

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Microencapsulación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)**

**mediante secado por aspersión para uso como saborizante**

**Gema Oscarina Miño Cruz**

**Leslie Patricia Andrade Cela**

**Ingeniería de Alimentos**

Trabajo de integración curricular presentado como requisito para la  
obtención del título de  
Ingeniero en Alimentos

Quito, 11 mayo del 2022

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Microencapsulación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) mediante  
secado por aspersión para uso como saborizante**

**Gema Oscarina Miño Cruz  
Leslie Patricia Andrade Cela**

**José Álvarez Barreto, Ph.D.**

**Lucía Ramírez Cárdenas, Ph.D.**

Quito, 11 de mayo del 2022

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

**Nombres y apellidos:** Gema Oscarina Miño Cruz

**Código:** 00203048

**Cédula de Identidad:** 1312701418

**Lugar y fecha:** Quito, 11 de mayo del 2022

**Nombres y apellidos:** Leslie Patricia Andrade Cela

**Código:** 00200683

**Cédula de Identidad:** 1720046893

**Lugar y fecha:** Quito, 11 de mayo del 2022

## RESUMEN

El tomate riñón es un fruto perecible debido a su alta tasa de respiración, que causa alteraciones aceleradas de color, olor y apariencia. Además, la falta de infraestructura para su comercialización y transporte generan grandes pérdidas para los productores. Por lo tanto, es importante utilizar nuevas técnicas postcosecha, como la microencapsulación, que garanticen su aprovechamiento. El objetivo de este estudio fue desarrollar un saborizante de tomate microencapsulado mediante secado por aspersion, para diferentes aplicaciones alimentarias. Se seleccionó la maltodextrina como material encapsulante. Se utilizó un diseño central compuesto (DCC)  $2^3$  con bloqueo. Los factores corresponden a la combinación de la temperatura de entrada del aire (Ti:175 y 185°C), flujo de alimentación (FA:20 y 30 rpm) y concentración de maltodextrina (MA:10 y 20%). Las mejores condiciones de operación para obtener un rendimiento  $\geq 90\%$  y una humedad  $\leq 5$  g/100g, fueron de 180°C (Ti), 25 rpm (FA) y 15% (MA). Las microcápsulas desarrolladas bajo estas condiciones mostraron buenas características físicas y sensoriales, para ser utilizadas como un saborizante.

**Palabras claves:** tomate, microencapsulación, maltodextrina, secado por aspersion, saborizante.

## ABSTRACT

Tomato is a perishable fruit due to its high respiration rate, which causes accelerated alterations of color, odor, and appearance. In addition, the lack of infrastructure for commercialization and transportation generates large losses for the producers. Therefore, it is important to use new postharvest techniques, such as microencapsulation that guarantee its use. The objective of this study was to develop a tomato flavoring microencapsulated by spray drying for different food applications. Maltodextrin was chosen as the encapsulating material. A central composite design (CCD)  $2^3$  with blocking was used. The factors correspond to the combination of inlet temperature (175 and 185°C), feed flow (20 and 30 rpm) and maltodextrin concentration (10 and 20%). The best operating conditions to obtain a yield of  $\geq 90\%$  and humidity of  $\leq 5$  g/100g were 180°C (inlet temperature), 25 rpm (feed flow) and 15% (maltodextrin). The microcapsules developed under these conditions showed good physical and sensory characteristics, to be used as a flavoring.

**Key words:** tomato, microencapsulation, maltodextrin, spray drying, flavoring.

## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	8
OBJETIVOS .....	11
MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
Localización .....	12
Materia prima .....	12
Procedimiento General .....	12
Extracción de pulpa de tomate .....	14
Preparación de las mezclas .....	14
Proceso de secado por aspersión .....	15
Diseño experimental .....	16
Caracterización de microcápsulas .....	16
Análisis físico de las microcápsulas .....	17
Análisis sensorial de las microcápsulas .....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	20
Humedad.....	21
Rendimiento .....	23
Propiedades físicas de las microcápsulas .....	26
Evaluación Sensorial .....	38
CONCLUSIONES .....	40
RECOMENDACIONES .....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
ANEXOS .....	52
ANEXO A: <i>PRESENTACIÓN MUESTRAS PARA EVALUACIÓN SENSORIAL</i> .....	52
ANEXO B: <i>CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EVALUACIÓN SENSORIAL</i> .....	53
ANEXO C: <i>CUESTIONARIO PARA EVALUACIÓN SENSORIAL</i> .....	54
ANEXO D: <i>ANOVA DE HUMEDAD</i> .....	55
ANEXO E: <i>ANOVA DE RENDIMIENTO</i> .....	56

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Formulación para cada corrida experimental.....	15
Tabla 2. Variables de entrada.....	16
Tabla 3. Variables de entrada y salida del diseño experimental. ....	20
Tabla 4. Resumen del Análisis de varianza (ANOVA) de la humedad y rendimiento de los tratamientos.....	21
Tabla 5. Resumen de los valores de R <sup>2</sup> , R <sup>2</sup> ajustado y R <sup>2</sup> predicho de la humedad y rendimiento de la microencapsulación de jugo de tomate. ....	22
Tabla 6. Ecuación polinómica para las variables de salida.....	24
Tabla 7. Variables óptimas pronosticadas. ....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de microencapsulación de tomate mediante secado por aspersión. .....	13
Figura 2. Representación Gráfica de la humedad. ....	23
Figura 3. Curvas de superficie para condiciones óptimas de rendimiento. ....	26
Figura 4. Densidad aparente ( $d_p$ ) en función de la concentración de maltodextrina (MA), flujo de alimentación (FA) y la temperatura del aire de entrada (Ti).....	28
Figura 5. Solubilidad del polvo (s) en función de la concentración de maltodextrina (MA), flujo de alimentación (FA) y la temperatura del aire de entrada (Ti).....	30
Figura 6. Higroscopicidad ( $H_p$ ) de las microcápsulas en función del tiempo. ....	31
Figura 7. Higroscopicidad ( $H_p$ ) de las microcápsulas en función de la concentración de maltodextrina (MA), flujo de alimentación (FA) y temperatura del aire de entrada (Ti).....	32
Figura 8. Higroscopicidad ( $H_p$ ) de las microcápsulas en función de la temperatura del aire de entrada (Ti), flujo de alimentación (FA) y concentración de maltodextrina (MA). ....	33
Figura 9. Grado de apelmazamiento (GA) de las microcápsulas en función de la concentración de maltodextrina (MA), temperatura del aire de entrada (Ti) y flujo de alimentación (FA). ...	34
Figura 10. Grado de apelmazamiento (GA) de las microcápsulas en función de la temperatura del aire de entrada (Ti), flujo de alimentación (FA) y concentración de maltodextrina (MA). .....	35
Figura 11. Microestructura electrónica de barrido de polvo de tomate microencapsulado. Con aumento de x500:(a) Corrida 2, (b) Corrida 5, (c) corrida 7; y con un aumento de x250: (d) corrida 9, (e) corrida 11. ....	37
Figura 12. Nivel de agrado (media) para cada atributo y percepción global con relación a la escala de aceptación. ....	38
Figura 13. Gráfico radial de porcentaje de respuestas para cada atributo evaluado. ....	39

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el tomate riñón es un producto de gran valor para la agricultura nacional por su fácil acceso y aprecio por los consumidores. Se estima que el consumo per cápita de tomate es de 5 kg al año (Bayer S.A., 2022), lo que ha incentivado la producción de tomates híbridos en invernaderos de las provincias de Imbabura, Carchi y Azuay, principalmente (Andrade, 2015). De acuerdo con los reportes de la FAO, en el 2019 la producción de tomate fue de 31,591 toneladas y en el 2020 de 38,438 toneladas (FAO, 2022), posicionando a esta fruta como el segundo cultivo más importante del país (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016). Debido a que su consumo en el mercado nacional proviene en su totalidad de la producción nacional (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016), su precio fluctúa a lo largo del año, por lo que se debe mantener un menor costo para asegurar una mayor comercialización y recuperación neta de los costos de producción (Saavedra, 2001), garantía de la presencia de tomate fresco para consumo masivo.

Desde el punto de vista nutricional, el tomate contiene concentraciones moderadas a altas de diferentes nutrientes como la vitamina C, ácido fólico y potasio (Beecher, 1998). Sin embargo, los carotenoides son los principales compuestos bioactivos en los tomates dentro de los que se destacan el  $\beta$  – caroteno (provitamina A) y el licopeno (60-90% del contenido total de carotenoides) (Wu, 2022). Estos compuestos durante el procesamiento y almacenamiento pueden fácilmente oxidarse y perder sus propiedades biológicas. Una alternativa para incrementar su estabilidad y permitir su incorporación en ambientes hidrofílicos es la microencapsulación por aspersión (Parra, 2010).

Por otro lado, el tomate es un fruto perecible, debido a su alta tasa de respiración que produce etileno, causando alteraciones bioquímicas aceleradas de color, olor y apariencia (Ramos, y otros, 2010). Estos daños se incrementan por razones fisiológicas (plagas, enfermedades) y mecánicas (golpes, cortes), que ocurren durante la etapa de postcosecha.

Sobre todo, en actividades de mercadeo, iniciando con el acopio, distribución y finalmente en la recepción por parte del consumidor. La falta de planificación de cosecha, infraestructura de almacenamiento y transporte, son los principales factores que provocan su deterioro (Estrella, 2017). Aproximadamente el, 40% de la producción agrícola tiene pérdidas postcosechas, es decir que cuatro de diez unidades se pierden en el camino final (Herredia, 2012). Por lo tanto, es necesario implementar nuevas técnicas que garanticen un mejor aprovechamiento del tomate, como la cosecha manual, que se realiza de manera escalonada y que considera el destino que se le dará al producto para evitar una intensificación en la respiración permitiendo una maduración gradual (Eduardo, 2019). Otra opción es aplicar un proceso de enfriamiento rápido antes de ser almacenados o transportados, en un estado verde garantizando su propia maduración a través del etileno (Guillermo, 2005). No obstante, estas soluciones no han sido suficientes dado que el tomate ha continuado presentando daños mecánicos hasta su llegada al consumidor.

Para controlar estos problemas de desperdicios en la industria alimentaria, se han desarrollado nuevas técnicas que posibilitan obtener productos de alta calidad y valor agregado que conserven las propiedades nutricionales, organolépticas y funcionales de los alimentos (Corrêa, Lourenço, Duarte, Moldão, & Alves, 2019). De esta manera, la microencapsulación tiene como finalidad atrapar ingredientes sensibles, como son los compuestos volátiles de los aromas, en una matriz sólida para incrementar su protección, reducir su evaporación, facilitar su manipulación y controlar su liberación durante la conservación y aplicación (Gouin, 2004). Por lo tanto, esta tecnología aplicada como una alternativa para el desarrollo de saborizantes naturales es una de las técnicas más utilizadas actualmente, debido a su capacidad conservante al disminuir el contenido, actividad de agua y evitar el riesgo de degradaciones químicas y biológicas. Existen diversos métodos de microencapsulación, siendo el secado por aspersion

uno de los más utilizados debido a su bajo costo, flexibilidad y eficiencia para alargar la vida útil de un producto y garantizar un mayor rendimiento (Esquivel, Ochoa, & Rutiaga, 2015).

El secado por aspersión o secado por atomización se basa en la disolución del núcleo (compuesto a encapsular) en la solución de una matriz elegida (material encapsulante). Posteriormente, la solución se atomiza a través de una corriente de aire caliente que provoca la eliminación instantánea del solvente (agua). El desarrollo de este proceso dependerá del tipo de producto que se va a microencapsular y puede variar en cuanto a formulación y condiciones de funcionamiento, como la cantidad y tipo de material encapsulante utilizado, las temperaturas de entrada y salida, el caudal de alimentación y el caudal de aire de entrada. Como material encapsulante se utilizan carbohidratos, gomas y proteínas. Dentro de estos compuestos el más utilizado en la técnica de secado por aspersión para uso alimenticio es la maltodextrina, debido a su bajo costo, alta disponibilidad y eficiencia (Corrêa et al., 2019).

Además, la maltodextrina es un polisacárido producido a partir del almidón por hidrólisis enzimática parcial, se caracteriza por tener baja viscosidad, alta proporción de sólidos, ser inodora, incolora y permitir la formación de polvos sin enmascarar el sabor original (Huertas, 2011). Así mismo, el uso de aditivos inertes en los procesos de secado por aspersión favorece la elevación del rendimiento, debido a que actúan como coadyuvantes del secado. El uso de este material, también se ve influenciado por el grado del valor equivalente de dextrosa (DE). Un valor de DE bajo indica maltodextrina más pegajosa y un valor alto indica maltodextrina con mejor congelación. Aparte de su capacidad protectora, la maltodextrina es muy utilizada en bebidas deportivas y snacks de energía rápida para atletas de resistencia ya que actúa como un carbohidrato simple y, por lo tanto, se puede transformar fácilmente en energía instantánea (Parikh et al., 2014).

