

Merma en la producción de ron durante su añejamiento y su relación con las condiciones ambientales de la solera

Idania Blanco Carvajal^{1*}, Eric Estrada Medina¹, Oscar Vanella² y Rodrigo Gabriel Bruni²

1. Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE). Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Vía Blanca, No.804 y Carretera de Central. San Miguel del Padrón, La Habana. Cuba.

* idania.blanco@icidca.azcuba.cu

2. Laboratorio de Investigación Aplicada y Desarrollo (LIADE). Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

RESUMEN

El presente trabajo fue desarrollado con el objeto de estudiar la posible relación entre las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y la merma en el proceso de añejamiento del ron en una solera del Centro de Referencia de Alcoholes y Bebidas (CERALBE) que pertenece al Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Ambas variables físicas fueron medidas en forma ininterrumpida, durante catorce meses; así como las pérdidas de volumen de producto, en una muestra de barriles estibados en anaqueles que poseen una distribución vertical, de cinco niveles. Luego se procesaron estadísticamente los datos obtenidos. Como resultado del análisis, se distinguió la existencia de tres poblaciones diferenciadas de producto, cada una de ellas en correspondencia con la altura de almacenamiento de los toneles que la integran. A la vez, se observó una relación de las pérdidas con las variables ambientales consideradas.

Palabras clave: ron, merma, añejamiento, ambiente.

ABSTRACT

The present work was carried out to study the possible relation between environmental conditions (temperature and humidity) and the reduction in the rum aging process in solera of the Reference Centre for Alcohols and Beverages (CERALBE) belonging to the Cuban Institute of Research of the Derivatives of Sugar Cane (ICIDCA). Both physical variables were measured uninterrupted for fourteen months, as well as the losses of product volume, in a sample of barrels stowed in raquets that have a vertical distribution of five levels. The results were statistically processed as a result of the analysis of the existence of three distinct populations of product, each corresponding to the storage height of the barrels that make up the product. At the same time, a relation of the losses with the environmental variables considered.

Key words: rum, reduction, aging, environment.

INTRODUCCIÓN

El ron es una bebida alcohólica que procede de los destilados que se obtienen a partir de los mostos fermentados de los jugos y melazas, de la fabricación del azúcar de caña y sus mezclas, añejados convenientemente, en barriles de madera de roble blanco, por un tiempo determinado.

Antiguamente, para lograr el añejamiento de los rones, se utilizaban barriles de roble que descansaban en los calados subterráneos, donde el propio terreno era capaz de mantener una tem-

peratura estable durante todo el año, de 12 a 15 °C, humedad relativa entre 70 y 90 %, calidad del aire óptima, por tratarse de lugares naturales y donde la renovación del aire se realiza a través de chimeneas. Pero los calados naturales para el añejamiento en barriles están limitados en número y, crear nuevos, resultaría costoso para las bodegas.

En la actualidad, se hace necesaria la construcción de naves de barriles en la superficie. Nace aquí la necesidad de crear, artificialmente, las condiciones atmosféricas necesarias, con el fin de lograr calidad en los rones y, además, evitar las mermas que disminuyan los rendimientos en la producción de las bodegas (1).

Desde la antigüedad, se emplean los barriles como contenedores de las diferentes bases, que se utilizan para la fabricación de los rones, el roble fue la madera con mejores propiedades para su construcción. El roble no solo sirve para almacenar y conservar los destilados o bases, sino que modifica sus características, de forma que se habla de crianza o añejamiento; además, de conservación. Durante el añejamiento ocurren diferentes procesos físicos y químicos, con la ocurrencia de reacciones químicas de oxidación, hidrólisis y formación de ésteres, así como procesos físicos, como la extracción de los componentes de la madera y la evaporación.

Una propiedad característica de la madera es que, cuando se humedece, cambia de tamaño, en este caso se hincha; mientras que, al secarse, se contrae. Esta característica influye en el proceso de añejamiento de las bases alcohólicas en barriles, dado que, a medida que el barril pierde líquido y la tapa se queda sin contacto con la mezcla hidroalcohólica, se seca y se contrae, y tiende a agrietarse, creando fisuras por las que se pierden vapores hidroalcohólicos. Por lo tanto, para que el barril no se dañe, debe mantenerse lleno de líquido y evitar que se seque.

