

Evaluation of xoconostle juice as a prebiotic

Evaluación del jugo de xoconostle como prebiótico

A. FLORES-MORALES^{1*}, A. SÁNCHEZ-CONTRERAS², L. ATRIANO-HERNÁNDEZ, T. GONZÁLEZ-FLORES^{2*}

¹ TecNM-Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Km. 7.5, Carretera Federal. San Martín Texmelucan-Tlaxcala.

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Subsección Sureste, Mérida, Yucatán.

¹ floresafm@hotmail.com

² msanchez@ciatej.mx

² tgonzalez@ciatej.mx

Sent date: 01/ February /2022

Abstract:

The cactaceas have been important in the development of pre-Hispanic cultures in Mexico, from food to religion. The objective was to evaluate the composition of xoconostle juice (*Opuntia matudae*), color index, quantification of polyphenols, ascorbic acid, betalains, antioxidant capacity and prebiotic activity. Xoconostle juice contains glucose 11.60±0.15 g/L and sucrose 0.86±0.12 g/L, moisture 95.34±0.2%, ethereal extract 3.50±0.1%, polyphenols 1.54±0.3 mg GAE/mL. The juice's prebiotic activity was negative for *Lactobacillus casei* Shirota and *Saccharomyces boulardii*, carbohydrate source and pH were not suitable for growth.

Keywords: Cacti, dietary fiber, antioxidant capacity, functional foods

Resumen:

Las cactáceas han desempeñado un papel importante en el desarrollo de culturas prehispánicas en México, desde alimentación hasta el ámbito religioso. El objetivo fue; evaluar la composición del jugo de xoconostle (*Opuntia matudae*), índice de color, cuantificación de polifenoles, ácido ascórbico, betalainas, capacidad antioxidante y actividad prebiótica. El jugo de xoconostle contiene: glucosa 11.60±0.15 g/L y sacarosa 0.86±0.12 g/L, humedad 95.34±0.2 %, extracto etéreo 3.50±0.1 %, polifenoles 1.54±0.3 mg EAG/mL. La actividad prebiótica del jugo fue negativa para *Lactobacillus casei* Shirota y *Saccharomyces boulardii*, y pH no fueron adecuados para el crecimiento.

Palabras clave: Cactáceas, fibra dietaria, capacidad antioxidante, alimentos funcionales.

1. Introducción

Entre la enorme riqueza de México en plantas cactáceas destaca el nopal tunero, la pitaya y el xoconostle, las cuales han sido domesticadas hasta convertirse en cultivos especializados. Por ser plantas originarias de zonas áridas y semiáridas, al ser sometidas a condiciones de cultivo conservan la capacidad de crecer en lugares con poca lluvia en suelos delgados e infértiles, adaptables a temperaturas extremas (Gallegos et al., 2009; Patel, 2013).