## **OBJETIVOS**

### **General**

- Desarrollar un saborizante de tomate microencapsulado mediante secado por aspersión para diferentes aplicaciones alimentarias.

### **Específicos**

- Identificar las mejores condiciones para microencapsular tomate con el uso de maltodextrina como agente encapsulante.
- Analizar el efecto de las condiciones del proceso de secado por aspersión sobre las propiedades físicas (densidad aparente, solubilidad, higroscopicidad y grado de apelmazamiento) de las microcápsulas.
- Evaluar los atributos sensoriales de las microcápsulas con las mejores condiciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Quito (Pichincha) con una temperatura promedio de 19°C, humedad relativa de 77% y a 2,850 m de altura. El proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión se desarrolló en la empresa ecuatoriana Wildland, Puengasí. La obtención de la pulpa y análisis de los microencapsulados fueron realizados en las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito, Cumbayá.

### Materia prima

El tomate riñón (*Lycopersicon esculentum* Mill) fue suministrado por Green Garden (Quito, Ecuador). Se utilizó maltodextrina (Jebsen & Jessen Life Science, 10 DE) para formar la pared protectora.

### Procedimiento General

La extracción de la pulpa de tomate y microencapsulación siguió el diagrama de flujo mostrado en la Figura 1.

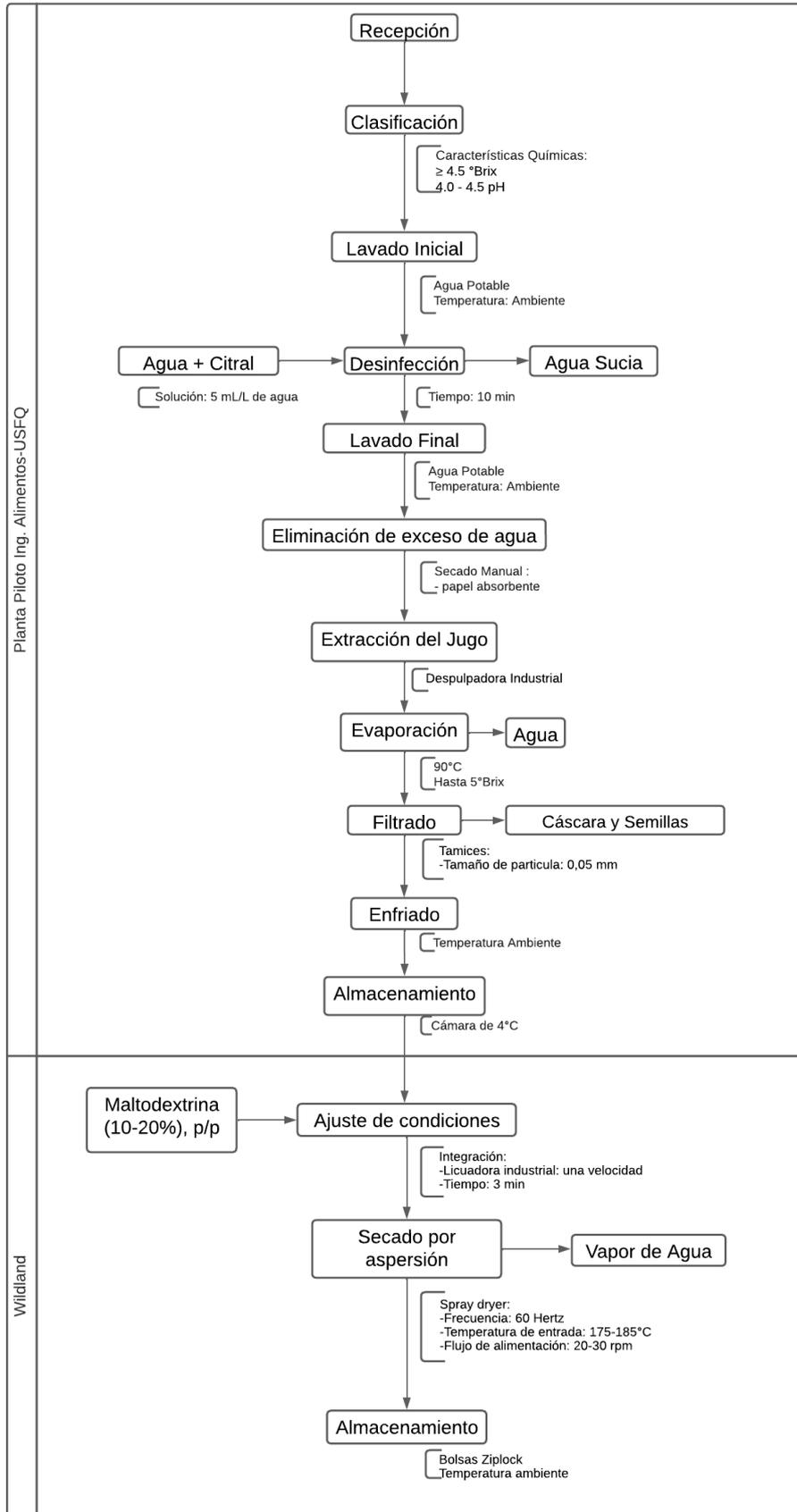


Figura 1. Diagrama de flujo de microencapsulación de tomate mediante secado por aspersion.

## **Extracción de pulpa de tomate**

El tomate fue muestreado con base en la norma NTE INEN 1750 (INEN, 1994). Una vez aceptada la materia prima, se realizaron 3 lavados: una limpieza general con agua potable para eliminar residuos orgánicos (Garmedia & Vero, 2006), posteriormente se sumergió a los frutos en una solución de agua con citral (4 mL / L de agua) durante 10 min (Alitecno, 2022) y un enjuague final con agua potable.

Los tomates fueron troceados para facilitar su entrada a la despulpadora PROINGAL, modelo: DP150. Una vez obtenida la pulpa, se concentró en una cocina industrial (PROINGAL), a 90°C por 40 minutos, con el fin de reducir el número de microorganismos en un 90% (Calapucha, 2020) e inhibir enzimas degradativas como:  $\beta$ -1-4-glucosidasa, celulasa,  $\beta$ -1-4-galactosidasa, pectinmetilesterasa (PME), xilanasa y poligalacturonasa, encargadas de provocar pérdida de la firmeza y un aumento de la sensibilidad a daños mecánicos y fúngicos (Pilataxi, 2019 y Cerda, 2016). Se estandarizó la mezcla a 5°Brix (Ortega, Isaza, Tirado, & Montes, 2015), por reflectometría (ADE Advanced Optics). Posteriormente, se tamizó la pulpa manual y mecánicamente a través de un tamiz con tamaño de separación de 0.05mm y en una malla tipo cervecera en una prensa PROINGAL. El jugo obtenido se almacenó en baldes de polipropileno (16 L de capacidad), con tapa hermética en la cámara de refrigeración (4°C).

## **Preparación de las mezclas**

Se aplicó una relación peso-peso entre los componentes de la microencapsulación y se utilizó una balanza electrónica (Coofix ,YZ-982, max= 40 kg, min= 1 g, e= 1 g) (Santana, Kurozawa, Park, & Oliveira, 2013). La maltodextrina se integró directamente a la pulpa de tomate y la mezcla se licuó por 2 minutos en una licuadora industrial (Montero, max=25L, velocidades=1) a temperatura ambiente (19°C) hasta obtener una mezcla homogénea. Se preparó 1,4 kg de muestra para cada corrida experimental, de acuerdo con el diseño experimental aplicado (Tabla 1).

*Tabla 1. Formulación para cada corrida experimental.*

Corrida	Maltodextrina (%)	Formulaciones	
		Maltodextrina (kg)	Pulpa (kg)
1	15	0,21	1,19
2	10	0,14	1,26
3	10	0,14	1,26
4	20	0,28	1,12
5	20	0,28	1,12
6	15	0,21	1,19
7	10	0,14	1,26
8	10	0,14	1,26
9	15	0,21	1,19
10	20	0,28	1,12
11	20	0,28	1,12
12	15	0,21	1,19
13	15	0,21	1,19
14	23,41	0,33	1,07
15	6,59	0,09	1,31
16	15	0,21	1,19
17	15	0,21	1,19
18	15	0,21	1,19
19	15	0,21	1,19
20	15	0,21	1,19

### **Proceso de secado por aspersión**

La mezcla resultante (Tabla 1), alimentó el spray dryer a un caudal de 20-30 rpm por medio de una bomba peristáltica (PCE-LP 10). La solución de alimentación se mantuvo en agitación manual. El spray dryer (Pharma) está conformado por un atomizador/boquilla (5,5 cm de diámetro), una cámara de secado (2,6 m de altura y 1,5 de diámetro externo) y un ciclón (1 m de altura y 20 cm de diámetro mayor). La temperatura de aire de entrada fue de 175-185°C y se fijó la frecuencia del atomizador a 60 Hertz (Cortés et al., 2017). Se realizó la microencapsulación del jugo de tomate con maltodextrina (10-20%), peso-peso con respecto a la masa total de la mezcla (Santana, Kurozawa, Park, & Oliveira, 2013). Una vez terminado el

proceso, las microcápsulas fueron almacenadas a temperatura ambiente, en doble bolsa con cierre hermético y protegidas de la luz.

### Diseño experimental

Se aplicó un diseño central compuesto (DCC)  $2^3$ , 3 factores con dos niveles cada uno, además de un factor perturbador con dos niveles (día 1 y día 2). Los factores con sus respectivos niveles se muestran en la Tabla 2. Se analizaron un total de 20 corridas experimentales (Tabla 3): ocho puntos de diseño factorial ( $\pm 1$ ), seis axiales ( $\pm 1,41$ ) y seis puntos centrales (0). Las corridas se realizaron de forma aleatoria para evitar errores sistemáticos. Las variables de salida fueron el contenido de humedad  $\leq 5$  g/100g, (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015) y el rendimiento ( $\geq 90\%$ , Hernández et al., 2000).

Los resultados del experimento fueron analizados utilizando el software estadístico Design Expert versión 11.

*Tabla 2. Variables de entrada*

Factores	Nivel	
	-1	+1
Temperatura de entrada del aire (°C)	175	185
Flujo de alimentación (rpm)	20	30
Maltodextrina (%)	10	20

### Caracterización de microcápsulas

#### Rendimiento de secado.

Fue determinado por método gravimétrico, mediante una relación (1) entre los sólidos disueltos contenidos en las soluciones de alimentación, medidos con un refractómetro (BOECO) y la masa de las microcápsulas recolectadas al final de cada proceso de secado por aspersión, pesadas en una balanza (OHAUS, Triple Beam) (Hernández et al., 2006).

$$\%Rendimiento = \frac{DX_D}{LX_L} * 100 \quad (1)$$

Donde:

L: masa del líquido de alimentación

D: masa de polvo obtenido

$X_D$ : fracción de sólidos en el polvo obtenido

$X_L$ : fracción de sólidos del líquido de alimentación

### **Humedad.**

Se utilizó un analizador de humedad por proceso de secado con energía infrarroja (Denver Instruments, Makr1). Las mediciones se realizaron por duplicado y se calculó el promedio.

### **Análisis físico de las microcápsulas**

Para evaluar el efecto de las condiciones del equipo y la concentración de maltodextrina (MA) sobre las propiedades físicas de los polvos, se seleccionaron las corridas 2,5,7,9,11 (Tabla 3) que corresponden a cuatro puntos de diseño factorial ( $\pm 1$ ) y el resultado óptimo que corresponde a un punto central (0). Todos los análisis se realizaron por triplicado y se registraron los promedios de estas mediciones.

### **Densidad aparente.**

Se determinó de acuerdo con la metodología de Goula & Adampoulos (2008); se usó una probeta de 10 mL y una balanza analítica RADWAG AS 60/220.R2.

### **Solubilidad.**

Se determinó de acuerdo con la metodología de Goula & Adampoulos (2008), se usó un agitador magnético (Mtops, Ms300HS) a 900 rpm, un vaso de precipitación de 100 mL y una barra agitadora de 0,5 cm x 3cm.

