

Diseño, construcción y operación de una planta para la elaboración de bacanora a escala semi-industrial

Moreno-Salazar, S. F.^{1*}, Valdez-Guerrero, K. B.², Rentería-Martínez, M. E.¹, Rodríguez, J. C.¹, Ochoa-Meza, A.¹ y Guzmán-Ortíz, J. M.³

¹ Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.

² Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad de Sonora.

³ Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora.

*Autor para correspondencia: smoreno@guayacan.uson.mx

RESUMEN. El bacanora, elaborado a partir *Agave angustifolia*, es la bebida tradicional por excelencia de Sonora. Actualmente toda la producción es limitada y de origen artesanal. En este trabajo se diseñó, construyó y se puso en operación una planta a escala semi-comercial. El dimensionamiento se realizó fijando 50 L de bacanora por turno de operación como base de cálculo, para lo cual se requiere iniciar con 984 Kg de agave crudo. Estimando un rendimiento de 17.88 Kg de agave /L de bacanora. Se realizó el diseño volumétrico y mecánico de los equipos. Se diseñó y construyó un molino vertical de cuchillas, para el desgarramiento de fibras y extracción del jugo de agave cocido en una misma operación. Se construyó una autoclave con capacidad para 1000 Kg de Agave, un fermentador con capacidad para 500 L de jugo y un destilador batch con capacidad de 350 L. Todo el equipo se instaló dentro de un plan coordinado de operación, el cual incluyó: una bomba de desplazamiento positivo y un manifold de tubos y válvulas (para la carga y descarga de líquidos a los diferentes equipos), un controlador OCS (Operation Control Station para operar y monitorear automáticamente la cocción, fermentación y destilación) y un Centro de Control de Motores (CCM). Las corridas de experimentales en esta planta permitieron obtener un producto organolépticamente similar al bacanora artesanal y con propiedades fisicoquímicas dentro de la NOM-168-SCFI-2004.

Palabras clave: bacanora, *Agave angustifolia*, industrialización.

SUMMARY. Bacanora, made from *Agave angustifolia*, is the traditional alcoholic beverage of Sonora. Currently all production is low and of artisanal origin. In this work, a plant in semi-commercial scale was designed, built and put into operation. To sizing, a basis for calculation of 50 L of bacanora per batch and 984 kg of raw agave were fixed. A

yield of 17.88 kg of agave /L of bacanora. Volumetric and mechanic equipment designs were performed. A ripper to cut the fibers, which operate with flow water for extract the agave juice, was built. An autoclave up to 1000 kg of Agave, a fermenter with a capacity of 500 L of juice and a batch distiller with a capacity of 350 L, were built. All equipment was built in stainless steel and installed in a coordinated plan of operation, which included: a positive displacement pump and a manifold of pipes and valves (for loading and unloading of liquids to different equipments), a controller OCS (Operation Control Station) to operate and automatically monitor the cooking, fermentation and distillation and a motor control center (MCC). Experimental runs yielded a similar beverage to traditional bacanora, with physicochemical properties according to NOM-168-SCFI-2004.

INTRODUCCIÓN

El bacanora es la bebida típica por excelencia de Sonora. Su origen ha sido atribuido a la cultura ópata; ya que se dice, que los ópatas fueron los primeros habitantes del estado en elaborar y consumir las bebidas fermentadas de maguey. Los primeros testimonios acerca de la destilación de bacanora se ubican entre 1756 y 1767 durante la colonización española, gracias a manuscritos redactados por algunos misioneros jesuitas que llegaron y se establecieron en esta región, perteneciente en aquel entonces a la Comarca de la Nueva Vizcaya.

En el año de 1899 a solicitud del Gobierno Federal, se realizó un censo acerca de las fábricas de bebidas alcohólicas existentes en Sonora y en la relación, que fue publicada hasta 1901, se registraron 68 productores diseminados en la mayor parte del territorio y la totalidad se dedicaban a la fabricación de destilados de agave (AHGES, 1901).

