

**OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SECADO POR ATOMIZACIÓN DE  
ESTEVA (*Stevia rebaudiana bertonii*) UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE  
SUPERFICIE DE RESPUESTA.**

**DIEGO ARTURO SEGURA BERMÚDEZ  
JANER MIGUEL URANGO ANAYA**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
BERÁSTEGUI, CÓRDOBA  
2019**

**OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SECADO POR ATOMIZACIÓN DE  
ESTEVIÁ (*Stevia rebaudiana bertonii*) UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE  
SUPERFICIE DE RESPUESTA.**

**DIEGO ARTURO SEGURA BERMÚDEZ  
JANER MIGUEL URANGO ANAYA**

**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de INGENIERO DE  
ALIMENTOS**

**Director (es):**

**Ph.D. OMAR ANDRÉS PEREZ SIERRA  
Ph.D. FABIÁN ALBERTO ORTEGA QUINTANA**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
BERÁSTEGUI, CÓRDOBA**

**2019**

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto,  
serán responsabilidad de los autores.**

**Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

A mis padres Alonso Segura y Amelia Bermúdez por siempre estar ahí dándome apoyo e inspiración en toda mi vida, a mis hermanos Ludwig, Jairo y Mauricio por siempre estar conmigo ayudándome sin cesar.

A Karen Almanza por siempre estar conmigo durante mi carrera siendo mi compañera incondicional.

**Diego Arturo Segura Bermudez**

Dedico este logro de manera especial a mi padre celestial por acompañarme y ser mi guía en cada segundo de mi vida.

A mi madre Nelly Anaya por su gran amor y paciencia, mujer luchadora, mi inspiración y motivación más grande, a ella debo todo lo que soy.

A mis abuelos Antonio Anaya y Nancy Mendoza, por apoyarme de manera incondicional.

A mis hermanos Katy Urango, Daner Urango y Albanelly Anaya, por impulsarme cada día a dar mi mayor esfuerzo.

A mis profesores Fabián Ortega y Omar Pérez por todo su conocimiento, paciencia y apoyo incondicional, a todos mis compañeros y amigos de la Universidad de Córdoba, por su gran ayuda durante todo este proceso.

**Janer Miguel Urango Anaya**

## **Agradecimientos**

A nuestros familiares y amigos por su apoyo incondicional y consejos que nos han ayudado en nuestro crecimiento personal.

A nuestros profesores Omar Perez y Fabián Ortega por su orientación y dedicación en el desarrollo de esta idea.

A Francisco “el Pacho” y la señora Lina, trabajadores incansables que nos proporcionaron mucha ayuda.

A la UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA por la formación impartida durante todos estos años.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	15
2	REVISIÓN DE LITERATURA .....	18
2.1	Descripción de la estevia .....	18
2.2	Secado en la industria alimentaria .....	20
2.2.1	Secado por atomización.....	21
2.3	Aplicación de metodología de superficie de respuesta .....	22
3	METODOLOGÍA.....	27
3.1	Tipo de investigación.....	27
3.2	Localización del proyecto.....	27
3.3	Materia prima.....	27
3.4	Variables de estudio .....	28
3.4.1	Independientes.....	28
3.4.2	Respuesta.....	28
3.5	Análisis de la información.....	28
3.6	Métodos .....	28



3.6.1	Acondicionamiento de la materia prima. ....	28
3.6.2	Secado de la solución. ....	28
3.6.3	Análisis de humedad y solubilidad.....	29
3.6.4	Rendimiento. ....	29
3.6.5	Diseño experimental.....	30
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1	Solubilidad.....	31
4.2	Humedad.....	32
4.3	Temperatura de salida del aire .....	37
4.4	Deseabilidad .....	42
4.5	Rendimiento.....	45
5	CONCLUSIONES.....	48
6	RECOMENDACIONES .....	49
7	BIBLIOGRAFÍA.....	50

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Análisis de Varianza para la humedad final del producto (%).....	34
Tabla 2 Análisis de Varianza para la temperatura de salida del aire (°C).....	39
Tabla 3 Optimización respuestas. ....	42
Tabla 4 Optimización multirespuesta. ....	43
Tabla 5 Análisis de Varianza para el rendimiento del proceso(%). ....	46

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Gráficos de dispersión para la humedad final del producto con respecto a las 4 variables independientes. ....	33
Figura 2 Superficie de respuesta para la humedad final del producto.....	36
Figura 3 Gráficos de dispersión para la temperatura de salida del aire con respecto a las 4 variables independientes.....	38
Figura 4 Superficie de respuesta para la temperatura de salida del aire.....	41
Figura 5 Superficie de respuesta para la función deseabilidad. ....	43
Figura 6 Diagrama de caja para el rendimiento del secado.....	46

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Fórmula steviósido .....	19
Ilustración 2 Superficie de respuesta en un punto óptimo.....	24

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue determinar las mejores condiciones de secado por atomización para obtener las condiciones de respuestas mínimas de humedad final del producto y temperatura de salida del aire, empleando la metodología de superficie de respuesta con un diseño Draper y Lin aplicando la optimización multiobjetivo. Inicialmente se sometió a secado soluciones de estevia modificando las variables concentración de la solución (°Brix), velocidad del rotor (RPM), flujo de alimentación de aire (m<sup>3</sup>/h) y temperatura de entrada del aire (°C) siendo en total 23 unidades experimentales (con dos repeticiones), incluyendo 7 puntos centrales. El análisis de la humedad como variable respuesta fue en promedio 5,6% y mostró que las variables independientes son no significativas ( $p < 0,05$ ) sobre ella exceptuando la interacción entre flujo de aire y velocidad del rotor, mientras que el análisis de temperatura de salida del aire fue en promedio 73,4°C mostrando que la velocidad del rotor y la interacción entre la concentración de la solución con la misma son significativas ( $p < 0,05$ ) mientras que las demás variables independientes y sus interacciones fueron no significativas. Por otro lado las variables respuesta rendimiento y solubilidad se mantuvieron constantes para cada unidad experimental. Finalmente se realizó una minimización multirrespuesta empleando la función deseabilidad se obtuvo una humedad de -1,31% y una temperatura de salida del aire de 56.50°C sin embargo la falta de ajuste de los modelos predictivos hace que los resultados no sean consistentes.

## ABSTRACT

The objective of this project was to determine the best spray drying conditions to obtain the minimum response conditions of final product moisture and air outlet temperature, using multi-objective minimization as a working technology response surface methodology with a Draper and Lin design. Initially, stevia solutions were dried by modifying the variables concentration of the solution (°Brix), rotor speed (RPM), air feed flow (m<sup>3</sup>/h) and air inlet temperature (°C) being in total 23 experimental units including 7 central points. The humidity analysis as a response variable was on average 5.6% and showed that the independent variables are not significant ( $p < 0.05$ ) on it except the interaction between air flow and rotor speed, while the analysis of Air outlet temperature averaged 73.4 °C showing that the rotor speed and the interaction between the concentration of the solution with it are significant ( $p < 0.05$ ) while the other independent variables and their interactions were not significant. On the other hand, the variables response yield and solubility remained constant for each experimental unit. Finally, a multi-response minimization was performed using the desirability function, a humidity of -1.31% and an air outlet temperature of 56.50 °C was obtained, however, the lack of adjustment of the predictive models makes the results not consistent.

## 1 INTRODUCCIÓN

Como hierba perenne de la familia Asteraceae, la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) es conocida como una "fuente de azúcar" para el cuidado de la salud, que es superior al azúcar de caña, azúcar de remolacha u otros edulcorantes intensivos. La dulzura surge de los glucósidos de esteviol diterpeno que se encuentran especialmente en el tejido de la hoja. Los glucósidos de esteviol son 250–450 veces más dulces que la sacarosa pero con un valor calorífico de aproximadamente 1/300 al de la sacarosa (Sun et al. 2019). La planta estevia ha adquirido una gran importancia y ha aumentado su consumo en el mundo, además de las propiedades edulcorantes derivadas de los glucósidos de esteviol que incluyen principalmente esteviosido, rebaudiosido A y C, los estudios han demostrado que los extractos de sus hojas también tienen otros metabolitos con potencial bioactivo como alcaloides, clorofilas solubles en agua, xantofilas, derivados de hidroxicinamoilo (derivado de la cafeína y el ácido clorogénico), etc. que se dice que son responsables de producir beneficios terapéuticos tales como efectos antihiper glucémicos, antihipertensivos, antiinflamativo, antitumorales, antidiarreicos, diuréticos e inmunomoduladores (Formigoni et al 2018).

El rápido desarrollo económico de los últimos tiempos ha cambiado el patrón de consumo de alimentos desde la garantía de calorías a la fortificación de nutrientes de la dieta. Los consumidores de hoy están bien educados y bien informados. Por lo tanto, hoy es importante desarrollar nuevos alimentos nutricionales, maximizar su contenido de nutrientes tanto en el procesamiento como en el almacenamiento y extender la vida útil, y así cumplir con los requisitos del mercado. En este sentido, la información sobre el cambio de nutrientes en el procesamiento y almacenamiento será de gran importancia. (Patil 2014).