Durante el proceso de añejamiento del ron, se producen pérdidas o mermas de producto, popularmente conocidas como la porción del Ángel (2,3). De ahí el interés por estudiar la merma en el volumen de ron durante su añejamiento en relación con las condiciones ambientales existentes en la solera. Las condiciones pueden variar según la temperatura y la humedad que exista en los locales (4,5). En este proceso, las bebidas contenidas en toneles de roble experimentan pérdidas de agua, etanol y otros componentes volátiles, a través de las duelas que conforman el tonel y, en ocasiones, por pequeños derrames. Este efecto tiene mayor influencia en toneles más viejos y, por consiguiente, que se hayan regenerado un número mayor de veces (3 como máximo) (6, 7).

El objetivo fundamental de este trabajo es estudiar la merma en el volumen de ron durante su añejamiento en relación a las condiciones ambientales (temperatura y humedad) existentes en la solera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer el efecto que tienen las condiciones ambientales sobre el volumen de ron se midieron la temperatura y humedad relativa dentro de la bodega. Se escogieron tres puntos de la solera del CERALBE (centro y extremos), y se midieron los toneles del 1er, 3er y 5to nivel, para evaluar las pérdidas en relación con la posición y la altura de estos. Se muestrearon 45 toneles que almacenan diferentes bases alcohólicas.

Se instaló un dispositivo de medición de temperatura y humedad relativa ambiente marca HOBO, modelo H08-003-02, con registrador de datos en la solera del CERALBE, que brinda la posibilidad de medir la temperatura y la humedad relativa de toda la bodega. Con este, pueden realizar hasta 7 944 mediciones y permite la recuperación de los datos de campo de forma digital, la temperatura en grados Celsius, y la humedad relativa en porcentaje de agua, en el aire, con respecto a la máxima cantidad que admite. Este equipo se colocó fijo dentro de la bodega.

Ambas variables físicas fueron medidas en forma ininterrumpida, durante catorce meses. Los toneles se hallan almacenados en 5 anaqueles, que poseen una distribución vertical de 5 niveles cada uno, tal como se muestra en la figura 1. El dispositivo de medición fue instalado sobre las duelas de uno de los barriles del nivel más elevado del anaquel, en las cercanías del tapón que se utilizó para el llenado/vaciado de la barrica, y del techo de la solera (figura 2).



Figura 1. Distribución de toneles en anaqueles.



Figura 2. Ubicación del dispositivo de medición, sobre las duelas de uno de los barriles del nivel más elevado del anaquel y en las cercanías del tapón, que se utilizó para el llenado/vaciado de la barrica y del techo de la solera.

Los toneles contienen 5 productos con diferentes concentraciones de alcohol y se encuentran distribuidos aleatoriamente en la solera. Con la medición de las variables ambientales, de forma simultánea, registraron las pérdidas de producto en toneles seleccionados, de los niveles superior, medio e inferior de la solera.

Superior	68	72	74
Medio	58	61	44
Inferior	48	51	38
Inferior	75	78	81
Medio	89	92	95
Superior	103	106	109
Superior	29	32	35
Medio	15	19	21
Inferior	1	4	7
Inferior	110	112	114
Medio	120	122	124
Superior	130	132	134
Superior	155	157	159
Medio	145	147	149
Inferior	135	137	139

Figura 3. Muestras seleccionadas para el estudio dentro de la solera.

En la figura 3 se expone la muestra seleccionada. Los barriles 19, 21 y 159 fueron excluidos del estudio, ya que el registro de los datos relativos a su contenido fue interrumpido por razones de producción (8).

Los datos obtenidos fueron procesados estadísticamente mediante la utilización del software Microsoft Office Excell 2007 y MathLab R2018a (MATLAB & Simulink Student Version - Release 2018a) (9).

Luego del análisis estadístico se realizó el siguiente planteo de hipótesis:

H0: Las pérdidas totales producidas en cada tonel, son iguales a la media obtenida.

