

## The use of LabVIEW programs for the production of craft alcoholic beverage

**Juan Pablo Herrera, Victoria Padilla, Mayerllyn Moreno**

*Grupo Caña de Azúcar (GCA), Laboratorio de Investigación en Ciencias Básicas e Ingeniería (LICBI), Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira. San Cristóbal, República Bolivariana de Venezuela.  
Telf.: 0276-3532949; Fax: 0276-3532454. grupo.c.azucar@gmail.com*

### Abstract

Sugar cane has been used as raw material for the production of craft alcoholic beverages, whose manufacturing process is part of the culture of several municipalities in the Táchira state. The production of this type of alcoholic beverage has been legal since 2007; however, most of the traditional ethanol production is generated in a clandestine manner from the fermentation of the by-products of sugar cane. The artisanal producers do not use any selection criteria of distillate or product quality control; as a result, these beverages have toxic impurities which preclude their legalization. To increase product quality it is necessary to apply the selection criteria of the distillate and to determinate the ethanol concentration taking into account the conditions under which the process is developed. Therefore, the LabVIEW programs were designed to define the collection parameters of distillate and to determinate the ethanol concentration in the solution by the density, in order to remove the toxic products and facilitate the possibility of the legalization.

**Keywords:** sugar cane, distillation, ethanol, LabVIEW.

## Empleo de programas en LabVIEW para la elaboración de bebidas alcohólicas artesanales

### Resumen

La caña de azúcar ha sido empleada como materia prima para la elaboración de bebidas alcohólicas artesanales, cuyo proceso de elaboración forma parte de la cultura de varios municipios del Estado Táchira. La producción de este tipo de bebidas alcohólicas es legal desde el año 2007; sin embargo, gran parte de la producción de etanol artesanal se genera de manera clandestina a partir de la fermentación de derivados de la caña de azúcar. Los productores artesanales no emplean algún criterio de selección de destilado o control de calidad del producto, lo que genera la presencia de impurezas tóxicas en la bebida imposibilitando su legalización. Para aumentar la calidad del producto es necesaria la aplicación de criterios de selección de destilado y determinación de la concentración de etanol que tomen en cuenta las condiciones en las cuales se desarrolla el proceso. Por lo tanto, se diseñaron programas en LabVIEW que permiten a los productores definir los parámetros de recolección de destilado y determinar la concentración de la solución de etanol a partir de la densidad, con el propósito de eliminar la presencia de tóxicos en los productos y facilitar la posibilidad de la legalización de los mismos.

**Palabras clave:** caña de azúcar, destilación, etanol, LabVIEW.

### Introducción

La comercialización de bebidas alcohólicas artesanales fue legalizada en el año 2007 [1] y defi-

ne la actividad como aquellas donde se usan artes o técnicas tradicionales, en las que predomine el trabajo manual, para transformar materias primas de origen vegetal cultivadas en la República Boliva-

riana de Venezuela con el objeto de obtener bebidas alcohólicas aptas para el consumo humano.

Durante muchos años la elaboración de este tipo de bebidas ha sido llevada a cabo de manera clandestina, la ausencia de métodos de selección de destilado a través de parámetros de control, así como técnicas erradas para establecer la concentración final de etanol ha generado un producto de baja calidad, además de concentraciones de etanol superiores a los límites, lo que imposibilita su legalización.

Algunos parámetros a emplear durante la elaboración dependen de las condiciones en las cuales se lleva a cabo el proceso (presión atmosférica, temperatura, etc), es por ello que se plantea el uso de programas de fácil manejo que permitan optimizar la producción artesanal de etanol. Los programas fueron elaborados en un lenguaje de programación gráfica conocido como LabVIEW. Estos programas permitirán determinar:

- El rango de recolección de destilado basándose en los puntos de ebullición de los distintos compuestos generados en la fermentación, tomando en cuenta la presión atmosférica.
- La concentración de etanol a partir de la densidad de la muestra, así como expresar la concentración de la muestra en distintas unidades.

El uso de estos programas permitirá que el producto cumpla con las especificaciones de grado alcohólico, concentración de metanol, furfural y total de congénicos establecidos en la norma venezolana de bebidas alcohólicas [2], facilitando de esta forma su legalización.

