (ml)	Etanol obtenida 2da destilación (ml)	Rendimiento 2da destilación (%)
1	18.0	7.3	40.6
2	16.9	6.8	40.2
3	16.7	6.7	40.1
Media	17.2	6.93	40.3

Finalmente la tabla 13, muestra el porcentaje de etanol obtenido en la tercera y última destilación también estuvo en un rango del 40%, para este caso, 40.3%, otorgando finalmente la cantidad promedio de etanol obtenido que es del 6.93 mL. Es decir, por cada 100 mL de muestra de aguas mieles fermentadas en condiciones anaerobias a 6 metros de profundidad por 24 horas, se pueden obtener en promedio 6.93 mL de etanol mediante un proceso de destilación fraccionada en tres etapas.

DESTILACIÓN SOLAR

Por otra parte, el segundo método utilizado para obtener el etanol fue el método de destilación solar en las condiciones de 6 metros de profundidad por 24 horas, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 14. Cantidad de etanol obtenido por destilación solar.

Prueba	Temperatura ambiente (°C)	Cantidad (ml)	Tiempo de destilación (horas)	Cantidad de etanol obtenida (mL)	Rendimiento (%)
1	35.0	100	6.00	3.2	3.2
2	37.0	100	6.25	3.0	3.0
3	35.5	100	6.50	2.8	2.8
Media	35.8	100	6.25	3.0	3.0

La tabla 14, además de mostrar datos de la cantidad de etanol obtenida en cada destilación, también muestra los datos de temperatura ambiente de la ciudad de San Pedro Sula en su punto máximo y constante, así como también muestra los datos del tiempo promedio que este alcohol tuvo para evaporarse y condensarse. Finalmente la cantidad promedio que se obtiene de destilar 100 mL de aguas mieles del café por medio de la destilación solar es de 3 mL de etanol.

BALANCE DE ENERGÍA

Dado que se utilizaron dos métodos de destilación, en esta sección de balance de energía se muestran los análisis de ambas destilaciones por separado, tal y como se detalla a continuación:

DESTILACIÓN FRACCIONADA

Antes de realizar el respectivo balance de energía se debe realizar los cálculos respectivos de la energía gastada para obtener los 6.93 mL de etanol. Para ello se deben de conocer los datos del calentador de matraces utilizado para calentar la muestra y efectuar la destilación, dicho calentador de matraces cuenta con la siguiente información:

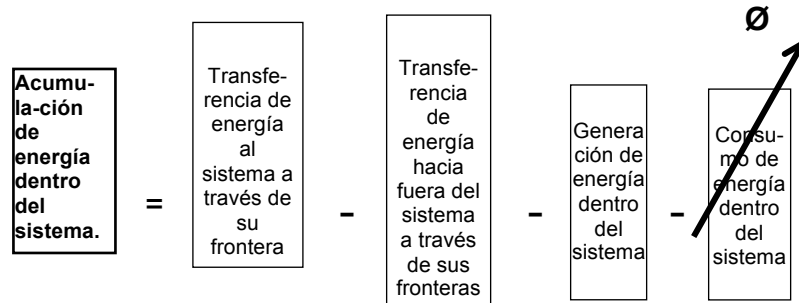
- 1) Marca Lab Heat
- 2) 115 V.
- 3) 0.9 A.

Con esta información se procede a aplicar la formula enunciada en la ecuación 1, de esta ecuación de Fowler y con los tiempos promedios obtenidos en la tabla 15, se obtienen los siguientes datos:

Tabla 15. Energía gastada en destilación fraccionada.

Prueba	Tiempo total (horas)	KWh	KJ	KJ/mL	KJ/g
1	0.94	0.097	349.2	50.39	61.93
2	0.96	0.099	356.4	51.43	63.21
3	0.99	0.102	367.2	52.99	65.13
Media	0.96	0.100	357.60	51.60	63.42