H1: Las pérdidas totales producidas en cada tonel, no son iguales a la media obtenida.

Para demostrar la validez de H0, se realizó un experimento con las siguientes características:

- Se decidió subdividir la muestra en 3 subgrupos, cada uno de ellos conformado por los barriles ubicados en los niveles superior, medio e inferior, respectivamente.
- Se estableció como aceptable una probabilidad de error, al rechazar H0, cuando esta es cierta de $\alpha = 0.01$.
- Se aplicó el método ANOVA (Análisis de la Varianza) para determinar si todos los toneles pueden considerarse de una misma población o de poblaciones diferentes; y así, sostener o rechazar H0. Luego, se aplicó el mismo método para determinar si cada uno de los 5 productos almacenados, podía ser considerado como un conjunto independiente, dentro de los subgrupos: superior, medio e inferior. Finalmente se realizó un análisis de correlación entre las pérdidas de volumen de producto y las variables físicas medidas.

Las mediciones se realizaron durante un período de casi dos años, todos los meses, partiendo del conteo del 100 % de los productos, que se realizó en el mes de diciembre, antes de empezar los años de estudio y se reflejaron las pérdidas por meses y los porciento que representan, de acuerdo con el volumen que tengan en cada caso. Se estudia el factor tiempo con la pérdida de volumen.

Para medir el volumen del líquido dentro de los toneles, se siguió el procedimiento PH-R/IT-04 "Procedimiento para la contabilidad y control de existencia en bodegas de roneas, que tiene establecido el CERALBE, que se basa en la ley de vasos comunicantes y en la elaboración de modelos empíricos que relacionan el volumen de líquido disponible en el tonel, con la altura de una de sus caras. El procedimiento es válido para toneles almacenados en posición horizontal, aceptablemente nivelados. La introducción del procedimiento requiere de la habilitación de los siguientes recursos:

1. Regla graduada en milímetros con no menos de 50 cm de longitud.
2. Manguera flexible y transparente de 2 m de longitud, conectada a tubo rígido de metal de 20 cm de longitud. El diámetro interior del sistema podrá ser de 5 mm aproximadamente.
3. Registro en forma de tabla con la relación de toneles, número de identificación, tipo de contenido y su volumen (180, 200 L).

Existe un rango de error asociado a la lectura del volumen y las principales fuentes de error, en este procedimiento, se reflejan a continuación:

Error a: Error inherente a la lectura de la altura del volumen del líquido, debido a:

- Error visual del operador, al leer. Error en la variabilidad del método.
- Ligeras inclinaciones de la sección recta de la varilla de lectura.

Error b: Error inherente a las diferencias entre toneles debido a:

- La clasificación de los toneles, por su volumen, responde a datos de adquisición sobre la base de volúmenes aproximados establecidos, por los fabricantes y no a un volumen exacto.

- Toneles categorizados de igual capacidad poseen volúmenes diferentes por diferencias en la curvatura de las duelas, diferencias ligeras en diámetro o altura, etc.
- Mala clasificación de toneles en lo concerniente a su volumen.

Para el cálculo del volumen del líquido que contienen los toneles, se aplicó el programa Solera 2.0: Gestión de bodegas de añejamiento. El programa se encuentra instalado en el área experimental de producción de rones Bodegas Vigía, perteneciente al CERALBE (10).

Se tomaron los datos de temperatura diaria, cada una hora, en los meses correspondientes a las etapas de invierno y verano, para medir la influencia de la temperatura en el proceso de añejamiento y su relación con las pérdidas.

Se realizaron mediciones del grado de alcohol del contenido de los 45 toneles seleccionados. En este caso, se estudió si existen variaciones en este parámetro, debido a las pérdidas. Para estas lecturas se necesitó la disponibilidad de alcohómetros (en ocasiones, el uso de densímetro digital), termómetros certificados, así como las tablas adecuadas para la corrección, tanto del grado, como del volumen de alcohol con la temperatura.

Todos los datos recolectados para este estudio se realizaron por triplicado.