### **Higroscopicidad.**

Se aplicó el método de Santana, Kurozawa, Park, & Oliveira (2013) con algunas modificaciones. Aproximadamente 1g de muestra se distribuyó uniformemente en placas Petri (9 cm de diámetro). Se pesó las muestras en intervalos de 10 min para obtener la cinética de absorción de humedad. Se determinó el incremento de peso por gramo de sólidos en polvo después de estar sometido a la atmósfera específica (75,29% de humedad relativa y 23°C) durante 90 min. La higroscopicidad se expresó como gramos de humedad absorbida por 100 gramos de materia seca (2).

$$Hp = \frac{a-b}{b} * 100 \quad (2)$$

Donde:

Hp: higroscopicidad (g/100g)

a: materia saturada (g)

b: materia seca (ms) (g)

### **Grado de apelmazamiento.**

De acuerdo con Das (2004), el grado de apelmazamiento se estableció usando una estufa de secado (FANEM, 315 SE) a 102 °C ± 2 durante 1h, una balanza analítica (OHAUS, Explorer, max= 120 g, min= 0,1 mg) y un tamiz de 500 µm de tamaño para agitar las muestras por 5 min en un tamizador eléctrico (armfield, CEN-B) con potencia al 70%. El grado de apelmazamiento se calculó utilizando la ecuación (3).

$$GA = \frac{100.a}{b} \quad (3)$$

Donde:

GA: grado de apelmazamiento (%)

a: cantidad (g) de polvo retenido en el tamiz

b: cantidad (g) de polvo utilizado en el tamizador

### **Morfología de partícula.**

La microestructura de las microcápsulas se evaluó mediante microscopía electrónica de barrido (JSM-IT 3000, USFQ, QUITO). El SEM fue operado a un voltaje de aceleración de 0.3-30 kV. Con el fin de aumentar la capacidad de las muestras para conducir electricidad y emitir electrones, se utilizó la técnica de bajo vacío (50 Pa y magnificaciones de x250 y x500).

### **Análisis sensorial de las microcápsulas**

Para preparar la muestra se seleccionaron las corridas que se encontraban en la región óptima (180°C, 25rpm y 15% de MA). Se utilizó una relación polvo de tomate/agua de 1:0,5 con agitación manual hasta obtener una mezcla homogénea. En vaso de polipropileno de 70 mL se colocó 5g de la mezcla, a temperatura ambiente y se sirvió con galleta soda cracker como vehículo (Bannwart et al., 2008 y Torbica et al., 2016).

Se realizó una prueba de nivel de agrado y se aplicó una escala hedónica verbal de 5 puntos para evaluar la aceptación global y de varios atributos (aroma, sabor, dulzor y acidez). Participaron 69 panelistas no entrenados (34 mujeres y 35 hombres de edades entre 18 y 39 años) (Ramírez, 2012). La prueba se desarrolló el martes 26 de abril del 2022 entre las 11h00 y 14h00, en el aula de evaluación sensorial de la Universidad San Francisco de Quito. Se presentó a cada panelista en platos blancos de poliestireno expandido, una muestra codificada con un número aleatorio de 3 dígitos (873) (Anexo A), media galleta soda cracker (Noel), una cuchara pequeña de polipropileno, un vaso con agua, servilleta, consentimiento informado (Anexo B), cuestionario (Anexo C) y un esfero.

Con los datos obtenidos se calculó el promedio para cada característica sensorial analizada y se ubicó en las anclas de la escala para determinar el nivel de agrado del producto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad y el rendimiento de los tratamientos, generados en el experimento son mostrados en la Tabla 3.

*Tabla 3. Variables de entrada y salida del diseño experimental.*

Bloques	Corridas	Temperatura de entrada (°C)	Flujo de alimentación (rpm)	Concentración de maltodextrina (%)	Humedad	Rendimiento
Dia 1	1	180,00	25,00	15,00	2,20	96,65
Dia 1	2	185,00	20,00	10,00	1,67	87,69
Dia 1	3	175,00	30,00	10,00	3,18	91,10
Dia 1	4	175,00	30,00	20,00	2,60	91,38
Dia 1	5	185,00	20,00	20,00	2,10	88,60
Dia 1	6	180,00	25,00	15,00	2,61	97,73
Dia 1	7	185,00	30,00	10,00	2,89	91,96
Dia 1	8	175,00	20,00	10,00	2,39	92,80
Dia 1	9	180,00	25,00	15,00	1,99	94,27
Dia 1	10	185,00	30,00	20,00	2,58	94,04
Dia 1	11	175,00	20,00	20,00	2,10	90,18
Dia 1	12	180,00	25,00	15,00	2,38	97,12
Dia 2	13	188,40	25,00	15,00	2,31	91,62
Dia 2	14	180,00	25,00	23,41	2,50	91,16
Dia 2	15	180,00	25,00	6,59	1,69	93,47
Dia 2	16	180,00	16,59	15,00	2,10	89,08
Dia 2	17	171,59	25,00	15,00	2,09	82,81
Dia 2	18	180,00	25,00	15,00	2,18	95,89
Dia 2	19	180,00	33,41	15,00	2,94	90,46
Dia 2	20	180,00	25,00	15,00	1,99	94,21

A continuación, se presentan los resultados del análisis de varianza para el diseño central compuesto. Con un nivel de significancia del 5% son significativos el término cuadrático de temperatura ( $A^2$ ) y el término cuadrático del flujo de alimentación ( $B^2$ ) para el rendimiento. La falta de ajuste no fue significativa. Por otro lado, para la humedad solamente fue significativo el flujo de alimentación (B) con un nivel de significancia del 5%. Dado que el proceso de secado requiere tiempo entre la preparación de las muestras y su paso por el equipo, se añadió un bloqueo con respecto al número de días (factor perturbador) que se procesó el tomate. Para

determinar su eficacia se evaluó los valores obtenidos de las medias, para la humedad se obtuvo una media de 0,1320 y un valor de error puro 0,0566 (Anexo D); en cuanto al rendimiento se obtuvo una media de 13,97 y un valor del error de 2,07 (Anexo E). En ambos casos se observa que la media del bloqueo es mucho mayor a la del error, de forma que el bloqueo fue efectivo dado que estos valores no se incluyeron en el valor final del error.

*Tabla 4. Resumen del Análisis de varianza (ANOVA) de la humedad y rendimiento de los tratamientos.*

Fuente de variación	Valor - P	
	Humedad (g/100g)	Rendimiento (%)
<b>Modelo</b>	0,0104*	0,0191*
<b>A – Temperatura</b>	0,5645	0,1813
<b>B – Flujo de Alimentación</b>	0,0013*	0,1853
<b>C - % Maltodextrina</b>	0,5927	0,6968
<b>AB</b>	-	0,1314
<b>AC</b>	-	0,4088
<b>BC</b>	-	0,5249
<b>A<sup>2</sup></b>	-	0,0010*
<b>B<sup>2</sup></b>	-	0,0107*
<b>C<sup>2</sup></b>	-	0,1362
<b>Lack of Fit</b>	0,2909	0,1347

\*Significativo a valor  $p \leq 0,05$   
No significativo a valor  $p > 0,05$

## **Humedad**

Como se observa en la Tabla 4, el flujo de alimentación influyó significativamente en la humedad de los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ), debido a que es un factor determinante para garantizar un adecuado retiro de humedad del producto (Souza, y otros, 2009). En la Tabla 5, se presentan los valores de  $R^2$  para las variables de respuesta. En la humedad se explica el 0,5176% de la variabilidad del modelo, siendo un valor aceptable dado la naturaleza del proceso de secado.

Los bajos valores presentados pueden ser debido a la falta de consideración de ciertas actividades, por lo que el modelo presentado no fue bueno para predecir, ya que otro tipo de

bloqueos debieron ser considerados. No obstante, el modelo fue correcto para interpretar los datos obtenidos (Tabla 5).

*Tabla 5. Resumen de los valores de R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> ajustado y R<sup>2</sup> predicho de la humedad y rendimiento de la microencapsulación de jugo de tomate.*

	<b>Humedad</b>	<b>Rendimiento</b>
R <sup>2</sup>	0,5176	0,8144
R <sup>2</sup> Ajustado	0,4211	0,6288
R <sup>2</sup> Predicho	0,0626	-0,6252

La humedad se establece como un parámetro de calidad, porque permite mantener la estabilidad y viabilidad de los materiales microencapsulados (Parra, 2010). La humedad de todos los tratamientos (Tabla 3), cumplieron con el parámetro establecido para comercialización que es  $\leq 5\%$  (Surendar, Shere, & Shere, 2018), además que garantiza un secado completo de la microencapsulación (Anandharamakrishnan & Ishwarya, 2015). Resultados similares fueron obtenidos por Aswathy et al., (2019), Carrillo et al., (2011) para jugo de maracuyá y Naddaf et al., (2012) para jugo de naranja. De acuerdo con Goula y Adamopoulos (2004); Souza et al., (2004), a medida que se incrementa la temperatura y se reduce el flujo de alimentación, el contenido de humedad del producto también disminuye. En la Tabla 4 se observa que el flujo de entrada influyó significativamente en la humedad de los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ). Sin embargo, esto no es posible a mayores flujos de alimentación, debido a que el tiempo de contacto entre las gotas asperjadas es corto, por lo que la transferencia de calor es poco eficiente, con una tasa de evaporación baja y un incremento del tamaño de partícula (Souza et al., 2009).

La temperatura y el contenido de maltodextrina no influyeron significativamente en el contenido de humedad ( $p > 0,05$ ), dando como resultado un modelo lineal (Tabla 4). El bajo contenido de humedad en el presente estudio de acuerdo con Khalilian y Mohebbi (2016), se debió a la capacidad de maltodextrina de producir polvos con una mayor concentración de

aditivos agregados, sin embargo, está propiedad no la exenta de su alta solubilidad y absorción de humedad, en caso de una mala conservación. Por otra parte, Goula y Adamopoulos, (2008) y Adhikari et al., (2009), observaron en jugo de naranja, que a medida que aumentaba la temperatura de entrada la humedad se redujo con la adición de maltodextrina.

Gráficamente se observa en la Figura 2, el comportamiento de la humedad a lo largo del modelo lineal, encontrándose en un rango de 2 – 2,5 g/100g, que concuerda con los estudios de Surendar et al., (2018). Al ser un modelo lineal, se presume que los parámetros establecidos fueron rangos muy cortos para determinar una influencia significativa en la humedad de los tratamientos.

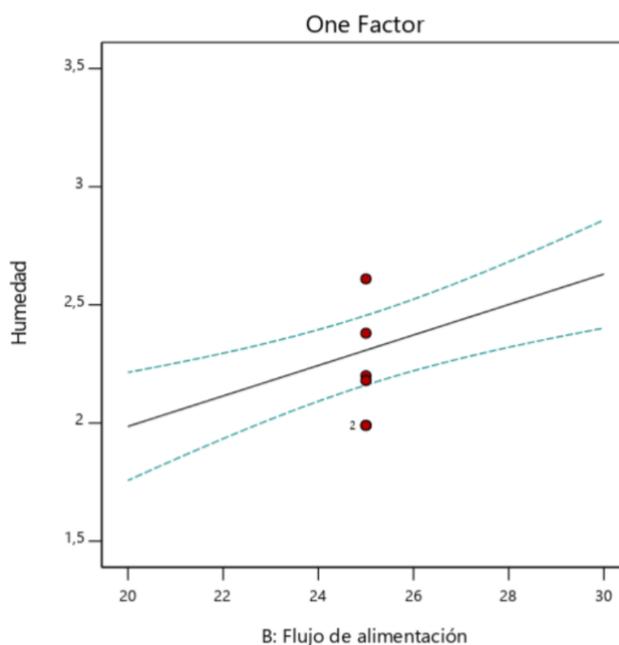


Figura 2. Representación Gráfica de la humedad.

## Rendimiento

Con un nivel de significancia del 5%, se encontró influencia significativa del término cuadrático temperatura ( $A^2$ ) y del término cuadrático flujo de alimentación ( $B^2$ ), sobre el rendimiento de los tratamientos (Tabla 6). Según Corrêa et al., (2019), el rendimiento del proceso de secado por aspersion se ve influenciado por la concentración del material

encapsulante y las condiciones de operación (temperatura de entrada del aire y caudal de alimentación). Frascareli et al., (2012) y Corrêa-Filho (2019), determinaron que a medida que aumentó la temperatura de secado y la concentración de goma arábica incrementó también el rendimiento de secado. Sin embargo, en el presente estudio no se encontró influencia significativa de la concentración del material encapsulante bajo los niveles evaluados. Santana, Kurozawa, Park, & Oliveira (2013) analizaron la microencapsulación de pulpa de pequi bajo los mismos niveles, y determinaron que sólo la concentración del material encapsulante (goma arábica) tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento, es decir que la cantidad de material encapsulante que se utiliza en la microencapsulación está fuertemente influenciada por sus características fisicoquímicas. Esto es confirmado por la investigación de Santana, Higueta, Oliveira, & Telis (2016) que al microencapsular pulpa de jussara, observaron un aumento de rendimiento al utilizar mezclas de materiales para la pared de las microcápsulas y una disminución cuando se utilizaron individualmente. Otro estudio también encontró que el rendimiento del proceso depende en gran medida de la configuración del equipo, mientras que la eficiencia de microencapsulación está relacionada con la cantidad y tipo de material encapsulado añadido (Nunes & Mercadante, 2007).

