

Capítulo 19

Implementación de un proceso de producción de piloncillo a nivel piloto como estrategia de capacitación de recursos humanos especializados

Abigail Reyes Munguía, Diana Beatriz Muñiz Márquez, Heriberto Ramírez Cathí y Jorge Enrique Wong Paz

Resumen

Este trabajo se enfocó en la implementación de una planta piloto de producción de piloncillo en el Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, con el propósito de definir parámetros que tienen impacto en el proceso de producción, así como de lograr la capacitación de recursos humanos enfocada en la elaboración de piloncillo. En el presente proyecto se implementó una planta piloto para la elaboración de piloncillo desde la construcción de la paila y el horno. Posteriormente, se instruyó a estudiantes para producir piloncillo: estos recolectaron la materia prima, extrajeron el jugo de la caña de azúcar y lo concentraron hasta formar piloncillo; dicha capacitación se evaluó por medio de informes técnicos. De acuerdo con los resultados, se logró la producción de piloncillo a partir de caña de azúcar cultivada en la región Huasteca, del estado de San Luis Potosí. Durante el proceso de producción, se detectó que la temperatura de evaporación del jugo tuvo un impacto significativo en la coloración final del piloncillo. Por otra parte, los estudiantes que recibieron la capacitación del proceso de elaboración de piloncillo lograron adquirir conocimientos y habilidades técnicas, lo que permitió la formación de recursos humanos especializados. Se recomienda establecer un control estricto de la temperatura, el pH y el tiempo durante el proceso de producción de piloncillo.

para garantizar su estandarización, así como continuar con las capacitaciones técnicas de estudiantes en procesos de elaboración de productos agroalimentarios.

Palabras clave: jugo de caña, producto agroalimentario, condiciones operacionales

Introducción

El piloncillo se define como un producto agroalimentario que resulta de la evaporación del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.); es rico en azúcares, por lo que se considera un edulcorante alternativo a la sacarosa. En ciertas regiones se lo denomina “azúcar morena” o “mascabado” (Martínez-González et al., 2019). La agroindustria panelera se ha insertado gradualmente en los mercados agrícolas; sin embargo, a nivel mundial, la producción de piloncillo se sigue dando en la ruralidad, de manera tradicional y artesanal. En Latinoamérica, los países productores de piloncillo son Colombia, Brasil, México, Guatemala, Venezuela, Haití, Perú, Ecuador, Honduras, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Bolivia y Argentina (Cuevas Reyes et al., 2017). En México, la producción de piloncillo es fluctuante, debido especialmente a que existen limitaciones en la mecanización del proceso; es decir, el piloncillo se elabora con una nula tecnificación y sin una regulación normativa aplicable al producto, si bien, por ejemplo, se cuenta con la Norma Mexicana NMX-F-596-SCFI-2016, sobre especificaciones y métodos de prueba, y con la Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, sobre la higiene e inocuidad alimentaria (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2009; Dirección General de Normas, 2016).

Aunado a esto, la producción del piloncillo es poco sustentable, debido a que aún no se ha logrado la estandarización del proceso de producción y tampoco se han definido las características idóneas para el producto elaborado; sin embargo, a pesar de esto, se estimó una producción anual de 30.000 toneladas

en 2017, siendo los principales estados productores San Luis Potosí, Veracruz, Nayarit y Colima (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018). En el estado de San Luis Potosí, la producción de piloncillo representa una de las principales fuentes económicas de pequeños productores y, en algunos casos, se ha llegado a convertir en el único sustento económico de las familias; además, ya que se estima que existen alrededor de 5.000 productores piloncilleros, esta actividad se considera de gran importancia (Cuevas Reyes, 2017). Entre los municipios productores de piloncillo en el estado de San Luis Potosí, se encuentran Tanlajás, San Antonio, Tancanhuitz de Santos, Tamazunchale, Huehuetlán, Tampamolón, Aquismón y Coxcatlán, todos pertenecientes a la región Huasteca. Sin embargo, la producción en estos municipios sigue siendo artesanal, posiblemente por la falta de recurso humano capacitado para la elaboración estandarizada de piloncillo.

