

ESTUDIO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE CONCENTRADO DE FRUCTANOS DE YACÓN A TRAVÉS DE SECADO EN SPRAY

STUDY OF THE PROCESS FOR OBTAINING YACON FRUCTANS BY SPRAY DRYING

Soruco, Juan A.¹; Maldonado, Silvina¹

RESUMEN

Se estudiaron 1) las condiciones de secado por atomización de un concentrado en fructanos de yacón y 2) se realizó la caracterización y evaluación de la estabilidad del polvo obtenido. Se extrajo el jugo del tubérculo, se filtró, clarificó y se separaron los hidratos de carbono por ultrafiltración. Al permeado se le agregó 3% de maltodextrina como coadyuvante de secado y luego se eliminó el agua utilizando secado por atomización. Las mejores condiciones encontradas, fijando como parámetro el rendimiento y el estado físico final del polvo fueron: temperatura de aire de entrada 160°C, temperatura de salida 120°C, velocidad de aire 6,9 m/s, flujo de alimentación 0,30 l/h, para un rendimiento del 65,6±0,9%. Se obtuvo un sólido granular blanco-amarillento con 1,9±0,1% de humedad, aw de 0,22±0,01, temperatura de transición vítreo 62,90±0,01°C, higroscopacidad 52,43±0,02%, solubilidad 85,02±0,01% y tiempo de disolución 2,5±0,1 minutos. El producto desarrollado resultó estable y sus características muestran que podría tener aplicaciones como ingrediente funcional en la formulación de productos alimenticios.

Palabras claves: Yacón. Atomización. Rendimiento. Caracterización

SUMMARY

The conditions of spray drying of a fructans concentrate obtained from yacón was studied and the powder obtained was characterized and assessed. The juice was extracted from the tuber, filtered, clarified and then carbohydrates were separated by ultrafiltration. Maltodextrin (3%) was added to the permeate as drying adjuvant and then the water was removed using atomization process. The best conditions found by setting the performance and final physical state of the powder as a parameter were: intake air temperature 160 ° C, outlet temperature 120 ° C, air velocity 6.9 m / s, feed flow 0.30 L / h, for a yield of 65.6±0.9 %. A yellowish-white powder with 1.9±0.1 % moisture was obtained, aw of 0.22±0.01, glass transition temperature 62.90±0.01 ° C, hygroscopicity 52.43±0.02%, solubility 85.02±0.01% and dissolution time 2.5±0.1 minutes. The product developed was stable and its characteristics show that it could have applications as a functional ingredient in the formulation of food products.

Keywords: Atomization. Characterization. Yacón. Yield

INTRODUCCIÓN

Jujuy pertenece a la región subandina de Sudamérica y comparte un área de montaña con condiciones socioeconómicas desfavorables, dedicada fundamentalmente a una agricultura intensiva bajo riego, practicada por pequeños productores minifundistas en su mayoría de ascendencia aborigen. Sin embargo, la zona tiene ventajas comparativas con respecto a otros países o regiones en lo referente a ecosistemas, especies, diversidad genética y conocimiento tecnológico, las cuales, aprovechadas adecuadamente, no sólo en lo que respecta a materia prima sino en productos transformados y acrecentados en calidad y valor nutritivo, pueden permitir el desarrollo sostenido y sustentable de la región. Los campesinos de esta zona realizan cultivos hortícolas, frutales y cría de ganado menor, tales como oveja y cabra, en las que ésta última representa una de las más importantes.

En el contexto actual, el desarrollo de alimentos debe considerar la real posibilidad de inserción del producto en un mercado altamente competitivo como el relacionado al sector lácteo, en el que la única posibilidad de éxito comercial está fundada en la diferenciación del producto, proporcionándole al consumidor elementos adicionales de valoración respecto a los productos comerciales tradicionales, los que deberán ser lo suficientemente explícitos como para lograr la percepción de la mayor calidad por el consumidor. Es en este sentido que pueden combinarse productos y subproductos de la zona como materia prima para generar nuevos alimentos diferenciados y con potenciales características funcionales.

