

Desarrollo de una bebida soluble antioxidante con base en tomate de árbol (*Solanum betacea*) para deportistas

*Development of a soluble antioxidant beverage of tree tomato (*Solanum betacea*) for sportsmen*

Fernando Buitrón^{1,*} y Jenny Ruales²

¹ Instituto Superior Tecnológico Ecuatoriano de Productividad, Quito, Ecuador

² Departamento de Ciencias de los Alimentos y Biotecnología, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

* Autor para correspondencia: fernando.buitronp@gmail.com

Fecha de recepción del manuscrito: 07/12/2022 Fecha de aceptación del manuscrito: 16/05/2023 Fecha de publicación: 30/06/2023

Resumen—Los deportistas requieren hidratación que además de carbohidratos y electrolitos contenga antioxidantes y dado que el tomate de árbol (*Solanum betacea*) es rico en antioxidantes el objetivo del presente estudio fue la elaboración de una bebida hidratante a base de polvo de tomate de árbol para deportistas. Se realizó la caracterización química y nutricional de la pulpa que luego fue tratada con un cóctel enzimático para incrementar los sólidos disueltos. Para definir las condiciones de secado de la pulpa por aspersión se probaron las variables: flujo de alimentación (12 y 17 mL/min); temperatura de secado (130, 140 150 y 180 °C); concentración de maltodextrina (3, 7 y 9%) y la mejor condición de secado se seleccionó con un análisis sensorial. Se procesó la fruta para realizar la formulación de la bebida hidratante, en la que se analizó la solubilidad, efectividad del proceso, características sensoriales y contenido de polifenoles. Las condiciones óptimas de secado fueron temperatura de secado de 140 °C, flujo de alimentación de 12 mL/min, y adición de maltodextrina al 9%, se adicionó fosfato tricálcico a 100 ppm para mejorar la efectividad. La pulpa deshidratada tuvo un alto contenido de -carotenos, minerales, polifenoles y antioxidantes. La formulación del producto tuvo un 37,47% de pulpa que proporciona 120 mg de polifenoles por cada 100 g de producto. Se empacó en un trilaminado de 40 gr para preparar 600 mL. Finalmente, el estudio de estabilidad del producto (16,7 °C y 67-80% de humedad relativa) durante tres meses mostró una vida útil de un año.

Palabras clave—*Solanum betacea*, Hidratante en polvo, Antioxidante, Deportistas, Secado por aspersión.

Abstract—Athletes require specific hydration that contains antioxidants in addition to carbohydrates and electrolytes, because the tree tomato (*Solanum betacea*) is rich in antioxidants, the objective of the present study was the elaboration of a hydrating drink in tree tomato powder for athletes. The pulp was chemically and nutritionally characterized and then treated with an enzymatic cocktail to increase dissolved solids. To define the pulp spray drying conditions, the following variables were tested: feed flow (12 and 17 mL/min); drying temperature (130, 140, 150 and 180 °C); maltodextrin concentration (3, 7 and 9%) and the best drying condition was selected by sensory analysis. The fruit was processed and formulated of the hydrating drink powder, in which solubility, process effectiveness, sensory characteristics and polyphenol content were analyzed. The optimum drying conditions were drying temperature of 140 °C, feed flow of 12 mL/min, and addition of maltodextrin at 9%; tricalcium phosphate was added at 100 ppm to improve effectiveness. The dehydrated pulp contained a high content of -carotenes, minerals, polyphenols and antioxidants. The product formulation contained 37.47% pulp providing 120 mg of polyphenols per-100 g of product. It was packed in a 40 g trilaminate to prepare 600 mL. Finally, the product stability study (16.7 °C and 67-80% relative humidity) for three months showed a shelf life of one year.

Keywords—*Solanum betacea*, Moisturizing powder, Antioxidant, Sportsmen, Spray drying.

INTRODUCCIÓN

Los deportistas de alto rendimiento realizan un esfuerzo físico que genera pérdida de electrolitos por medio de la sudoración que causa acumulación de ácido láctico, daño muscular, deshidratación y producción de radicales libres que provocan problemas degenerativos, por ello la necesidad de la hidratación con una bebida que no sólo contenga elec-

trolitos y carbohidratos para restaurar las pérdidas de dichos componentes sino también antioxidantes y polifenoles para neutralizar el efecto de los radicales libres (Aritz Urdampilleta et al., 2015).

Los principales antioxidantes contenidos en frutas y vegetales tienen la capacidad de prevenir enfermedades crónicas no transmisibles asociadas al estrés oxidativo. Es así que la pulpa de *Solanum betacea* (tamarillo o tomate de árbol)

se destaca por presentar vitamina C, vitamina E, provitamina A, minerales (potasio, calcio, cobre, hierro, manganeso y magnesio) y compuestos antioxidantes, como antocianinas y carotenoides (Alves et al., 2017). Sin embargo, en el país no se ha explotado el potencial de esta fruta para la hidratación de deportistas.

