

## **Bagazo agotado de malta, una nueva alternativa de utilización.**

**Alam M., Martínez E., Marcet M.**

Resumen:

En esta investigación se realiza un estudio sobre la posibilidad de producción de una bebida energética y ecológica a partir de subproductos de la industria cervecera. El (bagazo agotado de malta) afrecho, es el mayor residuo o subproducto de esta industria. Representa el 85 % del total de subproducto generado. El afrecho es un material lignocelulósico que contiene alrededor de 17% de celulosa, 28% de polisacáridos no celulósicos, algunos arabinosanos, y 28% de lignina. Está disponible en grandes cantidades y durante todas las épocas del año. Su principal aplicación se ha limitado a la alimentación animal. No obstante, debido a su alto contenido de proteínas y fibra (alrededor del 20% y 70% en base seca respectivamente), puede ser un adjunto atractivo para la nutrición humana. El trabajo se realizó en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Matanzas, el Centro Provincial de Servicios Técnicos de Electromedicina del MINSAP y en el Instituto de Investigaciones de la Industria Alimentaria del MINAL en Ciudad de la Habana. Básicamente el estudio consistió en valorar 3 formulaciones de bebidas utilizando el afrecho residual tratado enzimáticamente para recuperar proteínas, carbohidratos y aromas propios de la malta de cebada. Estos experimentos se desarrollaron en un macerador diseñado y construido con la colaboración del Instituto de Alimentos y automatizados en el Centro Provincial de Servicios Técnicos de Electromedicina. Se diseñó y construyó un sistema de control que permite un incremento de eficiencia y economía del macerador con el consecuente beneficio ambiental.

## **Barley spent grains, a novel alternative for its utilization.**

Summary:

In this research a study is made about the possibility of producing an energy and ecological drink from by-products of the brewing industry. Barley Spent Grains (BSG) is the largest residue or by-product of this industry. It represents 85% of the total by-product generated. BSG is a lignocellulosic material containing about 17% cellulose, 28% non-cellulosic polysaccharides, some arabinosylans, and 28% lignin. It is available in large quantities and during all seasons of the year. Its main application has been limited to animal feeding. However, due to its high protein and fiber content (around 20% and 70% in dry basis respectively); it can be an attractive adjunct to human nutrition. The work was carried out in the pilot plant of the Faculty of Chemical Engineering of the University of Matanzas, in the Provincial Center for Electromedical Services of the city of Matanzas and in the Research Institute of the Food Industry of the MINAL in Havana City. Basically the study consisted of evaluating 3 formulations of beverages using the BSG treated enzymatically to recover proteins, carbohydrates and aromas of barley malt. These experiments were

developed in a mash equipment designed and built with the collaboration of the Food Institute and automated in the Provincial Center for Electromedical Services of Matanzas. A control system was designed and built that allows an increase in efficiency and economy of the process with the consequent environmental benefit.

## Introducción

Hoy en día, existe una gran presión política y social para reducir la contaminación derivada de las actividades industriales. Casi todos los países están tratando de adaptarse a esta realidad modificando sus procesos para que sus residuos puedan ser reciclados. En consecuencia, las más grandes empresas ya no consideran los residuos como tal, sino como materia prima para ser utilizados en otros procesos. La industria cervecera genera cantidades relativamente grandes de subproductos y residuos como son, el afrecho, los residuos del lúpulo y levadura, siendo estos los más comunes. Sin embargo, como la mayoría de ellos son productos agrícolas, pueden ser fácilmente reciclados y reutilizados. Así, en comparación con otras industrias, la elaboración de la cerveza es una industria bastante respetuosa con el medio ambiente. (2017).

## La cerveza.

La cerveza es una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo que se fabrica con granos de cebada germinados (malta de cebada) u otros cereales cuyo almidón hidrolizado y aromatizado con lúpulo es fermentado en agua con levaduras y finalmente se carbonata y envasa. De ella se conocen múltiples variantes con una amplia gama de matices debidos a las diferentes formas de elaboración y a los ingredientes utilizados.

La industria cervecera produce residuales y no se queda atrás en los propósitos de aprovechar al máximo todas las potencialidades de sus materiales de desecho involucrados en el proceso, estudiando su posible utilización con el objetivo de lograr los mínimos efectos ambientales y ecológicos.