Dentro de la variada producción agrícola de los productores de la Quebrada jujeña y como elemento sinérgico para asociar a la leche de cabra, se considera al yacón (*Smallanthus sonchifolius*), un tubérculo originario de la región andina cuya raíz contiene principalmente agua e hidratos de carbono y, a diferencia de la mayoría de las raíces y tubérculos que almacenan almidón, el yacón acumula una gran diversidad de azúcares entre ellos fructanos de alto y bajo peso molecular. Los fructanos de bajo peso molecular, también llamados fructooligosacáridos o simplemente FOS, se consideran carbohidratos altamente fermentables, son sustratos fermentativos para el crecimiento de bifidobacterias que constituyen hasta un 25 % de la flora del colon y,

durante su competencia al fermentar los FOS, contribuyen a la disminución y hasta la anulación de cepas patogénicas que son sensibles al medio ácido. Esta capacidad de estimular el crecimiento en el colon de bacterias específicas consideradas beneficiosas y de estimular y hasta anular el crecimiento de bacterias patógenas, se conoce como efecto prebiótico. Por su configuración química los FOS no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas del hombre y de animales (Andersson y otros, 2001; Cummings y otros, 2001; García y Velasco, 2007), por lo que se comportan como fibra dietaria. Suelen ser muy estables en los rangos de pH encontrados en la mayoría de los alimentos (pH entre 4 y 7) así como durante la refrigeración (Yun, 1996; Maldonado y Nuñez-Souza, 2013) y aportan un valor calórico reducido (1,5 kcal/g) si se comparan con los carbohidratos digeribles (4 kcal/g) (Madrigal y Sangronis, 2007). En este sentido pueden usarse como sustitutos hipocalóricos de varios tipos de azúcares. Es importante destacar que el consumo de FOS no aporta concentraciones considerables de glucosa, por lo que su consumo es recomendado como sustituto de la sacarosa (Seminario y otros, 2003). Poseen un ligero sabor dulce (entre 30 a 50% del poder edulcorante de la sacarosa), son totalmente solubles en agua, lo que les otorga propiedades humectantes cuando se emplean como aditivos en la formulación de alimentos y poseen capacidad de formar geles cremosos cuando se calientan en medios acuosos (Yun, 1996).

La viscosidad de las disoluciones de FOS suelen ser mayores que las de otros hidratos de carbono en la misma concentración y más estables térmicamente (Yun, 1996). Estas características fisicoquímicas relevantes convierten al yacón en un recurso natural para la obtención de FOS y en un ingrediente para la elaboración de alimentos funcionales o nutraceuticos (Niness, 1999; Roberfroid, 2000).

Varios estudios han demostrado que los fructanos de alto peso molecular (tipo inulina) se pueden utilizar con éxito para reemplazar la grasa (Bolenz y otros, 2006; Brennan y otros, 2004; Flaczyk y otros, 2009; Moscattó y otros, 2006). La inulina se ha aplicado en varios productos lácteos, incluidos helados (Ismail y otros, 2013;), yogur (Yi y otros, 2010), postre (Arcia y otros, 2011), y queso de imitación/queso fresco (Hennelly y otros, 2006; Koca y Metin, 2004). Los FOS han sido evaluados en estudios en humanos y en animales, en los que se ha establecido su

efectividad y seguridad (Coussement, 1999). Genta y otros (2009) concluyeron que con un consumo de 0,14 g de FOS/ kg de peso corporal/ día no se evidencian reacciones adversas gastrointestinales.

Las propiedades descriptas llevan a considerar la utilización de estos fructanos en la obtención de productos funcionales, para lo que se considera necesario diseñar su proceso de obtención, a partir del yacón, en la forma física apta para su conservación y comercialización.

Los productos primarios de la región de la Quebrada jujeña como el yacón y la leche de cabra, pueden brindar, a través de su agregado de valor, una oportunidad para el desarrollo de la Agroindustria Rural Local (ARL) aún en estado incipiente de desarrollo, con impacto económico y social para la región, proporcionando a su vez mayor ingreso a los productores de la zona, así como nuevas opciones laborales para los jóvenes. Particularmente, el desarrollo de productos lácteos con el agregado de los componentes prebióticos del yacón representaría una innovación para la agroindustria local, por lo que el objetivo de este trabajo fue diseñar el proceso de obtención de fructanos a partir de yacón, evaluando la efectividad de la inclusión de la etapa de secado por atomización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó como materia prima yacón (*Smallanthus sonchifolius*) adquirido directamente de los productores de la localidad de Bárcena, provincia de Jujuy. Debido a la variación de la composición que sufre la materia prima después de la cosecha y con el tiempo de almacenamiento se decidió adquirir la cantidad necesaria para este estudio en una sola oportunidad a fin de anular el efecto de la variación de la composición en el estudio realizado.

Se seleccionaron aquellos tubérculos sanos, sin magulladuras y sin indicios de alteración. Se trasladaron inmediatamente al laboratorio donde permanecieron en lugar fresco, oscuro y seco hasta su procesamiento, lo que se llevó a cabo en un tiempo no superior a los 5 días. Las raíces tuberosas se seleccionaron por similitud de tamaño y grado de madurez. El contenido de sólidos solubles en el yacón fresco fue de $6,5 \pm 0,6$ °Brix y de FOS $5,32 \pm$

0,03g de FOS/100 g de yacón.