El tomate de árbol (*S. betacea*) es una planta nativa de América del Sur Bolivia, Chile, Ecuador, y Perú. *S. betacea* fue domesticada en el norte de Perú y el sur de Ecuador; y comercialmente se lo cultiva en Colombia, Ecuador, Perú y en Nueva Zelanda (Alves et al., 2017). En Ecuador *S. betacea* se cultiva en un rango de 2000 a 3000 msnm., en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar, Azuay y Loja (Revelo Moran et al., 2004), donde podemos encontrar cuatro genotipos: rojo puntón, anaranjado gigante, amarillo puntón y mora. Existen en mayor cantidad los genotipos anaranjado y amarillo y en menor cantidad los morados (Chamba Vaca, 2018).

Según Morillas-Ruiz y Delgado-Alarcón (2012), *S. betacea* tiene una concentración de compuestos fenólicos $2010,40 \pm 0,02$ gGA/g (μ g de ácido gálico por gramo de fruta) que le confieren capacidad de inhibición de radicales libres y actividad antioxidante, y además posee actividad prebiótica ya que se ha identificado hidrocoloides (proteína arabinogalactana) y polisacáridos hemicelulósicos productores de ácidos grasos de cadena corta. Por lo tanto, *S. betacea* es un alimento funcional potencial debido a sus propiedades biológicas, efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antivirales, antibacterianos, antidepresivos, anticancerígenos y sus pigmentos naturales se asocian con la prevención de enfermedades crónicas.

Debido a las características que presenta *S. betacea* y atendiendo a la necesidad de los deportistas de alto rendimiento, el principal objetivo de esta investigación es elaborar una base deshidratada de pulpa de tomate de árbol de genotipo anaranjado gigante para la preparación de una bebida hidratante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y preparación de la materia prima.

El tomate de árbol (*S. betacea*) de genotipo anaranjado gigante se obtuvo en el cantón Cevallos, provincia de Tungurahua. Se utilizaron 80 kg de fruta madura, previamente seleccionada con la escala de color 5-6 de la norma técnica NTE INEN 1 909:2015 (INEN, 2015).

Para obtener la pulpa, se lavó la fruta con agua potable y cloro con una concentración de 50 ppm, se cortaron los pedúnculos y la cáscara se retiró mediante pelado manual, luego se troceó la fruta con el desintegrador RIETZ de 5 HP modelo RP-8-k-115, marca General Electric. El despulpado de la fruta se realizó en el pulpatador Langsenkamp modelo M5707 con una malla de poro (N° 23) para separar las semillas de la pulpa. La pulpa obtenida y los desechos se pesaron para calcular el rendimiento del proceso. Finalmente, se empacó la pulpa en bolsas de polietileno de 8 kg y fueron almacenadas a -19 °C hasta su utilización.

Caracterización fisicoquímica de la pulpa de S. betacea.

La caracterización fisicoquímica de la materia prima consistió en evaluar los sólidos solubles totales, pH, índice de solubilidad (ISA) y materia insoluble en alcohol (MIA). El contenido de sólidos solubles totales fue determinado con la medición de grados Brix de cada muestra al colocar 2 gotas de pulpa de tomate de árbol en un brixómetro Hand Hekd Refractometer CHASE modelo N°80 -109. El pH se determinó en muestras de 40 mL de pulpa homogenizada en un vaso de precipitación de 250 mL con un pH-metro ORION modelo 210A calibrado antes de cada medición.

Para la determinación de la materia insoluble en alcohol (MIA) se colocaron 20 g de pulpa (M) homogenizada dentro un tubo Falcon y se centrifugó durante 10 minutos a 5000 rpm, concluido luego se separó el sobrenadante. A la pulpa residual, se agregó 20 mL de alcohol etílico al 90 %, se agitó empleando un vortex y luego se centrifugó por 10 minutos a 4000 rpm. El proceso se repitió hasta que la pulpa se tornó de color blanco. La pulpa blanca fue depositada en una caja Petri y se registró el peso inicial (P1), luego fue sometida a secado en una estufa a 70 °C durante 24 horas. Una vez enfriada la caja Petri en un desecador se registró el peso final (P2) y se calculó el porcentaje de MIA con la Ecuación 1.

$$\%MIA = \frac{P_2 - P_1}{M} \times 100 \quad (1)$$

Caracterización nutricional y de compuestos bioactivos de la pulpa de S. betacea.

La caracterización nutricional y de compuestos bioactivos consistió en los análisis: proximal, vitaminas, minerales, azúcares, ácidos orgánicos, polifenoles y la capacidad antioxidante.

El análisis proximal de la pulpa de *S. betacea* consistió en la determinación de la humedad, extracto etéreo, proteína, ceniza y carbohidratos. La humedad se determinó según el método descrito en AOAC (2007), 920.151, (37.1.12) utilizando una estufa de vacío a 70 °C y 100 mm de Hg. El Extracto Etéreo (E.E) fue determinado según el método descrito en AOAC (2007), 934.06, (37.1.10) y 920.39, (4.5.01), mediante secado en estufa de vacío y extracción con éter etílico en un equipo Goldfish. El contenido de Proteína (P) se terminó según el método explicado en AOAC, (2007), 920.152, (37.1.35). El contenido de cenizas se determinó según el método descrito en AOAC, (2007), 940.26, (37.1.18), en una mufla a 525 °C. El contenido de carbohidratos (C) se determinó según el método señalado por Hart y Fisher (1991). Para determinar el valor energético se utilizó la Ecuación 2 (Hart y Fisher, 1991).

$$\text{Valor energético} \left[\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right] = (P \times 4) + (E.E \times 9) + (C \times 4) \quad (2)$$

El contenido de Vitamina C como de β -carotenos se determinó con el método descrito por (DECAB, 2004b). Este análisis se realizó en un equipo de HPLC marca Hewlett Packard (HP), modelo 1050 series, usando un detector de UV-VIS.