El conocimiento de la estevia del consumidor colombiano es muy superior al promedio latinoamericano (excluido Brasil), por eso, actualmente se encuentran endulzantes con base en estevia en supermercados, tiendas naturistas, restaurantes, hoteles y cafeterías donde se ofrecen como una opción para endulzar comidas y bebidas (Millán et al. 2012). Al ser usada como sustituyente a los endulzantes convencionales en la industria productora de bebidas, se convierte en una necesidad mantener grandes volúmenes de ésta solución, los cuales se reducirían si se somete a las soluciones de estevia a secado por atomización.

Agregar valor a las materias primas es un paso importante para estimar condiciones para su procesamiento y mejorar las características del producto final pretendido y el secado es una etapa determinante para muchas estructuras candidateadas para el procesamiento e industrialización.

El secado por atomización es una de las técnicas utilizadas para aumentar la vida útil de los productos alimenticios. Sin embargo, existen problemas durante el proceso de secado debido a su complejidad, éste se ve afectado por diversos factores. La selección de manera cuidadosa de los parámetros operacionales es crítica para obtener un producto de alta calidad. Según Tontul et al. 2017, las propiedades fisicoquímicas del producto final dependen principalmente del tipo y



concentración del agente de transporte, el flujo de alimentación, la velocidad del rotor y la temperatura de entrada.

El secado por atomización se presenta como un método de conservación de este producto debido a que alarga la vida útil y mejora las condiciones en cuanto al almacenamiento al requerir de menos espacio además con el fin de reducir los costos de transporte. Cabe decir que los costos energéticos son muy altos debido a la pérdida de calor que se da durante el proceso porque la temperatura de salida del aire es muy elevada es por esto que se busca hallar las condiciones en este tipo de secado de tal forma que se obtenga un buen producto a muy bajo costo. Es importante que la humedad final del producto sea mínima, por lo cual se buscará encontrar los parámetros del proceso para que se traduzca en un producto final con ésta característica.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

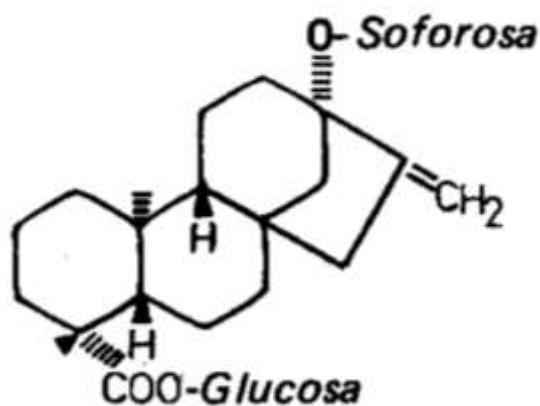
### 2.1 Descripción de la estevia

La estevia es una planta originaria de Sudamérica, es una planta herbácea, de tallo erecto de raíz pivotante y alcanza los 70 centímetros de altura aproximadamente; las hojas son simples opuestas, en su estado juvenil y alternas como manifestación de la floración (Cháfuel 2015). Es un arbusto perenne que puede alcanzar 65 a 80 cm, pero que cultivadas pueden llegar hasta 1,0 m de altura, sus hojas lanceoladas tienen aproximadamente 5 cm de longitud y 2 cm de ancho y se disponen alternadas, enfrentadas de dos en dos. Puede utilizarse para la producción comercial por un periodo de cinco o más años, dando varias cosechas anuales a partir de la parte aérea de la planta, crece en suelos arenosos cerca de arroyos de la parte selvática subtropical del alto Paraná (Durán et al. 2012).

La designación del steviósido, como principal edulcorante no nutritivo de la especie, se debe a los investigadores franceses Bridel y Lavielle que en 1931 cristalizaron el edulcorante y determinaron que es 300 veces más dulce que el azúcar y que no posee efectos tóxicos al realizar pruebas de laboratorio con animales.

Además del sabor dulce, Stevia es popular debido a su composición nutricional y química que se caracteriza por un alto contenido de aminoácidos, minerales y fitoquímicos, especialmente polifenoles que contribuyen a una actividad antioxidante significativa. En comparación con los otros edulcorantes (sacarosa y edulcorantes artificiales), tiene un alto valor nutricional y un efecto beneficioso para la salud. Además, las hojas de Stevia tienen excelentes propiedades sensoriales y funcionales en comparación con otros edulcorantes (Kovačević et al. 2018).

Asimismo, se demostró que el steviósido es el edulcorante natural no nitrogenado más dulce que se encuentra en la naturaleza y que está compuesto solamente de carbono, hidrógeno y oxígeno, su fórmula  $C_{38} H_{60} O_{18}$ . (Razo 2011) Su estructura química es como se puede observar en la *Ilustración 1*.



**Ilustración 1 Fórmula steviósido**

(Galperin 1984)

Una alternativa tanto al azúcar como a la fructosa es el uso de edulcorantes no nutritivos. El consumo de alimentos y bebidas que contienen edulcorantes no nutritivos ha aumentado dramáticamente en las últimas décadas, se estima que en Estados Unidos un 15% de la población consume edulcorantes no nutritivos. En cambio un estudio realizado en escolares chilenos muestra que la ingesta es cercana al 99%.

El consumo de azúcares en alimentos y bebidas ha aumentado a un ritmo alarmante. Si bien la ingesta diaria excesiva de azúcar se ha asociado bien con la aparición de complicaciones médicas, todavía se usan azúcares adicionales en productos alimenticios manufacturados solo para satisfacer las necesidades de los consumidores. Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar sustitutos del azúcar que tengan una respuesta glucémica baja sin comprometer las características organolépticas de los productos alimenticios.

Entre los edulcorantes no nutritivos se encuentran la Sacarina, Aspartame, Sucralosa, Ciclamato, Acesulfame K, Neotamo, Alitamo y recientemente se ha incorporado la Estevia, cuyo sabor es lo más parecido al azúcar, distinguiéndose de los edulcorantes artificiales por no tener sabor metálico y no ser cancerígeno.

## **2.2 Secado en la industria alimentaria**

El secado o deshidratación es una técnica de conservación de alimentos cuyo objetivo principal es la disminución de la actividad del agua de los mismos. Secar es el proceso de preservar los alimentos desde los tiempos antiguos, cientos de variantes son usados recientemente en el secado de partículas sólidas, pastas, capas continuas, emulsiones o soluciones; por lo tanto, provee la mayor diversidad entre las operaciones unitarias en la ingeniería de procesos de alimentos (Patil et al. 2014).

En este sentido, un aumento de la estabilidad se relaciona con una depresión de la actividad del agua ( $a_w$ ), de manera que este parámetro puede ser considerado como una medida indirecta de la disponibilidad del agua presente en el producto para participar en las reacciones de deterioro o en el crecimiento microbiano. La operación de deshidratación permite además reducir el coste de transporte y almacenamiento por la disminución del peso y volumen de los productos. Y en último término, puede ser una herramienta para el desarrollo de nuevos productos (Monzón 2006). Existen diferentes tipos de secado que se aplican a diferentes materiales en la industria como el secado solar, por bandejas, por túnel, por ventana refractiva y el secado por atomización, el cual fue utilizado para la estevia por ser una solución homogénea.

### **2.2.1 Secado por atomización**

El secado por atomización es un método bien establecido y ampliamente utilizado para transformar una amplia gama de productos alimenticios líquidos en forma de polvo. El proceso implica la pulverización de soluciones finamente atomizadas en una cámara donde el aire seco caliente evapora rápidamente la solución dejando las partículas secas. Los polvos secados por atomización pueden almacenarse a temperatura ambiente durante períodos prolongados sin comprometer la estabilidad del polvo (Igual et al. 2014).

La calidad de un polvo alimenticio se basa en una variedad de propiedades dependiendo de la aplicación específica. En general, el contenido final de humedad, la solubilidad, la dispersabilidad y el contenido de vitamina C son de importancia primaria. Por lo general se obtienen de materia prima agrícola a través de diversos procesos como la fragmentación o el secado por atomización. Entre los productos alimenticios, los polvos alimenticios son fáciles de preservar, transportar, almacenar, pesar y procesar (Patil et al. 2014).

Los polvos secos obtenidos por atomización tienen buena calidad, poca actividad de agua y son aptos para el almacenamiento. Las propiedades fisicoquímicas de los polvos producidos por secado por atomización dependen de algunas variables del proceso, como la concentración del agente transportador en la mezcla de alimentación, la temperatura del aire de entrada y el caudal de alimentación. Por lo tanto, es importante optimizar los parámetros del proceso de secado para obtener un polvo de buena calidad y un alto rendimiento del proceso (Patil et al. 2014).