RESULTADOS

Con la data recopilada durante el tiempo de estudio, se confeccionaron las tablas con un diseño establecido para facilitar el análisis posterior de los datos. En la tabla 1 se muestra un ejemplo de cómo se recogieron los datos para todos los toneles en estudio.

A continuación se presentan las mermas totales en volumen por tonel, ocurridas durante el período de estudio (figura. 4).

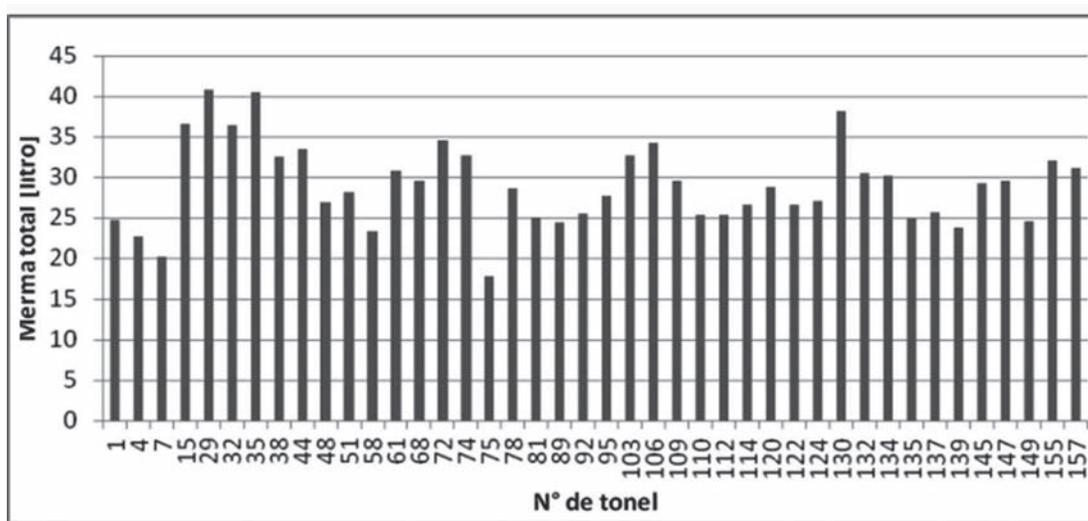


Figura 4. Mermas totales en volumen por tonel ocurridas durante el período de estudio.

De la aplicación del método ANOVA, se muestran los resultados en la tabla 2.

Los resultados de los análisis de correlación entre las pérdidas de volumen de producto en cada subgrupo y las variables físicas medidas se muestran en la tabla 3.

DISCUSIÓN

Al realizar el estudio estadístico de estos resultados, se determinó que la media de las pérdidas por tonel existente en la solera habían sido de 29.05 litros por barril.

Tabla 1. Datos recopilados para cada uno de los toneles estudiados (ejemplo para el tonel 1)

No. tonel	Producto	Raquet	Horizontal	Vertical	Fecha	Volumen (L)	Grado (°GL)	Temp. (°C)	Humedad (%)
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	03-feb	187.71	72.60	27.25	---
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	04-mar	187.45	72.70	26.55	---
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	02-abr	186.40	72.70	27.05	---
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	05-may	185.30	72.70	30.00	---
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	04-jun	184.23	72.90	28.77	---
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	15-jul	182.83	72.80	33.00	---
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	03-sep	180.79	73.67	31.33	---
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	09-oct	179.60	72.90	32.35	54.17
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	05-nov	177.15	73.40	26.36	52.88
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	10-dic	175.57	73.50	23.82	43.75
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	08-ene	175.57	73.10	24.66	54.83
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	18-feb	173.96	73.30	24.08	63.84
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	03-abr	173.30	72.90	30.06	45.15
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	05-may	171.64	72.75	29.39	53.65
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	02-jun	171.31	72.70	30.07	57.09
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	03-jul	169.96	72.50	37.00	47.00
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	08-sep	166.84	72.70	37.00	43.80
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	06-oct	165.42	72.90	37.00	46.00
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	04-nov	164.35	73.20	30.16	51.00
1	Agte	3	Piso	Izquierdo	08-dic	162.91	73.40	25.48	74.00