Material de referencia

Se utilizó un producto sólido granular comercial, obtenido por hidrólisis de inulina de achicoria, marca Beneo TMP95 (DOC.CHA3-04*06/06) provisto por la empresa ORAFTI Active Food Ingredients, para la elaboración de muestras control, cuya composición es Oligofructose > 93% 2-8 dp (grado de polimerización), Glucose+fructose+sucrose (FFn +GFn) < 7% (Beneo-Orafti, Barcelona, España).

Obtención y caracterización de la solución concentrada en fructanos de bajo peso molecular

Los tubérculos se lavaron, pelaron y se sumergieron inmediatamente en solución de ácido cítrico (500 ppm) a 80°C, durante 15 min, para control de pardeamiento no enzimático. Se trituraron para obtener una pasta, junto con el agregado de metabisulfito (750 ppm) y sorbato de potasio (500 ppm), como agentes de antipardeamiento enzimático y antimicrobiano. Se eliminaron las fibras vegetales mediante sucesivas centrifugaciones y filtraciones al vacío. Luego se sometió el extracto clarificado a ultrafiltración (UF) a escala laboratorio. Se utilizaron los siguientes componentes (1) Módulo de filtración tangencial con membranas de polietersulfona Vivaflow 200, con Peso Molecular de corte de 2 kD y área de filtración de 200 cm² (2) Bomba peristáltica Masterflex, (3) Manómetro para monitorear la presión transmembrana, escala de 1 a 3 bar, (4) reservorio de alimentación y de retenido y (5) reservorio de permeado.

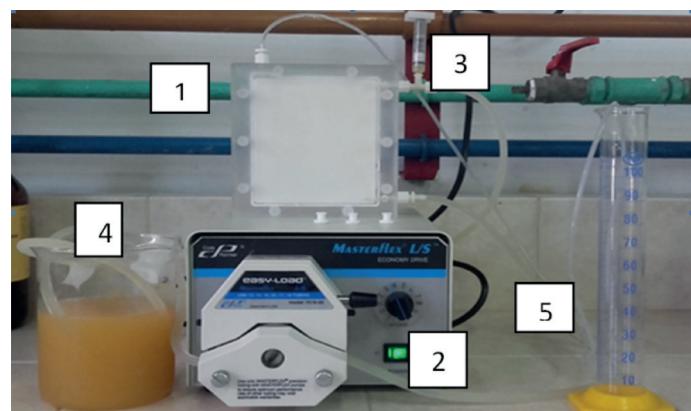


Figura 1: Equipo de ultrafiltración

El proceso de ultrafiltración se llevó a cabo recirculando el retenido al tanque de alimentación y operando a la presión de 1,5 bar con ambas membranas. El jugo clarificado de yacón se concentró desde 400 ml a 100 ml. Se obtuvieron a partir de allí dos fracciones de fructanos: una de peso molecular mayor al punto de corte o retenido (R) y otra de peso molecular menor al punto de corte o permeado (P). El permeado obtenido fue caracterizado en cuanto a:

- pH: determinado por un equipo marca HANNA modelo HI99161.
- Sólidos solubles: medidos a temperatura ambiente con un refractómetro de mesa marca ABBE modelo BK-R2S
- Sólidos totales: por evaporación de un volumen medido de retenido y se secó el residuo en estufa a 60°C hasta peso constante. Se calculó el porcentaje de sólidos totales como % p/V de extracto.
- Contenido de fructanos: determinados por Método AOAC Nº 999.03.

Diseño de la Operación de secado

Se realizó una prueba de secado para poder determinar las condiciones de operación utilizando soluciones de FOS comercial en diferentes concentraciones: 7%, 10% y 25% p/p. Se utilizó un equipo marca Spray Process Modelo DR-0,3, cuyo esquema se muestra en la Figura 2.

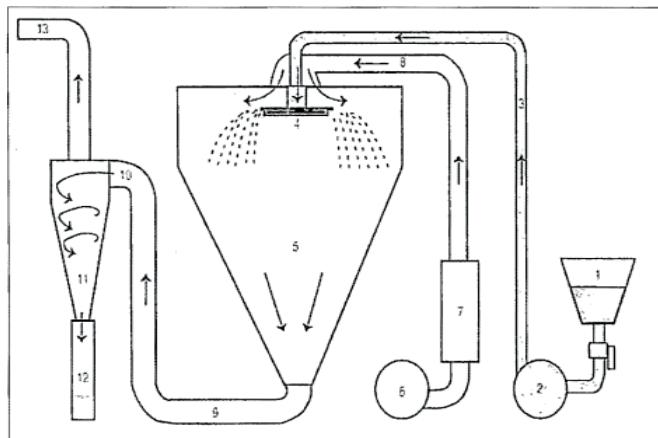


Figura 2: Equipo secado en spray.