## Parte experimental

### Conversión entre unidades de porcentaje y determinación de la densidad de distintas soluciones de etanol en agua

Para establecer la relación entre el porcentaje volumétrico y másico entre soluciones de distinta concentración y su dependencia con la temperatura, se prepararon soluciones de etanol-agua de porcentaje en volumen conocido, a distintas temperaturas y se determinó su porcentaje másico con la ayuda del alcoholímetro digital ATA-

GO PAL-34S, además de su densidad con el uso de un picnómetro de 10 mL.

### Determinación de la densidad de las soluciones

- Medir la masa del picnómetro vacío.
- Llenar completamente el picnómetro y colocar su tapón. Parte del líquido se derramará y por lo tanto se debe secar perfectamente el recipiente y el tapón por fuera.
- Medir la masa del picnómetro lleno de líquido.
- Retirar el tapón al picnómetro y sin vaciarlo vuelve a llenarlo completamente. Colocar el tapón, secar por fuera y volver a medir su masa.
- Repetir nuevamente el paso anterior hasta tener tres medidas que permitan obtener tres valores de densidad.
- Medir la temperatura del líquido.

Una vez establecida la relación entre los porcentajes en masa y volumen, la concentración y la temperatura, así como la concentración y la densidad, se diseñó el programa en LabVIEW que permite determinar la concentración de soluciones de etanol a partir de su densidad y viceversa, tomando en cuenta la temperatura, así como la conversión entre el porcentaje en masa y volumen para soluciones de concentración conocida.

### Determinación de las temperaturas de ebullición del etanol, metanol y agua

Con la finalidad de establecer de manera experimental los puntos de ebullición de los compuestos más relevantes presentes en un fermentado se realizaron destilaciones de etanol, metanol y agua, utilizando un equipo de destilación con columna. El procedimiento se detalla a continuación:

- Agregar la muestra a destilar en un balón de 250 mL.
- Abrir la válvula para el paso del agua de enfriamiento que va al condensador.
- Encender el sistema de calentamiento (manta de calentamiento).
- Registrar la temperatura y el tiempo de salida de la primera gota de destilado.

- Registrar el valor de temperatura en la cual se presenta estabilidad.
- Apagar el sistema de calentamiento.
- Detener el paso del agua de enfriamiento.
- Vaciar el destilador, una vez enfriada la solución residual.

Las temperaturas de ebullición teóricas fueron determinadas empleando la ecuación de Antoine para hallar presiones de vapor. Tomando en cuenta la presión atmosférica se determina la temperatura a la cual la presión de vapor tendrá el mismo valor que la presión atmosférica, estableciendo de esta forma la temperatura de ebullición [3].

$$\lg_{10} P^* = A - \left[ \frac{B}{T+C} \right] \quad (1)$$

donde A, B y C son constantes, parámetros empíricos que varían para cada sustancia; P\* es la presión de vapor en Bar y T, la temperatura en grados Celsius.

### Parámetros de selección de destilado

Para el proceso de destilación se emplea como punto de recolección de destilado la temperatura de ebullición del etanol. La temperatura final del proceso se fija en un valor inferior al punto de ebullición del agua, garantizando de esta forma una alta concentración de etanol en el destilado [4]. La temperatura final de recolección del destilado se fijó en 92°C [5].

### Procedimiento empleado en las destilaciones

- Colocar el líquido a destilar en el balón de 250 mL. Abrir la válvula para el paso del agua de enfriamiento que va al condensador. Encender el sistema de calentamiento (manta de calentamiento).
- Desechar el destilado obtenido antes de la temperatura de ebullición del etanol (presión atmosférica de 682 mmHg), para descartar en el destilado la presencia de sustancias más volátiles y no deseables como el metanol.
- Almacenar todo el destilado obtenido entre la temperatura de ebullición del etanol y 92°C.

- Detener la recolección de destilado cuando el termómetro indique una temperatura mayor a los 92°C.
- Apagar el sistema de calentamiento.

## Resultados

Unidades de concentración y densidad de soluciones etanol-agua a distinta temperatura

La Tabla 1 presenta el porcentaje en volumen de etanol en soluciones etanol-agua y su valor equivalente en porcentaje en masa medido con el alcoholímetro digital ATAGO PAL-34S.

La Tabla 2 presenta la densidad de soluciones de diversos porcentajes de etanol en agua medidos a distintas temperaturas.