Sin embargo mas adelante, el 8 de Agosto de 1915 se decretó la prohibición de la manufactura y comercialización de bebidas alcohólicas en Sonora. Esta "Ley seca", hizo que desaparecieran las plantas destiladoras y se castigara severamente a los productores de bacanora. A pesar de ello, la producción de esta bebida continuó, aunque en forma clandestina y en pequeña escala. Esto ocasionó que la industria del bacanora no se desarrollara tecnológicamente ni comercialmente, como en el caso de otros destilados de agave (tequila y mezcal).

En 1963 en el Diario Oficial de la Federación se publicó el Reglamento Sanitario de Bebidas Alcohólicas y dentro del capítulo III relativo a bebidas alcohólicas destiladas, se reconoció al bacanora como una bebida regional; a pesar ello y debido a la costumbre la elaboración de bacanora permaneció sancionada. No fue sino hasta 1992, cuando se dio su legalización, por considerarlo como un detonante económico potencial para las zonas serranas de Sonora, catalogadas entre las más económicamente deprimidas de la entidad (BOGES 1992).

A la fecha se han desarrollado tres trabajos de investigación en torno a la elaboración de bacanora: a) Estudio para la selección de la tecnología de producción de bacanora (*Canizales-Curiel*, 1995), b) Análisis y optimización del proceso a escala piloto para la elaboración de bacanora, una bebida típica de Sonora" (*Moreno-Salazar et al.*, 1998) y c) Diseño preliminar del equipo necesario para la elaboración de bacanora (*Rongel-Cedano*, 2004)

Para completar la información requerida para el despegue de la industria del bacanora, es preciso escalar la información generada previamente a nivel laboratorio y planta piloto y después llevar a cabo la construcción de una planta de mayor tamaño, que trabaje bajo un esquema coordinado de operación y controlando las principales variables en las diferentes etapas del proceso. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue diseñar y construir y operar una planta semi-comercial de elaboración de bacanora y estandarizar el proceso a generando un producto de calidad que cumpla con los requisitos de la norma oficial mexicana del bacanora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bases del diseño

Tomando en cuenta las etapas del proceso tradicional, además de las condiciones de elaboración a laboratorio y a escala piloto, se diseñó y construyó una planta con capacidad para producir 50 L de bacanora por cada 8 h de procesamiento.

Brevemente, el proceso tradicional comienza con la cosecha manual de la planta (operación conocida como Jima). Para esto, las hojas se separan hasta dejar sólo la parte basal del tallo, que se conoce como la cabeza o piña. Las cabezas de *Agave angustifolia* provenientes de plantas maduras normalmente pesan entre 10 y 30 kg.

Debido a que se utilizan plantas con diferentes grados de madurez y contenido de azúcares, el rendimiento de alcohol es variable. La segunda operación es la cocción. Al igual que en la época prehispánica, piñas se cuecen dentro de un hoyo adomado con piedras y lodo, en el cual previamente se enciende una hoguera con leña. Cuando la leña se ha convertido en brasas, se agregan las cabezas, se tapa el hoyo y se deja cocer por 48 h. En el tercer paso las cabezas cocidas se muelen para desgarrar las fibras. Enseguida, el producto fibroso obtenido se fermenta. La fermentación se realiza en otro hoyo, cuyas paredes están cubiertas con piedra y cemento. A medida que se agrega la fibra, se apisona y se humedece con agua. Luego se tapa el agujero y se deja en reposo para que se lleve a cabo una fermentación anaeróbica mediante la acción de levaduras silvestres. Esta etapa dura de 72 a 168 horas, dependiendo de la temperatura externa. En el siguiente paso, la fibra fermentada se somete a una primera destilación, usando un destilador rudimentario. Dos fracciones de destilado son colectadas: vino y colas. El vino se pasa a una segunda destilación usando el mismo destilador y se recogen tres fracciones. Los medios de la segunda destilación se mezclan con una porción de las colas de la primera destilación a fin de obtener el bacanora (Moreno-Salazar, *et al* 2012 en prensa).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño y construcción de autoclave

Se sabe que la inulina es el principal polisacárido de las plantas del género *Agave*. Esta molécula es un fructano que debe ser hidrolizado a moléculas simples de fructosa, con el fin de hacerlas disponibles para la etapa de fermentación. El método más común en la industria para lograrlo es el cocimiento.