El análisis de contenido de minerales (calcio, magnesio, sodio, potasio, zinc, manganeso, hierro y cobre) en la pulpa

de tomate de árbol realizó por espectroscopia de absorción atómica según el método DECAB-01 (Ruales et al., 2000).

El contenido de ácidos orgánicos se cuantificó siguiendo el método descrito por (Pérez et al. (1997). Mientras que el contenido de azúcares se cuantificó aplicando el método Modificado del Manual de la columna ASTEC NH2 (DECAB, 2004a). La extracción y determinación de polifenoles solubles totales se realizó según el método descrito por Slinkard y Singleton (1977) y la capacidad antioxidante, se determinó aplicando el método ABTS indicado por Re et al. (1999).

Hidrólisis de la pulpa de *S. betacea*.

Con el objeto de disminuir la carga de sólidos insolubles (SIS) y aumentar la cantidad de sólidos disueltos (SD) se realizó la hidrólisis de la pulpa. Para esto, se descongeló la pulpa y hidrolizó a 30 °C durante 30 minutos adicionando 1 mL/kg de coctel enzimático Rap Vegetable Juice®.

Secado por aspersión de la pulpa de *S. betacea*.

El proceso de secado por aspersión se realizó en el equipo de secado marca BUCHI-B299, modelo MM-LAN 045 con una temperatura de salida entre 80 – 100 °C. La pulpa fue mezclada con maltodextrina para mejorar el proceso de secado e incrementar el rendimiento y la solubilidad del producto seco (Miravet Valero, 2009) Previo a definir las condiciones del proceso de secado, probaron 13 tratamientos con los factores: i) flujo de alimentación con dos niveles (12 y 17 mL/min); ii) temperatura de secado con cuatro niveles (130, 140 150 y 180 °C); iii) concentración de maltodextrina con tres niveles (3, 7 y 9%).

Efectividad del proceso.

La efectividad del proceso se evaluó por la cantidad de sólidos disueltos en la pulpa (Ecuación 3). Donde EF corresponde al porcentaje de efectividad, SD a los sólidos disueltos que incluyen la adición de maltodextrina y el 3% de Sólidos Insolubles. Los SIS correspondieron a los sólidos insolubles tomados después de la enzimación

$$\%EF = \frac{\text{Peso del producto final}}{\text{Peso de SD} + \text{Peso de SIS}} \times 100 \quad (3)$$

A partir de los resultados obtenidos en la efectividad del proceso se seleccionaron los tratamientos con mayor rendimiento para la evaluación sensorial de los tratamientos y escoger la formulación más aceptable.

Características sensoriales de la pulpa deshidratada.

La evaluación sensorial se realizó con un grupo de 10 panelistas semi entrenados a quienes se presentaron las muestras preparadas en forma de bebidas. Cada muestra fue identificada mediante cifras al azar de 3 dígitos. La bebida a evaluar se preparó al mezclar 20 g de la pulpa deshidratada de tomate de árbol (en polvo) con 300 mL de agua de cada tratamiento. Los atributos evaluados fueron el aroma y sabor intenso a tomate de árbol, apariencia y consistencia de la mezcla, presencia de grumos, color y presencia de sabores extraños. Los atributos de sabor y aroma se calificaron usando una escala de 1 a 10 cm, los demás atributos se calificaron

cualitativamente (Anzaldúa, 1994). El tratamiento que presentó las mejores puntuaciones sensoriales fue seleccionado para formular el polvo hidratante.

Formulación del polvo hidratante.

Una vez determinado el mejor tratamiento de acuerdo con los análisis sensoriales, se procedió a la formulación del producto terminado. Se preparó una mezcla con 10 g de sacarina, 14 g glucosa y 17 g pulpa deshidratada para preparar 500 mL de bebida. Para la adición de minerales se consideró como referencia algunos productos hidratantes del mercado y como aditivos se añadió fosfato tricálcico antiaglomerante, sorbato de potasio como preservante, ácido cítrico como acidulante, vitamina C como antioxidante, cloruro de magnesio y cloruro de sodio como electrolitos funcionales y carboximetil celulosa (CMC) al 1% como modificador de textura. El producto terminado en forma de hidratante en polvo fue empacado en presentaciones de 40 g en bolsa trilaminadas de LDPE/foil/LDPE de 0,043 mm de espesor.

Estabilidad del polvo hidratante.

Para determinar la estabilidad del producto se evaluó el polvo hidratante durante períodos de 0, 15, 30, 60 y 90 días a temperatura ambiente (18 °C). Al cabo de cada periodo, en cada muestra se determinó el contenido de humedad, ISA. También se realizó un análisis sensorial al día 0 y 75 para determinar la vida útil del producto. Para comprobar la inocuidad del producto final se realizó el análisis microbiológico por recuento del total de aerobios hongos filamentosos y levaduras por gramo de alimento"según la Norma ISO 21527 (INEN, 2014) .