1. Tanque de depósito.
2. Bomba para transporte del líquido (alimentación)
3. Tubería de ingreso del fluido a secar.

4. Atomizador o pulverizador.
5. Cámara de secado
6. Soplador de aire a alta velocidad al interior de la cámara.
7. Calentador de aire.
8. 9. 10. Tuberías de conexión.
11. Ciclón de recuperación.
12. Ventilador - Exhaustor

Se estudiaron las condiciones de operación, analizando el efecto de la variación del flujo de alimentación, temperatura del aire de entrada y la temperatura de salida, fijando como parámetro el rendimiento del secado y el estado físico final del polvo.

Los rangos de estudio se fijaron de la siguiente manera:

- Temperatura del aire de entrada (Te): de 110 a 165 °C
- Temperatura de salida del aire (Ts): de 78 a 125°C
- Caudal/Flujo de alimentación (Fa): de 0,3 a 1,6 l/h
- Velocidad de aire (va): de 4,4 a 6,9 m/s
- Presión de aire: 2 bar

El equipo se alimentó con agua durante un mínimo de 20 minutos antes de alimentar la muestra, a fin de estabilizar las condiciones de operación y después de realizar cada corrida de secado para limpieza del circuito.

El extracto acuoso de yacón se alimentó al secadero a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) y se secó utilizando las condiciones de operación cuyos rangos de estudios fueron encontrados con la muestra control, para validar las mismas. El sólido obtenido se pesó, se envasó bajo vacío (93%) y se almacenó a temperatura ambiente. Se calculó el rendimiento (y) de la operación de secado mediante:

Donde:
$$y = \frac{S_T}{S_{T0}} \times 100$$

S^{T0}: contenido de sólidos en la solución de alimentación

S^T: contenido de sólidos en el polvo final

Se analizaron las propiedades de los polvos obtenidos, con el fin de seleccionar las mejores condiciones del proceso de secado.

Análisis del polvo concentrado en FOS obtenido

Se determinaron:

- El contenido de humedad en el polvo (Met. AOAC 984.25).
- Temperatura de transición vítrea (Tg) por Calorímetría Diferencial de Barrido, usando un equipo TA Instruments Modelo Q2000, conectado a una computadora con software TA Instrument Control (Sardar y Singhal, 2013).
- Actividad de agua (aw) del sólido, usando un equipo Aqua Lab Series 3 TE (Met. AOAC 978.18)
- Solubilidad en agua a 25°C (Cano-Chauca et al., 2005)
- El tiempo de disolución, agregando 10 g de sólido a 100 ml de agua en continua agitación a 400 rpm y 25°C (Beristain et al., 1994).
- La higroscopidad (Hg), expresada como el contenido de humedad final del sólido expuesto a un ambiente de HR constante de 79,5%. Se determinó mediante metodología descrita por Jaya y Das (2004) y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$HG\% = \frac{\frac{b}{a} + W_i}{1 + \frac{b}{a}} \cdot 100$$

Donde b (g) es el aumento de peso del sólido, a (g) es la cantidad inicial de sólido y Wi (% b.h.) es la humedad inicial del sólido (en base húmeda).

- El contenido de fructanos por el Mét. AOAC 999.03

Se realizaron los mismos estudios sobre el polvo recuperado del secado de la solución de producto comercial, obtenido en la etapa de diseño.

Análisis estadístico

Los datos experimentales se analizaron con el

Software Statgraphics Centurion XVII. Se realizó un análisis ANOVA multifactorial, buscando además posibles correlaciones, con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de obtención de jugo de yacón clarificado tuvo un rendimiento del 78,47%, calculado en función del peso inicial del yacón; el pH del jugo fue de $6,0 \pm 0,2$, su contenido de sólidos solubles del $11,8 \pm 0,7$ °Brix y presentó un contenido de sólidos totales del $13,5 \pm 0,7$ %. La solución concentrada de fructanos, obtenida por ultrafiltración, tuvo un pH de $6,06 \pm 0,08$; un contenido de sólidos solubles de $7,5 \pm 0,5$ °Brix, un contenido de sólidos totales del $7,4 \pm 0,1$ % y un contenido de fructanos del $2,11 \pm 0,03$ g/100g de jugo permeado.

Las condiciones de secado y los rendimientos obtenidos en la prueba preliminar de diseño, en la que se utilizó solución de FOS comercial de 25%, 10% y 7% (p/p), se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1: condiciones de secado FOS comercial.