El secado por atomización de los jugos de frutas y la pulpa puede presentar algunos problemas tales como pegajosidad e higroscopicidad debido a la presencia de azúcares de bajo peso molecular y ácidos que tienen baja temperatura de transición vítrea. Por lo tanto, pueden adherirse a la pared de la cámara del secador a temperaturas de secado normales, lo que conduce a un bajo rendimiento del producto y a problemas operativos. Parte de estos problemas se puede resolver mediante la adición de agentes portadores de alto peso molecular como proteínas, maltodextrina y gomas que tienen una alta temperatura de transición vítrea. El uso de proteína es una nueva forma de minimizar el problema de adherencia durante el secado por atomización debido a su capacidad de modificar las propiedades superficiales de las partículas/gotas atomizadas. Se descubrió que la migración preferencial de proteínas hacia la superficie de las partículas/gotas atomizadas combinadas con su propiedad de formación de película tras el secado es responsable de superar el problema de adherencia. (Muzaffar & Kumar 2015)

### **2.3 Aplicación de metodología de superficie de respuesta**

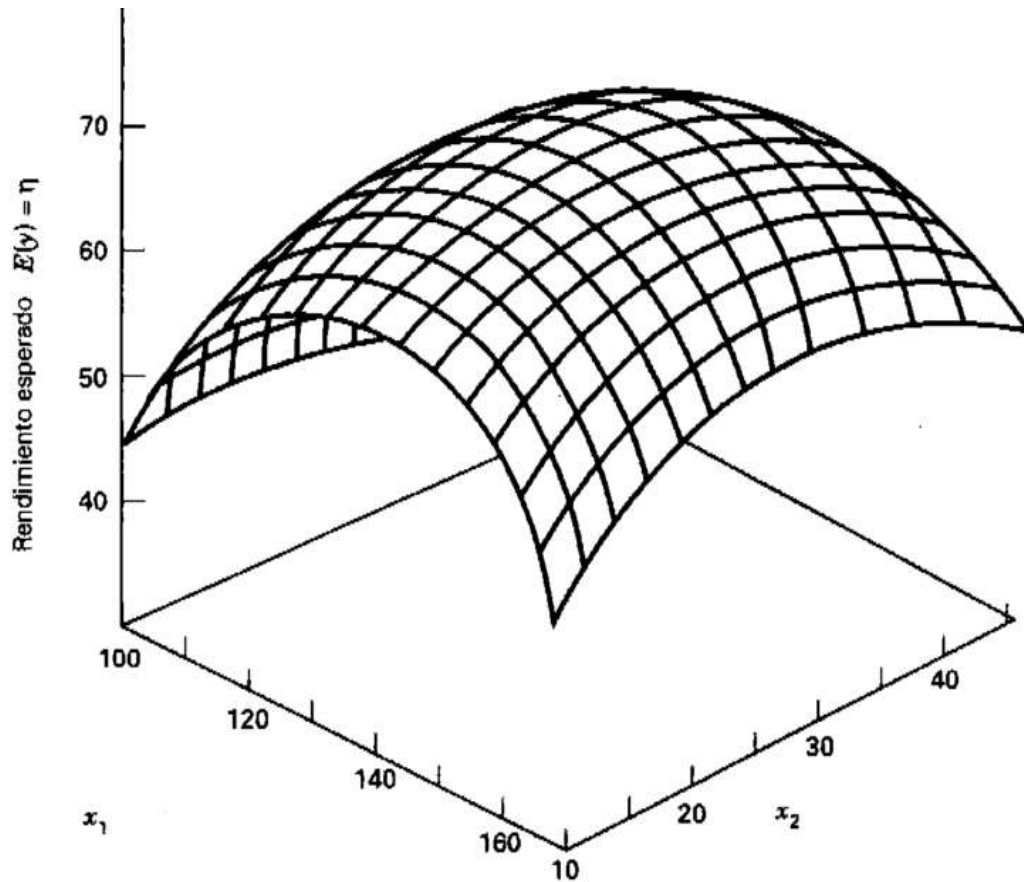
El uso de diseños de superficie de respuesta es una alternativa adecuada, en experimentos cuyo objetivo es establecer la relación entre factores y la variable dependiente, dentro de una región experimental. Dichos factores deberán ser identificados y establecidos como significativos dentro

del sistema, a partir de experimentos de diagnóstico que exploren la relación entre los factores y la variable respuesta dentro del rango o región experimental.

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar ésta respuesta. Por ejemplo para un caso de dos variables independientes  $x_1$ ,  $x_2$ , se tiene:

$$\eta = y = f(x_1, x_2) + \varepsilon$$

Por lo general la superficie de respuesta se representa gráficamente como en la *Ilustración 2*, donde  $\eta$  se grafica contra los niveles de  $x_1$  y  $x_2$ . En la mayoría de los problemas de MSR, la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes es desconocida. Por lo tanto, el primer paso de la MSR es encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre  $Y$  y el conjunto de variables independientes. Por lo general se emplea un polinomio de orden inferior en alguna región de las variables independientes. (Montgomery 2004)



**Ilustración 2 Superficie de respuesta en un punto óptimo**

Patil et al. (2014) aplicó MSR para el secado por atomización de *Psidium guajava* estudiando una humedad con un rango entre 2,2% y 3,9% el modelo ajustado tuvo coeficiente de determinación de 97,26%. Muzaffar & Kumar (2018) estudiaron el secado de *Tamarindus indica L.* en un rango de temperatura que va desde 150 a 170°C, presentando un coeficiente de determinación de 88% y significancia del factor temperatura del aire ( $p < 0,05$ ). Swaminathan et al. (2015) que muestra unas desviaciones entre 0,07 y 0,09% para el polvo de *Syzygium cumini L.*

En el secado de kéfir un rango de alimentación al secador de 240–473L/h mostró significancia ( $p \leq 0,05$ ) (Atalar & Dervisoglu 2015) mientras que Muzaffar & Kumar (2018) muestran en su



estudio que la alimentación de pulpa de *Tamarindus indica* L. (400-600ml/h) es significativo para la humedad, solubilidad y rendimiento con un nivel de confianza de 95%.

Estudios no tuvieron en cuenta el flujo de alimentación al secador para *Murraya koenigii*, *Morinda citrifolia* L., *Momordica conchinchinensis*, *Clarias gariepinus*, sin embargo, al aplicar superficie de respuesta, hubo un buen ajuste acompañado de una optimización correspondiente a la humedad final de producto (Krishnaiah et al. 2012; Kha et al. 2014; Sablania & Don Bosco 2018; Ikrang & Umani 2019).

El kéfir es un material que al ser secado muestra una clara tendencia en su superficie de respuesta entre mayor sea la temperatura de entrada del aire y menor la velocidad de alimentación, más alta es la cantidad de materia seca en el producto final (Atalar & Dervisoglu 2015). Sin embargo, en el caso de la guayaba *Psidium guajava*, un estudio reportó que a bajas temperaturas (sumado a una baja adición de maltodextrina), la humedad tendía a disminuirse debido a la formación de una película alrededor de los sólidos lo cual facilita la formación de un polvo no higroscópico con alta fluidez (Patil et al. 2014).

Para el secado de pulpa de lulo se obtuvo una temperatura mínima de 78°C usando como variables independientes temperatura de entrada del aire y maltodextrina agregada, siendo la temperatura de entrada del aire óptima un valor de los más bajos posibles (Igual et al. 2014).

Muzaffar & Kumar (2015) reportan significancia en el secado de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica*) encapsulada con proteína aislada de soya respecto a temperatura de entrada del aire y flujo de alimentación con un nivel de 95% de confianza y simultáneamente, coeficientes de determinación superiores a 88%, empleando en su estudio una pulpa compuesta por diversos componentes, tales como ácido tartárico (8%-18%), azúcares reductores (25%-45%),

pectina (2%3.5%) y proteínas (2%-3%) sumado a la adición de proteína aislada de soya como encapsulante (15%-25%).

Por otro lado, fue reportado por Singh et al. (2019) que la temperatura de entrada del aire y la concentración de maltodextrina son significantes en el secado por atomización del jambul (*Syzygium cumini*). La solución usada en éste estudio contenía ácido gálico, vitamina c, cianina, petunidina, malvidina, glucosa, manosa, sucrosa, sodio, potasio, calcio, fósforos, hierro, zinc y algunos aminoácidos libres como alanina, asparagina, tirosina, glutamina y cisteína (Noomrio & Dahot 1996 citado por Singh et al. 2019), nuevamente se tiene una variación de las respuestas (humedad final, solubilidad, dispersabilidad) ante el cambio en las variables independientes para un producto que consta de múltiples componentes de diferentes tamaños de partícula, hecho reiterativo si se tiene en cuenta lo reportado por Bazarria & Kumar (2016) para el secado de jugo de *Beta vulgaris*, proceso en el cual hubo significancia para las variables temperatura de entrada del aire, flujo de alimentación y adición de maltodextrina, además de un coeficiente de determinación mayor al 98% para todos los casos.