Tabla 2. Resultados de la aplicación del ANOVA a los datos de pérdidas de producto por barril

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	538.6266	2	269.3133	19.8537	1.13097E-06	5.1944
Dentro de los grupos	529.0303	39	13.5649			
Total	1067.6569	41				

Tabla 3. Análisis de correlación entre las pérdidas de volumen en cada subgrupo

	Superior		Medio		Inferior	
	Temp.	Humedad	Temp.	Humedad	Temp	Humedad
Coef. de correlación	0.404	-0.207	0.3560	-0.173	0.309	-0.109
Coef. de determinación	0.164	0.043	0.130	0.030	0.095	0.012

Los resultados del experimento realizado para determinar si se podían identificar diferentes poblaciones de toneles asociadas a la ubicación vertical de los barriles fueron positivos. Así, de la aplicación del método ANOVA, tabla 2, se infiere que existen 3 conjuntos de barriles, los ubicados en las cercanías del techo de la solera, los que se hallan en el nivel medio y los localizados sobre el piso. Los grupos de barricas reconocidos fueron denominados superior, medio e inferior respectivamente.

También, al aplicar el método ANOVA a cada uno de los subgrupos identificados, no se advierte que la composición (fórmula) establezca diferencias significativas entre las mermas de volumen, correspondientes a los 5 productos almacenados en la solera.

Dado que los coeficientes de correlación son positivos y distintos de cero, se puede afirmar que existe correlación lineal positiva entre las pérdidas de producto y la temperatura en la solera. También es posible afirmar que existe una correlación lineal negativa de las mermas con la humedad relativa del ambiente de la solera. Ambos resultados (tabla 3) confirman que el componente principal de las mermas se debe al efecto de evaporación en las barricas (1).

No obstante, en ambos casos, podría decirse que la correlación resulta débil dado que el valor absoluto de dicho coeficiente es menor que 0.5; hecho que se corrobora al analizar los coeficientes de determinación ya que, por ejemplo, el más elevado corresponde a la relación merma/temperatura de la muestra de barriles, ubicados en la parte superior de la solera y es de 0.164, lo que significa que sólo el 16.4 % de las pérdidas puede explicarse por la acción de la temperatura ambiente.

Al comparar los coeficientes de correlación de los conjuntos de barriles superior, medio e inferior, se observa que, tanto para la temperatura como para la humedad, estos decrecen en valor absoluto, a medida que disminuye la altura, lo que presupone la existencia de gradientes en la distribución de los valores alcanzados por ambas variables físicas, dentro de la solera. Debido a que los coeficientes de determinación se comportan de igual manera, es factible deducir que los espacios inferiores de la solera proveen un ambiente en el que las mermas pueden ser mejor controladas y son más independientes de las citadas variables.

Al analizar los perfiles de temperatura y humedad se puede observar que la humedad es inversamente proporcional a la temperatura (figura 5). Este comportamiento es el mismo para todos los casos en estudio.

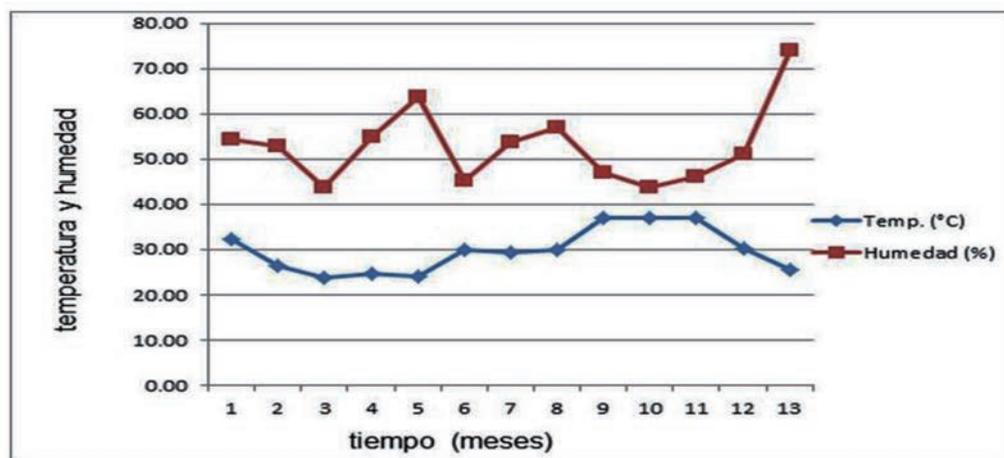


Figura 5. Perfil de temperatura y humedad por tonel.