### Determinación del rango de recolección de destilado

Con el objetivo de establecer los parámetros de destilación a emplear que nos permitan recuperar la mayor cantidad de etanol se determinó de manera experimental y teórica las temperaturas de ebullición de los compuestos más relevantes presentes en la fermentación alcohólica, como lo son el etanol, el metanol y el agua.

Las temperaturas de ebullición teóricas se obtuvieron por medio de la ecuación de Antoine.

Las temperaturas de ebullición experimentales se obtuvieron a través de destilaciones de soluciones acuosas de metanol y etanol (10 soluciones para cada alcohol de concentración 30%). Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 3.

Para evaluar la cantidad de etanol recuperado empleando el intervalo de temperatura establecido por el programa para la recolección del destilado (75- 92°C, presión atmosférica de San Cristóbal), se llevaron a cabo destilaciones etanol-agua empleando el mencionado intervalo, una vez finalizado el proceso y conociendo la cantidad inicial de etanol se determinó el porcentaje del mismo en el destilado y el porcentaje recuperado. La concentración de las soluciones es de aproximadamente 18%, ya que en un proceso de fermentación artesanal el porcentaje de etanol puede alcanzar estos valores. Esta información se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 1  
Porcentajes en masa y volumen de soluciones de etanol-agua a distintas temperatura

Porcentaje en volumen	Temp. 18 °C	Temp. 22°C	Temp. 25°C	Temp. 30°C
	Porcentaje en masa	Porcentaje en masa	Porcentaje en masa	Porcentaje en masa
0	0	0	0	0
4	3,2	3,2	3,2	3,2
8	6,4	6,4	6,4	6,4
12	9,7	9,6	9,6	9,6
16	12,9	12,9	12,9	12,8
20	16,2	16,3	16,2	16,1
24	19,6	19,5	19,5	19,4
28	22,9	22,9	22,9	22,8
32	26,4	26,3	26,3	26,2
36	29,8	29,8	29,7	29,7
40	33,4	33,3	33,2	33,2
44	36,9	36,9	36,8	36,8
48	40,6	40,6	40,5	40,4
52	44,4	44,3	44,3	44,2
56	48,2	48,1	48,1	48,0
60	52,1	52,1	52,0	52,0
64	56,2	56,1	56,1	56,0
68	60,3	60,3	60,2	60,2
72	64,6	64,5	64,5	64,5
76	69,0	68,9	68,9	68,9
80	73,5	73,5	73,5	73,4
84	78,2	78,2	78,2	78,1
88	83,1	83,1	83,1	83,1
92	88,3	88,3	88,3	88,3
96	93,9	93,8	93,8	91,0
99	98,4	98,4	98,4	98,4

La densidad de distintas soluciones de etanol obtenidas mediante la destilación, se determinó a partir de sus respectivos valores de grados alcohólicos y temperatura, empleando para ello el algoritmo diseñado en LabVIEW. La densidad de las muestras de destilado se determinó de manera práctica empleando para ello un picnómetro de 10 mL. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

### Características de los programas desarrollados

**Paneles frontales.** Los programas elaborados poseen una interfase sencilla (panel frontal) y están diseñados de tal manera que permiten introducir los datos y expresar los resultados en diversas unidades, seleccionadas por el usuario. En las Figuras 1 y 2 se puede observar los paneles frontales de los programas.

Tabla 2  
Porcentajes en volumen y densidad de soluciones de etanol-agua a distintas temperatura

Porcentaje en volumen	Temp. 18 °C	Temp. 22°C	Temp. 25°C	Temp. 30°C
	Densidad (g/mL)	Densidad (g/mL)	Densidad (g/mL)	Densidad (g/mL)
0	0,999	0,998	0,997	0,996
4	0,993	0,992	0,991	0,990
8	0,988	0,987	0,986	0,985
12	0,983	0,982	0,981	0,979
16	0,978	0,977	0,976	0,974
20	0,974	0,973	0,972	0,970
24	0,970	0,968	0,967	0,965
28	0,966	0,964	0,962	0,960
32	0,961	0,959	0,957	0,954
36	0,955	0,953	0,951	0,948
40	0,949	0,947	0,945	0,942
44	0,943	0,940	0,938	0,934
48	0,935	0,933	0,930	0,927
52	0,928	0,925	0,923	0,919
56	0,919	0,916	0,914	0,910
60	0,911	0,907	0,905	0,901
64	0,902	0,899	0,896	0,892
68	0,892	0,890	0,887	0,882
72	0,882	0,879	0,876	0,872
76	0,872	0,869	0,866	0,862
80	0,861	0,858	0,855	0,851
84	0,850	0,846	0,844	0,839
88	0,837	0,834	0,831	0,827
92	0,824	0,821	0,818	0,814
96	0,809	0,806	0,803	0,799
99	0,796	0,793	0,790	0,786