Sablania & Don Bosco (2018) en su estudio secando extracto de *Murraya koenigii* empleando dos encapsulantes y temperatura de entrada del aire como variables independientes obtuvieron un coeficiente de determinación mayor a 90% y significancia estadística para los tratamientos. El extracto de las hojas de ésta planta ha sido probada como antioxidante y eliminador de radicales libres (Ningappa et al. 2008) con resultados positivos, así como también se probó poseer trazas de elementos en composición variable según la zona en la que es cultivada (Choudhury & Garg 2007).

## **3 METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es cuantitativa de tipo experimental-descriptivo.

### **3.2 Localización del proyecto**

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Alimentos y el laboratorio de Ingeniería Aplicada de la sede Berasteguí de La Universidad De Córdoba, ubicada en el kilómetro 10 vía Cereté - Ciénaga de Oro del departamento de Córdoba, con una temperatura promedio de 29 °C, 86 % de humedad relativa y 20 m.s.n.m. con precipitación promedio de 1200 mm anuales, enmarcada geográficamente entre los 8° 31' de longitud norte y 75° 58' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

### **3.3 Materia prima**

Se trabajó con muestras de origen vegetal, extractos acuosos de hoja de Estevia (*Stevia rebaudiana*) a diferentes concentraciones, procesadas por una empresa artesanal ubicada en el municipio de Cereté.

### **3.4 Variables de estudio**

#### **3.4.1 Independientes**

Temperatura de entrada de aire, flujo de entrada del aire, velocidad del rotor y la concentración de la solución.

#### **3.4.2 Respuesta**

Temperatura de salida del aire, humedad final del producto, rendimiento y solubilidad.

### **3.5 Análisis de la información**

Mediante el uso de STATGRAPHICS 6.0 se optimizaron las variables respuesta individualmente y luego a través de la función deseabilidad se encontró la maximización de la misma, obteniendo las mejores condiciones que cumplan con el multi-objetivo de minimizar las dos respuestas, empleando el diseño reducido Draper-y-Lin recomendado por Truong et al. (2004). Todos los análisis se llevaron a cabo con los valores no codificados de las variables.

### **3.6 Métodos**

#### **3.6.1 Acondicionamiento de la materia prima.**

La solución de estevia fue filtrada a través de una malla filtrante para prevenir atascamiento de materia en los ductos del secador.

#### **3.6.2 Secado de la solución.**

La solución se sometió a secado en el secador por atomización de tamaño piloto (VIBRASEC Colombia), en un rango de las siguientes condiciones: temperatura de entrada de aire (180-200°C), flujo de entrada del aire (97,3-108,4m<sup>3</sup>/h), velocidad del rotor (20000-30000RPM) y la

concentración de la solución (17-21°Brix) siendo éstas las variables independientes. Durante el proceso se midió la temperatura de salida del aire, que junto con la humedad corresponden a las variables dependientes y el polvo será almacenado para su posterior análisis.

### **3.6.3 Análisis de humedad y solubilidad.**

Se determinó humedad calcinando 1g de cada muestra seca en Moisture Analyzer LSC 60/50, mientras que para la determinación de solubilidad se utilizó el método de Eastman e Moore 1984, citado por Cano-Chauca et al. (2005). El método consiste en la adición de 1 g de la muestra a un recipiente que contiene 100 ml de agua destilada, operando con agitación magnética a alta velocidad por 5 minutos, seguida por una centrifugación a 3000 rpm, también por 5 minutos. Posteriormente una alícuota de 25 ml del sobrenadante es retirada y se lleva a la estufa a 105°C, hasta peso constante. La solubilidad se calculará por la diferencia de peso.

### **3.6.4 Rendimiento.**

Se determinó el rendimiento del proceso de secado, tomando como valor teórico una humedad final de 3%b.h. y se comparó la cantidad de materia sólida teórica y la obtenida en el desarrollo experimental tal como lo muestra.

$$R = \frac{\text{Masa sólidos final}}{\text{Masa sólidos inicial}} \times 100$$

### **3.6.5 Diseño experimental.**

Se utilizó un diseño Compuesto reducido de Draper-y-Lin el cual es capaz de estudiar los efectos de 4 factores en 46 corridas. El orden de los experimentos fue completamente aleatorizado, con el fin de proveer protección contra el efecto de variables ocultas.

Número de factores experimentales: 4

Número de bloques: 2, correspondientes a las unidades experimentales y su réplica.

Número de respuestas: 2

Número de corridas: 46, incluyendo 7 puntos centrales por bloque.

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El flujo de alimentación al secador fue tomado en cuenta como variable independiente sin embargo, no existió diferencia significativa entre el mínimo y máximo de flujo de alimentación por lo tanto fue tomado como valor constante. Se observó que la duración del secado era aproximadamente una hora en promedio, con diferencia máxima de 15 minutos, teniendo en cuenta que todas las muestras correspondían a 1 L de solución. Inicialmente se muestran los análisis correspondientes a las variables respuesta de manera separada para una posterior maximización de la deseabilidad.

### **4.1 Solubilidad**

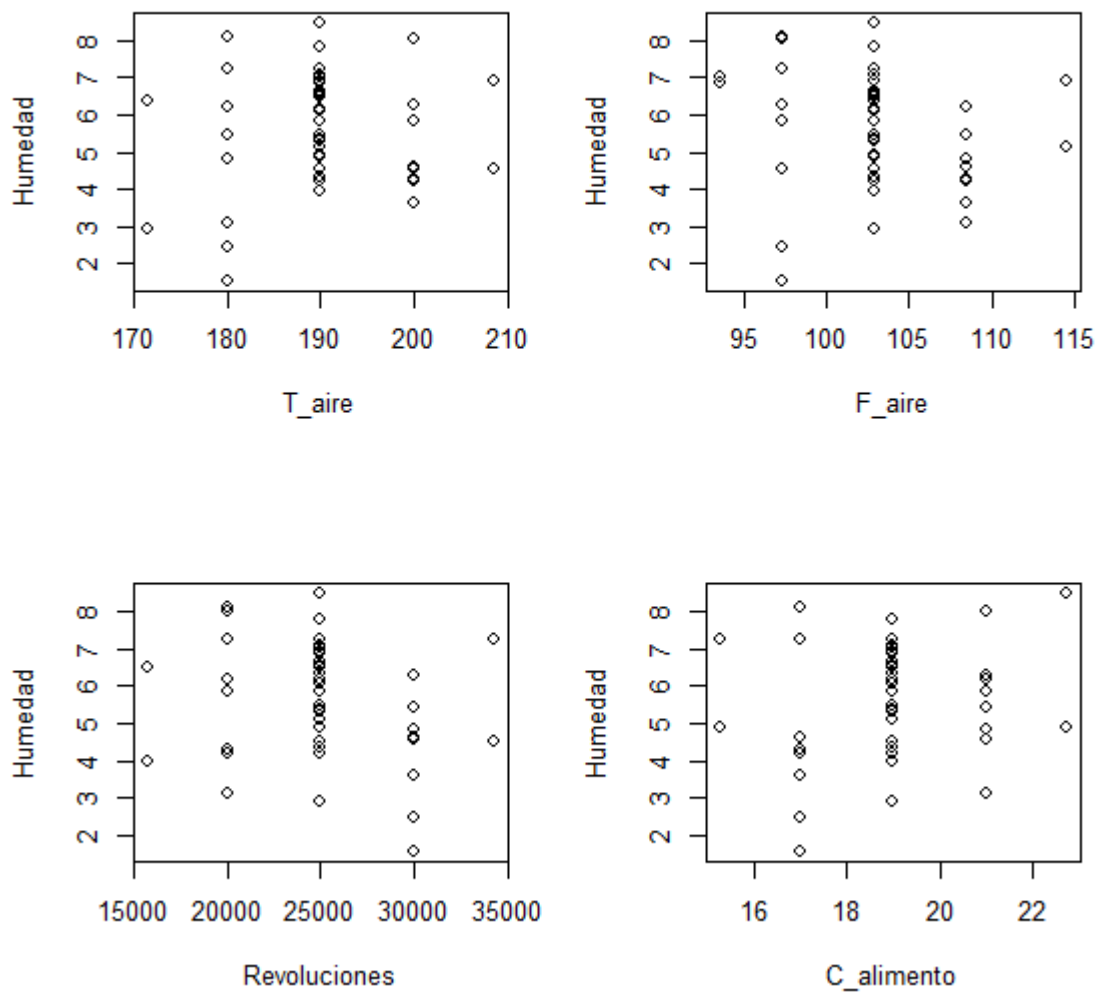
En promedio la solubilidad fue de 99,7%, valor ideal para un producto secado a través de atomización, con una desviación estándar de 0,54% por lo cual es una variable que no tiene significancia en el modelo debido a la alta solubilidad de la estevia en agua, el ANOVA arrojó un coeficiente de determinación de 31,46%, adicionalmente todas las variables independientes fueron no significativas, mientras que la combinación de velocidad del rotor con el flujo de entrada del aire fue la única interacción que se mostró significativa ( $p < 0,05$ ). Teniendo en cuenta lo anterior la solubilidad no fue tenida en cuenta en la optimización al considerarse constante.