En la etapa de maceración dentro del proceso cervecero se genera bagazo de malta (afrecho) en cuya composición se encuentra presente proteínas, fibras y en menor grado almidones que no han sido degradados y su destino es preferentemente para alimento animal.

El bagazo agotado de malta o afrecho es el subproducto mas abundante, siendo aproximadamente el 85% de todos los subproductos generados por la industria cervecera.

El afrecho, como promedio es el 31% del peso original de la malta, representando 20 kg por cada 100 l de cerveza producida. Es un material lignocelulósico que contiene alrededor del 17% de celulosa, 28% de polisacáridos no celulósicos, mayormente arabinosilanos y 28% de lignina. Es muy atractivo debido a su alto contenido de proteínas y fibras, (aproximadamente 20 y 70% m/m, respectivamente).

En la literatura no se recoge información de la utilización del afrecho (bagazo de malta) en alguna etapa de maceración como materia prima dirigida a obtener una bebida alcohólica con características similares a la cerveza, utilizando básicamente la misma tecnología del proceso cervecero y así convertir este residuo en potencia en un subproducto, para otra aplicación.

De la forma en que el afrecho abandona la etapa de maceración es imposible suponer que pueda conducir a una bebida donde en realidad el éxito de su terminación esté garantizada debido al agotamiento de sus componentes, principalmente los almidones. Esto conlleva a la necesidad de añadir suplementos energéticos que sustituyan esas propiedades que tiene en déficit y esto pudiera ser resuelto a través de algún componente de origen azucarado que también sea el encargado de imprimir a la bebida alcohólica resultante ciertas características distintivas. Existe variedad de materiales que pueden ser sugeridos para esta situación sin dejar de valorar su potencialidad, disponibilidad y economía para ser nominados y decididamente establecidos.

En el presente trabajo se utilizó azúcar de caña (sacarosa) como suplemento energético de forma que el afrecho es tratado enzimáticamente con proteasas, para rescatar una cantidad de Nitrógeno Amino Libre de las proteínas residuales de este subproducto y con amilasas para recuperar pequeñas cantidades de almidones que no fueron hidrolizados en la etapa de maceración inicial.

Objetivo general:

Disminuir el efecto ambiental provocado por el bagazo agotado de malta de la industria cervecera.

Proceso productivo de elaboración de la cerveza.

La elaboración de cerveza consta de varias etapas(anexo 1). La malta de cebada es triturada a partir de un proceso de molienda. Se añade entonces agua y en un proceso gradual de incremento de la temperatura, las enzimas de la malta transforman almidones y proteínas en sus sillares estructurales. A esta etapa se le denomina maceración y al final del mismo, en un proceso de ebullición (hervidura), se adiciona el lúpulo que es el aromatizante y saborizante de la cerveza. El mosto dulce así generado se convierte en el sustrato de las levaduras las cuales, a través de un proceso bioquímico conocido como fermentación, obtiene como metabolitos finales el etanol y el CO<sub>2</sub> (Hough).

A los efectos de este trabajo, profundizamos en la etapa de maceración.

Macerador: es el equipo donde se pone en contacto el afrecho con el agua de fabricación a una temperatura previamente determinada para obtener el licor. Se trata de una operación mecánica que permite conseguir una mezcla íntima y homogénea, sin grumos, a partir de la cual se inicia el proceso de extracción

por vía enzimática. En esta etapa se produce la sacarificación, que no es más que la desaparición del almidón que se transforma en maltosa y dextrinas. El almidón remanente en la fase de maceración, se comprueba mediante la reacción con el yodo en el que a una muestra se le adicionan unas gotas y si aún existe almidón que no ha sido hidrolizado, este reacciona con el yodo y forma un complejo de color marrón oscuro que denota que la etapa no ha finalizado (Wijngaard and Arendt, 2006). Es un proceso controlado de calentamiento, para digerir y extraer proteínas, carbohidratos, y sustancias fenólicas, obteniéndose azúcares fermentables y no fermentables además de compuestos nitrogenados importantes para la nutrición de la levadura. Los errores durante esta etapa no son fácilmente corregibles y pueden hacer que el resto del proceso sea muy difícil.