El fruto del xoconostle es único con sabor ácido, y se utiliza como hortaliza y condimento, a diferencia de los demás frutos de las cactáceas que se consumen como fruta fresca. Además, es un fruto poco perecedero por lo que puede colectarse prácticamente durante todo el año (Guzmán et al., 2009). En México, los principales estados productores del fruto son San Luis Potosí, Estado de México, Hidalgo, Puebla y Querétaro, y en menor proporción Aguascalientes, Zacatecas, Tlaxcala y Guanajuato. En el Estado de México, en 2017 se produjeron más de 8 mil toneladas, con una derrama económica de casi \$18 mil millones de pesos (García, 2020). Las especies del género *Opuntia* son de gran importancia en México en diversos aspectos, son usadas habitualmente como ingrediente en la cocina tradicional mexicana en la elaboración de bebidas refrescantes, mermeladas, fruta en almíbar, fruta seca y cristalizada, salsa y licores (Scheinvar, 2009), en la medicina tradicional se reporta su uso como remedio para algunas enfermedades como hipertensión, obesidad y problemas respiratorios. Se ha reportado su empleo en problemas de colitis, gastritis y para reducir la presión sanguínea, disminuye el nivel oxidativo y desordenes reumáticos (Morales et al., 2014, 2015). (Serrano y Goñi 2004), demostraron que los polisacáridos no digeribles por el ser humano, y que confieren fibra a los alimentos, han sido asociados con la disminución de hipercolesterolemia y los factores de riesgo de cáncer de colon y estos polisacáridos son contenidos también en el fruto de xoconostle. Incluso a la fecha, los frutos de xoconostle son un recurso fitogenético con gran potencialidad. En general se conoce que los frutos poseen altos contenidos de calcio, potasio, azúcares, fibra dietética, ácido ascórbico, polifenoles, carotenoides y pigmentos como betacianinas, los cuales han sido relacionados con algunos beneficios, entre estos el de ser compuestos con una potente capacidad antioxidante, por lo que podrían ser atractivos para el sector alimentario y de la salud (Pímiencia et al., 2008; Prieto et al., 2008). Actualmente, existe la tendencia de consumo de alimentos nutraceuticos o funcionales, porque se reporta que previenen algunas enfermedades y contribuyen a mantener la buena salud de quienes los consumen, razón por la cual el interés de este trabajo se centra en evaluar los frutos de xoconostles; su composición, contenido nutraceutico y propiedades fisiológicas durante la maduración, para contribuir a la generación de información que permita conocer la relación que existe entre su composición y funcionalidad, con el fin de obtener un producto elaborado a partir del jugo de este fruto, como un sustrato para el crecimiento de probióticos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue caracterizar el jugo de xoconostle y evaluar el efecto prebiótico *in vitro* sobre *Lactobacillus casei* Shirota y *Saccharomyces boulardii*.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización del fruto de xoconostle

Se emplearon frutos de xoconostle, adquiridos en un mercado de la región. A los frutos se les eliminó la cáscara y se extrajo la pulpa, la cual se molió con ayuda de un procesador manual de alimentos. El jugo fue filtrado para eliminar las semillas y los residuos de pulpa para obtener el jugo de xoconostle determinando el rendimiento en función del fruto procesado. Se obtuvieron las muestras denominadas como grupos A1 y A2, tomando como referencia el estado de madurez del fruto en función de su color.

2.1.1 Medición de color y tamaño del fruto.

La medición de color en el fruto se realizó con un colorímetro MiniScan EZ modelo 45000L (HunterLab). Las determinaciones se realizaron por duplicado, en diferentes secciones del fruto y se calculó el parámetro que permite identificar el índice de color.

El tamaño del fruto se midió con un vernier digital Steren Modelo HER-411, las mediciones se efectuaron tomando la medida axial y ecuatorial descritos como forma tridimensional del fruto y altura de este.

2.2 Composición fisicoquímica del fruto de Xoconostle

2.2.1 Análisis químico proximal

Se determinó el contenido de humedad (Método 7.003), cenizas (Método 31.013), extracto etéreo (Método 7.056), proteína total por el método de Kjeldahl-Gunning-Arnold modificado (Método 2.057), extracto libre de nitrógeno (Método 985.29), de acuerdo con las técnicas reportadas por (A.O.A.C, 2000). La fibra dietaria, se realizó por el método enzimático (Saura et al., 1993) empleando las enzimas, α -amilasa, peroxidasa amiloglicosidasa (Sigma Aldrich-3306).

La determinación de pH se realizó, con la medición de forma directa del jugo, usando un equipo Orion modelo 301, previamente calibrado. La determinación de grados Brix, se realizó en un refractómetro marca Abbe, el cual fue previamente calibrado con agua destilada. La cuantificación de glucosa y sacarosa se realizó con un equipo analizador bioquímico YSI 2900, usando membranas de glucosa oxidasa y beta fructosidasa.