*Tabla 6. Ecuación polinómica para las variables de salida.*

	Ecuación
Rendimiento	$R=95,73+0,8528T+0,8443F+1,28T.F-2,74T^2* -184F^2*$
Humedad	$H= 2,32+0,3224F$

T: Temperatura, F: Flujo de alimentación, \*: parámetros que afectan significativamente a la variable de respuesta,  $p > 0,05$

Los coeficientes de determinación ( $R^2$  y  $R_{Adj}^2$ ) para el rendimiento (Tabla 5) indican un buen ajuste de los datos experimentales. El modelo de segundo orden tiene un coeficiente de

determinación ( $R^2$ ) superior a 0,7, pero el  $R^2$  de predicción fue un valor negativo, lo que indica que no es el mejor modelo para predecir a futuro.

Los datos experimentales ajustados a la superficie de respuesta tridimensional en función del flujo de alimentación y temperatura de entrada (Figura 3), muestran el área óptima para obtener un rendimiento del 95%. Se observa que al aumentar la temperatura de secado hasta 180°C y el flujo de alimentación hasta 25 rpm incrementa el rendimiento. Corrêa et al., (2019) al realizar la microencapsulación de extracto de orujo de tomate con goma arábica mencionan que las altas temperaturas conducen a una rápida evaporación del agua de la superficie de la partícula, lo que provoca una rápida formación de la costra superficial. Este proceso evita que las partículas lleguen a adherirse a las paredes de la cámara de secado o ciclón y permite recolectar la mayor parte del producto.

En la Figura 3, también se presenta un leve decrecimiento del rendimiento conforme la temperatura de entrada se acerca los 185°C, lo que podría atribuirse a la caramelización de sacarosa. Esta retención en las paredes del secador por mucho tiempo afecta la calidad del producto final ya que, al desprenderse, este se mezcla y contamina todo el lote. El producto retenido en la superficie de la cámara al estar expuesto a un tratamiento térmico más intenso obtiene características negativas sobre la solubilidad, color, sabor o humedad (Nunes & Mercadante, 2007).

La rentabilidad del proceso también se ve afectada debido a que es necesario interrumpir el secado con mayor frecuencia para limpiar la cámara del equipo. Además, al retener producto se altera el proceso de transferencia de calor entre las paredes de la cámara y el flujo de alimentación, por lo que el proceso requiere mayor energía para ser efectivo (Santana, Higueta, Oliveira, & Telis, 2016).

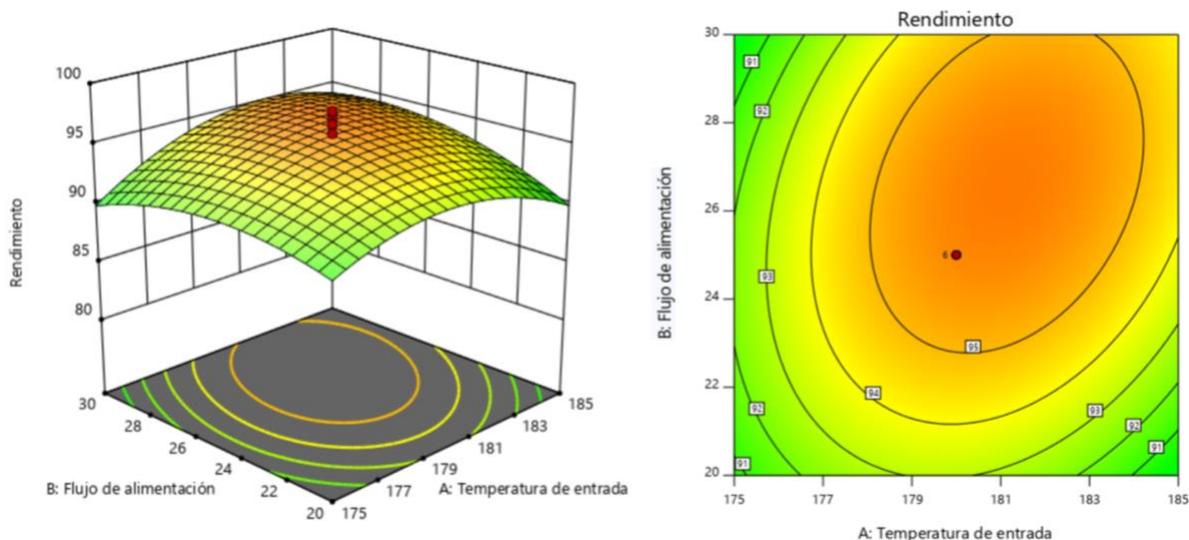


Figura 3. Curvas de superficie para condiciones óptimas de rendimiento.

En la Tabla 7 se muestran las condiciones del proceso optimizadas. Sin embargo, si se considera que estos son valores pronosticados por el modelo y al tener un  $R^2$  de predicción poco favorable, se podría tener variabilidad en los resultados al replicar el modelo. Por lo tanto, como condiciones óptimas se establecieron las corridas ubicadas en la región para mayor rendimiento y menor humedad (Figura 3). Estas corridas fueron las que se realizaron bajo las condiciones de 180°C, 25 rpm y 15% de MA.

Tabla 7. Variables óptimas pronosticadas.

Variables de Entrada		Variables de Salida	
Temperatura de entrada	185°C	Humedad (g/100g)	2,15
Flujo de alimentación	23,4658	Rendimiento (%)	92,98
% Maltodextrina	14,541		

### Propiedades físicas de las microcápsulas

Para evaluar el efecto de las condiciones de operación del equipo y adición de maltodextrina sobre el polvo de tomate obtenido, se analizaron propiedades físicas de las corridas 2,5,7,9 y 11 (Tabla 3), que permitieron comparar la influencia de cada factor. Estas determinan la

posibilidad del posterior procesamiento y manipulación del polvo de tomate, debido a su influencia en la estabilidad, calidad del producto y capacidad para reconstituirse en un medio líquido (Sapper, 2015).

### **Densidad Aparente del Polvo.**

La Figura 4, presenta la densidad aparente ( $d_p$ ) en función de la concentración de maltodextrina (MA), flujo de alimentación (FA) y temperatura del aire de entrada ( $T_i$ ), de los tratamientos mencionados previamente. La densidad aparente, tuvo como tendencia a disminuir en los tratamientos 2 (185°C, 20 FA, 10% MA) y 5 (185°C, 20 FA, 20% MA), como consecuencia de tener tasas de evaporación rápidas haciendo que los productos secados tengan una estructura más porosa o fragmentada (Goula & Adamopoulos, 2008); además de partículas con una mayor tendencia a ser huecas (Walton & Mumford, 1999). Sin embargo, considerando la concentración de maltodextrina, Caliskan y Dirim (2016) y Jamdar et al., (2021), mencionan que la densidad aparente de los polvos presenta un incremento significativo a medida que la concentración del material encapsulante aumenta. En la corrida 11 (175°C, 20 FA, 20% MA) con un contenido de maltodextrina del 20%, se observó una densidad aparente con tendencia superior. En los estudios de Yousefi et al., (2011), para jugo de granada y Nadeem et al., (2011), para polvo de té de montaña, al incrementar la cantidad de maltodextrina también lo hizo la densidad aparente.

Por otra parte, según Kwapinska & Zbicinski (2005) y Lee et al., (2018), la naturaleza de la maltodextrina al formar la pared protectora atrapa aire en la partícula reduciendo la densidad aparente de los polvos. Esto explicaría la tendencia a una menor densidad aparente de las corridas 5 (185°C, 20 FA, 20% MA) y 9 (180°C, 25 FA, 15% MA) a pesar de su alto contenido de maltodextrina. En el estudio de Shrestha et al., (2007), con jugo de naranja y Zareifard et al., (2012), en jugo de lima, la densidad disminuyó a medida que la cantidad de

maltodextrina aumentaba, en este caso se utilizó una concentración de 0 a 12 g de material encapsulante por 100g de jugo concentrado.

Otro de los factores a considerar, es el flujo de alimentación; de manera general, la densidad aparente aumenta a un mayor flujo (Zareifard, Niakousari, Shokrollahi, & Javadian, 2012). De esta forma, la tendencia de la corrida 7 hacia una mayor densidad aparente es correcta. Sin embargo, su bajo contenido de maltodextrina y alta temperatura de entrada influyen en su densidad por lo que se obtiene un valor inferior pero próximo a la corrida 11.

Lee et al., (2018), menciona que los polvos obtenidos por spray dryer son altamente higroscópicos, por lo que un mal almacenamiento puede afectar significativamente su densidad aparente.

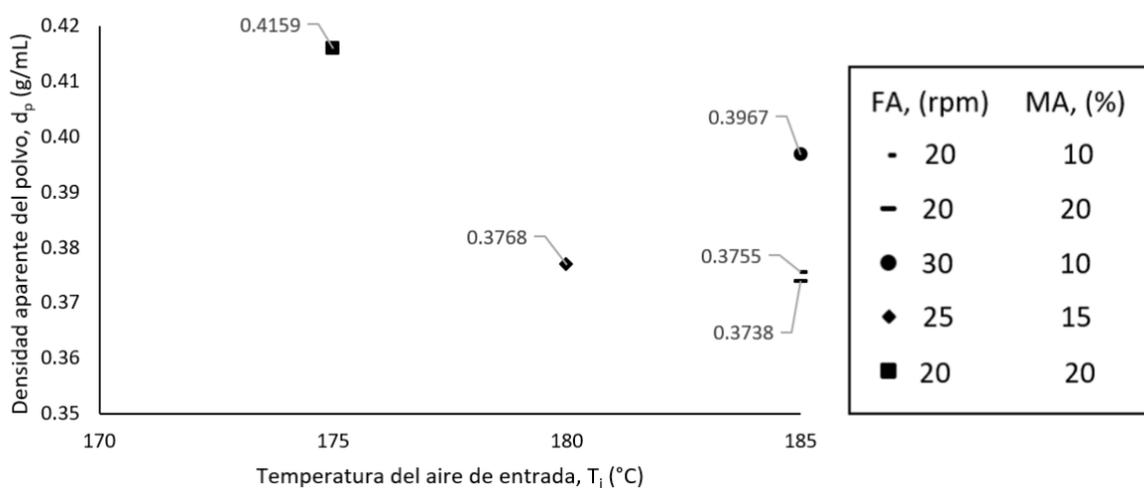


Figura 4. Densidad aparente ( $d_p$ ) en función de la concentración de maltodextrina (MA), flujo de alimentación (FA) y la temperatura del aire de entrada ( $T_i$ ).

### Solubilidad del Polvo.

La Figura 5, muestra la solubilidad del polvo ( $S_P$ ), con un rango de 28.80 a 180,60 segundos. La solubilidad del polvo es una propiedad funcional que influye en su comportamiento al momento de ser reconstituido en agua (Jayasundera et al., 2011). De acuerdo con Papadakis et al., (1998) y Goula & Adamopoulos, (2005), la solubilidad incrementa mientras menor es el

contenido de humedad del polvo. En el presente estudio, las corridas con menores tiempos fueron la 9 (180°C, 25 FA, 15% MA) con 1,99g/100g de humedad y un tiempo de 28,80 segundos. Seguida de la corrida 5 (185°C, 20 FA, 20% MA) con 1,67 g/100g de humedad y un tiempo de 32,40 segundos. Por lo tanto, la solubilidad es inversamente proporcional al contenido de humedad, ya que favorece una rápida solubilización (Papadakis et al., 1998). Estos resultados también se encontraron en los trabajos de Asheh et al., (2003) y Goula & Adamopoulos, (2005), para tomate. Por otro lado, se obtiene un menor contenido de humedad a mayores temperaturas de entrada, porque permite la formación de partículas más gruesas que tienden a ser sensibles a la solubilidad (Walton & Mumford, 1999), como se observa con las corridas 9 y 5. Por el contrario, aquellas corridas que presentaron un tiempo de solubilidad alto, se debió a la presencia de partículas pequeñas que son más polvorosas y flotan en el agua causando una humectación y reconstitución desigual (Goula & Adamopoulos, 2008). Sousa, et al., 2008, menciona también que el tomate presenta una solubilidad limitada en comparación a otras frutas debido a su bajo contenido de azúcares y por ser rico en sustancias liposolubles como los carotenoides (Sousa et al., 2008).