En la etapa de maceración es muy importante el control de la temperatura principalmente por razones bioquímicas. En este estudio se utilizó un sistema de modulación por ancho de pulso. La aplicación de un voltaje constante a través de una resistencia produce una corriente que responde a la ley de OHM, es decir proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional al valor de la resistencia, por lo que la potencia disipada es también proporcional al cuadrado de ese voltaje dividido entre el valor de la resistencia. La retroalimentación puede ser utilizada para lograr un valor de salida que iguale al valor deseado, ahora bien, este sistema es ineficiente, ya que puede ocasionar pequeños desvíos del valor deseado, y también utilizar un exceso de energía para minimizar estos. Se puede emplear una técnica denominada modulación por ancho de pulso (Pérez, 2004, Shanefield, 2001). La señal de modulación por ancho de pulso no es constante, está en estado activo parte del periodo, y apagada, el resto. El ciclo útil  $D$  se refiere al porcentaje del periodo en el cual la señal se encuentra en estado activo. El ciclo útil puede tener cualquier valor desde cero, (en este caso la señal esta siempre en estado apagado), hasta el valor 1, en cuyo caso la señal estará activa todo el tiempo. Un ciclo útil  $D$  de un 50% resulta en una onda cuadrada perfecta. El circuito de modulación por ancho de pulso hace que una onda cuadrada de corriente continua, con una razón variable entre los estados encendido y apagado, el promedio pueda variarse entre 0 y 100%, de esta manera una cantidad variable de energía puede transferirse a la carga (Valencia, 2013, Malloney, 2006). Desde el punto de vista ambiental y de ahorro de energía, la eficiencia es siempre un factor de suma importancia.

El afrecho para este trabajo se obtuvo de la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas, Cuba. Este material conservó de forma refrigerada hasta su utilización en un freezer de laboratorio (-35°C).

Caracterización del afrecho.

- Determinación del grado de humedad.

Se tomaron muestras de aproximadamente 1g de afrecho. Se colocaron en una balanza con secado por acción de radiaciones infrarrojas (*Denver Instrument IR*

30). Las muestras se mantuvieron a 100°C hasta alcanzar un peso constante y los porcentajes de humedad se calcularon por diferencia de peso.

- Determinación de las concentraciones de celulosa, hemicelulosa y lignina por el método de hidrólisis ácida.

El afrecho (con un 10% de humedad) fue caracterizado en cuanto a los niveles de celulosa, hemicelulosa y lignina basado en la metodología descrita por (Browning, 1967) y (Rocha, 2000). Aproximadamente 2 g de muestra del afrecho, fueron transferidos a un vaso de precipitados (*beaker*) de 50 ml y se le adicionó 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72% m/m. La reacción se desarrolló en baño controlado por temperatura a 45 ± 1°C por 7 minutos con agitación constante.

Después de este tiempo, la reacción fue interrumpida por la adición de 50 ml de agua destilada y todo el contenido del vaso de precipitados (*beaker*) fue transferido cuantitativamente a un erlenmeyer de 500 ml. El volumen fue incrementado hasta 275 ml y sellado con papel de aluminio. Éste fue introducido en una autoclave y tratado a 1 atmósfera (120°C) durante 45 minutos para promover la hidrólisis completa de los oligómeros restantes.

Después, el erlenmeyer fue refrescado a temperatura ambiente y el material sólido separado de la fracción líquida por filtración utilizando papel de filtro previamente tarado. El hidrolizado fue recogido en un volumétrico de 500 ml y el sólido contenido en el papel fue lavado con agua destilada hasta enraizar el volumétrico. La lignina retenida en el papel fue lavada con 800 ml más de agua destilada y secada en estufa a 105°C hasta volumen constante. La relación entre la masa del residuo y la masa inicial fue utilizada para determinar el porcentaje de lignina insoluble en el afrecho inicial.

$$\%_{\text{lignina insoluble}} = \frac{PR * 10000}{(PA * PSA)}$$

Una alícuota de 1 ml de la fracción líquida fue filtrada por *SepPak C<sub>18</sub>* y analizada por HPLC para la determinación de glucosa, xilosa y arabinosa las cuales fueron usadas para la determinación de los porcentajes de celulosa y hemicelulosa presentes en la muestra. (Irick et al., 1988) según las ecuaciones siguientes:

$$\%_{\text{celulosa}} = \frac{Glu * 5000 * Fc * Fph}{(PA * PSA)}$$
$$\%_{\text{hemicelulosa}} = \frac{(Xil * 5000 * Fc * Fph)}{(PA * PSA)} + \frac{(Arab * 5000 * Fc * Fph)}{(PA * PSA)}$$

donde:

$F_c$  = factor de conversión (0,9 para a celulosa y 0,88 para la hemicelulosa).