2.3 Actividad antioxidante de jugo de xoconostle

La actividad antioxidante se evaluó usando el método de radical libre 2,2 –difenil-1-picrihidracilo (DPPH). Para cuantificar la capacidad captadora de radicales libres de los

extractos se determina el grado de decoloración. La determinación de polifenoles totales, se realizó por el método Folin Ciocalteu. Para la cuantificación se realizó una curva de calibración, con soluciones a concentraciones de 0-0.5 mg/mL, utilizando ácido gálico como estándar (Monroy et al., 2017). Para la determinación de ácido ascórbico, se utilizó la técnica del ácido tricloroacético, realizando una curva de calibración con una solución de ácido ascórbico en concentraciones de 0 a 225 µg/mL. La cuantificación de betalainas, se realizó por espectrofotometría (Sáenz et al., 2012)

2.4 Evaluación de actividad prebiótica.

Lactobacillus casei Shirota y *Saccharomyces boulardii* se activaron mediante siembra por estría en agar MRS y agar Sabouraud, respectivamente. Posteriormente una asada de los microorganismos se colocaron por separado en cultivos en tubo de 10 mL de medio MRS y medio YPD, respectivamente, y se incubaron durante 24 h a 37 °C. El paquete celular obtenido por centrifugación se suspendió en 1 mL de solución isotónica 0.05 % y se midió su densidad óptica (DO₆₃₀). El ensayo se inició con 100 µL de cultivo con una DO de 0.1 a λ 630 nm, incubando a 37°C por 24 a 48 horas. Los ensayos se realizaron por triplicado, para *L. casei* Shirota se utilizó como control positivo una solución MRS con glucosa más inóculo y para la levadura *S. boulardii* se utilizó como control positivo YPD con glucosa más inóculo, en ambos casos el blanco o control negativo fue el medio mínimo basal inoculado sin glucosa. El jugo de xoconostle (A1 y A2), previamente esterilizado por filtración sustituyó al medio de cultivo y en todos los casos el volumen final fue de 250 µL.

Las cinéticas de DO₆₃₀ se midieron utilizando un lector de microplacas, con lecturas a intervalos de 30 min durante 26 h a 37°C, con agitación previa de 30 s.

3. Resultados y discusión



3.1 Caracterización del fruto de xoconostle

Se utilizaron frutos de xoconostle, frescos en dos estados de madurez fisiológica acorde con los parámetros visuales usados para consumo en tamaño e índice de color característico, así como ausencia de defectos y putrefacción y firmes al tacto. Se clasificaron los frutos de xoconostle de acuerdo a la etapa de madurez, se midió el IC de la cáscara del fruto y el diámetro (Tabla 1), estos dos parámetros se relacionan para la determinación de su grado de maduración (frutos de color rojizo, característico de la madurez). Se establecieron dos grupos denotados como (A1 y A2) acorde a la pigmentación. El IC de color es de 16.67 ± 1.78 corresponde a la pigmentación del fruto de color rojo (grupo A2) y (grupo A1) con 10.69 ± 1.70 presenta una pigmentación roja con poca pigmentación verde.

El primer grupo de diámetro polar fue el grupo A1 con un valor de 54.29 ± 2.69 mm, seguido del grupo A2 con 53.3 ± 2.85 mm e igual en el diámetro ecuatorial. Estos resultados muestran

que, la fruta se cosechó con un tamaño medio significativamente similar e identificado como tamaño adecuado para la comercialización (Osorio et al., 2011).

Tabla 1. Clasificación de grupos de maduración de acuerdo con IC de color y diámetro del fruto.

Grupo	Color	*Características		
		ICc	DP	DE
A1		10.69±1.7	54.29±2.69	49.22±1.97
A2		16.67±1.8	53.3±2.85	46.49±2.33

*ICc: IC de la cáscara, DP: Diámetro polar, DE: Diámetro ecuatorial

Los frutos fueron tratados para retirar el pericarpio (cáscara) para obtener el mesocarpio (pared interior ancha), que es la porción comestible de los frutos, que fueron molidos para la eliminación del endocarpio (pulpa) y semillas del fruto y evaluar los residuos generados durante la elaboración (Tabla 2) y el rendimiento de jugo (Tabla 3).


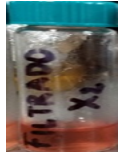
Tabla 2. Rendimiento del fruto de xoconostle (g) en base fresca.