## 4.2 Humedad

Para el caso de la humedad se obtuvo un promedio de 5,6%, con un valor mínimo de 1,5% y un máximo de 8,5% lo cual es un rango amplio en comparación a lo reportado por Patil et al. 2014 debido a que sus resultados mostraron una humedad con un rango entre 2,2 y 3,9% con coeficiente de determinación de 97.26 % para el secado por atomización de *Psidium guajava*. Muzaffar & Kumar (2018) estudiaron el secado de *Tamarindus indica L.* en un rango de temperatura que va desde 150 a 170°C, un rango mucho menor al estudiado en la estevia, presentando un coeficiente de determinación de 88% y significancia del factor temperatura del aire ( $p < 0,05$ ) descartando que el rango de trabajo no haya sido suficientemente amplio. Por otro lado la desviación estándar de la humedad final del producto fue 1.6%, un valor excesivamente alto si se compara con lo reportado por Swaminathan, et al. 2015 que muestra unas desviaciones entre 0,07 y 0,09% para el polvo de *Syzygium cumini L.*

La medida de las respuestas para cada una de las unidades experimentales se encuentra en Figura 1. Las diferentes condiciones parecen mostrar una respuesta aleatoria en las variables, debido a que no se visualiza una relación lineal o cuadrática entre la humedad y la temperatura de entrada del aire, el flujo de entrada del aire, la velocidad del rotor o la concentración de la solución de alimentación; sin embargo la velocidad del rotor (Revoluciones) muestra una tentativa de tendencia, en la región de valores bajos de velocidad del rotor hay valores más elevados que en la región de valores altos. La posible relación entre la humedad final del producto y las cuatro variables independientes se ajustó mediante un modelo de superficie de respuesta.





**Figura 1 Gráficos de dispersión para la humedad final del producto con respecto a las 4 variables independientes.**

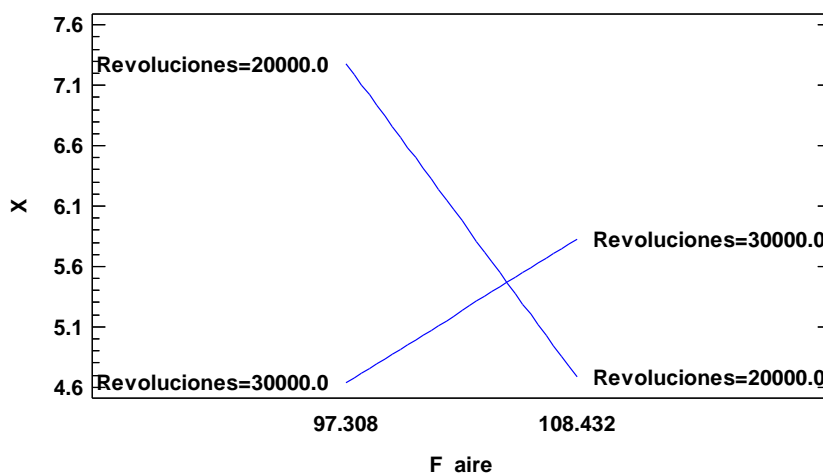
Inicialmente, se aplicó el método de optimización a una sola respuesta con la humedad final del producto como variable respuesta, con lo que se obtuvo un modelo predictivo con un coeficiente de determinación de 45,00%, acompañado de una significancia estadísticamente inexistente de algunos factores como se puede apreciar en la Tabla 1.

**Tabla 1 Análisis de Varianza para la humedad final del producto (%).**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:T_aire	1,1881	1	1,1881	0,6000	0,4463
B:F_aire	0,7487	1	0,7487	0,3800	0,5447
C:Revoluciones	4,1961	1	4,1961	2,1000	0,1573
D:C_alimento	0,3672	1	0,3672	0,1800	0,6709
AA	5,5075	1	5,5075	2,7600	0,1070
AB	0,9201	1	0,9201	0,4600	0,5022
AC	3,1426	1	3,1426	1,5800	0,2191
AD	0,4451	1	0,4451	0,2200	0,6401
BB	0,0518	1	0,0518	0,0300	0,8730
BC	14,3433	1	14,3433	7,1900	0,0118
BD	0,1461	1	0,1461	0,0700	0,7885
CC	2,6349	1	2,6349	1,3200	0,2595
CD	5,7444	1	5,7444	2,8800	0,1000
DD	0,0030	1	0,0030	0,0000	0,9695
bloques	3,1044	1	3,1044	1,5600	0,2219
Error total	59,8408	30	1,9947		
Total (corr.)	108,8020	45			

La tabla ANOVA arrojó diferencias significativas de la interacción entre flujo de entrada de aire y velocidad del rotor. Las restantes variables e interacciones no son significativas para la humedad indicando que son significativamente igual a cero con un nivel de confianza del 95%. Teniendo

en cuenta esto, se analizó el efecto de la interacción significativa sobre la humedad final del producto, como se puede observar en Figura 2 la relación es inversamente proporcional cuando se mantiene la velocidad del rotor en 20000RPM y directamente proporcional cuando se mantiene en 30000RPM.



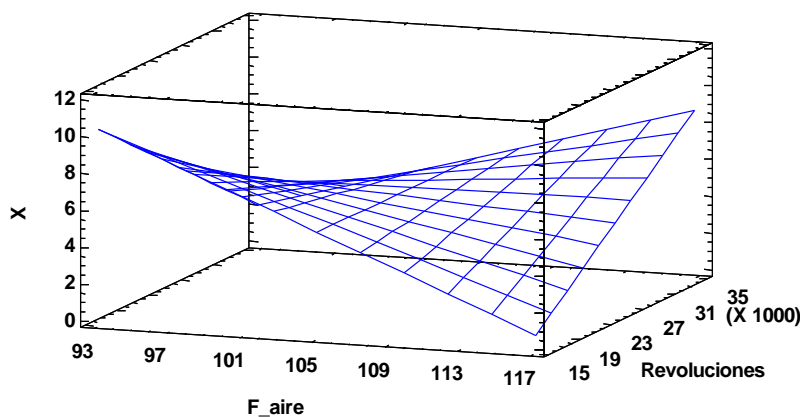
**Figura 2 Gráfica de interacción velocidad del rotor y flujo de entrada de aire para humedad final.**

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo, así ajustado, explica 45,00% de la variabilidad en la humedad final del producto. El estadístico R-cuadrado ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 17,50%. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

La estevia muestra versatilidad en cuanto a secado por atomización se refiere, el rango de temperatura del equipo fue mayor que el reportado por Patil et al. (2014) para *Psidium guajava*

(170-180°C), sin embargo, reportó un nivel de significancia alto ( $p < 0,05$ ). Por otro lado un estudio utilizó un rango amplio para la alimentación al secador usando un rango de 240–473L/h mostrando significancia ( $p \leq 0,05$ ) en el secado de kéfir (Atalar & Dervisoglu 2015) mientras que Muzaffar & Kumar 2018 muestran en su estudio que la alimentación de pulpa de *Tamarindus indica L.* (400-600ml/h) es significativo para la humedad, solubilidad y rendimiento con un nivel de confianza de 95% lo cual no fue posible evaluar debido a que en caso del atomizador utilizado en el estudio pudo utilizarse hasta a 2.5L/h, en su punto máximo.

Otros autores reportan para el estudio de secado de *Murraya koenigii*, *Morinda citrifolia L.*, *Momordica conchinchinensis* y *Clarias gariepinus*, donde no se tuvo en cuenta el flujo de alimentación al secador, un buen ajuste de datos en todos los casos y una optimización correspondiente a la humedad final de producto. (Krishnaiah et al. 2012; Kha et al. 2014; Sablania & Don Bosco 2018; Ikrang & Umani 2019)



**Figura 3 Superficie de respuesta para la humedad final del producto.**

La Figura 3 muestra la superficie de respuesta para la humedad final del producto, mostrando un posible valor mínimo en el punto de mayor flujo de aire y menor velocidad del rotor (Revoluciones), sin verse afectada por la temperatura de entrada del aire a diferencia de lo reportado por Atalar & Dervisoglu (2015) para el caso del secado de kéfir donde existe una tendencia clara en la que entre mayor sea la temperatura de entrada del aire y menor la velocidad de alimentación, más alta es la cantidad de materia seca en el producto final, la tendencia es a disminuir la humedad al disminuir la temperatura de entrada del aire. Sin embargo, en el caso de la guayaba *Psidium guajava*, un estudio reportó que a bajas temperaturas (sumado a una baja adición de maltodextrina), la humedad tendía disminuirse debido a la formación de una película alrededor de los sólidos lo cual facilita la formación de un polvo no higroscópico con alta fluidez (Patil et al. 2014).