Para la determinación del IAA, ISA y PH se siguió el método de Anderson et al. (1969), con algunas modificaciones. Se pesaron 1,25 g (b.s) de harina en un tubo de centrífuga previamente pesado, se adicionó 30 mL de agua destilada y se colocó en baño maría a 60 °C durante 30 min con agitación constante en un baño termostático (Lab Companion BW-20H) equipada con una plancha de agitación sumergible (Variomag). Se dejó enfriar a temperatura ambiente para llevar a centrifugación, a 4900 rpm durante 30 minutos en una centrífuga (Bioblock Scientific Sigma 2-15). Luego, se decantó el sobrenadante, se midió su volumen y se tomó una alícuota de 10 mL en una caja Petri previamente pesada y se secó en estufa a 70 °C durante 24 horas. Posteriormente, se pesó nuevamente. El gel retenido en los tubos se pesó. El IAA, ISA y PH se determinaron de acuerdo a las ecuaciones 5 a 7, respectivamente (Rodríguez-Sandoval et al., 2012).

El contenido de humedad se determinó por el método gravimétrico 920.151.(37.1.12) (AOAC, 2007), para lo cual se colocaron 2 g de polvo hidratante en cajas Petri y se llevó a una estufa de vacío a 70 °C hasta sequedad.

Análisis estadístico

La distribución normal de la eficiencia del proceso fue verificada con la prueba de Shapiro-Wilks con un nivel de significancia de 0,05. Se realizó un análisis de factores simple entre las variables temperatura, concentración de maltodextrina y flujo de alimentación con la variable eficiencia del proceso para determinar las mejores condiciones de secado.

Todos los análisis se realizaron con el software SigmaStat y la herramienta Statwin.

RESULTADOS

Caracterización nutricional y de compuestos bioactivos de la pulpa de *S. betacea*.

La pulpa de tomate de árbol presentó valores de sólidos totales de (10 grados Brix), y la media (con las desviaciones típicas entre paréntesis) de pH fue de 3,6 (0,02) y el porcentaje de MIA de 1,26 (0,07). Se observó que los sólidos totales de la pulpa hidrolizada incrementaron a 12 grados Brix, mientras que el pH disminuyó ligeramente a 3,46 (0,02).

La caracterización nutricional se encuentra expresada en valores en base seca (BS) (Tabla 1), se evidenció que la pulpa de tomate de árbol contiene altas concentraciones de carbohidratos, vitamina C, y minerales como el potasio, magnesio y calcio. Las concentraciones de polifenoles y antioxidantes fueron altas tanto en la pulpa como en la pulpa deshidratada (Tabla 5).

Tabla 1: Caracterización nutricional de la pulpa de *S. betacea* (n=3). (Media de los parámetros y su desviación estándar entre paréntesis)

Parámetro	Unidades/100 g BS	Media
Humedad	% p/p	84,02 (1,09)
Proteína	g/100 g	14,85 (0,23)
Grasas	g/100 g	4,49 (0,25)
Carbohidratos totales	g/100 g	75,63 (0,51)
Valor calórico	Kcal/100 g	367,73
Vitamina C	mg/100 g	105,00 (9,00)
β -carotenos	mg/100 g	22,90 (1,50)
Azúcares		
Fructosa	g/100 g	10,14 (0,76)
Glucosa	g/100 g	10,64 (0,15)
Sacarosa	g/100 g	12,13 (0,89)
Ácidos orgánicos		
Ácido cítrico	g/100 g	15,41 (0,33)
Ácido tartárico	g/100 g	LND
Ácido málico	g/100 g	1,97 (0,15)
Minerales		
Calcio	mg/100 g	160 (5,20)
Magnesio	mg/100 g	97,85 (2,90)
Sodio	mg/100 g	0,40 (0,01)
Potasio	mg/100 g	2490,69 (71,00)
Zinc	mg/100 g	1,20 (0,10)
Hierro	g/100 g	1,30 (0,01)
Cobre	g/100 g	0,50 (0,03)

LND : Límites no detectables

BS: Base Seca

Selección del tratamiento en base a la efectividad del proceso y las características sensoriales de la pulpa deshidratada. A partir de la evaluación de la efectividad del proceso (Tabla 2), se seleccionaron los tratamientos que presentaron efectividades superiores al 35% y correspondieron a los tratamientos T3, T12, T7, T5, T11, T9 y T2 a los cuales se realizó el análisis sensorial (Tabla 3). Se descartó el T13, ya que a esta temperatura la consistencia del producto fue pastosa y no era

apta para el producto final.