Para realizar esta operación en el proceso de elaboración de bacanora planteado, se propuso el uso de un autoclave a presión, usando como medio de calentamiento llama directa proveniente de un quemador. Algunas características de este equipo son: forma es cilíndrica vertical, construido de acero inoxidable t-304, con lamina c-12 y tapas de placa de 3/16", con chaqueta para evitar pérdida de calor, de 2" de espesor con lana mineral como aislante. Con un niple de 2" para descarga de mieles y otro de 1" para entrada de agua. El cilindro descansa sobre dos silletas y la forma de cierre se con tapa bridada con sistema de cierre

hecho con esparrago de 5/8" y tuerca mariposa. La capacidad máxima del equipo es 1 ton de agave crudo. Cuenta con un quemador en la parte inferior, pero también con entrada opcional para suministro de vapor directo. Cuenta con manómetro y termómetro para medir temperatura y presión, así como sensores y un circuito para el control exacto de dichas variables, que también sirve para la operación y seguridad en el manejo de gas.

Diseño y construcción de equipo de molienda y extracción de jugo

Se decidió usar un equipo que pudiera realizar simultáneamente las operaciones de desgarramiento de fibras y extracción de jugo mediante agua de imbibición.

Las especificaciones del equipo construido son cuerpo de lámina calibre 10 acero # SS-304, capacidad para 1 ton/h, equipado con: motor de 10 HP, 220V/3 fases, cedazo de lámina calibre 10 con perforaciones de 1/2 pulg en SS-304, incluye tina móvil colectora de jugo, con filtro malla removible fabricado en lámina calibre 16 SS-304 y prensa hidráulica.

Diseño y construcción del fermentador

La fermentación es el proceso en el cual, los azúcares se transforman en alcohol etílico, por esto, es una de las etapas más importantes en la elaboración del bacanora, ya que durante este proceso se generan además, los compuestos que determinan la calidad del producto y sus propiedades organolépticas. Como todo tipo de fermentación alcohólica, este proceso es anaeróbico.

En este proceso se parte de jugo y mieles ajustadas a 11 °Brix. El inóculo es el 8% del volumen total de la carga. La operación toma 72 horas en concluirse y se manteniendo una temperatura constante de 27 °C.

Una vez llevada a cabo la fermentación, el jugo fermentado contiene alrededor de 2.3 °Brix, 4.11% alcohol en volumen y 3.27% en peso. Esta carga de jugo se pasa a la etapa de destrozamiento en donde se separan tres fracciones de destilado.

Las especificaciones del equipo de fermentación son: construido en lámina SS-304 calibre 14, capacidad máxima de 500 L de líquido más espacio de cabeza de 1/3 de la capacidad de volumen a fermentar. Cuenta con: chaqueta de calentamiento o enfriamiento para mantener temperatura de operación desde 12 hasta 35 °C. Drenaje para limpieza de 4 pulg en el fondo del equipo con válvula mariposa. Entrada de jugo de 3/4 de pulg y salida del líquido fermentado de 1 pulg. Entrada superior para mantenimiento y limpieza y mirilla de 10 cm de diámetro para supervisión ocular del proceso de fermentación y 3 puntos de muestreo.

Está acoplado con moto reductor de ½ HP trifásico con paletas intercambiables y adaptado con sensores RTD para el control automático de la temperatura, usando un controlador electrónico programable con el software libre *Cscape*.

Diseño y construcción del destilador

Las especificaciones son: cuerpo construido en lámina SS-304 calibre 12 con capacidad de 350 litros por lotes. Capacidad en modo continuo 350 l/h. Equipado con: quemador de 200 000 BTU de gas LP, torre de platos para una operación continua, removible para operar por lotes tipo alambique. Adaptado para operación manual y para operación automática a través de sensores de temperatura RTD programados a través de un controlador electrónico que usa el software libre *Cscape* y el controlador electrónico miniOCS con entradas analógicas digitales y un módulo de relevadores para el control y operación de los diferentes dispositivos.

Operación de la planta piloto

Pesado de las cabezas de las cabezas cortadas

Se pesa una se carga de 300 a 500 kg de Agave para cargar el autoclave. Dependiendo de la cantidad de carga, se agregará la mitad de agua (p/v).