Grupo	Fruto entero	Cáscara	Residuos
A1	1127	29.01±1.4	16.23±0.8
A2	725	29.79±1.5	19.86±0.9

*Promedio de 3 repeticiones, más la desviación estándar

El grupo A2 es el que presenta mayor cantidad de pericarpio (cáscara) con 29.79±1.5 g y el grupo A1 es el que obtiene menos cantidad (29.01±1.4 g). (Gorostiola, 2015) indica que los frutos parcialmente maduros contienen mayor cantidad de residuos como semillas y endocarpio (pulpa). La molienda del mesocarpio (pared inferior ancha), endocarpio (pulpa) y semillas, después de la filtración permite la separación de sólidos o residuos. En el grupo A1 se tiene menos cantidad de residuos (16.23±0.8 g), en comparación con los frutos inmaduros que contienen mayor cantidad de residuos como semillas y endocarpio (pulpa) (19.86±0.9 g). La maduración también está asociada al índice de color como se muestra en la tabla 3. Donde se observó que el jugo con mayor índice de color rojo es el grupo A2 con 91.99±2.08.

Tabla 3. Valores de IC de color del jugo de xoconostle relacionado al rendimiento del fruto.

Grupo	Color de jugo	IC de jugo	Rendimiento (%)
A1		69.21±2.09	47.11±0.00
A2		91.99±2.08	40.53±0.01

*Promedio de 3 repeticiones, más la desviación estándar.

Sin embargo, respecto al rendimiento el jugo obtenido en el grupo A1 éste es ligeramente más elevado que el del grupo A2.

3.2 Composición fisicoquímica del fruto de Xoconostle

El jugo obtenido de los frutos provenientes de ambos grupos A1 y A2, fue evaluado fisicoquímicamente (tabla 4). Los parámetros evaluados muestran que, los valores obtenidos difieren ligeramente de los reportados en la literatura. En el presente trabajo el contenido de grasa es ligeramente inferior 1.38 ± 0.25 al valor reportado por (Gorostiola, 2015) (2.01 ± 0.206) y más similar al reportado por (Canuto, 2010) $0.56 - 1.31$ %, quien también reporta cenizas en el fruto de 13.35 %, pero en este caso el contenido es de apenas 1.41 ± 0.25 % valor más similar al dato reportado por (Guzmán et al., 2010) (1.95 ± 0.08 %). Como sabemos esta variabilidad en el contenido de cenizas puede atribuirse al origen del cultivo, ya que reflejaría la mineralización del suelo.

No hay reportes sobre la humedad de los frutos o el jugo, pero en algunos reportes si se indica que los frutos contienen una buena cantidad de agua. La fibra total que se reporta esta entre $7.52 - 8.99$ %, en este trabajo el valor encontrado está dentro de este rango (8.55 ± 0.12 %). Además, contiene una importante cantidad de fibra dietaria no digerida (1.24 ± 0.2 %). La cual podría estar asociada con un buen desempeño metabólico del intestino delgado, ya que ésta favorece la microbiota benéfica del intestino grueso, proveyendo una buena salud por su consumo (Serrano y Goñi 2004). Respecto al porcentaje de proteína obtenida es de 0.22 % menor a lo reportado por (Sánchez, 2006) quien encuentra un valor de 2.22 ± 0.060 %.

Tabla 4. Composición de jugo de frutos xoconostle

Parámetros	Valores (g/100 g)
pH	3.25 ± 0.01
°Brix	1.34 ± 0.01
IR	5.08 ± 0.02
Humedad	95.00 ± 0.12
Cenizas	1.41 ± 0.25
Acidez	1.88 ± 0.11
Grasas	1.38 ± 0.25
Proteína	0.22 ± 0.11
Fibra dietaria	1.24 ± 0.2
Fibra total	8.55 ± 0.12
Glucosa	11.60 ± 0.15 (mg/ml)
Sacarosa	0.86 ± 0.12 (mg/ml)

*n=3

Los valores de pH, glucosa y sacarosa son importantes para evaluar si el jugo de xoconostle es adecuado para utilizar como sustrato para las bifidobacterias. A la fecha, no se reportan datos similares que permitan una comparación de azúcares presentes. Para el pH, (Canuto, 2010) reporta valores de 3.7 a 4.5, ligeramente superior al valor reportado en este trabajo (pH 3.25 ± 0.01), por otro lado, (Sánchez, 2006) y (Osorio et al., 2011), reporta un valor de 3.37±0.05. El valor de pH está relacionado con la acidez titulable, los niveles encontrados son 1.88±0.11 %, mientras que Monroy et al. 2017 reportan hasta 3.99 % de acidez. Generalmente el pH permite conservar a los frutos, del deterioro por los microorganismos, debido a que tienen condiciones más difíciles de crecimiento, por lo cual, el fruto no pierde sus características, teniendo una mayor vida de anaquel después del corte. El contenido de sólidos solubles que encontramos en el jugo obtenido es de 5.08 ± 0.02 °Brix, superior al valor reportado por Monroy et al. 2017, quienes indican 4.52 °Brix en la variedad “Cuaresmeño”.