La información obtenida en esta tabla 15, resume cuanta energía se utilizó en promedio a partir de los tiempos de destilación y datos del calentador de matraces utilizado. Por otra parte, los cálculos de KJ/g se obtuvieron utilizando el valor de la densidad, en promedio la energía necesaria para destilar 6.93 mL fue de 63.42 KJ/g. Con base en la información anterior se procede a llevar a cabo el balance energía, bajo los supuestos de que este sistema es un sistema cerrado, ya que se asume que momentáneamente no hay flujo de masa entrando o saliendo del sistema, lo que hace que la generación y consumo de energía dentro del sistema sean cero. En vista de lo anterior, la ecuación del balance de energía se resume bajo estas condiciones de la siguiente manera (Klages, 1968; Laitinen & Harris, 1982; Treybal, 1988):



Los datos para el balance de energía aplicando la ecuación anterior, donde la generación y consumo de energía son cero, de esta manera el balance de energía para la destilación aplicada se resume en la siguiente tabla:

Tabla 16. Balance de energía para destilación fraccionada.

Acumula-ción de energía dentro del sistema = balance de energía (KJ/g)	Transferencia de energía al sistema (kj/g)	Transferencia de energía hacia afuera del sistema (kj/g)
33.72	63.42	29.70

Los datos obtenidos en la tabla 20, muestran que la acumulación de energía dentro del sistema, es decir el balance de energía de este proceso no es igual a cero, es decir todavía falta para llegar al balance de energía rebajar 33.72 KJ/g. Para este proceso la energía invertida para producir el etanol fue de 2.14 veces mayor que la energía que el etanol puede ofrecer.

DESTILACIÓN SOLAR

En el caso de la destilación solar el gasto de energía que sirve de base para realizar el balance de energía, se detalla en la siguiente tabla, donde de igual maneras se aplicó la ecuación de acumulación de energías, con los tiempos promedio enunciados en la tabla 18, los cuales fueron los tiempos medidos para lograr obtener el etanol condensado:

Tabla 17. Energía gastada en destilación solar.

Prueba	Tiempo total (h)	Voltaje (v)	Corriente (a)	Kwh	Kj	Kj/ml	Kj/g
1	6.00	0	0	0	0	0	0
2	6.25	0	0	0	0	0	0
3	6.50	0	0	0	0	0	
Media	6.25	0	0	0	0	0	0

De la tabla 21, se tiene la siguiente información: que la energía necesaria para poder destilar etanol por método solar no tiene consumo de energía por gramo de alcohol obtenido, dado que los consumos en voltaje y corriente eléctrica en este caso son igual a cero. Con base en lo anterior, se procede a llevar a cabo el balance de energía, bajo el supuesto de que este sistema es cerrado, ya que se asume que momentáneamente no hay flujo de masa entrando o saliendo del sistema, lo que hace que la generación y consumo de energía dentro del sistema sean cero, tal y como se resumió en la anterior ecuación, de esta forma el balance que mostrado de la siguiente manera:

Tabla 22. Balance de energía para destilación solar.

Acumulación de energía dentro del sistema = balance de energía (kj/g)	Transferencia de energía al sistema (kj/g)	Transferencia de energía hacia afuera del sistema (kj/g)
-29.70	00.00	29.70

De la tabla 22, se puede apreciar que para este método de destilación solar, la acumulación de energía dentro de sistema, es menor que cero, es decir -29.70 KJ/g, lo que indica que el sistema tiene esta cantidad de energía para poder entregar hacia afuera del sistema, por lo que, bajo este método no hay gasto de energía invertida para producir etanol. Este resultado del balance de energía es la situación óptima y favorable que se busca en los balances de energía.

DESTILACIÓN ELÉCTRICA VERSUS SOLAR

Finalmente debido a que con la destilación eléctrica no se obtuvo una reducción significativa en el balance de energía, mientras que con la destilación solar sí se llegó a lograr las condiciones favorables para entregar energía fuera del sistema, la prueba de hipótesis se basa en los resultados de la destilación solar, tal y como se describe a continuación:

El cálculo estadístico de la prueba de hipótesis hecho en Minitab, muestra que los datos obtenidos en la tabla 21 y 22, de los valores calculados de la energía gastada para obtener 3.00 mL de etanol en la destilación solar, medido en KJ/g tienen en promedio un valor de 0.0 KJ/g, para una probabilidad del 95%, muestra que un valor-p= 0.0001, y como este valor es menor que 0.05, entonces los valores obtenidos caen en zona de rechazo de hipótesis nula (Berenson & Levine, 1996). En vista de lo anterior, la hipótesis nula planteada, se rechaza, dado que en este estudio la energía usaba bajo la destilación solar fue aproximadamente cero KJ/g.