Cocimiento en autoclave automatizada

Tomando como referencia las pruebas de cocimiento a escala laboratorio, de laboratorio, se realizaron dos corridas para evaluar la cinética de conversión de azúcares reductores en el autoclave de la planta. Las corridas se realizaron a 110 °C, comprobando que después de 12 h de tratamiento se obtuvieron porcentajes de conversión de azúcares reductores, superiores al 95%. Ese tratamiento fue el elegido para continuarse usando en todas las corridas en esta planta. Después de las primeras 2 horas de tratamiento, se descarga y se desecha el líquido, el cual es conocido como mieles amargas. Se vuelve a cargar con agua y se termina de cocer por 10 horas más. Al final las mieles resultantes del cocimiento se envían al fermentador.

Molienda y extracción de jugo

Para la molienda en húmedo, antes de iniciar, el carrito recolector de jugos se llena con agua hasta la mitad y se procede a alimentar los trozos de agave cocido al molino. Durante el desgarrado de las fibras se da también la lixiviación de azúcares.

El bagazo se alimenta a una prensa hidráulica tipo pistón, para terminar su extracción. El jugo saliente de la prensa se alimenta también al carrito recolector.

Una vez que el jugo alcanzó una concentración de 8 a 10 °Brix, se bombea hacia el fermentador. De esta manera se están enviando lotes de jugo con estas concentraciones de El hecho de estar trabajando con *Agave angustifolia* de origen silvestre, hace que la materia prima sea muy variable en cuando a sus tamaños, índices de madurez y contenidos de azúcar, por lo que es difícil determinar con exactitud los rendimientos en la extracción de jugo. Sin embargo el jugo extraído si se puede estandarizar a niveles de 8 -10 °Brix. Al final del proceso de extracción la fibra residual queda con menos del 0.2% de sólidos solubles.

Fermentación

Para la fermentación se preparó un inóculo correspondiente al 8% del volumen total de jugo a fermentar. El conteo de levaduras en el inóculo fue de 5×10^7 . La fermentación dura 96 horas a 27 ± 1 °C.

Destilación por lotes

Debido a que aún la disponibilidad de materia prima es muy limitada, únicamente se probó la destilación por lotes (batch).

Recolección de fracciones destiladas en base a su contenido alcohólico

Independientemente del rendimiento en volumen, se estandarizó la cantidad de las fracciones destiladas a recolectar, en base a su grado alcohólico (°GL). El grado alcohólico de las fracciones se muestra en la tabla siguiente

	Cabezas	Medios	Colas
Primera destilación	65	24	16
Segunda destilación	75	55	12

Estandarización del bacanora

Usando fracciones colectadas en ambas destilaciones, y después de probar varias mezclas, se formuló un producto a 47 ° GL, de acuerdo a las características de aroma y sabor

deseados, similar a las de un producto artesanal y con un contenido de metanol <300 ppm dentro de los parámetros que indica la Norma oficial Mexicana Bacanora.

LITERATURA CITADA

- Archivo Histórico del Gobierno del Estado de Sonora (AHGES). 1901. Tomo 1663. Exp. 9 y 10. Hermosillo, México.
- Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Sonora (BOGES). 1992. Oficialía Mayor. Ley No. 119. Tomo CXLIX, No.51, secc. I. 25 de Junio. Fe de Erratas. Tomo CL, No.7. 23 de Julio. Hermosillo, México.
- Canizales, C. G. 1995. Estudio para la selección de la tecnología de producción de bacanora. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Sonora.
- Moreno, S. S. F., Cervantes, F. E. y Canizales, C. G. 1998. Biotecnología Piloto para la Elaboración de Bacanora una Bebida Típica de Sonora. Memorias del Symposium Internacional Sobre la Utilización y Aprovechamiento de la Flora Silvestre de Zonas Aridas. Hermosillo. Sonora. México.
- Moreno, S. S. F., Robles, Z. R. E., Rentería, M. M. E., Guzmán, O. J. M., Rodríguez, J. C. Cesar and Ochoa, M. A. 2012. Advances in Knowledge regarding *Agave angustifolia* Haw. for Bacanora Production: The Pride, Tradition and Culture of Sonora, México. Journal of Arid Environments (en prensa).
- Rangel, C. L. 2004. Diseño preliminar del equipo necesario para la elaboración de bacanora. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Sonora.