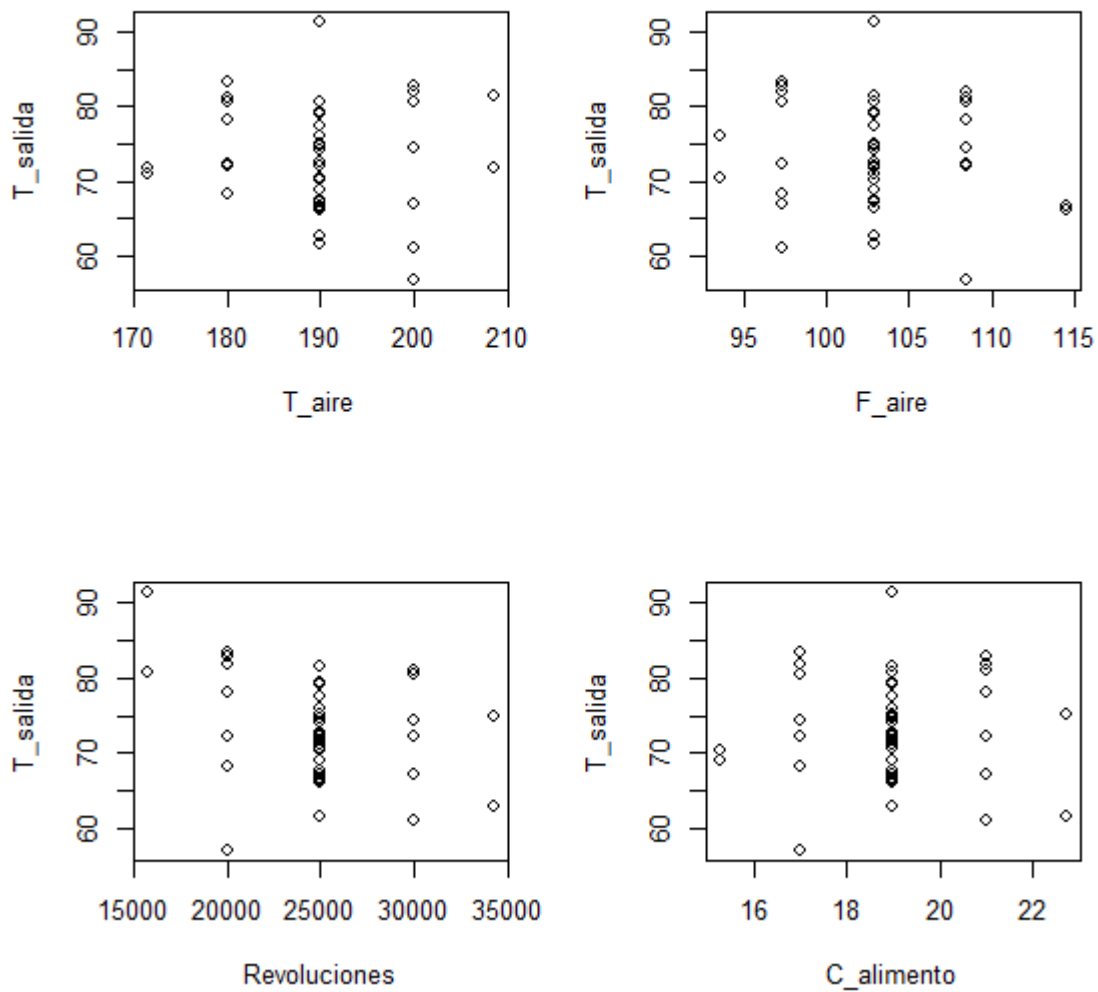
La superficie de respuesta fue generada a partir del modelo ( $R^2=0,2332$ ) presentado a continuación.

$$X = 101.506 - 0.914026 * F_{\text{aire}} - 0.00357727 * \text{Revoluciones} + 0.0000340458 * F_{\text{aire}} * \text{Revoluciones}$$

### **4.3 Temperatura de salida del aire**

Para el caso de la temperatura de salida del aire se obtuvo un promedio de 73,4 C, con un valor mínimo de 56,93 C y un máximo de 91,33 C. Por otro lado la desviación estándar de la temperatura de salida de aire fue 6,8 C y un coeficiente de variación de 9,3%. Ésta baja variabilidad puede traducirse en un bajo ajuste de los datos a un modelo matemático predictivo al

no verse afectada la temperatura de salida del aire por las variables independientes en el rango utilizado.



**Figura 4 Gráficos de dispersión para la temperatura de salida del aire con respecto a las 4 variables independientes.**

En la Figura 4 se muestra la relación entre la temperatura de salida del aire y la temperatura de entrada del aire, el flujo de entrada del aire y la concentración de la solución de alimentación;

encontrando la misma tendencia vista para el caso de la humedad, con la diferencia de una tendencia inversamente proporcional con la velocidad del rotor.

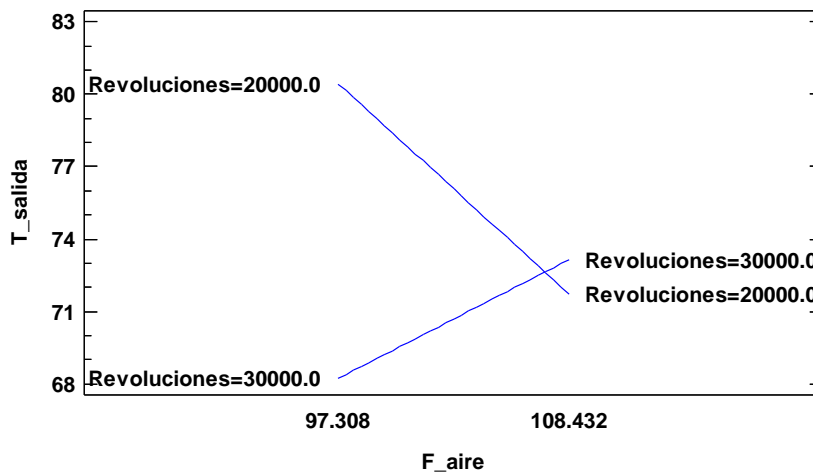
Al realizar el análisis de varianza se obtuvo como resultado una influencia significativa por parte de la velocidad de revolución del rotor, lo cual tiende a concluir que es la única variable del proceso que se encuentra en un rango lo suficientemente importante para influir en la variable respuesta.

**Tabla 2 Análisis de Varianza para la temperatura de salida del aire (°C).**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:T_aire	27,2136	1	27,2136	0,6900	0,4141
B:F_aire	37,5573	1	37,5573	0,9500	0,3384
C:Revoluciones	217,3390	1	217,3390	5,4800	<b>0,0261</b>
D:C_alimento	1,6469	1	1,6469	0,0400	0,8399
AA	19,2497	1	19,2497	0,4900	0,4915
AB	0,4757	1	0,4757	0,0100	0,9135
AC	37,6178	1	37,6178	0,9500	0,3380
AD	20,7842	1	20,7842	0,5200	0,4748
BB	7,9251	1	7,9251	0,2000	0,6582
BC	184,5070	1	184,5070	4,6500	<b>0,0392</b>
BD	55,5353	1	55,5353	1,4000	0,2461
CC	118,2480	1	118,2480	2,9800	0,0946
CD	162,9880	1	162,9880	4,1100	0,0517

DD	27,5336	1	27,5336	0,6900	0,4114
Bloques	0,2714	1	0,2714	0,0100	0,9346
Error total	1190,4600	30	39,6820		
Total (corr.)	2094,5900	45			

En la Tabla 2 se puede observar que los demás factores (Temperatura de entrada del aire, flujo de entrada del aire y concentración del alimento) no son influyentes y están muy lejos de serlo. La tabla ANOVA particiona la variabilidad de la temperatura de salida del aire en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la no significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.



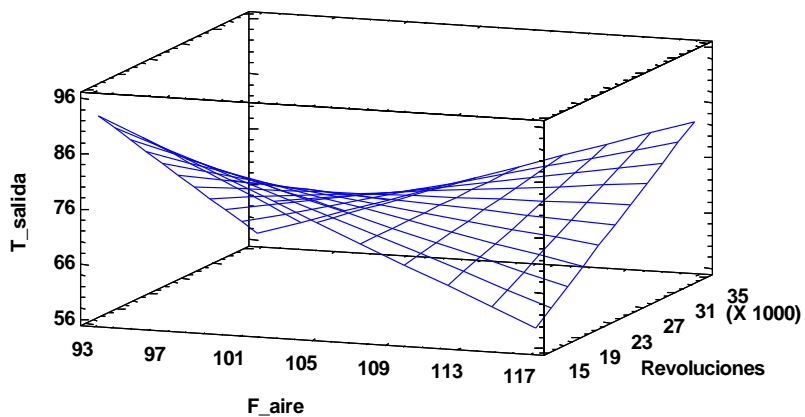
**Figura 5 Gráfica de interacción velocidad del rotor y flujo de entrada de aire para temperatura de salida del aire.**



El efecto de la interacción significativa sobre la temperatura de salida del aire se muestra en Figura 5, la relación es inversamente proporcional cuando se mantiene la velocidad del rotor en 20000RPM y directamente proporcional cuando se mantiene en 30000RPM. En este caso las pendientes son menos pronunciadas que en el caso de la humedad.