Tratamiento	Concentración. %	F _a (l/h)	v _a (m/s)	T _e (°C)	T _s (°C)	HR% amb.	Rendimiento (y) %
T ₁	25	1,60	4,40	158	80	70	4,3±0,4 ^(a)
T ₂	25	1,30	4,40	160	93	70	6,3±0,5 ^(b)
T ₃	25	0,30	4,40	165	110	60	73,4±1,2 ^(c)
T ₄	10	1,60	6,10	124	77	42	21,2±0,9 ^(a)
T ₅	10	1,30	6,10	130	88	46	66,3±0,7 ^(b)
T ₆	10	0,30	6,10	133	96	46	70,3±0,3 ^(c)
T ₇	7	1,60	6,10	130	80	60	34±1,3 ^(a)
T ₈	7	1,30	6,10	135	95	56	60±0,6 ^(b)
T ₉	7	0,30	6,10	135	100	61	67±0,9 ^(c)

Valores promedio en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05).

Las combinación de condiciones estudiadas que generaron rendimientos nulos o cercanos a cero ($F_a > 1,6$ L/h y $v_a > 6,10$ m/s) no fueron incluidas en la Tabla 1.

El resultado del análisis multifactorial y de las posibles correlaciones cuando se utilizaron las 3 variables independientes (concentración, flujo de alimentación y velocidad del aire de secado) mostró que el valor-P en la tabla ANOVA fue menor que 0,05, con lo cual puede afirmarse que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%. Dado que el valor-P más alto de las variables independientes fue de 0,9057, que corresponde a la variable concentración y puesto que el valor-P resultó $\geq 0,05$, ese término no es estadísticamente significativo, con un nivel de confianza del 95,0%. Consecuentemente se consideró realizar el análisis eliminando la variable concentración del modelo. En este caso el valor-P en la tabla ANOVA resultó menor que 0,05, lo que muestra que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0% (Tabla 2). Dado que el valor-P más alto de las variables independientes es 0,0332, que corresponde a la velocidad del aire y puesto que el valor-P es menor que 0,05, el término correspondiente a la variable velocidad del aire es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0%.

La correlación muestra que el rendimiento aumenta significativamente con la velocidad del aire y disminuye significativamente con el flujo de alimentación, similar a lo que informan Chegini y Ghobadian (2007), quienes obtuvieron mayores rendimientos en el secado de jugo de naranja a F_a bajos. Estos resultados se atribuyen que al ser un flujo bajo, la relación aire/alimentación se hace mayor y por tanto se logra una eliminación más eficiente del agua, evitando la proyección de gotas de líquido sobre las paredes del equipo, las que luego se secan sobre la superficie formando una capa tipo costra que se adhiere a la pared del equipo. Esta capa implica una pérdida de sólidos que no se recuperan y que, por lo tanto, disminuye el rendimiento de la operación.

La temperatura del aire de secado, tanto a la entrada como a la salida del equipo, influye sobre el rendimiento y queda determinada operacionalmente una vez que se fija el caudal de alimentación y la velocidad del aire. Por esta razón se realizó un análisis estadístico independiente para visualizar el efecto de la temperatura sobre el rendimiento. Se encontró que el valor-P en la tabla ANOVA resultó menor que 0,05, con lo cual se demuestra que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%. El rendimiento del secado aumenta conforme la temperatura se incrementa. Tonon y otros (2008) mencionan que el incremento de la temperatura conduce a altos rendimientos, atribuyéndose este efecto a la gran eficiencia de los procesos de transferencia de calor y masa que ocurren cuando se incrementa la temperatura.

	Rendimiento	F _a	v _a
Rendimiento	1.0000	-0.2389	-0.9309
F _a	-0.2389	1.0000	-0.1012
v _a	-0.9309	-0.1012	1.0000

Tabla 2: Matriz de Correlación para las estimaciones de los coeficientes.

La mayor recuperación de polvos se logró cuando la T_e fue de 165°C y la T_s de 110°C. Al respecto,

Oomah y Mazza (2001) señalan que un incremento en la temperatura del aire, a la salida del secadero spray, favorece la recuperación de los polvos e informan que obtuvieron mayor rendimiento cuando T_s fue de 85°C, mientras que, para este trabajo, la más alta recuperación de polvos se logró cuando T_s fue 110°C.

Según se observa en la Tabla 1 los mejores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos T3,

En la Tabla 3 se muestran las condiciones de secado que permitieron obtener el polvo de fructanos de yacón. Para valores de flujo de alimentación

T5 y T10. Las condiciones de esos tres tratamientos se eligieron para el secado del extracto de fructanos. Con las tres, se observó una capa de sólido adherida a la superficie interna del ciclón y a las tuberías del equipo, con lo que el rendimiento obtenido fue muy bajo. Por ello se decidió incorporar maltodextrina (3%) como coadyuvante de secado (Bhandari y otros, 1993). Esto llevó a la necesidad de estudiar nuevamente las de condiciones de secado, ampliando el rango.

mayores a 0,63 l/h y para velocidades de aire menores a 4,40 m/s se obtuvieron rendimientos nulos, por lo cual no fueron incluidos en la Tabla.