Ciudad Valles es el municipio de la Huasteca potosina con mayor número de habitantes y mayor oportunidad de formación de recursos humanos a nivel universitario, gracias a la presencia de un gran número de instituciones de educación superior. En este sentido, gran parte de la población joven de los municipios productores de piloncillo se ve en la necesidad de migrar a Ciudad Valles para su formación universitaria. Por lo tanto, el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles optó por atender la necesidad de capacitar a estudiantes en materia de producción de piloncillo, con la finalidad de que adquirieran conocimientos para retribuir a sus familias con la mejora de los procesos de producción de piloncillo y, como consecuencia, contribuir a la economía familiar derivada de esta actividad. El objetivo de este trabajo fue implementar una planta piloto de producción de piloncillo en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles para definir los parámetros que impactan en el proceso de producción y lograr la capacitación de recursos humanos especializados.

Metodología

Implementación de una planta piloto para la producción de piloncillo

Se implementó una planta piloto para el proceso de producción de piloncillo en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. Para obtener el taller de industrialización de la caña de azúcar (planta piloto), se adecuó un taller especial de la industria alimentaria —el cual cuenta con paredes compuestas de azulejo blanco—, y se instaló el trapiche, dotado con masas de acero inoxidable grado alimenticio y un motor eléctrico de la marca Siemens, monofásico, de tres caballos de fuerza y una eficiencia nominal de 127 V. Por otra parte, se construyó la paila (evaporador abierto), cuyas dimensiones fueron de 2,5 m de largo, 0,7 m de ancho y 0,25 m de altura, con una capacidad de volumen máximo de 457 L; el material que se utilizó para la construcción de la paila fue acero inoxidable con espesor de 0,5 pulgadas. El horno fue construido en el exterior del taller, a base de ladrillo rojo de barro horneado, con dimensiones internas de $0,7 \times 2,53$ m; para su construcción, se utilizaron mallas de alambre y líneas de ladrillo de arcilla con una chimenea (3 m de altura) de acero inoxidable. En la figura 19.1 se muestran el diseño del horno y la chimenea final. Al respecto, de los dos hornos que se tenían contemplados, se concluyó la construcción de uno.

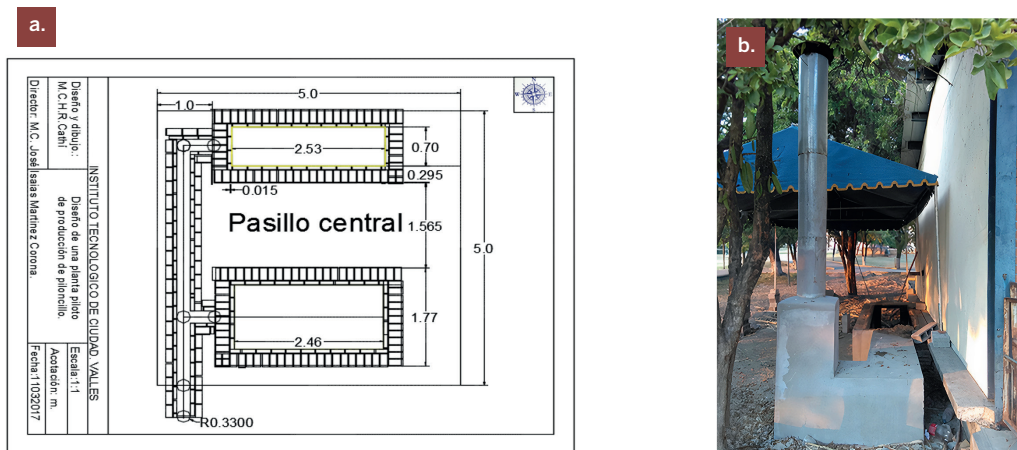


Figura 19.1. Planeación y proyección de la construcción del horno para producir piloncillo. a. Diseño del horno para la planta piloto de producción de piloncillo; b. Horno terminado con chimenea.