El estadístico R-Cuadrado indica que el modelo de segundo grado ajustado explica 43,17% de la variabilidad en Temperatura de salida. El estadístico R-cuadrado ajustado es 14,75%. El estadístico de prueba de Durbin-Watson (DW) de los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos arroja un valor-P mayor que 5,0%, probando que no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Gráficamente el modelo predictivo para la temperatura de salida del aire está representado en la Figura 6.



**Figura 6 Superficie de respuesta para la temperatura de salida del aire.**

En la Figura 6 se observa un punto mínimo en la zona de más bajo flujo de alimentación de aire y más alta velocidad del rotor. Para el secado de pulpa de lulo se obtuvo una temperatura mínima

de 78°C usando como variables independientes temperatura de entrada del aire y maltodextrina agregada, siendo la temperatura de entrada del aire óptima un valor de los más bajos posibles (Igual, et al. 2014).

La gráfica fue generada a partir del modelo ( $R^2=0,2050$ ) siguiente.

$$T_{\text{salida}} = 418.44 - 3.22311 * F_{\text{aire}} - 0.0131009 * \text{Revoluciones} + 0.000122108 * F_{\text{aire}} * \text{Revoluciones}$$

#### 4.4 Deseabilidad

Para realizar una optimización de condiciones para obtener mínimos en las variables respuestas humedad del producto y temperatura de salida del aire, mediante la función deseabilidad se obtuvo un coeficiente de determinación de 45.0% y 43.2% respectivamente, lo cual es un ajuste demasiado bajo para los datos y el resultado de ésta puede o no tener exactitud relevante.

Se generó la siguiente respuesta como la optimización de cada respuesta separadamente.

**Tabla 3 Optimización respuestas.**

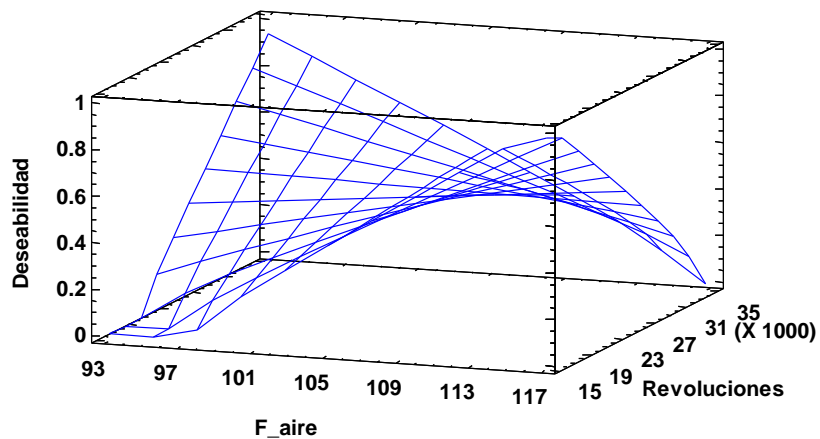
Meta: minimizar X Valor óptimo = 2,5328				Meta: minimizar T_salida Valor óptimo = 59,3312			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo	Factor	Bajo	Alto	Óptimo
T_aire	171,388	208,612	199,833	T_aire	171,388	208,612	199.826
F_aire	93,5159	114,56	93,5159	F_aire	93,516	114,56	93,5159
Revoluciones	15694,0	34306,0	15694,0	Revoluciones	15694,0	34306,0	34306,0
C_alimento	15,278	22,722	21,3463	C_alimento	15,278	22,722	21,3452

Sin embargo, al realizar la optimización multirespuesta a través de la maximización de la función deseabilidad se obtiene.

**Tabla 4 Optimización multirespuesta.**

Factor	Bajo	Alto	Óptimo	Respuesta	Óptimo
T_aire	171,388	208,612	199,833	X	2,5328
F_aire	93,5159	114,56	93,5159	T_salida	59,3312
Revoluciones	15694,0	34306,0	34306,0	Valor máximo de deseabilidad: 0,8937	
C_alimento	15,2776	22,7224	21,3464		

Para el caso de la función deseabilidad se obtuvo la superficie de respuesta mostrada en la Figura 7.



**Figura 7 Superficie de respuesta para la función deseabilidad.**

En la Figura 7 se observa un punto de con un valor cercano a 1 de deseabilidad en la zona de más bajo flujo de entrada de aire y más alta velocidad del rotor, los resultados muestran una clara falta

de ajuste de los modelos generados para humedad final del producto y temperatura de salida del aire para el rango de trabajo en estudio.

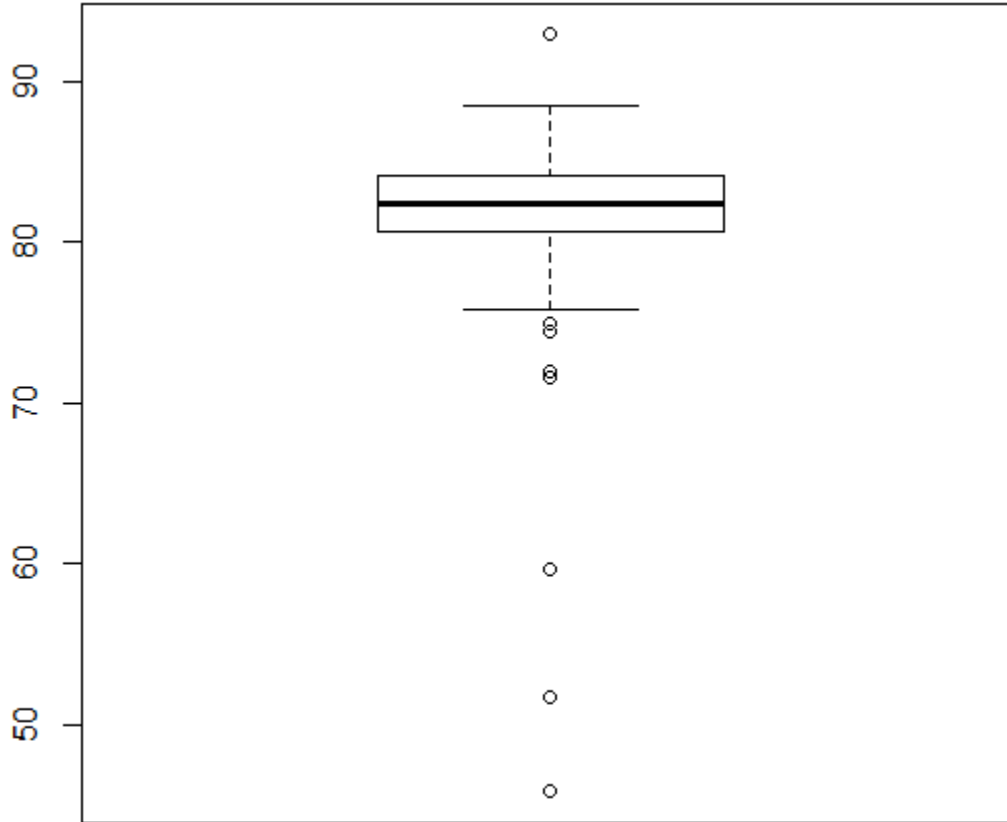
El bajo valor del coeficiente de determinación puede deberse a la composición de la solución a secar, Muzaffar & Kumar, (2015) reportan significancia en el secado de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica*) encapsulada con proteína aislada de soya respecto a temperatura de entrada del aire y flujo de alimentación con un nivel de 95% de confianza y simultáneamente, coeficientes de determinación superiores a 88%, empleando en su estudio una pulpa compuesta por diversos componentes, tales como ácido tartárico (8%-18%), azúcares reductores (25%-45%), pectina (2%-3.5%) y proteínas (2%-3%) sumado a la adición de proteína aislada de soya como encapsulante (15%-25%) es una solución que al ser sometida a secado por atomización que fue más responsiva ante cambios de variables que la solución de estevia, compuesta por steviol (98-100%) y unos algunos microcomponentes, lleva a pensar en la posibilidad de entre mayor sea el número de componentes a secar, más se verá afectada por las variables de proceso la solución a secar. Por otro lado, fue reportado por Singh, et al. (2019) que la temperatura de entrada del aire y la concentración de maltodextrina son significantes en el secado por atomización del jambul (*Syzygium cumini*). La solución usada en éste estudio contenía ácido gálico, vitamina c, cianina, petunidina, malvidina, glucosa, manosa, sucrosa, sodio, potasio, calcio, fósforos, hierro, zinc y algunos aminoácidos libres como alanina, asparagina, tirosina, glutamina y cisteína (Noomrio & Dahot 1996 citado por Singh et al. 2019), nuevamente se tiene una variación de las respuestas (humedad final, solubilidad, dispersabilidad) ante el cambio en las variables independientes para un producto que consta de múltiples componentes de diferentes tamaños de partícula, hecho reiterativo si se tiene en cuenta lo reportado por Bazarria & Kumar, (2016) para el secado de jugo

de *Beta vulgaris*, proceso en el cual hubo significancia para las variables temperatura de entrada del aire, flujo de alimentación y adición de maltodextrina, además de un coeficiente de determinación mayor al 98% para todos los casos.