Se pudo comprobar con el transcurso del tiempo, que el volumen de los toneles, cualquiera que fuera su posición, iba disminuyendo. En la figura 6 se observa la conducta del volumen del líquido del tonel que comienza con 180 litros y, al término del estudio, solo quedaban 160 litros, faltaban 20 litros en total, para más de un 11 % de pérdida. La correlación entre la merma de producto (volumen total de producto evaporado) con la variable temperatura y humedad, existe pero es débil para ambos casos.

La figura 7 ilustra la variación del grado alcohólico de las bases almacenadas, con la variación de la temperatura y la humedad de la bodega, el cual indica que no existen diferencias significativas en el comportamiento del grado alcohólico de los diferentes productos (formulaciones) analizadas.

La observación de las variaciones de grado y volumen de los toneles estudiados, con respecto a la posición de los mismos dentro del panel, evidenció (figura 8) que existen diferencias significativas

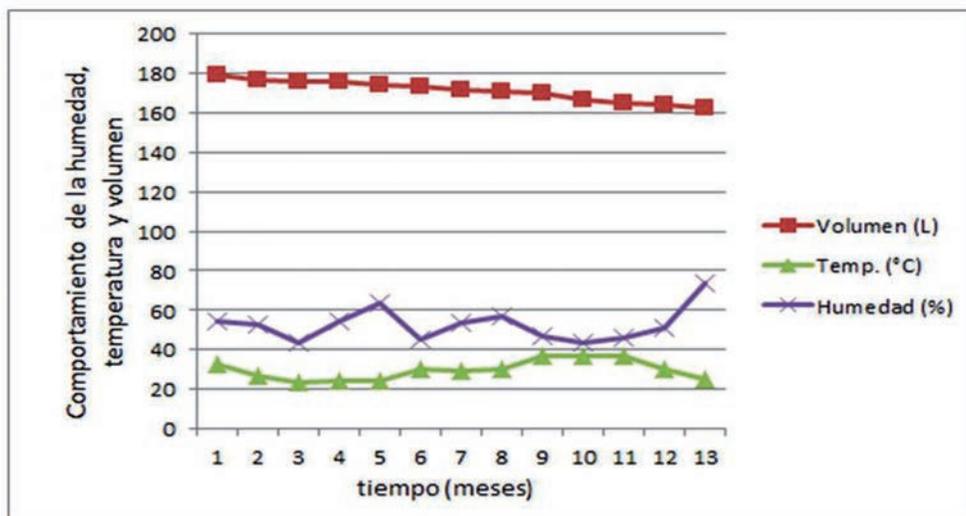


Figura 6. Perfil de temperatura, humedad y volumen en el tiempo de estudio.