Fuente: Heriberto Ramírez Cathí

Foto: Jorge Enrique Wong Paz

Capacitación de recursos humanos en la producción de piloncillo a nivel piloto

La capacitación se dividió en cuatro etapas: 1) colecta y preparación de la materia prima, 2) obtención del jugo de caña, 3) elaboración de piloncillo (clarificación, evaporación y concentración) y 4) análisis de los productos finales elaborados (azúcares totales y reductores, y color). Las capacitaciones se impartieron a cuatro grupos conformados por treinta estudiantes de la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, y fueron coordinadas y supervisadas por un grupo de dos profesores con experiencia en producción y comercialización de piloncillo. El proceso de capacitación consistió en el análisis del problema, la planeación de la capacitación, su realización y la evaluación (García López, 2011). Cada grupo capacitado fue evaluado mediante informes técnicos, empleando una rúbrica de evaluación que contenía los criterios de recolección

y preparación de la materia prima, la identificación y control de puntos críticos en la elaboración de piloncillo y la determinación de la calidad del producto obtenido.

Para realizar las pruebas en la planta piloto instalada en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, se siguieron las condiciones reportadas por Martínez-González et al. (2019).

Recolección y preparación de la materia prima

El corte de la caña se realizó manualmente en el campo de cultivo ubicado en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, el cual cuenta con dos variedades de caña de azúcar: CP 72-2086 y MEX 73-1240. Los tallos de caña cortados (150 kg) fueron transportados dentro de las mismas instalaciones del Instituto hasta el área de la planta piloto; transcurridas dos horas después del corte, los tallos de caña de azúcar fueron lavados, y luego se realizó la extracción del jugo de la caña de azúcar en un trapiche mecánico de tres rodillos de acero inoxidable, con capacidad de molienda de una caña a la vez, adaptado con motor eléctrico, con lo cual se logró un 50 % de extracción de jugo en relación con el peso de la caña de azúcar. Posteriormente, el jugo de caña extraído fue filtrado con tela tipo manta, para eliminar los residuos de bagazo y partículas extrañas de gran tamaño. El jugo filtrado fue colectado y vertido directamente en la paila hasta alcanzar el volumen de operación (70 ± 10 L).

Al alcanzar el volumen de operación, las tres etapas de producción de piloncillo (clarificación, evaporación y concentración) se realizaron en la misma paila. Se utilizaron las dos variedades de caña por separado (MEX 73-1240 y CP 72-2086) para comparar la calidad del producto final.

Identificación y control de puntos críticos en la elaboración de piloncillo

Para la identificación de los puntos críticos en la clarificación, evaporación y concentración, se tomaron alícuotas de jugo y se analizaron en función del pH, los grados Brix y la temperatura de proceso. En la etapa de clarificación, para remover las impurezas iniciales (cachaza), el jugo de caña se llevó a una temperatura de 60 °C y se realizó el muestreo de los parámetros antes mencionados (pH y grados Brix). Cuando el jugo alcanzó los 100 °C (evaporación), se le agregaron 50 g de cal grado alimenticio como floculante, para la remoción de impurezas, y se midieron nuevamente los mismos parámetros (pH y grados Brix). De nuevo, se retiraron las impurezas residuales floculadas, y después de 30 min se añadieron 100 g de manteca vegetal (antiespumante). El proceso fue monitoreado cada 30 min, manteniendo la temperatura de punteo a 100 ± 5 °C (concentración), hasta la obtención del producto final (piloncillo). El proceso tuvo una duración de 3 h.