Tabla 3: condiciones de secado del concentrado de fructanos de yacón.

Tratamiento	F_a (l/h)	v_a (m/s)	T aire amb (°C)	HR amb %	T_e (°C)	T_s (°C)	Rendimiento (y) %
T ₁	0,63	4,4	22	56	146	110	1,8±0,1
T ₂	0,63	5,60	20	59	156	112	3,8±0,1
T ₃	0,30	6,10	23	67	156	119	6,7±0,3
T ₄	0,30	6,9	23	71	165	125	32,3±0,6
T ₅	0,30	6,9	23	59	162	122	38,5±0,6
T ₆	0,30	6,9	16,5	44	160	120	65,6±0,9

El mayor rendimiento se obtuvo con el Tratamiento T6, que resulta de la combinación de una temperatura de entrada de aire de 160°C, temperatura de salida de aire de 120°C, con un flujo de alimentación de 0,30 l/h y velocidad de aire 6,9 m/s.

Se observó que por encima de 165°C (temperatura de entrada del aire) el producto no se recupera y empieza la degradación del material. Berna (2009) estudió el efecto de la temperatura en el rango 160-

Los resultados en cuanto a las propiedades fisicoquímicas evaluadas sobre el producto

200°C, obteniendo mejores rendimientos con 160°C, mientras que Murga-Ramírez (2014), trabajando en rangos de temperatura que van de 160°C a 180°C alcanzaron mejores resultados con 170°C.

Un parámetro que resultó importante para la obtención del mejor rendimiento fue la humedad relativa del ambiente, mientras más bajo su valor mayor rendimiento del proceso.

obtenido con las condiciones que arrojaron el mayor rendimiento, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: propiedades fisicoquímicas del polvo de fructanos de yacón.

Parámetros	Muestra	
	Comercial	FOS Yacón
Humedad %	3,3±0,1 ^(a)	1,9±0,5 ^(b)
Actividad de agua	0,39±0,01 ^(a)	0,22±0,01 ^(b)
Temperatura de transición vítreo °C	40,96±0,01 ^(a)	62,90±0,01 ^(b)
Solubilidad %	96,33±0,01 ^(a)	85,02±0,01 ^(b)
Tiempo de disolución (min)	2,5±0,1 ^(a)	3,24±0,03 ^(b)
Higroscopidad %	52,76±0,02 ^(a)	52,40±0,02 ^(a)
Contenido de fructanos (g/100g)	93±4 ^(a)	44±3 ^(b)

Se observa que los valores de humedad y actividad de agua del producto en polvo obtenido de yacón son menores a los obtenidos con el producto comercial. El contenido de humedad se encuentra dentro de los encontrados por Brites (2013) y Nishi (2012), quienes trabajaron deshidratando un extracto acuoso de yacón. Los bajos valores de humedad y las bajas actividades de agua son necesarios para la conservación de los productos alimenticios, lo que permite asegurar su estabilidad durante el almacenamiento y por un tiempo relativamente prolongado. En ambos casos los valores de actividad de agua se encuentran cercanos a los encontrados por Nishi (2012), quien trabajó con una solución de permeado de yacón, con un 10% de goma arábica, secando a 160°C. Los bajos valores alcanzados le confieren mayor estabilidad al producto ante los fenómenos degradativos que podrían ocurrir durante el almacenamiento.

El sólido obtenido a partir de yacón presenta una temperatura de transición vítreo (T_g) mayor que el obtenido a partir del producto comercial. Estos resultados se relacionan con el hecho de que la T_g disminuye con el aumento de la concentración de agua en el producto y dado que el agua es un plastificante eficaz en matrices de alimentos, es capaz de disminuir la temperatura de transición vítreo y la resistencia mecánica, determinando un efecto de ablandamiento con el aumento de su concentración (Pittia y Sacchetti, 2008).

La solubilidad del sólido desarrollado a partir del yacón resultó menor que la del producto comercial mientras que su tiempo de disolución fue mayor. La solubilidad se relaciona a la reconstitución del polvo, es decir a su capacidad de formar una solución o suspensión en agua (Barbosa-Cánovas y Juliano, 2005). Brites (2013) reportaron que la solubilidad de un polvo de yacón ultrafiltrado encapsulado con un 10% de goma arábica fue del 92,98%. Fazaeli y otros (2012) obtuvieron valores de solubilidad de aproximadamente 87% en el jugo de mora en polvo al aumentar la temperatura de 110° a 150 °C, usando una concentración de maltodextrina del 8 al 16%.