Tabla 2: Evaluación de la efectividad del proceso

Tratamiento	Temperatura (°C)	Flujo (mL/min)	Maltodextrina (g/kg de pulpa)	Efectividad del proceso (%)
T1	180	12	30	18,43
T2	180	17	70	34,83
T3	180	12	70	43,71
T4	180	17	30	14,62
T5	170	12	90	38,01
T6	165	14,5	70	28,2
T7	150	17	70	39,11
T8	150	12	70	26,84
T9	150	17	30	36,57
T10	150	12	30	27,22
T11	150	12	90	37,04
T12	140	12	90	42,00
T13	130	12	90	35,48

Al evaluar el efecto del flujo de alimentación sobre la efectividad del proceso, los tratamientos seleccionados no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), siendo el flujo de alimentación de 12 mL/min, el que presentó la mejor efectividad del proceso. Tampoco se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos al evaluar el efecto de la concentración de maltodextrina sobre la efectividad del proceso ($p > 0,05$). En este caso, la tendencia fue que la concentración de maltodextrina de 90 g/kg de pulpa presentó las mejores eficiencias del proceso. Finalmente, al evaluar la temperatura y la efectividad del proceso tampoco se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), y la tendencia mostró que la efectividad del proceso mejora a 140 y 150 °C de temperatura, mientras que las temperaturas de 150 y 180 °C provocaron que parte del producto se quemara.

Tabla 3: Puntuaciones del Análisis sensorial de los tratamientos seleccionados

Tratamiento	Condiciones °C/ (mL/min)/ (g/kg)	Aroma (U)	Sabor (U)	Color (U)	Aspecto (U)	Sabores extraños (U)
T9	150/17/30	4,01	4,26	4,68	4,60	5,80
T7	150/17/70	2,93	2,51	5,85	3,35	5,56
T3	180/12/70	4,18	3,20	7,35	5,51	6,90
T2	180/17/70	3,93	3,01	7,26	4,51	5,48
T12	140/12/90	8,00	8,64	7,86	8,57	0,00
T11	150/12/90	7,79	7,29	7,43	8,54	2,00

Aunque los tratamientos seleccionados presentaron las mejores eficiencias de proceso, durante el análisis sensorial (Tabla 3), se presentaron altas puntuaciones en el parámetro de sabores extraños (quemado) para los tratamientos T9, T7, T3 y T2. Y los tratamientos T11 y T12 obtuvieron las mayores puntuaciones para los parámetros de aroma, sabor, color y aspecto, se seleccionó al T12 (140 °C, flujo de 12 mL/min y una concentración de maltodextrina de 90 g/kg) como el mejor tratamiento por la ausencia de sabores extraños. Una vez seleccionadas las condiciones del proceso de secado, se mejoró la efectividad del mismo al 50% con la adición de 100 ppm fosfato tricálcico de para obtener un mejor arrastre y menos compactación en las paredes del atomizador (Miravet Valero, 2009).

Formulación del polvo hidratante

La formulación del polvo hidratante a partir de la pulpa deshidratada a 140 °C, flujo de 12 mL/min, una concentración de maltodextrina de 90 g/kg y 100 ppm de fosfato tricálcico se presenta en la Tabla 4. En esta formulación fue

necesario añadir aditivos para que el polvo hidratante cumpla con los requerimientos de azúcares y minerales de una bebida hidratante. Además, se adicionó carboximetil celulosa (CMC) para mejorar la estabilidad del producto disuelto, fosfato tricálcico (anticompactante) para aumentar la solubilidad y sorbato de potasio como conservante del producto final. El valor calórico del producto final fue de 119,79 calorías en 600 mL.

Tabla 4: Formulación de la bebida hidratante en polvo

Ingredientes	Porcentaje (%)
Pulpa deshidratada	37,47
Azúcar	25,10
Glucosa	35,59
Fosfato tricálcico	0,37
Estabilizante CMC	0,37
Cloruro de sodio	0,56
Ácido cítrico	0,11
Ácido ascórbico	0,11
Cloruro de magnesio	0,15
Sorbato de potasio	0,15
Total	100

Aunque la concentración de sales minerales, polifenoles y antioxidantes disminuyó en el producto final, aún cumple con los requerimientos de una bebida hidratante para actividad deportiva (Tabla 5).

Tabla 5: Comparación de nutrientes de interés entre la pulpa deshidratada y el polvo hidratante. (Media de los parámetros y su desviación estándar entre paréntesis)

Parámetro	Unidades	n	Pulpa Deshidratada	n	Polvo hidratante
Polifenoles	mg/100g muestra	3	223,65 (6,44)	3	115,23 (4,29)
Capacidad Antioxidante	μmol/100g muestra	3	929,88 (55,35)	3	513,84 (10,62)
Cloruro de sodio	g/100g	3		1	0,62
Ca	mg/kg	3	160 (5,20)	1	6,72
Na	mg/kg	3	0,40 (0,01)	1	136,00
Mg	mg/kg	3	2490,69 (71,00)	1	150,60
Zn	mg/kg	3	1,20 (0,10)	1	LD

LD: Límite de detección

Por otro lado, se puede evidenciar la inocuidad del producto final, puesto que en el conteo total de aerobios la muestra no presenta crecimiento de bacterias ni levaduras, mientras que presentó el conteo mínimo de hongos (Tabla 6).