Determinación de la calidad del producto obtenido

La determinación de la calidad del piloncillo se basó en la medición del contenido de azúcares reductores y totales mediante espectrofotometría: para azúcares reductores, por el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959), y para azúcares totales, por el método de Antrona (Dreywood, 1946). Se determinó el color del piloncillo por el método CIELAB, utilizando el *software* IntelliColor. Este método mide el espacio de color tridimensional (LAB), determinado por la Comisión Internacional de la Iluminación (Khan et al., 2009), así: L: luminosidad de negro a blanco; A: de rojo a verde; B: de azul a amarillo. El *software* examina las imágenes que captura y evalúa los parámetros de color $L^*a^*b^*$. Para la medición del color, se utilizaron cinco piloncillos (de 250 g cada uno, aproximadamente) de cada variedad evaluada (MEX 73-1240 y CP 72-2086). De acuerdo con Martínez González et al. (2017), el análisis es programado para la definición de diez grupos o colores en cada imagen segmentada, para, posteriormente, realizar una discriminación de los diez colores, dejando por fuera

los que tengan una representatividad menor al 10 %, y de los colores restantes se obtiene el promedio ponderado $L^*a^*b^*$ de las muestras de piloncillo.

Resultados y discusión

Inspección de la construcción del horno para la producción de piloncillo

Se logró la construcción del horno funcional según los planos desarrollados durante la etapa de diseño. Del mismo modo, la paila resultó eficiente para el proceso, ya que resistió las altas temperaturas, además de que fue fabricada con un material inocuo, como lo es el acero inoxidable. En la figura 19.2 se muestran el horno y la paila en funcionamiento.



Figura 19.2. Puesta en marcha del horno para producir piloncillo. a. Vista lateral del horno (entrada de alimentación del fuego); b. Paila con jugo de caña de azúcar instalada en el horno para la producción de piloncillo.

Fotos: Heriberto Ramírez Cathí

Capacitación de recursos humanos en la producción de piloncillo

Con base en los resultados de la evaluación de los informes técnicos elaborados por los estudiantes capacitados, se puede mencionar que un 95 % demostró tener los conocimientos referentes al proceso de recolección y preparación de la caña de azúcar para la obtención del jugo, mientras que solo un 75 % comprendió la importancia de identificar y controlar la temperatura, la cantidad de floculante y el tiempo de proceso como puntos críticos durante la elaboración de piloncillo. Por otra parte, el 85 % de los estudiantes capacitados logró determinar la calidad del producto final.

Dichos resultados funcionan como indicadores del alcance de la capacitación y evidencian que los estudiantes están preparados para resolver problemáticas del proceso de producción de piloncillo a través del análisis, comprensión y aplicación de los conocimientos en los principales factores que intervienen en la obtención de un producto de calidad en lote de producción. En la figura 19.3 se muestran las actividades de las capacitaciones proporcionadas a los estudiantes sobre el proceso de obtención del jugo de caña y la elaboración de piloncillo.

García López (2011) menciona que la capacitación de personal permite un mayor acceso al capital y a las innovaciones tecnológicas, lo que brinda mayores ventajas competitivas. Por otra parte, las capacitaciones constantes promueven la seguridad y salud en el trabajo. De acuerdo con los resultados obtenidos tras la evaluación de la capacitación de los estudiantes para la elaboración de piloncillo, se considera que son competentes para realizar este proceso de manera segura y eficaz.



Figura 19.3. Capacitación en elaboración de piloncillo. a. Selección de la materia prima; b. Limpieza de la materia prima; c. Extracción del jugo de caña de azúcar con el trapiche; d. Encendido del horno; e. Llenado de la paila con el jugo de caña de azúcar; f. Procesamiento del jugo de caña para obtener piloncillo; g. Recuperación del piloncillo.

Fotos: Heriberto Ramírez Cathí y Jorge Enrique Wong Paz

Determinaciones analíticas del piloncillo

Se observó que un pH de 5 en el jugo resultó óptimo para lograr la calidad deseable en el piloncillo; sin embargo, cabe resaltar que con la adición de cal hubo un incremento en el pH de hasta 6, pero después de tres horas de proceso se observó una disminución y estabilización del pH en 5. En cuanto a la concentración de sólidos totales, se observó un incremento de estos en función del tiempo y la temperatura. El jugo, inicialmente, presentó 20 °Bx, y durante los primeros 100 min de proceso solo existió un incremento de 4 °Bx en el jugo. Esto se relaciona con la temperatura de proceso, así: durante los primeros 40 min de proceso, la temperatura osciló alrededor de los 30 °C; luego, entre los 40 y 100 min, la temperatura incrementó de 30 a 90 °C. Es por ello que, entre los 100 y 180 min,