El contenido de azúcar en los frutos de cactáceas se encuentra asociado al tiempo de cosecha, por lo tanto, la acumulación de azúcares durante la maduración de los frutos, se relaciona con un aporte en el metabolismo de la cáscara y no con una disminución en el contenido de almidón presente en la misma (Guzmán et al., 2010). El índice de refracción (IR) obtenido en el jugo es de 1.34±0.001. La cantidad de glucosa en el jugo es 11.66±0.15 mg/ml y el valor de sacarosa de 0.86 ± 0.12 mg/ml. Es importante indicar que los datos que se reportan

en el presente trabajo y en la literatura pueden cambiar de acuerdo a la variedad de xoconostle y a la localización de producción del fruto y estado de maduración, además de la región de la que proviene.

3.3 Actividad antioxidante de jugo de xoconostle

En la tabla 5, se muestran los resultados de la determinación de la actividad antioxidante medida por la inhibición del radical libre DPPH, así como la medición de compuestos relacionados con actividad antioxidante en los dos grupos de madurez evaluados (A1 y A2) seleccionados por el color de los frutos, esto se realizó con el objetivo de determinar, si el estado de madurez influye en los valores de actividad antioxidante.

Tabla 5. Actividad antioxidante del jugo de xoconostle.

G	PT	DPPH	Ac. ascórbico	Betalaínas	
				B	Bt
A1	1.50±0.14	76.49±0.68	58.50±0.20	36.03	35.69
A2	1.54±0.31	83.84±0.68	64.33±0.60	36.04	35.7

G: Grupo, PT: Polifenoles totales (mg EAG/mL), DPPH (% inhibición), AA: Ácido ascórbico (μL/mL), B: Betacianinas, Bt: Betaxantinas (mg/g)

En la literatura existe poca información sobre propiedades antioxidantes en frutos de xoconostle, referente al contenido de polifenoles totales, el grupo A2 presenta un contenido de 1.54±0.31 mg EAG/mL, ligeramente superior al grupo A1. El valor es menor a lo reportado por (Osorio et al., 2011) con 1.02 mg EAG/g. El valor de inhibición del radical DPPH con 83.84±0.68% y un contenido de ácido ascórbico de 64.33±0.60 μL/mL, representa cerca de la mitad en comparación con el valor reportado por (Monroy et al., 2017) de 103.72 mg/g para el fruto de Cuaresmeño, en donde también el contenido de ácido ascórbico es mayor. Para el caso de betalaínas reportados por Gorostiola., (2015), con un valor de betaxantinas de 36.04 mg/kg y betacianinas de 35.7mg/kg, en este trabajo encontramos valores menores para betaxantinas con 7.24±0.365 mg/g y betacianinas 8.03±0.378 mg/g, ya que los frutos inmaduros (grupo A1) contienen un menor valor.

3.4, Actividad prebiótica de jugo de xoconostle

La actividad prebiótica se determinó en el jugo de xoconostle proveniente de cada grupo (A1 y A2), con cultivos de las cepas probióticas *Lactobacillus casei* Shirota y *Saccharomyces boulardii*, se evaluó mediante la medición de la densidad óptica para la estimación rápida del crecimiento celular, a una longitud de onda de 630 nm en función del tiempo (T,h) de incubación. Los valores altos de densidad óptica indican un alto crecimiento de los microorganismos.