Al ser extracto de hojas, es tentativo concluir que su comportamiento diferente al de jugos de frutas es debido a ésta razón, Sablania & Don Bosco, 2018 en su estudio secando extracto de *Murraya koenigii* empleando dos encapsulantes y temperatura de entrada del aire como variables independientes obtuvieron un coeficiente de determinación mayor a 90% y significancia estadística para los tratamientos. El extracto de las hojas de ésta planta ha sido probada como antioxidante y eliminador de radicales libres (Ningappa et al 2008) con resultados positivos, así como también se probó poseer trazas de elementos en composición variable según la zona en la que es cultivada (Choudhury & Garg 2007) por lo que el hecho que sea extracto de hoja no explica su comportamiento y se fortalece la hipótesis de la influencia que tiene la composición heterogénea de constituyentes presentes en la solución a secar.

#### **4.5 Rendimiento**

Los datos de rendimiento fueron calculados obteniéndose los siguientes resultados.



**Figura 8 Diagrama de caja para el rendimiento del secado**

Se puede observar en Figura 8 que el rendimiento se encuentra distribuido en un 78% aproximadamente entre valores de 80% a 90% de rendimiento, en lo cual se puede decir que los rendimientos se mantienen altos sin importar las condiciones, teniendo en cuenta también ciertos datos atípicos, el rendimiento del proceso no parece ser afectado por las condiciones de secado. Si se toma como variable independiente se obtiene la siguiente ANOVA.

**Tabla 5 Análisis de Varianza para el rendimiento del proceso(%).**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:T_aire	5,6406	1	5,6406	0,0800	0,7728
B:F_aire	4,7846	1	4,7846	0,0700	0,7903
C:Revoluciones	76,8333	1	76,8333	1,1600	0,2909
D:C_alimento	157,0010	1	157,0010	2,3600	0,1348

AA	94,8492	1	94,8492	1,4300	0,2416
AB	67,0190	1	67,0190	1,0100	0,3233
AC	0,0023	1	0,0023	0,0000	0,9954
AD	8,4665	1	8,4665	0,1300	0,7237
BB	120,7030	1	120,7030	1,8200	0,1879
BC	21,7856	1	21,7856	0,3300	0,5712
BD	21,1118	1	21,1118	0,3200	0,5772
CC	72,1510	1	72,1510	1,0900	0,3058
CD	6,0393	1	6,0393	0,0900	0,7652
DD	534,4910	1	534,4910	8,0400	0,0081
bloques	42,0296	1	42,0296	0,6300	0,4327
Error total	1993,9100	30	66,4637		
Total (corr.)	3271,5100	45			

Se observa en Tabla 5 que ninguna de las variables independientes afecta significativamente el rendimiento del proceso de secado, solo una interacción (concentración de la alimentación cuadrática) es significativa al 95% de confianza, además, el modelo generado para predecir el rendimiento tiene un coeficiente de determinación de 24%, un coeficiente demasiado bajo como es de esperarse, al ser las variables independientes individualmente no significativas.

## 5 CONCLUSIONES

- En el estudio de la variable respuesta humedad sólo fue significativamente diferente de cero la interacción entre flujo de entrada de aire y velocidad del rotor, el modelo tuvo un coeficiente de determinación del 0.2332.
- El rendimiento como variable respuesta tuvo una variación muy baja al igual que la solubilidad, manteniéndose aproximadamente alrededor de valores del 85 y 99,7% respectivamente
- El análisis de la temperatura de salida del aire como respuesta muestra que la velocidad del rotor y la interacción de velocidad del rotor con el flujo de entrada del aire son significativas para un modelo con coeficiente de determinación 0,2050.
- La función deseabilidad para la optimización multi-objetivo arrojó condiciones óptimas para el secado por atomización ( $T_{\text{aire}}=199,8^{\circ}\text{C}$ ;  $F_{\text{aire}}=114,6\text{m}^3/\text{h}$ ; Revoluciones=34306,0RPM;  $C_{\text{alimento}}=21,34^{\circ}\text{Brix}$ ) con una humedad final del producto (2,5328%) y temperatura de salida del aire ( $59,3312^{\circ}\text{C}$ ) mínimos, sin embargo hubo falta de ajuste de los modelos generados.



## **6 RECOMENDACIONES**

- Evaluar el secado por atomización de estevia con la adición de microencapsulante teniendo en cuenta las mismas variables.
- Realizar análisis bromatológico de la solución y del polvo de estevia.
- Estudiar la morfología de las partículas del polvo de estevia pura y el polvo con microencapsulación.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Atalar, I., & Dervisoglu, M. (2015). Optimization of spray drying process parameters for kefir powder using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 751-757.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420-428.
- Cháfuel, H., & Alejandro, D. (2015). *Diseño de un secador por atomización para jugo de estevia* (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Choudhury, R. P., & Garg, A. N. (2007). Variation in essential, trace and toxic elemental contents in *Murraya koenigii*—A spice and medicinal herb from different Indian states. *Food Chemistry*, 104(4), 1454-1463.

- Durán, S., Rodríguez, M. D. P., Córdón, K., & Record, J. (2012). Estevia (stevia rebaudiana), edulcorante natural y no calórico. *Revista chilena de nutrición*, 39(4), 203-206.
- Formigoni, M., Milani, P. G., da Silva Avíncola, A., dos Santos, V. J., Benossi, L., Dacome, A. S., ... & da Costa, S. C. (2018). Pretreatment with ethanol as an alternative to improve steviol glycosides extraction and purification from a new variety of stevia. *Food chemistry*, 241, 452-459.
- Galperín de Levy, R. H. (1984). Stevia rebaudiana Bertoni: un singular edulcorante natural. *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 3.
- Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H., & Martínez-Navarrete, N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233-238.
- Kovačević, D. B., Maras, M., Barba, F. J., Granato, D., Roohinejad, S., Mallikarjunan, K., ... & Putnik, P. (2018). Innovative technologies for the recovery of phytochemicals from Stevia rebaudiana Bertoni leaves: A review. *Food chemistry*, 268, 513-521.

- Millán, E., Pacheco-Díaz, W., & Morales-Alemán, J. (2012). Estudio económico para la producción y comercialización de hoja de Stevia (*Stevia rebaudiana bertonii*) deshidratada en Chinú Córdoba. *Orinoquia*, 16(2), 24-31.
- Montgomery, D., (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México DF, EDITORIAL LIMUSA, S.A. de CV.
- Muzaffar, K., & Kumar, P. (2015). Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technology*, 279, 179-184.
- Ningappa, M. B., Dinesha, R., & Srinivas, L. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activities of polyphenol-enriched curry leaf (*Murraya koenigii* L.) extracts. *Food Chemistry*, 106(2), 720-728.
- Noomrio, M. H., & Dahot, M. U. (1996). Nutritive value of *Eugenia jambosa* fruit. *J Islam Acad Sci*, 9(1), 9-12.
- Parra, L. V. B. (2007). *Optimización multi-objetivo en el problema de metodología de superficie multi-respuesta* (Doctoral dissertation, Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Probabilidad y Estadística, Guanajuato, Gto., México).

- Patil, V., Chauhan, A. K., & Singh, R. P. (2014). Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253, 230-236.
- Sablania, V., & Bosco, S. J. D. (2018). Optimization of spray drying parameters for *Murraya koenigii* (Linn) leaves extract using response surface methodology. *Powder technology*, 335, 35-41.
- Sun, Y., Hou, M., Mur, L. A., Yang, Y., Zhang, T., Xu, X., ... & Tong, H. (2019). Nitrogen drives plant growth to the detriment of leaf sugar and steviol glycosides metabolisms in *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Plant Physiology and Biochemistry*, 141, 240-249.
- Singh, C. S., Paswan, V. K., & Rai, D. C. (2019). Process optimization of spray dried Jamun (*Syzygium cumini* L.) pulp powder. *LWT*, 109, 1-6.
- Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 91-102.

- Truong, V., Bhandari, B. R., & Howes, T. (2005). Optimization of cocurrent spray drying process for sugar-rich foods. Part II—Optimization of spray drying process based on glass transition concept. *Journal of Food Engineering*, 71(1), 66-72.