CONCLUSIONES

Como respuesta a los objetivos planteados se presentan las siguientes conclusiones: La energía gastada para obtener etanol por medio del proceso de fermentación en pila anaeróbica fue de 0.0 KJ/g, por aplicación de energía solar, donde dicha energía es menor a los 29.7 KJ/g que produce el etanol. La cantidad de etanol obtenida es de 3.00 mL por cada 100.00 mL de muestra de aguas mieles fermentadas, por medio de destilación solar. No se consideran los valores de la cantidad de etanol obtenida por destilación fraccionada dado que ese método no cumple con el balance de energía buscado. En base a las condiciones de fermentación experimentadas, se tiene que las características químicas óptimas de las aguas mieles es de obtener la mayor cantidad de °Brix, estos se logran mediante condiciones de fermentación a 6 metros de altura en un periodo de 24 horas.

En el presente trabajo de investigación, se aplicó solamente lo que fue la fermentación anaeróbica y se deja como aplicable la destilación solar, dado que esta destilación fue la que dio mejores resultados en lo que es el balance de energía, otorgando como libre la energía que el etanol puede proporcionar a la sociedad, es decir, la energía que el etanol puede producir por sí mismo queda libre para poder ser utilizada como combustible

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios, por haber permitido alcanzar este logro académico. De igual manera se agradece el tiempo y conocimiento aportado de los Ingenieros Luis Cerna e Alex Banegas. También, se agradece a la Ing. Lizeira Polanco por sus conocimientos compartidos, así mismo a Suyapa Sanabria y Olvin Navarro por la ejecución de análisis de laboratorio de las muestras. Y finalmente a el Ingeniero Allan Villatoro por prestarnos las instalaciones del laboratorio de Química de UNITEC.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arias, M., & Ruiz, A. (2001). *Fermentación Alcohólica de Mucílago de Café con Levadura Saccharomyces Cerevisiae*. Medellín: Estación Experimental de Pastos y forrajes Indio Hatuey.
- ASTM (2011) *American Society for Testing and Materials* (D4806). Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel
- Balcázar, Y. (2008). Desarrollo de un prototipo de destilador solar para obtener bioetanol a partir de vino de mango. Zamorano, Honduras.
- Berenson, & Levine. (1996). Estadística Básica en la Administración.
- Chinchilla, D., & Ardón, K. (2011). Obtención de etanol de aguas mieles del café de COCASJOL. *Trabajo de tesis*. Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras.
- Del Panta, L., Regie, G., & Pichado, D. (2002). Estudio de tratamiento de las aguas mieles en Salcedo Republica Dominicana.

Gómez, L., & Morales, J. N. (2006). producción de alcohol etílico a partir del mucílago del café. *Trabajo de tesis, universidad Earth*. San José, Costa Rica.

Hall, C. A., & Klitgaard, K. A. (2012). Energy and the wealth of nations, Undestading th ebiophysical economy. N.Y.: Springer.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2008). *Metodología de la Investigación*. México: Ultra.

Klages, F. (1968). Tratado de química orgánica. Berlín, Alemania: Walter de Gruiter.

Laitinen, H. A., & Harris, W. E. (1982). Análisis Químico. Editorial Reverté.

Ministerio de Salud. (Acuerdo 084). Norma Técnica para la calidad del agua potable. del 31 de julio de 1995.

OCDE-FAO. (2011). Perspectivas de la agricultura 2011-2020 OCDE-FAO

Rodríguez, N. (2009). Producción de etanol a partir de los subproductos del café. Colombia: Centro Nacional de investigaciones de Café.

Treybal, R. (1988). Operaciones de transferencia de Masa. Washinton: McGraw- Hill.

“LA REVISTA INNOVARE NO SE HACE RESPONSABLE EN NINGÚN CASO DE LOS CONTENIDOS, DATOS, CONCLUSIONES U OPINIONES VERTIDAS EN LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS, SIENDO ESTA RESPONSABILIDAD EXCLUSIVA DEL (DE LOS) AUTOR (AUTORES)”