$F_{ph}$  = factor de pérdida por hidrólisis (1,055 para celulosa y 1,155 para hemicelulosa).

$Glu, Xil$  y  $Arab$  = concentración de glucosa, xilosa y arabinosa, respectivamente ( $g/l$ ).

$PA$  = peso inicial da la muestra ( $g$ ).

$PR$  = peso de residuo de lignina ( $g$ ).

$PSA$  = peso seco de la muestra (%).

Para la determinación de la lignina soluble, una alícuota de 5 ml del hidrolizado fue alcalinizada con 1 ml de NaOH 6 mol hasta alcanzar un valor de pH 12, enrazada en volumétrico de 50 ml y analizada por espectroscopia UV (*espectrofotómetro Beckman DU 640B*) a una longitud de onda de 280 nm.

- Determinación del contenido de cenizas.

Para la determinación del nivel de cenizas del afrecho, se pesó en balanza analítica aproximadamente 1 gramo de la muestra. Fue colocada en cápsula de porcelana previamente tarada en una mufla eléctrica a 800°C por 2 h. Las cenizas fueron determinadas por la diferencia de pesos entre las muestras antes y después de la incineración. Antes de pesadas, las muestras fueron introducidas en una desecadora por 50 min.

$$\%_{cenizas} = \frac{PC * 100}{PA}$$

donde:

$PC$  = peso de las cenizas ( $g$ )

$PSA$  = peso seco de la muestra (%).

- Determinación del contenido de proteínas

El nivel de proteínas fue determinado como el contenido total de nitrógeno por el método de Kjeldahl, utilizando un factor de corrección N  $\times$  6,25.

- Determinación de la concentración de minerales

Las concentraciones de los distintos minerales presentes en el afrecho, fueron determinados por espectrometría de emisión atómica por ionización acoplada a plasma, en un equipo *AR-Labs modelo 3410*, después de la oxidación con ácido nítrico.

- Determinación de los °Brix

Los °Brix se determinaron refractométricamente mediante un refractómetro de mano calibrado electrónicamente para lecturas a 15°C.

- Determinación del pH

Las medidas de pH se hicieron utilizando un pH metro marca *TM4*.

- Determinación de la concentración de nitrógeno amino libre (*NAL*)

La determinación del NAL se realizó mediante el método de la Ninhidrina reportado en *Methods of Analyses of the American Society of Brewing Chemists* (2000).

Equipos utilizados:

La realización de los análisis de las muestras se efectuó utilizando una serie de equipos de laboratorios en diferentes instituciones:

- Balanza infrarroja. (*Denver Instrument IR 30*).
- Baño termostático (*MLW*).
- Autoclave de laboratorio (*BK-75*).
- Estufa (*MLW WSU 400*).
- Espectrofotómetro (*Beckman DU 640B*)
- Balanza analítica (*Sartorius*).
- Espectrómetro de emisión atómica por ionización acoplada a plasma (*AR-Labs modelo 3410*).
- Analizador de nitrógeno Kjeldahl. (*Labor*).
- Refractómetro de mano (*TM0030*).
- Freezer de laboratorio. (*Daytron*).

Se desarrollaron 6 experimentos con 5 réplicas según el siguiente diseño:

Cantidades de afrecho a utilizar en los experimentos.

| Experimentos | Afrecho de cebada (kg) | Sacarosa refina (kg) | Agua (l) |
|--------------|------------------------|----------------------|----------|
| 1            | 0                      | 6                    | 50       |
| 2            | 1.5                    | 6                    | 50       |
| 3            | 2.0                    | 6                    | 50       |
| 4            | 2.5                    | 6                    | 50       |
| 5            | 3.0                    | 6                    | 50       |
| 6            | 3.5                    | 6                    | 50       |

Fuente: (Tamayo and Marcet, 2014).