Tabla 3  
Temperaturas de ebullición teórica y experimental

	Temperatura de ebullición teórica °C (P=760 mmHg)	Temperatura de ebullición teórica °C (P=682 mmHg)*	Temperatura de ebullición experimental promedio °C
Etanol	78,3	75,5	75,0
Metanol	64,6	61,8	62,0
Agua	100,0	97,0	97,0

\*Presión atmosférica promedio de San Cristóbal.

Tabla 4  
Destilaciones de etanol en solución acuosa empleando el rango de temperatura establecido para la recolección de destilado (presión atmosférica de 682 mmHg)

	Destilación 1	Destilación 2	Destilación 3	Destilación 4
Volumen de mezcla (mL)	50,0	50,0	50,0	50,0
% V/V Etanol inicial	18,8	18,2	18,2	18,3
% V/V Etanol en el destilado	79,4	83,7	80,7	80,9
Volumen de destilado (mL)	11,0	10,4	10,6	10,8
% de etanol recuperado	92,9	95,7	94,0	95,5

Tabla 5  
Densidad de muestras de destilado medidas de manera experimental y calculada con el respectivo programa

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Concentración inicial (%v/v)	45,0	55,0	62,0
Temperatura (°C)	25,0	25,0	26,0
Densidad experimental (g/mL)	0,942	0,923	0,895
Densidad determinada con el programa (g/mL)	0,936	0,916	0,901

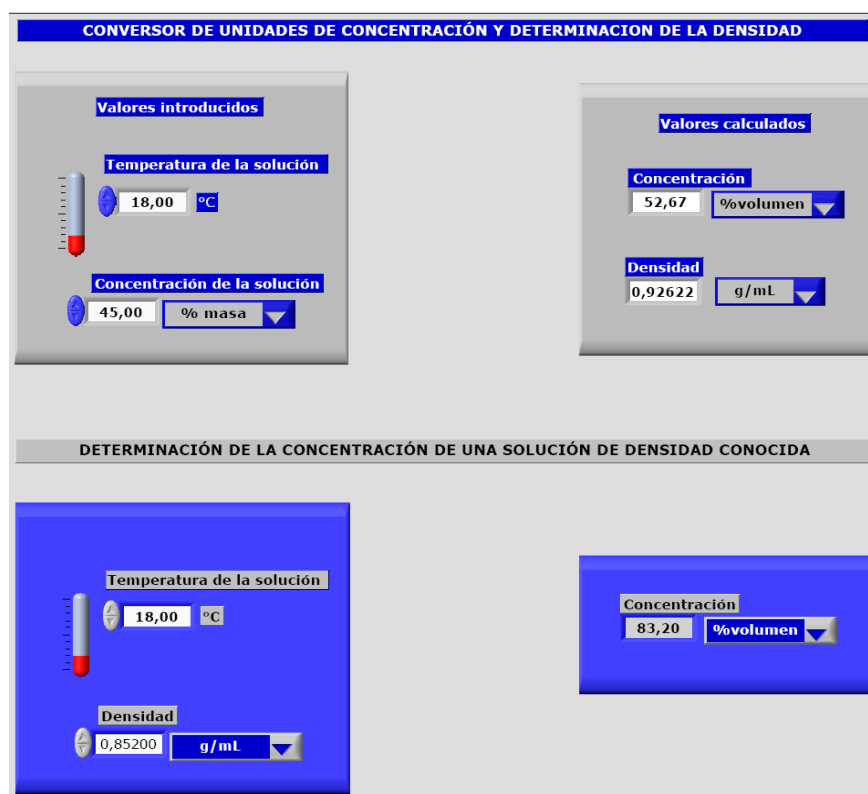


Figura 1. Vista del panel frontal del programa diseñado en LabVIEW para determinar la concentración de la solución a partir de la densidad, así como el convertidor de unidades de concentración.

