

# APLICACION DE LA POLARIMETRIA LASER EN EL PROCESO DE CONTROL DE LA PRODUCCION DE LA INDUSTRIA TEQUILERA

V. Fajer<sup>1</sup>; C. Rodríguez<sup>\*\*</sup>; R. Flores<sup>\*\*\*2</sup>; S. Naranjo<sup>\*\*</sup>; G. Cossío<sup>\*</sup> y J. López<sup>\*</sup>

\* Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN)

\*\* Facultad de Biología, Laboratorio de Biología Vegetal, Universidad de La Habana

\*\*\* Centro de Investigaciones en Óptica, León, Guanajuato (CIO)

## RESUMEN

Se presenta el desarrollo del método polarimétrico para la medición de jugos de agave crudos y cocidos tanto en mediciones de polarimetría directa como utilizando el polarímetro láser LP101M como detector de cromatografía líquida. Se demuestra la factibilidad de empleo del mencionado método para el control de la materia prima y el proceso de producción en la industria tequilera, indicando las ventajas de precisión y confiabilidad que aporta el referido método.

## ABSTRACT

The development of the polarimetric method for the measurement of raw and cooked agave's juices in direct polarimetric measurements and employing the LP101M laser polar meter as chromatographic detector are exposed. The feasibility of employment the mentioned method for the control of raw materials and the control process in the tequila industry is demonstrated, showing the precision and confidence of the referred method.

## INTRODUCCION

El agave azul tequilano Weber sin duda es hoy el ejemplo más conocido de la familia agavaceae, originaria de México. Esta popularidad se debe a dos aspectos fundamentales: es la planta de cultivo más redituable en México y es muy bella, de hoja recta azul verdoso o glauca de 1.25 m de largo por 8 a 10cm de ancho; la espina terminal es de color rojo oscuro de 20 mm, los dientes son rojizos triangulares de 3 a 4 mm y separados 10 a 15 mm uno de otro. (1). El agave es una planta semélpora con un periodo de desarrollo que va de 7 a 10 años. Los terrenos más propicios para su cultivo se encuentran en el estado de Jalisco y algunas zonas de los estados circunvecinos: Nayarit, Michoacán y Guanajuato, esta ha sido reconocida internacionalmente como la zona de "denominación de origen" del tequila.

Esto garantiza la autenticidad del producto, asegura el mercado y establece el marco regulatorio que define todo el proceso. El Consejo Regulador del Tequila (CRT) es el organismo oficial encargado de vigilar y certificar todo el proceso, desde la siembra de los hijuelos de agave, hasta el añejamiento y envase del tequila.

El agave azul se cultiva desde tiempos pre-hispánicos, indígenas de la región idearon hornearlo para extraer más azúcares y así lograr una

fermentación más rica, pero lo comían cortado en pedazos, más como golosina que como bebida alcohólica. Son los españoles, durante la colonia, los que introducen el proceso de destilación de los jugos de agave previamente horneado, exprimido en molinos de piedra y fermentado en barricas. Nace así en el pueblo de Tequila, Jalisco, una bebida que desde entonces no ha cesado de crecer en popularidad. La primera industria tequilera formal, se establece en ese mismo pueblo casi veinte años antes del inicio de la guerra de independencia de México.

Durante los últimos seis años la popularidad del tequila se ha incrementado significativamente, tanto en México como internacionalmente, la demanda ha propiciado el surgimiento de muchas nuevas industrias. La regulación estricta por una parte y la exigencia de calidad por la otra fueron algunos de los motivos que propiciaron el financiamiento del primer programa de investigación científica y desarrollo tecnológico en apoyo a la cadena productiva agave-tequila. Este programa fue financiado a partes iguales por el CRT, el CONACYT y el Gobierno del Estado de Jalisco. El énfasis de la primera etapa se centró en los problemas fitosanitarios(1), metabólicos y ecológicos del agave azul tequilano Weber.

El trabajo de investigación que se presenta constituye una primera experiencia tendiente a introducir nuevos métodos rápidos, confiables,

Email: <sup>1</sup>vfajer@ceaden.edu.cu, vfajer@ff.oc.uh.cu

<sup>2</sup>rflores@foton.cio.mx

precisos y económicos que ayuden al control de calidad de la industria tequilera, tomando como punto de partida la experiencia cubana en el análisis de los jugos de caña de azúcar y del proceso fermentativo.

## MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE MEDICION

En el presente trabajo se plantea desarrollar el método polarimétrico con 3 fines principales: el control de la calidad del agave que entra como materia prima a la industria tequilera, la determinación del contenido de azúcares del jugo de agave horneado previo a la fermentación y el control del proceso de fermentación del jugo de agave y por tanto el control de la producción en la mencionada industria.

Para estos fines se tomó como referencia las experiencias en el desarrollo de los métodos sacarimétricos en la industria azucarera que emplea los polarímetros automáticos como instrumento fundamental del laboratorio de análisis y experiencias en el control de la fermentación de la industria vinícola.

Específicamente para este fin se escogió el polarímetro automático LASERPOL 101M que utiliza el láser de He-Ne como fuente luminosa y alcanza una precisión de  $\pm 0.01^\circ$  en la escala angular. Este instrumento totalmente automático tiene la ventaja de su alta sensibilidad y la posibilidad de empleo de pequeños volúmenes de muestras (de 1 a 5 mL) dada las pequeñas dimensiones del haz del láser. Este instrumento utiliza tubos polarimétricos de 50 mm de longitud aunque dispone de un dispositivo que emplea cubetas fotométricas de la misma longitud que son más fáciles de manipular que los mencionados tubos.

Como métodos adicionales para caracterizar el jugo se utilizó la medición refractométrica empleando un refractómetro ABBE de la firma Carl Zeiss de  $\pm 0.5^\circ$  brix. Las muestras objeto de estudio fueron 6, obtenidas de la empresa tequilera Corralejo. Estas muestras comprenden jugos jóvenes, medianos y maduros obtenidos crudos y cocidos. Las muestras de jugo fueron acondicionadas para cromatografía y fraccionadas en gel Sephadex G-10 con altura y lecho 15 cm y velocidad de flujo de 4ml/min. El fraccionamiento se realizó 2ml y las fracciones se leyeron en el polarímetro LP101M, el diámetro del haz luminoso del láser permite la medición de muestras de pequeño volumen.

Se realizaron mediciones de absorción en el intervalo espectral entre 300 y 1100 nm para jugos crudos de agave joven y maduro y se compararon con el espectro obtenido de jugos de caña cubanos., los resultados se muestran en la Figura 2.

## ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 1 se observa que de todos los indicadores analizados, el que mejor permite una comparación entre muestras es la medición polarimétrica. El % de reductores, que nos indica el contenido de sustancias reductoras, crece de los jugos sin cocer a los jugos cocidos, marca la diferencia entre jugo joven y maduro y entre jugo cocido y fermentado.

Tabla 1. Datos de mediciones polarimétricas utilizando el polarímetro LP 101M.

Jugos de Agave	Brix grados	Giro ( $^\circ$ ) (0.5 dm)	% Red.	Viscosidad Relativa
1. Joven (sin cocer) Jalisco	5.0	-0.36	0.53	1.00
2. Maduro (sin cocer) Gto.	7.5	-0.95	0.15	1.76
3. Maduro (sin cocer) Jalisco	8.0	-0.78	0.15	1.30
4. Mediano (cocido) Jalisco	7.0	-1.68	4.50	1.87
5. Maduro (cocido) Jalisco	7.0	-1.77	4.50	0.97
6. Jugo con 1 y 1/2 día f.	4.5	-0.08	0.48	0.94

Los  $^\circ$  Brix no expresan la acumulación de carbohidratos susceptible de ser transformada en alcoholes, no marca la diferencia entre jugos sin cocer y cocidos ni destaca, como la polarimetría la cantidad de carbohidratos transformados en alcohol. La viscosidad relativa no guarda relación entre jugos sin cocer y cocidos, establece diferencias entre éstos que no se corresponden con el contenido de carbohidratos y no puede discriminar entre jugos cocidos y fermentados.

Las determinaciones polarimétricas establecen claras diferencias entre jugos jóvenes y maduros sin cocer, muy marcadas diferencias entre jugos sin cocer y cocidos, así como en la transformación de carbohidratos en alcohol cuando comparamos jugos cocidos y el jugo fermentado.