Se observa en la figura 1, para todas las condiciones evaluadas durante las primeras 4 h una adaptación del microorganismo. Después de 4 h y 30 min de incubación ya se ve un crecimiento en tratamientos y control positivo, con una absorbancia de 0.84 nm, mientras que el control negativo sigue sin crecimiento. Posteriormente después de las 5 h se percibió una ligera diferencia entre las muestras y el control positivo alcanzando una fase estacionaria hasta las 15 h. Para el grupo A1 alrededor de las 24 h y 50 min con una absorbancia de 0.9 llegó a su crecimiento máximo, en cambió el grupo A2 alrededor de las 25 h y 50 min con una D.O de 1, ligeramente por arriba del control positivo. Esto indicó que el jugo de xoconostle del grupo A1 y A2 no estimulan significativamente el crecimiento de *L. casei*, en comparación con el control positivo. Probablemente debido al bajo contenido de azúcares, por lo que en la evaluación siguiente se decidió tener una menor concentración de inóculo inicial para permitir un mayor tiempo de desarrollo de la cepa.

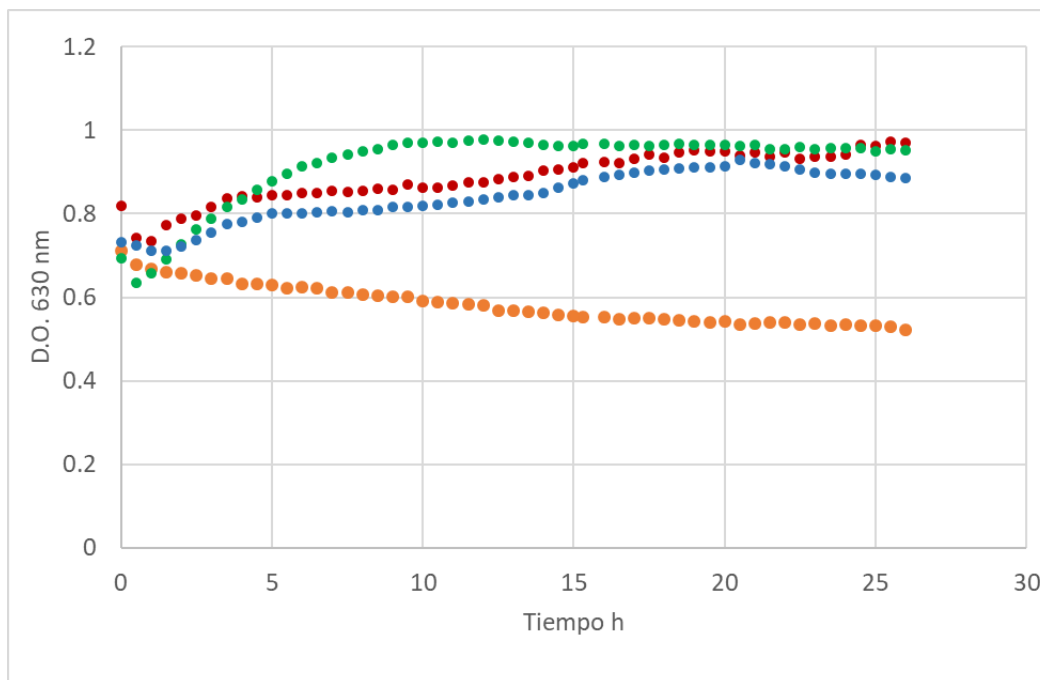


Figura 1. Gráfica de crecimiento en función del tiempo / D.O. de *Lactobacillus casei* Shirota en los jugos de xoconostle proveniente de los grupos A1 y A2. ● A2, ● control +, ● A1, ● control -.