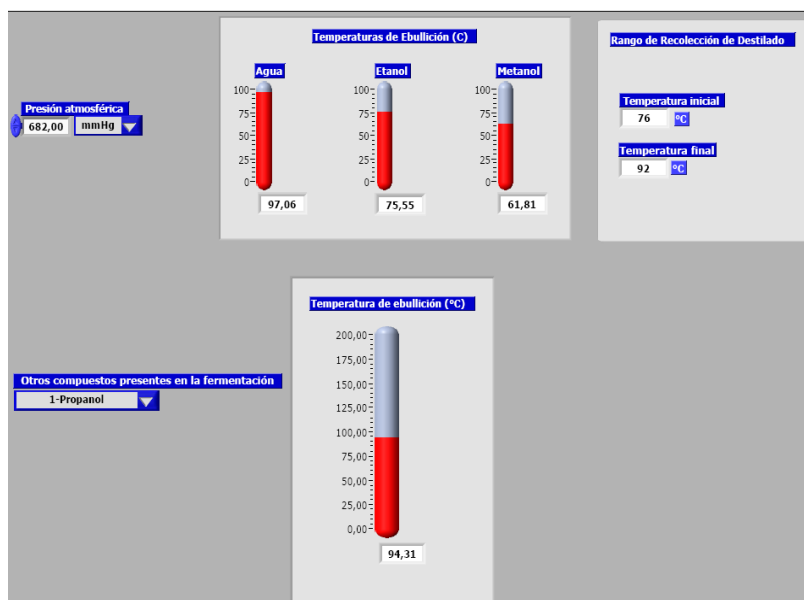


Figura 2. Vista del panel frontal del programa diseñado en LabVIEW para la determinación del rango de recolección de destilado.

Los programas elaborados están diseñados de tal forma que los datos a introducir sean coherentes con el parámetro en cuestión y para garantizar que se encuentran dentro del rango permitido, caso contrario el cálculo se detiene y a través de un mensaje se informa del error cometido.

**Diagrama de bloques.** En el programa “Concentración y densidad” (Figura 1) el diagrama de bloques está diseñado para determinar la concentración de etanol en una solución de etanol-agua, de acuerdo a su densidad, tomando en cuenta la temperatura de la misma, además de realizar la conversión entre unidades de concentración.

Los datos registrados en las Tablas 1 y 2 permiten definir las ecuaciones que representan la relación entre la concentración de la solución y su densidad, así como la conversión entre las distintas unidades de concentración y su corrección con respecto a la temperatura. El programa selecciona la ecuación a emplear de acuerdo al cálculo a realizar, las unidades introducidas y la temperatura.

El programa permite seleccionar las unidades de concentración (porcentaje en volumen o en masa) tanto en los datos introducidos como en los resultados obtenidos. Los cálculos internos de densidad se realizan empleando la concentración en porcentaje volumétrico y expresando el resul-

tado en gramos por mililitro (g/mL), realizando el programa el cambio de unidades que sea necesario.

La concentración de etanol de la solución también puede ser calculada a partir de su densidad, indicando la temperatura de la misma. El programa permite seleccionar dos unidades de densidad en los datos y en los resultados obtenidos (g/mL o kg/m<sup>3</sup>), aplicando un factor de conversión de acuerdo a la unidad seleccionada.

En el programa “Rango de recolección de destilado” se estima la temperatura de ebullición de los compuestos más relevantes presentes en la fermentación alcohólica (metanol, etanol y agua) a partir de la presión atmosférica, empleando para ello la ecuación de Antoine (1). La temperatura inicial de recolección de destilado y la temperatura a la cual se detendrá el proceso de recolección son determinadas según los criterios teóricos establecidos y los resultados son indicados claramente en el panel frontal. Adicionalmente el programa permite determinar la temperatura de ebullición de otros compuestos presentes en la fermentación alcohólica que pueden ser de interés. La presión atmosférica puede ser suministrada en cuatro unidades distintas (atm, kPA, mmHg y Bar), realizando el programa la operación necesaria para su conversión.