Para Asheh et al., (2003), existe una pérdida de la solubilidad a medida que se incrementa el flujo de alimentación debido a la difusión del material encapsulante. Mientras que para Bhandari et al., 1993; Cano et al., 2005; Goula & Adamopoulos, 2005; Caliskan & Dirim, 2016, el aumento del contenido de maltodextrina mejora la solubilidad del polvo, debido a su configuración molecular, ya que si es de cadena corta tiene más grupos hidrofílicos (Lee et al., 2018). En este estudio las corridas con mayor tiempo de solubilidad fueron la 2 (185°C, 20 FA, 10% MA) con 141 segundos y la corrida 7 (185°C, 30 FA, 10% MA) con 66 segundos. Ambas presentan altos flujos de alimentación y bajo contenido de maltodextrina, presentando así una tendencia mayor de solubilidad. Resultados similares se observaron en el estudio realizado por Tonon et al., (2008), con pulpa de acaí secada por asperción.

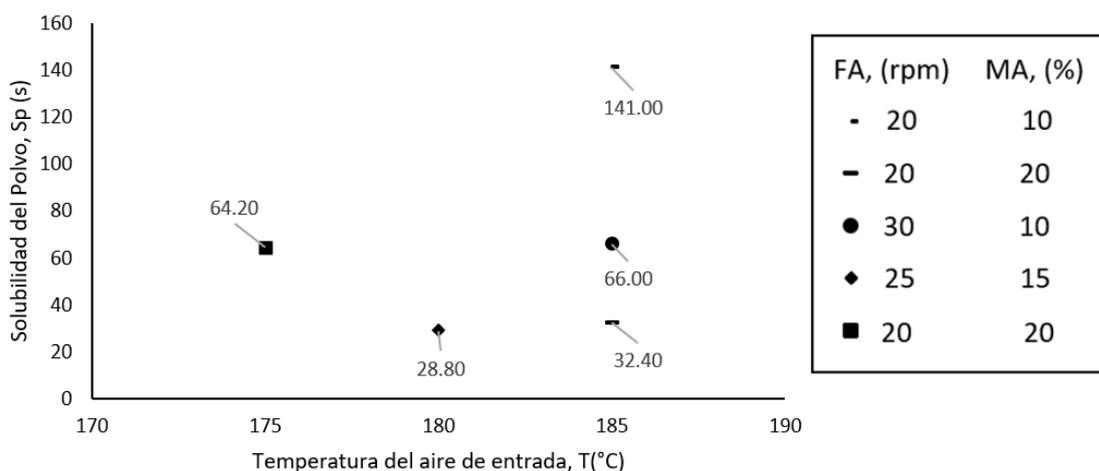


Figura 5. Solubilidad del polvo (s) en función de la concentración de maltodextrina (MA), flujo de alimentación (FA) y la temperatura del aire de entrada (Ti).

### Higroscopicidad.

La higroscopicidad (Hp), es la capacidad de un material para absorber la humedad del ambiente (Florescia, 2001). En la Figura 6 se evidencia que el polvo de tomate es un producto higroscópico al alcanzar valores aproximados entre 3 y 6 g/100g de materia seca después de 90 minutos de estar expuesto a 75,29 % de humedad relativa. Oliveira et al., (2014) encontraron valores similares para polvo de palma grugru y le clasificaron como poco higroscópico, deseable para microencapsulados. Las diferentes corridas demuestran tener un crecimiento lineal con comportamiento similar en el transcurso del tiempo (Figura 6).

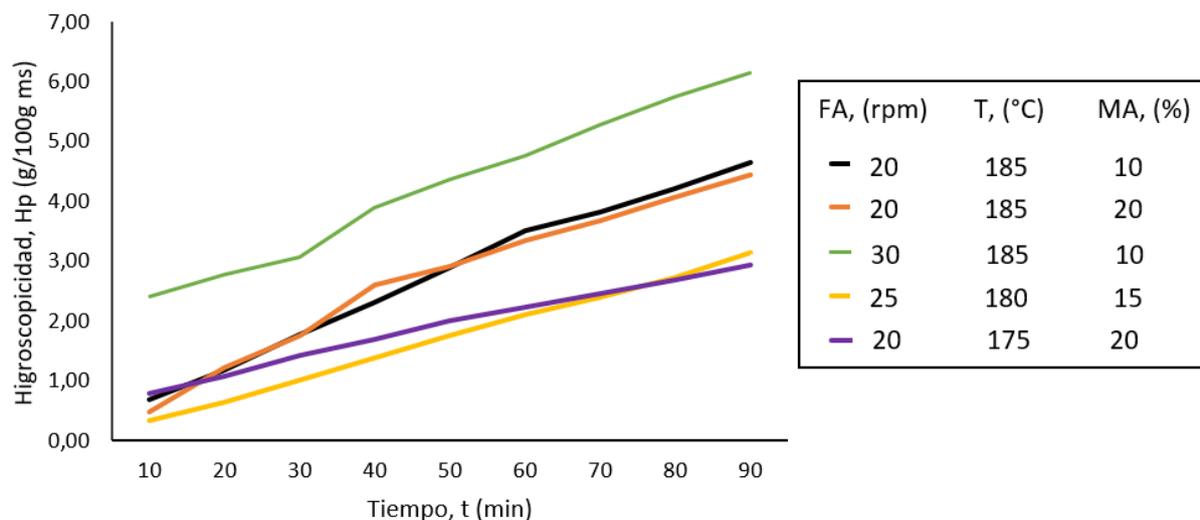


Figura 6. Higroscopicidad ( $H_p$ ) de las microcápsulas en función del tiempo.

Generalmente los polvos de jugo de frutas se caracterizan por tener una alta  $H_p$  debido a sus elevados niveles de azúcar (Florencia, 2001). En la presente investigación, la pulpa de tomate tuvo poca concentración de sacarosa (5°Brix) en comparación con otras frutas, a esto se atribuye sus bajos valores de  $H_p$ .

En el proceso de secado por aspersión de jugo de tomate, se convierten los azúcares de la mezcla en azúcares amorfos que son los responsables de la higroscopicidad (Canuto et al., 2015). Los azúcares amorfos se ablandan por efecto de la temperatura y de la presencia de agua, lo que se conoce como transición vítrea. Si la temperatura superficial de la partícula está por debajo de la temperatura de transición vítrea del sistema, los azúcares se mantienen como sólidos amorfos y se establece una relación entre la  $H_p$  y la temperatura de transición vítrea. Cuanto mayor es la temperatura de transición vítrea del producto, menor es su  $H_p$  (Granados et al., 2019).

También la sacarosa, glucosa y fructosa, común en los tomates producen fuertes interacciones con las moléculas de agua debido a sus terminales polares. Esto da a las microcápsulas la característica de ser higroscópicas en estado amorfo y naturaleza fluida (Canuto et al., 2015).

Al analizar la interacción entre la higroscopicidad y la concentración de maltodextrina (MA) (Figura 7) se observa que los valores más bajo de Hp corresponden a microcápsulas con 20% y 15% de MA aproximadamente y conforme se disminuyó la concentración de MA, la Hp aumentó. Al aumentar la concentración de MA mejora la estabilidad del polvo ya que disminuye la Hp. Comportamiento similar observaron Canuto et al., (2015), Goula & Adamopoulos (2008) y Bhusari et al., (2014) para la obtención de polvo de papaya, tomate y tamarindo respectivamente. La incorporación de solutos ayuda a la reducción de la higroscopicidad en las microcápsulas porque los solutos compiten por las moléculas de agua, formando una barrera protectora frente a la humedad en la superficie de las partículas (Sapper, 2015). Además, la maltodextrina al ser un agente de alto peso molecular aumenta la temperatura de transición vítrea del producto final que absorbe menos agua durante la exposición a condiciones altas de humedad relativa (Santana, Kurozawa, Park, & Oliveira, 2013).

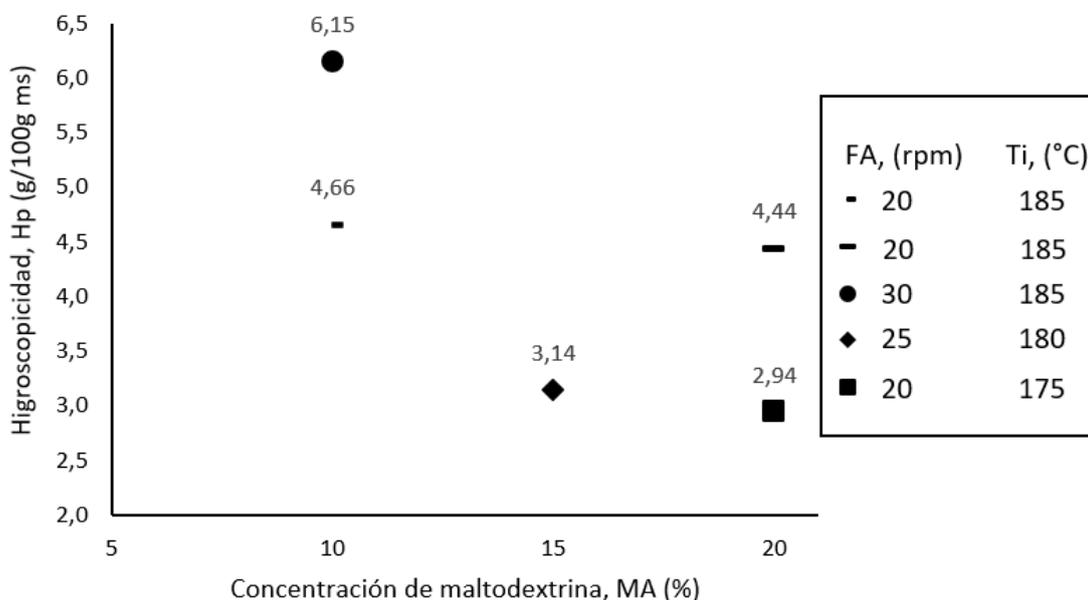


Figura 7. Higroscopicidad (Hp) de las microcápsulas en función de la concentración de maltodextrina (MA), flujo de alimentación (FA) y temperatura del aire de entrada (Ti).

Con relación a la temperatura de entrada, en la Figura 8 se observa que los valores más altos de higroscopicidad corresponden a la mayor temperatura (185°C) debido a que conforme aumenta la temperatura de entrada, aumenta la higroscopicidad. Algunos estudios muestran comportamientos diferentes (Avila et al., 2014; Goula & Adamopoulos, 2008). Sin embargo, Santana, Kurozawa, Park, & Oliveira (2013) y Khazaei et al., (2014) establecieron que la higroscopicidad del polvo es inversamente proporcional a su contenido de humedad. Es decir que las microcápsulas con menor contenido de humedad tienen mayor Hp, debido a que aumentan su capacidad de absorber agua que se relaciona con una mayor gradiente de concentración de agua entre el producto y el ambiente. De esta manera al aplicar una temperatura de entrada mayor, se obtienen microcápsulas con menor contenido de humedad y mayor higroscopicidad.