En el caso del jugo cocido se observa como en el proceso de fermentación ocurre una disminución del valor absoluto de la polarización lo cual se manifiesta en el hecho de que el jugo que presenta día y medio de fermentación tiene un valor de polarización muy pequeño. Este hecho coincide con los resultados obtenidos por los autores en trabajos precedentes (2), (3), (4) relativos a estudios de la fermentación de azúcar crudo para la producción de vino seco, donde

se produce una progresiva disminución del valor absoluto de la polarización hasta valores próximos a cero cuando culmina el proceso.

Se muestra en la Figura 1 como el método polarimétrico permite seguir la secuencia de acumulación de azúcares de joven a maduro, de maduro a cocido y de cocido a fermentado.

En la Figura 2 se muestra la gran similitud entre los espectros de absorción de los jugos crudos de agave y de caña a partir de los 500 nm .

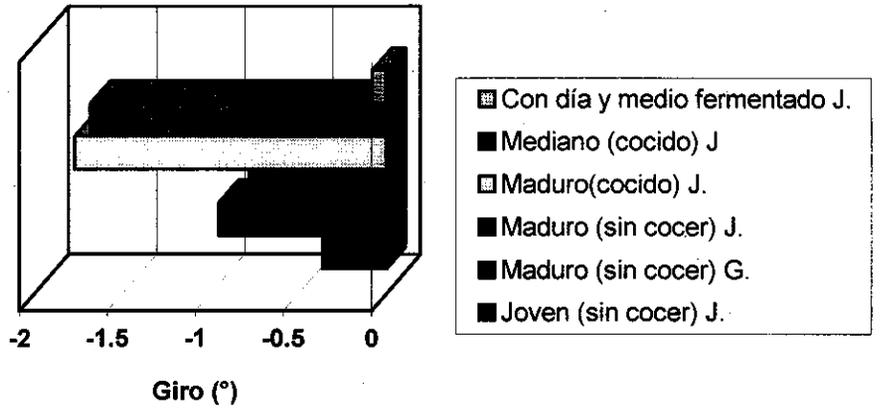


Figura 1. Actividad óptica de los jugos de agave.

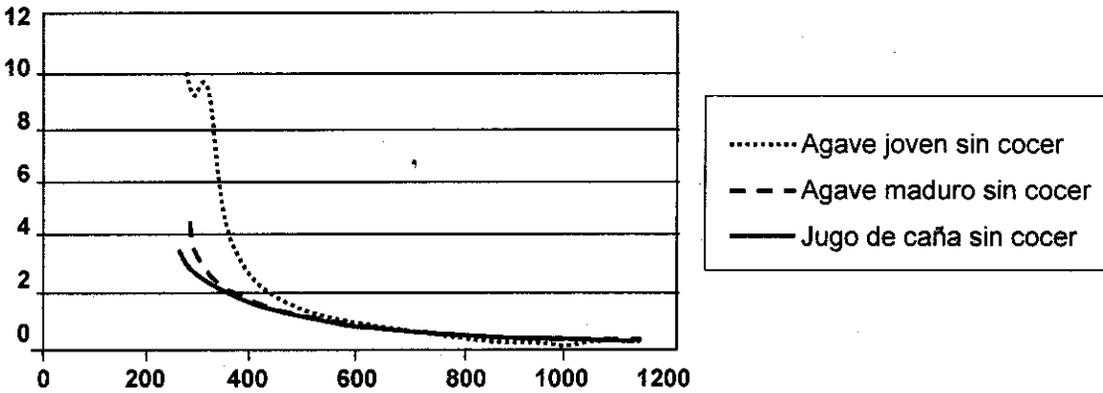


Figura 2. Absorción de los jugos de caña de azúcar y agave.

La Figura 3 muestra los cromatogramas correspondientes a jugos joven sin cocer, maduro sin cocer, maduro cocido y uno de día y medio de fermentación, todos procedente de Jalisco.

El cromatograma del agave joven sin cocer define dos picos de sustancias excluidas de G-10, la primera, correspondiente por su volumen de elución, a sustancias coloidales; la segunda a sustancias de mediana masa molecular y define dos picos de un

hombro en la zona de elución de sustancias de baja masa molecular. Todas ellas caracterizadas por un comportamiento resultante levógiro.

El cromatograma de agave maduro cocido muestra la desaparición de las fracciones coloidales y de mediana masa molecular, un incremento sustancial de la fracción de baja masa molecular y mantiene la insinuación de un hombro al final.