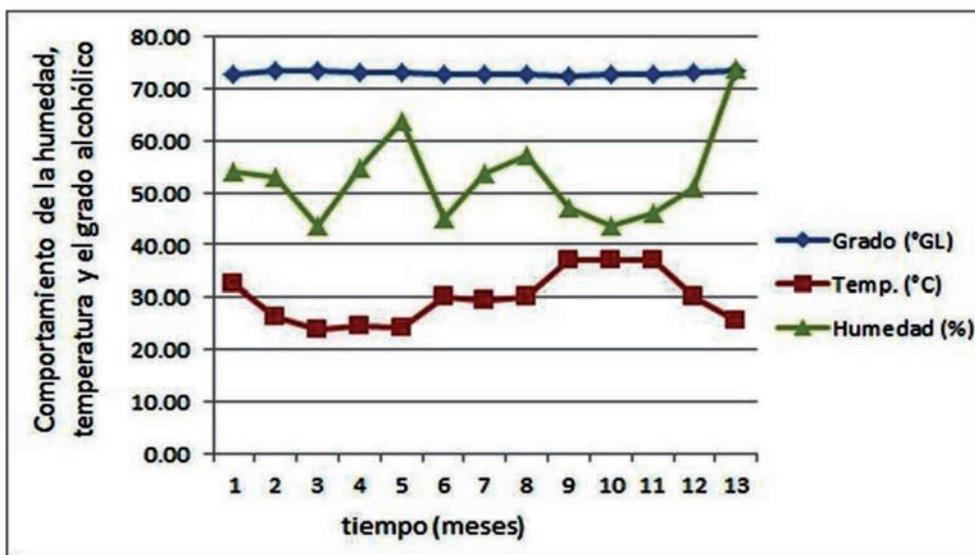


Figura 7. Perfil de temperatura, humedad y grado alcohólico en el tiempo de estudio.

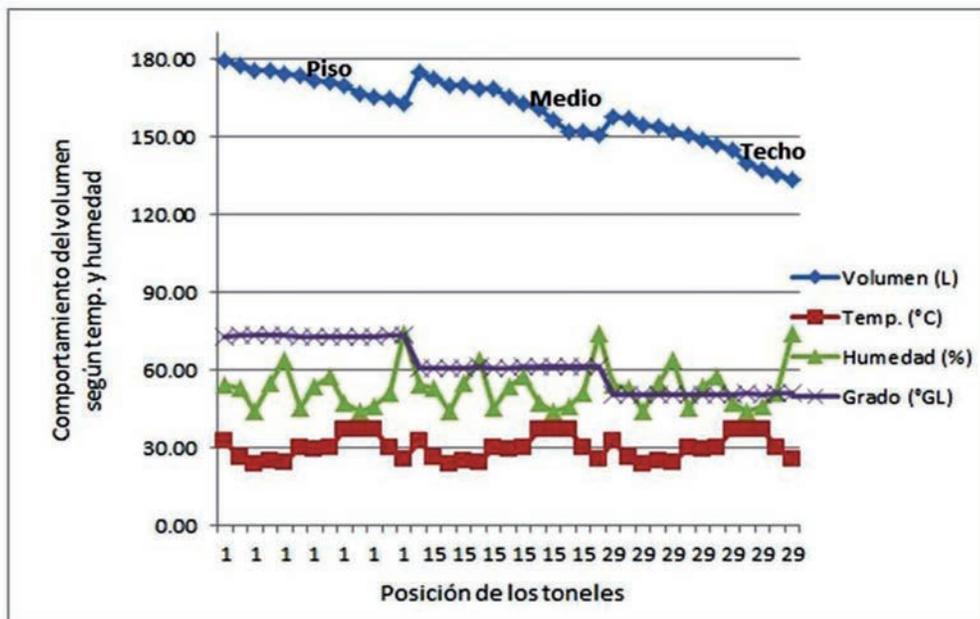


Figura 8. Pérdidas o mermas en volumen del líquido con respecto a la posición de los toneles o barricas dentro del panel.

que distinguen a los toneles o barricas que están cerca del piso, los que están al medio y los que están cerca del techo, como poblaciones diferentes. Se puede visualizar el aumento de la merma, a medida que se almacena en un nivel más cercano al techo. Por esta razón, se concluye que la temperatura es una de las principales causas de merma, por evaporación; debido a que, a mayor temperatura mayor energía disponible para evaporar. También se tiene un rango de error asociado a la lectura del volumen, donde las principales fuentes de error, en este procedimiento, se reflejaron en los materiales y métodos del trabajo.

Se pudo comprobar que en el proceso de evaporación el líquido dentro del barril, se rige por las condiciones en que se encuentre el aire (humedad) y la posición del tonel dentro de la bodega. En la figura 8, se observa que cuando predomina un aire seco se promueve mayor evaporación de agua mientras que en un aire saturado de agua (mayor humedad) se evaporará el alcohol, observándose los menores valores de grado alcohólico.