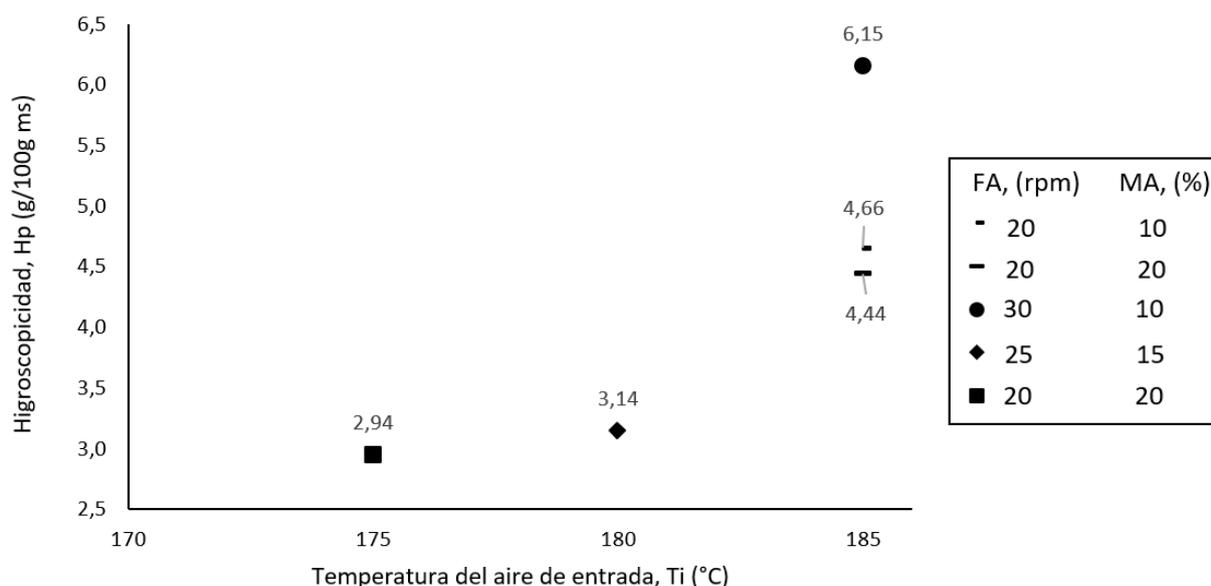


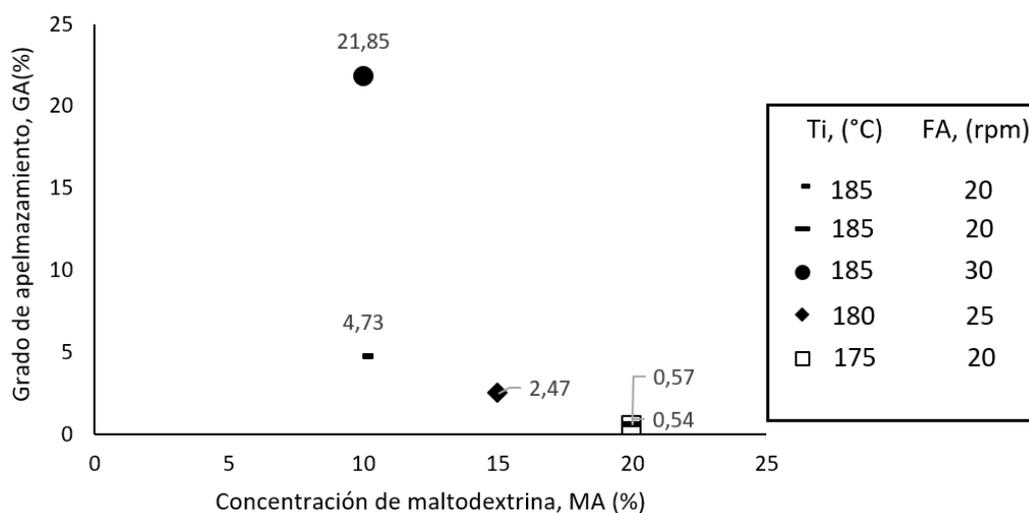
Figura 8. Higroscopicidad ( $H_p$ ) de las microcápsulas en función de la temperatura del aire de entrada ( $T_i$ ), flujo de alimentación (FA) y concentración de maltodextrina (MA).

### Grado de Apelmazamiento.

El apelmazamiento de un polvo es una reacción poco deseada en los productos alimenticios, por la transformación del polvo en un material aglomerado y pegajoso, que disminuye la

funcionalidad, suavidad y calidad. Este fenómeno puede darse por mecanismos, como atracción de van der Waals entre partículas y formación de puentes líquidos (Fitzpatrick, 2013).

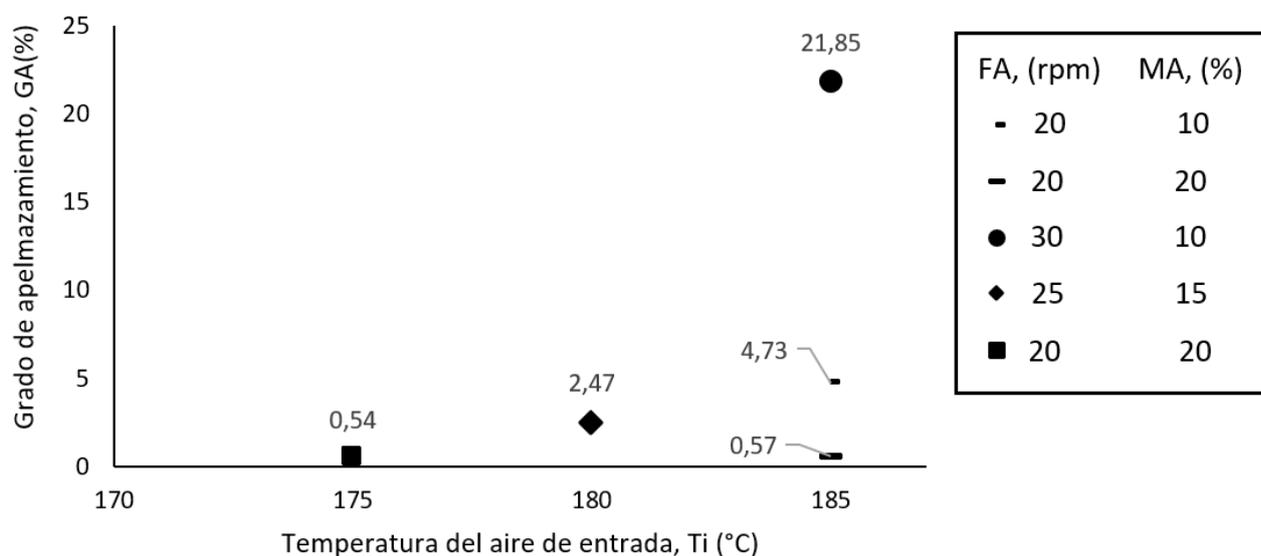
Las microcápsulas con mayor concentración de MA tuvieron el menor grado de apelmazamiento (0,54-0,57%), mientras que las de menor concentración alcanzaron valores de hasta 21,85% (Figura 9). Al comparar las corridas que se realizaron bajo las mismas condiciones de temperatura de entrada (185°C) y flujo de alimentación (20 rpm), pero diferente concentración de MA (10-20 %) se observó una diferencia evidente de 4,11% en el grado de apelmazamiento (GA). Esto se debe a que la maltodextrina actúa como un agente antiaglomerante ya que es una partícula de polvo fino que forma una cápsula impidiendo la atracción entre partículas y obstruye la continuidad de los puentes de líquidos (Bhandari, 2013). El mismo comportamiento presentó la MA con el grado de apelmazamiento y la Hp, que también fue reportado por Goula & Adamopoulos (2008) y Das (2004) para la microencapsulación de pulpa de tomate y mango respectivamente.



*Figura 9. Grado de apelmazamiento (GA) de las microcápsulas en función de la concentración de maltodextrina (MA), temperatura del aire de entrada (Ti) y flujo de alimentación (FA).*

En relación con la temperatura de entrada, Sapper (2015) menciona que el apelmazamiento en polvos con alto contenido de azúcar puede atribuirse a la adsorción de humedad. De esta

manera las altas temperaturas producen partículas más secas y propensas a absorber la humedad del ambiente. Cuando la partícula absorbe agua en la superficie, forma una solución saturada que hace que las partículas sean pegajosas y capaces de formar puentes líquidos. En la Figura 10 al comparar corridas con las mismas condiciones de flujo de alimentación (20 rpm) y concentración de maltodextrina (20), pero distinta temperatura (175°-185°C) no se observó un aumento importante en el grado de apelmazamiento para confirmar la relación antes mencionada. Además, en el análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 4), la temperatura no influyó significativamente en la humedad de los tratamientos, tal vez por incluirse en el estudio niveles muy cercanos para demostrar efecto significativo.



*Figura 10. Grado de apelmazamiento (GA) de las microcápsulas en función de la temperatura del aire de entrada (Ti), flujo de alimentación (FA) y concentración de maltodextrina (MA).*

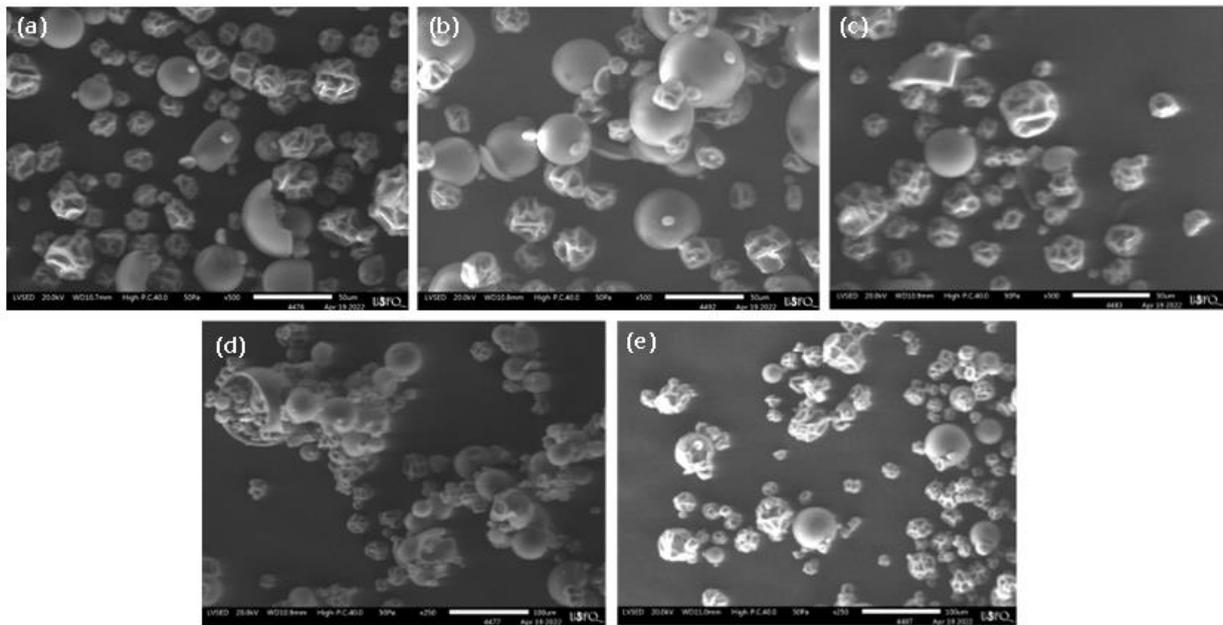
Según Sapper (2015) los polvos que presentan un grado de apelmazamiento menor al 10% se clasifican como no apelmazables, por lo tanto, solo la corrida 7 (185°C, 30 rpm, 10% MA) produjo polvos apelmazables. Mientras menor sea el grado de apelmazamiento mejor será el producto en polvo, por su mayor estabilidad y calidad. Los bajos valores de GA pueden estar asociados con los mismos factores que determinan bajos valores de Hp ya que son propiedades relacionadas.

### **Morfología de las partículas.**

Las micrografías electrónicas de barrido se presentan en la Figura 11, con un tamaño de partícula aproximado entre 50 y 100  $\mu\text{m}$  para cada una de las corridas analizadas. Se observa que las microcápsulas tienen una estructura esferoidal, además de superficies lisas (Tonon et al., 2009; Siccama et al., 2021; Jamdar et al., 2021). De igual forma, el cambio de la morfología de la superficie de las partículas se debe a la alta cobertura de proteínas en la superficie, dándole el aspecto rugoso (Xu et al., 2012). Este tipo de cobertura por compuestos de alto peso molecular tiende a reducir la higroscopicidad y eficiencia de encapsulación de compuestos volátiles y bioactivos (Fang & Bhandari, 2012). Sin embargo, en todas las corridas aparecen tanto superficies lisas como rugosas, por lo que se debería considerar también el efecto de las condiciones de operación del equipo. La temperatura de entrada fue una variable determinante; de acuerdo con Alamilla et al., (2005), se obtienen partículas con superficie arrugada debido a una transferencia de calor más lenta que a su vez genera cortezas más flexibles y colapsadas; como se observar en las imágenes a, c, e y f. Por otra parte, las partículas más regulares y esféricas se observan a temperaturas más altas (Aswathy et al., 2019). Comportamientos similares fueron reportados por Tonon, et al., (2009) y Nijdam & Landrish (2006), para pulpa de tuna, acá y leche en polvo respectivamente.