se presentó un incremento exponencial en la concentración, alcanzando un máximo de 80 °Bx. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Martínez-González et al. (2019), quienes reportan el efecto del uso de cal en la elaboración de piloncillo, ya que esta regula el pH y controla la formación de azúcares invertidos durante la clarificación del jugo de caña de azúcar. Asimismo, mencionan que la temperatura juega un papel importante durante la elaboración, pues temperaturas mayores a los 100 °C generan el aumento de los grados Brix en menor cantidad de tiempo, lo cual limita los cambios de coloración derivados de la caramelización de los azúcares. Por su parte, Quezada-Moreno et al. (2015) reportan que un factor por considerar para la regulación de la temperatura durante el proceso de elaboración de piloncillo es la altitud en la cual se localiza la planta panelera, debido a cambios en el punto de ebullición del jugo de caña. Los autores reportan, para la producción de piloncillo, temperaturas entre 115 y 125 °C a 200 m s.n. m.; sin embargo, Ciudad Valles, donde se realizó este proyecto, se encuentra a 70 m s.n. m., lo cual ocasiona que el proceso de elaboración requiera más tiempo para lograr evaporar y concentrar el jugo de caña a una temperatura de 100 °C.

En cuanto al rendimiento de producto, se observó que la capacidad de producción experimental de piloncillo fue de $2,6 \pm 0,2$ kg/h, lo cual equivale a 20,8 kg por jornada laboral de ocho horas, tras moler 150 kg de caña de azúcar, lo que, expresado en porcentaje, corresponde al 13,8 % del peso inicial de la materia prima. Con base en los resultados, se logró obtener piloncillo utilizando las dos variedades de caña (MEX 73-1240 y CP 72-2086), sin diferencia significativa en el rendimiento entre ellas. Por su parte, Reyes Cárcamo (2019) reporta, para una producción de piloncillo a nivel industrial, un rendimiento de 2,5 toneladas, resultado de una molienda de 25 toneladas de caña de azúcar por día, es decir, un 10 % del peso inicial de la materia prima; en este caso, la diferencia de rendimiento radica principalmente en la capacidad de molienda de los trapiches, el rendimiento que tenga el jugo de la caña de azúcar y el personal que se encuentre trabajando.

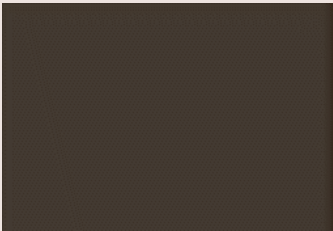
Respecto al contenido de azúcares reductores de los piloncillos elaborados con las dos variedades de caña (MEX 73-1240 y CP 72-2086), se obtuvieron valores del 73 y el 56 %, respectivamente. La cantidad de azúcares reductores en el piloncillo afecta de manera considerable la consistencia del producto final (Mujica et al., 2008). Los azúcares reductores no se cristalizan y, a su vez, ejercen un efecto inhibitorio en la cristalización de la sacarosa (Badui Dergal, 1995), razón por la cual una concentración elevada de azúcares reductores en el piloncillo afecta principalmente la dureza como parámetro de calidad en el producto final; así pues, a mayor concentración de azúcares reductores, menor es la firmeza del producto. Tomando en consideración lo anterior, es indispensable monitorear la concentración de azúcares reductores en todas las etapas del proceso, para evitar la hidrólisis de la sacarosa contenida en el jugo.