## Discusión de resultados

En la Tabla 1 se puede apreciar que los distintos valores de porcentaje en masa y volumen para las soluciones preparadas varían muy poco con respecto a la temperatura. Los datos obtenidos fueron empleados para establecer la relación entre estas concentraciones y permitir la conversión entre unidades por medio del programa elaborado en LabVIEW.

La densidad de las soluciones puede determinarse a partir de la concentración de etanol en la muestra y de su temperatura empleando el programa respectivo basado en los datos obtenidos (Tabla 2). El rango de temperatura empleado corresponde a los valores de temperatura ambiente de las distintas zonas donde se realiza la producción artesanal de etanol, al ingresar valores fuera de este rango (18°C-30°C) el programa indicará que estos valores no son permitidos.

En la Tabla 3 se observa como las temperaturas de ebullición teórica y experimental son muy cercanas. Esto permite definir con claridad el rango de temperatura a emplear para la obtención de etanol acuoso, separándolo de los otros compuestos generados en la fermentación con la ayuda de la ecuación de Antoine.

La temperatura inicial de recolección del destilado corresponde a la temperatura de ebullición del etanol, garantizando de esta forma la ausencia de compuestos tóxicos como el metanol [6]. La temperatura final de recolección del destilado se fijó en 92°C debido a que la cantidad de etanol recuperado entre 92 y 97°C no es significativa y la cantidad de agua obtenida en este rango disminuye la concentración de etanol en el destilado, además del tiempo empleado para llegar a esa temperatura [5].

El programa permite determinar la temperatura de ebullición de los principales compuestos generados en la fermentación empleando para ello la ecuación de Antoine, tomando en cuenta la presión atmosférica donde se lleva a cabo el proceso de destilación artesanal e indicando el rango de temperatura para la recolección de destilado (Figura 2).

Al realizar destilaciones etanol-agua empleando el intervalo de temperatura para la recolección del destilado indicado por el programa para una presión atmosférica de 682 mmHg (Tabla 4),

se observa que los porcentajes de etanol recuperado con respecto al etanol inicial fueron mayores al 90%. Cabe destacar que la concentración promedio de etanol en el destilado fue de 80 grados alcohólicos, un valor aceptable comparando los resultados de otros trabajos [7].

La discrepancia entre los valores de densidad de las muestras de destilado y los valores calculados con el programa puede ser menores si se proporcionan una mayor cantidad de datos de densidad en función de la concentración, ya que el programa calcula la densidad de la solución tomando en cuenta los datos obtenidos en la práctica (Tabla 2).

## Conclusiones

Los programas elaborados permiten determinar parámetros del proceso de producción artesanal de etanol de acuerdo a las condiciones en las cuales se desarrolla dicho proceso.

Los parámetros determinados con los programas elaborados permiten obtener un producto con características definidas (grado alcohólico, densidad y pureza), facilitando de esta forma su legalización.

Las pruebas de destilación realizadas demuestran la exactitud de los resultados arrojados por los programas diseñados.

El empleo de los programas permite mantener las características artesanales del proceso de producción de etanol, ya que define los parámetros a emplear y continúa predominando el trabajo manual.

## Referencias bibliográficas

1. Decreto con rango valor y fuerza de ley de reforma parcial de la ley de impuestos sobre alcohol y especies alcohólicas. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5852 (Extraordinario), Octubre 5, 2007.
2. Norma Venezolana COVENIN 3340: "Bebidas Alcohólicas". 1997.
3. Fontal B., Suarez T. y Delgado P.: "Líquidos y soluciones". Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Venezuela 1988.
4. Reyes A, Pardo V, Jaramillo L, Castaño J y García J.: "Producción de Alcohol a Base de



- Caña". Universidad de Los Andes. Colombia. 2004.
5. Laboratorio de Procesos de Separación: "Guía de destilación simple". Universidad Iberoamericana. México. 2008.
  6. Herrera J, Padilla V, Cárdenas M, Carrero Y y Alayon M: "Mejora del proceso de destilación artesanal para la producción de etanol". Revista Científica UNET. Vol 23. No 1 (2011) 46-52.
  7. Duca C, Fernanda A, Pelissari F, Fasolin L y Bougo T: "Produção de alcohol". Universidad de Estadual de Maringa. Brasil. 2005.

Recibido el 10 de Mayo de 2013

En forma revisada el 21 de Julio de 2014