No se encontraron diferencias significativas entre los valores de higroscopidad obtenidos con polvo de fructanos de yacón y con el producto comercial, implicando que ambos productos tienen igual capacidad para absorber agua de un ambiente de humedad relativa superior a la de equilibrio (Jaya

y Das, 2004). Brittes (2013) informaron valores de higroscopidad del 14 al 17% con 10 y 15% de goma arábica, siendo éstos menores a lo obtenido con el polvo de fructanos de yacón con 3% de maltodextrina. Esto podría evidenciar que al trabajar con mayores concentraciones de coadyuvante de secado se generan polvos menos higroscópicos.

El contenido de cada fructooligosacárido de grado de polimerización entre 2 (GF2) y 4 (GF4) en el yacón, varía debido a que éstos pueden sufrir hidrólisis a altas temperaturas, resultando en monómeros de baja masa molar, contribuyendo a un aumento de la higroscopidad lo que produce la pegajosidad del polvo. Esto llevó a la necesidad de envasar al vacío el producto, inmediatamente luego de ser obtenido y de almacenar en ambiente de humedad relativa menor a la ambiente ($HR=20\%$).

El contenido de fructanos del extracto seco en estudio (Tabla 4) fue significativamente menor al producto comercial, lo que podría ser resultado de la presencia de hidratos de carbono simples presentes en el tubérculo fresco cuyo peso molecular es también menor al punto de corte de la membrana de ultrafiltración usada para la etapa de concentración. Sin embargo la concentración de fructanos obtenida es mayor a la reportada por Brites (2013) quien encontraron un contenido de fructanos de 4,71g/100g en polvo deshidratado y a lo informado por Nishi (2012) quien encontró valores de 36,34 % p/p, lo que demuestra la efectividad de la etapa de concentración por ultrafiltración.

CONCLUSIONES

El rendimiento del producto final aumenta a medida que se incrementa la velocidad de aire y se disminuye el caudal de alimentación y conforme se incrementa la temperatura de secado.

La utilización de maltodextrina 3% p/p, como coadyuvante de secado del extracto de yacón, permite llevar a cabo el proceso disminuyendo la pérdida de material por adherencia al equipo.

A mayor relación aire/alimentación se logra una eliminación más eficiente del agua, evitando la proyección de gotas de líquido sobre las paredes del equipo, las que luego se secan sobre la superficie formando una capa tipo costra que se adhiere a la pared del equipo.

Las condiciones del proceso de secado que maximizaron el rendimiento del producto final (65,6%) resultaron en un flujo de alimentación 0,30 l/h, velocidad de aire de secado 6,9 m/s, temperatura de entrada del aire de 160°C y temperatura de salida del aire 120°C.

El polvo concentrado en FOS de yacón resultó higroscópico, lo que hace que no sea posible almacenarlo expuesto a las condiciones ambientales. El producto envasado al vacío, inmediatamente después de procesado, resultó estable.

Las características del sólido desarrollado muestran que podría tener aplicaciones como ingrediente aportador de FOS en la formulación de productos alimenticios.

BIBLIOGRAFÍA

A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist.

Andersson, H.; Asp, N.G.; Bruce, A.; Roos, S.; Wadström, T. & Wold, A.E. 2001. Health effect of probiotics and prebiotics. *Journal of Nutrition*. 45: 58-75.

Arcia, P.L.; Costell, E. & Tárraga, A. 2011. Inulin blend as prebiotic and fat replacer in dairy desserts: optimization by response surface methodology. *Journal of Dairy Science* 94(5): 2192-2200.

Barbosa-Canovas, G.V. & Juliano, P. 2005. Compression and compaction characteristics of selected food powders. *Advances in Food and Nutrition Research* 49(1): 233-300.

Beristain, C.; Mendoza, R.; Garcia, H. & Vazquez, A. 1994. Cocrystallization of Jamaica (Hibiscus sabdarifa L.) granules. *LebensmittelWissenschaft und-Technolgie* 27(4): 347-349.

Berna, M.L. 2009. Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de *Opuntia stricta* mediante secado por atomización. Trabajo final de grado Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Química Industrial. Unidad Politécnica de Cartagena. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/60416955.pdf>. Último acceso: 21 de diciembre 2018.

2018.

Bhandari, B.R.; Senoussi, A.; Dumoulin, E.D. & Lebert, A. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology* 11(5): 1081-1092.

Bolenz, S.; Amtsberg, K. & Schäpe R. 2006. The broader usage of sugars and fillers in milk chocolate made possible by the new EC cocoa directive. *International Journal of Food Science and Technology* 41: 45-55.

Brennan, C. S.; Kuri, V. & Tudorica, C. M. 2004. Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chemistry* 86(2): 189-193.