Tabla 6: Análisis microbiológico producto terminado

Parámetro	Conteo UFC/g
Contaje Aerobios	10 (a)
Contaje Hongos	2,6 X 10 ³
Contaje Levaduras	10 (b)

UFC: Unidades Formadoras de colonias.

a: Estimado de Aerobios Contaje en Placa, fuera de rango 25-250, en los análisis la muestra en la dilución 10-1, no hay crecimiento de bacterias.

b: Estimado de levaduras Contaje en Placa, fuera de rango 10-150, en los análisis la muestra en la dilución 10-1, no hay crecimiento de levaduras.

Estabilidad del polvo hidratante. Se determinó que el pun-

to crítico de humedad para el producto final es del 9% de una muestra compactada y el punto crítico de solubilidad de la pulpa deshidratada es del 24%. Como se observa en la Figura 1, la humedad del producto final no alcanza al punto crítico mientras que la solubilidad supera el punto crítico durante el periodo evaluado.

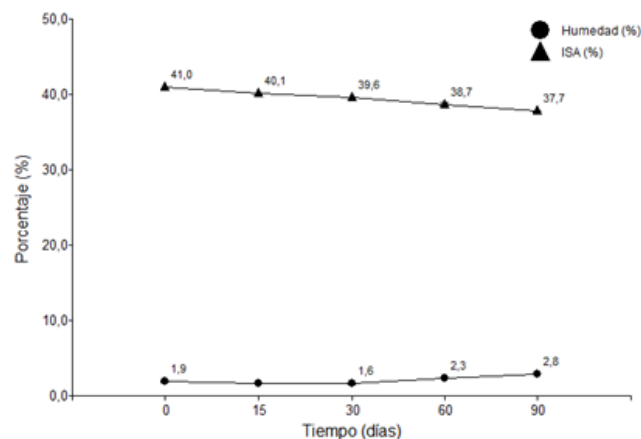


Fig. 1: Evolución del porcentaje ISA y el porcentaje de humedad medidos en los 0, 15, 30, 60 y 90 días

Las ecuaciones de la vida útil del polvo hidratante de acuerdo con el porcentaje de ISA y la humedad se visualizan en la Tabla 7. Sin embargo, de acuerdo con el análisis se determinó que la vida útil del producto es de 330 días almacenado en percha a una temperatura ambiente de 16,7 °C y humedad relativa entre el 67% y 80%.

Tabla 7: Vida útil del polvo hidratante

Parámetro	Ecuación	Límites Críticos	Días a límites críticos
Solubilidad	$y = -0,7248x + 41,509$	24	360
Humedad	$y = 0,257x + 1,3008$	9	450

DISCUSIÓN

Los contenidos de ácido cítrico y ácido málico, β-carotenos y polifenoles de la pulpa de *S. betacea* fueron superiores a los valores reportados por Acosta-Quezada et al. (2015) en cultivares ecuatorianos de *S. betacea* anaranjado y se mantuvieron dentro de los rangos el contenido de azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa). En el caso de los polifenoles, el valor se asemejó al valor encontrado en la jalea de semillas de *S. betacea* anaranjado (Acosta-Quezada et al., 2015). Mientras que los valores de β-carotenos encontrados en este estudio concuerdan con los presentados por Ali Hassan y Abu Bakar (2013) en cultivares de *S. betacea* morado de Malasia. Las diferencias presentadas pueden deberse a que los contenidos dependen de varios factores como la variedad, estacionalidad, condiciones de cultivo, almacenamiento, etc. (Márquez et al., 2017).

Los rendimientos obtenidos en la presente investigación, asemejan a los de Siddick y Ganesh (2016), quienes encontraron una temperatura de 16 °C como la óptima para la recuperación de pulpa deshidratada de *C. betacea*, por otro lado encontró que el secado a 140, 150 y 160 °C la solubilidad

de los polvos de *C. betacea* se incrementa en comparación a los polvos secados en temperaturas inferiores y el mayor rendimiento a una temperatura de secado de 120 °C (Herrera Campos, 2018). Este último resultado difiere con nuestros resultados ya que a 130 °C se obtuvo un polvo de consistencia pastosa, esto podría deberse a las diferentes proporciones de maltodextrina utilizadas en los ensayos y la no adición de goma arábiga. Ya que tanto la maltodextrina y la goma arábiga se utilizan como portadores de material para eliminar la pegajosidad y aumentar la temperatura de transición vítrea de la mezcla, sin embargo, se debe tomar en cuenta que la aplicación excesiva de maltodextrina reduce la aceptación del consumidor (Moghbeli et al., 2019). Por otro lado, en futuros procesos para mejorar los rendimientos del secado por aspersión se puede implementar otro tipo de portadores de material como proteínas, polisacáridos (pectina) y surfactantes (Moghbeli et al., 2019).