En cuanto a las corridas con mayor concentración de maltodextrina como la imagen b, d y e, se observó una mayor aglomeración de las partículas. Resultados similares fueron presentados por Aswathy et al., (2019), donde el tratamiento a 160°C, 6 ml/min FA, 20% MA, mostró una mayor aglomeración de partículas con formas irregulares y muescas. Otros autores atribuyen este comportamiento a los polisacáridos de cadena corta que son más higroscópicos que los polisacáridos de cadena larga y con más grupos hidrofílicos (Cervantes et al., 2020). Por otra parte, la incorporación de carbohidratos (maltodextrina) mejora las propiedades de

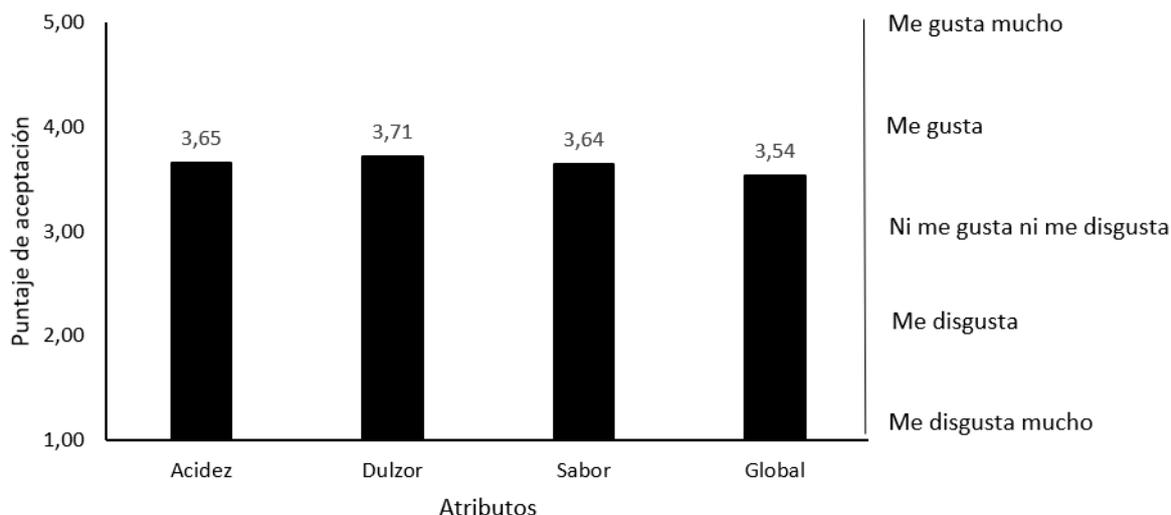
secado de la matriz con una mejor formación de la pared (Rosenberg & Sheu, 1996).



*Figura 11. Microestructura electrónica de barrido de polvo de tomate microencapsulado. Con aumento de x500:(a) Corrida 2, (b) Corrida 5, (c) corrida 7; y con un aumento de x250: (d) corrida 9, (e) corrida 11.*

## Evaluación Sensorial

La media del nivel de agrado para cada atributo y la percepción global evaluados por los consumidores se observa en la Figura 12. En todos los casos se ubicó entre las anclas “ni me gusta ni me disgusta” y “me gusta”, con una tendencia hacia “me gusta”, a pesar de que no se añadió ningún condimento o especias que realzaran el sabor del tomate.



*Figura 12. Nivel de agrado (media) para cada atributo y percepción global con relación a la escala de aceptación.*

En la Figura 13 se aprecia el porcentaje de respuestas para cada atributo en la escala de aceptación. La acidez tuvo el mayor porcentaje (17%) de “me disgusta”, pero, igualmente alcanzó el mayor porcentaje (26%) de “me gusta mucho”. La percepción global y el sabor mostraron el mejor nivel de agrado con el más bajo porcentaje de “me disgusta” (9%) y los más altos de “me gusta” (48 y 52%, respectivamente). El dulzor presentó un buen nivel de aceptación con inclinación hacia “me gusta” y “me gusta mucho”. La calificación de “me disgusta mucho” no superó el 3% para ninguno de los atributos analizados.



Figura 13. Gráfico radial de porcentaje de respuestas para cada atributo evaluado.

## CONCLUSIONES

Se desarrolló con éxito un saborizante microencapsulado de tomate mediante secado por aspersión. Las mejores condiciones de operación para tener rendimiento  $\geq 90\%$  y humedad  $\leq 5\text{g}/100\text{g}$  fueron de  $180^\circ\text{C}$  de temperatura de entrada, 25 rpm de flujo de alimentación y 15% de maltodextrina. Las microcápsulas obtenidas bajo estas condiciones mostraron tener buenas propiedades físicas que las clasifican como un polvo con buena estabilidad y calidad, debido a su baja higroscopicidad, bajo grado de apelmazamiento, alta densidad aparente y buena solubilidad en agua, además de un tamaño de partícula de  $100\ \mu\text{m}$ . El tomate microencapsulado tuvo una buena aceptación por parte de los consumidores.

El saborizante microencapsulado tiene potencial para ser la base en el desarrollo de nuevos productos alimenticios.

## RECOMENDACIONES

- Replicar el estudio ampliando los niveles de maltodextrina para determinar si existe influencia significativa en el rendimiento y humedad del polvo obtenido.
- Utilizar otros materiales encapsulantes (goma arábica, goma guar, almidones) o mezclas con maltodextrina para determinar su eficiencia.
- Realizar estudios para determinar la conservación del licopeno en las microcápsulas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, B., Howes, B., & Bhandari, B. (2009). The effect of low molecular weight surfactants and proteins on surface stickiness of sucrose during powder formation through spray drying. *Journal of Food Engineering* 94(2), 135-146.
- Alamilla-Beltran, L., Chanona-Perez, J., Jimenez-Aparicio, A., & Gutierrez-Lopez, G. (2005). Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 1179-184.
- Al-Asheh, S., Jumah, R., Banat, F., & Hammad, S. (2003). The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder . *Food and bioproducts processing*, 81(2), 81-88.
- Alitecno. (25 de 02 de 2022). *Desinfectantes extracto de semillas de cítricos*. Obtenido de Alitecno : <https://www.alitecno.com.ec/desinfectantes-extracto-de-semillas-de-c%C3%ADtricos>
- Anandharamakrishnan, C., & Ishwarya, P. (2015). *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. John Wiley & Sons.
- Andrade, J. F. (2015). Evaluación agronómica del cultivo de tomate (Solanum. *USFQ*, 14-19.
- AOAC International . (2012). *Official methods of AOAC International*.
- Aswathy, S., Suresha, G., Sneha, N., & Sadananda, G. (2019). Microencapsulation of lycopene rich cherry tomato powder using spray drying. *IJCS*, 7(1), 2270-2277.
- Avila, E., Rodríguez, M., & Velásquez, H. (2014). Influence of Maltodextrin and Spray Drying Process Conditions on Sugarcane Juice Powder Quality. *AgroMedellín*, 7509-7520.
- Bannwart, G., Bolini, H., Toledo, M., Kohn, A., & Cantanhede, G. (2008). Evaluation of Brazilian light ketchups II: quantitative descriptive and physicochemical analysis. *Food Science and Technology*, 107-115.

- Bayer S.A. (05 de Febrero de 2022). *Agro Bayer Ecuador*. Obtenido de Agro Bayer Ecuador:  
<https://agro.bayer.ec/cultivos/tomate>
- Beecher, G. R. (1998). Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 98-100.
- Bhandari, B. (2013). Introduction to food powders. *ScienceDirect*, 1-25.
- Bhandari, B., Senoussi, A., Dumoulin, E., & Lebert, A. (1993). Spray drying of concentrated fruit juices . *Drying Technology 1*, 1081-1092.
- Bhusari , S., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *ELSEVIER*, 354-364.
- Calapucha, K. (2020). Elaboración de pasta de tomate con la utilización de diferentes niveles de chaguarmishqui como edulcorante natural. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 15-27.
- Caliskan, G., & Dirim, S. (2016). The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. *Powder Technology*, 287, 208-314 .
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P., Ramos, A., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 420-428.
- Canuto, H., Amorim, M., & Correia, J. M. (2015). Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with. *Acta Scientiarum*, 179-185.
- Carabalí, M., & Narváez, C. (2009). Extraction And Assay Of Pectinmethyl Esterase From Pitaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*), Enzyme Vinculated To Softening. *Acta Biológica Colombiana*, 14(2), 73-82.
- Carrillo, H., González, D. A., Cruz, J., Barrera, J., Román, A., & Pérez, C. (2011). Estabilidad durante el almacenamiento y propiedades físicoquímicas de microcápsulas de jugo de

- maracuyá obtenidas mediante secado por aspersión. *Revista mexicana de ingeniería química*, 421-430.
- Casierra-Posada, F., & Aguilar-Avendaño, Ó. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía colombiana*, 300-307.
- Castorena, J., Cano, M., Fajardo, E., & Robles de la Torre, R. (2013). Inactivación de poligalacturonasa de tomate con campo eléctrico. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5(1), 17-22.
- Cerda, L. (2016). Enzimas modificadoras de la pared celular vegetal. Celulasas de interés biotecnológico papelerero. *Universidad de Barcelona*, 3-33.
- Cervantes, V., Salinas, Y., Chávez, A., Luna, G., Medrano, H., & Andrade, I. (2020). Stickiness and agglomeration of blackberry and raspberry spray dried juices using agave fructans and maltodextrin as carrier agents. *Czech Journal of Food Sciences*, 38(4), 229-236.
- Corrêa, L., Lourenço, S., Duarte, D., Moldão, M., & Alves, V. (2019). Microencapsulation of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Pomace Ethanolic Extract by Spray Drying: Optimization of Process Conditions. *Applied Sciences*, 9(3), 9, 612.
- Corrêa-Filho, L. C.-M. (2019). Microencapsulation of  $\beta$ -Carotene by spray drying: effect of wall material concentration and drying inlet temperature. *International journal of food science*.
- Cortés, M., Hernández, G., & Entrada, E. (2017). Optimization of the spray drying process for obtaining cape gooseberry powder: an innovative and promising functional food. *VITAE*, 59-67.
- Das, J. (2004). Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *ELSEVIER*, 125-134.

- Eduardo, P. R. (2019). Efecto del recubrimiento con tres soluciones de almidón de yuca en la conservación del fruto de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*, Mill). *Universidad Central del Ecuador* , 6-10.
- Esquivel, B., Ochoa, L., & Rutiaga, O. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Iber*, 16, 180-192.
- Estrella, M. Á. (2017). Evaluación de la producción y el manejo postcosecha del tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) variedad Daniela, producido en la parroquia San Luis. *Universidad Técnica de Ambato* , 26 - 27 .
- Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48(2), 478-483.
- FAO. (05 de Febrero de 2022). *FAOSTAT*. Obtenido de FAOSTAT: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QI>
- Fitzpatrick, J. (2013). Powder properties in food production systems . *ScienceDirect*, 285-308.
- Florencia, M. (2001). *Propiedades de no equilibrio en sistemas vítreos y sobreenfriados en relación con la estabilidad enzimática*. Buenos Aires: LELOIR.
- Frascareli, E., Silva, V., Tonon, R., & Hubingera, M. (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioproducts Processing* 90, 413-424.
- Garmedia, G., & Vero, S. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. . *Horticultura* 197, 18-27.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, 15 (7-8).
- Goula, A., & Adamopoulos, K. (2004). Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. *Drying technology*, 2309-2330.

- Goula, A., & Adamopoulos, K. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air. II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 35-42.
- Goula, A., & Adamopoulos, K. (2008). Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder Properties. *Drying Technology*, 726-737.
- Granados , Á., Fongi, S., Haguara, Y., & Kawai, K. (2019). Transición vítrea de maca ( *Lepidium meyenii* Walpers ) en polvo distribuida continuamente e impacto en las propiedades de apelmazamiento. *Springer*, 437-445.
- Guillermo, J. (2005). Cosecha y Manejo Postcosecha. *Universidad de Puerto Rico*, 164.
- Hernández, O., Cernada, A., Fernández, R., Leonid, A., & Sanabria, M. (2006). Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersion de extracto acuoso de *Calendula officinalis* L. *Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos (CIDEM)*.
- Herredia, G. A. (2012). Evaluación de las pérdidas postcosecha tanto físicas y de calidad en el sistema de producción agrícola del Cadet. Tumbaco, Pichincha . *Universidad Central del Ecuador*, 2-4.
- Huertas, R. (2011). Microencapsulación de Alimentos. *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 5669-5684.
- INEN. (1994). *Hortalizas y Frutas Frescas. Muestreo*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización : <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1750-C.pdf>
- Jamdar, F., Ali Mortazavi, S., Reza Saiedi Asl, M., & Sharifi, A. (2021). Physicochemical properties and enzymatic activity of wheat germ extract microencapsulated with spray and freeze drying. *Food Science & Nutrition*, 9(2), 1192-1201.