Para la investigación se utilizó el macerador que se encuentra instalado en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental de la Universidad de Matanzas, el cual tiene las siguientes características:

- Tanque circular de acero inoxidable AISI 316.
- Volumen máximo de 100 l.
- Un agitador de paleta colocado de forma concéntrica acoplado a un motor eléctrico que funciona con un voltaje de 220 V y hace girar el agitador a 100 rpm.
- El tanque está recubierto por una chaqueta del mismo material que utiliza como medio de calentamiento dos resistencias de 220 V y una potencia de 3800 W cada una.
- El macerador cuenta con un sistema de nivel visual en la chaqueta que permite ver la cantidad de agua presente en su interior, con el fin de evitar que la resistencia quede sin un recubrimiento de agua lo que provocaría la rotura de la misma.
- Posee un control de presión con el propósito de evitar un aumento excesivo de la presión dentro de la chaqueta, este consta de un presostato conectado a un control magnético que regula el encendido y apagado de las resistencias eléctricas. Cuando la presión alcanza un valor superior al valor máximo fijado en el presostato, este envía la señal para que se abra el control magnético y apague las resistencias, evitando así que pueda ocurrir un accidente que dañe el equipo y al personal que lo esté operando en ese momento.

Para los primeros trabajos realizados en la planta se utilizó un macerador no presurizado que tiene las siguientes características:

- Tanque circular de acero inoxidable AISI 316.
- Volumen máximo de 25 l.
- El tanque se encuentra sumergido en un baño de maría con un volumen aproximado de 30 l.
- Utiliza como medio de calentamiento dos resistencias de 220 V con una potencia total de 2508 W.
- El sistema se encuentra abierto al medio y se operaba de forma manual.

## Determinación del agua evaporada en los maceradores.

En este trabajo se determinan y comparan la evaporación del agua empleada como medio de calentamiento en el macerador, en sus tres variantes: con calentamiento por baño termostático, chaqueta hermética presurizada provista de control de temperatura y sin él. Estas mejoras constructivas permiten mitigar las afectaciones ambientales por calentamiento del medio circundante, consumo de agua y energía eléctrica.

La determinación de la cantidad de agua evaporada se realizó de forma práctica, para esto fue necesario medir el volumen de agua al comenzar la maceración y después de terminada la misma, la cual se dejó enfriar para medir el volumen final. La diferencia de volumen da como resultado el agua perdida en el proceso.

Costo energético por consumo de electricidad.

El costo energético del macerador, por consumo de energía eléctrica, se determina a través de las siguientes ecuaciones (Evdokimov, 1987):

- Consumo total de energía por las resistencias.

$$E = VI\theta$$

donde:

$V$  = Voltaje de la resistencia ( $W/A$ ).

$I$  = Intensidad ( $A$ ).

$\theta$  = Tiempo de encendido ( $h$ ).

- Costo por concepto de consumo de energía.

$$C_{\text{concepto de energía}} = \frac{E C_{\text{energía eléctrica}}}{v}$$

donde:

$E$  = Consumo total de energía por las resistencias ( $kW \cdot h$ ).

$C_{\text{energía eléctrica}}$  = Precio de la energía eléctrica ( $CUC/kW \cdot h$ ).

$v$  = Volumen de mosto producido.

Cálculo de las pérdidas de calor en el macerador hermético presurizado.

La estimación de las pérdidas de calor al exterior se realiza a partir de la adición del calor perdido por convección y radiación al medio las cuales se estiman a partir de las siguientes expresiones empíricas reportadas por (Kern 1999).

La radiación térmica generalmente aparece combinada con la convección, así que el calor perdido en estos casos se puede expresar como:

$$Q = Q_{conv} + Q_{rad}$$

donde:

$Q_{conv}$  = calor por convección ( $W$ ).

$Q_{rad}$  = calor emitido por radiación ( $W$ ).

Es necesario conocer los coeficientes de convección en todos los sentidos en los que se transmite el calor del equipo para esto se utilizan las siguientes ecuaciones empíricas(Kern, 1999):

Para cilindros verticales:

$$h = 0.4 \left( \frac{\Delta T}{d_0} \right)^{0.25}$$

Para placas horizontales emitiendo hacia abajo:

$$h = 0.2(\Delta T)^{0.25}$$

Para placas horizontales emitiendo hacia arriba:

$$h = 0.38(\Delta T)^{0.25}$$

donde  $\Delta T$  ( $^{\circ}F$ ) es la diferencia entre la superficie caliente y el fluido frío (en este caso aire) y  $d_0$  es el diámetro exterior en pulgadas.