Al realizar el proceso de secado por aspersión se contribuyó a mantener las actividades antioxidantes de *S. betacea*, como lo demuestran Dillwyn et al. (2022), quienes midieron las mayores actividades antioxidantes para el proceso de secado por aspersión en comparación con el secado al sol, secado en bandejas. El polvo hidratante fue formulado para suplir las calorías necesarias para restaurar una hora de práctica deportiva, ya que la falta de hidratación en los deportistas conlleva efectos negativos, especialmente si la actividad física es de larga duración. Según Urdampilleta et al. (2013) una deshidratación superior al 2% incrementa la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal hasta los 40 °C, lo que obliga al deportista a detener la actividad física. Por lo tanto, los deportistas deben ingerir líquidos con una frecuencia concreta de volúmenes y concentraciones de electrolitos adecuados. En cuanto al contenido de electrolitos de la bebida hidratante de *S. betacea*, la formulación se realizó en base a los minerales establecidos en las etiquetas de los hidratantes en el mercado debido a que cumplen con las recomendaciones para bebidas de deportistas de 450-700 mg/L de sodio (Olivos et al., 2012). Aunque aún no es un requisito la adición de compuestos funcionales para la hidratación de deportistas (Feye, 2018), la bebida hidratante de *S. betacea* formulada en el presente estudio posee un valor nutricional superior a las bebidas hidratantes comerciales debido a su alto contenido de vitaminas y antioxidantes debido a que ayudan a combatir el aumento de la producción de radicales libres y estrés oxidativo (Olivos et al., 2012).

El producto final cumple cabalmente con los requerimientos de carbohidratos y electrolitos para un deportista y además tiene propiedades funcionales por la presencia de polifenoles. El contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante determinados en el producto final es alto y de acuerdo con el equivalente de Trolox, de *S. betacea*, esta bebida es una fuente intermedia de antioxidantes (Márquez et al., 2017), el potencial antioxidante de este producto hidratante es su contenido de 120 mg de polifenoles por cada 100 g de producto.

El contenido de ácido ascórbico del producto final es inferior al obtenido por Castro et al. (2022) en una bebida similar y se debió que existió una degradación total de la vitamina C por el proceso térmico y se añadió vitamina C. La pulpa deshidratada del producto final también es un buen aporte de minerales, que de acuerdo con Torres (2012), *S. betacea* presenta buena bioaccesibilidad de Ca y Fe.

El análisis microbiológico del producto demuestra que no hay crecimiento de bacterias ni levaduras y el conteo de hongos está dentro del límite permisible, esto se debería a la presencia de compuestos fenólicos con posibles características antimicrobianas (Zhao et al., 2009). Mientras que la evaluación de la estabilidad del producto final indica que en un empaque trilaminado es posible almacenarlo hasta un año sin que pierda sus características organolépticas. El producto final es competitivo dentro del mercado, porque hasta el momento no se han desarrollado bebidas hidratantes naturales y con antioxidantes y polifenoles, que coadyuvan en la hidratación y a combatir enfermedades cardiovasculares.

CONCLUSIONES

La pulpa deshidratada tuvo una correcta rehidratación y sin presencia de sabores extraños; el spray dryer en el proceso de secado existía compactación en las paredes del deshidratador, requirió la adición de anticompactante, para evitar la compactación de polvo en las paredes del mismo y tener mayor rendimiento.

El proceso se definió con las siguientes condiciones 12 mL/min de flujo de alimentación, 140 °C de temperatura de entrada de aire a la cámara, adición de maltodextrina al 9% y la adición de 100 ppm de anticompactante, que resultó en un incremento del rendimiento del proceso del 50% y el incremento del 29% de solubilidad.

El producto final resultó en un hidratante natural y funcional con el aprovechamiento de las propiedades antioxidantes y electrolitos que posee *S. betacea* (tomate de árbol), las propiedades antioxidantes se mantuvieron con el proceso de secado por aspersión, sin embargo fue necesario fortalecer la bebida con vitamina C, obteniendo un producto ideal para la reposición de energía y electrolitos perdidos en la práctica deportiva, que es comparable con las bebidas energéticas del mercado con contenido superior en polifenoles.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización y metodología RJ.; análisis formal, investigación, curación de datos, BF.; redacción — preparación del borrador original, BF.; redacción — revisión y edición, RJ y BF; y supervisión, RJ. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito. Ruales, Jenny: RJ. Buitrón, Fernando: BF

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado por el proyecto PAVUC (Producing added value from under-utilized tropical fruit crops with high commercial potencial) FP6-2003-INCO-DEV-DOS. CONTRACT 015279. La actualización de los resultados para la publicación fue financiada por el Instituto Tecnológico Superior Ecuatoriano de Productividad.

REFERENCIAS

Acosta-Quezada, P. G., Raigón, M. D., Riofrío-Cuenca, T., García-Martínez, M. D., Plazas, M., Burneo, J. I., Figueroa, J. G., Vilanova, S., y Prohens, J. (2015). Diversity for chemical composition in a collection of different va-

- rietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an Andean exotic fruit. *Food Chemistry*, 169, 327–335.
- Ali Hassan, S. H., y Abu Bakar, M. F. (2013). Antioxidative and anticholinesterase activity of *Cyphomandra betacea* fruit. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Alves, A., Caeiro, A., Correia, S. I., Veríssimo, P., y Canhoto, J. (2017). Establishment and biochemical characterization of tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) embryogenic cell suspension cultures. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 2017 53:6, 53(6), 606–618. <https://doi.org/10.1007/S11627-017-9864-Z>
- Anzaldúa, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. In Acribia.
- AOAC. (2007). Official methods of analysis of AOAC International. (W. Horwitz (ed.); 18th Editi). Gaithersburg (Maryland): AOAC International.
- Castro, N. L. M., Fernández, M. C., Carpio, E. R. V., Coello, W. M. E., y Bravo, V. P. B. (2022). Diseño de una bebida a base de *Solanum betaceum* Cav. (tomate de árbol) y cascarrilla de *Theobroma cacao* L (cacao). *CIENCIA UNEMI*, 15(40), 122–132.
- Chamba Vaca, J. P. (2018). Caracterización molecular de un grupo de segregantes y de cuatro variedades comerciales de tomate de árbol *Solanum betaceum* [Universidad Central del Ecuador].
- DECAB. (2004a). Método modificado del Manual de la Columna ASTEC NH2 series de Advanced Separation Technologies Inc.
- DECAB. (2004b). Método modificado y validado por el DECAB del artículo: Macrae, R., 1988, “HPLC in food analysis” (Segunda Ed). Academic Press.
- Dillwyn, S., Kulastic, J. A., Pragalyaashree, M., y Tirutchelvame, D. (2022). Impact of Drying Methods on the Quality of Bioactive Components in Tree Tomato (*Cyphomandra betacea*). *Trends in Sciences*, 19(2), 2060. <https://doi.org/10.48048/tis.2022.2060>
- Feye, A. S. P. (2018). Composición de las bebidas deportivas. *Revista Universitaria de La Educación Física y El Deporte*, 11, 45–53.
- Hart, F. L., y Fisher, H. J. (1991). Análisis moderno de alimentos. In Zaragoza, España: Acribia.
- Herrera Campos, S. L. (2018). Efecto de la concentración de goma arábiga y temperatura de aire de secado por aspersión en el contenido de carotenoides totales, vitamina C y actividad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* de *solanum betaceum*) [Universidad Nacional del Centro del Perú].
- INEN. (2015). NTE INEN 1909: FRUTAS FRESCAS. TOMATE DE ÁRBOL. REQUISITOS.
- Márquez, C. J., Otero, C. M., Rojano, B. A., y Osorio, J. A. (2017). Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (*cyphomandra betacea* s.) en poscosecha.
- Miravet Valero, G. M. (2009). Secado por atomización de zumo de granada. Universidad Politecnica de Cartagena.
- Moghbeli, S., Jafari, S. M., Maghsoudlou, Y., y Dehnad, D. (2019). Influence of pectin-whey protein complexes and surfactant on the yield and microstructural properties of date powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 242, 124–132.
- Morillas-Ruiz, J. M., y Delgado-Alarcón, J. M. (2012). Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutr. Clín. Diet. Hosp*, 32(2), 8–20.
- Olivos, O. C., Cuevas, M. A., Álvarez, V. V., y Jorquera, A. C. (2012). Nutrición para el entrenamiento y la competición. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(3), 253–261.
- Pérez, A. G., Olías, R., Espada, J., Olías, J. M., y Sanz, C. (1997). Rapid determination of sugars, nonvolatile acids, and ascorbic acid in strawberry and other fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(9), 3545–3549.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237.
- Revelo Moran, J. A., Alarcon, E. Y. P., y Alvarez, M. V. M. (2004). Manual Guía de Capacitación del Cultivo Ecológico de Tomate de Arbol en Ecuador. INIAP Archivo Historico.
- Reyes-García, V., Totosaus, A., Pérez-Chabela, L., Juárez, Z. N., Cardoso-Ugarte, G. A., & Pérez-Armendáriz, B. (2021). Exploration of the potential bioactive molecules of tamarillo (*Cyphomandra betacea*): Antioxidant properties and prebiotic index. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(23).
- Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A., y Sandoval, G. (2012). Influence of the partial substitution of wheat flour for quinoa and potato flour on the thermomechanical and bread-making properties of dough. *Revista UDCA Actualidad Divulgación Científica*, 15(1), 199–207.
- Ruales, J., Carpio, C., SantaCruz, S., Santacruz, P., y Bravo, J. (2000). Manual de métodos de caracterización de carbohidratos. Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología. Escuela Politécnica Nacional.
- Siddick, S. A., y Ganesh, S. (2016). Spray drying technology for producing fruit powders from tomatoes and tamarillo. In *Acta Horticulturae* (Vol. 1120). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1120.52>
- Slinkard, K., y Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49–55.
- Torres, A. (2012). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*)(Cav.) Sendtn. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(4), 381–388.
- Urdampilleta, A, Martínez-Sanz, J. M., Julia-Sanchez, S., y Álvarez-Herms, J. (2013). Protocolo de hidratación antes, durante y después de la actividad físico-deportiva. Motricidad. *European Journal of Human Movement*, 31, 57–76.
- Urdampilleta, Aritz, Armentia, I., Gómez-Zorita, S., Martínez Sanz, J. M., y Mielgo-Ayuso, J. (2015). La fatiga muscular en los deportistas: métodos físicos, nutricionales y farmacológicos para combatirla. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 32(1), 36–46.
- Zhao, X., Zhang, C., Guigas, C., Ma, Y., Corrales, M., Tauscher, B., y Hu, X. (2009). Composition, antimicrobial activity, and antiproliferative capacity of anthocyanin extracts of purple corn (*Zea mays* L.) from China. *European Food Research and Technology*, 228(5), 759–765.