El cambio de grado alcohólico es un efecto de la humedad relativa sobre el proceso de evaporación. En principio, es lógico pensar que el grado debe disminuir debido a que la presión parcial del alcohol es mucho menor que la del agua lo que se traduce en una mayor facilidad para la evaporación del alcohol. Sin embargo, un aumento del grado alcohólico se puede confundir con una generación de alcohol, lo cual puede parecer un error en las mediciones. Lo que ocurre es una concentración que cambia la composición relativa de alcohol en la mezcla, y por tanto, el grado alcohólico. Es decir, se debe verificar bajo qué condiciones se encuentran los barriles para que pueda ocurrir el aumento del grado alcohólico.

CONCLUSIONES

- Se logró observar el efecto que tiene la temperatura y la humedad sobre las mermas. La temperatura es el principal factor que promueve la evaporación del líquido; y la humedad relativa en la bodega, es el factor que altera el grado alcohólico del líquido dentro del barril.
- De la aplicación del método ANOVA se infiere que existen 3 conjuntos de barriles con diferentes resultados relacionados con las mermas, los ubicados en las cercanías del techo de la solera, los que se hallan en el nivel medio y los localizados sobre el piso.
- Del análisis de la correlación entre las pérdidas de volumen, en cada subgrupo, se infiere que las mermas en los toneles no están relacionadas con la fórmula del producto que contienen y que existe una correlación lineal positiva entre las pérdidas de producto que contienen.
- Se debe realizar una caracterización de la distribución espacial de las variables ambientales dentro de la solera, para poder iniciar acciones de control sobre las mermas del volumen de producto almacenado.

RECOMENDACIONES

Realizar otros estudios de pérdidas enfocados a cada etapa del proceso de producción, a fin de poder evaluar correctamente los volúmenes producidos contra los comercializados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blanco, I. Aplicación de la metodología y análisis preliminar de los resultados de las mermas. Fábrica 1. Informe de investigación parcial. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 2017.

2. Marcano, J. E. El Ron: envejecimiento u añejamiento Consultado el 07 de marzo de 2016 [<http://www.jmarcano.com/mipais/economia/ron4.html>].
3. Hall, D.W.; Lamb, B. Holzapfel, J. Louis. Optical remote sensing applications in viticulture a review. Australian Journal of Grape and Wine Research, Vol. (8), 36-47. 2002.
4. Capiello, E. Informe Técnico realizado a la empresa C.A. Ron Santa Teresa, Capítulo IV. "Procesamiento y Añejamiento". 2007.
5. Cárdenas, R. E. Informe de pasantía "Reducción del porcentaje de merma de etanol en el proceso de añejamiento para la elaboración de ron". Universidad Simón Bolívar, Septiembre de 2008.
6. Rafael, J.P.; Fernández, C. "Evaluación del método de relleno de barriles en whisky. Boletín Técnico. Ins. De Investigaciones para la Industria Alimenticia de Cuba. Ciencia y Tecnología de las Bebidas Alcohólicas (II), v. 33, pp 29-36.1989.
7. Rico, P.E. Reducción del porcentaje de merma de etanol en el proceso de añejamiento para la elaboración de ron [Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Químico]: Universidad Simón Bolívar; 2008.
8. Bertozzi, J D; Vanella, O R; Bruni, R G; Blanco Carvajal, I.; Faillaci, S M, Giordano, J E. Estudio de la merma en la producción de ron durante su añejamiento en relación a condiciones ambientales de la solera. CICTA-13. XIII Conferencia Internacional sobre Ciencia y Tecnología de los Alimentos. La Habana, Cuba. 2016.
9. MATLAB & Simulink Student Version - Release 2018a. <http://www.mathworks.com/support/sys-req/sv-2018a/?requestedDomain=www.mathworks.com>. Consultado el 8 de marzo de 2018.
10. Díaz, A.; Blanco, I.; Capote, M. Solera 2.0: un software para la gestión y control de bodegas de añejamiento. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar (La Habana). Vol. 46. No.2 (mayo-agosto). pp. 3-11. 2012.