En el caso del macerador con baño termostático no presurizado, solo se utilizaron las ecuaciones para cilindros verticales y placas horizontales emitiendo hacia abajo, esto se debe a que es un sistema abierto.

El calor transferido por convección se puede calcular según:

$$Q_{conv} = hA(T_w - T_{\infty})$$

donde:

$h$  = es el coeficiente de transferencia de calor por convección ( $W/m^2K$ ).

$A$  = es el área de la superficie donde ocurre la transferencia ( $m^2$ ).

$T_w$  y  $T_\infty$  = representan las temperaturas de la pared y del medio que rodea el objeto respectivamente ( $K$ ).

El calor que es emitido por radiación se calcula mediante:

$$Q_{rad} = F_a F_b A_e \sigma (T_w^4 - T_a^4)$$

Siendo  $F_a = 1$ ,  $F_b = \epsilon$  (emisividad del material),  $A_e (m^2)$  es el área expuesta,  $T_w (K)$  es la temperatura de la pared del macerador y  $T_a (K)$  es la temperatura del aire.

Resultados y discusión.

En siguiente tabla se puede apreciar un discreto aumento en los °Brix. Este ligero incremento se debe al aumento de los niveles de azúcares fermentables debido a la acción de la enzima  $\alpha$  amilasa sobre la porción de almidones remanentes en el afrecho, al aumento de la concentración de NAL por acción de la papaína sobre la proteína presente en el afrecho y por otras sustancias que pudieran ser de naturaleza inorgánica y que, al estar disueltos en el mosto, son también detectados en la medición.

Valores promedios.

| Experimentos | Valores promedios °Brix |                     |                       |
|--------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
|              | Inicio de maceración    | Final de maceración | Final de fermentación |
| No 1         | 12.0                    | 12.0                | 6.2                   |
| No 2         | 12.1                    | 12.2                | 6.0                   |
| No 3         | 12.2                    | 12.3                | 5.9                   |
| No 4         | 12.3                    | 12.4                | 4.4                   |
| No 5         | 12.4                    | 12.6                | 3.5                   |
| No 6         | 12.6                    | 12.7                | 2.9                   |

Las levaduras para su acción necesitan valores óptimos de pH, temperatura y concentraciones apropiadas de azúcares (importantes para la obtención de energía) y nitrógeno (muy importante para la síntesis de proteínas).

En la siguiente tabla se puede observar como en los experimentos 5 y 6 se observa un incremento significativo en la concentración de NAL, que coinciden con que los valores de °Brix decaen bruscamente llegando a entrar dentro de los rangos de valores normados para la fermentación de mostos cerveceros.

Comparación de valores promedio del NAL y el pH en cada experimento.

|                 | Afrecho de cebada (kg) | Valores promedios |     |
|-----------------|------------------------|-------------------|-----|
|                 |                        | NAL (mg/l)        | pH  |
| Experimento No1 | 0                      | 13                | 4.1 |
| Experimento No2 | 1.5                    | 28                | 4.3 |
| Experimento No3 | 2.0                    | 68                | 4.2 |
| Experimento No4 | 2.5                    | 109               | 4.3 |
| Experimento No5 | 3.0                    | 154               | 4.8 |
| Experimento No6 | 3.5                    | 186               | 5.3 |

Comparando los valores obtenidos en los experimentos 5 y 6 donde se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a Nitrógeno amino libre (NAL) y pH con los valores normados en (ALAFACE, 2009) se obtiene la siguiente tabla:

Comparación de los valores obtenidos con los normados.

| Parámetros                              | Evaluación |            | Valores normados |
|---|------------|------------|------------------|
|   | Exp. No. 5 | Exp. No. 6 |                  |
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )           | 0.9815     | 0.9325     | 0.9 - 1.05       |
| pH                                      | 4.8        | 5.3        | 3.0 – 5.5        |
| Acidez Total (% de ácido láctico)       | 0.1        | 0.3        | 0.1 – 0.4        |
| Grado alcohólico (°GL)                  | 4.0        | 5.2        | 4.0 – 6.0        |
| Concentración de CO <sub>2</sub> (%p/v) | 2.1        | 2.0        | 2.0 -3.5         |
| Amargor (B.U.)                          | 22         | 19         | 5 – 70           |
| Color (°Brand)                          | 0.30       | 0.35       | 0.3 – 0.4        |

Dentro de la tabla comparativa el experimento número 6 es el que posee valores más cercanos a la media dentro de la norma.