- Jayasundera, M., Adhikari, B., Howes, T., & Aldred, P. (2011). Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterization. *Food Chemistry*, *128*, 1003-1016.
- Khalilian, M., & Mohebbi, M. (2016). Spray Drying and Process Optimization of Carrot-Celery Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, *40*(2), 212-225.
- Khazaei, M., Mahdi, B., Ghorbani, M., & Kakhki, H. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *ELSEVIER*, 57-62.
- Kwapinska, M., & Zbicinski, I. (2005). Prediction of Final Product Properties After Cocurrent Spray Drying . *Drying Technology*, *23*(8) .
- Lee, J., Taip, F., & Abdullah, Z. (2018). Effectiveness of additives in spray drying performance: A review. *Food Search* , 486-499.
- Mera, L., Cedeño, M., Santana, T. M., & Cedeño, R. (2016). Metodología para la elaboración de pasta de tomate con zanahoria . *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 57-67.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2016). *Bolerín Situacional* . Obtenido de Tomate Riñon:  
[http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines\\_situacionales/2016/tomaterinon/boletin\\_situacional\\_tomate\\_rinon\\_2016.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines_situacionales/2016/tomaterinon/boletin_situacional_tomate_rinon_2016.pdf)
- Naddaf, L., Avalo, B., & Oliveros, M. (2012). Secado por aspersion de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, *35*(1), 20-27.
- Nadeem, H., Torun, M., & Ozdemir, F. (2011). Spray drying of the mountain tea (*Sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT-Food Sci Technol* (*44*), 1626-1635.

- Nidjam, J., & Langrish, T. (2006). The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering* 77(4), 919-925.
- Nidjam, J., & Langrish, T. (2006). The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 919-925.
- Nunes, I., & Mercadante, A. (2007). Encapsulation of Lycopene Using Spray-Drying and Molecular Inclusion Processes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 893-900.
- Oliveira, D., Clemente, E., & Costa, J. M. (2014). Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. *Spriger*, 2783-2789.
- Ortega, F., Isaza, I., Tirado, T., & Montes, E. (2015). Effect of concentration and pressure on the boiling point elevation of tomato paste (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista ION*, 28(2), 51-59.
- Papadakis, S., Gardeli, C., & Tzia, C. (1998). Raisin extret powder: Production, physical and sensory properties. *In Proc. 11th International Drying Symposium IDS (Vol. 98)*, 1207-1213.
- Parikh, A., Agarwal, S., & Raut, K. (2014). A Review on applications of maltodextrin in pharmaceutical industry. *Pharmaceutical Sciences*, (4) 67-74 .
- Parra, H. (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 5669-5684.
- Payán, L. (2015). Evaluación del efecto combinado de los antimicrobianos naturales nisina, D-limoneno, glucósido de steviol y citral sobre *Listeria monocytogenes* en alimentos de origen vegetal. *Universidad Politécnica de Cartagena* , 21-38.
- Pérez, I., & Carpita, N. (2006). Las  $\beta$ -galactosidasas y la dinámica de la pared celular. *Interciencia*, 31(7), 476-483.

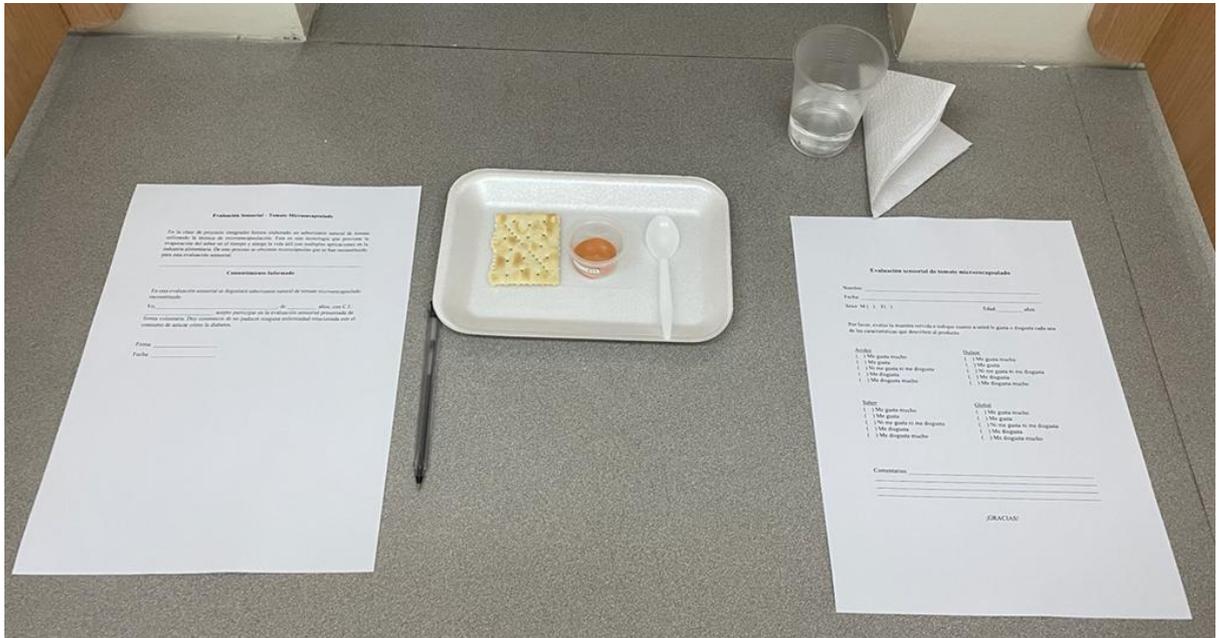
- Pilataxi, J. (2019). Efecto del recubrimiento con tres soluciones de almidón de yuca en la conservación del fruto de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*, Mill). *UCE* , 19-29.
- Quek, S., Chok, N., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5) , 386-392.
- Ramírez, J. (2012). *Metodos Sensoriales Basicos*. Cali: Universidad del Valle.
- Ramos, M., Bautista, S., Barrera, L., Bosquez, E., Alia, I., & Estrada, M. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista mexicana de fitopatología*, 28(1), 44-57.
- Rosenberg, M., & Sheu, T. (1996). Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems. *International Dairy Journal*, 6(3), 273-284.
- Saavedra, N. (2001). Evaluación de la producción comercial del tomate riñón bajo invernadero en La Finca California. *Universidad Andina Simón Bolívar*, 37-42.
- Santana, A., Higueta, D., Oliveira, R., & Telis, V. (2016). Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *ELSEVIER*, 1-9.
- Santana, A., Kurozawa, L., Park, K., & Oliveira, R. (2013). Influence of Process Conditions on the Physicochemical Properties of Pequi Powder Produced by Spray Drying. *Drying Technology*, 825-836.
- Sapper, M. (2015). *Medidas de las propiedades físicas de producto de fruta en polvo*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Shrestha, A., Ua-Arak, T., Adhikari, B., Howes, T., & Bhandari, B. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10(3), 661-673.

- Siccama, J., Pegiou, E., Zhang, L., Mumm, R., Hall, R., Boom, R., & Schutyser, M. (2021). Maltodextrin improves physical properties and volatile compound retention of spray-dried asparagus concentrate. *LWT*, *142*, 11058.
- Sousa, A., Borges, S., Magalhães, N., Vaz Ricardo, H., & Azevedo, A. (2008). Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *51*(4), 607-614.
- Souza, A., Borges, S., Magalhães, N., Ricardo, H., Cereda, M., & Daiuto, E. (2009). Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. *Food Science and Technology* *29*(2), 291-294.
- Surendar, J., Shere, D., & Shere, P. (2018). Effect of drying on quality characteristics of dried tomato powder. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2690-2694.
- Tonon, R., Brabet, C., & Hubinger, M. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, *88*, 411-418.
- Tonon, R., Brabet, C., Pallet, D., Brat, P., & Hubinger, M. (2009). Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. *International journal of food science & technology*, *44*(10), 1950-198.
- Torbica, A., Belović, M., Mastilović, J., Kevrešan, Ž., Pestorić, M., Škrobot, D., & Hadnađev, T. (2016). Nutritional, rheological, and sensory evaluation of tomato ketchup with increased content of natural fibres made from fresh tomato pomace. *Food and bioproducts processing*, 299-309.
- Walton, D., & Mumford, C. (1999). The morphology of spray-dried particles: the effect of process variables upon the morphology of spray-dried particles. *Chemical Engineering Research and Design*, *77*(5), 442-460.

- Wu, X. Y. (2022). Are Processed Tomato Products as Nutritious as Fresh Tomatoes? Scoping Review on the Effects of Industrial Processing on Nutrients and Bioactive Compounds in Tomatoes. *Advances in Nutrition*, 138-151.
- Xu, Y., Howes, T., Adhikari, B., & Bhandari, B. (2012). Investigation of relationship between surface tension of feed solution containing various proteins and surface composition and morphology of powder particles. *Drying Technology*, 30(14), 1548-1562.
- Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). *Journal of food science and technology*, 48(6), 677-684.
- Zareifard, M., Niakousari, M., Shokrollahi, Z., & Javadian, S. (2012). A feasibility study on the drying of lime juice: the relationship between the key operating parameters of a small laboratory spray dryer and product quality. *Food and Bioprocess Technology*, 5(5), 1896-1906.

## ANEXOS

## ANEXO A: PRESENTACIÓN MUESTRAS PARA EVALUACIÓN SENSORIAL.



**ANEXO B: CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EVALUACIÓN SENSORIAL****Consentimiento Informado**

En esta evaluación sensorial se degustará saborizante natural de tomate microencapsulado reconstituido.

Yo, \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ años, con C.I.: \_\_\_\_\_ acepto participar en la evaluación sensorial presentada de forma voluntaria. Doy constancia de no padecer ninguna enfermedad relacionada con el consumo de azúcar como la diabetes.

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**ANEXO C: CUESTIONARIO PARA EVALUACIÓN SENSORIAL****Evaluación sensorial de tomate microencapsulado**

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Sexo: M ( )      F ( )      Edad: \_\_\_\_\_ años

Por favor, evalúe la muestra servida e indique cuanto a usted le gusta o disgusta cada una de las características que describen al producto.

Acidez

- ( ) Me gusta mucho  
( ) Me gusta  
( ) Ni me gusta ni me disgusta  
( ) Me disgusta  
( ) Me disgusta mucho

Dulzor

- ( ) Me gusta mucho  
( ) Me gusta  
( ) Ni me gusta ni me disgusta  
( ) Me disgusta  
( ) Me disgusta mucho

Sabor

- ( ) Me gusta mucho  
( ) Me gusta  
( ) Ni me gusta ni me disgusta  
( ) Me disgusta  
( ) Me disgusta mucho

Global

- ( ) Me gusta mucho  
( ) Me gusta  
( ) Ni me gusta ni me disgusta  
( ) Me disgusta  
( ) Me disgusta mucho

Comentarios: \_\_\_\_\_

---

---

---

¡GRACIAS!

**ANEXO D: ANOVA DE HUMEDAD**

Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) de la humedad

Source	Sum of Squares	df	Means square	F-value	p-value	
<b>Block</b>	0,1320	1	0,130			
Model	1,48	3	0,4929	5,36	0,0104	significant
<b>A-Temperatura de entrada</b>	0,0319	1	0,0319	0,3472	0,5645	
<b>B-Temperatura de alimentación</b>	1,42	1	1,42	15,45	0,0013	
<b>C-% de maltodextrina</b>	0,0274	1	0,0274	0,2987	0,5927	
Residual	1,38	15	0,0919			
<b>Lack of fit</b>	1,15	11	0,1047	1,85	0,2909	Not significant
<b>Pure Error</b>	0,2265	4	0,0566			
Cor Total	2,99	19				

**ANEXO E: ANOVA DE RENDIMIENTO**

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento

Source	Sum of Squares	df	Means square	F-value	p-value	
<b>Block</b>	19,37	1	13,97			
Model	186,85	9	20,76	4,39	0,091	significant
<b>A- Temperatura de entrada</b>	9,93	1	9,93	2,10	0,1813	
<b>B- Temperatura de alimentación</b>	9,74	1	9,74	2,06	0,1853	
<b>C- % de maltodextrina</b>	0,7663	1	0,7663	0,1619	0,6968	
<b>AB</b>	13,03	1	13,03	2,75	0,1314	
<b>AC</b>	3,55	1	3,55	0,7505	0,4088	
<b>BC</b>	2,07	1	2,07	0,4376	0,5249	
<b>A<sup>2</sup></b>	108,20	1	108,20	22,87	0,0010	
<b>B<sup>2</sup></b>	48,64	1	48,64	10,28	0,0107	
<b>C<sup>2</sup></b>	12,67	1	12,67	2,68	0,1362	
Residual	42,59	9	4,73			
<b>Lack of fit</b>	34,30	5	6,86	3,31	0,1362	Not significant
<b>Pure Error</b>	8,29	4	2,07			
Cor Total	243,40	19				