Brites, M.L. 2013. Separação de frutooligossacarídeos a partir do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) por ultrafiltração e encapsulamento por atomização. Dissertação (Mestrado PPGCTA), UFRGS: Porto Alegre. 147p. Disponible en: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/88881/000908979.pdf?sequence=1>. Último acceso: 21 de diciembre 2018.

Cano-Chauca, M.; Stringheta, P. C.; Ramos, A. M. & Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6(4): 420-428.

Chegini, G. R. & Ghobadian, B. 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences* 3(2): 230-236.

Coussement, P. A. 1999. Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. *The Journal of Nutrition* 129(7): 1412-1417.

Cummings, J.; Macfarlane, G. & Englyst, N. 2001. Prebiotic digestion and fermentation. *The American Journal of Clinical Nutrition* 73(2): 415-420.

Fazaeli, M.; Emam-Djomeh, Z.; Ashtari, A. K. & Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing* 90(4): 667-675.

Flaczyk, E.; Górecka, D.; Kobus, J. & Szymandera-Buszka, K. 2009. The influence of inulin addition as

fat substitute on reducing energy value and consumer acceptance of model pork meatballs. *Żywność Nauka Technologia Jakość* 16(4).

García-Peris, P. & Velasco-Gimeno, C. 2007. Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutrición hospitalaria* 22(2): 20-25.

Genta, S.; Cabrera, W.; Habbi N.; Juan, P.; Carrillo, I.M.; Grau, A. & Sanchez, S. 2009. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. *Clinical nutrition* 28(2): 182-187.

Hennelly, P.J.; Dunne, P.G.; O'Sullivan, M. & O'Riordan, E.D. 2006. Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering* 75(3): 388-395.

Ismail, E. A.; Al-Saleh, A.A. & Metwalli, A.A.M. 2013. Effect of Inulin Supplementation on Rheological Properties of Low-Fat Ice Cream. *Life Science Journal* 10(3): 1742-1746.

Jaya, S. & Das, H. 2004. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering* 63(2): 125-134.

Koca, N. & Metin, M. 2004. Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. *International Dairy Journal* 14(4):365-373.

Madrigal, L. & Sangronis, E. 2007. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos latinoamericanos de nutrición* 57(4): 387-396.

Maldonado, S. & Nuñez-Souza, M. 2013. Efecto del pH y el almacenamiento sobre los fructooligosacáridos del yacón (*Smallanthus sonchifolius*). IV Congreso Internacional de Ciencia y tecnología de los Alimentos. Córdoba.. Libro de trabajos completos. Conservación y almacenamiento I Biotecnología I Inocuidad. ISBN 978-950-33-1072-4.

Moscatto, J. A.; Borsato, D.; Bona, E.; De Oliveira, A. S. & de Oliveira Hauly, M. C. 2006. The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. *International journal of food science & technology* 41(2): 181-188.

Murga-Ramirez, E. G. (2014). Estudio del secado por atomización de la pulpa de Guayaba (*Psidium guajava L.*) del ecotipo rosado. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/313>. Último acceso: 21 de diciembre 2018.

Niness, K. 1999. Breakfast foods and the health benefits of inulin and oligofructose. *Cereal Foods World* 44 (2): 79-81.

Nishi, A. C. F. 2012. Extrato aquoso de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) desidratado por atomização. 84p. Tesis (Maestría en Nutrición y Salud), Universidad Federal de Goiás, Goiânia. Disponible en: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/1475/1/Dissertacao%20Candida%20Faustino%20Nishi.pdf>. Último acceso: 21 de diciembre 2018.

Oomah, B. D., & Mazza, G. 2001. Optimization of a spray drying process for flaxseed gum. *International journal of food science & technology* 36(2): 135-143.

Pittia, P. & Sacchetti, G. 2008. Antiplasticization effect of water in amorphous foods. A review. *Food Chemistry* 106(4): 1417-1427.

Roberfroid, M. B. 2000. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *The American Journal of Clinical Nutrition* 71(6): 1682-1687.

Sardar, B.R. & Singhal, R.S. 2013. Characterization of co-crystallized sucrose entrapped with cardamom oleoresin. *Journal of Food Engineering* 117(4): 521-529.

Seminario, J.; Valderrama, M. & Manrique, I. 2003. El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Lima, Perú.

Tonon, R. V.; Brabet, C. & Hubinger, M. D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea Mart.*) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering* 88(3): 411-418.

Yi, H.; Zhang, L.; Hua, C.; Sun, K. & Zhang, L. 2010. Extraction and enzymatic hydrolysis of inulin from Jerusalem artichoke and their effects on textural

and sensorial characteristics of yogurt. *Food and Bioprocess Technology* 3(2): 315-319.

Yun, J.W. 1996. Fructooligosaccharides occurrence preparation and applications. *Enzyme and Microbial Technology* 19(2): 107-117.