En las siguientes tablas se puede apreciar los resultados de la caracterización del afrecho:

Concentración de distintos componentes realizados por la

Universidad de Matanzas.

| Componente   | % m/m |
|--------------|-------|
| Celulosa     | 15.78 |
| Hemicelulosa | 27.42 |
| Xilosa       | 18.98 |

|               |       |
|---------------|-------|
| Arabinosa     | 8.44  |
| Lignina total | 26.76 |
| Cenizas       | 5.60  |
| Proteínas     | 17.25 |
| Extractivos   | 7.19  |

|           |        |
|-----------|--------|
| Minerales | mg/kg  |
| Calcio    | 3309.0 |
| Sodio     | 515.3  |
| Potasio   | 295.1  |
| Magnesio  | 1588.0 |
| Aluminio  | 39.0   |
| Hierro    | 163.4  |
| Bario     | 13.6   |
| Estroncio | 11.7   |
| Magnesio  | 52.4   |
| Cobre     | 17.0   |
| Zinc      | 188.0  |
| Fosforo   | 5806.0 |
| Azufre    | 1918.0 |

Como puede apreciarse, este material tiene una concentración importante de elementos que funcionan como cofactores de reacciones enzimáticas.

Evaluación sensorial de la bebida obtenida.

Para la evaluación sensorial de la bebida se seleccionaron 10 expertos los cuales fueron seleccionados según su experiencia en el tema, teniendo en cuenta sus publicaciones sobre esta temática, productores reconocidos, jefes de laboratorios de investigación, directivos de plantas piloto, miembros del Simposio Internacional de Producción de Alcoholes y Levaduras (SIPAL).

La mejor bebida (no.6) de las producidas se evaluó por el método de Kendall y se comparó con dos cervezas de producción nacional:

Ubicación de las cervezas según las características.

| Características          | Ubicación |          |           |
|--------------------------|-----------|----------|-----------|
|                          | Primera   | Segunda  | Tercera   |
| Dulzor                   | Exp, No 6 | Mayabe   | Bucanero  |
| Amargor                  | Mayabe    | Bucanero | Exp. No 6 |
| Grado de CO <sub>2</sub> | Mayabe    | Bucanero | Exp No 6  |
| Color                    | Bucanero  | Mayabe   | Exp No 6  |
| Aroma                    | Mayabe    | Exp No 6 | Bucanero  |

Comparaciones relacionadas con las pérdidas de agua y energía de los maceradores:

Macerador presurizado sin el control de temperatura.

| Agua evaporada | Valor | Porcentaje | Unidad |
|----------------|-------|------------|--------|
| Chaqueta       | 2     | 5.1 %      | Kg     |
| Mosto          | 15    | 18.8 %     | Kg     |

Macerador presurizado con el control de temperatura.

| Agua evaporada | Valor | Porcentaje | Unidad |
|----------------|-------|------------|--------|
| Chaqueta       | 0.5   | 0.62 %     | Kg     |
| Mosto          | 15    | 18.8 %     | Kg     |

En estas se puede ver como hay un ahorro de 1.5 l de agua destilada en la chaqueta, la cual representa el 3.75 % del volumen total de la chaqueta.

Los primeros experimentos se llevaron a cabo en el macerador no presurizado, donde los valores del consumo de agua durante el proceso se muestran en las siguientes tablas:.

Pérdidas de agua en el macerador no presurizado.

| Agua evaporada | Valor | Porcentaje | Unidad |
|----------------|-------|------------|--------|
| Chaqueta       | 4     | 16.0 %     | Kg     |
| Mosto          | 5     | 23.8 %     | Kg     |

Este macerador posee características muy elementales al no contar con un aislamiento térmico y al no tener una cubierta, este está expuesto a una evaporación constante a la atmósfera. Al no tener control de temperatura llega la temperatura de la chaqueta al punto de ebullición por lo que se incrementa aún más las pérdidas de agua.

Comparación energética.