En cuanto a los azúcares totales, se observó alrededor del 70-71 % de azúcares, independientemente del tipo de caña utilizada. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Galicia-Romero et al. (2017), ya que ellos reportan un valor del 69 %, y de acuerdo con lo mencionado por Solís Pacheco et al. (2006), los valores de azúcares reductores totales en muestras de piloncillo pueden variar entre el 71 y el 82,6 %, rango en el cual están los valores obtenidos en esta investigación. La hidrólisis que sufre la sacarosa está relacionada con los azúcares reductores respecto a los azúcares totales, parámetros que aumentan en las etapas en las que se incrementa la temperatura de forma considerable durante el proceso, y esto se debe al fácil rompimiento del enlace glucosídico bajo las condiciones empleadas, ya que es un enlace débil (Solís Pacheco et al., 2006).

Con respecto a la determinación del color, los resultados de las muestras del piloncillo se detallan en la tabla 19.1. En la tabla se pueden apreciar las diferencias en los tonos. El color obtenido para la variedad MEX 73-1240 fue marrón amarillento grisáceo oscuro, mientras que para la variedad CP 72-2086 fue marrón anaranjado profundo, lo que demuestra que la variedad de caña

utilizada para la elaboración de piloncillo es un factor importante en el impacto de este parámetro físico.

Tabla 19.1. Colores $L^*a^*b^*$ de dos muestras de piloncillo (una por cada variedad utilizada)

Muestra	L^*	a^*	b^*	Color
MEX 73-1240 	31,7	2,9	10,2	
CP 72-2086 	40,8	5,7	17,7	

Fuente: Elaboración propia

Es importante considerar que en el proceso de elaboración de este producto, y también durante el almacenamiento, se lleva a cabo una reacción química llamada “reacción de Maillard”, la cual es favorecida por el aumento de la temperatura; esta se caracteriza por involucrar la interacción entre aminoácidos y azúcares, lo que altera el color al ocasionar un pardeamiento por los compuestos llamados “melanoidinas”, así como por la

acrilamida (Sung et al., 2020). Martínez González et al. (2017), tras evaluar diferentes muestras de piloncillo, mencionan que el color es la principal característica para evaluar la calidad del producto, y reconocen tres categorías (bueno, regular y malo): entre mayor sea la oscuridad de los tonos del producto, peor se considera su calidad. Del mismo modo, Jimenez-Hernández et al. (2015) mencionan que las condiciones de elaboración, como la extracción, el pH y, principalmente, la temperatura durante la cocción, modifican la coloración del producto terminado, la cual tiene impacto en su comercialización. Estas alteraciones pueden ser observadas hasta un año después de su elaboración, cuando el producto está almacenado (Payet et al., 2005).

Conclusiones

Con la implementación de la planta piloto en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles (México), se logró desarrollar el proceso de elaboración del piloncillo a nivel piloto. Además, se logró la capacitación de un grupo de treinta estudiantes en la identificación del efecto de los principales factores para la elaboración de piloncillo, que influyen directamente en la calidad del producto terminado, lo cual está ligado con la “aceptabilidad” percibida por el mercado. Asimismo, se espera que dicha capacitación permita que los estudiantes puedan apoyar a los productores piloncilleros de la región mediante un asesoramiento técnico sobre la mejora en el proceso de producción artesanal de piloncillo.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, por el apoyo brindado para la implementación de la planta piloto para la producción de piloncillo.