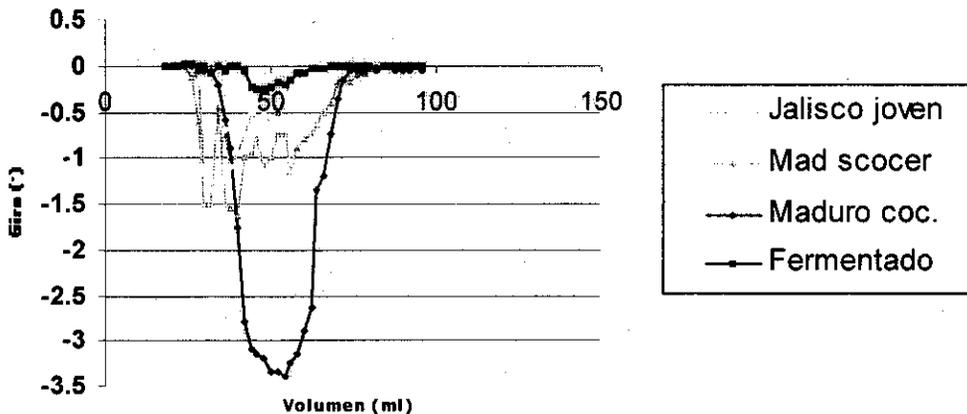


Figura 3. Cromatografía de los jugos de agave.

El jugo de un día y medio de fermentación muestra la desaparición de las sustancias de baja masa molecular y los residuos de sustancias coloidales y de mediana masa molecular.

Estos cromatogramas demuestran la acumulación de sustancias ópticamente activas, fundamentalmente carbohidratos que tienen un fuerte componente levógiro, cuando la planta pasa de joven a madura; una posible transformación por coacción de la fracción coloidal y de mediana molecular de agave maduro en compuestos de baja masa molecular y finalmente, la reducción prácticamente total de los carbohidratos de baja masa molecular que pasan a alcohol.

El uso de la cromatografía líquida de baja presión ha sido utilizada con éxito en el estudio de patrones de carbohidratos y jugos de caña de azúcar donde se han separado los carbohidratos coloides y los de mediano y baja masa molecular cuyas resultantes de giro son dextrógiras (5). Todo indica que sean levógiras o dextrógiras las componentes de carbohidratos presentes en extractos vegetales, son

susceptibles de separar en grupos los carbohidratos de alta, mediana y baja masa molecular, utilizando la metodología descrita en esta cita.

## CONCLUSIONES

- La medición polarimétrica de los jugos de agave es factible y existe una relación directa entre el grado de maduración de la planta y el valor absoluto de la lectura angular.
- El control de la fermentación del jugo del agave se puede realizar mediante polarimetría y constituye un método de mayor precisión para el control del proceso productivo y la determinación.
- La cromatografía empleada permite separar las componentes de carbohidratos presentes y demostrar el proceso de acumulación de carbohidratos hacia la maduración, la transformación transformación de carbohidratos de alta y mediana masa molecular en carbohidratos de baja masa molecular y la conversión de estos últimos en alcohol.

## REFERENCIAS

1. LUNA, G. (1999): Tesis de doctorado "Hacia un manejo integrado de plagas". **Fundamentos y recomendaciones prácticas. Agave tequilana**. 21.
2. BRAVO, O.L.; J.C. LOPEZ; R. GONZALEZ y V. FAJER (1993): Informe preliminar obre la utilización de la polarimetría en el proceso de control y caracterización de vinos y cervezas. **Memorias de la 2da. Jornada Científica del CEDEIC**, 38-46.
3. FAJER, V.; C. RODRIGUEZ; M. MARTINEZ; O.L. BRAVO and G. COSSIO (1995): "Polarimeter LP 101M and its applications in liquid chromatography", Proceedings SPIE. Second Iberoamerican Meeting of Optics. Guanajuato. México. 27.30, 234-237.
4. FAJER, V. (1996): "Laser polarimeters: Overview of recent developments, design and applications", **Journal of laser applications**, 8, 43-53.
5. RODRIGUEZ, C. y otros (2000): Evaluación de patrones de carbohidratos para la caracterización de azúcares técnicos y jugos mediante cromatografía líquida, detección polarimétrica y colorimétrica. Soporte magnético, 5ta. Convención Metánica 2000.