La comparación energética realizada a los maceradores se encuentra en las siguientes tablas:

Datos obtenidos del macerador presurizado.

|  |         |          |
|--|---------|----------|
| Tiempo de encendido de la resistencia    | 135     | Min      |
| Intensidad                               | 34.2964 | A        |
| Voltaje                                  | 220     | V        |
| Consumo energético                       | 16.9    | kW.h     |
| Costo de energía eléctrica               | 0.12    | CUC/kW.h |
| Costo por concepto de consumo de energía | 0.040   | CUC/l    |

Datos obtenidos del macerador no presurizado.

|  |       |          |
|--|-------|----------|
| Tiempo de encendido de la resistencia    | 205   | Min      |
| Intensidad                               | 11.4  | A        |
| Voltaje                                  | 220   | V        |
| Consumo energético                       | 8.57  | kW.h     |
| Costo de energía eléctrica               | 0.12  | CUC/kW.h |
| Costo por concepto de consumo de energía | 0.049 | CUC/l    |

El consumo de energía en el macerador presurizado es numéricamente mayor debido a que el volumen de mosto a calentar es de 50 l que es 2.5 veces mayor que el no presurizado, sin embargo, el consumo de energía eléctrica solamente se incrementa aproximadamente 2 veces lo que muestra la mayor eficiencia del macerador presurizado sobre el no presurizado, teniendo esto un efecto beneficioso desde el punto de vista energético y ambiental ya que se está utilizando un volumen mayor de afrecho y una menor cantidad de energía.

En cuanto a las pérdidas de calor se aprecia en la siguiente tabla que son considerablemente menores en el presurizado que en el no presurizado debido a las condiciones de diseño de la chaqueta y el aislamiento térmico.

Pérdidas de calor.

| Macerador      | Calor total emitido kJ | Calor total perdido kJ | %    |
|----------------|------------------------|------------------------|------|
| No presurizado | 30852,0                | 5832,9                 | 18,9 |
| Presurizado    | 86937,0                | 710,0                  | 0,8  |

## CONCLUSIONES.

- Es posible producir una nueva bebida ecológica y económica con características similares a la cerveza a partir del afrecho de malta.
- El afrecho de malta es un subproducto sostenible ya que se obtiene continuamente en el proceso de elaboración de la cerveza, fiable para la elaboración de bebidas por los nutrientes que posee y reutilizable.
- Se puede obtener una bebida aceptable empleando 3.5 kg de afrecho de cebada, 6 kg de azúcar refinado y 50 litros de agua, con características similares a cervezas comercializadas en el país.
- La bebida obtenida presenta aspecto transparente, libre de turbidez con aroma de lúpulo, olor y sabor característico a cerveza, color parduzco y excelente espuma.
- Se instaló un control de temperatura por modulación de ancho de pulso, que permitió mejoras en el proceso de maceración, ahorros energético directos e indirectos y beneficios ambientales.
- El presente trabajo constituye una importante propuesta para ser

implantada en las cervecerías ya que se ahorra en tiempo, transporte, energía y calidad con el consecuente beneficio ambiental.

## Bibliografía

ALAFACE 2009. Norma de la Asociación Latinoamericana de Fabricación de Cerveza.

Evdokimov 1987. Fundamentos teóricos de electrotecnia.

Hough, J. S. Biotecnología de la Cerveza y de la Malta. In: EDICIÓN, R. (ed.) Ciencia y Tecnología de los alimentos.

Kern, D. Q. 1999. Procesos de transferencia de calor, Mexico, McGraw Hill Book Company, INC.

Irick, T. J., West, K., Brownell, H. H., Schwald, W. & Saddler, J. N. 1988. Comparison of colorimetric and HPLC techniques for quantitating the carbohydrate components of steam-Treated wood. Applied Biochemistry and Biotechnology, 17, 137-149.

Malloney, T. 2006. Electrónica industrial moderna., Prentice Hall., Pearson.

Pérez, M. G. 2004. Instrumentación Electrónica., Spain.

Poonam Singh Nigam . An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewery . Faculty of Life and Health Sciences, Ulster University, Coleraine, Northern Ireland, UK

Shanefield, D. 2001. Industrial Electronics for engineers, Chemist and Technicians. Rudgers University Noyes Publications.

Tamayo, M. & Marcet, M. 2014. Escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación. Tesis de Diploma, Universidad de Matanzas.

Valencia, H. G. 2013. Fundamentos de Electrónica Industrial., Universidad Pontificia Bolivariana.

Wijngaard, H. H. & Arendt, E. K. 2006. Optimisation of a Mashing Program for 100% Malted Buckwheat. The Institute of Brewing&Distilling, 112, 57-65.