Referencias

- Badui Dergal, S. (1995). *Química de los alimentos*. Alambra.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2009). NOM-251-SSA1-2009. Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/168389/FOLLETO_ALIMENTOS_NOM-251.compressed.pdf
- Cuevas Reyes, V., Baca del Moral, J., Borja Bravo, M., Grass Ramírez, J. F., & Rivera Martínez, G. (2017). Agricultura familiar y tecnología para la elaboración de piloncillo granulado en la comunidad de Aldzulup Poytzen, San Luis Potosí. *Nova Scientia*, 9(19), 481-501. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.955>
- Dirección General de Normas. (2016). NMX-F-596-SCFI-2016. Piloncillo 100 % de jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) - Especificaciones y métodos de prueba. <https://docplayer.es/211256067-Norma-mexicana-nmx-f-596-scfi-piloncillo-100-de-jugo-de-cana-de-azucar-saccharum-officinarum-l-especificaciones-y-metodos-de-prueba.html>
- Dreywood, R. (1946). Qualitative test for carbohydrate material. *Industrial and Engineering Chemistry, Analytical Edition*, (18), 499-505.
- Galicia-Romero, M., Hernández-Cázares, A. S., Debernardi de la Vequia, H., Velasco-Velasco, J., & Hidalgo-Contreras, J. V. (2017). Evaluación de la calidad e inocuidad de la panela de Veracruz, México. *Agro Productividad*, 10(11), 35-40. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/68/64>
- García López, J. M. (2011). El proceso de capacitación, sus etapas e implementación para mejorar el desempeño del recurso humano en las organizaciones. *Contribuciones a la Economía*, 12, 1-18.
- Jimenez-Hernández, M., García-Castillo, L. A., Martínez-Aguilar, M., & López-Serrano, M. (2015). Parámetros de calidad en la producción de piloncillo en Sabanas Huatusco, Veracruz. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(2), 319-329. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol2num2/Ciencias%20Naturales%20y%20Agropecuarias%20Vol%202%20Num%202%20Final_26.pdf

- Khan, M. A. I., Ueno, K., Horimoto, S., Komai, F., Someya, T., Inoue, K., & Ono, Y. (2009). CIELAB color variables as indicators of compost stability. *Waste Management*, 29(12), 2.969-2.975. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.021>
- Martínez González, E., Múñiz Márquez, D. B., Lárraga Altamirano, H. R., & Wong Paz, J. E. (2017). Análisis de espacio de color CIELAB de piloncillo elaborado en la Huasteca potosina. *Tectzapic*, 4(1), 64-68. <http://hdl.handle.net/20.500.11763/tectzapic1801piloncillo>
- Martínez-González, E., Muñiz-Márquez, D. B., De la Rosa-Hernández, M., Aguilar-Zárate, P., Reyes-Luna, C., Ramírez-Cathí, H., & Wong-Paz, J. E. (2019). Estudio de factores que influyen en la producción de piloncillo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) empleando un diseño de Plackett Burman. *Acta Universitaria*, 29. <http://doi.org/10.15174/au.2019.2188>
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Mujica, M. V., Guerra, M., & Soto, N. (2008). Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada. *Interciencia*, 33(8), 598-603. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33933808.pdf>
- Payet, B., Sing, A. S. C., & Smadja, J. (2005). Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: Determination of their polyphenolic and volatile constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(26), 10.074-10.079. <https://doi.org/10.1021/jf0517703>
- Quezada-Moreno, W., Gallardo-Aguilar, I., & Quezada-Torres, W. (2015). Temperatura y concentración del jugo de caña según pisos climáticos en Ecuador. *Icidca: Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 49(1), 17-21. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223136961003>
- Reyes Cárcamo, Y. (2019). *Evaluación de la influencia de los tiempos de cocción y de batido sobre el piloncillo artesanal* [tesis de grado, Universidad Veracruzana]. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/49405/ReyesCarcamoYanitzia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018, 19 de julio). Piloncillo: endulzante artesanal que conquista el paladar. <https://www.gob.mx/siap/articulos/piloncillo-endulzante-artesanal-que-conquista-el-paladar?idiom=es>
- Solís Pacheco, J. R., Pérez Martínez, F., Orozco Ávila, I., Flores Montaña, J. L., Ramírez Romo, E., Hernández Rosales, A., & Aguilar Uscanga, B. (2006). Descripción de un proceso tecnificado para la elaboración de piloncillo a partir de caña de azúcar. *e-Gnosis*, (4). <https://www.redalyc.org/pdf/730/73000401.pdf>
- Sung, W.-C., Chi, M.-H., Chiou, T.-Y., Lin, S.-H., & Lee, W.-J. (2020). Influence of caramel and molasses addition on acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation and sensory characteristics of non-centrifugal cane sugar during manufacturing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(12), 4.512-4.520. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10492>