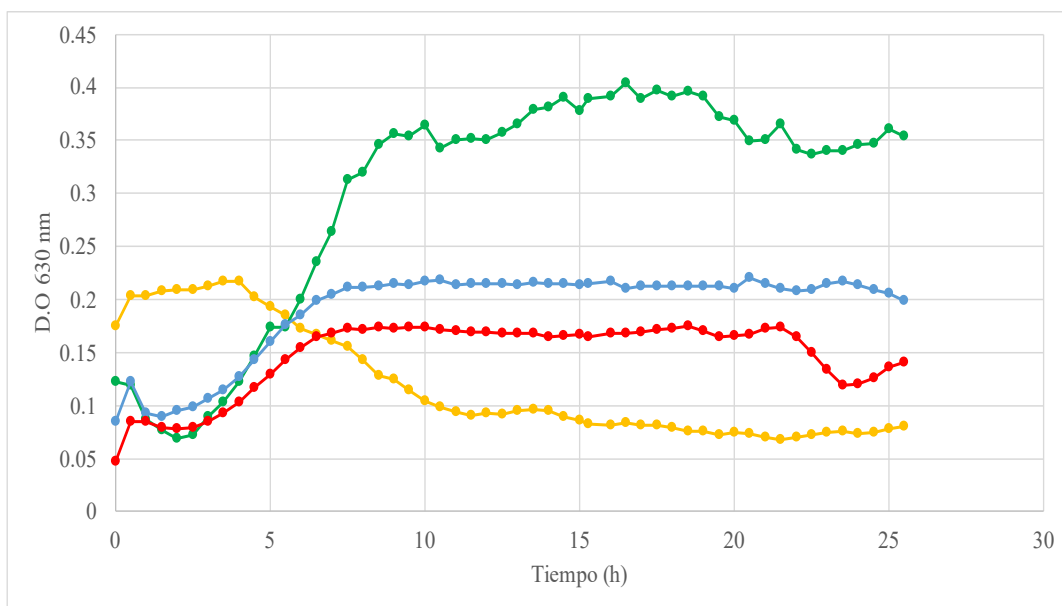


Figura 2. Gráfica de crecimiento en función del tiempo / absorbancia de *Saccharomyces boulardii* en los jugos de xoconostle proveniente de los grupos A1 y A2. ● A2, ● control +-, ● A1, ● control -.

En la figura 2, se presenta el crecimiento *S. boulardii* en función de la densidad óptica obtenida en los jugos A1 y A2 con un inóculo inicial entre 0.05 y 0.2 (D.O). En las primeras 5 h se observa la etapa de adaptación de la cepa en el medio adicionado con jugo, en este caso la D.O. inicial en el control negativo está por arriba de las otras muestras manteniéndose constante hasta cerca de las 5 h. Posteriormente se observó a las 6 h un aumento en el crecimiento con D.O. de 0.17, tanto para el control positivo como para los jugos de ambos grupos A1 y A2. Siendo evidente una diferencia en comparación con el control positivo a las 10 h, cuando entran a la fase estacionaria manteniéndose hasta las 18 h y 50 min con una D.O de 0.22 nm para ambos grupos y de 0.35 para el control positivo. Aun cuando en el grupo A1 se percibe un ligero aumento en su crecimiento alcanzando un máximo hasta 0.24 D.O., esto no indica que el jugo sea un sustrato que estimule el crecimiento de esta levadura.

Sin embargo, se espera que el presente trabajo sea un aporte al conocimiento para futuras evaluaciones que consideren un posible uso del jugo de xoconostle, como sustrato para la obtención de bebidas con funcionalidad prebiótica. Para ello, será necesario realizar pruebas de funcionalidad al jugo de xoconostle empleando otras variedades y cultivos para implementar otros análisis que permitan hacer una evaluación en un modelo de digestión *ex-vivo* para determinar, si la microbiota en conjunto es estimulada.

4. Conclusiones

La actividad antioxidante de los jugos de xoconostle es mayor en el grupo A2, acorde al contenido de ácido ascórbico para ambos grupos. Mientras que el contenido de polifenoles es equivalente entre A1 y A2 con 1.50 ± 0.14 mg y 1.54 ± 0.31 mg EAG/mL, respectivamente.

La actividad prebiótica sobre la bacteria y levadura utilizadas, no presenta significancia en relación al control positivo. Sin embargo, el grupo A2 presentó ligeramente una estimulación en comparación con el grupo A1, debido al estado de maduración del fruto en el cual influye también el contenido de glucosa y sacarosa. Además de considerar los factores como la baja cantidad de fuente de carbono asimilable y el valor de pH. Por lo tanto, se continuará analizando otras variedades del xoconostle para establecer una posible actividad prebiótica empleando otras variedades de xoconostle, para definir si es posible que sea considerado un producto con funcionalidad prebiótica.

5. Referencias

- A.O.A.C (Ed.). (2000). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists.
- Canuto, P. (2010). *Evaluación de las características fisicoquímicas de dos especies de xoconostle (Opuntia oligacantha y joconostle) para evidenciar sus cualidades nutritivas*. Saltillo Coahuila, México.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Simth, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356.
- Gallegos, V. C., Mondragón, J. C., & Reyes, A. J. A. (2009). An update on the evolution of the cactus pear industry in Mexico. *Acta Horticulturae*, 811(February), 69–76. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.811.5>
- García, K. (2020). *El poder de... El xoconostle*. El Poder Del Consumidor. <https://elpoderdelconsumidor.org/2020/09/el-poder-de-el-xoconostle/>
- Gorostiola, E. H. (2015). *Efecto del secado por aspersión en la actividad hipoglucemiante de jugo de xoconostle (Opuntia joconostle)*. Instituto Politécnico Nacional México.
- Guzmán, Morales, M. A. L., Mondragón, J. C., Herrera, H. G., Guevara, L. F., & Reynoso, C. R. (2010). Physicochemical, nutritional, and functional characterization of fruits xoconostle (opuntia matudae) pears from central-México Region. *Journal of Food Science*, 75(6). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01679.x>
- Guzmán, S., Mondragón, C., Herrera, G., Guevara, F., & Reynoso, R. (2009). *El Xoconostle: Un Fruto con Alto Valor Nutritional y Nutracéutico. Prácticas Básicas para su Producción* (1st ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Monroy, G. T., Martínez, D. M. T., Barrientos, P. A. F., Gallegos, V. C., Cruz, A. O., & Vargas, M. H. (2017). Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en frutos de xocotuna, tuna y xoconostle (Opuntia spp.). *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 33(3), 263–272. <https://doi.org/10.4067/s0719-38902017005000704>
- Morales, P., Barros, L., Ramírez, M. E., Santos, B. C., & Ferreira, I. C. F. R. (2014).

Exploring xoconostle by-products as sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 65(PC), 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.067>

- Morales, P., Barros, L., Ramírez, M. E., Santos, B. C., & Ferreira, I. C. F. R. (2015). Xoconostle fruit (*Opuntia matudae* Scheinvar cv. rosa) by-products as potential functional ingredients. *Food Chemistry*, 185, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.012>
- Osorio, E. O., Alicia, O. M., Álvarez, V. B., Dorantes, Á. L., & Giusti, M. M. (2011). Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Research International*, 44(7), 2160–2168. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.011>
- Patel, S. (2013). Reviewing the prospects of *Opuntia* pears as low cost functional foods. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 12(3), 223–234. <https://doi.org/10.1007/s11157-012-9295-6>
- Pímlenta, B. E., Méndez, M. L., Ramírez, H. B. C., García de Alba, G. J. E., & Domínguez, A. R. M. (2008). Efecto de la ingestión del fruto de xoconostle (*Opuntia joconostle* Web.) sobre la glucosa y lípidos séricos. *Agrociencia*, 42(6), 645–653.
- Prieto, G. F., Méndez, M. M., Pérez, C. E., Filardo, K. S., & Cruz, M. B. (2008). Morfología tamaño y distribución de partículas en semillas de cinco especies del género *Opuntia*. Morphology, size and particle distribution in seeds of five species of the genus *Opuntia*. *Univerisad y Ciencia Trópico Húmedo*, 24(2), 159–162.
- Sáenz, C., Cancino, B., & Robert, P. (2012). Red betalains from *Opuntia* spp.: Natural colorants with potential applications in foods. *Israel Journal of Plant Sciences*, 60(3), 291–299. <https://doi.org/10.1560/IJPS.60.2.291>
- Sánchez, G. N. (2006). *Extracción y caracterización de los principales pigmentos del opuntia joconoste c.v. (xoconostle)*. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, México.
- Saura, C. F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. (1993). Resistant Starch in Foods: Modified Method for Dietary Fiber Residues. *Journal of Food Science*, 58(3), 642–643. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04346.x>
- Scheinvar, L. (2009). VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimientos y Aprovechamiento del Nopal. *Biosistemas de Los Xoconostles Mexicanos y Su Potencial Económico*, 255–274.
- Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 36–44.